Firmamento
TECHNOLOGIES

Studio di Fattibilità

Una piattaforma aerea senza pilota al servizio delle aree interne liguri

AMBITO Programma Cooding II, Coopfond e Legacoop

OGGETTO Fattibilità tecnica, economica, regolatoria e operativa di una piattaforma aerea modulare in classe compatta, e raccomandazione sulla configurazione da sviluppare

Luglio 2026

Questo documento raccoglie in un volume unico i dodici capitoli dello Studio di Fattibilità, la sintesi esecutiva e le appendici. Le cifre economiche sono espresse in euro correnti del 2026 al netto dell'imposta sul valore aggiunto; ogni valore è accompagnato nel testo dall'indicazione della propria natura, cioè se si tratta di un dato verificato, di un prezzo di mercato osservato o di una stima costruita con base di calcolo dichiarata. Le fonti sono citate in ciascun capitolo con un numero fra parentesi quadre e sciolte per esteso nell'appendice dei riferimenti bibliografici. Le figure di elaborazione sono costruite sui dati esposti nel testo e ne riportano in calce la fonte; le fotografie hanno funzione illustrativa, provengono da archivi a licenza libera e sono attribuite nell'appendice dedicata. L'identità grafica del volume deriva dal marchio di Firmamento Technologies.

Indice

Sintesi esecutiva 1

In parole semplici 1
La sintesi tecnica ed economica 2
La raccomandazione in breve 3
Come è organizzato lo studio 3

Parte prima — Il bisogno e la scelta 6

1 L'area di riferimento e il quadro esigenziale 7

1.1 Come è organizzato il capitolo 8
1.2 Come è costruito il capitolo 8
1.3 La geografia e l'orografia dell'entroterra ligure 8
1.4 Lo spopolamento, l'invecchiamento e la carenza di servizi 12
1.5 L'isolamento infrastrutturale, logistico e il dissesto 15
1.6 Il divario digitale e la fisica del segnale 17
1.7 L'economia delle infrastrutture e il fallimento del mercato 19
1.8 Le soluzioni che il progetto offre al territorio 21
1.9 Firmamento Technologies, Legacoop Liguria e la rete cooperativa del territorio 23
1.10 Gli interventi pubblici della Regione Liguria 25
1.11 Dal bisogno al requisito 27

2 Analisi di mercato e delle applicazioni 29

2.1 Che cosa dice l'analisi, in breve 30
2.2 Come è stata costruita l'analisi 30
2.3 Il quadro del mercato dei droni, globale, europeo e italiano 31
2.4 La connettività e le piattaforme d'alta quota 38
2.5 La consegna medicale e la telemedicina 47
2.6 Il monitoraggio dei rischi naturali, dissesto e incendi 57
2.7 L'ispezione delle infrastrutture lineari 66
2.8 L'agricoltura di precisione e l'osservazione della Terra 74
2.9 La ricerca e soccorso e la protezione civile 83
2.10 La sorveglianza marittima istituzionale 92
2.11 La protezione delle infrastrutture critiche sottomarine 100
2.12 Il panorama competitivo 107
2.13 La mappa dei finanziamenti attivabili 116
2.14 Il modello di business e la disponibilità a pagare 125
2.15 Il mercato aggredibile per il progetto e la strategia di ingresso 133

3 Requisiti di missione e concetto operativo 145
3.1 Dai bisogni ai profili di missione 146
3.2 I requisiti trasversali 147
3.3 I due limiti dimensionali come requisito e come scelta consapevole 150
3.4 Il decollo verticale modulare 151
3.5 Il concetto operativo 151
3.6 Implicazioni per il progetto 152

4 Confronto delle alternative di piattaforma (DOCFAP) 155
4.1 La domanda centrale, una giornata di volo sotto i 25 chili 156
4.2 Le architetture in campo 157
4.3 Il confronto pesato 157
4.4 La scelta 158
4.5 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte 159

Parte seconda — La soluzione 162

5 Architettura tecnica della piattaforma 163
5.1 L'oggetto di cui si parla 164
5.2 Come è costruito il capitolo 164
5.3 Come leggere le sezioni 165
5.4 Le alternative di piattaforma a confronto tecnico 165
5.5 La configurazione aerodinamica e il disegno dell'ala 171
5.6 La meccanica del volo e le prestazioni 176
5.7 La struttura e i materiali 180
5.8 La propulsione fra elettrico, ibrido e carburante 184
5.9 La catena ibrida a generatore in serie 187
5.10 Il motore termico 191
5.11 L'accumulo elettrico e la gestione dell'energia 195
5.12 Il sistema di decollo verticale e la transizione 200
5.13 L'avionica e l'elettronica di bordo 204
5.14 L'autonomia, la navigazione e i requisiti per il volo oltre l'orizzonte 209
5.15 Le comunicazioni, il collegamento di comando e il ripetitore di connettività 213
5.16 I payload, la strumentazione e la modularità 217
5.17 Il bilancio di massa, l'affidabilità, la produzione e la maturità tecnologica 223

6 Il segmento di terra e il modello di servizio 231
6.1 La stazione di terra 232
6.2 La gestione della flotta e la sicurezza dei collegamenti 233
6.3 Dalla raccolta al prodotto, la piattaforma dei dati 233
6.4 Il modello di servizio, vendere il dato e non il mezzo 234
6.5 La manutenzione, la formazione degli equipaggi e l'assistenza 234
6.6 La cooperativa che opera il servizio 236
6.7 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte 236

7 Il quadro normativo e autorizzativo 239
7.1 Il quadro europeo e le tre categorie di volo 241
7.2 La marcatura di classe, il limite dei 3 metri e le vie che restano aperte 242

7.3 Il metodo di analisi del rischio, la SORA 245
7.4 Gli obiettivi di sicurezza e le dotazioni del velivolo 248
7.5 Il quadro nazionale, l'autorità italiana e il portale dei voli 250
7.6 Lo spazio aereo dei droni, lo U-space 252
7.7 Lo spettro delle frequenze e i collegamenti 253
7.8 Il pilota, l'operatore e l'assicurazione 255
7.9 La sicurezza informatica e la responsabilità da prodotto 257
7.10 Le zone geografiche e i vincoli territoriali del sito pilota 258
7.11 La strategia autorizzativa, dal collaudo gratuito ai primi ricavi 260
7.12 I tempi, i costi e gli ostacoli reali 262
7.13 Le lezioni dei precedenti italiani 264
7.14 Crescere dopo l'autorizzazione, il prezzo della massa e quello dell'apertura 266
7.15 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte 269

8 I dati, la privacy e la sovranità digitale 273

8.1 La trappola di Starlink 274
8.2 Il conflitto fra le norme, protezione europea e accesso statunitense 276
8.3 La dipendenza dal cloud straniero 277
8.4 Le alternative sovrane sul fronte satellitare 279
8.5 Le alternative sovrane sul fronte dei dati 280
8.6 La privacy dei dati raccolti in volo, valutazione d'impatto e base giuridica 282
8.7 La protezione fin dalla progettazione e la lezione del caso Treviso 283
8.8 L'intelligenza artificiale di bordo e le sue regole 285
8.9 La componente di sicurezza e gli obblighi di conformità che ne discendono 286
8.10 La sovranità come principio di progetto e come vantaggio competitivo 288
8.11 Il territorio, le cooperative e il controllo [3] del dato 289
8.12 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte 291

9 Il modello cooperativo, la governance e la sostenibilità sociale 293

9.1 Firmamento Technologies, la cooperativa che offre il servizio 294
9.2 Legacoop Liguria e Coopfond, i partner fondamentali 294
9.3 La rete delle cooperative del territorio 295
9.4 Come la rete partecipa, la governance in concreto 296
9.5 La forma giuridica e la scelta cooperativa 296
9.6 La co-progettazione con il pubblico 297
9.7 La sostenibilità sociale e le ricadute territoriali 298
9.8 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte 298

10 L'analisi economico-finanziaria 301

10.1 Il metodo di stima, le classi di accuratezza, il tasso di sconto e il regime fiscale 303
10.2 Il costo dello studio di fattibilità 305
10.3 I costi di sviluppo del velivolo proprietario 307
10.4 La strada dell'acquistare e il costo di avvio del servizio 309
10.5 I costi di esercizio 312
10.6 La metrica decisiva, il costo pieno per ora di volo 315
10.7 Il modello di ricavo, la tariffa e il mercato aggredibile 317
10.8 Gli scenari di ricavo 320

10.9 Il piano di finanziamento, fonti e impieghi 322
10.10 Il conto pluriennale e gli indicatori di convenienza 325
10.11 L'analisi di sensitività e le soglie di rottura 329
10.12 I benefici sociali e l'analisi costi-benefici collettiva 333
10.13 Le decisioni economiche che il capitolo consegna 336

11 L'analisi del rischio e di sensitività 339
11.1 I rischi tecnici 340
11.2 I rischi regolatori 340
11.3 I rischi di mercato 341
11.4 I rischi finanziari 341
11.5 I rischi sui dati e reputazionali 341
11.6 La matrice dei rischi 342
11.7 L'analisi di sensitività 345
11.8 L'onestà sui dati e le cifre già scartate 346
11.9 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte 346

12 Le conclusioni e la raccomandazione 347
12.1 La raccomandazione in sintesi 348
12.2 Perché questa scelta e non le alternative 348
12.3 La roadmap tecnologica e i suoi tempi 349
12.4 I punti di decisione, quando proseguire e quando fermarsi 350
12.5 Le dichiarazioni conclusive dello studio 350
12.6 I prossimi passi 353
12.7 La conclusione 353

Appendice A. Nota metodologica 355

Appendice B. Riferimenti bibliografici 359

Appendice C. Provenienza e licenze delle immagini 385

Appendice D. Glossario 387

Elenco delle figure

1.1 Le otto aree interne liguri della Strategia Nazionale per le Aree Interne e il sito pilota del progetto sul massiccio dell'Antola, in rappresentazione schematica e non in scala: sono indicate con il nome le sole aree citate nel testo. La vicinanza fra cresta appenninica e costa, qui leggibile a colpo d'occhio, è la ragione fisica dell'isolamento delle valli. 11

2.1 Il mercato professionale italiano dei droni fra il 2019 e il 2025, con il tasso di crescita annuo. 35
2.2 L'estensione delle reti lineari italiane da verificare periodicamente. 72
2.3 Il prezzo praticato in Italia per il servizio agricolo con drone, in euro per ettaro. 80

3.1 Il profilo di una missione tipo. Il modulo di decollo verticale permette di operare da spazi confinati, la crociera ad ala fissa copre la distanza e la stazione di missione, dove il velivolo resta in quota a svolgere il proprio compito prima del rientro. 152

5.1 La catena propulsiva ibrida a generatore in serie. Il motore termico non muove alcuna elica: produce corrente a regime costante, il bus distribuisce agli utilizzatori e la batteria copre i picchi del decollo verticale e garantisce il rientro di emergenza. 191

6.1 Il segmento di terra come catena che porta dal volo al dato consegnato. Il valore del progetto non sta nel primo blocco ma nei due centrali, che l'impresa controlla direttamente e che restano dentro il perimetro sovrano. 232

10.1 La composizione dell'investimento di avvio del servizio. 311
10.2 La struttura del costo diretto annuo di esercizio di un sistema a 600 ore di volo. 313
10.3 Il costo pieno per ora di volo del servizio a confronto con le alternative disponibili. 316
10.4 Il passaggio dal mercato indirizzabile a quello realmente ottenibile. 319
10.5 L'andamento dei ricavi complessivi nei tre scenari lungo il quinquennio. . . . 321
10.6 Ricavi, costi e risultato operativo dell'attività di servizio nello scenario di base. 326
10.7 I flussi di cassa annuali e cumulati, con il ritorno dell'investimento fra il quarto e il quinto anno. 329
10.8 L'effetto sul valore attuale netto della variazione di ciascuna variabile critica. . 330
10.9 I benefici collettivi monetizzati a regime, per voce. 334

11.1 La matrice probabilità per impatto degli undici rischi maggiori fra i venti presidiati. I due nel quadrante critico, il ritardo dell'autorizzazione e l'immaturità del percepire ed evitare, governano la strategia del prima a vista; il grappolo centrale si presidia con le soglie numeriche dell'analisi di sensitività. 345

12.1 La roadmap a doppio binario con il percorso autorizzativo in parallelo. Le pietre miliari dorate segnano gli obiettivi, i punti di decisione numerati le verifiche che autorizzano a proseguire: ciascuno cade prima dell'impegno di spesa che governa. 349

Elenco delle tavole

1.1 Il crinale appenninico ligure, il terreno su cui il servizio deve operare. 9
1.2 Un borgo dell'entroterra ligure, dove l'abbandono si misura in servizi che si allontanano. 13

2.1 L'infrastruttura di telecomunicazione fissa che nelle valli interne arriva rada e tardi. 40
2.2 Un drone da consegna sanitaria rilascia il carico con il paracadute: è il modello operativo della consegna medicale nelle aree remote. 48
2.3 Il dissesto dei versanti, il fenomeno che il monitoraggio persistente deve intercettare presto. 58
2.4 Una linea di trasmissione in alta tensione, il corridoio lineare da verificare periodicamente. 67
2.5 Il vigneto terrazzato ligure, dove la meccanizzazione tradizionale non arriva. 75
2.6 Una nave posacavi al lavoro: l'infrastruttura sottomarina la cui vulnerabilità apre il segmento. 101

3.1 Un velivolo ad ala fissa a decollo verticale per sorveglianza civile in volo, di classe e impiego analoghi a quelli di progetto. 146

Sintesi esecutiva

LO STUDIO IN SEI NUMERI

385.000 €	**1,91 M€**	**17,2%**
INVESTIMENTO DI AVVIO DEL SERVIZIO	RICAVI AL QUINTO ANNO	TASSO INTERNO DI RENDIMENTO
20-22 h	**4 kg**	**4 anni e 7 mesi**
AUTONOMIA SENZA MODULO VTOL	CARICO UTILE MODULARE	RITORNO ATTUALIZZATO

In parole semplici

IN PAROLE SEMPLICI

Il progetto nasce da un bisogno concreto delle aree interne della Liguria, quello di un territorio montano e fragile che soffre di isolamento, di connessione scarsa, di rischi naturali come frane e incendi, di difficoltà nell'agricoltura, nei trasporti e nell'accesso alle cure. L'idea è di rispondere a questi bisogni con un mezzo aereo a pilotaggio remoto, un velivolo capace di restare a lungo in volo e di cambiare compito a seconda della missione, che sorvegli i versanti a rischio, individui gli incendi sul nascere, monitori i campi e i pascoli, porti connessione internet nelle valli isolate durante le emergenze, consegni farmaci ai borghi difficili da raggiungere e ispezioni le linee elettriche e le strade. Non si tratta di vendere un drone, ma di offrire un servizio, cioè di raccogliere ed elaborare i dati di cui il territorio ha bisogno, e a offrire questo servizio è Firmamento Technologies, che è essa stessa una cooperativa e crea così lavoro qualificato dove oggi scarseggia, con il sostegno dei suoi partner fondamentali del mondo cooperativo, Legacoop Liguria e Coopfond, e di una rete di cooperative del territorio che conoscono i luoghi e le persone.

Due preoccupazioni hanno guidato lo studio più di ogni altra. La prima è che il servizio sia davvero utile alle cooperative e al territorio, e per questo il velivolo è pensato per essere semplice da operare, versatile e a costo contenuto. La seconda è che i dati raccolti sul territorio restino sotto controllo nazionale e non finiscano in mani straniere, e per questo lo studio raccomanda di non affidarsi a infrastrutture come i satelliti stranieri, in particolare Starlink, che qualcun altro può spegnere e i cui dati qualcun altro può leggere, ma di costruire fin dall'inizio un sistema in cui i dati sono elaborati a bordo e conservati in Italia o in Europa. È questa attenzione alla sovranità dei dati, più ancora della tecnologia del volo, a fare del progetto qualcosa di distintivo e di prezioso per il territorio.

La sintesi tecnica ed economica

Sul piano tecnico lo studio raccomanda una piattaforma ad ala fissa ad alto allungamento in classe compatta, sotto i 25 chilogrammi e i 3 metri di apertura, con una catena propulsiva ibrida a generatore in serie, in cui un piccolo motore termico gira a regime costante e alimenta attraverso un generatore un bus elettrico che muove l'elica di crociera e i quattro rotori di un modulo di decollo verticale rimovibile, con una batteria che copre i picchi e garantisce il rientro di emergenza. Il calcolo di primo livello mostra che solo un velivolo a combustibile o ibrido raggiunge una giornata di volo sotto i 25 chilogrammi, perché le sole batterie peserebbero più dell'intero mezzo e il sole d'inverno raccoglie appena una piccola frazione del fabbisogno, e la scelta dell'ibrido in serie, che paga una piccola penalità di consumo, si giustifica con la ridondanza del rientro a motore spento, con la modalità di volo silenzioso e con la naturalezza di alimentare i rotori dal bus elettrico. Il bilancio di massa chiude sotto il limite con un margine di sicurezza a patto di alcune rinunce misurate, togliere i pannelli solari dalla configurazione di base, portare il carico utile a 4 chilogrammi e rendere rimovibile il decollo verticale, e queste rinunce portano l'autonomia a un valore realistico intorno alle 20 o 22 ore. Su questa cifra va subito posta la condizione che la governa, perché il velivolo ha due configurazioni e due autonomie. Le 20 o 22 ore sono quelle del velivolo che parte con lancio assistito e non porta i rotori; montando il modulo di decollo verticale, che è ciò che consente di partire da una radura di fondovalle o dal ponte di una nave, la stessa cellula vola fra le 10 e le 13 ore, perché ne trasporta in crociera per tutta la missione la massa e la resistenza. Le missioni dell'entroterra, dove lo spazio per il lancio raramente esiste, sono quindi servite dalla configurazione più capace e meno persistente, che resta comunque una mezza giornata di volo continuo, un ordine di grandezza superiore a quello dei mezzi con cui il monitoraggio si fa oggi. Il velivolo porta un'avionica europea certificabile, una capacità di navigare e di volare oltre l'orizzonte del pilota, e un vano modulare che, cambiando carico utile, serve missioni diverse, a partire dal ripetitore di connettività e dal modulo di trasporto sanitario, che rispondono ai bisogni più diretti delle valli, per proseguire con l'osservazione ottica e termica, il rilievo laser e i sensori agricoli del monitoraggio del territorio.

Sul piano del mercato lo studio ha dimensionato con prudenza la domanda, riconoscendo che il mercato professionale italiano dei droni è piccolo, 168 milioni di euro nel 2025 con una crescita del 5 per cento e 675 imprese attive, e che è dominato nell'hardware da pochi grandi produttori, per cui il valore difendibile sta nel servizio e nella nicchia più che nel mezzo. La connettività alle aree interne, che resta la missione civile prioritaria del progetto e il legame più diretto con il mandato del bando, si è però rivelata un mercato ancora piccolo sul piano della domanda pagante immediata, mentre questa domanda è oggi più solida nel monitoraggio dei rischi naturali e, sul versante istituzionale, nella sorveglianza marittima istituzionale e nella protezione delle infrastrutture subacquee. È su questa asimmetria fra il fine civile e la fonte dei ricavi, e non ignorandola, che lo studio fonda una strategia multi-ancora che parte da quello civile delle aree interne e usa le nicchie a domanda pubblica ricorrente per finanziare e sostenere la missione civile. Sul piano normativo lo studio ha mostrato che il volo oltre l'orizzonte richiede un permesso impegnativo, ottenuto superando un'analisi del rischio, e che la strategia intelligente è cominciare a lavorare e a incassare volando a vista, con permessi semplici, mentre il permesso per il volo oltre la vista matura in parallelo, ricorrendo all'inizio a spazi aerei riservati come hanno fatto i precedenti italiani. La verifica condotta sui testi consolidati dei regolamenti ha portato tre correzioni che meritano di comparire già qui, perché cambiano il percorso più che i numeri. La prima è che la marcatura di classe che il materiale preparatorio attribuiva alla piattaforma è riservata ai mezzi ad alimentazione esclusivamente

elettrica e resta quindi preclusa a un velivolo ibrido, il quale si autorizza per la via delle valutazioni di rischio predefinite, che una marcatura non la richiedono affatto, e riserva alla variante a sole batterie il ruolo di prodotto vendibile e marcabile. La seconda è che il prototipo ibrido può essere collaudato oggi, in categoria aperta e senza alcuna autorizzazione, perché il regolamento di prodotto non si applica agli aeromobili costruiti per uso proprio, e questo anticipa di mesi la campagna di prove a costo autorizzativo nullo. La terza è che la persistenza non si monetizza volando lontano, perché ogni procedura semplificata limita la distanza dal pilota a pochi chilometri, ma restando sopra la stessa area per un turno intero dentro uno spazio riservato o coperto da avviso ai naviganti, il che orienta il concetto operativo verso le missioni di presidio continuo che sono anche le più remunerative fra quelle individuate. Sul piano economico lo studio raccomanda una strategia a doppio binario, in cui l'impresa opera da subito una piattaforma commerciale come fornitore di servizio, generando cassa con rischio minimo, mentre sviluppa in parallelo il velivolo proprietario finanziandone il rischio tecnologico con i fondi pubblici della ricerca e dell'innovazione industriale, che esistono proprio a questo scopo, distinguendo sempre il dato verificato dalla stima dichiarata. Il conto che ne discende è quantificato: l'avvio del servizio richiede 385.000 euro fra sistema di volo, carichi utili e percorso autorizzativo, il pareggio operativo arriva nel secondo anno, al quinto anno i ricavi raggiungono 1,91 milioni di euro con un margine operativo del 26,8 per cento, e l'investimento presenta un valore attuale netto di 286.000 euro attualizzato al 4 per cento reale, un tasso interno di rendimento del 17,2 per cento e un ritorno in 4 anni e 7 mesi, mentre lo sviluppo del velivolo proprietario fino al dimostratore costa fra 1,85 e 3,05 milioni di euro di stima puntuale, con un inviluppo di pianificazione di 2,4-4,6 milioni, coperto prevalentemente dai fondi pubblici del rischio tecnologico e da una quota di cofinanziamento d'impresa fra 0,6 e 1,2 milioni. Il margine di sicurezza è sottile e va presidiato con tre soglie precise, cioè una tariffa media non inferiore a 635 euro per ora di volo, un utilizzo non inferiore a 530 ore l'anno per sistema e soprattutto un'autorizzazione al volo oltre la vista che non slitti oltre i 4 mesi rispetto al calendario assunto, perché è quest'ultimo il fattore che più di ogni altro sposta il risultato. Va infine messo in conto che il servizio vende a committenti pubblici che pagano a 90 giorni, cosicché il fabbisogno finanziario non si esaurisce nell'investimento iniziale ma comprende una linea di credito per il capitale circolante che tocca il proprio massimo di circa 541.000 euro al terzo anno.

La raccomandazione in breve

Lo studio conclude che il progetto è fattibile e raccomanda di svilupparlo nella forma di una piattaforma modulare in classe compatta a propulsione ibrida, venduta come servizio sovrano di dati. La realizzazione segue una roadmap in cui il servizio a vista parte in pochi mesi, il dimostratore del velivolo proprietario è raggiungibile in circa un anno e mezzo o due, e il prodotto operativo in 3 o 4 anni, con il percorso autorizzativo che avanza in parallelo.

Come è organizzato lo studio

Lo studio si articola in due parti oltre a questa sintesi. La prima parte fotografa il bisogno e il mercato, con il contesto e il quadro esigenziale delle aree interne, l'analisi di mercato e delle applicazioni, i requisiti di missione e il confronto fra le architetture possibili che porta alla scelta del velivolo. La seconda parte sviluppa la soluzione scelta, con l'architettura tecnica del velivolo, il segmento di terra e il modello di servizio, il quadro normativo del volo oltre la

vista, i dati e la sovranità digitale, il modello cooperativo e la governance, l'analisi economico-finanziaria, l'analisi del rischio e infine le conclusioni con la raccomandazione.

PARTE PRIMA

I

Il bisogno e la scelta

Il territorio, il mercato, i requisiti di missione e il confronto fra le architetture possibili: da che cosa serve a che cosa si costruisce.

CAPITOLO 1

L’area di riferimento e il quadro esigenziale

IN BREVE

Fotografa il territorio da cui il progetto nasce: otto aree interne, centodue comuni, valli strette dove il segnale arriva a fatica e i servizi si allontanano. Dai bisogni concreti delle valli discendono, uno per uno, i requisiti di missione del velivolo.

8	102	2 anni
AREE INTERNE SNAI IN LIGURIA	COMUNI, 119.383 RESIDENTI	DI RITARDO DELLA BANDA LARGA

NEL CAPITOLO

1.1 Come è organizzato il capitolo . . . 8
1.2 Come è costruito il capitolo . . . 8
1.3 La geografia e l’orografia dell’entroterra ligure . . . 8
1.4 Lo spopolamento, l’invecchiamento e la carenza di servizi . . . 12
1.5 L’isolamento infrastrutturale, logistico e il dissesto . . . 15
1.6 Il divario digitale e la fisica del segnale . . . 17
1.7 L’economia delle infrastrutture e il fallimento del mercato . . . 19
1.8 Le soluzioni che il progetto offre al territorio . . . 21
1.9 Firmamento Technologies, Legacoop Liguria e la rete cooperativa del territorio . . . 23
1.10 Gli interventi pubblici della Regione Liguria . . . 25
1.11 Dal bisogno al requisito . . . 27

Le criticità delle aree interne liguri sono le conseguenze concatenate della conformazione del territorio. Un Appennino che si alza ripido a pochi chilometri dal mare, con valli strette e profonde, versanti instabili e un tessuto di borghi minuti e dispersi, genera al tempo stesso la difficoltà di costruire e mantenere le strade, la vulnerabilità al dissesto e agli incendi, l'antieconomicità di portare la fibra e i ripetitori, e in ultima analisi lo spopolamento, perché dove i servizi non arrivano le persone non restano. Comprendere questa catena è essenziale, perché mostra che il problema non si risolve con la sola buona volontà o con i soli fondi pubblici, che pure sono stati stanziati senza fermare il declino, ma richiede strumenti nuovi capaci di aggirare il vincolo fisico anziché combatterlo frontalmente, ed è esattamente ciò che una piattaforma aerea può offrire, portando dall'alto il servizio e il dato dove a terra arrivano con difficoltà e a costi proibitivi.

1.1 Come è organizzato il capitolo

Le prime sezioni ricostruiscono il territorio e le sue criticità. La prima studia la geografia e l'orografia dell'entroterra ligure con occhio tecnico-scientifico, la seconda misura lo spopolamento, l'invecchiamento e la carenza di servizi che ne derivano, la terza analizza l'isolamento infrastrutturale e logistico e la fragilità delle strade di fronte al dissesto. Le sezioni centrali affrontano il nodo della connettività, con la quarta che spiega la fisica per cui il segnale internet fatica a raggiungere le valli e i dati del divario digitale, e la quinta che analizza l'economia delle infrastrutture, cioè perché portare la fibra e i ripetitori in questi territori costa tanto e il mercato non lo fa. La sesta sezione mostra quali soluzioni il progetto può offrire a queste criticità, aggirando il vincolo fisico dall'alto. Le ultime sezioni riguardano gli attori, con la settima che analizza in dettaglio le cooperative delle aree interne liguri legate a Legacoop e il modello della cooperativa di comunità, l'ottava che ricostruisce gli interventi pubblici della Regione Liguria che il progetto deve coinvolgere, e la nona che tira le fila traducendo i bisogni in requisiti per il velivolo e per il servizio. Chi conosce già il territorio può passare direttamente alle sezioni sulla connettività e sugli attori, mentre chi valuta il progetto troverà nell'insieme la giustificazione territoriale di tutte le scelte dei capitoli seguenti.

1.2 Come è costruito il capitolo

Le sezioni sono fondate sulle fonti primarie sul territorio, dai documenti della Strategia Nazionale per le Aree Interne ai rapporti dell'istituto di ricerca ambientale sul dissesto, dagli studi geologici sull'Appennino ligure ai dati del censimento della popolazione, dai documenti della programmazione regionale agli atti sulle cooperative di comunità. Ogni dato è citato con la sua fonte, distinguendo il verificato dalla stima, e dove il territorio è stato studiato con precisione, come nel caso del massiccio dell'Antola che è il sito pilota del progetto, si è attinto agli studi specifici disponibili. È un capitolo che vuole reggere lo sguardo di chi il territorio lo conosce da vicino, gli amministratori dei comuni, le cooperative, i tecnici della Regione, e al tempo stesso spiegare a chi valuta il progetto da fuori perché proprio qui, e proprio così, una piattaforma aerea abbia senso.

1.3 La geografia e l'orografia dell'entroterra ligure

Per capire le criticità delle aree interne liguri bisogna partire dalla forma del territorio, perché è la sua conformazione fisica a generare quasi tutti i problemi che le sezioni seguenti

Tavola 1.1. Il crinale appenninico ligure, il terreno su cui il servizio deve operare.

analizzeranno. La Liguria è una regione stretta e arcuata, schiacciata fra il mare e la montagna, in cui lo spartiacque appenninico corre a pochi chilometri dalla costa, e questa vicinanza fra la cresta e il mare fa sì che l'entroterra si alzi ripido e brusco, senza le pianure che altrove attenuano il passaggio dalla costa alla montagna. Il risultato è un territorio di valli strette e profonde, disposte per lo più trasversalmente alla costa, con fondovalle angusti, versanti acclivi e crinali continui, un rilievo che i geologi chiamano a energia elevata perché i dislivelli sono forti e concentrati in poco spazio. È una geografia che rende ogni collegamento faticoso, perché per andare da una valle all'altra bisogna spesso risalire fino ai valichi, e che confina gli insediamenti in fondovalle stretti o su versanti terrazzati, in borghi piccoli e dispersi.

Una regione per metà montagna interna e per pochi abitanti

I numeri della classificazione ufficiale danno la misura di quanto questa parte del territorio pesi. Le aree che la Strategia Nazionale per le Aree Interne riconosce come tali in Liguria per il ciclo di programmazione in corso sono otto, e comprendono 102 comuni, cioè oltre il quarantatré per cento dei comuni della regione, per una superficie di circa 2.934 chilometri quadrati che rappresenta più della metà, il 54 per cento, dell'intero territorio ligure [1]. A fronte di questa estensione, però, in quelle aree vivono soltanto circa 119.000 persone, meno dell'8 per cento della popolazione regionale [1]. Questo scarto fra la metà del territorio e meno di un decimo degli abitanti è il primo dato tecnico da cui tutto discende, perché descrive una densità abitativa bassissima, un territorio vasto e vuoto in cui poche persone vivono sparse in molti piccoli borghi, ed è proprio la bassa densità, come si vedrà, a rendere antieconomico portarvi

le infrastrutture e i servizi con i metodi tradizionali, che presuppongono una concentrazione di utenti che qui non c'è.

La classificazione delle aree interne si fonda proprio su una misura di lontananza, perché un comune è tanto più interno quanto più tempo occorre per raggiungere da esso i servizi essenziali di base, la scuola secondaria, l'ospedale, la stazione ferroviaria, e nelle aree più remote questo tempo supera i 75 minuti [2]. Nell'entroterra ligure, dove le strade seguono le valli e valicano i crinali con tornanti lenti, questa lontananza in tempo è spesso molto maggiore della lontananza in chilometri, e un borgo che dista poche decine di chilometri in linea d'aria dal capoluogo può richiedere più di un'ora di guida su strade tortuose per raggiungerlo. È una lontananza generata dall'orografia, non dalla distanza geografica, e questa distinzione è essenziale perché è esattamente il tipo di ostacolo che un mezzo aereo, che vola in linea retta scavalcando i rilievi, è fatto per aggirare.

La geologia, un territorio fragile per costituzione

Alla difficoltà della forma si aggiunge quella della sostanza, perché l'Appennino ligure è costituito in larga parte da rocce sedimentarie deboli e stratificate, che lo rendono geologicamente fragile. Il substrato di ampie porzioni dell'entroterra, e in particolare del massiccio dell'Antola che è il sito pilota del progetto, è il cosiddetto flysch, una successione di strati alternati di marne e calcari deposti sul fondo di antichi mari e poi sollevati e piegati dalla formazione della catena, una roccia che si sfalda lungo i piani di strato e che è per natura predisposta al franamento [3][4]. Gli studi geologici sull'Appennino ligure documentano questa struttura complessa, fatta di pieghe e sovrascorrimenti, che rende i versanti instabili e sensibili all'acqua, perché l'infiltrazione lungo gli strati riduce la coesione e innesca gli scivolamenti [3]. Non è un caso che proprio le pieghe del flysch del Monte Antola siano state studiate con rilievi aerei fotogrammetrici da drone, a conferma che questo territorio è insieme geologicamente interessante e difficile, e che gli stessi strumenti aerei che il progetto propone vi trovano già applicazione nella conoscenza del suolo [4].

Il paesaggio costruito e il suo abbandono

A questa fragilità naturale si sovrappone una fragilità indotta dall'abbandono di ciò che gli uomini avevano costruito per rendere abitabile il territorio. Per secoli le comunità dell'entroterra hanno modellato i versanti ripidi con i terrazzamenti, i muretti a secco che trattengono la terra e creano i ripiani coltivabili, un'opera immensa e capillare che ha reso possibile l'agricoltura di montagna e che al tempo stesso stabilizzava i pendii regimando le acque [5]. Con lo spopolamento e l'abbandono delle coltivazioni, questi terrazzamenti sono crollati o si stanno degradando, e la loro rovina non è solo la perdita di un paesaggio ma un fattore attivo di dissesto, perché un versante terrazzato e mantenuto è stabile mentre lo stesso versante con i muri crollati e i canali di scolo ostruiti diventa vulnerabile alle frane e all'erosione [5]. È un esempio eloquente del circolo vizioso che lega lo spopolamento al dissesto, perché meno persone significano meno manutenzione del territorio, e meno manutenzione significa più rischio, che a sua volta scoraggia il restare. Il paesaggio delle aree interne liguri, con i suoi borghi in pietra e i suoi terrazzamenti, è quindi al tempo stesso un patrimonio e una fragilità, e la sua sorveglianza e manutenzione è uno dei bisogni a cui il progetto può rispondere.

Le otto aree e il sito pilota

Le otto aree interne liguri sono un mosaico di valli con storie e problemi affini, dall'entroterra genovese dell'Antola e del Tigullio all'alta Val di Vara nello spezzino, dall'alta Valle

Arroscia nell'imperiese al comprensorio del Beigua fra Genova e Savona, ciascuna dotata di una propria strategia d'area elaborata nell'ambito della programmazione nazionale [1][6]. Fra queste il progetto ha scelto come sito pilota il massiccio dell'Antola, nell'entroterra genovese, un'area protetta da un parco naturale e rappresentativa delle criticità dell'intero entroterra, con i suoi borghi minuti come quelli della Val Pentemina, il suo flysch instabile e il suo spopolamento profondo [4][7]. La scelta di un sito pilota preciso non è un dettaglio, perché permette di ancorare lo studio a un territorio reale e studiato, di cui esistono il piano del parco e gli studi geologici, e su cui il progetto potrà misurare concretamente il proprio valore prima di generalizzarlo alle altre valli. È il territorio dell'Antola, con la sua geografia difficile e la sua comunità fragile, il banco di prova su cui l'intero studio si misura.

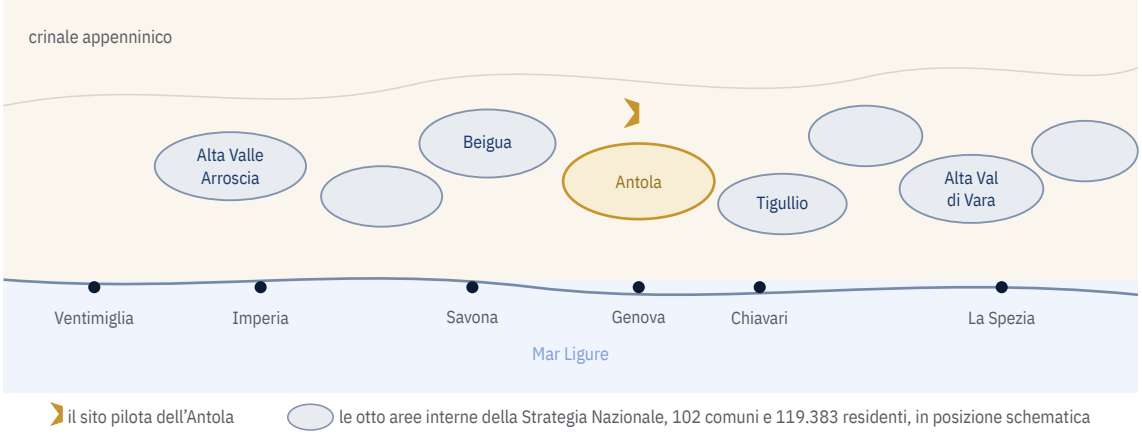


Figura 1.1. Le otto aree interne liguri della Strategia Nazionale per le Aree Interne e il sito pilota del progetto sul massiccio dell'Antola, in rappresentazione schematica e non in scala: sono indicate con il nome le sole aree citate nel testo. La vicinanza fra cresta appenninica e costa, qui leggibile a colpo d'occhio, è la ragione fisica dell'isolamento delle valli.

Che cosa ne consegue

Un territorio che occupa più di metà della regione con meno di un decimo degli abitanti, fatto di valli strette e ripide, di rocce fragili predisposte al dissesto e di un paesaggio costruito che l'abbandono sta lasciando rovinare, è un territorio in cui i collegamenti sono lenti, le infrastrutture costose, i rischi elevati e i servizi lontani, e in cui la lontananza si misura in tempo e in fatica più che in chilometri. È esattamente questa lontananza fisica, generata dai rilievi, che un mezzo capace di volare in linea retta e di portare dall'alto l'osservazione, la connessione e il trasporto è fatto per superare, e le sezioni seguenti misureranno una per una le criticità che ne discendono, per poi mostrare come il progetto vi risponda.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti primari sul territorio e letteratura di settore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Dossier della Strategia Nazionale per le Aree Interne, dati delle otto aree liguri, 102 comuni, superficie e popolazione, `proj_dossier-snai` e sintesi del dominio `mkt-aree-interne`
2. Studio dell'istituto nazionale di statistica sulla geografia delle aree interne, criterio di lontananza dai servizi e classificazione, `mar_1b09661c4e4a`

3. Introduzione alla geologia dell'Appennino ligure ed emiliano, struttura a pieghe e sovrascorrimenti e fragilità dei versanti, `mar_f10061615568`
4. Studio fotogrammetrico da drone delle pieghe del flysch del Monte Antola, natura del substrato del sito pilota, `mar_e87fe6e4f6c8`
5. Studio sul terrazzamento antropico della Liguria, funzione di stabilizzazione dei versanti e conseguenze dell'abbandono, `mar_9f01b5a4df56`
6. Descrizione del territorio nel programma di sviluppo rurale della Liguria e strategie delle aree interne liguri, `mar_2851931f1f30` e `mar_7674236546ba`
7. Quadro conoscitivo del piano integrato del parco dell'Antola, sito pilota del progetto, `mar_07467bdbabf9`

1.4 Lo spopolamento, l'invecchiamento e la carenza di servizi

La conseguenza umana della geografia difficile è lo spopolamento, il lento svuotarsi di questi territori che è insieme il sintomo più visibile e la causa più profonda del loro declino. Il fenomeno non è ligure ma nazionale, perché le aree interne italiane sono oltre 4.000 comuni, quasi la metà del totale, con circa 13 milioni e mezzo di abitanti che rappresentano poco più di un quinto della popolazione e occupano circa il 60 per cento del territorio [1]. Ma è la loro dinamica a preoccupare, perché mentre l'Italia nel suo complesso tiene, le aree interne perdono abitanti a un ritmo molto più rapido, con un calo del 5 per cento fra il duemilaquattordici e il duemilaventiquattro, contro l'uno e mezzo per cento dei centri urbani, e con punte del sette e sette per cento nei comuni più remoti, e le proiezioni indicano che senza inversioni la popolazione delle aree interne potrebbe scendere sotto i 9 milioni entro il duemilaquarantatré [1]. È un'emorragia lenta ma costante, che si accompagna a un invecchiamento marcato, con un'età media più alta e un indice di vecchiaia, cioè il rapporto fra anziani e giovani, molto sfavorevole [1].

La Liguria, il caso limite

Se le aree interne sono il fronte del declino demografico italiano, la Liguria ne è il caso limite, perché è la regione più anziana d'Italia. L'età media della popolazione ligure supera i 48 anni, la più alta del Paese, e la regione perde abitanti a un ritmo annuo fra i più rapidi, con un saldo naturale profondamente negativo che solo in parte l'immigrazione compensa [2]. Nelle aree interne questo quadro si aggrava, e la profondità storica dello spopolamento vi assume proporzioni impressionanti, perché in alcune valli dell'entroterra la popolazione si è ridotta di oltre tre quarti nel corso di un secolo, fra la fine dell'Ottocento e la fine del Novecento, lasciando borghi un tempo popolosi ridotti a poche case abitate [3]. Il risultato è un tessuto di piccoli borghi semivuoti e invecchiati, molti dei quali ormai abbandonati o quasi, un fenomeno che gli studi sui borghi abbandonati della Liguria hanno documentato e che è diventato esso stesso oggetto di attenzione, fra il recupero a fini turistici e la constatazione di una perdita [3]. Questo è il territorio a cui il progetto si rivolge, non un'area in crescita da servire ma un'area in sofferenza da sostenere, e questa condizione ne definisce sia i bisogni sia i vincoli, perché una popolazione anziana, poco numerosa e dispersa è al tempo stesso quella che ha più bisogno di servizi e quella su cui è più difficile costruire un modello economico che si regga da solo.

Tavola 1.2. Un borgo dell'entroterra ligure, dove l'abbandono si misura in servizi che si allontanano.

I servizi che si allontanano

Lo spopolamento e la carenza di servizi si alimentano a vicenda in un circolo vizioso ben documentato. Quando la popolazione di un borgo scende sotto una certa soglia, i servizi che la servivano, la scuola, l'ufficio postale, il presidio sanitario, il negozio, diventano antieconomici e chiudono o si accorpano altrove, e la loro scomparsa rende il borgo meno vivibile, spingendo altre famiglie ad andarsene e accelerando il declino [4]. Gli studi sull'entroterra genovese hanno mappato con precisione questa carenza, elencando i servizi che mancano nei comuni interni, dalla sanità di prossimità ai trasporti pubblici, dalla scuola ai servizi commerciali, e mostrando come la loro assenza sia insieme effetto e causa dello spopolamento [4]. Particolarmente critico è l'accesso alle cure, perché un ospedale lontano più di un'ora di strada tortuosa è un ospedale di fatto difficile da raggiungere in un'emergenza, e gli studi sull'accessibilità ospedaliera in Italia hanno quantificato quanto le aree interne siano svantaggiate su questo fronte, con conseguenze reali sulla salute di una popolazione per giunta anziana e quindi più bisognosa di cure [5]. È in questo vuoto di servizi che si collocano alcune delle applicazioni più preziose del progetto, dalla consegna di farmaci e materiale sanitario al sostegno alla telemedicina, che non sostituiscono i servizi mancanti ma ne attenuano l'assenza portando dall'alto ciò che a terra fatica ad arrivare.

Perché le politiche tradizionali non sono bastate

Va detto con franchezza che il declino delle aree interne non è passato inosservato alle politiche pubbliche, che anzi da oltre un decennio vi hanno dedicato una strategia nazionale dotata di risorse ingenti, e che ciononostante il declino è proseguito e anzi accelerato [1][6]. La Strategia Nazionale per le Aree Interne è attiva dal 2014 e ha stanziato nel tempo centinaia di milioni di euro, eppure la popolazione ha continuato a calare, e questo dato scomodo va compreso perché condiziona il senso stesso del progetto. La letteratura sullo sviluppo territoriale ha mostrato che le politiche tradizionali, fatte per lo più di trasferimenti e di infrastrutture puntuali, hanno avuto un successo molto limitato nelle aree marginali, rischiando di creare economie assistite che dipendono dal sussidio senza generare valore proprio, e che il risentimento dei luoghi che si sentono dimenticati è diventato esso stesso un fenomeno politico [6]. La conseguenza per il progetto è netta e va assunta come un vincolo, perché il progetto non può proporsi come l'ennesimo trasferimento assistenziale ma deve dimostrare di generare valore economico sostenibile, creando lavoro e servizi che si reggano, almeno in prospettiva, su una domanda pagante e non solo sul sussidio. È una barra alta, ma è l'unica coerente con la natura cooperativa e imprenditoriale del progetto e con la lezione del fallimento delle politiche puramente assistenziali.

Che cosa ne consegue

Il quadro demografico e dei servizi consegna al progetto un territorio in sofferenza profonda, poco popolato, anziano e in via di ulteriore svuotamento, dove i servizi essenziali si sono allontanati e dove le politiche tradizionali non sono riuscite a invertire la rotta. È un quadro che definisce i bisogni a cui rispondere, il monitoraggio del territorio fragile, il sostegno all'accesso alle cure, la connettività che manca, e al tempo stesso i vincoli entro cui muoversi, la scarsità di utenti che rende difficile ogni modello economico e l'esigenza di generare valore vero e non assistenza. Le sezioni seguenti scendono nel dettaglio di due criticità specifiche che la geografia genera e che il progetto è particolarmente attrezzato ad affrontare, l'isolamento infrastrutturale e logistico e il divario digitale, perché è lì, nel superamento del vincolo fisico

dei collegamenti materiali e immateriali, che una piattaforma aerea trova la sua ragione più forte.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti primari sul territorio e letteratura di settore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Sintesi del dominio sulle aree interne e studi dell'istituto di statistica sulla demografia e sullo spopolamento, dimensioni, dinamica e proiezioni, `mkt-aree-interne` con fonti `mar_0e2652defbfc` e `mar_fb9436735ea0`
2. Censimento permanente della popolazione in Liguria, età media più alta d'Italia e calo demografico, `mar_37bbb263d2d1`
3. Studi sui borghi abbandonati della Liguria e sullo spopolamento storico delle valli, `mar_9701b0b8de26`, `mar_84e2832a75d6` e `mar_95475436ed39`
4. Analisi dei servizi mancanti nei comuni dell'entroterra genovese, `mar_a9f58afea018`
5. Studio sull'accessibilità spaziale agli ospedali in Italia e svantaggio delle aree interne, `mar_5614af272714`
6. Letteratura sul limitato successo delle politiche per le aree marginali e sul risentimento dei luoghi dimenticati, `mar_493172577d30`

1.5 L'isolamento infrastrutturale, logistico e il dissesto

L'isolamento delle aree interne liguri è iscritto nella rete stessa dei collegamenti, e va analizzato con precisione perché è la criticità che una piattaforma aerea affronta più direttamente. La geografia impone che le strade seguano i fondovalle e valichino i crinali, e questo genera una rete viaria lunga, tortuosa e fragile, in cui molti borghi sono serviti da un'unica strada che li collega al resto del mondo. Questa dipendenza da un solo collegamento è il punto debole strutturale del sistema, perché basta un evento, una frana, un ponte danneggiato, un albero caduto, a interrompere quell'unica via e a lasciare il borgo isolato, talvolta per giorni, il che in caso di emergenza sanitaria o di calamità può avere conseguenze gravi. Gli studi sulla resilienza delle reti stradali hanno mostrato come proprio l'isolamento dei nodi serviti da un solo arco sia il rischio più insidioso in territori montani, e come la vulnerabilità di un singolo ponte possa tagliare fuori intere comunità [1].

Un territorio che frana

La fragilità della rete stradale si combina con la propensione del territorio al dissesto, e qui la Liguria presenta uno dei quadri più critici d'Italia. La regione è fra le più colpite dal dissesto idrogeologico, con una parte rilevante del territorio classificata a pericolosità di frana elevata o molto elevata, e i rapporti dell'istituto nazionale di ricerca ambientale dedicano alla Liguria una trattazione specifica proprio per l'intensità del fenomeno [2]. Le frane, innescate dalle piogge intense sempre più frequenti e favorite dalla fragilità geologica del flysch e dall'abbandono dei terrazzamenti descritti nella prima sezione, colpiscono i versanti, sbarrano le strade, danneggiano i borghi e mettono a rischio le persone, e la loro interazione con la rete viaria è documentata da studi che ne quantificano l'impatto sui collegamenti [3]. A questo si aggiunge il rischio degli incendi boschivi, che d'estate minacciano i boschi e i borghi di un territorio dove l'abbandono ha lasciato crescere la vegetazione infestante e ha ridotto la manutenzione, in un secondo circolo vizioso in cui lo spopolamento aumenta il combustibile

disponibile e quindi il rischio. Frane d'inverno e incendi d'estate fanno di questo un territorio che, come si è detto altrove nello studio, frana e brucia, e la sua sorveglianza continua è un bisogno reale che oggi è coperto in modo insufficiente.

La logistica dell'ultimo miglio in montagna

Oltre alla vulnerabilità delle strade c'è il costo ordinario di percorrerle, cioè la difficoltà logistica di portare beni e servizi fino ai borghi dispersi. Raggiungere una manciata di case in fondo a una valle o su un crinale, per consegnare un farmaco, portare un tecnico, effettuare un controllo, richiede tempi lunghi e costi sproporzionati rispetto al numero di persone servite, ed è questa antieconomicità dell'ultimo miglio in montagna a spingere i servizi a ritirarsi verso i centri più grandi. Gli studi sui modelli di mobilità e sull'accessibilità delle aree interne hanno analizzato come i sistemi di trasporto tradizionali, pensati per flussi consistenti fra centri popolosi, mal si adattino a un territorio di domanda rada e dispersa, e come servano soluzioni diverse, flessibili e a chiamata, per non lasciare scoperte le comunità [4]. È esattamente in questo spazio, quello dei collegamenti a domanda rada e in territorio difficile, che un mezzo aereo capace di raggiungere in linea retta un borgo isolato, portando un piccolo carico o raccogliendo un dato, offre un'alternativa che la logistica su strada non può eguagliare in efficienza, perché non paga il pedaggio dell'orografia.

Il deficit infrastrutturale riconosciuto

Che l'infrastruttura delle aree interne liguri sia carente è riconosciuto dalla stessa programmazione regionale, che vi ha dedicato strumenti di pianificazione dedicati. Il piano regionale delle infrastrutture e della mobilità e il libro bianco sulle priorità infrastrutturali liguri fotografano il divario fra la dotazione delle aree costiere e quella dell'entroterra, e individuano nel collegamento delle aree interne una priorità, riconoscendo che la coesione del territorio passa per la capacità di raggiungere e servire anche le sue parti più remote [5][6]. Questo riconoscimento istituzionale è importante per il progetto per due ragioni. La prima è che conferma, con l'autorevolezza della pianificazione pubblica, che il bisogno a cui il progetto risponde è reale e prioritario. La seconda è che colloca il progetto dentro un quadro di politiche già orientate a colmare quel divario.

Che cosa ne consegue

L'isolamento infrastrutturale e logistico consegna al progetto un insieme di bisogni precisi e ben delimitati. C'è il bisogno di sorvegliare un territorio fragile e a rischio, i versanti che possono franare, i boschi che possono bruciare, le infrastrutture che possono cedere, per prevenire i danni e intervenire in fretta. C'è il bisogno di mantenere un collegamento con i borghi anche quando la strada si interrompe, per l'emergenza e per la continuità dei servizi essenziali. E c'è il bisogno di raggiungere in modo efficiente comunità piccole e disperse che la logistica su strada serve male e a caro prezzo. Sono tutti bisogni che nascono dal vincolo fisico dei collegamenti materiali, e sono tutti bisogni che un mezzo aereo, che vola sopra le frane e le strade interrotte e raggiunge in linea retta i borghi isolati, è particolarmente attrezzato ad affrontare. Resta però un secondo grande vincolo, quello dei collegamenti immateriali, cioè della connettività digitale, che la sezione seguente analizza nella sua fisica e nella sua economia.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti primari sul territorio e letteratura di settore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studi sulla resilienza delle reti stradali e sull'isolamento delle comunità per il cedimento di un singolo collegamento, `mar_2ea2c5faee28`
2. Rapporto dell'istituto nazionale di ricerca ambientale sulle frane in Liguria e quadro nazionale del dissesto idrogeologico, `mar_13fbcf3d4356` e `mar_46afcd2b416d`
3. Studio sull'impatto delle frane sulle reti stradali, `mar_9f05c86da0b0`
4. Studi sui modelli di mobilità e sull'accessibilità delle aree interne, sistemi flessibili per la domanda rada, `mar_6454acd67188` e `mar_e477085f9509`
5. Piano regionale delle infrastrutture e della mobilità della Liguria, `mar_7198bbdae746`
6. Libro bianco sulle priorità infrastrutturali liguri, divario fra costa ed entroterra, `mar_263ce47141cc`

1.6 Il divario digitale e la fisica del segnale

Questa sezione affronta la criticità della connessione, in particolare la fisica per cui l'orografia ostacola la propagazione del segnale, mentre la sezione seguente affronta il problema economico per cui le infrastrutture che rimedierebbero costano troppo. Cominciare dalla fisica è importante perché mostra che il divario digitale delle aree interne non è solo un ritardo negli investimenti, che pure c'è, ma ha una radice nella natura stessa del territorio, la stessa orografia che isola le strade isola anche le onde radio.

La misura del divario

I dati fotografano un divario ampio e persistente. In Italia soltanto una minoranza degli abbonamenti raggiunge le velocità elevate ormai considerate standard in Europa, con una quota di connessioni ad almeno 100 megabit al secondo ben inferiore alla media europea, e il divario territoriale è netto, perché la percentuale di famiglie con accesso a internet a casa scende sensibilmente dal Nord al Sud e, all'interno di ogni regione, dai centri urbani alle aree interne [1]. Ma è il dato di punta a colpire, perché in alcune zone montane la connettività disponibile è ancora dell'ordine di pochi megabit al secondo, una velocità che oggi rende difficile persino le attività digitali più ordinarie, dallo studio a distanza al lavoro da remoto alla telemedicina, e che di fatto esclude quelle comunità dall'economia e dai servizi digitali [2]. A questo si aggiunge un divario di competenze, perché nelle aree più svantaggiate anche chi avrebbe accesso spesso non possiede le competenze digitali di base per usarlo, in un doppio svantaggio che si autoalimenta. Il divario digitale è una nuova forma di marginalità, che si somma a quella fisica e la aggrava, perché tempo un territorio non connesso è un territorio ancora più isolato di quanto la sola geografia lo renda.

Perché l'orografia ferma il segnale

Per capire perché il segnale fatica ad arrivare bisogna ricordare come si propagano le onde radio, ed è qui che l'orografia entra in gioco. I segnali della telefonia mobile e delle reti senza fili viaggiano in linea di vista, cioè si propagano bene quando fra l'antenna che trasmette e il ricevitore non ci sono ostacoli, mentre vengono bloccati o fortemente attenuati dai rilievi che si frappongono. In un territorio pianeggiante una singola antenna elevata copre un'ampia area circostante, ma in un territorio di valli strette e profonde come l'entroterra ligure ogni

rilievo crea un cono d'ombra dietro di sé, una zona in cui il segnale non arriva perché la montagna lo scherma, e i borghi che si trovano in quelle ombre, in fondo alle valli o dietro un crinale, restano scoperti anche se un'antenna esiste poco lontano ma dall'altra parte del monte. A questo si aggiunge il fenomeno del cammino multiplo, per cui in un terreno montuoso il segnale rimbalza sui versanti e arriva al ricevitore per più strade sfasate fra loro, degradando la qualità della comunicazione, un effetto che gli studi sulla propagazione in terreno montuoso hanno analizzato in dettaglio [3]. La conseguenza pratica è che coprire un territorio orografico complesso richiederebbe non poche grandi antenne ma moltissime piccole antenne, una per ogni valle e talvolta una per ogni tratto di valle, ciascuna a servire pochi utenti, ed è proprio questa moltiplicazione dei punti necessari, imposta dalla fisica della propagazione, a rendere il problema non solo tecnico ma economico, come la sezione seguente mostrerà.

La fibra e i suoi limiti in montagna

La soluzione più solida al divario, la fibra ottica, incontra nell'orografia un ostacolo diverso ma altrettanto serio. La fibra non soffre dell'ombra dei rilievi perché è un cavo, ma proprio per questo va posata fisicamente lungo il territorio, scavando o appendendo il cavo per chilometri e chilometri di valli tortuose per raggiungere borghi con poche decine di abitanti, un'opera lunga e costosa. Il piano nazionale per la banda ultralarga, che mira a portare la connettività veloce anche nelle aree dove il mercato non investe, le cosiddette aree bianche, procede proprio per questo con lentezza, accumulando ritardi che le stesse istituzioni di controllo hanno rilevato, con un ritardo stimato di almeno 2 anni sugli obiettivi e con criticità gestionali documentate [2][4]. Il risultato è che le comunità montane restano spesso in coda nella posa della fibra, ultime a essere raggiunte proprio perché le più costose da raggiungere, in un ordine di priorità che la logica economica impone e che la programmazione pubblica fatica a rovesciare. Nel frattempo, dal basso, sono nate iniziative comunitarie che tentano di aggirare il problema costruendo reti senza fili a lungo raggio gestite dalle comunità stesse, un fenomeno interessante che dimostra insieme la gravità del bisogno e i limiti delle soluzioni improvvisate, perché queste reti restano fragili e di capacità limitata [5].

Che cosa ne consegue

La fisica del segnale spiega dunque perché il divario digitale delle aree interne liguri sia così ostinato, perché la stessa orografia che allunga le strade e frana sui versanti scherma le onde radio e rende antieconomica la posa dei cavi. Non è un problema che si risolve con un solo grande investimento, perché il vincolo è distribuito, una moltitudine di piccole ombre radio e di lunghi tratti di cavo da posare per pochi utenti, ed è questa distribuzione a rendere ogni soluzione terrestre costosa e lenta. Da qui nasce l'idea, che il progetto porta, di aggirare il vincolo dall'alto, perché un ripetitore posto in quota, su un velivolo che sorvola la valle, vede in linea di vista il fondovalle e i versanti che dal basso si schermano a vicenda, e può portare temporaneamente la connessione dove le antenne terrestri non arrivano, senza dover costruire l'infrastruttura fissa che la fisica e l'economia rendono proibitiva. Prima di descrivere questa soluzione, però, conviene misurare con precisione il secondo termine del problema, cioè quanto davvero costerebbero le infrastrutture tradizionali e perché il mercato da solo non le realizza, ed è il tema della sezione seguente.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti primari sul territorio e letteratura di settore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studi sul divario digitale territoriale in Italia e sull'indice europeo di digitalizzazione, differenze fra aree e velocità di connessione, `mar_ccb332a382c8` e `mar_e929ca6493c9`
2. Analisi sulla connettività delle comunità di montagna e delle aree interne, zone ancora a pochi megabit al secondo e ritardo del piano nazionale, `mar_c2ab14eebc4d`
3. Studio sulla propagazione del segnale e sul cammino multiplo in terreno montuoso, `mar_d961325d9d54`
4. Rilievi dell'istituto di controllo sui ritardi e sulle criticità del piano nazionale per la banda ultralarga, `mar_8923d3da2a8a`
5. Studio su una rete senza fili comunitaria come tentativo dal basso di colmare il divario, `mar_5e5de327055b`

1.7 L'economia delle infrastrutture e il fallimento del mercato

La fisica spiega perché il segnale fatica ad arrivare, ma è l'economia a spiegare perché nessuno lo fa arrivare, ed è una distinzione decisiva, perché mostra che il divario delle aree interne non si colma semplicemente decidendo di volerlo colmare, dato che si scontra con una logica di costi che né il mercato né la spesa pubblica riescono a piegare facilmente. Questa sezione analizza quella logica, perché è comprendendo perché le infrastrutture tradizionali costano troppo che si capisce lo spazio per una soluzione diversa. Il cuore del problema sta in una caratteristica delle infrastrutture di rete, cioè che il loro costo dipende soprattutto dall'estensione del territorio da coprire e pochissimo dal numero di persone servite, cosicché in un territorio vasto e poco popolato il costo per singolo utente diventa proibitivo.

Il costo che non scende con gli utenti

Portare la fibra ottica costa una cifra dell'ordine di alcune migliaia di euro per ogni edificio raggiunto nelle aree urbane, e molto di più nelle aree rurali e montane, dove le distanze fra un edificio e l'altro sono grandi e il terreno è difficile [1]. Questo costo è in larga parte indipendente dal fatto che nell'edificio vivano 10 persone o una sola, perché lo scavo, il cavo e i lavori sono gli stessi, e la conseguenza è che il costo per utente cresce in modo esplosivo al diminuire della densità abitativa. In una città un chilometro di scavo serve centinaia di famiglie e il costo si diluisce, mentre in una valle dell'entroterra lo stesso chilometro può servirne una manciata, e il costo per famiglia diventa 10 o 100 volte maggiore. Lo stesso vale per le antenne della telefonia mobile, perché ogni antenna ha un costo di installazione e di gestione che va recuperato dagli utenti che serve, e dove gli utenti sono pochi e per giunta, come si è visto, ne servono molte per via delle ombre orografiche, il conto non torna. È questa aritmetica spietata, e non la cattiva volontà, a lasciare le aree interne per ultime, perché a parità di investimento un operatore raggiunge molti più clienti stendendo la rete in città che in montagna.

Il fallimento del mercato e il ricorso al pubblico

Da questa aritmetica discende quello che gli economisti chiamano un fallimento del mercato, cioè una situazione in cui il meccanismo dei prezzi non produce l'esito socialmente desiderabile, perché nessun operatore privato investe dove non recupera l'investimento. È

proprio per questo che esistono le cosiddette aree bianche, definite come le zone in cui nessun operatore ha in programma di portare la connettività veloce perché non conviene, e che per questo richiedono l'intervento pubblico, il quale interviene sussidiando l'infrastruttura là dove il mercato si ritira [2]. Lo Stato ha stanziato per questo scopo cifre ingenti, con un progetto per le aree bianche dell'ordine di centinaia di milioni di euro e un investimento complessivo per il piano di banda ultralarga di svariati miliardi, eppure, come si è visto, il piano procede in ritardo, perché anche con il sussidio pubblico la posa fisica dei cavi in territori difficili resta lenta e complessa [2]. Va aggiunto, con l'onestà che lo studio si impone, che la letteratura sui grandi progetti infrastrutturali documenta una sistematica sottostima dei costi in fase di programmazione, per cui i costi reali tendono a superare quelli previsti, il che aggrava ulteriormente la difficoltà di coprire le aree meno redditizie [3]. La conseguenza è che affidarsi alla sola infrastruttura terrestre, di mercato o pubblica, condanna le aree interne a un'attesa lunga e incerta.

L'alternativa satellitare e il suo prezzo nascosto

Di fronte alla lentezza delle reti terrestri, la tentazione più immediata è quella satellitare, cioè portare la connessione dall'alto attraverso le grandi costellazioni commerciali che oggi offrono banda larga da tutto il mondo. È una soluzione tecnicamente valida per raggiungere i luoghi più remoti, ma porta con sé due prezzi, uno economico e uno strategico. Sul piano economico il servizio satellitare ha un costo per unità di banda che resta elevato e ricorrente, e che grava sull'utente finale o su chi sussidia il servizio [4]. Sul piano strategico, e questo è il prezzo più insidioso, affidarsi a una costellazione straniera come Starlink, dell'azienda statunitense SpaceX, significa esporsi alla dipendenza da un operatore che può degradare o spegnere il servizio a proprio piacimento e sotto la cui giurisdizione i dati transitano, una questione di sovranità che lo studio affronta nel capitolo dedicato ai dati e alla sovranità digitale. L'accordo dell'ordine del miliardo e mezzo di euro che lo Stato italiano ha valutato proprio con SpaceX per i servizi di Starlink è emblematico di questa tensione fra la comodità della soluzione e il rischio della dipendenza [4]. La connettività satellitare straniera, dunque, risolve il problema fisico ma ne apre uno strategico, e non è la risposta che un territorio che voglia controllare il proprio destino può accettare senza riserve.

Lo spazio per una soluzione diversa

Da questa analisi economica emerge con chiarezza lo spazio per una soluzione diversa, che non sostituisca le infrastrutture terrestri là dove hanno senso ma le integri e le anticipi dove non arrivano, e che eviti insieme il costo proibitivo della rete fissa in bassa densità e la dipendenza della connettività satellitare straniera. Quella soluzione è un mezzo aereo che porti dall'alto, in modo mobile e temporaneo, la connessione e la raccolta dei dati dove servono e quando servono, senza costruire l'infrastruttura fissa che l'economia rende insostenibile e senza cedere il controllo a operatori stranieri. Non è una soluzione a tutto, perché come lo studio chiarisce la copertura di un velivolo a bassa quota è locale e non regionale, ma è precisamente la risposta giusta alla natura distribuita e intermittente del bisogno delle aree interne, dove non serve coprire in permanenza un'intera regione ma portare connessione in una valle durante un'emergenza, in un cantiere di soccorso, in un evento che ha messo fuori uso le reti. La sezione seguente descrive in dettaglio quali soluzioni il progetto offre alle criticità analizzate finora, mostrando come la piattaforma aerea aggiri il vincolo fisico ed economico che condanna le soluzioni tradizionali.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti primari sul territorio e letteratura di settore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Analisi sui costi della fibra ottica per edificio e sul loro aumento nelle aree rurali, `leg_2e52f79ee220`
2. Obiettivi e investimenti del piano nazionale per la banda ultralarga nelle aree bianche e ritardi documentati, `mar_e929ca6493c9` e `mar_8923d3da2a8a`
3. Letteratura sulla sistematica sottostima dei costi nei grandi progetti infrastrutturali pubblici, `mar_39bd0e0a4f9c`
4. Analisi sul costo della connettività satellitare e sull'accordo nazionale con l'operatore straniero, con le relative questioni di sovranità, `mar_b2d3306900b0` e `leg_4ba64930f17d`

1.8 Le soluzioni che il progetto offre al territorio

Le sezioni precedenti hanno costruito una diagnosi, un territorio la cui geografia difficile genera isolamento fisico e digitale, dissesto e spopolamento, e le cui criticità resistono sia al mercato sia alle politiche tradizionali perché nascono da un vincolo fisico che le soluzioni terrestri pagano a caro prezzo. Questa sezione mostra la terapia che il progetto propone, cioè come una piattaforma aerea modulare aggiri quel vincolo portando dall'alto ciò che a terra arriva con difficoltà, e lo fa collegando ogni criticità analizzata a una risposta concreta, rimandando ai capitoli tecnici per il dettaglio del velivolo e dei suoi carichi. Il principio unificante è semplice e va enunciato con chiarezza, perché un mezzo che vola in linea retta e osserva e collega dall'alto non paga il pedaggio dell'orografia che condanna le strade, i cavi e le antenne, e proprio questa capacità di ignorare i rilievi è ciò che rende una soluzione aerea adatta a un territorio come questo.

Portare la connessione dove il segnale non arriva

Alla criticità del divario digitale il progetto risponde con il carico utile di connettività, il ripetitore aereo descritto nel capitolo tecnico, che trasforma il velivolo in un nodo di rete volante capace di portare connessione dove le antenne terrestri non arrivano. Un ripetitore posto in quota, sorvolando una valle, vede in linea di vista il fondovalle e i versanti che dal basso si schermano a vicenda per via delle ombre orografiche, e può quindi coprire temporaneamente un'area che le antenne fisse lascerebbero scoperta, senza costruire l'infrastruttura permanente che la fisica e l'economia rendono insostenibile in bassa densità. Va ribadita con onestà, come lo studio fa nel capitolo tecnico, la natura di questa copertura, che è locale e non regionale, dell'ordine della singola valle o del singolo borgo e non dell'intera regione, e temporanea, legata alla durata della missione. Ma è precisamente questa natura locale e mobile a corrispondere al bisogno reale delle aree interne, dove non serve coprire in permanenza una regione dall'alto, cosa che richiederebbe una piattaforma troppo costosa, ma portare connessione in una valle isolata durante un'emergenza, in un cantiere di soccorso, in un evento che ha messo fuori uso le reti terrestri, o raccogliere i dati di una rete di sensori sparsi sul territorio portandoli dove altrimenti non arriverebbero. Ed è una connessione che, come il capitolo sui dati approfondisce, può essere governata in modo sovrano, senza cedere il controllo a operatori stranieri, il che risponde alla preoccupazione strategica che la connettività satellitare commerciale solleva.

Sorvegliare il territorio fragile

Alla criticità del dissesto e del rischio naturale il progetto risponde con la capacità di osservazione, che il capitolo sui carichi utili declina nei sensori ottici e termici, nel sensore laser tridimensionale e nel radar. Un velivolo di lunga persistenza può sorvolare a lungo i versanti a rischio di frana misurandone i movimenti, seguire un principio di incendio individuandolo con l'infrarosso anche di notte e attraverso il fumo, controllare lo stato dei terrazzamenti e delle infrastrutture, e fornire alle autorità e alle comunità un'informazione tempestiva che oggi manca o arriva tardi. In un territorio che frana d'inverno e brucia d'estate, e in cui la fragilità è aggravata dall'abbandono, questa sorveglianza continua dall'alto è un bisogno reale e insufficientemente coperto, e la piattaforma aerea vi risponde con un'efficienza che i controlli a terra, lenti e costosi su un territorio impervio, non possono eguagliare. Non a caso, come si è ricordato, lo stesso territorio dell'Antola è già stato studiato con rilievi aerei da drone, segno che la strada è praticabile e in parte già battuta.

Mantenere il collegamento e raggiungere i borghi

Alla criticità dell'isolamento infrastrutturale, con la sua rete di strade fragili e di borghi serviti da un'unica via interrompibile, il progetto risponde su due fronti. Da un lato la capacità di trasporto, con il modulo di carico che porta piccoli carichi come farmaci e materiale sanitario, permette di raggiungere in linea retta un borgo isolato quando la strada è interrotta da una frana o semplicemente quando il collegamento su gomma sarebbe troppo lento e costoso per il poco che c'è da consegnare, offrendo quella logistica dell'ultimo miglio in territorio difficile che i sistemi tradizionali servono male. Dall'altro la connettività di emergenza già descritta ristabilisce il contatto con un borgo tagliato fuori, permettendo le comunicazioni e la telemedicina anche quando la strada e le reti fisse sono fuori uso. Sono risposte che non sostituiscono le infrastrutture ma le integrano proprio nei momenti e nei luoghi in cui esse falliscono, cioè nell'emergenza e nell'estrema perifericità, che sono esattamente le condizioni in cui il territorio è più vulnerabile.

Sostenere l'agricoltura, l'ambiente e i servizi

Alle criticità economiche e sociali del territorio il progetto risponde infine con la raccolta di dati al servizio dell'agricoltura, dell'allevamento e dell'ambiente, con i sensori multispettrali che mappano lo stato delle colture e dei pascoli permettendo un'agricoltura di precisione anche su appezzamenti piccoli e frammentati come quelli di montagna, e con il monitoraggio ambientale che sostiene la gestione del territorio e delle aree protette. In un contesto in cui l'agricoltura di montagna è marginale e faticosa, strumenti che ne aumentano l'efficienza e ne riducono i costi possono fare la differenza fra un'attività che resiste e una che si abbandona, con tutto ciò che l'abbandono comporta anche in termini di dissesto. E poiché, come le sezioni sugli attori mostreranno, il valore generato resta sul territorio sotto forma di lavoro qualificato, contribuendo a quella creazione di valore economico sostenibile che la lezione del fallimento delle politiche assistenziali indica come la vera via.

Un principio, non una promessa magica

Conviene chiudere con una precisazione di metodo, perché lo studio non vuole vendere una soluzione miracolosa ma valutarne onestamente la portata. La piattaforma aerea non risolve tutte le criticità delle aree interne, e non sostituisce le infrastrutture terrestri dove esse hanno senso, la fibra nei centri più popolosi, le strade principali, i presidi sanitari. Ciò che offre è la capacità di aggirare il vincolo fisico dell'orografia proprio dove quel vincolo rende

le soluzioni terrestri troppo costose o troppo lente, cioè nell'estrema perifericità, nella bassa densità, nell'emergenza, che sono le condizioni tipiche e più critiche delle aree interne. È un complemento potente e mirato, non un sostituto universale, e la sua forza sta proprio nel corrispondere alla natura distribuita, intermittente e localizzata del bisogno di questi territori.

1.9 Firmamento Technologies, Legacoop Liguria e la rete cooperativa del territorio

Una buona soluzione tecnica non basta se manca chi la realizzi, e questa sezione analizza in dettaglio il tessuto cooperativo entro cui il progetto vive, distinguendo con cura tre ruoli che sarebbe facile confondere. Ci sono i partner fondamentali del suo sviluppo e della sua fattibilità, Legacoop Liguria e Coopfond, che aprono a Firmamento il sistema cooperativo e ne finanziano lo studio. E c'è la rete delle cooperative del territorio, radicata proprio nelle aree interne che il progetto vuole servire, che non pilota i droni ma è il partner di prossimità, il beneficiario e spesso il cliente del servizio. Tenere ferma questa distinzione è essenziale, perché l'ancoraggio cooperativo del progetto non è una cornice retorica imposta dal bando ma la scelta più coerente con la natura del territorio e del servizio, a condizione di non confondere l'operatore con la rete che lo circonda.

La tradizione cooperativa a cui Firmamento appartiene

Il modello giuridico e culturale entro cui Firmamento Technologies si colloca è quello cooperativo, e in particolare quella sua declinazione, la cooperativa di comunità, pensata specificamente per rispondere ai bisogni collettivi di un territorio e per crearvi occupazione, mettendo al centro non il profitto ma la cittadinanza e la coesione della comunità. La Liguria è stata la prima regione del nord Italia a riconoscere e sostenere questo modello, con una legge regionale del 2015 che definisce le cooperative di comunità e ne promuove lo sviluppo come strumento per rafforzare il tessuto sociale ed economico delle aree fragili [1]. È un dato non secondario, perché colloca il progetto dentro un quadro normativo regionale favorevole e maturo, e perché testimonia che la Regione considera da anni questo modello una risposta alle criticità delle aree interne. Il fenomeno è in crescita in tutta Italia, con oltre 200 imprese di comunità attive, molte delle quali nate proprio per offrire nuove opportunità economiche o per supplire a servizi mancanti [2]. Che l'operatore del servizio sia esso stesso una cooperativa, e non un fornitore commerciale qualunque, iscrive dunque Firmamento in una tradizione radicata e sostenuta dalla Regione, e va ricordato che le cooperative hanno mostrato storicamente un comportamento anticiclico, reggendo le crisi meglio delle società di capitali, il che rende un operatore di questa natura particolarmente adatto a un contesto fragile e a un progetto di lungo respiro [2].

La rete cooperativa già mobilitata attorno al progetto

Il progetto non parte da un'ipotesi astratta di radicamento territoriale ma da una rete concreta di cooperative del territorio che lo sostengono già, un insieme articolato e rappresentativo del tessuto delle aree interne liguri. Questa rete non è l'operatore del servizio, ruolo che spetta a Firmamento, ma ne è il partner di prossimità, insieme il primo interlocutore che apre l'accesso alle valli e alle comunità e il destinatario naturale dei dati che il servizio produce. Vi figura una cooperativa capofila che coordina il coinvolgimento del territorio, e accanto ad essa un ventaglio di cooperative di natura diversa che rispecchia la varietà dei bisogni e delle vocazioni delle valli. Ci sono cooperative di comunità in senso proprio, come quella della

Val Pentemina nell'entroterra genovese, che già oggi partecipa a iniziative di valorizzazione turistica e culturale del suo territorio, o come quelle delle Terre del Magra e altre radicate nelle valli, che incarnano il modello della comunità che si organizza per non morire [3]. Ci sono cooperative agricole, come quelle dedicate all'olivicoltura e alla gestione dei fondi agricoli di montagna, che rappresentano l'agricoltura marginale a cui i sensori del progetto possono dare sostegno e che dei dati raccolti sono i clienti più diretti. C'è una comunità energetica cooperativa, segno di un territorio che sperimenta forme nuove di autoproduzione e condivisione delle risorse. Ci sono cooperative sociali e imprese sociali, portatrici della vocazione ai servizi alla persona che nelle aree spopolate e anziane è cruciale. E c'è un consorzio che tiene insieme parte di questa rete. È un tessuto che copre le diverse valli e le diverse funzioni, dall'entroterra genovese allo spezzino delle Terre del Magra, e che dimostra come l'iniziativa abbia già radici reali nel territorio e non sia calata dall'alto, offrendo a Firmamento la porta d'accesso alle comunità e la domanda di prossimità su cui il servizio si appoggia.

Perché l'operatore giusto è una cooperativa radicata

La ragione per cui è opportuno che a operare il servizio sia una cooperativa come Firmamento, e non un fornitore commerciale esterno, sta nella coincidenza fra la natura cooperativa e la natura del servizio. Una cooperativa ha un interesse diretto e non speculativo al benessere del territorio in cui opera, a differenza di un operatore commerciale che gestirebbe il servizio come un business qualsiasi e porterebbe altrove il valore generato e i dati raccolti. Che l'operatore sia Firmamento, cooperativa inserita nel sistema Legacoop e alleata della rete cooperativa delle valli, garantisce che il lavoro qualificato che ne nasce, la conduzione delle missioni, l'elaborazione dei dati, la manutenzione, resti ancorato al territorio e ai suoi obiettivi, contrastando lo spopolamento con l'unica arma che davvero lo contrasta, la creazione di prospettive e di occupazione dove non ce ne sono. Inoltre, come il capitolo tecnico ha mostrato, molte scelte del progetto, dall'autonomia che riduce il personale necessario alla facilità di manutenzione, dalla preferenza per componenti controllabili alla sovranità del dato, hanno senso proprio in funzione di un operatore che è una cooperativa con risorse contenute e con l'esigenza di controllare il proprio strumento di lavoro senza dipendere da fornitori esterni incontrollabili. La forma cooperativa dell'operatore, in altre parole, non è un vincolo che il progetto tollera ma la condizione per cui il progetto ha senso.

Il ruolo fondamentale di Legacoop Liguria e di Coopfond

Se Firmamento è l'operatore e la rete territoriale è il partner di prossimità, sono Legacoop Liguria e Coopfond i partner fondamentali senza i quali il progetto non esisterebbe nella forma attuale. Il progetto si colloca esplicitamente dentro il mondo di Legacoop, la centrale cooperativa che con il suo fondo mutualistico Coopfond sostiene lo sviluppo delle cooperative, e questo legame è insieme la fonte del finanziamento dello studio e la garanzia di un ancoraggio istituzionale solido. È Coopfond, nell'ambito del programma Cooding II che dà il nome al bando, a finanziare questo studio di fattibilità, un contributo che testimonia l'interesse concreto del settore cooperativo per l'iniziativa e la sua volontà di investire nella sua maturazione [4]. Legacoop Liguria, dal canto suo, è l'associazione di rappresentanza che apre a Firmamento le porte del sistema cooperativo regionale, e porta con sé una rete di competenze, di relazioni e di strumenti che il progetto può mobilitare, dalla capacità di aggregare le cooperative del territorio a quella di dialogare con le istituzioni regionali e nazionali, collegando l'iniziativa a esperienze affini come la collaborazione fra Legacoop e associazioni ambientaliste liguri per la promozione delle cooperative di comunità, che mostra un ecosiste-

ma attivo e orientato proprio allo sviluppo delle aree interne [1]. È dentro questo ecosistema, e non isolatamente, che Firmamento si muove, e questo ne rafforza la fattibilità perché lo dota di un capitale relazionale e istituzionale che una start-up isolata non avrebbe. Per questa ragione lo studio richiama Legacoop Liguria e Coopfond non come sponsor formali ma come partner sostanziali della fattibilità, il cui coinvolgimento continuo è una condizione di successo tanto quanto le verifiche tecniche.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Legge regionale della Liguria sulle cooperative di comunità e collaborazione fra Legacoop e associazioni ambientaliste liguri, `mar_98703fc88edc`, `mar_1fc274b29766` e `mar_66c84873152a`
2. Studi sulle imprese di comunità in Italia e sul comportamento anticiclico delle cooperative, `mar_e3774be9288e` e `mar_629096f59205`
3. Cooperativa di comunità della Val Pentemina di Legacoop Liguria e rete delle cooperative del territorio, `mar_57450b8214a3` ed elenco delle cooperative a supporto del progetto, `proj_elenco-cooperative`
4. Documento del fondo mutualistico Coopfond sul contributo allo studio di fattibilità del progetto, `proj_reg-uff-coopfond-2025u0001593-24-10-2025-progettohale-c`

1.10 Gli interventi pubblici della Regione Liguria

L'ultimo attore decisivo per la fattibilità del progetto è la Regione Liguria, che è insieme il quadro istituzionale entro cui il progetto si muove, un potenziale cliente dei suoi servizi e un partner nei suoi finanziamenti. Analizzare gli interventi pubblici regionali sulle aree interne è quindi essenziale, perché mostra che il progetto non nasce in un vuoto di politiche ma si innesta su un impianto di programmazione già orientato a colmare il divario dell'entroterra, e perché individua i canali concreti e gli enti da coinvolgere per portarlo dallo studio all'attuazione. Il quadro che emerge è favorevole, perché la Regione ha da tempo posto le aree interne fra le proprie priorità e ha attivato strumenti e risorse a cui il progetto può agganciarsi.

La Strategia per le Aree Interne in Liguria

Lo strumento centrale è la declinazione regionale della Strategia Nazionale per le Aree Interne, che in Liguria ha individuato per il ciclo di programmazione in corso otto aree, per un totale di 102 comuni, e vi ha convogliato risorse statali e regionali [1]. La Regione ha di recente ampliato questo perimetro, riconoscendo nuove aree interne e stanziando complessivamente oltre 50 milioni di euro di fondi statali e regionali per decine di nuovi comuni, un investimento che testimonia l'impegno crescente sul tema e che crea un contesto di risorse a cui i servizi del progetto possono attingere [2]. Ciascuna delle aree interne liguri, del resto, è dotata di una propria strategia d'area elaborata con i comuni del territorio, dall'entroterra dell'Antola e del Tigullio all'alta Val di Vara, dall'alta Valle Arroscia al comprensorio del Beigua, e queste strategie individuano i bisogni prioritari di ciascun territorio, dalla sanità ai trasporti alla connettività, offrendo al progetto una mappa già tracciata dei fabbisogni su cui costruire i propri servizi [1][3]. Agganciarsi a queste strategie d'area, e in particolare a quella dell'area dell'Antola che è il sito pilota, è la via naturale per inserire il servizio del progetto dentro la programmazione pubblica esistente anziché proporlo come un'iniziativa isolata.

I fondi disponibili e la loro combinazione

Oltre alle risorse specifiche della strategia per le aree interne, il progetto può attingere a una pluralità di canali di finanziamento che la Regione gestisce o intermedia, e che il capitolo economico dettaglia ma che qui vanno inquadrati nel loro radicamento regionale. Ci sono i fondi europei della programmazione in corso, il fondo per lo sviluppo regionale e il fondo sociale, che la Regione programma e che finanziano l'innovazione, la coesione territoriale e l'occupazione, ambiti in cui il progetto rientra pienamente [4]. C'è il programma di sviluppo rurale, che sostiene l'agricoltura e i territori rurali e che è pertinente alle applicazioni agricole e ambientali del progetto [5]. Ci sono i fondi nazionali per la ripresa e per le aree interne, che si combinano con quelli europei. E c'è il ruolo dell'associazione dei comuni liguri, che accompagna la programmazione europea sul territorio e che è un interlocutore prezioso per aggregare la domanda dei piccoli comuni [6]. La forza del progetto sta nel poter combinare questi canali, facendo pagare lo sviluppo dai fondi della ricerca e dell'innovazione industriale, come il capitolo economico spiega, e agganciando i ricavi del servizio alla domanda pubblica ricorrente che questi fondi regionali alimentano.

Gli strumenti della co-progettazione

Un aspetto particolarmente favorevole del quadro regionale è che la Regione Liguria riconosce da tempo il Terzo settore e le cooperative come co-attori delle politiche pubbliche, e ne ammette il coinvolgimento attraverso gli strumenti della cosiddetta amministrazione condivisa, cioè la co-programmazione e la co-progettazione, che permettono a una cooperativa di sviluppare servizi condivisi con l'ente pubblico senza dover necessariamente passare per le gare d'appalto tradizionali [7]. La Regione gestisce il registro degli enti del Terzo settore e ha già pubblicato avvisi di co-progettazione con impegni economici significativi, dimostrando che questo canale è operativo e non solo teorico [7][8]. Per il progetto questo è decisivo, perché offre a Firmamento Technologies, in quanto cooperativa qualificata, una via strutturata e più agile per portare il servizio alla Regione e ai comuni, e perché salda i due attori, la rete cooperativa e la Regione, in un modello di collaborazione che il capitolo sul modello cooperativo e la governance sviluppa in dettaglio. È attraverso la co-progettazione, più che attraverso la vendita di un prodotto, che il servizio del progetto può trovare la sua strada verso la domanda pubblica del territorio.

Gli enti da coinvolgere

Da questa analisi discende con chiarezza quali enti il progetto debba coinvolgere per passare dallo studio all'attuazione, ed è utile elencarli perché la fattibilità operativa dipende dalla costruzione di queste relazioni. Al centro c'è la Regione Liguria, con i suoi settori competenti per le aree interne, per l'agricoltura, per la protezione civile, per l'innovazione e per il Terzo settore, che è insieme programmatore delle risorse, cliente potenziale dei servizi e partner della co-progettazione. Accanto ci sono le unioni e le aggregazioni dei comuni delle aree interne, e in particolare quelle dell'area pilota dell'Antola, che sono i titolari delle strategie d'area e i primi destinatari dei servizi. C'è l'associazione dei comuni liguri, utile ad aggregare la domanda dispersa dei piccoli enti. C'è l'ente di gestione del parco dell'Antola, interlocutore naturale per le applicazioni di monitoraggio ambientale nel sito pilota. E c'è la finanziaria regionale, lo strumento attraverso cui la Regione veicola parte dei propri sostegni alle imprese, che può essere un canale per il finanziamento della fase pilota. Costruire per tempo queste relazioni, come il capitolo economico e quello cooperativo raccomandano, è parte integrante del percorso di fattibilità, tanto quanto le verifiche tecniche.

Che cosa ne consegue

Il quadro degli interventi pubblici regionali consegna al progetto un contesto istituzionale favorevole e ricco di appigli, con una strategia per le aree interne dotata di risorse crescenti, una pluralità di fondi combinabili, strumenti di co-progettazione già operativi che valorizzano proprio le cooperative, e un insieme di enti individuabili con cui costruire le relazioni necessarie. È un contesto che riduce il rischio del progetto, perché lo colloca dentro politiche già orientate ai suoi stessi obiettivi e gli offre canali di finanziamento e di domanda radicati sul territorio, e che al tempo stesso ne condiziona l'attuazione, perché richiede la costruzione paziente delle relazioni istituzionali e l'aggancio alle strategie d'area esistenti. Con l'analisi del territorio, delle sue criticità, delle soluzioni del progetto e dei suoi attori, cooperativi e pubblici, il quadro dell'area di riferimento è completo, e la sezione conclusiva del capitolo può tirare le fila traducendo tutto questo in requisiti concreti per il velivolo e per il servizio, che i capitoli seguenti dello studio svilupperanno.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti primari sul territorio e letteratura di settore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Dossier regionale della Strategia per le Aree Interne in Liguria e strategie delle aree, `mar_26afbd8609c7` e `proj_dossier-snai`
2. Ampliamento delle aree interne liguri e stanziamento di oltre 50 milioni di euro per i nuovi comuni, `mar_ca762ffc5f5c`
3. Strategie d'area delle aree interne liguri, dall'Antola e Tigullio all'alta Valle Arroscia, alla Val di Vara e al Beigua, `mar_7674236546ba`, `mar_52cfcd264616`, `mar_c5c4ca29db06` e `mar_079aa8f19195`
4. Strategia della Regione Liguria sui fondi nazionali ed europei per le aree interne, `mar_e2f883113a84`
5. Descrizione del territorio nel programma di sviluppo rurale della Liguria, `mar_2851931f1f30`
6. Documento dell'associazione dei comuni liguri sulla programmazione europea, `mar_e115e540e820`
7. Avviso della Regione Liguria di co-progettazione con gli enti del Terzo settore e quadro regionale del welfare, `leg_94a99d41b6b9` e `leg_9b43962d83d4`
8. Sintesi del dominio sul diritto del Terzo settore e sull'amministrazione condivisa, `law-thirdsector`

1.11 Dal bisogno al requisito

Il capitolo ha costruito una diagnosi completa dell'area di riferimento, e può ora tradurla in ciò che allo studio serve davvero, cioè in requisiti concreti per il velivolo e per il servizio, perché è questa traduzione a fare da ponte fra l'analisi del territorio e i capitoli tecnici, economici e organizzativi che seguono. La diagnosi si può riassumere in una catena causale, un'orografia difficile che genera isolamento fisico e digitale, dissesto e spopolamento, criticità che resistono al mercato e alle politiche tradizionali perché nascono da un vincolo fisico costoso da rimuovere a terra, e che chiamano quindi uno strumento capace di aggirare quel vincolo dall'alto. Da ciascun anello di questa catena discende un requisito, e vale la pena renderli espliciti perché sono la specifica a cui il resto dello studio risponde.

I requisiti che il territorio impone

Dalla lontananza in tempo dei borghi, generata dai rilievi, discende il requisito della lunga persistenza in volo e della capacità di operare oltre l'orizzonte visivo del pilota, perché un mezzo che deve sorvegliare a lungo valli remote e raggiungere punti lontani dietro i crinali non può essere legato alla vista diretta né a poche decine di minuti di autonomia. Dalla mancanza di spazi pianeggianti e di piste nei fondovalle stretti discende il requisito della capacità di decollo e atterraggio verticale da spazi confinati, perché in molti borghi non c'è modo di lanciare o recuperare un velivolo ad ala fissa con i metodi tradizionali. Dalla varietà dei bisogni, la connettività di emergenza, il trasporto di farmaci, la sorveglianza del dissesto e degli incendi, il monitoraggio agricolo, discende il requisito della modularità, cioè della capacità di cambiare missione sostituendo il carico utile sulla stessa piattaforma, perché sarebbe insostenibile un mezzo diverso per ogni bisogno. Dal divario digitale e dalla sua fisica discende il requisito del carico utile di connettività, il ripetitore capace di portare rete dove le antenne terrestri non arrivano. Dalla natura ventosa delle valli discende il requisito della capacità di penetrare il vento, e dalla quota dei rilievi quello di operare in un territorio a energia elevata. Dalla preoccupazione per la sovranità discende il requisito del controllo nazionale del dato. E dalla natura cooperativa dell'operatore, con le sue risorse contenute, discendono i requisiti dell'autonomia che riduce il personale, della facilità di manutenzione e del basso costo di esercizio. Sono tutti requisiti che i capitoli seguenti assumono come dati, e che trovano la loro origine, come si vede, nell'analisi del territorio svolta in questo capitolo.

La coerenza con il resto dello studio

Questa traduzione dei bisogni in requisiti mostra la coerenza dell'intero studio, perché le scelte tecniche del velivolo, la lunga persistenza ibrida, il decollo verticale modulare, la classe compatta capace di volare oltre l'orizzonte, il vano intercambiabile, il ripetitore di connettività, la sovranità del dato, non sono capricci ingegneristici ma risposte puntuali alle criticità del territorio qui analizzate. Allo stesso modo, le scelte organizzative ed economiche, l'operatività cooperativa, il modello a servizio, l'aggancio alle politiche regionali e ai fondi, rispondono alla natura degli attori e del contesto qui descritti. Il capitolo dei requisiti di missione formalizza questa traduzione in una specifica operativa, il capitolo sul confronto delle architetture sceglie il velivolo che meglio la soddisfa, i capitoli tecnici lo sviluppano, e i capitoli su normativa, dati, cooperative ed economia ne curano le condizioni di attuazione. L'analisi dell'area di riferimento, dunque, non è un capitolo introduttivo che si può saltare ma la radice da cui l'intero studio germoglia, e ogni scelta successiva vi affonda la propria giustificazione.

CAPITOLO 2

Analisi di mercato e delle applicazioni

IN BREVE

Dimensiona la domanda con prudenza: un mercato professionale da 168 milioni di euro che cresce piano e in cui l'hardware è una merce. Il valore difendibile sta nel servizio e nelle nicchie a domanda pubblica ricorrente.

168 M€	+5%	675
MERCATO ITALIANO 2025	CRESCITA ANNUA	IMPRESE ATTIVE

NEL CAPITOLO

2.1 Che cosa dice l'analisi, in breve . . . 30
2.2 Come è stata costruita l'analisi . . . 30
2.3 Il quadro del mercato dei droni, globale, europeo e italiano . . . 31
2.4 La connettività e le piattaforme d'alta quota . . . 38
2.5 La consegna medicale e la telemedicina . . . 47
2.6 Il monitoraggio dei rischi naturali, dissesto e incendi . . . 57
2.7 L'ispezione delle infrastrutture lineari . . . 66
2.8 L'agricoltura di precisione e l'osservazione della Terra . . . 74
2.9 La ricerca e soccorso e la protezione civile . . . 83
2.10 La sorveglianza marittima istituzionale . . . 92
2.11 La protezione delle infrastrutture critiche sottomarine . . . 100
2.12 Il panorama competitivo . . . 107
2.13 La mappa dei finanziamenti attivabili . . . 116
2.14 Il modello di business e la disponibilità a pagare . . . 125
2.15 Il mercato aggredibile per il progetto e la strategia di ingresso . . . 133

Il capitolo precedente ha fotografato i bisogni delle aree interne liguri e ha spiegato perché a quei bisogni possa rispondere una piattaforma aerea a pilotaggio remoto. Questo capitolo compie il passo successivo e chiede se, oltre al bisogno, esista un mercato, cioè una domanda disposta a pagare e abbastanza ampia da sostenere l'impresa. È la parte più estesa dello studio perché è l'analisi di mercato a dire se il progetto stia in piedi e in quale direzione conviene spingerlo. Un errore di valutazione qui si propaga a tutte le scelte tecniche, normative ed economiche dei capitoli seguenti, e per questo la trattazione è dettagliata, quantitativa e prudente sulle cifre.

La domanda non va cercata soltanto nell'entroterra ligure che dà origine al progetto, ma nell'intero ventaglio dei servizi che un mezzo aereo modulare può offrire, quello che nel gergo del settore si chiama downstream, ossia tutto ciò che sta a valle del volo. Per questo l'analisi allarga lo sguardo dalla nicchia territoriale delle aree interne, e lo fa seguendo l'ordine di priorità che il mandato del bando impone, partendo dai servizi che rispondono direttamente ai bisogni dell'entroterra, la connettività nelle emergenze, il trasporto e la consegna sanitaria, l'osservazione e il monitoraggio del territorio con le sue applicazioni ai rischi naturali, alle infrastrutture lineari e all'agricoltura, estendendosi poi al soccorso e al controllo dei confini. È da questa scala più ampia, e in particolare dalle nicchie a domanda pubblica ricorrente, che può venire la domanda pagante capace di reggere un prodotto che nelle sole aree interne non troverebbe da solo la propria sostenibilità.

2.1 Che cosa dice l'analisi, in breve

Chi non ha tempo di leggere tutte le sezioni può tenere a mente poche conclusioni che le attraversano. Il mercato dei droni cresce a ritmo sostenuto nel mondo e in Europa, ma in Italia resta piccolo, dell'ordine dei 160 milioni di euro, servito da poche centinaia di operatori in consolidamento e trainato in modo netto dalla domanda pubblica, così piccolo che non c'è spazio per un fornitore generico e serve occupare una nicchia difendibile. Le sezioni sono presentate nell'ordine che il mandato del bando impone, cioè partendo dai servizi che rispondono ai bisogni delle aree interne, la connettività, il trasporto e la consegna sanitaria, l'osservazione e il monitoraggio del territorio, e lasciando per ultime le nicchie istituzionale della sorveglianza marittima e del dominio subacqueo. Va però detto con franchezza, e le sezioni lo documentano una per una, che è proprio in queste ultime nicchie istituzionale, insieme al monitoraggio dei rischi naturali e all'ispezione delle infrastrutture lineari, che si trova oggi la domanda pagante più solida, mentre la promessa originaria della connettività, che pure resta il legame più diretto con il mandato del bando, si rivela un mercato ancora piccolo.

2.2 Come è stata costruita l'analisi

Ogni cifra riportata è, per la natura del settore, direzionale più che esatta, perché le stime dei diversi analisti divergono. Per questo il testo distingue sempre il dato verificato dalla stima, dichiarando quando una cifra è una valutazione dell'analista, e per la stessa ragione sono state escluse alcune cifre a effetto che la verifica interna aveva già smentito, come la copertura di un milione di chilometri quadrati attribuita a una piattaforma d'alta quota, la stima di miliardi di persone prive di connessione e alcune valutazioni gonfiate del mercato del posizionamento satellitare, richiamate soltanto per essere scartate.

2.3 Il quadro del mercato dei droni, globale, europeo e italiano

Prima di ragionare sulle nicchie che il progetto può presidiare conviene fissare le proporzioni del terreno di gioco, perché è proprio dal confronto fra la taglia dei mercati esteri e la modestia di quello nazionale che discende la scelta strategica di fondo dello studio. La piattaforma nasce per essere venduta come servizio, e il mercato dei servizi da drone è oggi un mercato mondiale ampio e in crescita ordinata, un mercato europeo più dinamico della media globale, e un mercato italiano piccolo, in decelerazione e sostenuto in modo crescente dalla domanda pubblica. Tenere insieme questi tre piani, senza confondere le cifre aggregate globali con lo spazio realmente accessibile in Italia, è la premessa di ogni stima successiva.

Il mercato globale e la migrazione del valore verso il servizio

Il riferimento più solido sul mercato mondiale è il Global Drone Market Report 2026-2035 di Drone Industry Insights, che stima il mercato civile dei droni in crescita da 44,4 miliardi di dollari nel 2026 a 83,0 miliardi nel 2035, con un tasso composto annuo del 7,2 per cento [1]. È un dato che va preso con l'avvertenza importante che quel perimetro comprende applicazioni commerciali, ricreative e istituzionale ma esclude i sistemi di classe superiore, i sistemi counter-drone e le piattaforme per il trasporto passeggeri [1]. In altre parole è il mercato dei droni al lavoro, non quello degli armamenti né quello speculativo degli aerotaxi.

Il messaggio che questo report porta a chi vende un servizio, e non un velivolo, è ancora più rilevante della cifra assoluta. Nel 2026 i servizi rappresentano il 78,5 per cento del mercato civile mondiale dei droni, l'hardware pesa per il 17 per cento e il software per il restante 4,5 per cento [1]. Il valore, cioè, non risiede nel drone in quanto oggetto ma in tutto ciò che lo rende utile dentro un processo operativo, dalla raccolta del dato alla sua trasformazione in informazione per decidere. I verticali che trainano l'impiego commerciale sono l'edilizia, l'energia e l'agricoltura, tre comparti in cui il drone serve a mappare, ispezionare e monitorare, con la consegna in ambito sanitario, emergenziale e logistico come frontiera più immatura [1]. Questa geografia del valore è la migliore giustificazione di mercato per un modello dato-come-servizio come quello scelto da Firmamento, e chiarisce perché competere sull'hardware sarebbe una battaglia persa in partenza.

Che sia una battaglia persa lo dice la struttura dell'offerta di velivoli. Un'unica azienda, la cinese DJI, controlla circa il 90 per cento del mercato commerciale mondiale dei piccoli UAV [2]. Chi entra oggi vendendo ore di volo con hardware di quello scaffale non possiede alcun fossato competitivo, perché lo stesso hardware è alla portata di chiunque. Il fossato, semmai, sta nella capacità operativa, nella persistenza, nell'integrazione dei payload e nella sovranità del dato, che sono esattamente i terreni su cui una piattaforma proprietaria long-endurance può differenziarsi. Vale la pena ricordare, come termine di paragone storico e non come misura del mercato odierno, che la nota analisi PwC Clarity from Above quantificava già anni fa un mercato indirizzabile dei servizi da drone superiore a 127 miliardi di dollari, con le infrastrutture a 45,2 miliardi e i trasporti a 13 miliardi come segmenti più ricchi [3]. È una stima di mercato potenziale, un TAM teorico da non scambiare per fatturato reale, ma indica dove si concentra la disponibilità a pagare. Sul segmento specifico e più immaturo della consegna, una stima commerciale a fonte singola vede il mercato mondiale passare da 472 milioni di dollari nel 2024 a circa 5,76 miliardi nel 2032 [4], cifra da trattare come direzionale vista l'unicità della fonte e la nota fragilità operativa della delivery.

Su questo sfondo lo studio mette deliberatamente da parte tre cifre-slogan che circolavano nelle versioni originarie del progetto e che il controllo delle fonti primarie ha smentito o ricondotto a un perimetro diverso. Non si userà la copertura di un milione di chilometri quadrati

per una singola piattaforma d'alta quota, sovrastimata di circa un ordine di grandezza [5]. Non si userà il bacino dei circa 2 miliardi e sei di persone prive di connessione come misura di un mercato aggredibile, perché è un dato di divario sociale e non una domanda pagante trasferibile a un velivolo a bassa quota. Non si userà il mercato del posizionamento satellitare indicato tra 300 e 580 miliardi, che è una grandezza globale del downstream GNSS mondiale e non un mercato europeo né tantomeno il mercato del progetto [5]. Rinunciare a queste tre cifre non indebolisce l'analisi, la rende difendibile.

Il mercato europeo, più veloce della media mondiale

Sceso di un gradino, il mercato europeo dei droni commerciali è stimato da Grand View Research in 7,63 miliardi di dollari nel 2024, con proiezione a circa 12,96 miliardi nel 2030 e un tasso composto annuo del 9,3 per cento [6]. Il dato è confermato dal riscontro incrociato delle fonti ed è interessante per un motivo preciso, ovvero che l'Europa cresce più in fretta del mondo, il 9,3 per cento contro il 7,2 per cento globale. È un mercato che parte da una base più piccola di quella statunitense ma che si muove con decisione, spinto da un quadro regolatorio che l'Unione ha costruito attivamente con lo U-space e con la Drone Strategy 2.0, e che vede la domanda istituzionale come motore. Lo conferma la stessa dimensione del canale pubblico europeo, se si pensa che dal 2001 l'Unione ha pubblicato oltre 360 bandi legati ai droni per circa un miliardo di euro complessivi, di cui una ventina nel solo 2022 per quasi 90 milioni [12]. La stessa dinamica di servitizzazione emerge nel modello di erogazione. Una stima a fonte singola attribuisce al mercato europeo del drone-come-servizio un tasso composto annuo del 24,5 per cento fino al 2034 [7], cifra da leggere come segnale di direzione più che come valore puntuale, ma coerente con la migrazione verso i servizi già vista a livello mondiale.

Attorno al drone si muove un mercato adiacente che conviene tenere d'occhio perché il progetto ne è di fatto un abilitatore, quello dell'osservazione della Terra. Il mercato europeo dei servizi di Earth Observation è stimato in crescita da 3,5 miliardi di euro nel 2024 a 7,9 miliardi nel 2034, con l'agricoltura come segmento maggiore [8]. È un dato di testata confermato, ma è utile precisare subito che le due sotto-cifre che spesso lo accompagnano, cioè i circa 2,8 miliardi che salirebbero a 6,7 miliardi di servizi a valore aggiunto e la quota del 21 per cento attribuita all'agricoltura, non sono verificabili in modo indipendente e non vanno citate come dati certi finché non si legge il rapporto integrale [8]. La cautela metodologica qui è la stessa applicata agli slogan globali. Vale come contesto anche l'accelerazione dei modelli a servizio nell'intera space economy, dove la servitizzazione è ormai la norma più che l'eccezione, come conferma il fatto che in Italia il mercato dei servizi di osservazione della Terra vale circa 340 milioni di euro nel 2025 con una crescita del 17 per cento e che il 62 per cento delle imprese del comparto spaziale adotta o valuta modelli as-a-service [9].

Il mercato italiano, piccolo e in decelerazione

Sceso all'ultimo gradino, il quadro cambia di natura. Il mercato professionale italiano dei droni e della mobilità aerea avanzata, misurato dall'Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata del Politecnico di Milano sui segmenti business e pubblica amministrazione, valeva 160 milioni di euro nel 2024 con una crescita del 10 per cento [10], ed è arrivato a 168 milioni nel 2025 con una crescita del 5 per cento [11]. Sono cifre confermate dal riscontro incrociato delle fonti e vanno lette insieme alla loro traiettoria, che è la parte più eloquente. Il mercato valeva 117 milioni nel 2019, ha risentito della flessione del biennio successivo e ha recuperato i livelli pre-pandemici nel 2022 con 118 milioni, per poi crescere in modo tumultuoso con

incrementi del 29 per cento nel 2021, del 26 per cento nel 2022 e del 23 per cento nel 2023, prima di rallentare bruscamente al 10 per cento nel 2024 e al 5 per cento nel 2025 [11]. La stessa direttrice dell'Osservatorio parla della necessità di un cambio di passo per trasformare le moltissime sperimentazioni in servizi commerciali continuativi, e segnala che sul piano internazionale solo il 15 per cento circa dei progetti con droni ha raggiunto la piena operatività [11]. Il contrasto con il sentimento degli operatori è netto, perché nelle rilevazioni recenti quasi 8 operatori su dieci si dicevano convinti di una forte crescita del mercato nel triennio successivo, un ottimismo che la decelerazione dei numeri reali non ha finora premiato [12]. Il mercato italiano, insomma, è tecnicamente maturo ma economicamente ancora fragile, e la sua crescita si sta appiattendo proprio mentre l'Europa accelera.

La distribuzione interna del valore spiega perché sia un mercato difficile per un nuovo entrante generalista. Le Aerial Operations, cioè i servizi di volo compiuti da droni di piccola e media taglia per attività tradizionali come l'ispezione di linee elettriche o il monitoraggio del territorio, generano tra il 95 e il 96 per cento del valore complessivo, mentre l'Innovative Air Mobility and Delivery, che comprende consegne e trasporto persone, si ferma al 4-5 per cento e nel 2025 è cresciuta di appena 1,3 milioni di euro [10][11]. La quasi totalità del mercato, quindi, è concentrata sulle applicazioni più mature e più facilmente commoditizzabili, quelle in cui il prezzo è la principale leva competitiva. La tabella seguente sintetizza la traiettoria del mercato e della sua struttura industriale nel periodo recente, tenendo distinti i valori confermati dalle stime ricostruite per interpolazione fra gli anni-cardine.

Anno	Valore mercato mln EUR	Crescita annua	Imprese attive	Quota Aerial Operations
2019	117	livello pre-pandemia	n.d.	prevalente
2021	circa 94 (stima)	+29%	713	prevalente
2022	118	+26%	706	prevalente
2023	circa 145 (stima)	+23%	663	circa 96%
2024	160	+10%	657	96%
2025	168	+5%	675	95%

La struttura dell'offerta conferma la diagnosi. Le imprese attive erano 713 nel 2021 e 706 nel 2022, sono scese a 663 nel 2023 e a 657 nel 2024, per risalire a 675 nel 2025, primo saldo positivo fra aperture e cessazioni dopo 5 anni [11][12]. Il settore è in fase di consolidamento, con circa il 5 per cento di imprese che ogni anno cessa l'attività, per lo più piccole e nate di recente, contro circa il 2 per cento di nuove nascite [10]. A dare la misura di quanto il grosso dell'attività sia lavoro professionale diffuso e a bassa barriera concorre il parco registrato, cresciuto dai circa 60.000 droni e 87.000 operatori del 2022 ai 148.000 droni e 185.000 operatori del 2025, di cui però appena l'8 per cento è a uso professionale mentre il 92 per cento resta ricreativo [11][12]. Gli ambiti applicativi professionali prevalenti rilevati dall'Osservatorio restano le ispezioni e i sopralluoghi intorno al 43 per cento, la sicurezza e sorveglianza intorno al 18 per cento e la ricerca e soccorso intorno al 12 per cento [12]. È il ritratto di un mercato affollato di piccoli operatori di servizi che si contendono lo stesso lavoro standardizzato. Un segnale che il quadro operativo si stia comunque sbloccando arriva dalle autorizzazioni al volo oltre la linea di vista, salite a 44 nel 2025 con un incremento del 57 per cento sull'anno precedente, e dall'attivazione a San Salvo della prima zona U-space europea, condizioni abilitanti proprio per i servizi a lunga persistenza su cui il progetto si posiziona [11].

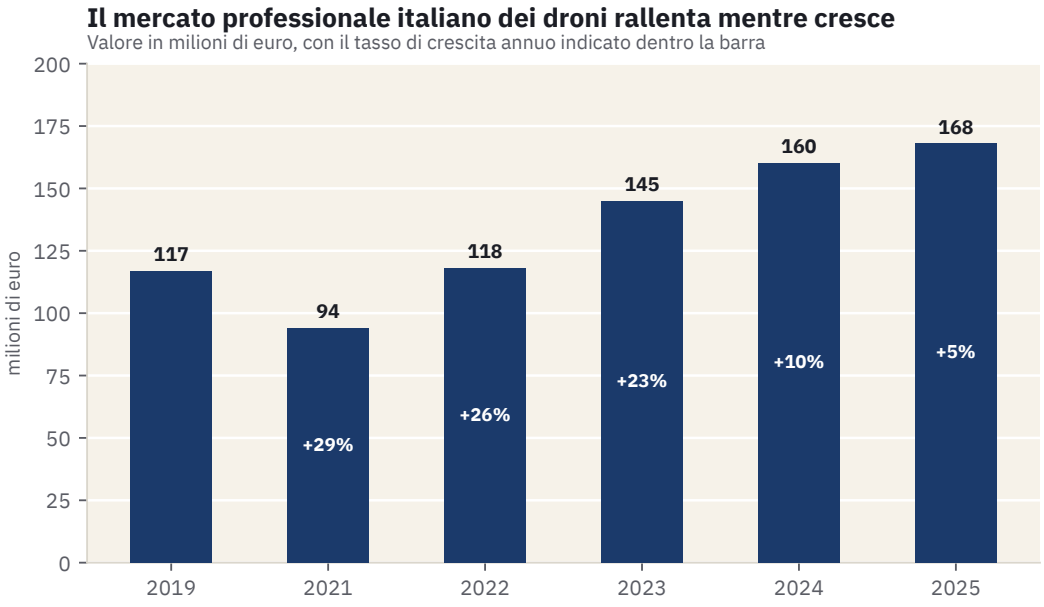
Un punto va tenuto rigorosamente separato per non gonfiare le stime. Accanto ai 168 milioni del mercato professionale reale circola una cifra molto più grande, quella del comparto al-

largato droni più mobilità aerea avanzata stimato da PwC Strategy&, che vale 503 milioni nel 2024, 597 milioni nel 2025 ed è proiettato a circa 1,46 miliardi nel 2030 [13]. Quella proiezione, però, ingloba componenti in larga parte ancora ipotetiche o di natura diversa, perché al suo interno il trasporto passeggeri passerebbe da 37 a 366 milioni e la componente istituzionale da 152 a 349 milioni tra il 2025 e il 2030 [13], mentre il solo segmento cargo salirebbe da 84 milioni nel 2025 a 284 milioni nel 2030 [14]. Sono stime a confidenza media, utili come ordine di grandezza dell'ambizione di settore ma non come misura dello spazio aggredibile oggi da un servizio di monitoraggio con velivolo compatto. Confondere i 168 milioni del mercato operativo con l'1,46 miliardi del comparto allargato sarebbe l'errore metodologico più grosso possibile in questa sezione. Un discorso analogo vale per il mercato adiacente dei droni marini e subacquei, che in Italia è stimato passare da 63,4 milioni nel 2022 a 189 milioni nel 2030 all'interno di un mercato mondiale che salirebbe da 5,9 a 18,9 miliardi di euro [15], rilevante per la nicchia istituzionale ma anch'esso da citare come stima direzionale.

La crescita di questo piccolo mercato, infine, va letta con una distinzione che il progetto non può permettersi di trascurare. In termini di valore corrente il mercato è ancora in larghissima parte privato, tanto che la domanda pubblica pesa soltanto per circa il 10 per cento del giro d'affari secondo l'Osservatorio [11]. Eppure è proprio la componente pubblica e istituzionale a esprimere la disponibilità a pagare più solida, più ricorrente e meno sensibile al prezzo, ed è la direttrice lungo cui l'analisi consolidata della ricerca preliminare di mercato colloca l'espansione più rapida del settore, trainata dal comparto pubblico e dalle infrastrutture [18]. Le applicazioni ad alto valore pubblico, dalla logistica sanitaria al monitoraggio ambientale, dall'agricoltura di precisione alla ricerca e soccorso, sono quelle su cui il settore si muove con più convinzione, e l'accettazione sociale segue la stessa logica del valore salvavita, tanto che il 93 per cento dei cittadini considera utile il trasporto di materiale medico-sanitario tramite droni, l'84 per cento è favorevole al trasporto merci e il 73 per cento al trasporto persone, con quest'ultima quota salita dal 57 per cento del 2020 [11]. Dietro questa domanda ci sono risorse pubbliche ingenti, dalla Strategia Nazionale per le Aree Interne con i 198,6 milioni della delibera CIPESS 41 del 2022 [5] ai 2,49 miliardi che il PNRR destina al dissesto idrogeologico e ai circa 1,08 miliardi del piano MASE per la mitigazione del rischio [16], fino ai modelli regionali già operativi come i 5 milioni con cui la Calabria finanzia una rete di stazioni-drone per l'allerta incendi [5]. Sul versante marittimo istituzionale la disponibilità a pagare è ancora più chiara, con l'agenzia europea EMSA che acquista servizi di sorveglianza a contratto quadro dell'ordine di 30 milioni di euro ciascuno e li eroga gratuitamente agli Stati [5]. È spesa attivabile attraverso il canale degli appalti pubblici, dove il ricorso al mercato elettronico della pubblica amministrazione è obbligatorio sopra i 5.000 euro [17], e questo definisce il modo stesso in cui un fornitore deve conquistare il mercato.

Il posizionamento dell'Italia e l'assenza di spazio per un fornitore generico

Messe in fila le tre grandezze, il posizionamento dell'Italia è quello di un mercato periferico e ritardatario rispetto all'Europa. Convertendo i 160 milioni di euro del 2024 in dollari a un cambio prudenziale intorno a 1,07 si ottengono circa 170-175 milioni di dollari, il che colloca l'Italia attorno al 2 per cento appena del mercato europeo dei droni commerciali stimato in 7,63 miliardi di dollari, una stima di rapporto da prendere come indicativa vista la parziale differenza di perimetro fra le due fonti [6][10]. Non solo l'Italia è piccola, ma cresce più lentamente, perché il suo 5 per cento del 2025 è circa la metà del 9,3 per cento europeo e sta sotto anche al 7,2 per cento mondiale [1][6][11]. La lettura che ne dà lo stesso Osservatorio, che intitola la propria ricerca al test della competitività, è quella di un ecosistema con solide



Fonte: Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata del Politecnico di Milano. I valori 2021 e 2023 sono ricostruiti per interpolazione fra gli anni rilevati.

Figura 2.1. Il mercato professionale italiano dei droni fra il 2019 e il 2025, con il tasso di crescita annuo.

competenze tecnologiche e normative ma incapace finora di scattare, dove Amazon ha ridimensionato i piani di consegna e le occasioni-vetrina come il Giubileo non hanno mantenuto le promesse [11].

Da qui discende l'argomento centrale di questa sezione, che è anche il ponte verso le nicchie. In un mercato nazionale da meno di 200 milioni di euro, in decelerazione, per il 95 per cento fatto di operazioni aeree standardizzate, affollato da oltre 670 operatori in consolidamento e con il valore dell'hardware ormai commoditizzato dal quasi-monopolio di DJI, non esiste spazio economico per un fornitore di servizi generico. Un nuovo entrante che si limitasse a offrire ore di volo per ispezioni e mappature entrerebbe nella fascia più povera e più contendibile del mercato, quella in cui centinaia di piccoli operatori già si contendono margini sottili sullo stesso lavoro standardizzato, e lo farebbe senza alcun vantaggio difendibile né sull'hardware né sul prezzo [1][10][11]. La stessa analisi consolidata giunge a questa conclusione osservando che la struttura italiana, con circa 657 operatori professionali e le operazioni aeree a rappresentare la quasi totalità del valore, non lascia posto a un service provider indifferenziato e impone di presidiare una nicchia [18]. La via d'uscita non è un mercato più grande ma un mercato più difendibile, cioè un segmento a elevata disponibilità a pagare protetto da barriere reali, dove contano la persistenza in volo, la capacità di operare oltre la linea di vista, la modularità del payload, la sovranità del dato e l'aggancio a clienti pubblici o istituzionale ricorrenti. È precisamente lo spazio che una piattaforma compatta modulare long-endurance venduta come servizio può occupare, mentre resta precluso a chiunque provi a fare il generalista. La concentrazione mondiale del valore sui servizi, che pesano quasi l'80 per cento del mercato civile globale, dice che il margine si sposta esattamente dove il progetto vuole stare, cioè nell'integrazione operativa e nell'informazione, non nella vendita del mezzo [1].

Implicazioni per il progetto

Il dimensionamento appena svolto orienta lo studio in modo netto. La metrica corretta per valutare il progetto non è il TAM globale da decine di miliardi, che è enorme ma quasi tutto inaccessibile, bensì il mercato professionale italiano reale da 168 milioni e soprattutto la spesa pubblica attivabile che ne alimenta la crescita, perché è lì che si gioca la partita di un fornitore nazionale ancorato alle aree interne. La scelta di vendere un servizio anziché un velivolo è validata dalla struttura stessa del mercato mondiale, dove i servizi valgono quasi quattro quinti del valore e l'hardware è marginalizzato dal dominio DJI. La decisione di non fare il generalista non è una rinuncia ma la sola strategia razionale in un mercato piccolo, in consolidamento e a domanda pubblica trainante, e conduce direttamente alla logica delle nicchie difendibili e della strategia di ancoraggio pubblico che le sezioni successive svilupperanno. Il fatto che il traino della crescita sia pubblico, infine, sposta il baricentro competitivo dal prezzo di listino alla capacità di stare dentro gli appalti e dentro i programmi di finanziamento, il che privilegia un attore radicato sul territorio ligure e legato al mondo cooperativo più di quanto non privilegi la scala industriale pura.

Da questo quadro discendono quattro parametri di riferimento che i capitoli successivi useranno come base di calcolo, e conviene fissarli qui perché sono le grandezze su cui si costruisce il conto economico. Il primo è il prezzo del servizio nel segmento a valle, che gli operatori italiani certificati praticano fra 70 e 300 euro per ora di volo, con l'ispezione aerea a corpo intorno ai 250 euro e il rilievo fotogrammetrico o termografico a partire da circa 350 euro [19]; sono prestazioni brevi in vista del pilota, e costituiscono quindi il pavimento competitivo sopra il quale un servizio persistente oltre la linea di vista deve collocarsi. Il secondo è la scala del comparto agricolo, che in Italia vale 2,5 miliardi di euro nel 2025 con una crescita del 9 per cento concentrata sul software gestionale e sui sistemi di supporto alle decisioni [20], accompagnata da un prezzo di mercato del servizio aereo compreso fra 70 e 120 euro per ettaro a intervento [21]. Il terzo è il costo dell'alternativa nei rischi naturali, dove un Canadair costa fra 12.000 e 15.000 euro per ora di volo e un elicottero antincendio regionale intorno ai 2.000 [22], il che colloca il costo orario obiettivo di un velivolo leggero uno o due ordini di grandezza più in basso. Il quarto è l'estensione fisica delle reti da ispezionare, che somma i circa 63.900 chilometri di trasmissione di Terna e gli oltre 32.500 chilometri di trasporto di Snam agli oltre 1.100.000 chilometri della distribuzione elettrica [23]. Sono i quattro numeri con cui il capitolo economico lavora, e la loro disponibilità è ciò che consente di passare dagli ordini di grandezza a un conto costruito dal basso.

Note e riferimenti

1. Drone Industry Insights, Global Drone Market Report 2026-2035, ripreso da DronEzine. Mercato civile mondiale da 44,4 a 83,0 miliardi di dollari al 2035, tasso composto 7,2 per cento, servizi 78,5 per cento del mercato civile nel 2026, hardware 17 per cento, software 4,5 per cento, verticali edilizia energia agricoltura. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti (mar_abee030a8bc9).
2. CSET Georgetown, analisi del mercato UAV statunitense. DJI a circa il 90 per cento del mercato commerciale mondiale dei piccoli droni. Dato confermato (met_3dcf1c9c6ce2).
3. PwC, Clarity from Above. Mercato indirizzabile dei servizi da drone superiore a 127 miliardi di dollari, infrastrutture 45,2 miliardi e trasporti 13 miliardi. Stima di mercato potenziale, non fatturato corrente (met_374ffb57cdca).

4. Murzilli Consulting, unit economics della consegna con droni. Mercato mondiale della delivery da 472 milioni a 5.764 milioni di dollari tra 2024 e 2032. Stima a fonte singola, direzionale (met_e6158d2bdfff).
5. Dossier di controllo delle fonti e delle citazioni del progetto Ancoraggio delle cifre confermate, fra cui EMSA circa 30 milioni per contratto quadro, SNAI 198,6 milioni delibera CIPESS 41 del 2022, Calabria 5 milioni per l'allerta incendi, e smontaggio degli slogan confutati o mal attribuiti, fra cui la copertura HAPS di un milione di chilometri quadrati sovrastimata e il downstream GNSS 300-580 miliardi come dato globale e non europeo (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni).
6. Grand View Research, Europe Commercial Drone Market, ripreso nel Market Analysis Report della ricerca preliminare di mercato. Da 7,63 miliardi di dollari nel 2024 a circa 12,96 miliardi nel 2030, tasso composto 9,3 per cento. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti (proj_fase-a-analisi-di-mercato-deep-research).
7. Europe Drone-as-a-Service Market. Tasso composto stimato al 24,5 per cento fino al 2034. Stima direzionale a fonte singola (mar_6361c3d179a5).
8. EUSPA, EU Space Market Report, triangolato nel report consolidato della ricerca preliminare di mercato. Mercato europeo dei servizi di osservazione della Terra da 3,5 a 7,9 miliardi di euro tra 2024 e 2034. Cifra di testata confermata, mentre le sotto-cifre su servizi a valore aggiunto e quota agricoltura non sono verificate in modo indipendente (mar_3214e89cf7bb, proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato).
9. Osservatorio Space Economy del Politecnico di Milano via CorCom. Servizi italiani di osservazione della Terra a 340 milioni di euro nel 2025 con crescita del 17 per cento e 62 per cento delle imprese orientate a modelli as-a-service. Dato di testata a fonte secondaria (mar_e1e5160803d9).
10. ANSA e Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata del Politecnico di Milano. Mercato professionale italiano a 160 milioni di euro nel 2024, crescita 10 per cento, 657 imprese, 96 per cento del valore da Aerial Operations, settore in consolidamento con circa 5 per cento di uscite annue contro circa 2 per cento di nascite. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti (mar_884c40105d07).
11. Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata del Politecnico di Milano, dati 2025, ripresi da Osservatori.net, DronEzine e Quotidiano Nazionale. Mercato a 168 milioni di euro con crescita 5 per cento, traiettoria in decelerazione dal 29 per cento del 2021, 675 imprese primo saldo positivo in 5 anni, 95 per cento del valore da Aerial Operations, domanda pubblica al 10 per cento del valore, 148.000 droni e 185.000 operatori registrati, 44 autorizzazioni oltre la linea di vista con crescita del 57 per cento, prima zona U-space europea a San Salvo, accettazione al 93 per cento per il trasporto medico, 84 per cento per le merci, 73 per cento per le persone, e circa 15 per cento dei progetti internazionali pienamente operativi. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti (mar_c3e00d16272b, mar_5cb0ff2ebebb, mar_04465a5a4573).
12. StartupItalia ed Economyup, con base Osservatorio Politecnico di Milano. Drone economy italiana a 118 milioni di euro nel 2022, 706 imprese (713 nel 2021), circa 60.000 droni registrati di cui 92 per cento ricreativi e 8 per cento professionali, 87.007 operatori a fine 2022, applicazioni prevalenti ispezioni 43 per cento, sicurezza 18 per cento, ricerca e soccorso 12 per cento, 78 per cento degli operatori che prevede forte crescita nel triennio, e oltre 360 bandi UE sui droni dal 2001 per circa un miliardo di euro. Dato a fonte secondaria (mar_16e519dffe81, mar_21fea4a0908a).
13. PwC Strategy& Italy, studio Advanced Air Mobility. Comparto allargato droni più mobilità aerea avanzata da 503 milioni nel 2024 a 597 milioni nel 2025 e proiezione a circa 1,46

miliardi nel 2030, con sicurezza da 152 a 349 milioni e trasporto passeggeri da 37 a 366 milioni. Stima a confidenza media, perimetro più ampio del mercato professionale reale (mar_7fda798bc51a).

14. PwC Strategy& Italy via Supply Chain Italy. Segmento cargo drone italiano da 84 milioni nel 2025 a 284 milioni nel 2030. Stima direzionale (mar_622571f66381).
15. PwC Strategy& Italy via ANSA. Droni marini e subacquei in Italia da 63,4 milioni nel 2022 a 189 milioni nel 2030, mercato mondiale da 5,9 a 18,9 miliardi di euro. Stima direzionale (mar_c1bf6fd33f5b).
16. Sintesi documentale del dominio contesto di mercato e finanziamenti, con fonti primarie. Spesa pubblica attivabile per le aree interne, PNRR 2,49 miliardi al dissesto idrogeologico e circa 1,08 miliardi del piano MASE 2024 per la mitigazione del rischio idrogeologico (mar_32960b512158, mar_8ff5c1b3b272).
17. Sintesi documentale del dominio contesto di mercato e finanziamenti e piattaforma di e-procurement. Canale del mercato elettronico della pubblica amministrazione obbligatorio per la PA sopra i 5.000 euro come via di vendita dei servizi UAV (leg_e261ca4c39c9).
18. Market Analysis Report consolidato della ricerca preliminare di mercato. Struttura italiana con circa 657 operatori professionali, operazioni aeree pari a circa il 96 per cento del valore, espansione trainata dal settore pubblico e conclusione che non c'è spazio per un service provider generico ma serve una nicchia difendibile (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato).
19. Listini pubblici degli operatori professionali italiani. Tariffa fra 70 e 300 euro per ora di volo secondo la qualificazione del pilota e la classe del velivolo, ispezione aerea a corpo intorno ai 250 euro, rilievo fotogrammetrico o termografico da circa 350 euro, riferiti a operazioni brevi in vista del pilota (mar_1cdb4822039f).
20. Osservatorio Smart AgriFood del Politecnico di Milano e Università di Brescia, rilevazione 2025. Mercato italiano dell'Agricoltura 4.0 a 2,5 miliardi di euro con crescita del 9 per cento, software di gestione aziendale in crescita del 17 per cento e sistemi di supporto alle decisioni del 26 per cento (mar_d1daa12f3ea7).
21. Listini dei servizi agricoli con drone in Italia. Trattamento fra 70 e 120 euro per ettaro, vigneto fra 80 e 110 e oliveto fra 70 e 100 euro per ettaro con media intorno ai 90, pacchetti di monitoraggio multispettrale da circa 700 euro (mar_8d7ef3ba627e).
22. Costi orari dei mezzi aerei antincendio in Italia. Canadair fra 12.000 e 15.000 euro per ora di volo, elicottero pesante in convenzione fra 10.000 e 11.000 euro, elicottero antincendio regionale intorno ai 2.000 euro, oltre ai costi fissi di mobilitazione (mar_bcf2e2c567f5).
23. Estensione delle reti infrastrutturali lineari italiane. Terna con circa 63.900 chilometri di linee di trasmissione, Snam Rete Gas con 9.613 chilometri di rete nazionale e 22.928 chilometri di rete regionale di trasporto (mar_971a2d7f0750).

2.4 La connettività e le piattaforme d'alta quota

Questo segmento va affrontato con una franchezza che gli altri non richiedono, perché la connettività alle aree interne è insieme la ragione da cui il progetto è nato e il verticale su cui l'analisi di mercato consegna il verdetto più severo. La ragione di questo giudizio non è la mancanza di bisogno, che anzi è documentato e grave, ma la combinazione fra un mercato specifico ancora minuscolo e mal definito, un problema di fisica che separa il prodotto reale dalla classe di piattaforme che quel mercato serve. La sezione ricostruisce questi 4 nodi nell'ordine, il divario da colmare, il mercato delle piattaforme d'alta quota, il confronto con le alternative

e la questione della sovranità, per arrivare a spiegare con onestà perché la connettività sia debole come business e forte come funzione, e tiene separato con cura ciò che è verificato da ciò che resta stima o dato di parte.

Il divario digitale delle aree interne, misura del bisogno

Il bisogno è reale, profondo e ben quantificato, ed è la parte più solida di tutta la sezione perché poggia su fonti istituzionali e statistiche nazionali. Il punto di partenza è che l'Italia è strutturalmente indietro nella banda larga di qualità, con solo il 14 per cento degli abbonamenti ad almeno 100 Mbps contro una media dell'Unione europea del 26 per cento secondo l'indice DESI, un ritardo che il Piano Banda Ultralarga cerca di colmare puntando a coprire l'85 per cento della popolazione con velocità pari o superiori a 100 Mbps e il restante 15 per cento con almeno 30 Mbps [2][3]. Dentro questo ritardo medio si annida un divario territoriale molto più acuto, che è precisamente quello che il progetto vuole aggredire. L'accesso a Internet in casa riguarda l'89,8 per cento delle famiglie del Nord ma scende al 75,6 per cento nel Mezzogiorno, e il divario si allarga sulle competenze, perché possiede abilità digitali di base il 54,7 per cento dei residenti al Nord contro appena il 32,3 per cento al Sud, cosicché il problema non è solo di rete ma di capacità di usarla [4]. All'estremo di questa distribuzione stanno proprio le aree interne, gli oltre 4.000 comuni che valgono il 48,5 per cento dei municipi italiani e ospitano 13,3 milioni di residenti pari al 22,5 per cento della popolazione, dove l'orografia complessa e la bassa densità rendono la posa della fibra lenta e antieconomica, tanto che alcune zone montane viaggiano ancora a 3 Mbps [5][6].

Il piano pubblico che dovrebbe sanare questa frattura procede, ma con affanno, e questo è un elemento che gioca a favore di una soluzione alternativa perché apre una finestra temporale di scopertura. La Corte dei conti, con la delibera 58 del 2024, fotografa un Piano che al 1° novembre 2024 interessa 7.410 comuni e circa 8,4 milioni di unità immobiliari da coprire, di cui 6,3 milioni in fibra fino a casa e 2,1 milioni in accesso radio fisso, con l'obiettivo che il 95 per cento delle unità nelle aree bianche superi i 100 Mbps, ma segnala insieme ritardi e criticità gestionali che altre fonti quantificano in almeno 2 anni di slittamento [7][8]. Il costo pubblico non è marginale, con 941 milioni di euro di costo ammissibile per il solo progetto aree bianche approvato nel 2019 e un investimento complessivo stimato per la seconda fase del Piano di 5,1 miliardi di euro, cifre verificate che danno la misura di quanto lo Stato stia già spendendo sul problema che il velivolo promette di alleviare [2]. Va registrata infine una tensione che va tenuta presente per non vendere la connettività come panacea sociale, perché uno studio econometrico recente mostra che l'espansione della banda larga rurale a 30 e 100 Mbps tende ad aumentare la disuguaglianza di reddito, specialmente nel Mezzogiorno e nelle aree interne, il che contraddice l'assunto ingenuo che la sola rete riduca automaticamente le disparità territoriali [4]. La tabella che segue ordina i dati verificati del divario.

Indicatore	Aree deboli	Riferimento	Fonte
Abbonamenti almeno 100 Mbps	14 per cento Italia	26 per cento media UE	verificato DESI
Famiglie con Internet in casa	75,6 per cento Sud	89,8 per cento Nord	verificato ISTAT
Competenze digitali di base	32,3 per cento Sud	54,7 per cento Nord	verificato ISTAT
Velocità in alcune zone montane	3 Mbps	target Piano 100 Mbps	fonte di settore
Unità immobiliari da coprire nel Piano	8,4 milioni	6,3 mln fibra, 2,1 mln radio	verificato Corte dei conti
Investimento Fase II Banda Ultralarga	5,1 miliardi EUR	ritardo almeno 2 anni	verificato

Tavola 2.1. L'infrastruttura di telecomunicazione fissa che nelle valli interne arriva rada e tardi.

Il mercato delle piattaforme d'alta quota per telecomunicazioni

Passando dal bisogno all'offerta, il mercato delle piattaforme d'alta quota per telecomunicazioni esiste, cresce, ma è ancora piccolo e definito in modo talmente disomogeneo dalle società di analisi da imporre grande cautela nell'usarne le cifre. Una prima stima, di taglio ampio, valuta il mercato delle piattaforme d'alta quota in 1.748,5 milioni di dollari nel 2024 con proiezione a 3.102,2 milioni entro il 2032, per un tasso di crescita annuo composto del 7,43 per cento, e attribuisce ai velivoli senza pilota il 61 per cento del mercato per prodotto, alla sorveglianza il 47 per cento delle applicazioni e al comparto governativo e istituzionale il 68 per cento dell'uso finale [9]. Una seconda stima indipendente conferma l'ordine di grandezza, collocando il mercato attorno a 1,7 miliardi di dollari nel 2024 con crescita verso 3,3 miliardi entro il 2034 a un tasso del 6,8 per cento [10]. Una terza fonte, però, adottando la definizione più stretta di pseudo-satelliti stratosferici, misura un mercato di appena 85,30 milioni di dollari nel 2025 in crescita a 247,56 milioni entro il 2031, con un tasso ben più alto del 19,34 per cento e con le applicazioni di comunicazione e connettività che pesano per il 42,55 per cento dei ricavi 2025, mentre governo e sicurezza restano dominanti al 46,70 per cento [11]. Lo scarto di oltre 20 volte fra la prima e la terza stima non è un dettaglio, perché segnala che dietro l'etichetta convivono oggetti diversi, dai grandi dirigibili ai droni solari fino ai palloni, e che il mercato specifico della connettività da alta quota è ancora in una fase così precoce da non avere un perimetro condiviso, condizione tipica dei segmenti immaturi e poco adatta a fondarci sopra un conto economico. Le cifre vanno quindi lette come direzionali e di fonte privata, non come dati consolidati, e la tabella le mette a confronto proprio per rendere evidente la loro dispersione.

Fonte e perimetro	Valore iniziale	Valore finale	Crescita
Piattaforme d'alta quota, definizione ampia	1.748,5 mln USD (2024)	3.102,2 mln USD (2032)	CAGR 7,43 per cento
Piattaforme d'alta quota, seconda stima	circa 1,7 mld USD (2024)	circa 3,3 mld USD (2034)	CAGR 6,8 per cento
Pseudo-satelliti stratosferici, definizione stretta	85,30 mln USD (2025)	247,56 mln USD (2031)	CAGR 19,34 per cento

Sul piano teorico la ragione per cui la connettività da quota attrae investimenti è forte e vale la pena esporla, purché si dichiari subito che appartiene alla classe stratosferica e non al velivolo reale di Firmamento. La tesi di programma dell'agenzia britannica ARIA, che è documento di advocacy e non fonte neutra, sostiene che una piattaforma a 20 chilometri di quota gode di un'attenuazione di percorso circa seicento volte inferiore a un satellite in orbita bassa a 500 chilometri e di una latenza ridotta di oltre un ordine di grandezza, e stima che coprire l'Inghilterra costerebbe 100 milioni di sterline con piattaforme d'alta quota contro 10 miliardi con reti terrestri e un miliardo con satelliti in orbita bassa, con un investimento iniziale che per un paese in via di sviluppo di 250 milioni di abitanti scenderebbe allo 0,3 per cento del prodotto interno lordo contro il 12 per cento delle reti terrestri [12]. Sono numeri suggestivi che spiegano l'entusiasmo del settore, ma la loro forza va bilanciata con un dato di realtà e che pesa in senso opposto, perché uno studio di definizione dell'Agenzia spaziale europea condotto fra il 2002 e il 2005 stimava circa 270 milioni di euro in 10 anni per lo sviluppo di un sistema stratosferico e un costo del servizio 3G erogato da quota superiore del 30 per cento rispetto alla rete terrestre, ragione per cui gli HAPS sono considerati da oltre vent'anni tecnicamente fattibili ma economicamente non competitivi [13]. Questa è la prima

crepa nella connettività come business, e riguarda perfino la classe stratosferica che sulla carta ha i numeri migliori.

Il confronto con il satellite e le reti terrestri

Il confronto con le alternative è il punto in cui la connettività aerea rivela la sua fragilità competitiva sul terreno della copertura pura, perché il satellite in orbita bassa ha nel frattempo cambiato le regole del gioco. Starlink ha superato i 9 milioni di clienti attivi nel 2026 ed eroga già oggi, con terminali di consumo, una connettività a bassa latenza che raggiunge qualunque punto del territorio nazionale, comprese le vallate più impervie, e lo fa con un modello industriale che nessun operatore di piattaforme aeree può replicare per scala [14]. Le economie unitarie delle alternative aiutano a inquadrare il problema, perché la fibra costa dai 3.000 ai 4.000 dollari per edificio in area urbana e molto di più in area rurale, mentre la connettività satellitare tradizionale è arrivata a costare attorno ai 3.000 dollari per Mbps al mese in contesti africani, cifre che segnano quanto sia caro portare banda dove la densità è bassa e che spiegano perché nessuna singola tecnologia vinca ovunque [15][16]. La letteratura più recente, non a caso, non ragiona per sostituzione ma per complementarità, mostrando che la probabilità di interruzione del servizio scende dal 12-21 per cento di una rete singola al 2 per cento in regime di multi-connettività, ossia quando piattaforme aeree, 5G terrestre e costellazioni in orbita bassa lavorano insieme, ed è in questa cornice di ridondanza, non in quella della copertura primaria, che un nodo aereo trova la sua funzione più difendibile [17][18]. Va poi registrato a favore delle soluzioni aeree e terrestri un argomento ambientale non trascurabile, perché le megacostellazioni in orbita bassa emettono circa 250 chilogrammi di anidride carbonica equivalente per abbonato all'anno, da 6 a 8 volte più della rete 4G terrestre, il che dà alla connettività aerea una carta di sostenibilità da giocare nel racconto pubblico anche se non nel conto economico [19].

Il ripetitore aereo di vallata, il ruolo reale del velivolo

Il nodo che chiarisce tutto è che il prodotto reale non è una piattaforma d'alta quota. La scelta di sviluppare un velivolo modulare in classe compatta, sotto i 25 chilogrammi e sotto i 3 metri, ad ala fissa long-endurance con propulsione ibrida a generatore e decollo verticale modulare, colloca la macchina a quote basse e non nella stratosfera, e questo cambia radicalmente la geometria della copertura. Una piattaforma stratosferica a 20 chilometri vede un raggio dell'ordine dei 100 chilometri, mentre un velivolo che opera a poche centinaia di metri o al più a qualche chilometro di quota, entro i limiti regolamentari delle operazioni civili, vede in linea di vista un raggio di pochi chilometri o al massimo di alcune decine, quel tanto che basta a coprire una vallata o una scena di emergenza, non una regione [1][20]. Le radio disponibili confermano la scala tattica di questo footprint, perché un modem di telemetria come l'RFD900x raggiunge portate superiori ai 40 chilometri con data rate fino a 500 kbps, adatti al controllo del mezzo ma non a servire banda larga a una comunità, mentre una copertura LoRaWAN dal velivolo arriva a circa 10 chilometri ed è pensata per raccogliere e rilanciare i pochi byte dei sensori dell'Internet delle cose, non per navigare in rete [20][21]. È esattamente questa la funzione che la sintesi di dominio assegna alla connettività, quella di relè aereo tattico che monta un payload di rilancio LTE, Wi-Fi o LoRaWAN e agisce da gateway di vallata su scala locale e in emergenza, non da infrastruttura di connettività regionale [1][22].

In questa veste tattica la connettività ha un valore operativo autentico, che si salda con gli altri usi civili della piattaforma e ne rafforza la ragione d'essere anche senza generare ricavi propri. La letteratura sulle comunicazioni post-disastro individua nelle prime 72 ore

la finestra decisiva per il coordinamento dei soccorsi e colloca le piattaforme aeree fra gli abilitatori chiave del ripristino, con gli HAPS più adatti ai grandi eventi e i droni più adatti alle aree piccole, dove fungono da stazione base volante che riporta la copertura sopra una zona in cui torri e dorsali sono state distrutte da un'alluvione o da un incendio [23]. Questo è il terreno naturale del velivolo di Firmamento, perché lo stesso mezzo che sorveglia il rischio idrogeologico e mappa i danni può, con un cambio di payload, ristabilire un ponte radio temporaneo e un canale sicuro per il triage e il comando e controllo, riducendo i giorni di isolamento comunicativo che colpiscono i borghi dopo un evento estremo. L'architettura giusta per farlo esiste già come standard, perché il 3GPP ha normato le reti non terrestri nella Release 17 integrandole con il 5G, il che consente in prospettiva a un nodo aereo di dialogare con i terminali esistenti senza bisogno di apparati dedicati, e le bande sub-1GHz offrono per le aree interne il miglior compromesso fra portata e penetrazione, a prezzo di data rate contenuti [21][24]. Resta però fermo il limite di scala, che va detto senza attenuazioni, perché un piccolo velivolo a bassa quota non copre aree ampie e non fa da ponte verso le costellazioni in orbita bassa come farebbe un HAPS, e l'analogia con la piattaforma stratosferica regge solo per un posizionamento generico di relè tattico o gateway locale su scala di singola vallata, non oltre [22].

La sovranità dei dati e la dipendenza dalle costellazioni straniere

C'è un piano su cui la connettività, pur debole come mercato, diventa invece un argomento politico di prima grandezza, ed è quello della sovranità digitale. La dipendenza dell'Italia da una costellazione privata straniera è oggi un fatto e non un'ipotesi, perché l'accordo quinquennale da circa 1,5 miliardi di euro fra il governo italiano e Starlink per le comunicazioni governative e istituzionali espone il paese ai rischi del CLOUD Act statunitense, che autorizza le autorità americane ad accedere ai dati detenuti da fornitori statunitensi ovunque siano conservati, e alla possibilità di decisioni unilaterali di un'azienda privata, come il precedente della disattivazione del servizio in Crimea ha reso tangibile [25][26]. Questa esposizione si somma a un conflitto normativo strutturale, quello fra il regolamento europeo sulla protezione dei dati e il CLOUD Act, aggravato dalla sentenza Schrems II che nel 2020 ha invalidato lo scudo per i trasferimenti transatlantici, un nodo che investe qualunque servizio che tratti dati personali appoggiandosi a cloud statunitensi e che quindi tocca direttamente anche i dati raccolti da un velivolo di sorveglianza [27]. L'alternativa europea esiste ma è lontana nel tempo, perché la costellazione governativa IRIS² prevede circa 300 satelliti in architettura multi-orbita per un costo stimato di 10,5 miliardi di euro, di cui 6,5 a carico di fondi pubblici dell'Unione, e non sarà pienamente operativa prima del 2030, lasciando aperta per tutto il resto del decennio una finestra di dipendenza [14][28]. È dentro questa finestra che una capacità di connettività nazionale, anche modesta e locale, acquista un valore che il mercato non prezza ma che la politica riconosce, perché una piattaforma che opera interamente entro la giurisdizione nazionale, con un data-lake governato secondo principi di minimizzazione e con il piano di controllo in mani europee, offre esattamente quella sovranità operativa che gli strumenti nazionali come il Polo Strategico Nazionale e le iniziative europee come GAIA-X cercano di costruire [27][28]. La connettività, in altre parole, è debole quando la si misura in Mbps venduti e forte quando la si misura in autonomia strategica garantita, ed è su questa seconda scala che va pesata nel pitch verso i clienti pubblici.

Perché la connettività è debole come business e forte come funzione

Mettendo insieme i 4 nodi, la conclusione è coerente e va enunciata senza infingimenti. La connettività è debole come business autonomo per tre ragioni che si rinforzano a vicenda. La prima è che il mercato specifico delle piattaforme d'alta quota per telecomunicazioni è minuscolo e mal definito, oscillante fra qualche decina e qualche migliaio di milioni di dollari a seconda di come lo si perimetra, e trainato comunque dal comparto istituzionale più che dalla connettività civile [9][11]. La seconda è che, anche volendo entrare in quel mercato, il prodotto reale di Firmamento non è una piattaforma d'alta quota ma un velivolo a bassa quota, per cui non eredita le economie di copertura che rendono attraente l'HAPS e che comunque, dopo vent'anni, non hanno reso l'HAPS competitivo neppure per chi lo fa a 20 chilometri [13][22]. La terza è che sul terreno della copertura pura il satellite in orbita bassa, e in particolare Starlink con i suoi 9 milioni di clienti e i terminali di consumo, ha già vinto la partita del semplice portare banda dove non c'è, e nessun nodo aereo leggero può competere su quel piano [14][17]. Allo stesso tempo la connettività è forte come funzione e come gancio politico per ragioni altrettanto concrete. Come funzione, perché il relè tattico di vallata e il gateway per l'Internet delle cose sono un payload in più su una piattaforma modulare che si ripaga sugli altri servizi, e nelle 72 ore d'oro di un'emergenza valgono la continuità operativa di un territorio isolato [1][23]. Come gancio, perché il divario digitale delle aree interne è la ferita che ha originato il progetto e legittima l'intervento della Regione e delle cooperative, e perché la sovranità dei dati rispetto alla dipendenza da costellazioni straniere è un argomento che i decisori pubblici comprendono e premiano [25][27]. La mossa strategica corretta, che l'analisi di mercato indica con chiarezza, è quindi non spostare mai il caso di mercato portante sulla connettività, ma trattenerla come funzione modulare e come racconto, mentre il peso del conto economico si scarica sui verticali dove il cliente paga già, dal monitoraggio dei rischi all'ispezione lineare al marittimo istituzionale [1][22].

Implicazioni per il progetto

Ne discende un'indicazione operativa netta per lo studio. La connettività va mantenuta nel progetto come una delle configurazioni di payload della piattaforma multi-ruolo, precisamente il relè aereo con rilancio LTE, Wi-Fi e LoRaWAN e il gateway di vallata per i sensori, e va presentata per ciò che sa fare davvero, cioè ristabilire un ponte radio locale e raccogliere dati dell'Internet delle cose su scala di singola vallata e soprattutto in emergenza, senza mai promettere una copertura regionale che un velivolo a bassa quota non può erogare. Nel pitch verso i clienti pubblici la connettività va giocata su due registri diversi da quello commerciale, il registro della resilienza, mostrandola come ridondanza comunicativa che nelle prime 72 ore di un disastro riporta il segnale sopra un borgo isolato, e il registro della sovranità, presentandola come capacità nazionale che opera entro la giurisdizione italiana e riduce la dipendenza da Starlink e dalle altre costellazioni straniere per i dati sensibili del territorio. La coerenza con l'architettura modulare del prodotto è piena, perché lo stesso velivolo che porta il sensore termico per gli incendi e la camera per le frane monta il payload di rilancio per l'emergenza, e la connettività non richiede quindi una macchina dedicata ma ammortizza il proprio costo sugli altri servizi civili e istituzionale. La coerenza con la cornice del bando Cooding II e con la natura cooperativa del cliente è altrettanto forte, perché è la cooperativa di comunità di vallata il soggetto naturale che aggrega il bisogno di connettività di emergenza e di data-commons territoriale e lo trasforma in un servizio governato localmente, ed è il divario digitale documentato, con il suo 14 per cento italiano contro il 26 per cento europeo

e le sue zone a 3 Mbps, a fornire la giustificazione pubblica dell'intervento anche quando la connettività non è la voce che genera il ricavo.

Note e riferimenti

1. Sintesi decisionale consolidata dello Studio, nicchia N6 connettività aree interne a domanda pagante debole sul mercato e alta in politica, da mantenere come funzione modulare di missione con relay LTE, Wi-Fi e LoRaWAN e gateway IoT di vallata e come gancio narrativo, non come business portante, con l'avvertenza esplicita che un velivolo compatto a bassa quota non è un HAPS. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
2. Sintesi documentale del dominio connettività e scheda aree bianche Banda Ultralarga, abbonamenti almeno 100 Mbps al 14 per cento in Italia contro 26 per cento media UE secondo DESI, costo ammissibile aree bianche 941 milioni EUR approvato nel 2019, investimento Fase II del Piano stimato 5,1 miliardi EUR. Cifre verificate. (mar_e929ca6493c9)
3. Strategia italiana per la banda ultralarga di Infratel, obiettivo di copertura dell'85 per cento della popolazione ad almeno 100 Mbps e del restante 15 per cento ad almeno 30 Mbps. (mar_4b2053e81b46)
4. Studio econometrico sul divario digitale e la disuguaglianza di reddito in Italia, famiglie con accesso a Internet in casa al 75,6 per cento nel Sud contro 89,8 per cento nel Nord, competenze digitali di base al 32,3 per cento nel Sud contro 54,7 per cento nel Nord, evidenza che l'espansione della banda larga rurale a 30 e 100 Mbps aumenta la disuguaglianza di reddito nelle aree interne e nel Mezzogiorno. Fonte accademica, dato ISTAT 2023. (mar_ccb332a382c8)
5. Comunicato e analisi sulla connettività delle comunità di montagna e delle aree rurali, alcune zone montane ancora a 3 Mbps, Piano Banda Ultralarga in ritardo di almeno 2 anni. Fonte di settore. (mar_c2ab14eebc4d)
6. Studio sui modelli di mobilità e sulla perimetrazione delle aree interne, oltre 4.000 comuni pari al 48,5 per cento del totale e 13,3 milioni di residenti pari al 22,5 per cento della popolazione. (mar_6454acd67188)
7. Delibera 58 del 2024 della Corte dei conti sul Piano Banda Ultralarga aree bianche, al 1° novembre 2024 il Piano interessa 7.410 comuni e circa 8,4 milioni di unità immobiliari da coprire, di cui 6,3 milioni in fibra fino a casa e 2,1 milioni in accesso radio fisso, target del 95 per cento delle unità nelle aree bianche oltre i 100 Mbps, con ritardi e criticità gestionali segnalati. Fonte istituzionale, verificata. (mar_8923d3da2a8a)
8. Sintesi documentale del dominio connettività per la sintesi dei ritardi e degli obiettivi del Piano Banda Ultralarga e del quadro europeo Bussola per il digitale 2030. ()
9. Rapporto di mercato Credence sulle piattaforme d'alta quota, valore 1.748,5 milioni USD nel 2024 e proiezione a 3.102,2 milioni USD entro il 2032 con CAGR del 7,43 per cento, UAV al 61 per cento del mercato per prodotto, sorveglianza al 47 per cento delle applicazioni, governo e sicurezza al 68 per cento dell'uso finale. Stima di società di analisi privata, direzionale. (mar_643864714ae7)
10. Dossier di controllo delle fonti, claim D6 sulla dimensione del mercato delle piattaforme d'alta quota attorno a 1,7 miliardi USD nel 2024 verso 3,3 miliardi USD entro il 2034 a CAGR del 6,8 per cento, e claim D7 che dichiara confutata e sovrastimata di circa un ordine di grandezza la copertura di un milione di chilometri quadrati per una singola piattaforma d'alta quota. (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
11. Rapporto di mercato Mordor Intelligence sugli pseudo-satelliti d'alta quota, valore 85,30 milioni USD nel 2025 e proiezione a 247,56 milioni USD entro il 2031 con CAGR del 19,34

per cento, applicazioni di comunicazione e connettività al 42,55 per cento dei ricavi 2025, governo e sicurezza al 46,70 per cento, CAPEX di 10-50 milioni USD per piattaforma. Stima di società di analisi privata con definizione stretta, direzionale. (mar_b97e4299d9d9)

12. Tesi di programma dell'agenzia britannica ARIA sulle piattaforme atmosferiche persistenti, attenuazione di percorso circa 600 volte inferiore per una piattaforma a 20 km rispetto a un satellite a 500 km, copertura dell'Inghilterra stimata in 100 milioni GBP con piattaforme d'alta quota contro 10 miliardi con reti terrestri e 1 miliardo con satelliti in orbita bassa, investimento iniziale pari allo 0,3 per cento del PIL per un paese in via di sviluppo di 250 milioni di abitanti contro il 12 per cento delle reti terrestri. Documento di advocacy sulla classe stratosferica, da usare come indicazione direzionale. (tec_11de2eb5c8b7)
13. Studio di definizione dell'Agenzia spaziale europea sulle piattaforme stratosferiche condotto fra il 2002 e il 2005, sviluppo stimato attorno a 270 milioni EUR in 10 anni e costo del servizio 3G erogato da quota superiore del 30 per cento rispetto alla rete terrestre, alla base del giudizio che gli HAPS restano tecnicamente fattibili ma economicamente non competitivi. (met_dd6837ee1eb2)
14. Studio sulla sovranità europea nello spazio, Starlink oltre 9 milioni di clienti attivi nel 2026, costellazione governativa europea IRIS² con circa 300 satelliti in architettura multi-orbita, costo stimato 10,5 miliardi EUR di cui 6,5 da fondi pubblici UE, servizi non pienamente operativi prima del 2030. (leg_73d77bc4d6a8)
15. Analisi geopolitica su Starlink come fattore di disruzione, costo della fibra ottica di 3.000-4.000 dollari per edificio in area urbana e superiore in area rurale. (leg_2e52f79ee220)
16. Studio sperimentale sulle reti Wi-Fi a lunga distanza per aree remote, connettività satellitare tradizionale attorno a 3.000 dollari per Mbps al mese in contesti africani. Riferimento tecnico d'ordine di grandezza. (mar_b2d3306900b0)
17. Studio di misurazione su Starlink, OneWeb e 5G, probabilità di interruzione del servizio dal 12-21 per cento con rete singola ridotta al 2 per cento in regime di multi-connettività. (mar_fb265da1aa6f)
18. Studio sul divario digitale in Canada e sull'integrazione con costellazioni in orbita bassa, i droni possono fungere da backhaul temporaneo o permanente per reti 4G e 5G integrandosi con soluzioni LEO. (mar_824c528e1be3)
19. Studio sulle emissioni delle megacostellazioni in orbita bassa, circa 250 chilogrammi di anidride carbonica equivalente per abbonato all'anno, da 6 a 8 volte più della rete 4G terrestre. (leg_578fce86e948)
20. Sintesi documentale del dominio tecnologie di payload e comunicazione, altitudini delle reti non terrestri con HAPS a circa 20 km e UAV a quote basse, requisiti CNPC a data rate di 60-100 kbps con latenza di 50 ms, bande sub-1GHz come miglior compromesso fra portata e penetrazione per le aree interne. ()
21. Schede tecniche delle radio e degli standard di comunicazione UAV, modem RFD900x con portata superiore a 40 km e data rate fino a 500 kbps, copertura LoRaWAN in volo fino a circa 10 km, reti non terrestri normate dal 3GPP nella Release 17 in integrazione con il 5G. (tec_ed4fc4e1456f; tec_6724e46b7ae5; tec_316fd165c909)
22. Deep research sul downstream civile terrestre della ricerca preliminare di mercato, connettività alle aree interne come verticale civile più fragile sull'evidenza e con un problema di fisica esplicito, un piccolo drone a bassa quota non copre aree ampie né fa da ponte verso i LEO come un HAPS, l'analogia regge solo per un relay aereo tattico o gateway LoRaWAN locale su scala di singola vallata o emergenza, cifre-slogan sulla copertura HAPS confutate e da non usare, connettività da mantenere come funzione di missione e gancio politico. (proj_fase-a-downstream-civile-terrestre-deep-research)

23. Articolo sui cinque abilitatori chiave per le comunicazioni durante e dopo i disastri, finestra decisiva delle prime 72 ore, piattaforme aeree fra gli abilitatori chiave con HAPS più adatti ai grandi eventi e droni più adatti alle aree piccole come stazioni base volanti per estendere la copertura. (mar_11686e78455c)
24. Sintesi documentale del dominio sovranità digitale e AI Act per la sintesi del conflitto fra regolamento europeo sulla protezione dei dati e CLOUD Act, sentenza Schrems II, strumenti di cloud sovrano come Polo Strategico Nazionale e GAIA-X. ()
25. Analisi sul dilemma Starlink e le implicazioni per l'Italia, accordo quinquennale da circa 1,5 miliardi EUR per comunicazioni governative e istituzionali, esposizione al CLOUD Act statunitense e a decisioni unilaterali di un'azienda privata, precedente della disattivazione del servizio in Crimea. (leg_4ba64930f17d)
26. Analisi sull'accordo Starlink come minaccia alla sovranità, questioni di sovranità digitale connesse alla dipendenza da un fornitore extra-UE per le comunicazioni sensibili. (leg_acbd11fec3d9)
27. Sintesi documentale del dominio sovranità digitale e fonti collegate, conflitto strutturale fra GDPR e CLOUD Act con sentenza Schrems II del 2020 che invalida lo scudo per i trasferimenti transatlantici, principio di sovranità operativa sul piano di controllo e sulla governance del servizio. (; leg_6d2f2fdf4368)
28. Studio sulla sovranità europea nello spazio e overview del dominio sovranità, IRIS² come alternativa pubblica multi-orbita non operativa prima del 2030 e iniziative europee e nazionali di cloud sovrano a sostegno dell'autonomia strategica. (leg_73d77bc4d6a8; leg_e7926b339be5)

2.5 La consegna medicale e la telemedicina

Fra tutti i segmenti civili del downstream questo è quello in cui la promessa del progetto e la sofferenza reale del territorio si toccano nel modo più diretto, perché le aree interne italiane non hanno soltanto meno banda o meno strade, hanno meno ospedali raggiungibili in tempo utile, e la posta in gioco quando manca l'accesso non è un disservizio ma una vita. Lo studio sull'accessibilità spaziale ai servizi ospedalieri in Italia condotto con il metodo Enhanced Two-Step Floating Catchment Area misura una disuguaglianza marcata nella disponibilità di risorse di alta qualità fra Nord e Sud e dimostra, con un modello econometrico, che la scarsa accessibilità intraregionale spinge i pazienti a spostarsi fuori dalla propria regione per curarsi, alimentando la cosiddetta mobilità passiva [1]. Questa è la cornice quantitativa entro cui va letto il segmento, e va tenuta insieme al profilo demografico delle aree interne, dove risiedono circa 13,3 milioni di persone su quasi il 60 per cento del territorio nazionale con un'età media di 45,9 anni e un indice di vecchiaia di 196,2, e dove la Liguria conta 8 aree interne con 102 comuni e 119.383 residenti su una superficie di 2.934 chilometri quadrati [2]. Una popolazione anziana e dispersa su valli strette è esattamente la popolazione che più dipende da una consegna rapida di farmaci salvavita, sangue e defibrillatori, e che meno può permettersi i tempi di un'ambulanza che risale un fondovalle. È da qui, dal bisogno documentato e non dalla suggestione tecnologica, che conviene partire, sapendo però fin da subito che questo è anche il segmento con il business case meno consolidato e con il vincolo operativo più stringente, quello meteorologico, e che l'onestà dell'analisi sta nel tenere insieme l'evidenza clinica robusta e la fragilità del modello economico.

Tavola 2.2. Un drone da consegna sanitaria rilascia il carico con il paracadute: è il modello operativo della consegna medicale nelle aree remote.

Perché il tempo è la posta in gioco e cosa dicono gli esiti clinici

Il valore della consegna medicale con drone non si spiega con il costo del volo ma con il tempo che il volo sottrae alla catena del soccorso, ed è un tempo che in molte patologie si traduce linearmente in probabilità di sopravvivenza. La prova più netta viene dall'arresto cardiaco extraospedaliero, dove i tassi di sopravvivenza restano tipicamente fra l'8 e il 10 per cento e la defibrillazione da parte di astanti resta sotto il 3 per cento a livello globale, cosicché ogni minuto guadagnato nell'arrivo di un defibrillatore automatico sposta l'esito in modo misurabile [3]. La scoping review del gruppo di lavoro Basic Life Support di ILCOR, che ha analizzato 39 studi selezionati da 306 titoli, distingue con rigore i tre livelli di evidenza e riporta che i tre soli studi osservazionali reali, tutti svedesi, hanno documentato un vantaggio temporale del drone sull'ambulanza compreso fra 1 minuto e 52 secondi e 3 minuti e 14 secondi nel 64-67 per cento dei casi, mentre sette dei ventuno studi modellistici stimano un miglioramento della sopravvivenza e cinque valutano il rapporto costo-efficacia a favore dei sistemi con drone [3]. Il dato è prezioso proprio perché conservativo, dato che separa ciò che è stato osservato sul campo da ciò che è stato solo simulato, e ciò che è stato osservato basta a dire che il guadagno di tempo è reale.

Sul versante della logistica del sangue e dei farmaci l'evidenza è ancora più solida perché arriva da programmi su scala nazionale e non da singoli test. In Ruanda le consegne di sangue con i droni Zipline, avviate dal 2016, sono associate a una riduzione del 51 per cento della mortalità materna per emorragia post-partum e a un calo del 67 per cento delle scadenze delle sacche di sangue, con circa il 75 per cento delle consegne fuori dalla capitale Kigali ormai effettuate per via aerea, tanto che il governo ha ristrutturato attorno ai droni il sistema nazionale di distribuzione [4]. In Ghana lo stesso operatore è associato a una riduzione del 56,4 per cento delle morti materne nella regione di Ashanti e, secondo la ricostruzione su 696 professionisti sanitari, a 727 vite salvate fra il 2019 e il 2021, alla vaccinazione di oltre 15.000 bambini e alla consegna di più di 2 milioni di dosi di vaccino contro il Covid da sei centri che coprono 13 delle 16 regioni amministrative con un raggio di servizio di circa 100 chilometri ciascuno [4][5]. Sono numeri di un contesto sanitario diverso da quello italiano e non trasferibili tali e quali, ma stabiliscono un punto che nessuna analisi seria può ignorare, ossia che la consegna aerea di beni salvavita produce esiti clinici documentati e non solo risparmi logistici, ed è questo che la distingue dagli altri usi civili del drone dove il beneficio è quasi sempre solo di efficienza.

I casi internazionali e la misura della riduzione dei tempi

Se si passa dagli esiti ai tempi grezzi il quadro converge da geografie molto diverse verso lo stesso ordine di grandezza, cioè una riduzione dei tempi di trasporto fra il 50 e l'80 per cento sulle tratte brevi e medie tipiche dell'ultimo miglio sanitario. In India uno studio di fattibilità pubblicato su Archives of Public Health ha fatto percorrere al drone 36 chilometri in 8 minuti contro i 55 minuti del furgone, verificando al tempo stesso che temperatura e integrità dei globuli rossi restavano nei limiti durante il volo, il che risponde all'obiezione più ovvia sulla catena del freddo [6]. In Malesia, sull'isola di Borneo, il confronto controllato fra il drone e l'ambulanza per il trasporto di emoderivati fra due ospedali distanti circa 8 chilometri in linea d'aria ha dato 18 minuti contro 34, dimezzando di fatto il tempo [7]. Nella Eastern Shore della Virginia, una regione costiera rurale designata come medicalmente sottoservita con sole sette farmacie su quasi 2.608 chilometri quadrati, la consegna con drone ha ridotto i tempi di percorrenza da fino a 50 minuti a meno di 10 minuti per oltre l'80 per cento della popolazione, con un beneficio concentrato proprio sui residenti anziani nelle zone basse e

isolate [8]. In Svizzera il servizio Matternet fra ospedali di Zurigo ha portato il trasporto di campioni di laboratorio dalle ore su strada a 7 minuti in volo [9]. La tabella che segue raccoglie questi riferimenti, tutti verificati da studi o da programmi reali, e mostra la robustezza della convergenza al di là del singolo caso.

Caso	Mezzo tradizionale	Drone	Oggetto e distanza
India, Archives of Public Health	55 min furgone	8 min	sangue, 36 km
Malesia, Sabah	34 min ambulanza	18 min	emoderivati, circa 8 km
Virginia, Eastern Shore	fino a 50 min auto	meno di 10 min	farmaci, oltre l'80 per cento della popolazione
Svezia, 3 studi reali	ambulanza	vantaggio da 1 min 52 s a 3 min 14 s	defibrillatore, nel 64-67 per cento dei casi
Austria, Carinzia	mezzi tradizionali	riduzione da 6 a 46 min	defibrillatore, terreno montano
Zurigo, Matternet	ore su strada	7 min	campioni di laboratorio

Due casi meritano un rilievo particolare perché parlano direttamente al terreno del progetto, che è quello montano e impervio delle aree interne. In Austria, in Carinzia, i test sul campo per la consegna di defibrillatori in scenari simulati di arresto cardiaco in montagna hanno stimato una riduzione dei tempi di risposta compresa fra 6 e 46 minuti rispetto ai mezzi tradizionali, un intervallo la cui ampiezza dice quanto la topografia penalizzi il soccorso via terra e quanto quindi il volo renda proprio dove il terreno è peggiore, mentre un pilota reale a Göteborg ha completato con successo 11 consegne su 12 su una distanza media di 3,1 chilometri [10]. In Himalaya, a Keylong a 3.080 metri di quota, in un distretto con densità di circa 2 abitanti per chilometro quadrato che resta isolato per 6 mesi l'anno per la chiusura del passo, 15 sortite hanno trasportato 1.000 unità di medicinali e 20 campioni clinici, superando l'isolamento invernale che nessun mezzo di terra poteva rompere [11]. Nel Nord-Est indiano un programma in regime oltre la vista fino a 400 piedi di quota ha consegnato circa 20.000 unità di forniture mediche a 19 centri sanitari in cinque distretti di terreno frammentato fra isole, colline e valli [12]. Sono contesti estremi, ma la loro logica è esattamente quella del fondovalle ligure d'inverno, cioè un luogo dove il collegamento terrestre è lento, intermittente o interrotto e dove il velivolo non compete con l'ambulanza sulla strada buona ma la sostituisce dove la strada buona non c'è.

Il conto economico, il confronto con l'ambulanza e la sostenibilità del modello

Qui l'analisi deve cambiare tono e diventare prudente, perché è sul piano economico che il segmento mostra la sua fragilità e dove le cifre vanno maneggiate con la massima cautela. Il dato più citabile è quello malese, l'unico studio di valutazione economica formale nella documentazione raccolta, che ha calcolato con la tecnica dell'Activity Based Costing un costo per viaggio di andata e ritorno di 1.313,28 ringgit per il drone, pari a circa 319 dollari, contro i 1.266,02 ringgit dell'ambulanza, pari a circa 307 dollari [7]. La lettura ingenua di questi numeri, cioè che il drone costa più o meno come l'ambulanza, è fuorviante, perché il costo per minuto racconta una storia opposta, con 72,96 ringgit al minuto per il drone contro 37,23 per l'ambulanza, quasi il doppio. Il modo corretto di leggere il dato è quello del rapporto costo-efficacia incrementale, che vale 2,95 ringgit per ogni minuto risparmiato, ossia meno di un euro per minuto guadagnato sul tempo di consegna, cifra che gli autori giudicano

economicamente vantaggiosa in emergenza e destinata a migliorare man mano che il prezzo dei droni scende e la loro vita operativa cresce [7]. Il punto è che il drone non conviene sul costo unitario del trasporto ma sul valore del tempo che fa risparmiare, e questo sposta la giustificazione economica dal terreno della logistica a quello, più difficile da monetizzare ma più solido, dell'esito clinico. Sul versante dei costi diretti di consegna i riferimenti sono più bassi e vengono dal contesto statunitense, con una stima da 6 a 25 dollari per viaggio nella Eastern Shore della Virginia e un prezzo commerciale di riferimento di 19,99 dollari applicato da Walmart per le consegne al dettaglio [8]. La tabella riassume questi ancoraggi, che vanno letti come ordini di grandezza esteri e non come tariffe italiane.

Voce	Valore	Natura
Ambulanza, viaggio andata e ritorno, Sabah	1.266 RM, circa 307 USD	studio economico, Malesia
Drone, viaggio andata e ritorno, Sabah	1.313 RM, circa 319 USD	studio economico, Malesia
Costo incrementale per minuto risparmiato	2,95 RM, meno di 1 EUR	studio economico, Malesia
Costo per consegna, Virginia	da 6 a 25 USD	studio, Stati Uniti
Prezzo commerciale di riferimento, Walmart	19,99 USD per consegna	riferimento di mercato, Stati Uniti
Debito pubblico verso Zipline, Ghana	175 mln GHS, circa 16 mln USD	studio, Ghana

Il vantaggio ambientale rafforza il caso ma non lo regge da solo. Un quadricottero da consegna con carico utile di mezzo chilo consuma circa 0,08 megajoule per chilometro con emissioni dell'ordine di 70 grammi di anidride carbonica per pacco negli Stati Uniti, risultando fino al 94 per cento più efficiente dei mezzi tradizionali sui piccoli carichi [13], e nel confronto con il soccorso in elicottero la sproporzione diventa enorme, dato che il drone emette fra 12 e 24 grammi di anidride carbonica per chilometro contro i 720 chilogrammi di un volo HEMS di 50 minuti, con una riduzione teorica fino a 3.000 volte quando il drone sostituisce l'elicottero [14]. È un argomento di sostenibilità che pesa nelle valutazioni pubbliche e nei criteri di finanziamento europei, ma va usato con misura perché il drone non sostituisce l'elicottero nei casi gravi, semmai lo evita nei casi che non lo richiedono. La verità scomoda del segmento sta nel caso ghanese, dove a fronte di esiti clinici documentati il governo aveva accumulato entro il dicembre 2025 un debito di circa 175 milioni di cedi, pari a circa 16 milioni di dollari, verso Zipline, arrivando a valutare la rescissione del contratto [5]. Questo episodio è il monito più importante di tutto il segmento, perché dimostra che l'impatto sanitario e la sostenibilità finanziaria non coincidono automaticamente e che un servizio salvavita può diventare un onere insostenibile per l'amministrazione che lo finanzia se il modello di ricavo non è disegnato bene. La scoping review sull'applicazione routinaria dei droni in sanità condotta dall'IRCCS Ospedale San Raffaele con EuroUSC Italia lo dice senza giri di parole, indicando come lacuna critica proprio la mancanza di business case economicamente sostenibili e validati, accanto alla necessità di contenitori resistenti agli impatti e di standard normativi ancora assenti [15]. Chi progetta un servizio di consegna medicale deve quindi assumere che l'evidenza clinica è dalla sua parte ma che l'evidenza economica è ancora tutta da costruire, e che sarà la qualità del modello di finanziamento, non la tecnologia, a decidere se il servizio sopravvive.

Il bacino italiano e ligure degli eventi

Il dimensionamento della domanda poggia sull'epidemiologia nazionale, che è misurata e consente di passare dall'argomento clinico al numero di eventi attesi. In Italia si verificano circa 60.000 arresti cardiaci extraospedalieri l'anno, con un'incidenza degli eventi trattati

dai servizi di emergenza pari a circa 1 caso ogni 1.000 abitanti, una sopravvivenza di circa 3.900 persone corrispondente al 6,5 per cento e un tempo medio di arrivo dei soccorsi di 10,2 minuti [24]. Applicando quell'incidenza ai circa 119.000 abitanti dei 102 comuni delle aree interne liguri si ottengono all'incirca 120 eventi l'anno sul territorio di riferimento. È un numero contenuto in assoluto, e va detto con franchezza che da solo non giustifica un servizio dedicato al solo trasporto del defibrillatore; acquista però peso se si considera che il tempo di percorrenza stradale nell'entroterra supera ampiamente la media nazionale su cui è calcolato il valore di 10,2 minuti, che ogni minuto guadagnato sulla defibrillazione vale punti percentuali di sopravvivenza, e soprattutto che lo stesso velivolo serve nella medesima area anche il monitoraggio del territorio e il supporto al soccorso. È la logica della piattaforma multimissione, non quella del servizio monofunzionale, a rendere sostenibile il presidio sanitario in un bacino di questa dimensione.

Disponibilità a pagare e dimensionamento del valore

La disponibilità a pagare del cliente, che nelle aree interne è il servizio sanitario regionale eventualmente affiancato dai fondi della Strategia Nazionale per le Aree Interne, può essere ancorata a due estremi documentati. Da un lato c'è il costo incrementale per minuto risparmiato misurato in Malesia, meno di un euro al minuto, che se moltiplicato per i 16-24 minuti tipicamente risparmiati su una tratta di fondovalle darebbe un valore per intervento nell'ordine delle poche decine di euro di puro tempo guadagnato, cifra che diventa molto più alta se al minuto si assegna il valore clinico che ha in un arresto cardiaco. Dall'altro c'è la capienza di spesa del canale pubblico, dove ogni nuova area interna riceve dalla Strategia circa 4 milioni di euro e dove il modello regionale calabrese per i droni antincendio è costato 5 milioni [2], il che colloca la spesa sostenibile per un servizio condiviso di consegna medicale su scala di vallata o di area interna in una forbice stimata fra alcune centinaia di migliaia e pochi milioni di euro l'anno, se il servizio è dimensionato come infrastruttura pubblica e non come singola consegna a pagamento. La leva che rende sostenibile questa spesa è la condivisione, perché lo stesso velivolo che porta il defibrillatore può il resto del tempo trasportare campioni di laboratorio, referti e farmaci di routine, e la letteratura è chiara nel dire che la redditività della consegna con drone si raggiunge trasportando beni ad alto valore e critici nel tempo piuttosto che colli generici [16]. Il modello del progetto, che vende un servizio e non un velivolo, si presta esattamente a questa logica di condivisione del costo fisso della piattaforma su più missioni sanitarie e non sanitarie, ed è probabilmente l'unica via per non ripetere l'errore ghanese di un servizio che vale clinicamente ma pesa insostenibilmente sul bilancio.

I piloti italiani, la telemedicina e l'aggancio al prodotto

Il contesto italiano non è una tabula rasa su cui il progetto arriverebbe per primo, e riconoscerlo serve sia a calibrare le aspettative sia a individuare gli alleati. Il riferimento più diretto è il progetto SEUAM, sigla di Sanitary Emergency Urban Air Mobility, che sta portando in fase di test un drone dedicato al supporto delle Centrali Operative del 118 per il trasporto di defibrillatori, sangue, emoderivati, farmaci e antidoti nelle emergenze di soccorso e rianimazione [17]. Ciò che rende questo pilota istruttivo per Firmamento è il velivolo scelto, l'Apteron del consorzio campano Caltec, un ala fissa convertiplano con peso massimo al decollo di 25 chilogrammi, carico utile netto di 2,5 chilogrammi, apertura alare di 2 metri e velocità di crociera di 160 chilometri orari, con test previsti a Taranto, Altomonte, Santa Lucia di Serino e Massa di Somma su tre scenari di difficoltà crescente, dalla piazza alla strada al luogo

impervio [17]. Le sue caratteristiche cadono quasi esattamente nella finestra di prodotto del progetto, cioè un velivolo sotto i 25 chilogrammi e sotto i 3 metri ad ala fissa con decollo verticale, il che dimostra due cose insieme, che l'architettura scelta è ritenuta idonea alla missione sanitaria da un attore già operativo e che esiste in Italia una domanda istituzionale reale a cui agganciarsi anziché competere frontalmente. Sul versante montano e alpino, che è il più vicino all'entroterra ligure, la ricerca italiana è addirittura all'avanguardia, con Eurac Research di Bolzano che ha condotto in un canyon dell'Alto Adige uno studio randomizzato controllato dimostrando che l'uso del drone riduce il tempo di localizzazione del paziente da 20,6 a 14,6 minuti e il tempo di inizio del trattamento da 22,4 a 15,7 minuti con significatività statistica, e con lo stesso gruppo che ha mappato con metodo geospaziale 542 possibili siti per porti verticali capaci di coprire il 49 per cento dell'Alto Adige entro 10 minuti di volo e il 68 per cento nei distretti alpini più remoti, il tutto in conformità con le regole dello spazio U-space [18][19]. Questi lavori sono la prova che il terreno montano non è un ostacolo insormontabile ma un contesto studiato, misurato e già in parte progettato, e che una piattaforma persistente italiana troverebbe interlocutori scientifici pronti.

È proprio nello studio del canyon altoatesino che la seconda parola del segmento, la telemedicina, smette di essere un'aggiunta retorica e diventa una funzione tecnica. Il drone di quell'esperimento non trasportava soltanto un kit di emergenza di circa mezzo chilo calato con un paracadute, ma portava con sé una telecamera ad alta definizione e il materiale per impartire istruzioni telemediche via radio, trasformando il velivolo nel primo terminale sanitario che raggiunge la vittima prima dei soccorritori [18]. La stessa logica è sviluppata nella proposta di soccorso alpino a bassa impronta ambientale, dove il drone serve alla valutazione della scena, alla ricerca del paziente e al triage remoto, valutando i segni vitali o stabilendo un collegamento telemedico che può portare a rinunciare all'elicottero o a declassare l'intervento verso il soccorso terrestre [14]. In questa accezione la telemedicina non è un servizio separato ma la conseguenza naturale di avere in volo una piattaforma con sensori e un collegamento dati, cioè esattamente il payload di relè e comunicazione che il prodotto monta già per le missioni di connettività di emergenza. Il velivolo che nelle aree interne fa da ponte radio di vallata è lo stesso che può portare l'occhio e la voce del medico sopra il ferito prima che la barella parta, e questa convergenza fra consegna fisica e presenza telemedica è forse l'argomento più forte per collocare il progetto in questo segmento, perché sfrutta la modularità del prodotto invece di aggiungere un ramo di attività estraneo. Va aggiunto, a conferma della maturità operativa, che un pilota rurale in Michigan ha registrato su 67 voli un tasso di successo del 91 per cento mantenendo il carico a una temperatura media di 17,3 gradi, segno che la consegna medicale in contesto rurale non è più sperimentazione di frontiera ma pratica con margini di affidabilità già misurabili [20].

Il vincolo meteorologico e la finestra operativa

Nessuna analisi di questo segmento è onesta se non mette al centro il limite che più di ogni altro separa la promessa dalla realtà, cioè la finestra meteorologica entro cui il velivolo può davvero volare. Lo studio globale sulla cosiddetta flyability, costruito incrociando 10 anni di dati meteorologici di rianalisi con le soglie operative dichiarate dai produttori, misura per i droni comuni una disponibilità al volo mediana di sole 5,7 ore al giorno, che scendono a 2,0 se ci si limita alle ore diurne, contro le 20,4 ore dei droni resistenti alle intemperie [21]. La differenza nasce da soglie operative modeste, con i droni comuni fermati sotto 0 gradi o sopra i 40, con vento oltre 10 metri al secondo o con qualunque precipitazione, e lo stesso studio indica che i guadagni maggiori si ottengono alzando la soglia del vento a 15 metri al secondo

e quella della pioggia a 1 millimetro all'ora [21]. Per un servizio salvavita questo numero è dirimente, perché un mezzo che vola meno di 6 ore al giorno in media non è un'infrastruttura sanitaria affidabile, e il problema si aggrava proprio nei contesti dove il servizio serve di più, dato che a Seul l'aggiunta delle condizioni topografiche e meteorologiche ha ridotto il tasso di arrivo del drone prima dell'ambulanza dal 38 al 27 per cento anche per i modelli più avanzati [22]. Ne discende un requisito di prodotto netto e non negoziabile, ossia che la piattaforma del progetto deve stare nella categoria dei mezzi resistenti alle intemperie, con soglie di vento e pioggia sensibilmente superiori a quelle dei droni consumer, altrimenti la finestra operativa nell'entroterra ligure, esposto a piogge e venti di valle, si restringerebbe al punto da vanificare il vantaggio sul tempo. È qui che l'architettura scelta gioca a favore, perché un'ala fissa a lunga persistenza con propulsione ibrida a generatore tollera meglio vento e distanza di un piccolo multirotore a batteria, e il decollo verticale le consente di operare dai fondovalle stretti senza pista dove il lancio tradizionale non sarebbe praticabile. Resta però un secondo collo di bottiglia meno visibile e altrettanto concreto, quello dei tempi di carico a terra, che lo studio norvegese sull'Ospedale Universitario di Oslo individua come l'area con le maggiori deviazioni dai piani e il più alto potenziale di miglioramento, ricordando insieme che i corrieri e il personale a terra vanno coinvolti come protagonisti dell'innovazione e non subiti come esecutori [23]. La lezione operativa è che il tempo guadagnato in volo si può perdere interamente in rampa se il processo di carico e consegna non è riprogettato, e che il servizio va costruito con il personale sanitario dentro fin dall'inizio.

Implicazioni per il progetto

La lettura complessiva consegna allo studio un segmento dal profilo peculiare, forte dove gli altri sono deboli e debole dove gli altri sono forti. È forte sul piano della legittimazione, perché nessun altro uso civile del drone porta con sé esiti clinici documentati come la riduzione del 51 per cento della mortalità materna in Ruanda o il vantaggio di minuti sull'arresto cardiaco, ed è questo capitale di senso, più che un contratto immediato, ciò che il segmento offre a una cooperativa che nasce nelle aree interne con una missione sociale e con un finanziamento pubblico da giustificare. È forte sul piano dell'aggancio istituzionale, perché il progetto SEUAM con il 118 e la ricerca alpina di Eurac Research dimostrano che in Italia esistono già interlocutori, velivoli comparabili e un quadro U-space in costruzione a cui allinearsi. Ed è forte sul piano del prodotto, perché la missione sanitaria non chiede un velivolo diverso ma lo stesso velivolo modulare che monta il termico per gli incendi e il relè per la connettività, aggiungendo semmai un vano refrigerato e un contenitore anti-impatto per il carico biologico, così che la consegna medicale non è un business separato ma una configurazione di missione della piattaforma unica. Al tempo stesso il segmento è debole dove conta per un piano economico, perché il business case sostenibile non esiste ancora in letteratura, il debito ghanese dimostra quanto sia facile costruire un servizio clinicamente valido e finanziariamente rovinoso, e la finestra meteorologica impone un requisito tecnico costoso, quello della resistenza alle intemperie, che va messo a bilancio fin dal dimensionamento. La conclusione operativa è che la consegna medicale va trattata come la gamba a più alto valore simbolico e a più alta incertezza economica del portafoglio, da perseguire come servizio pubblico condiviso e cofinanziato entro l'ancora delle aree interne, non come mercato a pagamento autosufficiente, e da costruire in modo che il costo fisso della piattaforma sia ripartito su missioni multiple. La telemedicina, infine, va valorizzata esplicitamente come funzione che moltiplica il valore di ogni volo, perché trasforma il drone da corriere a terminale sanitario avanzato e giustifica il payload di comunicazione che il prodotto porta comunque per altre missioni.

Note e riferimenti

1. Pecoraro et al. 2024, studio su BMC Health Services Research sull'accessibilità spaziale ai servizi ospedalieri in Italia con metodo E2SFCA, disuguaglianze Nord-Sud e mobilità passiva dei pazienti. Dato verificato, paper accademico. (mar_5614af272714)
2. Sintesi documentale del dominio mercato delle aree interne, dati demografici SNAI (13,3 milioni di residenti, 60 per cento del territorio, età media 45,9, indice di vecchiaia 196,2), aree interne liguri (8 aree, 102 comuni, 119.383 residenti, 2.934 km²), dotazione SNAI di 4 milioni per area e modello antincendio Calabria da 5 milioni. Dati verificati. (mar_0e2652defbfc, mar_fb9436735ea0, proj_dossier-snai, proj_fonti-primarie-spesa-pubblica-snai-da-archivio)
3. Jakobsen et al. 2025, scoping review del gruppo ILCOR Basic Life Support su 39 studi relativi ai droni per la consegna di defibrillatori nell'arresto cardiaco extraospedaliero, vantaggio temporale reale da 1 min 52 s a 3 min 14 s nel 64-67 per cento dei casi (3 studi osservazionali svedesi), sopravvivenza OHCA tipica 8-10 per cento, defibrillazione da astanti sotto il 3 per cento. Dato verificato, paper accademico. (mar_ea895fbbbfc6)
4. Studio su Science Robotics ripreso da Dronelife sull'impatto delle consegne Zipline, riduzione del 51 per cento della mortalità materna e del 67 per cento delle scadenze del sangue in Ruanda, 75 per cento delle consegne fuori Kigali, 727 vite salvate e oltre 2 milioni di vaccini Covid in Ghana. Dato di fonte giornalistica su studio peer-reviewed. (mar_7452d36ff980)
5. Studio su 696 professionisti sanitari in Ghana sulle prospettive verso i droni Zipline, riduzione del 56,4 per cento delle morti materne nella regione di Ashanti, debito pubblico di 175 milioni di cedi (circa 16 milioni di dollari) verso Zipline e ipotesi di rescissione del contratto nel dicembre 2025. Dato verificato, paper accademico. (mar_781118cd952b)
6. Studio di fattibilità indiano su Archives of Public Health, drone su 36 km in 8 minuti contro 55 minuti del furgone con integrità dei componenti del sangue mantenuta. Dato verificato, paper accademico. (mar_b7c0608062c0)
7. Studio malese di valutazione economica drone contro ambulanza per emoderivati (Sabah, Borneo), 18 contro 34 minuti, costo per viaggio 1.313,28 contro 1.266,02 ringgit, costo per minuto 72,96 contro 37,23 ringgit, ICER di 2,95 ringgit per minuto risparmiato. Dato verificato, paper accademico su PMC. (mar_b1be2db949fe)
8. Studio sulla consegna di farmaci con drone per comunità costiere rurali soggette a inondazioni nella Eastern Shore della Virginia, riduzione dei tempi da fino a 50 minuti a meno di 10 per oltre l'80 per cento della popolazione, sette farmacie su 2.608 km², costo per consegna da 6 a 25 dollari e riferimento Walmart a 19,99 dollari. Dato verificato, paper accademico su PMC. (mar_89e00dbc682d)
9. Revisione sistematica sull'applicazione dei droni nella sanità pubblica, casi Zipline (oltre 200.000 consegne in Ruanda), Swoop Aero (oltre 500.000 vaccini in Malawi) e Matternet a Zurigo (campioni di laboratorio da ore a 7 minuti), assenza di standard ICAO per i contenitori. Dato verificato, paper accademico su PMC. (mar_ba0be1a31b61)
10. Wankmuller et al. 2024, studio sui droni per la consegna di defibrillatori in regioni montuose (Carinzia, Austria), riduzione stimata dei tempi di risposta fra 6 e 46 minuti e pilota di Göteborg con 11 consegne su 12 su distanza media di 3,1 km. Dato verificato, paper accademico. (mar_e1f772973ef5)
11. Studio di fattibilità su consegna medica con drone in condizioni himalayane estreme (Keylong, 3.080 m), 15 sortite per 1.000 unità di medicinali e 20 campioni clinici, isolamento

invernale di 6 mesi. Dato verificato, paper accademico su PMC, corroborato da Aggarwal et al. 2024. (mar_2fe1ccca75ec, mar_6efbfed1222a)

12. Studio i-DRONE sull'implementazione della consegna di forniture mediche con drone nel Nord-Est indiano (Manipur e Nagaland), circa 20.000 unità consegnate a 19 centri sanitari in regime oltre la vista fino a 400 piedi. Dato verificato, paper accademico su PMC. (mar_ad2184de9431)
13. Rodrigues et al. 2022, studio su consumo energetico ed emissioni dei droni da consegna di piccoli pacchi, circa 0,08 MJ/km e 70 gCO2e per pacco negli Stati Uniti, fino al 94 per cento più efficienti dei mezzi tradizionali. Dato verificato, paper accademico. (mar_e62fb8cfd7ef)
14. van Veelen e Strapazzon 2023, lettera su Scandinavian Journal of Trauma sull'impronta di carbonio del soccorso alpino, drone fra 12,1 e 23,5 gCO2/km contro 720 kg per un volo HEMS di 50 minuti (riduzione fino a 3.000 volte), triage remoto e telemedicina per il downgrade dell'elicottero. Dato verificato, paper accademico. (mar_a2e594c017f2)
15. De Silvestri et al. 2023, scoping review dell'IRCCS Ospedale San Raffaele ed EuroUSC Italia sulle sfide dell'uso routinario dei droni in sanità, con la mancanza di business case sostenibili e validati e l'assenza di contenitori anti-impatto e standard come lacune critiche. Dato verificato, paper accademico. (mar_905a11e1742e)
16. Quintanilla et al. 2021, studio su Drones (MDPI) su una rete logistica UAS per beni medici critici testata a Valencia durante il Covid in conformità SORA/EASA, con la redditività legata al trasporto di beni ad alto valore e critici nel tempo. Dato verificato, paper accademico. (mar_e6c97373c2e5)
17. Notizia DronEzine sul progetto SEUAM e il drone Apteron del consorzio Caltec per il supporto al 118, ala fissa convertiplano con 25 kg di peso massimo al decollo, 2,5 kg di carico utile netto, 2 m di apertura alare e 160 km/h, test a Taranto, Altomonte, Santa Lucia di Serino e Massa di Somma su scenari di piazza, strada e luogo impervio. Dato di fonte giornalistica. (mar_f1e7340abdfe)
18. van Veelen et al. 2023, studio randomizzato controllato di Eurac Research e CNSAS nel canyon di Bletterbach (Alto Adige) su American Journal of Emergency Medicine, tempo di localizzazione ridotto da 20,6 a 14,6 minuti e inizio del trattamento da 22,4 a 15,7 minuti ($p < 0,01$), kit di emergenza di circa 500 g con materiale per istruzioni telemediche via radio. Dato verificato, paper accademico. (mar_61adb9e3be9d)
19. Mejia-Aguilar et al. 2026, studio GIS di Eurac Research e Università di Innsbruck su Drones per il posizionamento di porti verticali e la consegna di defibrillatori in Alto Adige, 542 siti potenziali, copertura del 49 per cento del territorio entro 10 minuti e del 68 per cento nei distretti alpini remoti, conforme alle normative U-space. Dato verificato, paper accademico. (mar_c2362f0b7061)
20. Sintesi documentale del dominio uav-delivery, pilota rurale di consegna medica a Traverse City (Michigan, 2025), 67 voli con tasso di successo del 91 per cento in linea di vista entro 1 miglio e temperatura media del carico di 17,3 gradi. Dato verificato, fonte di settore. (met_0d5a9cfa0584)
21. Gao et al. 2021, studio globale sulla flyability dei droni con dati di rianalisi ERA5, disponibilità al volo mediana di 5,7 ore al giorno per i droni comuni contro 20,4 per quelli resistenti alle intemperie, soglie operative 0-40 gradi, vento 10 m/s, pioggia 0 mm/h e guadagni maggiori alzando il vento a 15 m/s e la pioggia a 1 mm/h. Dato verificato, paper accademico. (mar_ffedaa01675d)

22. Studio su topografia e meteo nella consegna di defibrillatori a Seul, riduzione del tasso di arrivo del drone prima dell'ambulanza dal 38,0 al 27,0 per cento per i droni avanzati. Dato verificato, paper accademico. (mar_2caaf6fe2e4a)
23. Comtet et al. 2022, studio mixed-methods sull'Ospedale Universitario di Oslo per il trasporto di campioni biologici, tempi di carico come principale collo di bottiglia e necessità di coinvolgere i corrieri come stakeholder nell'introduzione dei droni. Dato verificato, paper accademico. (mar_7db1f91953db)
24. Registro Italiano Arresti Cardiaci e Italian Resuscitation Council, epidemiologia nazionale dell'arresto cardiaco extraospedaliero. Circa 60.000 eventi l'anno in Italia, incidenza di circa 1 caso ogni 1.000 abitanti fra quelli trattati dai servizi di emergenza, circa 3.900 sopravvissuti pari al 6,5 per cento, tempo medio di arrivo dei soccorsi di 10,2 minuti (mar_aba45b19d128).

2.6 Il monitoraggio dei rischi naturali, dissesto e incendi

Se la sorveglianza marittima è il mercato di scala su cui il prodotto si estende una volta legittimato, il monitoraggio dei rischi naturali è l'ancora civile da cui il progetto parte, ed è il segmento in cui la domanda e la specifica tecnica del velivolo di Firmamento coincidono meglio che altrove. La ragione va detta subito e senza retorica, perché è quella che regge l'intera sezione. Un velivolo ad ala fissa long-endurance in classe compatta, capace di stare in aria a lungo su una vallata con un sensore termico e con l'elaborazione a bordo, è esattamente ciò che serve per sorvegliare in modo continuo un versante instabile o un bosco durante la stagione degli incendi, mentre gli stessi requisiti che lo rendono poco competitivo contro i tattici da 180 chilogrammi del marittimo diventano qui un vantaggio, dato che il cliente non chiede raggio oceanico ma persistenza a bassa quota su un'area circoscritta e nota. La solidità di questo mercato, però, non nasce da contratti pluriennali già firmati come nel caso dell'EMSA, e questo va riconosciuto con la stessa franchezza usata altrove. Poggia invece su due gambe diverse e complementari, da un lato un fabbisogno strutturale che il territorio italiano e ligure impone in modo non discrezionale, dall'altro un proof point regionale, il caso calabrese, che dimostra come denaro pubblico stia già finanziando precisamente il modello di servizio drone che il progetto propone. Tenere insieme la forza della necessità e la relativa immaturità della spesa dedicata è la chiave di lettura di tutto ciò che segue.

Il fabbisogno che il territorio impone

La prima gamba è la più robusta perché non dipende da una scelta politica ma da una condizione fisica del Paese, misurata da fonti pubbliche autorevoli. L'ISPRA, nel quadro nazionale della pericolosità, stima che il 18,4 per cento del territorio italiano, pari a 55.609 chilometri quadrati, ricada in classi di pericolosità da frana o alluvione elevata o molto elevata, che il 93,9 per cento dei comuni, ovvero 7.423 amministrazioni, sia interessato da aree a rischio, e che siano 1,3 milioni gli abitanti esposti al pericolo di frana e 6,8 milioni quelli esposti al pericolo di alluvione [1]. Un secondo conteggio, che allarga la definizione all'intero dissesto idrogeologico comprese valanghe ed erosione costiera, porta la quota dei comuni interessati al 94,5 per cento, cioè 7.463 su 7.896, con oltre 8 milioni di persone residenti in aree ad alta pericolosità [2][3]. L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia censisce oltre 620.000 frane che coprono il 7,9 per cento della superficie nazionale, e questo dato dà la misura del carico di monitoraggio che il territorio genera ogni anno [4]. Non si tratta di un mercato da creare

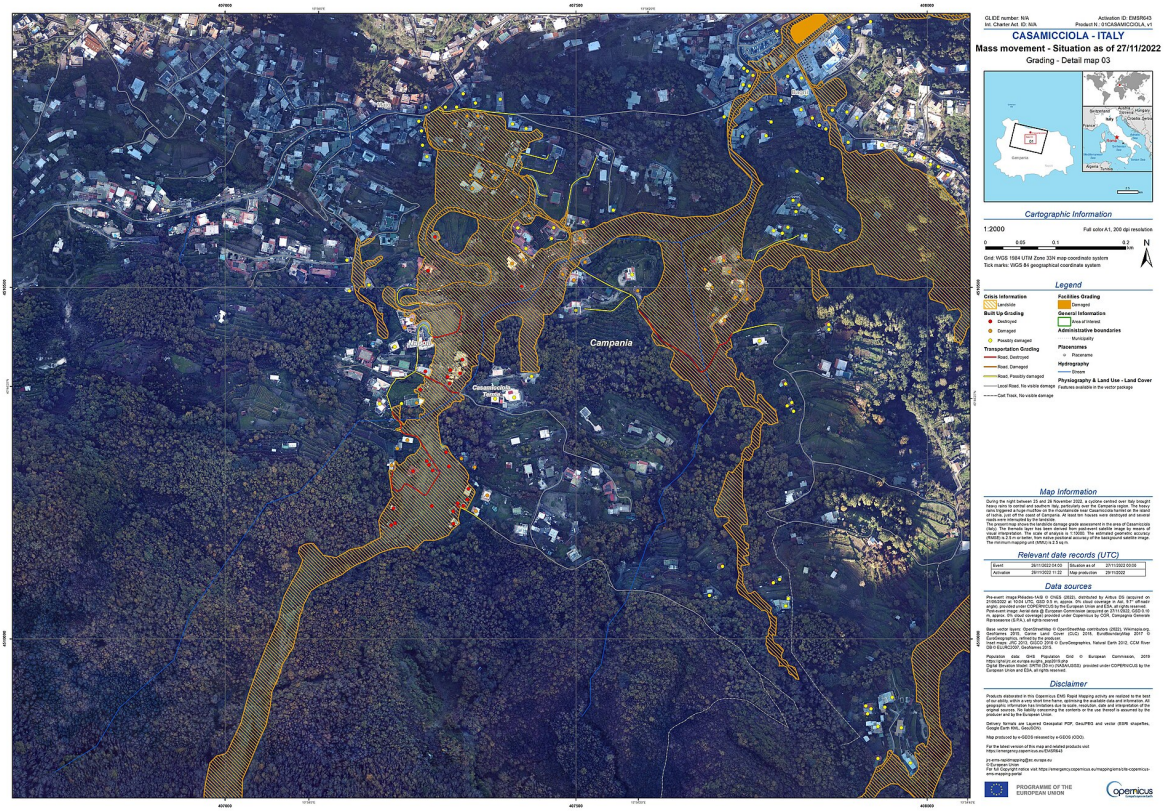


Tavola 2.3. Il dissesto dei versanti, il fenomeno che il monitoraggio persistente deve intercettare presto.

persuadendo un cliente, ma di un fabbisogno preesistente che oggi viene servito in modo insufficiente con ispezioni a piedi, sopralluoghi episodici e voli con elicottero costosi e rari.

La Liguria non è una porzione qualsiasi di questo quadro, ma uno dei suoi vertici, e questo è ciò che lega il segmento al sito pilota e alla cornice del bando. Il rapporto ISPRA sulle frane dedicato alla regione censisce 7.513 frane sul solo territorio ligure, una densità che riflette la combinazione di versanti acclivi, urbanizzazione dei fondovalle e abbandono dei terrazzamenti agricoli che nell'entroterra si trasformano in inneschi di colate detritiche [5]. La memoria degli eventi recenti quantifica il costo umano di questa fragilità, dall'alluvione di Genova del 2011 con le sue diciannove vittime alle centinaia di frane innescate nello stesso anno alle Cinque Terre [6]. Sul versante economico le fonti sono meno affidabili, e va segnalato con onestà. Una fonte riporta per la Liguria costi idrogeologici superiori a 6,5 trilioni di euro nel decennio 2013-2022, cifra che è implausibile di diversi ordini di grandezza, dato che eccede più volte il prodotto interno lordo annuo dell'intera Italia, e che va quindi trattata come un artefatto da riverificare e non come un dato utilizzabile [7]. Il costo del dissesto va perciò ancorato non a quella cifra ma alle risorse pubbliche realmente stanziate per contrastarlo, che sono documentate e ingenti, e che costituiscono la vera misura della disponibilità a spendere del cliente.

Le risorse pubbliche già in campo

Il denaro che lo Stato mette sul contrasto al dissesto è la proxy più solida della domanda pagante di questo segmento, perché ogni euro speso in mitigazione e ricostruzione è un euro che ha bisogno di conoscenza del territorio, cioè di rilievi, mappe e monitoraggi che un servizio drone può fornire meglio e a minor costo dei metodi tradizionali. Il Piano nazionale del 2024 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica ha stanziato circa 1,084 miliardi di euro per la mitigazione del rischio, mentre il Programma nazionale 2025-2030 dispone di una dotazione di 400 milioni di euro [2]. A questi si aggiunge la leva del PNRR, che destina 2,49 miliardi di euro al dissesto idrogeologico, di cui 1,15 miliardi risultano già assegnati a 1.725 progetti di ricostruzione post-calamità, e che ha finanziato il Sistema Integrato di Monitoraggio divenuto operativo nel giugno del 2025 con copertura del 100 per cento del territorio delle regioni meridionali [2][8]. La tabella seguente riassume gli ordini di grandezza di questa spesa, che nel loro insieme superano i 4 miliardi di euro di risorse attivate o programmate a livello nazionale.

Strumento	Dotazione	Ambito e note
Piano nazionale MASE 2024	1,084 mld EUR	mitigazione del rischio idrogeologico
Programma nazionale 2025-2030	400 mln EUR	dotazione pluriennale di mitigazione
PNRR dissesto idrogeologico	2,49 mld EUR	1,15 mld gia assegnati a 1.725 progetti
Sistema Integrato di Monitoraggio PNRR	incluso nel PNRR	operativo dal giugno 2025, 100 per cento regioni meridionali
SNAI, dotazione per singola area interna	4 mln EUR	cornice di spesa regionale attivabile per servizi

L'ultima riga della tabella è quella che avvicina di più questa massa di denaro alla scala di una cooperativa. La Strategia Nazionale per le Aree Interne muove sul ciclo corrente un ordine di grandezza di circa 210 milioni di euro complessivi, ripartiti in dotazioni di 4 milioni di euro per singola area interna, e questa è precisamente la cornice entro cui un servizio di monitoraggio del territorio può essere finanziato attraverso la Regione e gli enti locali [9].

Il confronto è istruttivo e va fatto con cautela, perché i 4 milioni destinati a un'area interna sono vicini ai 5 milioni che la Regione Calabria ha stanziato per il suo intero programma di droni antincendio, il che significa che un servizio drone su una singola vallata è un intervento che assorbe quasi per intero la dotazione di un'area SNAI, e va quindi proposto come parte qualificante di quella spesa e non come una voce aggiuntiva che il bilancio locale non potrebbe sostenere [9].

La dotazione pubblica nazionale e regionale e il costo dell'alternativa

Le risorse su cui questo segmento poggia sono quantificate su entrambi i livelli di governo. Sul piano nazionale il sub-investimento 2.1.b della componente 4 della missione 2 del Piano nazionale di ripresa e resilienza, in capo al Dipartimento della Protezione Civile, dispone di 1,2 miliardi di euro per la gestione del rischio di alluvione e la riduzione del rischio idrogeologico, con attuazione affidata ad accordi di collaborazione fra Regioni e Comuni, mentre il sub-investimento 2.1.a è stato rimodulato in riduzione di 910 milioni scendendo a 290 milioni [35]. Sul piano regionale la Liguria ha investito 52 milioni di euro in difesa del suolo dall'inizio del 2024, con provvedimenti di giunta che stanziano pacchetti dell'ordine di 2,4 milioni per gruppi di sette interventi di messa in sicurezza, dentro una pianificazione antincendio retta dal piano regionale aggiornato con deliberazione di giunta 419 del 6 agosto 2025 [36]. Va letto con precisione che cosa quelle dotazioni finanziano, perché si tratta di opere strutturali e non di misure dedicate al monitoraggio con velivoli senza pilota: la quota realmente aggredibile da un servizio aereo è quella delle attività di conoscenza, sorveglianza e collaudo che accompagnano le opere, ragionevolmente qualche punto percentuale della spesa, il che su base regionale colloca il bacino in una fascia dell'ordine di alcune centinaia di migliaia di euro l'anno.

Il confronto con l'alternativa tradizionale completa il quadro economico e va condotto sui costi orari reali dei mezzi con equipaggio. Un Canadair costa fra 12.000 e 15.000 euro per ora di volo in formula di servizio integrato, un elicottero pesante in convenzione fra 10.000 e 11.000, e un elicottero antincendio regionale intorno ai 2.000 euro, con costi fissi di mobilitazione che si aggiungono a ogni attivazione [37]. Il termine di paragone corretto non è la sostituzione del mezzo di spegnimento, che resta insostituibile e fuori dalla portata di un velivolo leggero, ma la sorveglianza preventiva che riduce il numero e la durata delle attivazioni intervenendo sul rilevamento precoce. Su questa base l'aritmetica è favorevole con un margine ampio, perché evitare due sole ore di Canadair in una stagione libera risorse sufficienti a pagare diverse decine di ore di volo di un velivolo senza pilota, ed è questo il ragionamento con cui il servizio va presentato a un assessorato, non l'elenco dei suoi vantaggi tecnici.

Gli incendi boschivi e il valore del rilevamento precoce

La seconda grande famiglia di rischi, gli incendi boschivi, sposta la logica dal monitoraggio della lenta deformazione del suolo alla sorveglianza attiva e alla risposta rapida, ed è il terreno su cui il caso di mercato del segmento è più diretto perché esiste già un cliente che compra ore di volo per questo scopo. Le fonti disponibili quantificano la scala del fenomeno soprattutto sul contesto statunitense, che serve qui come misura di grandezza e non come mercato di riferimento. Negli Stati Uniti la superficie bruciata media annua è passata da 3,6 milioni di acri nel decennio 1991-2000 a 7,5 milioni nel decennio 2011-2020, con 7,6 milioni di acri arsi nel solo 2022 [10][11], mentre l'esempio del Camp Fire del 2018, con le sue 85 vittime e i 148,5 miliardi di dollari di danni, mostra quanto sproporzionatamente devastanti siano gli eventi estremi [11]. Il dato che più conta per un progetto di rilevamento precoce non è però

la superficie totale ma la sua distribuzione, perché soltanto il 3-5 per cento degli incendi supera i 100 ettari, ma l'uno per cento più grande causa dall'80 al 96 per cento dell'area complessivamente bruciata [12]. Questa asimmetria è la ragione economica dell'intervento aereo, dato che intercettare un focolaio nella sua prima ora, quando è ancora piccolo, ha un ritorno enormemente superiore al costo del monitoraggio, e sposta il valore dalla lotta al fuoco maturo alla sua individuazione precoce.

È esattamente in questo spazio che un velivolo persistente trova la sua giustificazione tecnica, perché colma un vuoto che né le torri di avvistamento né i satelliti riescono a coprire. I satelliti da osservazione della Terra come la costellazione VIIRS possono rilevare anche incendi molto piccoli, ma la loro frequenza di rivisitazione e la loro risoluzione restano inadeguate al rilevamento precoce, con latenze di consegna del dato dell'ordine di diverse ore che rendono l'informazione tardiva rispetto alla dinamica del fuoco [14]. Il drone si inserisce nella fascia intermedia fra il punto fisso e lo spazio, offrendo flessibilità e tempi di risposta che nessuna delle due alternative garantisce, e la pressione di bilancio che spinge verso questa soluzione è documentata dal fatto che negli Stati Uniti la spesa per la risposta agli incendi del Forest Service è salita dal 16 al 52 per cento del budget totale dell'agenzia, un peso che rende conveniente qualunque tecnologia capace di anticipare l'evento [13]. La letteratura tecnica di frontiera indica peraltro nell'autonomia degli sciami di micro-droni la tecnologia a più alto ritorno sull'investimento per la gestione degli incendi, il che conferma che la direzione di sviluppo premia la persistenza distribuita più della singola piattaforma potente [13].

I clienti, Regione, Protezione Civile e Vigili del Fuoco

La domanda di questo segmento ha volti istituzionali precisi, e conviene nominarli perché sono gli interlocutori con cui una cooperativa dovrà contrattare. Il cliente naturale del monitoraggio ambientale e del contrasto al dissesto è la Regione con le sue articolazioni tecniche, in particolare le agenzie regionali per la protezione dell'ambiente, e il dato di adozione è già significativo, dato che almeno dodici ARPA italiane utilizzano droni per il monitoraggio ambientale [15]. Il secondo interlocutore è il sistema della Protezione Civile, che opera sia a livello regionale sia attraverso i presidi territoriali, e di cui esiste un caso operativo direttamente trasferibile, quello della Protezione Civile di Calderara di Reno che ha sviluppato un protocollo open source per il monitoraggio degli argini fluviali con droni termici, portato avanti da un nucleo di sei piloti e 3 droni [17]. Il terzo cliente sono i Vigili del Fuoco, che in Liguria hanno già reso operativo un drone dotato di IMSI Catcher per la ricerca di dispersi, segno che il corpo sta integrando i sistemi a pilotaggio remoto nelle proprie procedure di soccorso proprio sul territorio di riferimento del progetto [16]. A questi si affianca, sul fronte del soccorso in montagna, il Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico, che nel 2023 ha gestito 12.349 missioni e soccorso 12.365 persone, con il 70 per cento degli interventi in ambiente montano o impervio, cioè lo stesso identikit geografico del sito pilota dell'Antola [20].

L'infrastruttura di coordinamento europea completa il quadro dei clienti mostrando che il modello di servizio è già istituzionalizzato. Il servizio Copernicus Emergency Management integra droni e aerei per produrre valutazioni dei danni ad alta risoluzione, con prodotti a 10 centimetri di dettaglio impiegati per esempio nella frana di Ischia, e il rapid mapping post-evento è già stato applicato in Italia in occasione dell'alluvione dell'Emilia-Romagna del maggio 2023 [18][19]. La lettura che se ne ricava è che il cliente pubblico non deve essere educato a un modello nuovo, perché acquista già dati di emergenza da piattaforme aeree, e che lo spazio per Firmamento sta nel fornire la componente di persistenza locale e continuativa

che i grandi servizi centralizzati non coprono, cioè la sorveglianza ricorrente di una vallata specifica prima e dopo l'evento, non solo la mappatura una tantum del disastro.

Il modello calabrese come proof point

Il singolo elemento che trasforma questo segmento da fabbisogno teorico a mercato dimostrato è il programma della Regione Calabria, perché è la prova concreta che un ente pubblico regionale finanzia oggi, con fondi strutturali europei, esattamente il servizio che il progetto propone. La Regione Calabria ha destinato 5 milioni di euro, a valere sul Programma Regionale FESR FSE+ 2021-2027 e con la qualifica di Operazione di Importanza Strategica, alla realizzazione di un Sistema di monitoraggio e allerta precoce degli incendi boschivi, che prevede circa cinquanta stazioni-hub per droni distribuite sull'intero territorio regionale entro il 2027, capaci di gestire in autonomia decollo, atterraggio e ricarica, con velivoli che volano in modo automatico equipaggiati con sensori termici, sistemi di comunicazione e strumentazione meteorologica, e con analisi automatizzata dei dati tramite intelligenza artificiale integrata in una piattaforma di digital twin [21]. Il programma non nasce dal nulla ma potenzia una baseline già operativa, quella del progetto Tolleranza Zero avviato nel 2022 dopo la stagione critica del 2021, che nei periodi di massima allerta mette in campo 40 droni pilotati coordinati da una Control Room [21]. È la strategia dell'ancora politica che diventa scala già realizzata da un'altra Regione, cioè un Programma Regionale che paga persistenza aerea sul territorio come servizio pubblico.

La forza probatoria di questo caso va però calibrata con precisione, perché il suo valore è quello di un analogo trasferibile e non di un contratto già acquisito dal progetto. Il sistema calabrese è finanziato e pianificato, con operatività a regime prevista per il 2027, la sua narrazione è in parte politica intorno all'etichetta del Modello Calabria, e soprattutto riguarda la Calabria e non la Liguria, cosicché il suo uso corretto è come benchmark da presentare a Regione Liguria per proporre lo stesso schema sull'entroterra, e non come domanda già presente sul territorio del progetto [21]. Da questo caso si può ricavare anche un primo ancoraggio quantitativo alla disponibilità a pagare del cliente, che dichiaro esplicitamente come mia elaborazione e non come dato di fonte. Dividendo i 5 milioni di euro per le circa cinquanta stazioni previste si ottiene un ordine di grandezza attorno ai 100.000 euro per singolo hub, comprensivo di velivoli, infrastruttura di ricarica e messa in opera, un valore che è utile solo a fissare la scala di un intervento su area vasta e che colloca il servizio drone antincendio di una singola vallata nella stessa fascia dei 4 milioni di dotazione di un'area interna SNAI, confermando che il modello è finanziabile con le risorse pubbliche esistenti senza richiedere canali straordinari.

Le tecnologie, i servizi e i loro costi

La griglia tecnologica di questo mercato è più leggera e più economica di quella marittima, ed è un vantaggio per un entrante, perché la barriera d'ingresso in termini di piattaforma è bassa e la differenziazione si gioca sul servizio, sulla persistenza e sull'intelligenza a bordo più che sul velivolo in sé. Il punto di riferimento commerciale per le operazioni istituzionali di prossimità è il multirotore professionale, come il DJI Matrice 350 RTK con peso massimo al decollo di 9,2 chilogrammi, autonomia di 55 minuti e resistenza al vento di 12 metri al secondo, una piattaforma matura ma limitata proprio nella persistenza [22]. All'estremo opposto della logica di impiego stanno i droni vincolati, come l'Elistair ORION 2 che offre fino a 50 ore di sorveglianza ininterrotta grazie all'alimentazione via cavo, ideali per presidiare un punto fisso durante un evento ma privi di raggio [23]. Nel mezzo, la fascia dei micro-droni

sotto i 250 grammi con termocamera, certificati in ambito UE dal 2025, ha reso accessibile la ricerca e soccorso di prossimità a costi minimi [24]. La forbice di prezzo di questi sistemi è documentata dall'indagine del DHS statunitense sui 17 droni commerciali qualificati per i primi soccorritori, che va da 12.995 a 120.000 dollari a piattaforma, un intervello che colloca il capitale per velivolo di un servizio ben al di sotto delle cifre del marittimo istituzionale [25]. La tabella seguente sintetizza le prestazioni e i costi delle principali opzioni tecnologiche del segmento.

Piattaforma o tecnologia	Prestazione chiave	Costo o ordine di grandezza
DJI Matrice 350 RTK	55 min autonomia, MTOW 9,2 kg, vento 12 m/s	fascia media, migliaia di EUR
Elistair ORION 2 vincolato	fino a 50 h continue via cavo, carico 5 kg	fascia alta professionale
Micro-droni sotto 250 g con termocamera	ricerca di prossimita, certificati UE 2025	fascia bassa, centinaia di EUR
Fascia primi soccorritori DHS	17 sistemi qualificati	da 12.995 a 120.000 USD
Programma regionale antincendio Calabria	circa 50 hub per droni	5 mln EUR totali, circa 100.000 EUR per hub stimati

La vera leva competitiva, tuttavia, non sta nell'hardware ma nella catena che trasforma il volo in informazione utile, ed è qui che le fonti mostrano una maturità tecnica ormai consolidata. Sul fronte del dissesto, la fotogrammetria da drone raggiunge accuratezze decimetriche con georeferenziazione diretta e un numero contenuto di punti di controllo a terra, i sistemi di monitoraggio delle frane hanno dimostrato una sensibilità verticale di 9 centimetri sufficiente a cogliere i movimenti lenti di un versante, e la tecnica Structure from Motion applicata a dati UAV ha quantificato con precisione volumi di frana ingenti come i 5 milioni di metri cubi della frana di Maierato [26][27][28]. Sul fronte delle alluvioni, reti neurali convoluzionali applicate alle immagini da drone raggiungono un'accuratezza del 97,52 per cento nella mappatura delle aree allagate, e per la Liguria un modello di apprendimento automatico prevede l'innesco delle frane superficiali con un'accuratezza del 93 per cento, il che indica che il valore aggiunto del servizio può spingersi dalla fotografia dell'evento fino alla sua previsione [29][30][31]. Sul fronte degli incendi, l'elaborazione a bordo è già praticabile con modelli di segmentazione in tempo reale che girano a 25 fotogrammi al secondo su un computer di bordo compatto, riducendo la latenza e la dipendenza dalla connettività, mentre la pianificazione cooperativa di più velivoli abbatte l'errore di tracciamento del fronte di fuoco di un fattore sette rispetto ai metodi model-based [32][33]. Questa densità di soluzioni mature significa che il progetto non deve inventare la tecnologia di missione ma integrarla, e che il rischio tecnologico del segmento è basso.

Resta un vincolo operativo che va nominato perché incide direttamente sul conto economico di un servizio, ed è la disponibilità al volo in condizioni meteorologiche reali. La cosiddetta flyability mediana dei droni commerciali comuni è di sole 5,7 ore al giorno, limitata da temperatura, vento e pioggia, mentre le piattaforme progettate per resistere alle intemperie arrivano a 20,4 ore al giorno, un divario che per un servizio di monitoraggio continuativo nelle vallate appenniniche fa la differenza fra una promessa e una prestazione [34]. È un argomento che rafforza la scelta di un velivolo robusto e persistente anziché di un multirotore leggero, e che va tradotto in requisito di progetto. Sul piano dei benefici, infine, il valore del mezzo aereo leggero rispetto all'alternativa con equipaggio è quantificabile anche in termini ambientali ed economici, come mostra il confronto per cui un drone da soccorso alpino produce fra i 12,1

e i 23,5 grammi di anidride carbonica per chilometro contro i 720 chilogrammi di un volo di elicottero sanitario di 50 minuti, un rapporto che arriva fino a 3.000 volte a favore del drone e che pesa nelle scelte di un cliente pubblico attento sia al bilancio sia alle emissioni [34].

Implicazioni per il progetto

La lettura complessiva di questo segmento consegna allo studio un messaggio coerente e per certi versi più incoraggiante di quello marittimo. Il monitoraggio dei rischi naturali è il caso d'uso in cui l'architettura del velivolo di progetto trova il suo migliore adattamento, perché la persistenza a bassa quota su un'area circoscritta con sensore termico e intelligenza a bordo è precisamente ciò che serve, e perché la barriera tecnologica è bassa e già presidiata da soluzioni mature da integrare più che da sviluppare. La domanda ha un fondamento strutturale non discrezionale, imposto da un territorio in cui il 94,5 per cento dei comuni è a rischio dissesto e la Liguria concentra oltre settemilacinquecento frane censite, e ha alle spalle risorse pubbliche reali dell'ordine di oltre 4 miliardi di euro fra Piano nazionale, Programma 2025-2030 e PNRR, oltre alla cornice SNAI da 4 milioni per area interna che è la porta di finanziamento più vicina al progetto. Il caso calabrese fornisce la prova che questo denaro può assumere la forma esatta di un servizio drone pagato da una Regione, e va usato come benchmark da portare al tavolo di Regione Liguria per replicare lo schema sull'entroterra e sul sito pilota dell'Antola. I clienti sono identificati e già attivi, dalle ARPA alla Protezione Civile ai Vigili del Fuoco fino al Soccorso Alpino, e nessuno di essi va convinto dell'utilità del mezzo, perché tutti lo stanno già adottando in forma frammentaria. Lo spazio di Firmamento è dunque quello di aggregare questa domanda frammentata in un servizio continuativo di vallata, vendendo persistenza e dato lavorato anziché singoli sorvoli, e di posizionare il servizio come funzione civile e salvavita, il che è al tempo stesso la sua verità operativa e il suo migliore argomento di accettazione sociale e di accesso ai fondi. Coerentemente con la natura modulare del prodotto, lo stesso velivolo che monta il payload termico per gli incendi porta la camera fotogrammetrica per le frane e il relay per l'emergenza, cosicché questo segmento non è un business separato ma la configurazione civile di un'unica piattaforma multi-ruolo.

Note e riferimenti

1. Sintesi esecutiva ISPRA 2021 sul dissesto idrogeologico, 18,4 per cento del territorio (55.609 km²) a pericolosita elevata o molto elevata, 93,9 per cento dei comuni (7.423), 1,3 mln di abitanti esposti a frane e 6,8 mln ad alluvioni. Dato verificato. (mar_565abcb57bed)
2. Dossier e tema della Camera dei Deputati sul dissesto idrogeologico, 94,5 per cento dei comuni a rischio (7.463 su 7.896), Piano MASE 2024 di circa 1,084 mld EUR, Programma nazionale 2025-2030 da 400 mln EUR, Sistema Integrato di Monitoraggio operativo dal giugno 2025 sul 100 per cento delle regioni meridionali. (mar_8ff5c1b3b272; mar_f1ce354c72cc)
3. Documento ENEA sulla tutela del territorio dal rischio idrogeologico, oltre 8 mln di persone in aree ad alta pericolosita. (mar_02d0660bdb1d)
4. Piattaforma IdroGEO e Inventario IFFI (Iadanza et al.), oltre 620.000 frane censite pari al 7,9 per cento del territorio nazionale. (mar_a4521c499b8f)
5. Rapporto ISPRA sulle frane, capitolo 12 dedicato alla Liguria, 7.513 frane censite sul territorio regionale. (mar_13fbcf3d4356)
6. Analisi idrologica dell'alluvione di Genova del 2011 (Silvestro et al.), 19 vittime, e centinaia di frane innescate alle Cinque Terre nello stesso anno. (mar_cc0d4fdcb668; mar_d048e9e29d09)

7. Studio su suscettibilita a flash flood e frane in Liguria (Riveros et al.), riporta costi idrogeologici superiori a 6,5 trilioni di EUR nel 2013-2022. Cifra implausibile di ordini di grandezza, da riverificare e non utilizzare. (mar_12951cca124a)
8. Analisi sull'allocazione territoriale dei fondi PNRR contro il dissesto, 2,49 mld EUR destinati al dissesto idrogeologico, 1,15 mld gia assegnati a 1.725 progetti di ricostruzione post-calamita. (mar_32960b512158)
9. Fonti primarie di spesa pubblica SNAI da archivio, ciclo corrente di circa 210 mln EUR con dotazioni di 4 mln EUR per area interna, vicino ai 5 mln del modello Calabria, cornice di spesa regionale attivabile per un servizio drone. (proj_fonti-primarie-spesa-pubblica-snai-da-archivio)
10. Piattaforma NASA di acquisizione dati aerei per il monitoraggio del fronte di fuoco, superficie bruciata media USA da 3,6 mln di acri (1991-2000) a 7,5 mln (2011-2020), sistema UAS a basso costo con 3,6 h di autonomia. (mar_4dd5bbf6528a)
11. NASA Technical Memorandum sull'impiego di UAV negli incendi, 7,6 mln di acri bruciati negli USA nel 2022, Camp Fire 2018 con 85 vittime e 148,5 mld USD di danni, 1,76 mld di tonnellate di CO_2 emesse dagli incendi globali nel 2021. (mar_54d6c9d90153)
12. Survey sui sistemi UAS abilitati dall'intelligenza artificiale per gli incendi, solo il 3-5 per cento degli incendi supera i 100 ettari ma l'1 per cento piu grande causa dall'80 al 96 per cento dell'area bruciata. (mar_fd2ae6b422fe)
13. Rapporto JPL Smoke Sky sulle frontiere UAS per la scienza degli incendi, spesa del US Forest Service per la risposta agli incendi salita dal 16 al 52 per cento del budget, autonomia degli sciami di micro-droni indicata come tecnologia a piu alto ritorno sull'investimento, incendio Tubbs 2017 con 149 km^2 e 22 vittime. (mar_be23ab01fd0c)
14. Studio sul telerilevamento ottico e termico aereo per il rilevamento degli incendi, satelliti VIIRS con frequenza di rivisitazione e risoluzione inadeguate al rilevamento precoce e latenze di diverse ore, droni a colmare il divario fra torri di avvistamento e satelliti. (mar_6e7bca0cddb5)
15. Studio sull'uso dei droni nel monitoraggio ambientale, almeno 12 ARPA italiane impiegano droni, 42 per cento dell'acqua immessa in rete perduta. (mar_3a818988d8be)
16. Cronaca sull'operativita di un drone dei Vigili del Fuoco della Liguria dotato di IMSI Catcher per la ricerca di dispersi. (mar_306d50f718b9)
17. Protocollo open source della Protezione Civile di Calderara di Reno per il monitoraggio di argini e alvei con droni termici, nucleo di 6 piloti e 3 droni. (mar_38f413b8370b)
18. Servizio Copernicus Emergency Management che integra droni e aerei per valutazioni danni ad alta risoluzione, 10 cm di dettaglio a Ischia. (mar_823a2dacc5cf)
19. Servizi cartografici per l'alluvione dell'Emilia-Romagna del maggio 2023, rapid mapping post-evento. (mar_150f0d68e619)
20. Dati CNSAS 2023 sul soccorso alpino, 12.349 missioni e 12.365 persone soccorse, 70 per cento degli interventi in ambiente montano o impervio. (mar_7475dd4c384e)
21. Proof point Calabria, PR Calabria FESR FSE+ 2021-2027 da 5 mln EUR per un sistema di monitoraggio e allerta precoce incendi con circa 50 stazioni-hub per droni entro il 2027, sensori termici e analisi AI in digital twin, potenziamento della baseline Tolleranza Zero 2022 con 40 droni pilotati. Finanziato e pianificato al 2027, analogo trasferibile e non domanda ligure. Dato verificato. (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni, claim D4; proj_fase-a-downstream-civile-terrestre-deep-research; proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
22. Scheda tecnica DJI Matrice 350 RTK, MTOW 9,2 kg, autonomia 55 min, resistenza al vento 12 m/s, velocita 23 m/s. (mar_5eb10ed46db8)

23. Scheda tecnica del drone vincolato Elistair ORION 2, fino a 50 h di volo continuo via cavo da 100 m, carico fino a 5 kg. (mar_1356e9017930)
24. Cronaca su droni portatili con termocamera sotto i 250 g, certificati UE 2025, per ricerca e soccorso. (mar_3f6bb4c53fc3)
25. Indagine di mercato DHS S&T sui droni per primi soccorritori, 17 sistemi qualificati con prezzi da 12.995 a 120.000 USD. (mar_3cfc1bce801c)
26. Review sull'accuratezza dei prodotti fotogrammetrici UAV, accuratezza decimetrica con georeferenziazione diretta e pochi punti di controllo a terra. (mar_52883b92a8f7)
27. Valutazione di accuratezza di un sistema di monitoraggio frane basato su UAV, sensibilita verticale di 9 cm. (mar_5f3f71a37589)
28. Monitoraggio di frane con UAV e tecnica Structure from Motion (Godone et al.), quantificazione del volume della frana di Maierato pari a 5 mln di m^3. (mar_d9567cff8eea)
29. Rete neurale convoluzionale (FCN-16s) per la mappatura dell'estensione delle inondazioni da dati UAV, accuratezza del 97,52 per cento per la classe acqua. (mar_f70a09236955)
30. Modello di apprendimento automatico (KRLS) per la previsione delle frane superficiali in Liguria (Magri et al.), accuratezza del 93 per cento. (mar_891e5b1fc784)
31. Confronto sui modelli previsionali e sulla sensibilita delle soglie di pioggia alla risoluzione temporale dei dati, contesto ligure e appenninico. (mar_9fafofc3d841)
32. Modello di segmentazione in tempo reale per la rilevazione di incendi su UAV, 25 fotogrammi al secondo su computer di bordo NVIDIA Jetson Orin NX. (mar_7efca9c41933)
33. Pianificazione cooperativa multi-UAV per copertura e tracciamento degli incendi boschivi, errore di tracciamento 7,5 volte inferiore ai benchmark model-based e 9 volte inferiore al reinforcement learning. (mar_b73e4ad4683c)
34. Vincolo di flyability e beneficio ambientale del drone, flyability mediana di 5,7 h al giorno per droni comuni contro 20,4 h per droni resistenti alle intemperie, impronta di 12,1-23,5 g CO2/km per un drone da soccorso alpino contro 720 kg CO2 per un volo di elicottero sanitario di 50 min. (mar_ffedaa01675d; mar_a2e594c017f2)
35. Piano nazionale di ripresa e resilienza, componente 4 della missione 2. Sub-investimento 2.1.b in capo al Dipartimento della Protezione Civile con 1,2 miliardi di euro, sub-investimento 2.1.a rimodulato in riduzione di 910 milioni a 290 milioni, attuazione tramite accordi di collaborazione fra Regioni e Comuni (mar_cf7e204401fb).
36. Regione Liguria, spesa per la difesa del suolo. 52 milioni di euro investiti dall'inizio del 2024, pacchetti di stanziamento dell'ordine di 2,4 milioni per gruppi di sette interventi di messa in sicurezza, piano regionale antincendio boschivo aggiornato con deliberazione di giunta 419 del 6 agosto 2025 (mar_4727d9a6a775).
37. Costi orari dei mezzi aerei antincendio in Italia. Canadair fra 12.000 e 15.000 euro per ora di volo, elicottero pesante in convenzione fra 10.000 e 11.000 euro, elicottero antincendio regionale intorno ai 2.000 euro, oltre ai costi fissi di mobilitazione a ogni attivazione (mar_bcf2e2c567f5).

2.7 L'ispezione delle infrastrutture lineari

Se il monitoraggio dei rischi naturali è l'ancora civile del progetto e la sorveglianza marittima il mercato istituzionale di scala, l'ispezione delle infrastrutture lineari è il segmento in cui la domanda è più schiettamente commerciale, ricorrente e già pagante, perché il cliente non è un ente pubblico da educare ma una grande utility che compra già ore di volo e ha già messo flotte in aria. La differenza rispetto agli altri segmenti va enunciata subito perché

Tavola 2.4. Una linea di trasmissione in alta tensione, il corridoio lineare da verificare periodicamente.

regge l'intera lettura. Le reti elettriche, le linee ferroviarie e le condotte sono asset che la prudenza industriale e la normativa impongono di ispezionare a cadenza periodica, cosicché la domanda non nasce da un evento eccezionale ma dal ciclo di manutenzione ordinaria, ed è quindi prevedibile, pluriennale e contrattualizzabile. Il rovescio di questa maturità è che il segmento è già presidiato, e in Italia lo è dalle stesse utility che ne sono le clienti, le quali hanno internalizzato flotte di multirotori a corto raggio per l'ispezione di prossimità. Lo spazio per un entrante come Firmamento non sta perciò nel competere sull'ispezione puntuale del singolo sostegno o del singolo viadotto, dove il multirotore vince, ma nella tratta lunga, cioè nel corridoio lineare esteso dove la persistenza e l'autonomia di un velivolo ad ala fissa pagano più della manovrabilità. È questa distinzione, fra prossimità e persistenza, la chiave di tutto ciò che segue.

Un mercato ricorrente e la sua dimensione

La dimensione del mercato va colta a due livelli, quello europeo di contesto, che è una stima di società di ricerca e come tale va trattato, e quello italiano operativo, che è documentato da dispiegamenti reali ed è la vera prova. Sul primo livello, il mercato europeo del drone-come-servizio è stimato da una società di analisi in 8,92 miliardi di dollari nel 2025, con proiezione a 11,11 miliardi nel 2026 e a 64,10 miliardi nel 2034, per un tasso di crescita annuo composto del 24,50 per cento, cifre che sono una previsione e non un consuntivo e che vanno maneggiate come ordine di grandezza [8]. All'interno di questo aggregato il segmento costruzioni e infrastrutture pesa da solo il 31,2 per cento nel 2024, ed è la fetta più grande, il che colloca l'ispezione infrastrutturale al centro e non ai margini del mercato dei servizi con drone [8]. La stessa fonte segnala che l'ispezione delle infrastrutture domina la

domanda insieme all'agricoltura di precisione, che le utility energetiche impiegano i droni per la valutazione di tralicci e condotte, e indica esplicitamente l'ispezione di condotte fra i casi d'uso trainati dalla maturazione delle operazioni oltre la vista [8]. A dare la misura del prezzo del servizio, le tariffe documentate per il lavoro con drone vanno da 100 a 400 dollari l'ora a seconda del tipo di missione, e il modello di ricavo ricorrente del drone-come-servizio è ormai riconosciuto come fonte di entrate stabile [10][11]. Un secondo riferimento di scala, anch'esso stimato, colloca il mercato commerciale dei droni a 41,3 miliardi di dollari entro il 2026, di cui il comparto energia e utility rappresenterebbe la quota maggiore con circa 6 miliardi [9]. Va detto con franchezza che si tratta di proiezioni di fornitori di ricerca, utili a fissare l'ordine di grandezza e la traiettoria di crescita ma non verificabili in modo indipendente, e che il vero fondamento del caso di mercato è il livello italiano operativo che segue. La tabella raccoglie i principali riferimenti di dimensione, tutti di natura stimata.

Voce	Valore	Anno e natura
Mercato europeo drone-come-servizio	8,92 mld USD	2025, stima
Mercato europeo drone-come-servizio	64,10 mld USD	2034, stima proiettata
Crescita annua composta europea	24,50 per cento	2026-2034, stima
Quota costruzioni e infrastrutture	31,2 per cento	2024, stima
Mercato commerciale droni globale	41,3 mld USD	2026, stima
Comparto energia e utility	circa 6 mld USD	2026, stima
Tariffa servizio drone	100-400 USD/ora	corrente, documentata

I clienti e le reti che gestiscono

Il livello italiano è quello che trasforma la stima in evidenza, perché i clienti hanno nomi, gestiscono reti misurabili e hanno già in volo flotte con numeri dichiarati. Il cliente di gran lunga più rilevante è E-Distribuzione, la società del gruppo Enel che gestisce la distribuzione elettrica nazionale, la quale amministra oltre 1.100.000 chilometri di rete e serve 31,5 milioni di clienti, una scala che da sola definisce la dimensione del fabbisogno ricorrente di ispezione [2]. Su questa rete l'azienda ha industrializzato l'uso del drone in un modo che non lascia dubbi sulla natura strutturale della domanda, portando la propria flotta da 30 unità all'inizio del 2021 a 350 unità nel 2022 e impiegando quasi 400 piloti per ispezionare 200.000 chilometri di linee aeree di media tensione, dopo aver avviato le prime sperimentazioni già nel 2012 [1]. Questi due numeri, la rete gestita e la flotta operativa, sono il cuore quantitativo del segmento, perché mostrano che un solo operatore ha già in campo una flotta di centinaia di velivoli dedicata all'ispezione e un corpo di piloti delle dimensioni di una media impresa. Accanto a E-Distribuzione operano altri clienti con lo stesso profilo. Inrete, del Gruppo Hera, gestisce oltre 1.500 chilometri di linee in media tensione fra la provincia di Modena e l'area di Imola, su terreni che vanno dalla pianura alla montagna [4]. Terna, il gestore della rete di trasmissione nazionale ad alta tensione, ha condotto le proprie sperimentazioni di ispezione aerea in regime oltre la vista [5]. Sul fronte ferroviario Rete Ferroviaria Italiana, del gruppo Ferrovie dello Stato, è cliente dell'ispezione con drone di ponti e viadotti, e a questi si aggiungono, nel quadro dei potenziali clienti ricorrenti tracciato dall'analisi di mercato del progetto, Autostrade per l'Italia per la rete stradale e Snam per le condotte del gas [7][21]. La pluralità dei clienti è essa stessa un dato di solidità, perché il servizio non dipende da un unico cliente ma da un insieme di operatori che condividono lo stesso obbligo di manutenzione periodica

su reti estese, e questo riduce il rischio di concentrazione che grava su segmenti con un solo grande acquirente.

I casi italiani già scalati e le autorizzazioni al volo oltre la vista

Ciò che rende questo segmento credibile non è però soltanto la scala delle reti, ma il fatto che l'ostacolo che per anni ha frenato l'ispezione aerea estesa, cioè il divieto di volare oltre il contatto visivo del pilota, è già stato superato in Italia con autorizzazioni reali e nominative. E-Distribuzione ha ottenuto da ENAC la prima autorizzazione non geografica del Paese per operazioni oltre la vista secondo lo scenario IT-PDRA-01, valida per aree non popolate senza vincoli di localizzazione, un traguardo reso possibile da un algoritmo proprietario che, incrociando i dati dei contatori elettrici, stima la concentrazione abitativa e determina dove il volo non a vista è ammissibile, con distanza massima dal punto di decollo di 2 chilometri nello scenario PdRA01 [1][2][3]. Inrete ha ottenuto, sempre da ENAC, la prima autorizzazione italiana per il volo oltre la vista su linee elettriche aeree basata sullo scenario europeo PDRA-G02, che porta la distanza massima dal pilota dai 500 metri del volo a vista fino a 5 chilometri, con quota operativa fra 40 e 50 metri dal suolo e validità estesa a zone ampie di tipologia simile e non a un'area circoscritta [4]. Terna, infine, ha completato con la collaborazione di Dron-e e Aerialclick l'ispezione di 4 chilometri di rete elettrica in un singolo volo oltre la vista a Pizzo Calabro, ricostruendo la linea con sensori LiDAR, e i responsabili del progetto hanno indicato esplicitamente che la stessa metodologia è esportabile ad altre infrastrutture lineari come coste, fiumi, ferrovie ed elettrodotti e a missioni con raggio d'azione di decine di chilometri [5]. Sul versante ferroviario, la prima gara pubblica per sistemi a pilotaggio remoto del gruppo Ferrovie dello Stato, dedicata all'ispezione dei ponti, fu aggiudicata già nel 2016 ad Aiviewgroup [6], e l'accordo quadro è stato successivamente rinnovato nel 2024 con un punteggio di aggiudicazione di 97,94 su 100, prevedendo rilievi geometrico-strutturali con output in formato CAD, termografia e l'uso del protocollo di catalogazione dei difetti DOMUS di RFI [7]. Questa sequenza di autorizzazioni e gare dimostra due cose insieme, che la domanda si traduce in contratti pubblici e privati concreti e che il quadro regolatorio italiano è ormai pronto per le operazioni estese che il segmento richiede.

Il fatto che le tre maggiori utility elettriche del Paese abbiano già ottenuto autorizzazioni distinte, con ambiti e limiti diversi, dice anche che il percorso non è ancora del tutto standardizzato e va costruito caso per caso, ma che la strada è aperta e percorsa. La cornice normativa gioca a favore, perché con l'entrata in vigore della metodologia SORA 2.5 il 29 settembre 2025, ridotta a dieci passaggi e assistita dallo strumento digitale eSORA, la valutazione del rischio delle operazioni oltre la vista si è semplificata e poggia su scenari standard già collaudati dalle utility [13][20]. Sul piano tecnico le capacità per la tratta lunga esistono, dato che i sistemi progettati per il volo oltre la vista raggiungono autonomie fino a 480 minuti e raggi operativi di 200 chilometri e integrano apparati di rilevamento e prevenzione delle collisioni basati su radar, LiDAR e ADS-B, con collegamenti di comando e controllo su reti 4G e 5G, SATCOM o radiofrequenza licenziata [14]. La barriera, in altre parole, non è più né normativa né tecnologica in senso stretto, ma sta nel disporre di una piattaforma che unisca l'autorizzabilità di un mezzo compatto sotto i 25 chilogrammi alla persistenza necessaria a coprire il corridoio in un solo volo.

Il valore economico e la frequenza delle campagne

Il valore economico del segmento si misura meglio dal lato del risparmio che il drone genera al cliente che non dal lato di un prezzo di listino, perché è sul risparmio che si costruisce

l'offerta a un gestore di rete. L'ispezione automatizzata con drone su linee in alta e media tensione riduce del 30-50 per cento costi e tempi rispetto alle alternative, cioè l'elicottero strumentato e la verifica da terra, su un perimetro che comprende l'ispezione visiva dei sostegni, la termografia per la ricerca dei punti caldi e il rilievo laser dei corridoi di vegetazione [23]. I benchmark di prezzo, in prevalenza internazionali, vanno letti come ordini di grandezza trasferibili con cautela, non come dati italiani. Il confronto di partenza è netto, perché un drone attrezzato per l'ispezione delle utility costa circa 250.000 dollari contro gli oltre 2 milioni di dollari di un elicottero equivalente, e in una prova sul campo l'ispezione con drone ha individuato il 48 per cento di anomalie in più rispetto alla squadra a terra, 202 contro 136 difetti su 96 sostegni controllati [9][12]. Sul lato dei costi di manutenzione che questi asset comportano, il gestore della rete di trasmissione britannica National Grid spende circa 20 milioni di dollari l'anno solo per riverniciare i tralicci ad alta tensione e prevede 45 milioni nei 4 anni successivi per sostituire l'acciaio corroso di un parco di 21.900 tralicci, e in quel contesto un elicottero ispeziona 16 tralicci al costo di 2.500 dollari l'ora mentre una squadra con drone a vista non supera i 10 tralicci in una buona giornata, il che dà la misura di quanto la persistenza e l'automazione possano incidere sul conto [9]. Negli Stati Uniti la utility ComEd, che serve circa il 70 per cento della popolazione dell'Illinois e più di 4 milioni di clienti, ha ottenuto dalla FAA le deroghe per condurre ispezioni oltre la vista con stazioni automatiche di ricarica, integrando il proprio programma droni avviato nel 2022 [9].

Il dato che più conta per un modello di servizio è però la frequenza, perché è lì che il drone cambia la natura economica dell'ispezione. Le ispezioni aeree tradizionali di un parco fotovoltaico si fanno una o 2 volte l'anno per vincoli di budget, ma con una stazione automatica di ricarica dal costo iniziale di circa 45.000 dollari si passa a un minimo di dodici ispezioni l'anno a costo quasi invariato, con un risparmio stimato intorno ai 1.916 dollari per megawatt per ispezione rispetto al cammino a piedi degli operatori, tanto che un cliente ha dichiarato risparmi annui di 383.127 dollari grazie alla riparazione di moduli difettosi che le ispezioni a piedi non avrebbero individuato [9]. Sull'eolico l'ispezione con drone riduce le voci di spesa dal 20 al 25 per cento e porta il costo per turbina dai circa 3.000 dollari del metodo manuale a una forbice fra 300 e 500 dollari, con riduzioni dei tempi di fermo superiori al 75 per cento [9]. Sulle dighe, un caso italiano documentato, quello della diga di Ridracoli studiato dall'Università di Perugia, indica una riduzione dei costi di ispezione fra il 40 e il 60 per cento grazie alla ripetibilità del volo e all'eliminazione di ponteggi e rocciatori [9]. Anche nel settore idrico i numeri sono coerenti, dato che la utility britannica Severn Trent Water ha dichiarato risparmi di circa 950.000 dollari nel 2020, raddoppiati a circa 1,8 milioni l'anno successivo, grazie all'uso di flotte di droni per le ispezioni [9]. Il filo che lega tutti questi casi è che il ritorno non viene dal singolo volo ma dalla frequenza e dalla precocità del rilevamento, cioè esattamente dalla persistenza, ed è la ragione per cui un servizio continuativo vale più di una campagna occasionale. La tabella raccoglie i benchmark economici internazionali citati, da leggere come ordini di grandezza e non come dati italiani.

Voce	Valore	Fonte e natura
Drone ispezione utility contro elicottero	circa 250.000 contro oltre 2.000.000 USD	benchmark internazionale
Anomalie rilevate drone contro squadra a terra	202 contro 136 su 96 sostegni	prova sul campo, estero
National Grid, verniciatura tralicci	circa 20 mln USD/anno	Regno Unito, 21.900 tralicci
Elicottero contro drone a vista, tralicci	16 contro max 10 per sessione	benchmark Regno Unito
Fotovoltaico, risparmio per ispezione	circa 1.916 USD per MW	benchmark internazionale
Eolico, costo per turbina	da 3.000 a 300-500 USD	benchmark internazionale

Voce	Valore	Fonte e natura
Diga di Ridracoli, riduzione costi	40-60 per cento	caso italiano
Severn Trent Water, risparmi	0,95 mln (2020) e 1,8 mln USD (2021)	Regno Unito

Da questi elementi si può ricavare un ancoraggio, che dichiaro come mia elaborazione e non come dato di fonte, alla disponibilità a pagare degli operatori italiani. Applicando le tariffe documentate di 100-400 dollari per ora di volo [10] alla necessità di ispezionare periodicamente una rete dell'ordine dei 200.000 chilometri come quella aerea di media tensione di E-Distribuzione [1], anche ipotizzando una produttività elevata del volo lungo il corridoio si ottengono decine di migliaia di ore di volo per singola passata, e quindi una spesa ricorrente di ordine di grandezza chiaramente pluri-milionario per singolo grande operatore e per ciclo di ispezione. È una stima di scala e va usata come tale, perché il costo per chilometro effettivamente pagato dai gestori italiani si determina in sede di offerta e varia con la densità dei sostegni, l'orografia e il livello di dettaglio richiesto. Il perimetro fisico su cui quella spesa insiste è però misurato con precisione, perché ai circa 63.900 chilometri di rete di trasmissione di Terna e agli oltre 32.500 chilometri di rete di trasporto di Snam si sommano gli oltre 1.100.000 chilometri della distribuzione elettrica, per un totale che supera il 1.200.000 chilometri di corridoi da verificare periodicamente [24]. Ciò che la stima consente di affermare con prudenza è che la torta è grande e ricorrente, e che bastano piccole quote di reti così estese per sostenere il conto economico di una cooperativa.

Lo spazio competitivo della tratta lunga

Definito il valore, resta da collocare Firmamento nello spazio competitivo, ed è qui che la distinzione fra prossimità e persistenza diventa operativa. Le operazioni italiane già in corso usano quasi ovunque multirotori a corto raggio, adatti all'ispezione ravvicinata del singolo sostegno, del giunto, della campata di un ponte, dove servono manovrabilità e volo stazionario e dove la letteratura tecnica più recente conferma la centralità del rotore e dei sensori RGB e termici, con il limite noto della risoluzione delle termocamere ferma a 640 per 512 pixel [18]. Che il rotore sia oggi l'architettura dominante lo conferma la sua quota del 58,2 per cento del mercato europeo del servizio nel 2024, e in questa fascia il segmento è già presidiato e non è il terreno di un entrante [8]. Lo spazio libero è quello opposto, cioè il corridoio lineare esteso, la linea di trasmissione che attraversa una vallata, il tracciato ferroviario di montagna, la condotta che corre per chilometri lontano dalle strade, dove il multirotore è penalizzato dalla scarsa autonomia e dalla necessità di continui rilanci mentre un velivolo ad ala fissa a lunga persistenza copre la tratta in un solo volo. Che questo sia lo spazio giusto lo conferma la stessa dinamica di mercato, perché nel drone-come-servizio europeo il segmento delle piattaforme ibride a decollo verticale è quello a più rapida crescita, con un tasso annuo composto stimato del 26,3 per cento e la capacità di coprire oltre 100 chilometri con una singola ricarica, e il segmento delle operazioni autonome cresce del 24,8 per cento trainato proprio da missioni ripetitive come le ispezioni di condotte e i pattugliamenti perimetrali [8]. I benchmark dei sistemi ad ala fissa a lunga autonomia mostrano prestazioni fuori dalla portata di un multirotore, con l'Aerovel Flexrotor che supera le 32 ore di volo e i 100 chilometri di raggio di comunicazione operando da un'area di lancio di pochi metri quadri, tanto da essere stato acquisito da Airbus Helicopters nel 2024, il Boeing Insitu ScanEagle che raggiunge le 22 ore con oltre 500.000 ore di volo operativo alle spalle, e l'Edge Autonomy Penguin C che vola 20 ore a 80 chilometri orari [15][16][17]. La piattaforma di progetto, un'ala fissa long-endurance in

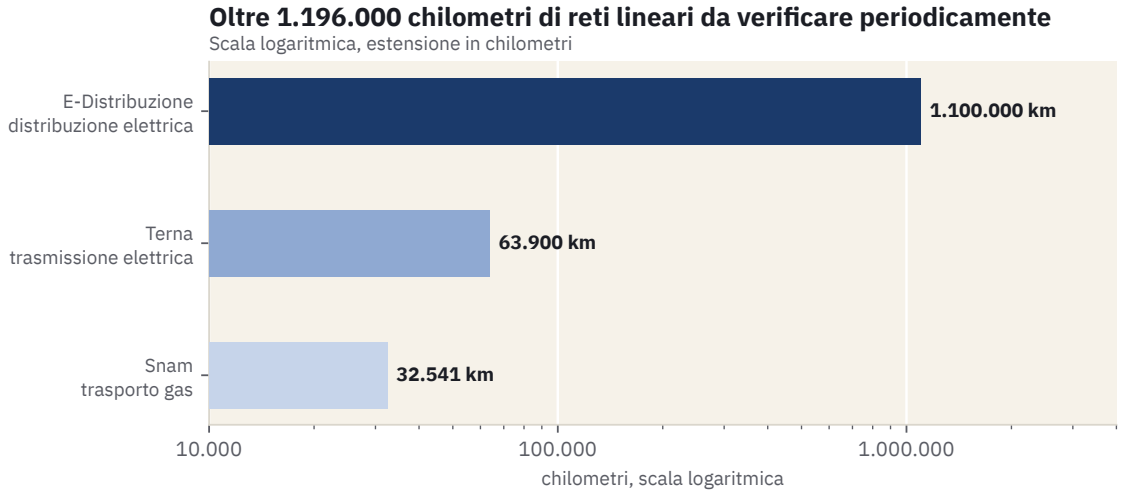


Figura 2.2. L'estensione delle reti lineari italiane da verificare periodicamente.

classe compatta con decollo verticale modulare, si colloca esattamente in questo varco, perché unisce l'autorizzabilità e il costo contenuto del sotto-25 chilogrammi alla persistenza che la tratta lunga richiede, e perché il decollo verticale le consente di operare dai fondovalle stretti dell'entroterra senza pista, dove un lancio tradizionale non sarebbe praticabile. Il fatto che dall'analisi competitiva non emerga un concorrente italiano diretto in questa fascia rafforza il posizionamento, perché indica uno spazio di offerta nazionale libero più che un mercato saturo.

Implicazioni per il progetto

La lettura complessiva consegna allo studio un messaggio più commerciale e meno assistito di quello degli altri segmenti civili. L'ispezione delle infrastrutture lineari non ha bisogno di un'ancora pubblica per esistere, perché la domanda è generata dall'obbligo di manutenzione di reti che valgono spese di manutenzione miliardarie ogni anno e che sono già ispezionate con drone dalle utility che le posseggono. Per Firmamento questo significa tre cose. La prima è che il segmento va aggredito come mercato business, con contratti pluriennali di servizio verso clienti che comprano già ore di volo, e non come progetto finanziato, il che ne fa la gamba di ricavo ricorrente che bilancia la componente più legata ai fondi pubblici degli altri usi civili. La seconda è che il posizionamento corretto è la tratta lunga e non l'ispezione puntuale, cioè vendere la persistenza di un'ala fissa sul corridoio esteso e lasciare ai multirotori la prossimità, evitando una competizione frontale che l'entrante perderebbe contro le flotte già internalizzate dalle utility. La terza è che il valore non sta nel volo ma nel dato lavorato e nella frequenza, cosicché l'offerta va costruita come servizio continuativo che consegna al cliente non immagini grezze ma difetti classificati, seguendo la logica dei protocolli già in uso come il DOMUS ferroviario e delle pipeline di elaborazione che trasformano il volo in ortomosaici, nuvole di punti e mappe termiche in formati standard [7][22]. Coerentemente con la natura modulare del prodotto, lo stesso velivolo che porta il payload termico per gli incendi e la camera fotogrammetrica per le frane monta qui la combinazione di sensore RGB, termografico e geometrico che l'ispezione lineare richiede, così che questo segmento non è un business separato ma la configurazione a scala di un'unica piattaforma multi-ruolo, quella che

genera i ricavi B2B ricorrenti mentre gli usi legati alle aree interne assolvono la funzione civile e di accesso ai fondi.

Note e riferimenti

1. Notizia DronEzine sull'espansione della flotta droni di E-Distribuzione nel 2022, flotta da 30 a 350 unità, quasi 400 piloti, 200.000 km di linee di media tensione, autorizzazione BVLOS non geografica in scenario PdRA01 fino a 2 km, sperimentazioni dal 2012. Dato verificato di fonte giornalistica. (mar_f8dc5194f2db)
2. Scheda EuroUSC Italia sull'autorizzazione BVLOS non geografica IT-PDRA-01 di E-Distribuzione, rete gestita di oltre 1.100.000 km e 31,5 milioni di clienti. Dato verificato. (mar_9e5ee15fe395)
3. Notizia Quadricottero sul permesso BVLOS rilasciato da ENAC a E-Distribuzione nel 2022. (mar_b438762cc626)
4. Comunicato Gruppo Hera su Inrete, prima autorizzazione ENAC per BVLOS su linee elettriche aeree in scenario PDRA-G02, fino a 5 km dal pilota contro i 500 m del volo a vista, quota 40-50 m, oltre 1.500 km di linee di media tensione fra Modena e Imola. Dato verificato. (mar_f5a3f1f99435)
5. Comunicato Dron-e sull'ispezione BVLOS di 4 km di rete elettrica di Terna a Pizzo Calabro con LiDAR, ed esportabilità del metodo ad altre infrastrutture lineari e a missioni di decine di km. (mar_35dbd2ecdacf)
6. Notizia Quadricottero del 2016 sull'aggiudicazione ad Aiviewgroup della prima gara SA-PR di RFI per l'ispezione dei ponti ferroviari. (leg_97bfd068b11a)
7. Output della ricerca preliminare di mercato del progetto sul downstream civile e terrestre, gara RFI e Ferrovie dello Stato per i ponti aggiudicata ad Aiviewgroup con 97,94 su 100, accordo quadro rinnovato nel 2024, protocollo DOMUS, output CAD e termografia, portafoglio clienti RFI, Autostrade, Enel. (proj_fase-a-downstream-civile-terrestre-deep-research)
8. Report Market Data Forecast sul mercato europeo del drone-come-servizio, 8,92 mld USD nel 2025 e 64,10 mld nel 2034, CAGR 24,50 per cento, costruzioni e infrastrutture al 31,2 per cento, rotore al 58,2 per cento, VTOL ibrido a CAGR 26,3 per cento e oltre 100 km, operazioni autonome a CAGR 24,8 per cento con ispezioni di condotte. Stima di società di ricerca, non verificata in modo indipendente. (mar_6361c3d179a5)
9. Articolo Commercial UAV News sul ritorno d'investimento dei programmi di ispezione con drone delle utility, con benchmark internazionali su costo drone contro elicottero, National Grid, ComEd, fotovoltaico, eolico, Severn Trent Water, diga di Ridracoli, e comparto energia e utility da circa 6 mld su 41,3 mld. Benchmark prevalentemente statunitensi e britannici. (tec_280aa1ee7f9f)
10. Fonte sulle tariffe dei servizi con drone, da 100 a 400 dollari l'ora a seconda del tipo di lavoro. (tec_621446bb24b2)
11. Fonte sul modello di ricavo ricorrente del drone-come-servizio. (tec_16d611616b0b)
12. Sintesi documentale del dominio cost-ops, sintesi del confronto economico drone contro elicottero e del 48 per cento di anomalie in più rilevate dal drone. (tec_280aa1ee7f9f)
13. Fonti EASA e JARUS sulla metodologia SORA 2.5, immediatamente applicabile dal 29 settembre 2025, ridotta a dieci passaggi e assistita dallo strumento eSORA. (tec_74a403939e10; tec_d375fe74c68e; tec_9228a51c6b64)
14. Guida ai sistemi BVLOS, autonomie fino a 480 minuti e raggi operativi di 200 km, sistemi Detect and Avoid con radar, LiDAR e ADS-B, link di comando e controllo su 4G/5G, SATCOM o RF licenziata. (tec_cocf732339a8)

15. Scheda Aerovel Flexrotor, oltre 32 ore di autonomia e 100 km di raggio di comunicazione da area di lancio ridotta, acquisizione da parte di Airbus Helicopters nel 2024. (tec_5576d7b9d41e)
16. Scheda Boeing Insitu ScanEagle, 22 ore di autonomia e oltre 500.000 ore di volo operativo. (tec_d2138300e81c)
17. Scheda Edge Autonomy Penguin C, 20 ore di volo a velocità di crociera di 80 km/h. (tec_28e653c4fdfe)
18. Revisione Chand et al. del 2026 sull'ispezione dei ponti con UAS, confronto fra piattaforme ad ala fissa, a rotore e ibride, limite di risoluzione delle termocamere a 640 per 512 pixel. (mar_160d902b9e61)
19. Sintesi documentale del dominio tec-regulatory, quadro SORA 2.5 e precedenti BVLOS italiani per le utility. ()
20. Market Analysis Report consolidato della ricerca preliminare di mercato, mappa dei clienti della nicchia N4 (Enel, Terna, RFI, Snam, Autostrade) e posizionamento sulla tratta lunga dove la persistenza paga. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
21. Presentazione Cal-IPC e Planet Labs sulla pipeline dati da drone, sensori RGB, multispettrale e termico, output GeoTIFF, LAS e nuvole di punti gestiti in cloud. (tec_a314b396508d)
22. Risparmio dell'ispezione automatizzata con drone sulle linee elettriche in alta e media tensione. Riduzione del 30-50 per cento di costi e tempi rispetto ai metodi alternativi, con perimetro di servizio comprendente ispezione visiva dei sostegni, termografia per la ricerca dei punti caldi e rilievo LiDAR dei corridoi di vegetazione (mar_a12dd91206f6).
23. Estensione delle reti infrastrutturali lineari italiane. Terna con circa 63.900 chilometri di linee di trasmissione in alta e altissima tensione, Snam Rete Gas con 9.613 chilometri di rete nazionale e 22.928 chilometri di rete regionale di trasporto (mar_971a2d7f0750).

2.8 L'agricoltura di precisione e l'osservazione della Terra

Rispetto ai segmenti trattati fin qui, l'agricoltura di precisione e l'osservazione della Terra occupano nella strategia del progetto una posizione diversa e vanno letti con una lente diversa. Non sono un'ancora politico-istituzionale come il monitoraggio dei rischi naturali, né un mercato pubblico ricorrente e già finanziato come la sorveglianza marittima, ma un mercato di scala civile su cui la piattaforma si estende una volta legittimata, grande e in crescita robusta tanto nel contesto europeo quanto in quello italiano. La sintesi consolidata della ricerca preliminare di mercato lo colloca come nicchia a domanda pagante media e a buona compatibilità tecnica [1], e la sezione ne ricostruisce la scala nazionale, i benefici misurati e il prezzo praticato, tenendo separato con cura il dato verificato dalla stima.

La premessa che regge l'intera lettura, e che va posta subito per non generare equivoci sul ruolo del velivolo di Firmamento, è che dentro l'agricoltura di precisione convivono due mestieri tecnicamente distinti che richiedono due classi di macchina diverse. Da un lato c'è l'irrorazione, cioè la distribuzione mirata di fitofarmaci, fertilizzanti e semi, che oggi è dominata da multirotori pesanti a serbatoio come i DJI Agras, velivoli con peso massimo al decollo compreso fra i 90 e i 101 chilogrammi e autonomie di pochi minuti a pieno carico, pensati per trattare superfici circoscritte volando basso e lento sopra il campo [2][3]. Dall'altro c'è l'osservazione, cioè la raccolta di dati per mappare lo stato delle colture, prevedere le rese, individuare precocemente stress idrici e attacchi di patogeni, che è invece il terreno naturale di un velivolo ad ala fissa long-endurance capace di coprire con continuità un intero comprensorio. La piattaforma compatta del progetto non compete con il multirotore da irrorazione e

Tavola 2.5. Il vigneto terrazzato ligure, dove la meccanizzazione tradizionale non arriva.

non deve provarci, perché appartiene al secondo mestiere, quello del dato, ed è precisamente questa la ragione per cui il prodotto è concepito come servizio di informazione, il dato come servizio, e non come vendita di ore di trattamento. Il mercato dell'irrorazione va guardato non come concorrenza ma come prova della disponibilità del settore a investire in tecnologia aerea, mentre il mercato del dato è lo spazio effettivo del velivolo.

La scala del mercato, dall'osservazione della Terra al drone come servizio

Il contesto di scala più solido e meglio verificato è quello dell'osservazione della Terra a livello europeo e globale, perché poggia su una fonte istituzionale, il rapporto di mercato dell'agenzia dell'Unione per il programma spaziale, ed trova conferma in più fonti indipendenti. Il mercato EO complessivo vale circa 3,5 miliardi di euro nel 2024 ed è previsto crescere fino a 7,9 miliardi di euro entro il 2034, con le imprese europee che coprono il 42 per cento dell'offerta EO globale, e questo è un dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti [4][5]. Dentro questo aggregato l'agricoltura è indicata dallo stesso rapporto come il singolo segmento di osservazione della Terra più grande, con una quota attorno al 21 per cento dei ricavi 2024, e i servizi a valore aggiunto, cioè il vero downstream di servizi su cui il progetto si posiziona, sono stimati passare da 2,8 a 6,7 miliardi di euro nel decennio, ma su queste due cifre va posta una riserva esplicita perché non sono verificabili in modo indipendente senza il documento integrale, per cui vanno usate come indicazione direzionale e non come numeri certi [6][1]. Ciò che resta saldo è che l'osservazione della Terra è un mercato europeo da quasi 8 miliardi al 2034 in cui l'agricoltura è, con ogni probabilità, la voce maggiore, e che il valore non è nell'immagine grezza ma nel servizio che la trasforma in decisione agronomica. La declinazione italiana di questa grandezza è misurata dall'Osservatorio Smart AgriFood del Politecnico di Milano e dall'Università di Brescia, che collocano il mercato nazionale dell'A-

gricoltura 4.0 a 2,5 miliardi di euro nel 2025, in crescita del 9 per cento dopo la flessione dell'8 per cento del 2024 che lo aveva riportato a 2,3 miliardi [23]. Il dettaglio che più conta per il progetto è la composizione della crescita, che non viene dalle macchine ma dal software, con i sistemi di gestione aziendale in aumento del 17 per cento e i sistemi di supporto alle decisioni del 26 per cento [23]. È lo stesso spostamento di valore dall'attrezzatura al servizio informativo osservato su scala mondiale, qui misurato sul comparto agricolo italiano, e costituisce la migliore giustificazione di mercato per un'offerta che vende dato agronomico e non ore di macchina.

Il secondo pilastro di scala è il mercato del drone come servizio, che è la forma di mercato più vicina al modello di business del progetto perché descrive proprio la vendita di capacità aerea senza che il cliente acquisti hardware o piloti. Una società di analisi valuta il mercato europeo del drone as a service in 8,92 miliardi di dollari nel 2025, con proiezione a 11,11 miliardi nel 2026 e a 64,10 miliardi entro il 2034, per un tasso di crescita annuo composto del 24,50 per cento, trainato tra l'altro proprio dall'agricoltura oltre che da ispezioni e logistica [7]. Questa cifra va trattata come stima di società di ricerca privata, quindi direzionale e da triangolare, ma il suo ordine di grandezza è coerente con la traiettoria generale del settore, e il segnale strutturale che porta con sé è quello che conta di più per Firmamento, cioè che l'Europa ha già oltre 500.000 operatori di droni registrati e una base agricola di 157 milioni di ettari potenzialmente servibili con agricoltura di precisione, il che dà il senso dell'ampiezza del bacino a monte [7]. Sul versante dei dispositivi, la stessa area di mercato dell'osservazione della Terra riporta una base installata di ricevitori di navigazione satellitare in crescita da 5,8 a circa 10 miliardi di unità nel decennio, dato utile a fotografare la pervasività del posizionamento di precisione che è il presupposto tecnico dell'agricoltura di precisione, mentre il valore monetario di quel mercato di posizionamento non viene qui utilizzato perché le cifre circolanti su di esso non hanno retto al controllo delle fonti primarie e vanno lasciate cadere [5].

Il numero che più conta, però, non è quello europeo ma quello italiano, ed è anche il meglio ancorato a una fonte nazionale autorevole. Il mercato professionale dei droni e della mobilità aerea avanzata in Italia, cioè le operazioni per imprese e pubbliche amministrazioni, ha raggiunto nel 2025 i 168 milioni di euro, in crescita del 5 per cento sull'anno precedente, secondo il censimento dell'Osservatorio del Politecnico di Milano, che nello stesso anno conta 675 imprese attive, oltre 148.000 velivoli registrati sulla piattaforma nazionale e più di 185.000 operatori, con oltre 650 progetti mappati di cui l'89 per cento nelle operazioni aeree [8]. Dentro questo mercato l'agricoltura di precisione è indicata esplicitamente tra i servizi ad alto valore aggiunto in crescita, e la direttrice dell'Osservatorio segnala che nel 2025 l'agricoltura ha aperto a nuovi servizi di erogazione, mentre la sfida dichiarata dell'intero comparto è trasformare le moltissime sperimentazioni in servizi commerciali continuativi [8]. Questa lettura è preziosa per il progetto perché conferma dall'interno del mercato italiano due cose insieme, che l'agricoltura è uno dei fronti vivi della domanda e che il collo di bottiglia non è la tecnologia ma il passaggio dalla prova pilota al servizio ricorrente venduto con continuità, che è esattamente la scommessa del modello del dato come servizio proposto da Firmamento. La tabella seguente ordina questi riferimenti di scala distinguendo il grado di affidabilità di ciascuno.

Aggregato	Valore	Crescita	Affidabilità
Mercato EO globale ed europeo	3,5 mld EUR (2024) a 7,9 mld EUR (2034)	CAGR circa 8 per cento	verificato 3-0

Aggregato	Valore	Crescita	Affidabilità
Servizi EO a valore aggiunto	2,8 a 6,7 mld EUR (2024-2034)	forte	non verificabile in modo indipendente
Quota agricoltura sul mercato EO	circa 21 per cento dei ricavi 2024	tra i più rapidi	non verificabile in modo indipendente
Drone as a service Europa	8,92 mld USD (2025) a 64,10 mld USD (2034)	CAGR 24,50 per cento	stima di società di analisi
Mercato droni professionali Italia	168 mln EUR (2025)	piu 5 per cento sul 2024	fonte nazionale, direzionale
Base installata ricevitori GNSS	5,8 a circa 10 mld unità (2024-2034)	raddoppio in 10 anni	verificato

La propensione a investire delle aziende agricole italiane

La domanda che segue naturalmente dalla scala è se le aziende agricole italiane siano davvero disposte a mettere denaro in questa tecnologia, e qui le fonti offrono un segnale forte ma di natura da trattare con prudenza. La fonte italiana di settore riporta che oltre sei aziende agricole su dieci si dichiarano pronte a investire in droni, un valore alto che indica una propensione diffusa ma che proviene da una pubblicazione specializzata di orientamento commerciale e va quindi letto come indicatore di clima piuttosto che come misura statistica rigorosa [9]. La stessa fonte accompagna questo dato con un'affermazione ancora più marcata, secondo cui il valore dell'agritech in Italia sarebbe cresciuto del 1500 per cento in 5 anni, cifra suggestiva che qui viene riportata solo per completezza e che va considerata promozionale e non verificabile in modo indipendente, dunque non utilizzabile in un conto economico [9]. Il segnale credibile che si ricava, incrociando questa propensione dichiarata con il dato duro dell'Osservatorio milanese sui 675 operatori attivi e sui 168 milioni di mercato, è che l'interesse esiste ed è in movimento, ma che la conversione in spesa effettiva è ancora parziale e frenata dagli stessi ostacoli documentati altrove, cioè la volatilità dei mercati agricoli, il costo elevato degli input e la complessità normativa, barriere che uno studio finanziario condotto su un'azienda cerealicola statunitense di 200 acri identifica come le principali ragioni della lentezza nell'adozione delle tecnologie di precisione [10].

Ciò che sposta la propensione dalla dichiarazione al fatto è la leva pubblica sugli incentivi e l'apertura normativa recente, che in Italia sono maturate proprio nel biennio in cui il progetto si colloca. Sul piano regolatorio il passaggio decisivo è l'emendamento al disegno di legge Semplificazioni approvato dal Senato l'8 ottobre 2025, che apre all'uso professionale dei droni per il trattamento fitosanitario nell'ambito di una sperimentazione regolata, sbloccando di fatto l'irrorazione aerea che fino a quel momento era preclusa, mentre i decreti attuativi che definiranno in dettaglio modalità operative, certificazioni e distanze di sicurezza sono attesi entro il 2026 nel recepimento della revisione della direttiva europea sull'uso sostenibile dei pesticidi [9][11]. Sul piano finanziario gli strumenti che abbattono l'investimento sono due e cumulabili, il Piano Transizione 4.0 con un iper-ammortamento fino al 250 per cento e la Nuova Sabatini con il contributo sugli interessi del finanziamento, la cui combinazione può coprire una quota compresa tra il 50 e il 60 per cento del costo, arrivando a un beneficio dell'ordine di 10.000-12.000 euro su un investimento di 20.000 euro [9]. Questa architettura di incentivi è rilevante per Firmamento anche se il prodotto è venduto come servizio, perché rende più solida la filiera dei clienti e delle cooperative che acquistano tecnologia agricola, e perché lo stesso quadro di sostegno pubblico può essere fatto valere sull'infrastruttura di servizio, non solo sull'hardware in mano al singolo agricoltore.

I benefici quantificati, meno chimica e più informazione

La ragione economica per cui un'azienda agricola paga per il dato aereo sta nei benefici misurabili che quel dato produce, e su questo fronte la documentazione è ricca e piuttosto concorde, pur con la solita distinzione tra dato verificato e claim di produttore. Il beneficio più citato e più solido è la riduzione dell'impiego di agrofarmaci, che l'irrorazione di precisione con droni porta secondo più fonti in una forbice compresa fra il 30 e il 50 per cento grazie alla distribuzione mirata che evita la copertura uniforme del campo, ed è un vantaggio che vale contemporaneamente sul conto economico dell'azienda e sull'allineamento alle direttive europee di riduzione della chimica [9][12]. A questo si affianca un dato sull'acqua che va maneggiato con più cautela, cioè la riduzione fino al 90 per cento dei consumi idrici e di prodotti chimici rispetto ai metodi tradizionali, che è però riportato da una fonte riconducibile al principale produttore di droni agricoli e va perciò classificato come claim di parte, plausibile come ordine di grandezza per l'irrorazione mirata ma non come misura indipendente [12]. Il punto da tenere fermo è che la parte di questi benefici che compete direttamente al velivolo di Firmamento non è quella dell'irrorazione, che spetta ai multirotori, bensì quella dell'informazione che consente di trattare meno e meglio, perché è la mappa dello stress della coltura a dire dove e quanto intervenire, ed è quindi il dato di osservazione a generare a monte il risparmio di chimica che poi il multirotore esegue a valle.

Il valore informativo si misura nell'accuratezza con cui i dati aerei predicono grandezze agronomiche di interesse, e la letteratura tecnica raccolta offre numeri concreti che danno la misura della maturità del metodo. Per i pascoli l'indice di vegetazione NDVI ricavato da drone correla con la biomassa con un coefficiente di determinazione pari a 0,80, e l'integrazione dei dati aerei con modelli di crescita porta la stima della biomassa a un errore quadratico medio di 509 chilogrammi di sostanza secca per ettaro con un coefficiente di concordanza di 0,94, valori che rendono il monitoraggio aereo un sostituto credibile dei rilievi manuali [13]. Per il frumento l'indice NDRE si conferma il miglior predittore della resa, con un errore quadratico medio compreso fra 49,1 e 60,6 grammi per metro quadrato, mentre per la cipolla un modello di apprendimento automatico a foreste casuali raggiunge in addestramento un coefficiente di determinazione di 0,944 con un errore di 1,919 tonnellate per ettaro [14][15]. Proprio quest'ultimo caso porta con sé un avvertimento metodologico importante e onesto, perché la stessa accuratezza scende a 0,755 quando il modello viene validato su dati indipendenti, il che segnala la difficoltà a generalizzare i modelli tra stagioni, varietà e condizioni ambientali diverse, e va tradotto per il progetto nella consapevolezza che il servizio va calibrato localmente e non trasferito acriticamente da un contesto all'altro [15].

I casi d'uso in coltura e in zootecnia

Sul versante delle colture i casi d'uso che il velivolo persistente serve meglio sono quelli che richiedono di coprire con regolarità superfici estese e frammentate, tipiche peraltro dell'agricoltura di collina e di montagna dell'entroterra. La mappatura multispettrale e iperspettrale è la funzione portante, con sensori leggeri capaci di restituire mappe ad alta risoluzione dello stato vegetativo, e il caso della viticoltura di precisione è particolarmente istruttivo perché mostra la sinergia con lo spazio che è il cuore della proposta di valore del progetto. Un metodo basato su reti neurali profonde usa infatti le immagini da drone per raffinare le mappe NDVI ricavate da satellite, producendo mappe di vigore del vigneto a tre classi che il solo dato satellitare non consentirebbe per grossolanità di risoluzione [16]. Questo è il posizionamento tecnico esatto del velivolo di Firmamento nell'osservazione della Terra, cioè il nodo aereo intermedio che sta fra il satellite, che copre tutto ma con risoluzione grossolana e rivisite

diradate, e il rilievo di prossimità, che è preciso ma copre poco, e che colma il divario offrendo alta risoluzione su area vasta con la frequenza che serve alla decisione agronomica. La fusione di dati RGB e multispettrali migliora ulteriormente la stima della biomassa, e l'imaging iperspettrale è indicato dalla letteratura di settore come tecnologia ormai pronta al decollo per l'agricoltura, segno che il rischio tecnologico del payload di osservazione è basso e la differenziazione si gioca sul servizio e sull'elaborazione del dato più che sul sensore in sé [17].

Sul versante zootecnico i droni si sono affermati come strumento di conteggio, localizzazione e valutazione dello stato del bestiame al pascolo, funzione che nell'entroterra ligure e appenninico ha un valore diretto per gli allevamenti estensivi che presidiano territori ampi e difficili. Il rilevamento dei bovini nelle immagini aeree tramite apprendimento profondo raggiunge la sua accuratezza ottimale a risoluzioni comprese fra uno e 2 centimetri per pixel, corrispondenti a quote di volo fra i 30 e i 60 metri, e un metodo pragmatico per quantificare la densità di pascolo ha censito duecento yak su un'estensione di 113 ettari con un drone commerciale di fascia media [18][19]. L'integrazione con sensori a terra e comunicazione LoRaWAN estende il monitoraggio ad allevamenti estensivi con coperture fino a 10 chilometri, aprendo alla funzione di raccolta e rilancio dati che il velivolo può svolgere sorvolando periodicamente pascoli non serviti da rete [20]. Va però registrata con la stessa franchezza una tensione etica che le fonti sollevano esplicitamente, perché l'uso di recinti virtuali e strumenti digitali di controllo del bestiame, pur efficiente, può esporre alcuni animali a scosse elettriche ripetute a causa delle differenze individuali nella capacità di apprendimento, e questo impone di trattare le applicazioni zootecniche più invasive con cautela e di privilegiare le funzioni di osservazione non coercitiva, che sono peraltro quelle più coerenti con la vocazione del velivolo [21].

La disponibilità a pagare e il modello del dato come servizio

Il nodo decisivo della sezione è la disponibilità a pagare, perché è il dato su cui si costruisce il conto economico, e il riferimento più solido di cui si dispone è il prezzo che il mercato italiano pratica oggi. Il trattamento aereo con drone si paga fra 70 e 120 euro per ettaro secondo la coltura, le condizioni del terreno e il tipo di intervento, con il vigneto fra 80 e 110 euro, l'oliveto fra 70 e 100 e una media intorno ai 90 euro per ettaro su entrambe le colture; il prezzo unitario decresce all'aumentare della superficie servita, segno di una struttura di costo dominata dalle spese fisse di mobilitazione, mentre gli appezzamenti piccoli scontano un sovrapprezzo [24]. Sul solo servizio informativo, che è quello a cui il progetto punta, i pacchetti di mappatura e monitoraggio con indici di vegetazione partono da circa 700 euro e comprendono NDVI e GNDVI, conteggio delle piante, umidità e temperatura del suolo e restituzione tridimensionale [24]. Il prezzo praticato non coincide con una disponibilità a pagare rilevata su base campionaria, ma ne è l'approssimazione più diretta, e collocandosi su una fascia di alcune decine di euro per ettaro a intervento fissa il tetto entro cui un'offerta a servizio deve stare per risultare competitiva. Attorno a questo riferimento due ancoraggi indiretti, dichiarati come elaborazione dell'autore, ne confermano la scala. Il primo è il costo del capitale del solo velivolo da irrorazione, che va dai 5.723 euro del DJI Agras T25P ai 13.008 euro del T50 fino ai 14.545-21.818 euro della fascia XAG, cifre che fissano l'ordine di grandezza dell'investimento che un'azienda medio-piccola è già disposta a sostenere per la sola esecuzione, e che rendono plausibile una spesa comparabile per il servizio di dato che a quell'esecuzione dà valore [9]. Il secondo ancoraggio è la struttura degli incentivi, che coprendo il 50-60 per cento del costo porta l'esborso netto effettivo su un investimento tipo

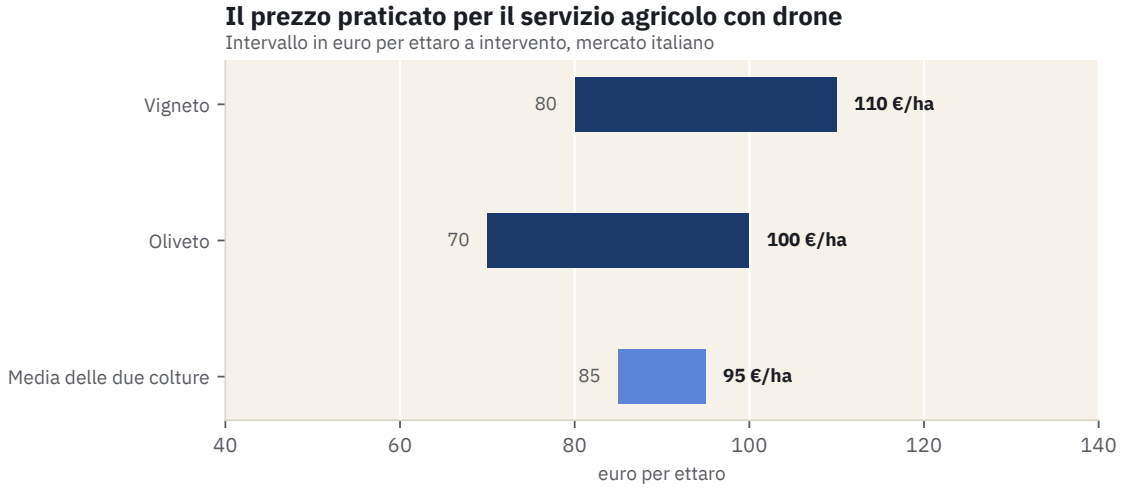


Figura 2.3. Il prezzo praticato in Italia per il servizio agricolo con drone, in euro per ettaro.

di 20.000 euro a circa 8.000-10.000 euro, definendo la soglia di prezzo entro cui un'offerta a servizio diventa competitiva rispetto all'acquisto [9].

Il modello che scioglie questa incertezza sul prezzo unitario e che è al tempo stesso il più coerente con la natura del progetto è quello dell'aggregazione cooperativa della domanda. Le aziende agricole delle aree interne sono piccole, frammentate e in contrazione, come mostra la caduta di circa il 25 per cento della superficie agricola utilizzata nelle aree periferiche e ultra-periferiche fra il 1971 e il 2011, e per queste realtà l'acquisto individuale di tecnologia aerea è fuori portata, mentre la cooperativa di comunità è indicata dalla letteratura come il modello organizzativo capace di rendere condivisa e sostenibile l'adozione, abbattendo i costi di accesso e distribuendoli su più aziende [22][12]. Questo è il punto in cui l'agricoltura di precisione si salda con la cornice del bando Cooding II e con la natura cooperativa del cliente, perché il servizio di dato non viene venduto al singolo agricoltore ma a un soggetto che aggrega la domanda di una vallata e la trasforma in un abbonamento continuativo, cioè proprio quel servizio commerciale ricorrente che l'Osservatorio milanese indica come la frontiera da conquistare [8]. La disponibilità a pagare, in questa cornice, non è quella di un piccolo coltivatore isolato ma quella di una cooperativa che ripartisce su decine di aderenti il costo di un monitoraggio che nessuno di loro potrebbe permettersi da solo, e che vi affianca le altre funzioni civili della stessa piattaforma, dal monitoraggio dei rischi alla connettività di emergenza, ammortizzando il velivolo su più servizi anziché su uno solo.

Implicazioni per il progetto

La lettura complessiva di questo segmento consegna allo studio un messaggio duplice, di opportunità reale ma di ruolo da definire con precisione per non promettere ciò che il velivolo non fa. L'opportunità è autentica e di scala, perché l'osservazione della Terra è un mercato europeo verificato che vale quasi 8 miliardi di euro al 2034 e in cui l'agricoltura è verosimilmente la voce maggiore, il mercato del drone come servizio cresce a ritmi superiori al 20 per cento annuo secondo le stime di settore, e il mercato professionale italiano dei droni, pur ancora contenuto in 168 milioni di euro, indica proprio nell'agricoltura uno dei fronti in apertura verso i servizi continuativi. Il ruolo corretto della piattaforma di Firmamento dentro questa opportunità è quello del nodo aereo di osservazione, non del mezzo di irrorazione,

cioè il velivolo che raccoglie e consegna il dato multispettrale su comprensori estesi e frammentati colmando il divario fra il satellite grossolano e il rilievo di prossimità puntuale, ed è esattamente questo che giustifica la scelta di vendere il dato come servizio anziché ore di trattamento. La coerenza con l'architettura modulare del prodotto è piena, perché lo stesso velivolo che monta il sensore termico per gli incendi e la camera fotogrammetrica per le frane porta il payload multispettrale per l'agricoltura, cosicché il segmento non è un business separato che richiede una macchina dedicata ma una delle configurazioni civili di un'unica piattaforma multi-ruolo, capace di ammortizzare il costo su più servizi. La coerenza con la cornice cooperativa e con le aree interne è altrettanto forte, perché la frammentazione dell'agricoltura di collina, che sarebbe una debolezza per un venditore di hardware, diventa il presupposto stesso del modello a servizio aggregato dalla cooperativa di comunità, che è il cliente naturale del bando Cooding II e il soggetto capace di trasformare una domanda dispersa in un contratto ricorrente sul territorio ligure.

Note e riferimenti

1. Sintesi decisionale consolidata della ricerca preliminare di mercato dello Studio, nicchia N5 agricoltura di precisione ed EO a domanda pagante media e idoneità alla classe compatta buona, dato Italia e willingness to pay per ettaro dichiarati come da quantificare, segmento EO agricoltura indicato come primo per quota, caveat sulle cifre EUSPA non verificabili. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
2. Scheda tecnica del DJI Agras T40, drone da irrorazione multirotore con peso massimo al decollo di 90-101 kg e autonomia di volo ridotta a 6-18 minuti a pieno carico. (mar_87f2894ee713)
3. Manuale e specifiche del DJI Agras T30, grado di protezione IP67, quota operativa fino a 4,5 km, velocita massima del vento consentita 21,6 km/h. (mar_1cbc4fa208cc)
4. Sintesi documentale del dominio mercato EO e GNSS, mercato EO globale ed europeo da circa 3,5 miliardi EUR nel 2024 a 7,9 miliardi EUR entro il 2034, CAGR dei servizi a valore aggiunto attorno all'8 per cento, 15 segmenti di mercato inclusa l'agricoltura. (mar_25fe28f32d70; mar_4c3eafb97b94)
5. Rapporto di mercato EUSPA sullo spazio, imprese europee al 42 per cento dell'offerta EO globale, base installata ricevitori GNSS da 5,8 a circa 10 miliardi di unita nel 2024-2034. Cifre EO verificate 3-0; valore monetario del mercato GNSS non utilizzato perché confutato dal controllo delle fonti primarie. (mar_4c3eafb97b94; mar_6eb6f61267a3)
6. Dossier di controllo delle fonti e report ricerca preliminare di mercato sul downstream civile, EO 3,5 a 7,9 miliardi EUR confermato ma servizi a valore aggiunto 2,8 a 6,7 miliardi EUR e quota agricoltura 21 per cento non verificabili in modo indipendente senza il PDF EUSPA integrale, Osservatorio Smart AgriFood PoliMi indicato come fonte da recuperare per adozione, ettari e WTP. (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni, claim D1 e D3; proj_fase-a-downstream-civile-terrestre-deep-research)
7. Report di mercato sul drone as a service europeo, valore 8,92 miliardi USD nel 2025, 11,11 miliardi nel 2026 e 64,10 miliardi entro il 2034 con CAGR del 24,50 per cento, oltre 500.000 operatori registrati in Europa, 157 milioni di ettari agricoli UE servibili con precision farming, risparmio fino al 50 per cento nelle ispezioni. Stima di societa di analisi privata, direzionale. (mar_6361c3d179a5)
8. Rapporto dell'Osservatorio Droni e Mobilita Aerea Avanzata del Politecnico di Milano, mercato professionale italiano dei droni a 168 milioni EUR nel 2025 in crescita del 5 per cento, 675 imprese attive, oltre 148.000 velivoli registrati e 185.000 operatori, oltre 650 pro-

getti censiti, agricoltura tra i servizi ad alto valore aggiunto in crescita, sfida dichiarata di trasformare le sperimentazioni in servizi commerciali continuativi. (mar_c0247576d766)

9. Guida di settore ai droni per agricoltura in Italia, oltre sei aziende su dieci pronte a investire, prezzi DJI Agras T25P 5.723 EUR, T50 13.008 EUR, T100 11.769 EUR, XAG P100 Pro 14.545-21.818 EUR, riduzione agrofarmaci del 30-50 per cento, DL Semplificazioni approvato l'8 ottobre 2025 per i trattamenti fitosanitari, Piano Transizione 4.0 con iper-ammortamento 250 per cento e Nuova Sabatini cumulabili fino al 50-60 per cento del costo, crescita agritech del 1500 per cento in 5 anni. Fonte di settore a orientamento commerciale, propensione e crescita agritech da trattare come stime non verificabili in modo indipendente. (mar_3ca7a78e6c31)
10. Rassegna e prospettive sull'uso degli UAV in agricoltura di precisione con analisi finanziaria su un'azienda cerealicola statunitense di 200 acri, barriere all'adozione date da volatilita dei mercati, costo elevato degli input e complessita normativa. Contesto USA, non trasferibile in modo meccanico all'Italia. (mar_aef91467fa7c)
11. Report DJI e quadro normativo, circa 600.000 droni agricoli stimati in uso nel mondo, revisione della direttiva UE 2009/128/CE sull'uso sostenibile dei pesticidi, decreti attuativi italiani attesi entro il 2026. Stima di produttore per il parco droni. (mar_a3bfd39e37b7)
12. Sintesi documentale del dominio mercato droni per agricoltura di precisione, riduzione agrofarmaci 30-50 per cento e acqua fino al 90 per cento, opportunita di adozione condivisa tramite cooperative di comunita nelle aree interne, declino della SAU frammentata. (; mar_a3bfd39e37b7; mar_c556fee2757b)
13. Studio sull'accoppiamento di UAV e modelli colturali per stimare crescita e biomassa dei pascoli, NDVI da drone correlato alla biomassa con R quadro pari a 0,80, stima integrata UAV-modello con RMSE di 509 kg di sostanza secca per ettaro e coefficiente di concordanza 0,94. (mar_2c5a6a3464bc)
14. Telerilevamento UAV multispettrale multitemporale per la previsione della resa del frumento, indice NDRE come miglior predittore con RMSE compreso fra 49,1 e 60,6 grammi per metro quadrato. (mar_ed111a89c216)
15. Rilevamento multispettrale UAV e modellazione data-driven per la cipolla, foreste casuali con R quadro in addestramento di 0,944 e RMSE di 1,919 tonnellate per ettaro, calo a 0,755 in validazione indipendente come limite di generalizzazione. (mar_ece8c5a01b91)
16. Framework di apprendimento profondo per raffinare le mappe NDVI satellitari con dati UAV nella viticoltura di precisione, produzione di mappe di vigore a tre classi. (mar_a47e229cf3a7)
17. Fusione di dati RGB e multispettrali per il monitoraggio della biomassa del riso con UAV leggero, e rassegna sull'imaging iperspettrale per l'agricoltura indicato come tecnologia pronta al decollo. (tec_d196908d90f6; tec_4ed40c6c63bd)
18. Rilevamento di bovini in immagini UAV tramite apprendimento profondo, accuratezza ottimale a risoluzioni di 1-2 cm per pixel corrispondenti a quote di 30-60 metri. (mar_f7ccbd0cbb94)
19. Metodo assistito da UAV per il monitoraggio e la quantificazione della distribuzione del bestiame, censimento di 200 yak su un pascolo di 113 ettari con drone commerciale di fascia media, estensione dei pascoli fra 49 e 113 ettari. (mar_711b2a0748d0)
20. Comunicazioni LoRa per l'internet dei droni e il monitoraggio del bestiame su larga scala, integrazione con sensori IoT e copertura fino a 10 km per allevamenti estensivi. (tec_6724e46b7ae5)

21. Studio sulle implicazioni per il benessere animale degli strumenti digitali di monitoraggio, i recinti virtuali possono esporre alcuni animali a scosse elettriche ripetute per differenze individuali nell'apprendimento. (mar_7f45cc4b29e9)
22. Analisi sulle cooperative di comunita e l'agricoltura delle aree interne, calo di circa il 25 per cento della SAU nelle aree periferiche e ultra-periferiche fra il 1971 e il 2011, modello cooperativo come strumento di adozione condivisa e sostenibile della tecnologia. (mar_c556fee2757b)
23. Osservatorio Smart AgriFood del Politecnico di Milano e Università di Brescia, rilevazione 2025. Mercato italiano dell'Agricoltura 4.0 a 2,5 miliardi di euro con crescita del 9 per cento, dopo la flessione dell'8 per cento del 2024 che lo aveva riportato a 2,3 miliardi, software di gestione aziendale in crescita del 17 per cento e sistemi di supporto alle decisioni del 26 per cento (mar_d1daa12f3ea7).
24. Listini dei servizi agricoli con drone in Italia. Trattamento fra 70 e 120 euro per ettaro, vigneto fra 80 e 110 e oliveto fra 70 e 100 euro per ettaro con media intorno ai 90, prezzo unitario decrescente con la superficie servita, pacchetti di monitoraggio multispettrale con indici NDVI e GNDVI a partire da circa 700 euro (mar_8d7ef3ba627e).

2.9 La ricerca e soccorso e la protezione civile

Fra tutti i segmenti civili esaminati in questa analisi, la ricerca e soccorso e la protezione civile sono quello a più basso rischio di adozione, e conviene dichiararne subito la ragione perché regge l'intera sezione. Qui il progetto non deve dimostrare un mercato persuadendo un cliente scettico, ma inserirsi in una pratica operativa già in corso, validata da salvataggi reali avvenuti in Italia nel 2026 e sorretta da un fabbisogno che il territorio impone senza margine di scelta. Un velivolo ad ala fissa long-endurance in classe compatta, capace di restare a lungo su una vallata con un sensore termico e con l'elaborazione delle immagini a bordo, corrisponde con precisione a ciò che serve per cercare una persona dispersa su un versante boscoso o per illuminare e sorvegliare un'area impervia durante le ore notturne, e gli stessi requisiti che lo penalizzano contro i tattici marittimi da 180 chilogrammi diventano qui il suo vantaggio, perché il cliente del soccorso non chiede raggio oceanico ma persistenza e prontezza su un'area circoscritta e nota. Va però fissato con la stessa franchezza usata negli altri segmenti un punto di onestà metodologica. La solidità di questo mercato non nasce da un contratto pluriennale già firmato, come nel marittimo istituzionale, e nemmeno da una cifra di mercato dedicata, perché il soccorso con droni non è rilevato come comparto autonomo. Poggia invece su tre appoggi diversi e convergenti, cioè la maturità operativa già raggiunta e documentata sul campo, il fabbisogno strutturale del soccorso in montagna che il territorio genera ogni anno, e la spesa pubblica attivabile che finanzia protezione civile e aree interne. Tenere insieme la forza di questa validazione operativa e la relativa immaturità di un dato di mercato dedicato è la chiave di lettura di quanto segue.

La dimensione della domanda di soccorso in Italia

La misura più diretta del fabbisogno viene dal Corpo Nazionale Soccorso Alpino e Speleologico, la cui attività fotografa una domanda vasta, ricorrente e concentrata esattamente dove il velivolo di progetto rende meglio. Nel 2023 il CNSAS ha gestito 12.349 missioni di ricerca e soccorso e ha soccorso 12.365 persone, di cui 7.622 ferite e 491 decedute, impiegando oltre 40.000 soccorritori per più di 206.000 ore-uomo, e il dato che più conta per il progetto è che il 70 per cento di questi interventi si è svolto in ambiente montano o impervio [1]. La ripar-

tizione per attività aiuta a mettere a fuoco chi è il disperso tipico, dato che l'escursionismo è di gran lunga l'attività più esposta con il 42,5 per cento dei soccorsi, seguito dallo sci alpino e nordico con il 14,0 per cento e dalla mountain bike con l'8,0 per cento [1]. Non si tratta di un mercato da creare, ma di un fabbisogno preesistente e già quantificato che oggi viene servito in modo laborioso, con squadre a piedi e voli in elicottero costosi e non sempre disponibili, e che genera un carico di lavoro misurabile in centinaia di migliaia di ore-uomo l'anno. La tabella seguente riassume gli ordini di grandezza di questa attività, che costituiscono la base di domanda su cui un servizio drone si innesta.

Grandezza	Valore 2023
Missioni di ricerca e soccorso CNSAS	12.349
Persone soccorse	12.365
di cui ferite	7.622
di cui decedute	491
Soccorritori impiegati	oltre 40.000
Ore-uomo accumulate	oltre 206.000
Quota di interventi in ambiente montano o impervio	70 per cento

Dietro questi numeri complessivi c'è una fisica dell'urgenza che è la vera ragione economica del mezzo aereo, perché nel soccorso il valore di un minuto risparmiato non è lineare ma cresce in modo ripido con il passare del tempo. Le valanghe uccidono più di 150 persone all'anno a livello globale e la probabilità di sopravvivenza di un sepolto scende sotto l'80 per cento già dopo 10 minuti di seppellimento, il che rende la rapidità di localizzazione la variabile che separa il salvataggio dalla tragedia [2]. Gli strumenti tradizionali di ricerca hanno limiti fisici stretti, dato che la portata operativa dei beacon ARTVA è di circa 60 metri ma nella pratica si riduce a 10 o 20 metri per effetto delle interferenze, mentre un drone che sorvola l'area può portare quel ricevitore in quota e allargare enormemente il fronte di ricerca [2]. Il beneficio in tempo è stato quantificato in modo rigoroso, e questa è la prova più solida del valore del segmento. Uno studio randomizzato controllato con disegno cross-over condotto in un canyon alpino italiano da Eurac Research in collaborazione con il CNSAS, pubblicato sull'American Journal of Emergency Medicine, ha confrontato ventiquattro missioni simulate metà con drone e metà senza, misurando una riduzione del tempo medio di localizzazione del paziente da 20,6 a 14,6 minuti e del tempo di inizio del trattamento da 22,4 a 15,7 minuti, entrambe con significatività statistica al di sotto dello 0,01, con il drone capace anche di consegnare via paracadute un kit di emergenza di circa 500 grammi [3]. Sei o sette minuti guadagnati su ciascuna missione sono, in un contesto in cui la sopravvivenza crolla dopo 10 minuti, la differenza fra un esito e l'altro, ed è questo il valore che un servizio di soccorso con drone mette sul piatto in luogo di una cifra di mercato che qui non esiste.

I casi operativi italiani con droni termici

Ciò che rende questo segmento diverso da ogni altro trattato nell'analisi è che la sua validazione non è teorica ma è già avvenuta, con salvataggi reali documentati sul suolo italiano, e proprio nel biennio in cui lo studio viene redatto. Nel febbraio del 2026 il CNSAS ha localizzato e salvato a Livigno due sciatori dispersi grazie a droni equipaggiati con termocamera e faretto, sfruttando la capacità del sensore termico di rilevare il calore corporeo in condizioni di scarsa visibilità e quella del faretto di illuminare la zona per l'avvicinamento dei soccorritori [4]. Pochi mesi dopo, il 4 luglio 2026, il Soccorso Alpino e Speleologico della Sardegna

ha ritrovato un escursionista disperso nella zona di Is Cannoneris, nel massiccio del Sulcis, impiegando di notte un drone termico con faretto che ha trasmesso in tempo reale coordinate e immagini alla centrale operativa, consentendo di raggiungere l'uomo, in ipotermia lieve ma cosciente, in circa 40 minuti dal lancio del drone [5]. Questi non sono dimostratori di laboratorio ma interventi conclusi con vite salvate, e il loro peso probatorio nel contesto di un bando pubblico è difficile da sopravvalutare.

L'adozione istituzionale, del resto, è già in corso e si sta strutturando. Il CNSAS del Trentino ha ricevuto dieci nuovi droni dotati di termocamera e di sistemi di intelligenza artificiale per il riconoscimento di sagome e colori, ha abilitato al pilotaggio otto nuovi tecnici portando a sessanta il totale dei soccorritori formati a livello nazionale, e ha finanziato in parte l'acquisto con una donazione di 20.000 euro per 2 velivoli, segno che il modello di spesa comincia a definirsi anche nell'ordine di grandezza [6]. Ancora più significativo per il progetto è che questa integrazione stia avvenendo anche sul territorio di riferimento, perché i Vigili del Fuoco della Liguria hanno reso operativo un drone dotato di IMSI Catcher per la ricerca di dispersi, cioè un sistema capace di intercettare i segnali dei telefoni cellulari per localizzare persone scomparse in scenari come valanghe, terremoti o incidenti in montagna [7]. La lettura strategica è netta. Il cliente pubblico del soccorso non deve essere educato all'utilità del mezzo, perché lo sta già adottando in forma frammentaria, con singoli nuclei, singoli droni e piloti abilitati uno a uno, e lo spazio del progetto non è convincere ma aggregare questa domanda dispersa in un servizio continuativo e professionale, portando persistenza, capacità notturna e dato elaborato dove oggi ci sono strumenti tattici a corto raggio usati un intervento alla volta.

Le tecnologie di rilevamento delle persone e la loro accuratezza

La catena che trasforma il volo in un ritrovamento passa oggi dall'intelligenza artificiale di bordo, ed è il terreno su cui la letteratura mostra progressi rapidi ma anche un divario onesto fra prestazioni di laboratorio e robustezza sul campo che il progetto deve conoscere per non promettere troppo. Sul fronte del rilevamento di persone in immagini aeree diurne, l'algoritmo Aerial Inspection RetinaNet valutato sul dataset di riferimento HERIDAL, costruito con immagini in risoluzione 4K scattate da droni a quote comprese fra 40 e 65 metri, ha migliorato la precisione di circa ventuno punti percentuali rispetto allo stato dell'arte precedente, privilegiando peraltro l'individuazione della presenza rispetto alla localizzazione esatta, che è ciò che serve davvero a una squadra di terra [8]. Un sistema autonomo che accoppia una rete residua ResNet a una pianificazione del percorso di tipo bayesiano raggiunge un'accuratezza di rilevamento superiore al 91 per cento minimizzando al tempo stesso il tempo medio di missione [9]. Sul canale termico, che è quello decisivo per la ricerca notturna, una tesi del Politecnico di Milano che combina un rilevatore YOLOv8 con il tracciatore BoostTrack++ su video termici da drone ha ottenuto un F1-score del 77,17 per cento e un punteggio HOTA del 55,88 per cento, dimostrando la capacità di riconoscere la presenza umana anche in condizioni di occlusione parziale come sotto le chiome di un bosco e di scartare i falsi allarmi [1]. La ricerca di frontiera sposta inoltre il vantaggio verso il coordinamento di più velivoli, dato che un framework di sciame bio-ispirato con sensing termico ha raggiunto con l'ottimizzazione Particle Swarm una copertura dell'80 per cento dell'area entro il 60 per cento del tempo di missione, mantenendo bassa la ridondanza e una distanza fra i droni fra i 15 e i 20 metri [10]. La tabella seguente sintetizza queste metriche, ricordando che sono prestazioni di valutazione e non garanzie operative.

Tecnologia di rilevamento	Metrica	Valore
AIR RetinaNet su dataset HERIDAL	guadagno di precisione sullo stato dell'arte	oltre 21 punti percentuali
Sistema ResNet con pianificazione bayesiana	accuratezza di rilevamento	oltre 91 per cento
YOLOv8 con BoostTrack++ su video termico	F1-score e punteggio HOTA	77,17 e 55,88 per cento
Sciame con ottimizzazione Particle Swarm	copertura area entro frazione del tempo missione	80 per cento entro il 60 per cento
Beacon ARTVA per valanga	portata operativa	circa 60 m, 10-20 m nella pratica

La franchezza impone di affiancare a questi numeri il loro limite, perché è documentato e incide sulla progettazione del servizio. Il sensore termico non è onnipotente, dato che la termocamera FLIR Tau 2 risulta inefficace nel rilevare fonti di calore sepolte sotto più di 10 o 20 centimetri di neve, il che circoscrive il suo uso in scenario valanghivo e riporta al ricevitore ARTVA il compito di localizzare i corpi sepolti [2]. Ancora più importante è il divario fra laboratorio e realtà emerso dall'analisi di una ricerca reale, quella di un'escursionista scomparsa, in cui sono stati raccolti quasi 100 gigabyte di immagini da drone, campionate a 2 fotogrammi al secondo per ottenere oltre 18.000 immagini da esaminare, e in cui è emerso che pur esistendo almeno diciannove approcci e tre dataset per il rilevamento di persone soltanto tre sono stati effettivamente usati in operazioni reali, con un modello EfficientDET allo stato dell'arte sui dati di test che ha fallito nel mondo reale generando molti falsi positivi, scambiando alberi e rocce per persone, e falsi negativi, non riconoscendo gli stessi soccorritori [11]. Da questo discende un requisito di prodotto e non solo un caveat, perché il valore aggiunto del progetto non sta nel vantare l'accuratezza più alta su un benchmark ma nel portare l'elaborazione a bordo per ridurre latenza e dipendenza dalla banda, e nel trattare l'algoritmo come un assistente che riduce il carico visivo dell'operatore anziché come un sostituto del giudizio umano. È coerente con questo anche la maturità limitata dell'autonomia, dato che la revisione dei sistemi multi-robot per il soccorso conclude che l'autonomia piena è oggi possibile solo nella fase di ricerca e non in quella di salvataggio, il che dice al progetto di automatizzare la ricerca e di lasciare all'uomo l'intervento [12]. La stessa architettura software che invia a terra in piena qualità solo le regioni di interesse e il resto in bassa risoluzione, per gestire i limiti di banda tipici delle operazioni remote, indica la direzione tecnica giusta per un velivolo persistente che opera lontano dalla stazione di controllo [13].

I sistemi, le piattaforme e i loro costi

Il mercato dei mezzi per i primi soccorritori ha oggi una fascia di prezzo documentata, ed è il punto di partenza per capire dove si colloca il capitale per velivolo di un servizio. L'indagine di mercato del Dipartimento della Sicurezza Interna statunitense pubblicata nel febbraio del 2025 ha esaminato 17 droni commerciali qualificati nella cosiddetta lista di piattaforme approvate per l'uso da parte dei primi soccorritori negli Stati Uniti, con prezzi compresi fra 12.995 e 120.000 dollari a sistema, destinati ad applicazioni che spaziano dall'antincendio alla ricerca e soccorso ai materiali pericolosi ai servizi medici di emergenza, e comprendenti modelli come Skydio X2D e X10D, Teal 2, WingtraOne Gen II, Anduril Ghost X e AgEagle eBee TAC [14]. Questa forbice è la misura più concreta della fascia di prezzo del segmento, e colloca l'investimento in piattaforma di un servizio ben al di sotto degli ordini di grandezza del marittimo istituzionale. La varietà tecnologica riflette usi diversi, e la tabella seguente

ordina le opzioni principali per prestazione e costo. All'estremità della persistenza puntuale stanno i droni vincolati, come l'Elistair ORION 2 che offre fino a 50 ore di volo continuo grazie all'alimentazione via cavo, ideali per presidiare un punto fisso durante un evento ma privi di raggio [18]. La fascia professionale mobile è occupata dai multirotori come il DJI Matrice 350 RTK, con 55 minuti di autonomia e resistenza al vento di 12 metri al secondo, e dagli ala fissa a decollo verticale come il Quantum Systems Trinity F90+ con circa 90 minuti e l'ElevonX SkyEye Sierra che arriva fino a 3 ore [13][17]. In basso, la fascia dei micro-droni sotto i 250 grammi con termocamera, certificati in ambito UE dal 2025 e ricadenti nelle categorie più semplici del regolamento, ha reso la ricerca di prossimità accessibile a costi minimi, con modelli come il DJI Mavic 3T e l'Autel EVO MAX 4T [19].

Piattaforma o sistema	Prestazione chiave	Costo o ordine di grandezza
Fascia primi soccorritori DHS Blue List	17 sistemi qualificati	da 12.995 a 120.000 USD
Micro-droni sotto 250 g con termocamera	ricerca di prossimità, certificati UE 2025	fascia bassa, centinaia di EUR
DJI Matrice 350 RTK	55 min autonomia, vento 12 m/s	fascia media, migliaia di EUR
Quantum Systems Trinity F90+	circa 90 min, ala fissa VTOL	fascia professionale
ElevonX SkyEye Sierra VTOL	fino a 3 h autonomia	fascia professionale
Elistair ORION 2 vincolato	fino a 50 h continue via cavo	fascia alta professionale
Sistema V-BAT su cutter US Coast Guard	12 h al giorno, operatività 24 su 24	198,1 mln USD, contratto pluriennale

Da questa tabella emerge con chiarezza dove il velivolo di Firmamento trova il suo spazio distintivo, cioè nel vuoto della persistenza mobile. Le piattaforme del soccorso in servizio oggi sono in larga parte multirotori a corto raggio con autonomia dell'ordine dell'ora, adatte all'intervento puntuale ma non alla sorveglianza estesa e continuativa, mentre i vincolati offrono persistenza ma nessun raggio. Un ala fissa long-endurance in classe compatta occupa la fascia intermedia che nessuno dei due estremi copre, quella della copertura persistente di un'area vasta, e il dato di riferimento è che un'ala fissa in scenario di emergenza ha coperto fino a 69 chilometri quadrati in un solo giorno di mappatura post-sisma, un ordine di grandezza semplicemente irraggiungibile da un multirotore [21]. Lo stesso confronto emerge da un esercizio di protezione civile in cui l'ala fissa ha volato 17 minuti contro i nove del multirotore coprendo un'area di circa un chilometro e mezzo, a conferma che l'architettura ad ala paga in copertura e durata [22]. Questa capacità è preziosa perché il soccorso e la protezione civile hanno una finestra d'oro, cioè le prime 72 ore dopo un disastro in cui coordinare i soccorsi e ripristinare le comunicazioni è decisivo, e in quella finestra una piattaforma aerea persistente può fungere sia da ricognitore sia da nodo di relay tattico [20]. Va inoltre nominato un modello operativo che sta emergendo e che si presta bene a un servizio, quello del drone come primo soccorritore, in cui i velivoli sono preposizionati su stazioni di lancio automatiche e decollano su allarme spesso prima dell'arrivo degli operatori umani, un concetto già codificato dalle autorità statunitensi con tanto di collocazione nella lista delle attrezzature autorizzate per i soccorritori [15].

Per fissare l'ordine di grandezza economico di una capacità di soccorso e sorveglianza aerea a gestione istituzionale, il riferimento più solido è il contratto con cui la Guardia Costiera statunitense ha acquisito il sistema V-BAT a decollo verticale, del valore potenziale di 198,1 milioni di dollari fino al 2029, con requisiti di autonomia minima di 12 ore di volo al giorno e operatività continua, e payload elettro-ottico e infrarosso più relay di comunicazione [16]. Va usato con cautela, perché è un dato verificato ma non trasferibile in modo diretto, dato

che riguarda un sistema VTOL di classe superiore, fuori dai limiti dimensionali civili, per impiego marittimo su nave e in contesto statunitense, e serve quindi solo a dire quale ordine di grandezza può valere una capacità aerea persistente di sorveglianza e soccorso quando la compra un'istituzione, non a stimare un ricavo per il progetto. Un ultimo elemento di questo mercato è strategico e gioca a favore di un entrante europeo. La provenienza dei sistemi conta sempre di più per i clienti pubblici, perché DJI detiene circa il 90 per cento del mercato globale dei piccoli droni commerciali e negli Stati Uniti circa il 92 per cento dei droni impiegati nel primo soccorso è di fabbricazione cinese, una concentrazione che la normativa statunitense sta contrastando con le restrizioni all'acquisto da entità straniere e con la Blue List [26][15]. In Europa la leva analoga è la conformità EASA unita alla crescente domanda di sovranità tecnologica, e un velivolo europeo in classe compatta venduto come servizio è ben posizionato in un segmento, quello della sicurezza pubblica, in cui la provenienza e il controllo del dato pesano più del prezzo di listino.

Il mercato dei mezzi per i primi soccorritori e la disponibilità a pagare

Arrivati a quantificare la domanda pagante, il verticale va dimensionato per composizione, perché il soccorso non è rilevato come mercato a sé ma come quota di un aggregato misurato. Il mercato professionale italiano dei droni vale 168 milioni di euro nel 2025, con una crescita del 5 per cento, 675 imprese attive e le operazioni aeree a coprire il 95 per cento del valore [30], e le rilevazioni sugli ambiti applicativi collocano la ricerca e soccorso intorno al 12 per cento delle attività prevalenti, il che porta il verticale nazionale a un ordine di grandezza di circa 20 milioni di euro l'anno [25][30]. Dentro quel perimetro la quasi totalità è oggi costituita da prestazioni brevi con multirotori a chiamata, mentre il presidio persistente, che è il posizionamento del progetto, è una frazione ancora minima e in formazione. Su scala mondiale il contesto ombrello resta quello del mercato dei droni civili in crescita da 44,4 a 83,0 miliardi di dollari fra il 2026 e il 2035, con un tasso annuo composto del 7,2 per cento [24], utile come direzione ma non trasferibile al verticale. La sicurezza pubblica e il primo soccorso restano, per giudizio convergente delle fonti, fra i verticali a domanda pagante più solida, perché il cliente è un ente pubblico con mandato istituzionale e non un privato sensibile al prezzo, e il dimensionamento per composizione qui proposto, dichiarato come elaborazione dell'autore, serve a fissare la scala entro cui costruire il conto economico. Su quella scala incide in modo diretto un vincolo operativo che va messo a bilancio fin dall'inizio, cioè la disponibilità al volo in condizioni meteorologiche reali, che per i droni comuni si ferma a una mediana di 5,7 ore al giorno contro le 20,4 ore delle piattaforme resistenti alle intemperie [23]: è la differenza fra un mezzo che produce poche centinaia di ore utili l'anno e uno che ne produce alcune migliaia, e quindi fra un costo orario alto e uno sostenibile, ragione per cui la robustezza alle intemperie è per il progetto un requisito economico prima ancora che tecnico. A valle di questa scala si colloca la domanda sanitaria collegata, che l'epidemiologia nazionale quantifica in circa 60.000 arresti cardiaci extraospedalieri l'anno, con un'incidenza di circa 1 caso ogni 1.000 abitanti fra quelli trattati dai servizi di emergenza, una sopravvivenza del 6,5 per cento e un tempo medio di arrivo dei soccorsi di 10,2 minuti [31]; applicata ai circa 119.000 abitanti dei 102 comuni delle aree interne liguri, quell'incidenza restituisce all'incirca 120 eventi l'anno sul territorio di riferimento, numero contenuto in assoluto ma sufficiente a giustificare un presidio là dove i tempi di percorrenza stradale superano ampiamente la media nazionale.

In assenza di un dato di mercato dedicato, la stima della disponibilità a pagare va costruita per triangolazione, e la dichiaro esplicitamente come mia elaborazione e non come dato di fonte. La fascia di prezzo delle piattaforme, da circa 13.000 a 120.000 dollari per sistema [14],

fissa il capitale unitario, mentre la donazione di 20.000 euro per 2 droni nel caso trentino dà un ancoraggio reale al costo di una dotazione minima di nucleo [6]. Sul lato della spesa attivabile, la cornice non va cercata in un budget di soccorso dedicato, che manca, ma nelle stesse risorse che finanziano protezione civile e aree interne, cioè la dotazione dell'ordine di 4 milioni di euro per singola area interna della Strategia Nazionale per le Aree Interne e il precedente regionale calabrese dei 5 milioni per un sistema di droni antincendio, che nel segmento affine dei rischi naturali fissano la scala di ciò che una Regione è disposta a spendere per persistenza aerea sul territorio [29]. Componendo questi elementi, un servizio di ricerca e soccorso e sorveglianza di protezione civile capace di presidiare una vallata dell'entroterra, con velivolo persistente, sensore termico, faretto e ricevitore ARTVA, si colloca ragionevolmente in una fascia annua a sei cifre per area servita, dello stesso ordine di grandezza dei circa 100.000 euro per hub stimati per il programma calabrese, un valore che serve solo a dimensionare l'intervento e non a promettere un ricavo, e che va verificato con operatori reali. La leva più forte per convertire questa disponibilità in contratto, del resto, non è il prezzo ma la funzione, perché un servizio che si presenta come salvavita e come sostegno al Soccorso Alpino e alla protezione civile gode di un'accettazione sociale e di un accesso ai fondi pubblici che nessun altro caso d'uso del progetto possiede allo stesso grado, e questo è un asset di posizionamento tanto quanto una cifra.

Il legame con il sito pilota dell'Appennino ligure

Questo segmento è quello che si salda più naturalmente al sito pilota, e la ragione è geografica prima ancora che commerciale. Il 70 per cento delle missioni del CNSAS avviene in ambiente montano o impervio, cioè esattamente l'identikit dell'entroterra ligure e del comprensorio dell'Antola, un'area appenninica tra i bacini dello Scrivia e del Trebbia caratterizzata da versanti acclivi, boschi e borghi isolati, che è al tempo stesso il teatro operativo del soccorso alpino e il territorio bersaglio della Strategia Aree Interne su cui poggia il bando [1][28]. La compatibilità tecnica del volo con drone in quest'area non è un'ipotesi, perché il Parco dell'Antola è già stato teatro di rilievi UAV documentati in ambito geologico e fotogrammetrico, a dimostrazione che si può operare con velivoli a pilotaggio remoto anche in un'area protetta con cinque siti di importanza comunitaria, purché nel rispetto delle cautele di tutela della fauna [28]. Il legame più forte, però, è che l'adozione istituzionale del mezzo per il soccorso è già cominciata proprio in Liguria, dove i Vigili del Fuoco hanno reso operativo il drone con IMSI Catcher per la ricerca di dispersi, il che significa che il progetto non arriva su un terreno vergine ma su uno in cui il cliente locale ha già scelto la tecnologia e attende soltanto un servizio che la renda continuativa e professionale [7]. Coerentemente con la natura modulare del prodotto, lo stesso velivolo che sull'Antola monta il payload termico e il faretto per la ricerca notturna di un escursionista disperso porta, cambiando configurazione, il ricevitore ARTVA per lo scenario valanghivo, la camera fotogrammetrica per il monitoraggio del dissesto e il relay per le comunicazioni di emergenza nella finestra delle prime 72 ore, cosicché la ricerca e soccorso non è un business separato ma la configurazione più visibile e socialmente forte di un'unica piattaforma multi-ruolo che serve l'area interna. Vale infine ricordare che la ricerca e soccorso si estende in modo naturale al dominio marittimo e di frontiera, rilevante per una regione costiera come la Liguria e per la vocazione istituzionale del progetto, dove il problema ha una scala drammatica, con oltre ventiseimila dispersi censiti nel Mediterraneo dal 2014, e dove le tecniche di pianificazione probabilistica della ricerca aerea trovano applicazione diretta [27].

Implicazioni per il progetto

La lettura complessiva consegna allo studio il messaggio più incoraggiante fra i segmenti civili, ma anche il più esigente sul piano della prova economica. La ricerca e soccorso è il caso d'uso a più basso rischio di adozione, perché è già validato da salvataggi reali in Italia nel 2026, perché il cliente lo sta adottando in forma frammentaria senza bisogno di essere convinto, e perché l'architettura del velivolo di progetto, persistente, ad ala fissa, con termico e intelligenza a bordo, corrisponde con precisione a ciò che serve e colma il vuoto della persistenza mobile che né i multirotori a corto raggio né i droni vincolati coprono. Il valore va venduto per ciò che davvero conta al cliente, cioè minuti guadagnati su ogni missione, come dimostra la riduzione da 20,6 a 14,6 minuti nel tempo di localizzazione, e capacità notturna e continuativa, non un semplice sorvolo occasionale. La modularità permette di trattare il soccorso come la punta socialmente più forte di un servizio più ampio, quello di sorveglianza dell'area interna, che aggrega in un unico contratto di vallata il soccorso, il monitoraggio dei rischi e la comunicazione di emergenza, e la vendita come servizio, cioè dato e persistenza anziché hardware, è coerente sia con la struttura cooperativa del progetto sia con la difficoltà di un ente pubblico a gestire in proprio una flotta. Il posizionamento come funzione salvavita, infine, è al tempo stesso la verità operativa del segmento e il suo migliore argomento di accesso ai fondi e di accettazione sociale, oltre che la leva su cui la provenienza europea del velivolo diventa un vantaggio competitivo di fronte alla dipendenza dai sistemi cinesi. Resta fermo il limite tecnico da non promettere oltre, cioè che il progetto automatizza la ricerca e assiste l'operatore, ma non sostituisce il giudizio umano né esegue il salvataggio, e che l'accuratezza dei sistemi di rilevamento va integrata con la consapevolezza del divario fra laboratorio e campo.

Note e riferimenti

1. Tesi del Politecnico di Milano su rilevamento e tracciamento termico da UAV per il soccorso, con dati CNSAS 2023 (12.349 missioni, 12.365 persone soccorse, 7.622 ferite, 491 decedute, oltre 40.000 soccorritori e 206.000 ore-uomo, 70 per cento in ambiente montano o impervio, escursionismo 42,5 per cento, sci 14,0 per cento, mountain bike 8,0 per cento) e prestazioni YOLOv8 con BoostTrack++ (F1 77,17 per cento, HOTA 55,88 per cento). Dato verificato. (mar_7475dd4c384e)
2. Silvagni et al. 2017, UAV multiruolo per soccorso in valanga, sopravvivenza sotto l'80 per cento dopo 10 minuti di seppellimento, oltre 150 morti l'anno per valanghe a livello globale, portata ARTVA circa 60 m ridotta a 10-20 m nella pratica, termocamera FLIR Tau 2 inefficace oltre 10-20 cm di neve, multirotore sotto i 5 kg. (mar_6cbb675b8c34)
3. Van Veelen et al. 2023, studio randomizzato controllato cross-over in canyon alpino italiano (Eurac Research e CNSAS, American Journal of Emergency Medicine), tempo di localizzazione da 20,6 a 14,6 minuti e inizio trattamento da 22,4 a 15,7 minuti con drone (p minore di 0,01), kit di emergenza di circa 500 g via paracadute. Dato verificato. (mar_61adb9e3be9d)
4. Cronaca CNSAS, febbraio 2026, due sciatori dispersi salvati a Livigno con droni dotati di termocamera e faretto. (mar_007f27415a65)
5. Cronaca CNSAS Sardegna, 4 luglio 2026, escursionista disperso ritrovato a Is Cannoneris (massiccio del Sulcis) in circa 40 minuti dal lancio del drone termico con faretto, operazione notturna. (mar_8a9fa280a94c)
6. Cronaca CNSAS Trentino, consegna di 10 nuovi droni con termocamera e IA, 8 nuovi piloti abilitati (60 a livello nazionale, di cui 12 del Soccorso Alpino), 2 droni donati con un contributo di 20.000 euro. (mar_ffe0874064b1)

7. Cronaca sull'operatività di un drone dei Vigili del Fuoco della Liguria dotato di IMSI Catcher per la ricerca di dispersi in scenari di valanga, terremoto o incidente in montagna. (mar_306d50f718b9)
8. Aerial Inspection RetinaNet su dataset HERIDAL, guadagno di precisione di circa 21 punti percentuali sullo stato dell'arte, immagini 4K da quote di volo di 40-65 m, priorità alla rilevazione rispetto alla localizzazione. (mar_96a327dbafd3)
9. Sistema autonomo per soccorso e rilevamento incendi con rete ResNet e pianificazione del percorso bayesiana, accuratezza di rilevamento superiore al 91 per cento. (mar_9c2a0be790de)
10. Framework di sciame bio-ispirato con sensing termico per il soccorso, ottimizzazione Particle Swarm con copertura dell'80 per cento dell'area entro il 60 per cento del tempo di missione, ridondanza circa 0,25 e distanza inter-drone 15-20 m. (mar_64506350fdc1)
11. Open problems in computer vision per il soccorso in ambiente selvaggio, quasi 100 GB di immagini reali campionate a 2 fps per oltre 18.000 immagini, 19 approcci e 3 dataset ma solo 3 usati in operazioni reali, fallimento di EfficientDET nel mondo reale con falsi positivi e negativi. (mar_d3a2842e5236)
12. Revisione dei sistemi multi-robot collaborativi per il soccorso, autonomia piena possibile solo nella fase di ricerca e non in quella di salvataggio, percezione a bordo combinata con elaborazione a terra. (mar_836f25349b5b)
13. Approccio olistico al soccorso marittimo assistito da UAV, rilevamento preliminare a bordo e avanzato a terra con trasmissione delle sole regioni di interesse in piena qualità per gestire la banda, Quantum Systems Trinity F90+ circa 90 minuti, ElevonX SkyEye Sierra VTOL fino a 3 ore. (mar_ad43effa54ce)
14. Indagine di mercato DHS S&T (NUSTL, febbraio 2025) sui droni Blue List per primi soccorritori, 17 sistemi qualificati con prezzi da 12.995 a 120.000 USD, applicazioni antincendio, ricerca e soccorso, materiali pericolosi, servizi medici di emergenza e polizia. Dato verificato. (mar_3cfc1bce801c)
15. DHS S&T TechNote sul concetto Drone as First Responder (luglio 2025), droni prepositionati su stazioni di lancio con decollo su allarme, collocazione nella Authorized Equipment List (03OE-07-SUAS), restrizioni all'acquisto da entità straniere della Section 1823 del NDAA FY2024, waiver FAA per volo oltre la linea di vista e notturno. (mar_77538f15d3da)
16. US Coast Guard, contratto per il sistema V-BAT VTOL (Shield AI), valore potenziale 198,1 mln USD fino al 2029, autonomia minima 12 ore di volo al giorno e operatività 24 su 24, payload EO/IR e relay. Dato verificato, sistema VTOL fuori dai limiti dimensionali civili, marittimo su nave, contesto statunitense, usato come ordine di grandezza istituzionale non trasferibile. (mar_6830b69024a8)
17. Scheda tecnica DJI Matrice 350 RTK, MTOW 9,2 kg, autonomia 55 minuti, resistenza al vento 12 m/s. (mar_5eb10ed46db8)
18. Scheda tecnica del drone vincolato Elistair ORION 2, fino a 50 ore di volo continuo via cavo, carico utile fino a 5 kg. (mar_1356e9017930)
19. Panoramica su droni portatili con termocamera sotto i 250 g, certificati UE 2025 e ricadenti nelle categorie più semplici del regolamento Open, modelli DJI Mavic 3T, Autel EVO MAX 4T e la fascia sotto i 250 g DJI Mini 4 e 5 Pro. (mar_3f6bb4c53fc3)
20. Cinque abilitatori chiave per le comunicazioni durante e dopo un disastro, criticità delle prime 72 ore, piattaforme aeree (sciami di UAV, UAV vincolati, HAP) come stazioni base volanti e nodi di relay. (mar_11686e78455c)

21. Mappatura dei danni post-sisma a Mamuju-Majene (Indonesia, 2021), UAV ad ala fissa con copertura fino a 69 km² in un giorno, mappe usate dall'agenzia nazionale per il soccorso e la pianificazione. (mar_aa1b7fcc6204)
22. Esercizio di dispiegamento UAV della Protezione Civile della Provincia di Torino (2014), ala fissa 17 minuti contro rotore 9 minuti, area mappata circa 1,5 km², briefing 30-45 minuti in ambiente controllato. (mar_8455e90fd103)
23. Vincolo di flyability e beneficio ambientale del drone, flyability mediana di 5,7 ore al giorno per droni comuni contro 20,4 ore per droni resistenti alle intemperie, impronta di 12,1-23,5 g CO2/km per un drone da soccorso alpino contro 720 kg CO2 per un volo di elicottero sanitario di 50 minuti. (mar_ffedaa01675d; mar_a2e594c017f2)
24. Mercato dei droni civili globale da 44,4 a 83,0 mld USD tra 2026 e 2035, tasso annuo composto 7,2 per cento. Dato verificato, direzionale e non specifico del soccorso. (mar_abee030a8bc9; proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
25. Mercato professionale dei droni in Italia di circa 160 mln EUR nel 2024 in crescita di circa il 10 per cento l'anno, poco più di 650 operatori, espansione trainata dal settore pubblico. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
26. Concentrazione e sovranità, DJI con circa il 90 per cento del mercato globale dei piccoli droni commerciali e circa il 92 per cento dei droni di primo soccorso negli USA di fabbricazione cinese, con la conseguente leva della Blue List e delle restrizioni statunitensi e, in Europa, della conformità EASA e della sovranità tecnologica. (ANALISI.md; met_3dcf1c9c6ce2; met_c49b07c57fdb; mar_77538f15d3da)
27. Pianificazione probabilistica per il soccorso marittimo, dimensione del problema con oltre 26.832 dispersi censiti nel Mediterraneo dal 2014. (mar_2febe34e8def)
28. Sito pilota Antola, applicazione UAV già documentata (fotogrammetria del Flysch di Monte Antola), Parco dell'Antola con 5 siti di importanza comunitaria, contesto delle aree interne. (mar_e87fe6e4f6c8; mar_07467bdbabf9; mar_cada9eaef6c2)
29. Cornice di spesa pubblica attivabile, dotazione dell'ordine di 4 mln EUR per singola area interna della Strategia Nazionale per le Aree Interne e precedente regionale calabrese di 5 mln EUR per un sistema di droni antincendio come proxy della disponibilità a spendere di una Regione. (proj_fonti-primarie-spesa-pubblica-snai-da-archivio; proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
30. Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata del Politecnico di Milano, rilevazione 2025. Mercato professionale italiano a 168 milioni di euro con crescita del 5 per cento, 675 imprese attive, operazioni aeree al 95 per cento del valore, oltre 148.000 velivoli e oltre 185.000 operatori registrati (mar_5e6c3714440d).
31. Registro Italiano Arresti Cardiaci e Italian Resuscitation Council, epidemiologia nazionale dell'arresto cardiaco extraospedaliero. Circa 60.000 eventi l'anno in Italia, incidenza di circa 1 caso ogni 1.000 abitanti fra quelli trattati dai servizi di emergenza, circa 3.900 sopravvissuti pari al 6,5 per cento, tempo medio di arrivo dei soccorsi di 10,2 minuti (mar_aba45b19d128).

2.10 La sorveglianza marittima istituzionale

Fra le nicchie downstream esaminate nelle pagine precedenti, la sorveglianza marittima istituzionale è quella su cui poggia la parte più solida della domanda pagante, ed è la ragione per cui lo studio la tratta come il mercato di scala del prodotto, distinto e complementare rispetto all'ancora civile delle aree interne. La sua solidità non nasce da una proiezione di

crescita astratta ma da un fatto osservabile, ovvero che esistono clienti pubblici che già oggi comprano ore di sorveglianza con velivoli senza pilota, lo fanno con contratti pluriennali dell'ordine delle decine di milioni di euro e lo fanno esattamente nel modello di erogazione che Firmamento ha scelto, cioè acquistando il dato e non il mezzo. Prima di entrare nei numeri conviene però fissare un limite metodologico che attraversa tutta la sezione, perché è quanto distingue un'analisi difendibile da uno slogan. I sistemi che oggi vincono queste gare non rientrano nei limiti dimensionali delle classi civili europee, e alcuni pesano diverse volte più del velivolo di progetto, cosicché la domanda istituzionale valida la fascia operativa e il modello di business assai più di quanto non validi la specifica architettura compatta, che resterà un obiettivo distintivo di Firmamento da conquistare accettando prestazioni al più pari e più spesso leggermente inferiori a quelle dei sistemi di riferimento. Tenere insieme l'evidenza forte sulla domanda e la cautela sulla comparabilità tecnica è la premessa di tutto ciò che segue.

Il cliente europeo e nazionale e il denaro che mette sul tavolo

Il perno della domanda europea è l'Agenzia europea per la sicurezza marittima, EMSA, che ha costruito negli anni un servizio centralizzato di piattaforme a pilotaggio remoto e lo eroga gratuitamente non ai soli Stati membri dell'Unione ma anche ai Paesi candidati e agli Stati dello Spazio economico europeo, mettendo la propria capacità a disposizione di oltre venti autorità nazionali e dell'Agenzia europea di controllo della pesca [11]. Il punto che più conta per Firmamento è la struttura di questa spesa, perché a pagare il fornitore non è la singola guardia costiera bensì l'agenzia europea con il proprio bilancio operativo e i propri appalti, e ciò che l'agenzia compra non è un velivolo da mettere a inventario ma un flusso di immagini elettro-ottiche e infrarosse e di dati radar in tempo reale, convogliato al centro dati RPAS dell'EMSA e seguito in diretta dalle autorità nazionali [11]. È il modello dato-come-servizio nella sua forma più pura, quella in cui il cliente non sopporta alcun rischio d'asset e il fornitore vive di un canone pluriennale, ed è esattamente la ragione per cui questo mercato è più attraente della vendita spot per chi deve convincere un investitore, perché genera un portafoglio contrattuale di backlog che si estende su più anni [11].

La misura del denaro in gioco è documentata e in larga parte confermata dal riscontro incrociato delle fonti. Il budget storico complessivo con cui l'EMSA ha contrattato servizi RPAS di sorveglianza e monitoraggio delle emissioni ammonta a circa 77 milioni di euro, con operatività su tutte le acque europee a partire dal 2017 e piattaforme con autonomia dichiarata fra le 6 e le 12 ore e velocità fino a circa 140 chilometri l'ora [1]. Dentro questo perimetro storico si colloca la prima ondata di aggiudicazioni fra il settembre e il novembre del 2018, quando l'agenzia firmò quattro contratti per sistemi come l'Hermes 900 ad ala fissa con oltre 12 ore di autonomia, il Camcopter S-100 a decollo verticale operabile da nave con più di 4 ore di volo, raggio superiore ai 50 chilometri e un sensore per il monitoraggio dello zolfo, e lo Skeldar V-200 sempre a decollo verticale [2]. Alla stessa stagione risale il contratto da circa 20 milioni di euro con Nordic Unmanned per la sorveglianza a lungo raggio con l'Aerosonde, articolato su una durata di 2 anni più uno più uno [5]. La generazione più recente di contratti quadro, quella del 2025, alza la posta e definisce l'ordine di grandezza di riferimento per lo studio. Nel dicembre 2025 l'EMSA ha selezionato l'Airbus Flexrotor, un velivolo a decollo verticale, con un contratto da circa 30 milioni di euro su 2 anni estendibili a quattro e avvio operativo nel 2026 [3]. Poche settimane prima, nel novembre 2025, aveva assegnato a TEKEVER un accordo quadro anch'esso da circa 30 milioni di euro per il sistema ad ala fissa AR5, su una struttura di due più 2 anni e due sistemi [4]. La tabella seguente riassume la willingness-

to-pay istituzionale così come emerge dai contratti, tenendo insieme il dato storico e quello recente.

Cliente	Sistema o fornitore	Valore del contratto	Anno	Durata e note
EMSA, totale storico	vari RPAS	77 mln EUR	dal 2017	autonomia 6-12 h, fino a 140 km/h
EMSA	Nordic Unmanned, Aerosonde	circa 20 mln EUR	2018	2 piu 1 piu 1 anni, lungo raggio
EMSA	Airbus Flexrotor, VTOL	circa 30 mln EUR	2025	2 anni est. a 4, avvio 2026
EMSA	TEKEVER AR5, ala fissa	circa 30 mln EUR	2025	2 piu 2 anni, 2 sistemi
Frontex	Heron, Airbus DS e IAI	importo non reso pubblico	2024	rinnovo di 4 anni sul Mediterraneo, dal 2025
OCEAN2020, EDA, ricerca	consorzio guidato da Leonardo	35,48 mln EUR	2018-2021	15 Paesi UE, 42 partner
US Coast Guard	Shield AI V-BAT, VTOL	198,1 mln USD	recente	min. 12 h al giorno, 24 su 24

Accanto all'EMSA si muove Frontex, l'agenzia europea della guardia di frontiera e costiera, che rappresenta la seconda gamba della domanda e la sua faccia più orientata al controllo dei confini e all'immigrazione. Nel dicembre 2024 Frontex ha rinnovato per 4 anni, con efficacia dall'inizio del 2025, il contratto quadro per la sorveglianza marittima con il MALE ad ala fissa Heron operato da Airbus Defence and Space insieme a Israel Aerospace Industries sul Mediterraneo [6]. L'importo di quel rinnovo non è stato reso pubblico, e la tabella lo dichiara come tale anziché lasciare la casella vuota o riempirla con una stima; è un dato recuperabile dalla banca dati europea degli appalti nella fase successiva, e va recuperato perché è uno dei pochi riferimenti diretti al valore unitario della sorveglianza marittima con mezzi senza pilota in Europa. La traiettoria di spesa di questa agenzia dice quanto sia strutturale la domanda, perché il suo bilancio è passato dai 91,1 milioni di euro del 2014 ai 282,1 milioni del 2017, in parallelo a un aumento degli attraversamenti irregolari da circa 159.100 nel 2008 a oltre 1,8 milioni nel 2016 e alla riforma del 2016 che ne ha fatto un'agenzia con una riserva di 1.500 guardie di frontiera [7]. Va registrata, senza minimizzarla, la tensione etica che accompagna questo segmento, dato che l'uso di droni per il controllo delle frontiere è stato descritto in letteratura come la costruzione di un regime tecnologico di esclusione e di irrigidimento securitario, una critica che incide sull'accettabilità pubblica e sulle condizioni di finanziamento e che un progetto cooperativo come questo ha interesse a governare posizionandosi sul versante del soccorso e della tutela ambientale più che su quello del respingimento [7]. A monte dei singoli contratti operativi esiste poi il livello della ricerca finanziata, dove il programma OCEAN2020 dell'Agenzia europea per il comparto istituzionale, il più grande progetto europeo di sorveglianza marittima con droni, ha mosso 35,48 milioni di euro coinvolgendo quindici Paesi e quarantadue partner sotto la guida di Leonardo [8]. Per avere un termine di paragone extraeuropeo sulla scala che questi programmi possono raggiungere, la guardia costiera statunitense ha assegnato a Shield AI un contratto da 198,1 milioni di dollari per il sistema V-BAT a decollo verticale, con il requisito di almeno 12 ore di volo al giorno e operatività continua [9]. Nessuna di queste cifre è uno slogan e tutte poggiano su fonti verificate, il che rende questo segmento l'unico dell'intero studio in cui la disponibilità a pagare pubblica è documentata da contratti reali e non da proiezioni di mercato.

I sistemi che vincono le gare come metro di prestazione e di prezzo

Chi vuole entrare in questo mercato deve misurarsi con una griglia di piattaforme che il cliente conosce bene e che definisce sia lo standard di prestazione sia la scala di prezzo. Al vertice per persistenza e raggio stanno i grandi MALE ad ala fissa, come il GA-ASI MQ-9B SeaGuardian con oltre 30 ore di autonomia e più di 5.000 miglia nautiche di raggio, o la famiglia Leonardo Falco con l'Evo oltre le 20 ore e lo Xplorer oltre le ventiquattro, sistemi che appartengono a una categoria di peso e di costo lontanissima da un velivolo compatto e che servono qui solo a fissare il tetto delle prestazioni raggiungibili [14]. Il cuore del mercato EMSA e Frontex, però, si colloca più in basso, nella fascia dei tattici e dei VTOL medi che compongono la tabella seguente e che rappresentano il vero campo di confronto per l'architettura di progetto.

Piattaforma	Tipo	Peso al lancio o MTOW	Autonomia	Nota operativa
Airbus Flexrotor	VTOL	25 kg	12-14 h, 10 h in config. EMSA	payload 8 kg, area 3,7x3,7 m, quota circa 21.000 ft
TEKEVER AR5	ala fissa MALE tattico	classe circa 150-180 kg	12 h, max 20 h	EO/IR piu radar piu AIS, SATCOM e BLOS
IAI Hermes 900	ala fissa MALE	classe tonnellata	oltre 12 h	impiegato da EMSA e Frontex
Camcopter S-100	VTOL	circa 200 kg	oltre 4 h operative	da nave, raggio oltre 50 km, sensore zolfo
Skeldar V-200	VTOL	circa 235 kg	oltre 4 h	operabile da nave
Drone Guardia Costiera, famiglia Tekever	ala fissa	circa 180 kg	12 h	55 nodi, sgancio zattera 6 posti

Da questa griglia discende l'osservazione più importante e più scomoda per il progetto. La fascia di peso attorno ai 25 chilogrammi è validata dal mercato, perché il Flexrotor che ha appena vinto un contratto da 30 milioni pesa esattamente 25 chilogrammi al lancio, porta 8 chilogrammi di payload, vola dalle dodici alle 14 ore in configurazione tipica e dieci nella configurazione EMSA, decolla e recupera in un quadrato di 3,7 metri di lato e sale fino a circa 21.000 piedi [3]. Nessuno di questi sistemi, tuttavia, porta una marcatura di classe civile europea, e la ragione è duplice, perché o superano i 3 metri di dimensione caratteristica o sono piattaforme istituzionali di intelligence e sorveglianza escluse per natura dalle marcature civili di classe [15]. Lo stesso AR5 aggiudicato dall'EMSA e il drone che la Guardia Costiera italiana ha impiegato appartengono a una classe di peso attorno ai 180 chilogrammi, cioè circa sette volte il limite della classe compatta [4][13]. La conseguenza analitica è netta e va scritta senza ammorbidirla. Il velivolo di Firmamento, restando sotto i 25 chilogrammi e sotto i 3 metri, si confronta soltanto con l'estremo più leggero di questo mercato, quello del Flexrotor, e su quel confronto deve attendersi un target di prestazione al più paritario e nella maggior parte dei casi leggermente inferiore, con la conformità civile europea e la modularità del payload come veri elementi differenzianti anziché la pura prestazione di volo [15]. È un posizionamento onesto e sostenibile, ma impone di non promettere di battere il benchmark sul suo stesso terreno.

Sul fronte competitivo occorre inoltre essere lucidi su chi presidia già lo spazio. Gli incumbent del marittimo istituzionale sono attori grandi e ben capitalizzati, Airbus con il Flexrotor e con l'Heron, TEKEVER con l'AR5 e IAI, e lo spazio realistico per un nuovo entrante non è quel-

lo dello sfidante frontale che vince un contratto quadro europeo da 30 milioni, bensì quello del fornitore di servizi di nicchia, del subappaltatore delle operazioni di volo o dell'operatore locale radicato su un tratto di costa [22]. Questa lettura è coerente con l'avvertenza, ricorrente nelle fonti, che i valori dei contratti quadro sono tetti di spesa e non spesa confermata, e che le operazioni di volo vengono spesso subappaltate a operatori terzi, come mostra il caso del Flexrotor affidato all'operatore Extensee [21]. Proprio questo strato del subappalto operativo è la porta d'ingresso più credibile per una cooperativa che parte piccola.

Il modello a servizio e il nodo irrisolto del costo per ora di volo

Il modello di business dominante in questo mercato è già stato descritto nella sua logica, ma vale la pena insistere sul perché favorisca strutturalmente un venditore di servizi rispetto a un costruttore di velivoli. L'agenzia compra il dato e affida al fornitore l'intero pacchetto di velivolo, pilotaggio, comunicazioni e disseminazione, trasformando un investimento in conto capitale del cliente in un costo operativo ricorrente e spostando il valore dall'oggetto all'informazione. Per un attore come Firmamento, che ha già scelto di vendere ore di volo e non aerei, questo significa entrare in un mercato la cui grammatica economica coincide con la propria, senza dover educare il cliente a un modello nuovo.

Sul costo per ora di volo il prezzo unitario non è pubblicato da nessuna delle parti, perché i contratti quadro fissano tetti di spesa e non tariffe, e va quindi ricostruito per via indiretta a partire dai valori contrattuali noti. Il riferimento più recente è il contratto quadro che l'EMSA ha aggiudicato ad Airbus il 17 dicembre 2025, del valore di 30 milioni di euro, per servizi di sorveglianza marittima multiuso con il velivolo Flexrotor, comprensivi delle operazioni di volo, della produzione di immagini elettro-ottiche, infrarosse e radar e dell'invio dei dati al centro dati dell'agenzia, con finanziamento centralizzato e servizio messo a disposizione degli Stati membri, della Norvegia e dell'Islanda [23]. L'unico ancoraggio quantitativo indipendente proviene dalla letteratura sui programmi pubblici statunitensi, dove il costo pieno per ora di volo di un sistema tattico come l'RQ-21A è stato misurato in 18.223 dollari contro i 6.079 dollari di un velivolo con equipaggio della classe MC-12W, con la conferma che i costi operativi degli UAV sono storicamente più del doppio di quelli dei mezzi pilotati a parità di missione [10]. Su questa base si può costruire soltanto una stima di ordine di grandezza, che dichiaro esplicitamente come tale e non come dato di fonte. Dividendo un contratto quadro EMSA da circa 30 milioni di euro per la sua durata e per un numero plausibile di ore di volo annue, un servizio che voli attorno alle 1.500 o 2.000 ore l'anno su un orizzonte di 2 o 4 anni implica un costo tutto compreso dell'ordine di qualche migliaio di euro per ora di volo, verosimilmente in una forbice fra i 3.000 e i 7.000 euro, cifra che è una mia elaborazione direzionale utile solo a fissare la scala e coerente con l'estremo inferiore dei riscontri sui programmi pubblici statunitensi. Il valore di questa stima non sta nella sua precisione, che è nulla, ma nel messaggio strategico che porta, ovvero che il vantaggio competitivo di un velivolo compatto leggero non può che venire da un costo operativo per ora sensibilmente più basso di quello dei tattici da 180 chilogrammi, ottenuto grazie a una cellula più economica, a una logistica di lancio e recupero più leggera e a una manutenzione più semplice, così da compensare con il prezzo la prestazione di volo inevitabilmente inferiore. La ricostruzione indiretta qui proposta è sufficiente a fissare l'obiettivo industriale, cioè un costo pieno per ora di volo che si collochi sotto i 1.500 euro, e a rendere quel bersaglio verificabile in sede di offerta contro il prezzo che l'operatore consolidato pratica sullo stesso contratto.

La domanda già finanziata sul Golfo di Genova

L'elemento che più avvicina questo mercato di scala al territorio del progetto è la presenza documentata di un servizio di sorveglianza marittima con drone proprio sul Golfo di Genova. La ricostruzione va fatta con precisione perché la sua forza probatoria dipende dal distinguere ciò che è verificato da ciò che resta aperto. Il fatto storico è confermato da fonte primaria, dato che un comunicato dell'EMSA del primo luglio 2022 documenta il dispiegamento, avviato il 16 giugno 2022, di un velivolo ad ala fissa AR-5 Evo a supporto della Guardia Costiera italiana per accrescere la sorveglianza marittima sul Golfo di Genova, con il velivolo posto sotto contratto EMSA dal consorzio REACT composto dalle società CLS e Tekever, e un secondo comunicato del marzo 2023 ripropone la stessa configurazione [12]. Lo stesso periodo vede il primo volo nazionale del drone della Guardia Costiera, effettuato l'8 giugno 2022 dal Nucleo aereo di Sarzana in occasione del trentesimo anniversario della Giornata mondiale degli oceani, con un velivolo di circa 180 chilogrammi, autonomia di 12 ore e velocità di 55 nodi, capace di captare via radar eventuali richieste di soccorso e di trasportare e sganciare una zattera di salvataggio da 6 posti, con un raggio d'azione esteso fino al Santuario Pelagos per la protezione dei mammiferi marini, un tratto di mare di quasi 90.000 chilometri quadrati [13]. La convergenza di queste evidenze mostra che sul mare ligure è già transitata, negli anni 2022 e 2023, una domanda pubblica di sorveglianza finanziata attraverso il canale EMSA e servita da una piattaforma della famiglia Tekever, la stessa che nel novembre 2025 ha vinto un contratto quadro europeo da 30 milioni di euro.

Ciò che resta genuinamente da verificare non è quindi l'esistenza passata del servizio, che è provata, ma la sua persistenza e la sua natura di domanda ricorrente. Occorre chiarire se il dispiegamento sul Golfo di Genova sia ancora attivo nel 2026, se rientri nei nuovi contratti quadro Flexrotor e AR5 o costituisca una linea a sé, e quale sia il suo valore economico, informazioni che le fonti attualmente non forniscono e che vanno cercate presso l'EMSA, la Guardia Costiera e i contatti locali del progetto. La stessa evidenza porta con sé un'ambivalenza strategica che va nominata, perché la presenza del consorzio REACT con CLS e Tekever sul territorio ligure è al tempo stesso la prova che qui c'è domanda pagante e la conferma che quella domanda è già presidiata da un incumbent forte, cosicché per Firmamento il Golfo di Genova rappresenta insieme l'opportunità più vicina e il concorrente più vicino, e la via d'ingresso realistica passa più per la collaborazione, il subappalto operativo o la complementarità di missione che per la sfida diretta.

Le applicazioni portuali e costiere e i loro clienti

Sotto la sorveglianza d'altura si estende un secondo strato di domanda, quello portuale e costiero, meno ricco di contratti quadro noti ma più vicino a una scala d'ingresso compatibile con una cooperativa e con un velivolo leggero. Le applicazioni tecniche qui sono già dimostrate. L'ispezione delle banchine portuali con drone consente di rilevare crepe fino a un millimetro di larghezza, ben oltre la soglia ispettiva standard di 3 millimetri, usando persino un velivolo generico come l'Autel EVO II Pro con una risoluzione al suolo di 2,28 millimetri per pixel a 10 metri di quota, il che apre un mercato di ispezione infrastrutturale a basso costo il cui cliente naturale è l'autorità portuale o il gestore del terminal [16]. Il monitoraggio delle emissioni navali è un secondo filone con un chiaro aggancio normativo, perché un minisensore diffuso del peso di 300 grammi montabile su drone rileva l'anidride solforosa con precisione di dieci parti per miliardo e l'anidride carbonica con precisione di cinque parti per milione, e prove sul campo nel delta dello Yangtze hanno portato a sanzionare 8 navi che violavano il limite dello 0,5 per cento di zolfo nel combustibile imposto dall'Organizzazione

marittima internazionale dal 2020, un'attività che il controllo dello Stato di approdo e l'EMSA stessa hanno interesse a esternalizzare [17]. La sicurezza portiva è un terzo cliente possibile, come mostra l'esercitazione nel Porto Franco di Trieste che ha simulato l'attivazione del livello di security SL3 per rispondere a droni sospetti e a minacce marittime, segno che le autorità portuali stanno integrando i sistemi a pilotaggio remoto nei propri piani di risposta [18]. A questi si aggiunge il monitoraggio costiero e ambientale, dove uno studio mediterraneo ha misurato con drone un'erosione annua compresa fra 6 e 12 metri su una costa con densità di popolazione di 1.238 abitanti per chilometro quadrato, quantificando il valore di una sorveglianza sistematica del litorale per le amministrazioni che devono gestirne il rischio [19].

Un filone tecnologico che merita attenzione perché ridisegna il perimetro competitivo è quello dei sistemi collaborativi fra drone aereo e mezzo di superficie senza pilota, che estendono il raggio e la persistenza dell'aereo appoggiandolo a una nave-madre. Un drone-carrier costruito su un catamarano elettrico di 4 metri per sette può trasportare fino a quattro DJI M300 e un manipolatore da 10 chilogrammi, operando in ambienti privi di segnale satellitare su un'area di circa 3 chilometri quadrati, mentre un sistema analogo ha vinto il primo posto alla competizione MBZIRC 2023 pattugliando un'area di circa 10 chilometri quadrati [20]. La rilevanza per Firmamento è duplice, perché da un lato conferma che il lancio e il recupero da nave, in un quadrato di pochi metri di lato, è un requisito reale del marittimo che il progetto deve saper affrontare, dall'altro indica un varco di integrazione in cui un velivolo compatto leggero può inserirsi come nodo aereo di un sistema multi-dominio più ampio anziché come piattaforma solitaria. Sul versante dei clienti italiani e liguri la documentazione è più esplicita sulle applicazioni che sui contratti, e conviene dirlo, perché i clienti plausibili sono le Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale e Orientale, che governano gli scali di Genova, Savona e La Spezia, e le Capitanerie di Porto della Guardia Costiera per la vigilanza costiera, la pesca, l'inquinamento e la tutela del Santuario Pelagos, ma i valori economici di questi affidamenti locali non sono documentati nelle fonti e restano da quantificare.

Implicazioni per il progetto

La lettura complessiva di questo segmento consegna allo studio un messaggio coerente. La sorveglianza marittima istituzionale è l'unico mercato downstream in cui la disponibilità a pagare pubblica è provata da contratti reali e ricorrenti, dell'ordine dei 30 milioni di euro per accordo quadro pluriennale, erogati nel modello dato-come-servizio che coincide con la scelta di business già compiuta da Firmamento, e con un aggancio territoriale concreto sul Golfo di Genova che nessun'altra nicchia possiede con la stessa forza. Questo giustifica il ruolo di mercato di scala che il progetto le assegna. Al tempo stesso l'analisi impone tre disciplina. La prima è di posizionamento tecnico, perché i sistemi che vincono queste gare non rientrano in quei limiti e sono spesso molto più pesanti, sicché il velivolo di progetto deve competere solo all'estremo leggero della fascia, accettando prestazioni al più paritarie e facendo leva sulla conformità civile europea, sulla modularità del payload e su un costo per ora di volo più basso anziché sulla pura persistenza. La seconda è di ruolo industriale, perché lo spazio realistico non è quello dello sfidante frontale degli incumbent Airbus, TEKEVER e IAI ma quello dell'operatore di nicchia, del subappaltatore delle operazioni di volo e del partner locale, ed è proprio da questo strato che conviene entrare, magari a partire dal presidio già esistente sul mare ligure. La terza è di sequenza, perché il marittimo è la scala verso cui il prodotto multi-ruolo modulare si estende dopo essersi legittimato e finanziato sull'ancora delle aree interne, con lo stesso velivolo e payload intercambiabili, e non un business alternativo da inseguire fin da subito. Il continuum istituzionale di questo segmento, che tiene insieme

soccorso, ambiente, pesca e confini, va infine governato con cura comunicativa, valorizzando la faccia civile e salvavita della sorveglianza per preservare l'accettazione sociale e l'accesso ai finanziamenti.

Note e riferimenti

1. Presentazione EMSA sui servizi RPAS per la sorveglianza marittima e il monitoraggio delle navi, budget storico contrattato di circa 77 mln EUR operativo dal 2017, autonomia 6-12 h e velocità fino a 140 km/h. Dato confermato. (mar_bb835d9ba789)
2. Comunicato EMSA sui quattro contratti RPAS aggiudicati fra settembre e novembre 2018, Hermes 900 oltre 12 h, Camcopter S-100 VTOL da nave oltre 4 h e oltre 50 km con sensore zolfo, Skeldar V-200 VTOL. (mar_a240078aaf97)
3. Selezione EMSA dell'Airbus Flexrotor VTOL, contratto da circa 30 mln EUR su 2 anni estendibili a 4 con avvio 2026, peso al lancio 25 kg, payload 8 kg, area di lancio 3,7x3,7 m, quota circa 21.000 ft, 12-14 h e 10 h in configurazione EMSA. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti. (mar_82d5a1c21977; proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
4. Accordo quadro EMSA con TEKEVER per il UAS ad ala fissa MALE AR5, circa 30 mln EUR, struttura 2 piu 2 anni e 2 sistemi, 12 h e max 20 h, SATCOM e BLOS, novembre 2025. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti. (proj_fase-a-analisi-di-mercato-deep-research; proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
5. Contratto EMSA con Nordic Unmanned per la sorveglianza a lungo raggio con Aerosonde, circa 20 mln EUR, durata 2 piu 1 piu 1 anni. (mar_c852b1b3cee7)
6. Rinnovo quadriennale Frontex del contratto per il MALE Heron operato da Airbus DS e IAI sul Mediterraneo, annuncio dicembre 2024 con efficacia dal 2025. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti. (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni; proj_fase-a-analisi-di-mercato-deep-research)
7. Studio sulle frontiere ad alta tecnologia dell'UE, budget Frontex da 91,1 mln EUR (2014) a 282,1 mln EUR (2017), attraversamenti irregolari da 159.100 (2008) a oltre 1,8 mln (2016), riforma 2016 e critica del regime di irrigidimento securitario. (elaborazione dello studio)
8. Scheda EDA del programma OCEAN2020, il più grande progetto UE di sorveglianza marittima con droni, budget 35,48 mln EUR, 15 Paesi UE e 42 partner, guida Leonardo. (mar_b49c425af200)
9. Assegnazione della US Coast Guard a Shield AI per il sistema V-BAT VTOL, 198,1 mln USD, requisito minimo di 12 h di volo al giorno e operatività 24 su 24. (mar_6830b69024a8)
10. Analisi DTIC di costo-efficacia, costo per ora di volo dell'RQ-21A pari a 18.223 USD contro 6.079 USD dell'MC-12W con equipaggio, costi operativi UAV storicamente più del doppio dei mezzi pilotati. (mar_eb8d5342bc65; mar_0936f18004f0)
11. Modello EMSA dato-come-servizio, erogazione gratuita a Stati UE, Paesi candidati ed EFTA, oltre 20 autorità nazionali piu EFCA, il fornitore opera la piattaforma e consegna imagery EO/IR e dati radar in tempo reale, backlog pluriennale attrattivo per gli investitori. (proj_fase-a-analisi-di-mercato-deep-research; mar_db31f5476748)
12. Dossier di controllo delle fonti fonti del progetto, dispiegamento EMSA sul Golfo di Genova dal 16 giugno 2022 con AR-5 Evo del consorzio REACT (CLS e Tekever) a supporto della Guardia Costiera italiana, comunicati EMSA item 4774 del 1 luglio 2022 e item 4928 del marzo 2023. Fatto storico confermato a fonte primaria, persistenza attuale da verificare. (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
13. Cronaca del primo volo nazionale del drone della Guardia Costiera l'8 giugno 2022 dal Nucleo aereo di Sarzana, velivolo di circa 180 kg, autonomia 12 h, velocità 55 nodi, sgancio

di zattera da 6 posti, rilevamento radar di SOS, raggio esteso al Santuario Pelagos di quasi 90.000 km². (mar_af80cc2c8dba; mar_86bd84a4c2ef)

14. Datasheet e schede dei benchmark ad alta persistenza, GA-ASI MQ-9B SeaGuardian oltre 30 h e oltre 5.000 nmi, Leonardo Falco Evo oltre 20 h e Xplorer oltre 24 h, Hermes 900 oltre 12 h. (mar_3c505c7c4f5a; mar_c9e26b80fe57; mar_a240078aaf97)
15. Report di mercato consolidato della ricerca preliminare di mercato e dossier di controllo delle fonti, i benchmark circa 25 kg (Flexrotor, AR5, AR3 EVO) validano la fascia di peso ma non i limiti dimensionali di classe, superano i 3 m o sono sistemi di classe superiore ISR, per un velivolo compatto (< 25 kg e < 3 m) target al più paritario e spesso leggermente inferiore. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato; proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
16. Sistema low-cost di rilevamento crepe su banchine portuali con drone generico Autel EVO II Pro, rilevamento fino a 1 mm oltre la soglia standard di 3 mm, GSD 2,28 mm/px a 10 m. (mar_01b268f129a5)
17. Mini-sensore diffuso per il monitoraggio delle emissioni navali, peso 300 g, anidride solforosa a 10 ppb e anidride carbonica a 5 ppm, prove nel delta dello Yangtze con sanzioni a 8 navi oltre il limite IMO dello 0,5 per cento di zolfo dal 2020. (mar_01e0dee352fc)
18. Esercitazione di sicurezza nel Porto Franco di Trieste con attivazione del livello di security SL3 in risposta a droni sospetti e minacce marittime. (mar_3e8847e53e5f)
19. Studio di monitoraggio costiero con UAV sulla costa mediterranea spagnola, erosione annua fra 6 e 12 m e densità di popolazione costiera di 1.238 abitanti per km². (mar_aa70b963d0ba)
20. Sistemi collaborativi UAV-USV, drone-carrier su catamarano elettrico 4x7 m con fino a 4 DJI M300 e manipolatore da 10 kg in ambiente GNSS-denied su 3 km², sistema vincitore MBZIRC 2023 su circa 10 km². (mar_5f160be79f58; mar_99afc262f1ee)
21. Rapporto preliminare di mercato, i valori dei contratti quadro EMSA sono tetti di spesa e non spesa confermata, operazioni di volo spesso subappaltate (Flexrotor operato da Extensee), prezzo unitario del servizio non pubblicato dalle parti contraenti. (proj_fase-a-analisi-di-mercato-deep-research; proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
22. Analisi competitiva della ricerca preliminare di mercato, incumbent Airbus, TEKEVER e IAI, spazio realistico per il nuovo entrante come fornitore di servizi di nicchia, subappaltatore o operatore locale e non come sfidante frontale. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
23. Contratto quadro EMSA-Airbus per il servizio Flexrotor, aggiudicato il 17 dicembre 2025. Valore di 30 milioni di euro, operazioni di volo con produzione di immagini elettro-ottiche, infrarosse e radar e invio dei dati al centro dati EMSA, missioni di ricerca e soccorso, controllo della pesca, tutela ambientale e contrasto ad attività illecite, finanziamento centralizzato e servizio disponibile a Stati membri, Norvegia e Islanda (mar_c7cfb4b2069f).

2.11 La protezione delle infrastrutture critiche sottomarine

Il segmento che questa sezione affronta è quello che lo studio tratta come la seconda ancora del progetto, complementare e non alternativa all'ancora civile delle aree interne, e con essa condivide una caratteristica che nessun'altra nicchia possiede con la stessa forza, ovvero il radicamento nella stessa regione. L'ancora delle aree interne poggia sull'entroterra ligure e sul sito pilota di Torriglia, mentre l'ancora subacquea poggia su La Spezia, cosicché il baricentro territoriale del progetto resta unico e la piattaforma è sempre la stessa, un velivolo modulare in

Tavola 2.6. Una nave posacavi al lavoro: l'infrastruttura sottomarina la cui vulnerabilità apre il segmento.

classe compatta sotto i 25 chilogrammi con payload intercambiabili, mentre cambiano i clienti e i carichi utili. Prima di entrare nei numeri conviene fissare il limite tecnico che governa tutta l'analisi, perché è quanto separa una tesi difendibile da una suggestione. Il velivolo è aereo e non va sott'acqua, e il suo valore nel dominio subacqueo non sta nel sostituire i mezzi che operano sul fondale ma nel connetterli e nel sorvegliarli dall'alto, agendo come nodo aereo di un'architettura multi-dominio. È da questa distinzione che discende il varco competitivo che l'analisi identifica, ed è a essa che vanno ricondotte tutte le cifre che seguono.

Il Polo Nazionale della Dimensione Subacquea e il cluster di La Spezia

L'elemento che rende questo segmento più di una scommessa è l'esistenza di un cluster subacqueo istituzionale unico in Europa, concentrato in un solo luogo che è per giunta ligure. Nello stesso compound istituzionale di La Spezia convivono il centro di ricerca marittima della NATO, ovvero lo STO CMRE, il Polo Nazionale della Dimensione Subacquea e il centro nazionale di supporto e sperimentazione navale, all'interno di un polo internazionale di eccellenza sul dominio subacqueo che l'Italia ospita, di cui fornisce il direttore e l'infrastruttura e di cui presiede lo steering committee, con la Grecia che contribuisce con personale [1]. Questo centro di eccellenza funge da ponte fra la scienza e la tecnologia della NATO, il Polo nazionale e il canale di innovazione dell'Alleanza rappresentato da DIANA, ed è in fase di accreditamento NATO atteso per il 2026 [1]. Per un attore ligure come Firmamento questo significa che ricerca navale nazionale, ricerca NATO, coordinamento nazionale e canale di innovazione atlantico insistono su un unico punto geografico a poche decine di chilometri dal territorio del progetto.

Il Polo nazionale merita una ricostruzione precisa della sua natura e della sua cronologia, perché la sua giovinezza è al tempo stesso ciò che lo rende agganciabile. Nasce da un decreto interministeriale della Sicurezza di concerto con le Imprese e con l'Università e la Ricerca del 25 ottobre 2023, viene avviato nel dicembre dello stesso anno e assume la forma giuridica definitiva quando la Fondazione di partecipazione di diritto privato senza scopo di lucro viene costituita il 21 maggio 2025 su iniziativa del Ministero della Sicurezza e di Sicurezza Servizi, con il primo consiglio di amministrazione riunito il 14 luglio 2025 presso il Centro di Supporto e Sperimentazione Navale [3]. La governance è presieduta da Roberta Pinotti, ex ministra della Sicurezza, affiancata dal vicepresidente Luca Andreoli, amministratore delegato di Sicurezza Servizi, e comprende fra i membri Barbara Caputo del Politecnico di Torino per l'intelligenza artificiale e Cristiano Ghirlanda per il territorio ligure [3]. I soci fondatori sono otto, e la loro identità conta perché segna le porte d'ingresso naturali per una piccola e media impresa, dato che accanto al Ministero della Sicurezza e a Sicurezza Servizi figurano il MIMIT, il MUR, l'associazioni industriali di settore come federazione dell'aerospazio, sicurezza e sicurezza, le università rappresentate dalla CRUI, i centri di ricerca rappresentati dalla ConPER e l'Agenzia Industrie Sicurezza [3]. Per Firmamento gli agganci realistici sono l'associazioni industriali di settore come associazione di categoria, la CRUI attraverso una partnership universitaria e l'AID, mentre l'accesso diretto ai tavoli ministeriali non è alla portata di una PMI isolata. Attorno a questo nucleo istituzionale le fonti di settore riportano un ecosistema di circa 260 realtà, di cui una ventina di grandi imprese e centosettantasette piccole e medie imprese oltre a centri di ricerca e università, una composizione in cui la netta prevalenza delle PMI segnala che il Polo è concepito anche come strumento di politica industriale per il tessuto minore, e non solo come vetrina dei grandi campioni nazionali [2]. Sul piano infrastrutturale la posta in gioco locale è espressa dal progetto Arsenale 5.0, che prevede un investimento complessivo dell'ordine di un miliardo di euro nel Golfo della Spezia [4], una cifra che va letta come contesto dell'ambizione territoriale più che come fondo contendibile.

Il punto più delicato è quello del denaro effettivamente disponibile, perché è qui che la stampa e la realtà divergono e va detto con franchezza. L'unico stanziamento verificato a fonte primaria è il finanziamento seed di 2 milioni di euro l'anno a partire dal 2023, previsto dalla Legge di Bilancio per il centro di eccellenza a La Spezia sotto supervisione pubblica, a cui si aggiunge un ulteriore milione dalla Legge di Bilancio 2024, per un investimento effettivo complessivo dell'ordine di 3 milioni di euro [5]. La cifra che circola sui media, ovvero circa 50 milioni di euro l'anno, non è una dotazione stanziata bensì il fabbisogno stimato dall'associazioni industriali di settore e riportato dalla stampa specializzata come somma che servirebbe per rendere il Polo davvero strategico, equivalente a circa 500 milioni su un decennio, e va quindi presentata come esigenza dichiarata e non come budget disponibile [6]. Sul fronte dei bandi le fonti di settore riferiscono che 8 bandi di ricerca sarebbero stati pubblicati e assegnati fra la fine del 2023 e il 2024, con 4 bandi aggiuntivi in definizione, e che questi strumenti sono cofinanziati intorno al 50 per cento con l'industria [7]. A questi si aggiungerebbe un bando specifico denominato Underwater Liguria da circa 7,5 milioni di euro, con contributi a fondo perduto fino a 800.000 euro per progetto, presentato a La Spezia nel luglio 2026, un dato che proviene però dalla stampa locale e va classificato a confidenza media in attesa di conferma sui documenti primari [8]. La lettura corretta di questo quadro è che il Polo offre oggi un aggancio istituzionale forte e denso ma un flusso di denaro nazionale ancora modesto e in gran parte da confermare, e che il valore per il progetto sta più nella rete di relazioni e nella prossimità territoriale che nella dimensione immediata dei fondi.

Il mercato dei sistemi subacquei autonomi e la posta economica

Per dimensionare l'attrattività economica del dominio conviene guardare al mercato adiacente dei mezzi subacquei autonomi, con l'avvertenza netta che si tratta del mercato degli AUV e non del mercato servibile dalla piattaforma aerea, sicché quel valore misura la posta in gioco complessiva del dominio e non il ricavo accessibile a Firmamento. Le fonti di settore stimano il mercato globale dei veicoli subacquei autonomi intorno a 3 miliardi di dollari nel 2023, con una proiezione che supererebbe i 12 miliardi entro il 2032 e un tasso di crescita annuo composto dell'ordine del 16,5 per cento [9]. Questa è però la fascia alta delle stime disponibili, poiché il riscontro incrociato fra le rilevazioni disponibili colloca la base reale del mercato fra 1 e 2,4 miliardi di dollari a seconda del perimetro considerato, e la cifra va quindi maneggiata come stima direzionale e non come dato consolidato. Il messaggio che se ne ricava è comunque robusto negli ordini di grandezza, ovvero che il dominio subacqueo autonomo è in forte espansione strutturale trainato dal comparto istituzionale e dalla protezione delle infrastrutture, e che questa crescita alimenta a valle una domanda di nodi di comunicazione, di sorveglianza e di gateway di superficie e aerei che è precisamente lo spazio in cui il velivolo di progetto può inserirsi.

La protezione delle infrastrutture critiche sottomarine

Il driver che sta convertendo l'attenzione istituzionale in spesa reale è la protezione delle infrastrutture critiche sottomarine, un tema salito in cima all'agenda dopo il sabotaggio del gasdotto Nord Stream nel Baltico e i danni ai cavi nel Mare di Barents, eventi che hanno reso concreta una vulnerabilità fino a poco prima trattata come teorica [11]. La posta in gioco fisica è enorme e conviene quantificarla con la precisione che la verifica consente. Nel mondo esistono oltre un milione e 400.000 chilometri di cavi sottomarini in servizio, un dato verificato a fonte primaria che rappresenta la spina dorsale delle telecomunicazioni globali, mentre la cifra di un milione e 200.000 chilometri di condotte offshore che pure circolava è risultata sovrastimata di circa un ordine di grandezza e va sostituita con una valutazione più prudente dell'ordine delle centinaia di migliaia di chilometri [10]. A questo si aggiunge un quadro geopolitico in cui, all'inizio del 2023, quarantatré Paesi disponevano di mezzi subacquei e la flotta globale contava 505 mezzi subacquei, numeri che spiegano perché la contesa del fondale sia diventata una dimensione strategica autonoma [10]. La risposta istituzionale è già operativa, come mostra l'operazione NATO Baltic Sentry avviata nel gennaio 2025 per pattugliare le acque baltiche, ed è accompagnata da un'analisi di policy secondo cui il sabotaggio sottomarino è contrastabile solo se la NATO investe in droni e sensori per proteggere i cavi, un framing che colloca esplicitamente le piattaforme aeree e senza pilota al centro della soluzione [11]. Sul versante dei clienti paganti la protezione dei cavi e delle condotte energetiche coinvolge operatori privati di primo piano, come Terna con il collegamento Adriatic Link dal valore dell'ordine di 630 milioni di euro e posa affidata a Prysmian, o Sparkle con il cavo GreenMed, oltre agli operatori dell'energia offshore e, sul lato pubblico, alla NATO e all'Unione Europea [12]. La combinazione di una posta fisica immensa, di eventi scatenanti recenti e di clienti dotati di budget rilevanti è ciò che trasforma la protezione delle infrastrutture sottomarine da tema di ricerca a mercato con disponibilità a pagare crescente.

Il gateway aereo leggero come varco competitivo

Il cuore della tesi di posizionamento è che esiste un ruolo tecnico preciso e non presidiato che il velivolo di progetto può occupare, e questo ruolo nasce dalla fisica dei collegamenti subacquei. Sott'acqua i link hanno portata intrinsecamente limitata, con l'ottico wireless che

raggiunge 50 o 100 metri, la radiofrequenza appena una decina di metri e l'acustico che arriva lontano ma con latenza elevata e forte sensibilità al rumore, ed è proprio questa barriera fisica a rendere necessario un nodo che colleghi i mezzi subacquei alle reti terrestri e 5G [13]. In letteratura questo nodo è già realizzato con velivoli senza pilota usati come relay che raccolgono i link dei mezzi subacquei attraverso unità galleggianti ottiche o radio montate su ROV e li instradano verso le reti di superficie per il monitoraggio del fondale in tempo reale, il che descrive con esattezza il ruolo di piattaforma aerea come relay e gateway multi-dominio senza che il velivolo debba mai immergersi [13]. I ruoli concreti che ne derivano sono quattro, ovvero il relay di comunicazione per mezzi subacquei, di superficie e non presidiati, la sorveglianza persistente dall'alto di cavi, condotte e anomalie di superficie, l'ISR multi-dominio e il supporto alla sorveglianza del fondale e al contromisure mine come nodo, ad esempio nel rilancio dei dati delle sonoboe.

La ragione per cui questo spazio è competitivamente attraente emerge dal confronto con gli attori già presenti, che coprono l'underwater solo con piattaforme molto più pesanti e costose. Il Leonardo AWHero è un elicottero senza pilota che vende esplicitamente funzioni di relay di comunicazione e di rilancio dati delle sonoboe ottimizzate per la sorveglianza del fondale, ma appartiene a una classe intorno ai 200 chilogrammi, un ordine di grandezza sopra la classe compatta. Il LeVanta HALIA è una piattaforma anfibia float-and-fly finanziata dai programmi SBIR dell'aeronautica e della marina statunitensi, capace di restare in superficie oltre 30 giorni e di riposizionarsi in volo, con payload modulari fino a oltre una tonnellata che includono il relay di comunicazione per missioni di sorveglianza del fondale e di contromisure mine, e la sua esistenza dimostra che i clienti istituzionale pagano per aerei che operano nel dominio subacqueo. Il benchmark più vicino alla fascia di peso di progetto è il TEKEVER AR3 EVO, un ibrido a decollo verticale e ala fissa intorno ai 25 chilogrammi con circa sei di payload, 22 ore di autonomia ad ala fissa e quattordici in configurazione verticale, capace di lanciarsi e recuperarsi in un quadrato di 5 metri di lato anche da piccole imbarcazioni, ma che svolge solo ISR marittimo di superficie e la cui scheda non menziona alcun ruolo di relay per mezzi subacquei o di sorveglianza cavi. La tabella seguente riassume il confronto e mostra dove sta il varco.

Piattaforma	Classe di peso	Payload	Endurance	Ruolo subacqueo dichiarato
Leonardo AWHero	circa 200 kg	20 kg naso, 40 kg pancia	6 h, datalink 100 km	Sì, relay comms e rilancio sonoboe per ASW
LeVanta HALIA	anfibio float-and-fly	50 a 2200 lb	30+ giorni in superficie	Sì, ASW e MCM con relay comms modulare
TEKEVER AR3 EVO	circa 25 kg, fuori classe, apertura oltre 3 m	circa 6 kg	22 h ala fissa, 14 h VTOL	No, solo ISR di superficie
Obiettivo Firmamento	sotto 25 kg e sotto 3 m	circa 6 kg intercambiabile	12 a 22 h target	Gateway e relay verso il dominio subacqueo

Va sottolineato con precisione, per non ripetere un errore già corretto in sede di controllo delle fonti, che l'AR3 EVO non rientra nei limiti dimensionali delle classi civili europee, perché ha apertura alare superiore ai 3 metri ed è un sistema ISR istituzionale, cosicché esso vale come riferimento di peso e di prestazione ma non di classe normativa, e il traguardo di Firmamento resta un velivolo pienamente entro i limiti delle classi civili europee con prestazioni al più

paritarie [14]. Il quadro delle capacità già operative nella sorveglianza del fondale aiuta a comprendere il paradigma in cui il velivolo si inserirebbe come nodo leggero, dato che sistemi come l'MQ-9B SeaGuardian raddoppiano oggi la capacità di lancio di sonoboe dimostrando il primo rilascio da velivolo senza equipaggio, l'MQ-8C Fire Scout trasporta quaranta sonoboe operando a 100 miglia dalla nave con un'autonomia 4 o 5 volte superiore a quella degli elicotteri, il Camcopter S-100 copre oltre 13.000 miglia nautiche quadrate in 12 ore con un sensore a swath di 20 miglia, e gli UUV con sonar attivo raggiungono portate di rilevamento stimate fra 10 e 1.000 chilometri a seconda delle condizioni [15]. In questo ecosistema è allo studio, con il progetto Sciamano Drone Carrier, l'integrazione di sciami di droni subacquei, di superficie e aerei sulle navi, segnale di una domanda esplicita di sistemi che integrino i tre domini [16], mentre nel panorama industriale nazionale il Leonardo Piaggio P.1HH HammerHead, un MALE derivato dal P.180 Avanti II con 16 ore di autonomia e 45.000 piedi di tangenza, presidia la fascia alta [17]. Nessuno di questi attori occupa lo spazio del gateway aereo leggero in classe compatta, ed è questa la conclusione competitiva su cui poggia il posizionamento del progetto.

Implicazioni per il progetto

La lettura complessiva di questo segmento consegna allo studio un messaggio a tre livelli. Il primo è che la subacquea è una seconda ancora reale e finanziabile, ma solo a condizione di assumere il ruolo giusto, ovvero quello di nodo aereo multi-dominio che fa relay, gateway e sorveglianza dall'alto, e non quello di un mezzo subacqueo che il velivolo non è e non sarà. Il varco competitivo esiste ed è documentato, perché il gateway leggero in classe compatta non è presidiato dagli incumbent, che coprono l'underwater solo con piattaforme molto più pesanti e costose come l'AWHero da 200 chilogrammi, e il valore differenziante del progetto sta nella combinazione di conformità civile europea, modularità del payload e costo per ora di volo più basso. Il secondo livello riguarda l'accesso, che in questo dominio è mediato e non diretto, poiché il denaro istituzionale più capiente passa da consorzi europei a cui una PMI non accede da sola, e la via realistica per Firmamento è entrare nell'orbita del Polo di La Spezia attraverso l'associazioni industriali di settore, la CRUI e l'AID e costruire o unirsi a un consorzio sul topic programmi europei dei fondali entro la finestra del settembre 2026. Il terzo livello è che il valore risiede nei payload, ovvero nel relay di comunicazione multi-standard, nella sensoristica elettro-ottica e infrarossa, nel radar ad apertura sintetica e in un eventuale rilancio acustico delle sonoboe, molto più che nella cellula, il che conferma la coerenza con la strategia di un unico prodotto modulare alimentato da più ancore di finanziamento. Va infine ribadito che il modello dato-come-servizio scelto da Firmamento si sposa con questo dominio, perché sia i clienti istituzionale sia gli operatori dei cavi e dell'energia sono interessati a comprare la sorveglianza e il dato più che il mezzo, e questo tiene insieme la seconda ancora con la scelta di business già compiuta.

Note e riferimenti

1. Approfondimento della ricerca preliminare di mercato sulla dimensione subacquea e sul cluster di La Spezia, poli internazionali di ricerca sul dominio subacqueo, PNS e CSSN nello stesso compound, governance a guida italiana e accreditamento NATO atteso nel 2026. (proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns)
2. Sintesi documentale del dominio subacqueo, il Polo aggrega circa 260 realtà di cui una ventina di grandi imprese e 177 PMI oltre a centri di ricerca e università, con inaugurazione a La Spezia nel dicembre 2023. Dato di fonte di settore, confidenza media. (mar_321fdad40bf9)

3. Approfondimento della ricerca preliminare di mercato e dossier di controllo delle fonti, Fondazione PNS di partecipazione di diritto privato costituita il 21 maggio 2025 da Ministero della Sicurezza e Sicurezza Servizi, primo CdA il 14 luglio 2025 al CSSN, governance presieduta da Roberta Pinotti, 8 soci fondatori tra cui MIMIT, MUR, associazioni industriali di settore, CRUI, ConPER e AID. Confermato a fonte. (proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns; proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
4. Sintesi documentale del dominio subacqueo, progetto Arsenale 5.0 con investimento complessivo dell'ordine di un miliardo di euro nel Golfo della Spezia. (mar_67469700d119)
5. Dossier di controllo delle fonti e approfondimento della ricerca preliminare di mercato, finanziamento seed PNS di 2 milioni di euro l'anno dalla Legge di Bilancio 2023 (L. 197/2022) più 1 milione dalla Legge di Bilancio 2024, investimento effettivo dell'ordine di 3 milioni. Confermato a fonte. (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni; proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns)
6. Dossier di controllo delle fonti, la cifra di circa 50 milioni di euro l'anno per il PNS è il fabbisogno stimato dall'associazioni industriali di settore e riportato dalla stampa specializzata RID, equivalente a circa 500 milioni su un decennio, e non una dotazione stanziata. (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
7. Sintesi documentale del dominio subacqueo, 8 bandi di ricerca pubblicati e assegnati tra fine 2023 e 2024 con quattro aggiuntivi in definizione, strumenti cofinanziati intorno al 50 per cento con l'industria, e studio Sciamano Drone Carrier. (mar_f9a70555d258)
8. Sintesi documentale del dominio subacqueo e stampa locale, bando Underwater Liguria da circa 7,5 milioni di euro con contributi a fondo perduto fino a 800.000 euro per progetto, presentato a La Spezia nel luglio 2026. Confidenza media, da confermare su documenti primari. (mar_4d5133a5f984; proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
9. Dossier di controllo delle fonti e approfondimento della ricerca preliminare di mercato, mercato dei veicoli subacquei autonomi stimato in circa 3,12 miliardi di dollari nel 2023 con proiezione a 12,46 miliardi entro il 2032 e CAGR del 16,64 per cento secondo SNS Insider, indicato come fascia alta con base reale plausibile tra 1,2 e 3 miliardi. Stima direzionale. (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni; proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns)
10. Approfondimento della ricerca preliminare di mercato e dossier di controllo delle fonti, oltre 1,4 milioni di km di cavi sottomarini in servizio (verificato a fonte primaria TeleGeography), condotte offshore dell'ordine delle centinaia di migliaia di km (la cifra di 1,2 milioni di km è sovrastimata di circa un ordine di grandezza), 43 Paesi con mezzi subacquei e 505 mezzi subacquei all'inizio del 2023. (proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns; proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
11. Approfondimento della ricerca preliminare di mercato, driver geopolitici del dominio con il sabotaggio di Nord Stream nel Baltico e i danni ai cavi nel Mare di Barents, operazione NATO Baltic Sentry avviata nel gennaio 2025 e analisi di policy EPC secondo cui il contrasto richiede investimenti NATO in droni e sensori. (proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns)
12. Approfondimento della ricerca preliminare di mercato, clienti paganti per la protezione dei cavi e delle condotte energetiche tra cui Terna con Adriatic Link dell'ordine di 630 milioni di euro e posa Prysmian, Sparkle con il cavo GreenMed, operatori energia e offshore, NATO e UE. Lead da verificare. (proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns)
13. Approfondimento della ricerca preliminare di mercato, fisica dei link subacquei con ottico wireless 50-100 m, radiofrequenza circa 10 m e acustico a lungo raggio ma ad alta latenza, e architettura confermata di UAV usati come relay verso reti 5G per il monitoraggio del fondale in tempo reale. (proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns)

14. Approfondimento della ricerca preliminare di mercato e dossier di controllo delle fonti, benchmark competitivo con Leonardo AWHero circa 200 kg che vende relay e rilancio sonoboe per ASW, LeVanta HALIA anfibio float-and-fly finanziato SBIR USA con oltre 30 giorni in superficie e payload modulari fino a oltre una tonnellata, TEKEVER AR3 EVO circa 25 kg fuori dai limiti dimensionali di classe con 22 h ala fissa e 14 h VTOL solo ISR di superficie. (proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns; proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
15. Sintesi documentale del dominio subacqueo, capacità ASW dei droni con MQ-9B SeaGuardian e primo lancio di sonoboe da velivolo senza equipaggio, MQ-8C Fire Scout con 40 sonoboe a 100 miglia dalla nave, Camcopter S-100 con swath da 20 nm e copertura di oltre 13.360 nm² in 12 ore, UUV con sonar attivo e portate stimate tra 10 e 1000 km. (tec_43ce6d7d310a; tec_fb8c3cbbfd50)
16. Sintesi documentale del dominio subacqueo, studio Sciamano Drone Carrier per l'integrazione di sciami di droni subacquei, di superficie e aerei sulle navi. (mar_f9a70555d258)
17. Sintesi documentale del dominio subacqueo, Leonardo Piaggio P.1HH HammerHead, MALE derivato dal P.180 Avanti II con 16 ore di autonomia e tangenza di 45.000 piedi. (mar_92e2afc2e8a9)

2.12 Il panorama competitivo

Chiarito che il progetto non vende un velivolo ma un servizio, e che lo spazio economico difendibile sta nelle nicchie a domanda pubblica e non nel lavoro standardizzato di volo, resta la domanda che decide la fattibilità commerciale del progetto, ovvero se in quello spazio ci sia posto per un nuovo entrante o se sia già occupato da concorrenti più grandi e più maturi. La risposta richiede di guardare in faccia il campo, azienda per azienda, perché il valore di questa sezione non è compilare un catalogo ma capire dove i concorrenti si addensano e dove invece lasciano un varco. Il quadro che emerge dalla ricerca è quello di un mercato affollato ma nettamente stratificato, in cui i sistemi che davvero contano si dispongono su tre fasce quasi non comunicanti fra loro, e in cui la combinazione precisa di caratteristiche che Firmamento intende presidiare non risulta occupata da nessuno. Le cifre che seguono distinguono sempre il dato tecnico verificato dalla stima direzionale, e trattano i grandi sistemi esteri non come concorrenti diretti ma come soffitto di prestazione e di prezzo, cioè come il metro con cui misurare quanto la classe compatta possa avvicinarsi alle loro prestazioni a una frazione del loro costo.

La fascia tattica e istituzionale a lunga persistenza, quella che vince i contratti

La prima fascia è quella dei sistemi ad ala fissa con decollo verticale o assistito, autonomia superiore alle 20 ore e peso al decollo compreso tra i 25 e i 45 chili. È la fascia che vince le gare pubbliche di sorveglianza e che il mercato premia, ed è quindi il benchmark tecnico con cui il progetto deve confrontarsi. Il sistema simbolo è l'Aerovel Flexrotor, un tail-sitter a decollo verticale con peso al decollo intorno ai 25 chili, acquisito da Airbus Helicopters nel 2024 e portato dentro la divisione elicotteri del gruppo [1][2]. Aerovel dichiara per il Flexrotor un record di autonomia superiore alle 32 ore per un sistema di Gruppo 2, ma vale la pena distinguere il record promozionale dal dato operativo, perché nella configurazione con cui Airbus lo eroga all'agenzia europea per la sicurezza marittima l'autonomia scende a 12 o 14 ore tipiche, contrattualizzate a dieci, e il velivolo decolla e recupera in modo autonomo da un'area di appena 3 metri e settanta per lato, anche da nave [2][3]. Il punto che conta per il posizionamento di Firmamento è un altro, ovvero che il Flexrotor, pur stando nella

fascia di peso dei 25 chili, non è un velivolo entro i limiti delle classi civili europee, perché la sua apertura eccede i 3 metri e non porta alcuna marcatura di classe [27]. Questo separa nettamente il benchmark di prestazione dall'obiettivo normativo del progetto.

Accanto ad Airbus il concorrente europeo più aggressivo è la portoghese TEKEVER, azienda da 1.200 dipendenti con filiali in Regno Unito, Stati Uniti, Estonia e Danimarca, che ha costruito una gamma istituzionale interamente attorno alla sorveglianza marittima istituzionale [4][5]. Il suo AR3 EVO è un ibrido ala fissa e decollo verticale nella fascia dei 23 o 25 chilogrammi, con circa 6 chili di carico utile, 22 ore di autonomia in configurazione ala fissa che scendono a quattordici in modalità verticale, 100 chilometri di collegamento in vista più il satellitare oltre l'orizzonte, e lancio e recupero in 5 metri per lato anche da piccole imbarcazioni [6]. L'AR5 è invece un tattico ad ala fissa di taglia MALE leggera, con carico elettro-ottico e infrarosso, radar e identificazione automatica del naviglio, 12 ore di autonomia estendibili a venti e comunicazione satellitare, ed è il sistema con cui TEKEVER si è aggiudicata nel novembre 2025 un contratto di servizio con l'agenzia marittima europea dell'ordine dei 30 milioni di euro per due sistemi su un orizzonte di 2 anni più due [28]. La forza di TEKEVER si misura dai contratti, dal triennale con l'Home Office britannico fino a un miliardo di sterline siglato nel 2019 alle forniture alle marine francese, brasiliana, nigeriana e portoghese, fino all'impiego dell'AR3 da parte della Royal Air Force con la designazione StormShroud e alle consegne all'Ucraina [4]. L'azienda sta inoltre spingendo verso l'alto con l'AR6 per il sollevamento di carichi pesanti, in produzione entro fine 2026, e verso l'autonomia collaborativa con il progetto NYX di gregario robotico per elicotteri Apache, sostenuto dal programma OVERMATCH da 400 milioni di sterline [5]. Anche l'AR3 EVO, come il Flexrotor, sta nella fascia di peso giusta ma eccede i 3 metri, e soprattutto fa sorveglianza marittima di superficie senza presidiare alcun ruolo di ponte verso il dominio subacqueo [6].

Il terzo pilastro di questa fascia è statunitense e più anziano. Il Boeing Insitu ScanEagle, in servizio dal 2002, ha un'apertura alare di 3 metri e undici, un peso al decollo di 26 chili e mezzo, 5 chili di carico utile e oltre 20 ore di autonomia, con un record di 22 ore e 8 minuti, ma non è un VTOL, perché viene lanciato con una catapulta pneumatica e recuperato con il sistema a gancio Skyhook [7]. È il sistema che ha accumulato oltre 500.000 ore di volo in combattimento e che nel 2013 ha ottenuto la certificazione FAA per l'uso commerciale, e il suo dato di costo è prezioso come ancoraggio storico, perché un sistema completo da 4 velivoli costava 3 milioni e due di dollari già nel 2006, ovvero circa 800.000 dollari a velivolo [7]. Nella stessa fascia si colloca l'Edge Autonomy Penguin C, ex UAV Factory oggi parte di Redwire, un velivolo nettamente più grande, con 5 metri e mezzo di apertura, 45 chili al decollo, fino a 20 ore di autonomia con motore a benzina, 10 chili di carico utile e quota operativa fino a 5.000 metri, quindi adatto proprio ad ambienti montani e aree interne [8]. Redwire ha ricevuto per la linea Stalker un ordine da 21 milioni e mezzo di dollari, segno che anche i sistemi di questa fascia si muovono su commesse istituzionali consistenti [9]. Chiude il quadro l'americana AeroVironment con il JUMP 20, un VTOL pensato per operare da aree ristrette e non preparate azzerando la necessità di piste e riducendo l'impronta logistica [10]. Le specifiche quantitative del JUMP 20 non sono documentate dalle fonti disponibili e non vanno inventate, ma va registrato che dietro quel prodotto c'è un gruppo industriale da 820 milioni di dollari di fatturato che nel 2025 ha acquisito BlueHalo per 4 miliardi e uno, cioè un concorrente di scala industriale del tutto diversa da un nuovo entrante cooperativo [11]. La tabella che segue riassume la fascia, con l'avvertenza che le autonomie sono quelle dichiarate dai costruttori e vanno lette come valori di punta.

Sistema e azienda	Peso al decollo	Propulsione	Autonomia	Carico utile	Lancio e recupero	Stato e mercato
Aerovel Flexrotor, Airbus	circa 25 kg, fuori classe	pistone a benzina o heavy-fuel	12-14 h operative, oltre 32 h record	circa 8 kg	VTOL tail-sitter, 3,7 m per lato	contratto EMSA circa 30 mln EUR
TEKEVER AR3 EVO, Portogallo	23-25 kg, fuori classe	ibrido VTOL e ala fissa	22 h ala fissa, 14 h VTOL	circa 6 kg	VTOL o catapulta, 5 m per lato	RAF StormShroud, marine, Ucraina
TEKEVER AR5, Portogallo	tattico MALE leggero	motore a combustione	12 h, fino a 20 h	EO/IR, radar, AIS	catapulta, satellitare	vincitore EMSA nov 2025, circa 30 mln EUR
Boeing Insitu ScanEagle, USA	26,5 kg, apertura 3,11 m	pistone, heavy-fuel su ScanEagle 2	oltre 20 h, record 22 h 08	5 kg	catapulta SuperWedge e Skyhook	sistema 4 velivoli 3,2 mln USD nel 2006
Edge Autonomy Penguin C, USA e Lettonia	45 kg, apertura 5,5 m	benzina	fino a 20 h	fino a 10 kg	catapulta	ordine Stalker 21,5 mln USD
AeroVironment JUMP 20, USA	Gruppo 3	benzina	n.d.	n.d.	VTOL da aree non preparate	gruppo da 820,6 mln USD di fatturato

I VTOL compatti commerciali, sotto i 3 metri ma a corto raggio

La seconda fascia sta sull'estremo opposto e raccoglie i VTOL ad ala fissa compatti del mondo civile, quelli davvero sotto i 3 metri e sotto i 6 chili, che però pagano la compattezza con un'autonomia misurata in minuti e non in ore. È la fascia del rilievo e della mappatura, ed è affollata da prodotti maturi e commercialmente diffusi. Il caso più vicino al concetto di Firmamento è il tedesco Quantum-Systems Trinity Pro, l'unico di questo gruppo a essere davvero ibrido e sotto i 3 metri, con 2 metri e trentanove di apertura e 5 chili e settantacinque al decollo, ma con appena 90 minuti di autonomia, una copertura di 700 ettari o 100 chilometri di corridoi per missione, sensori intercambiabili a sgancio rapido tra ottico, multispettrale e LiDAR, e oltre 75.000 ore di volo accumulate dalla piattaforma dal 2018 [12]. Lo svizzero WingtraOne di seconda generazione, con la variante WingtraRAY, è un VTOL elettrico da rilievo che copre 310 ettari per volo con accuratezza orizzontale fino a un centimetro in post-processamento cinematico, e sale a 550 ettari nella versione più recente, ma resta sotto l'ora di volo [13][15]. Lo sloveno C-Astral propone una gamma che va dall'eVTOL compatto SQA con 40 chilometri di portata al Bramor C4EYE con 3 ore di autonomia, fino all'ATLAS sotto i 3 chili con un'ora e mezza di volo, tutti pensati per sorveglianza tattica ravvicinata, agricoltura di precisione e topografia sub-centimetrica [14]. Completano il quadro prodotti come l'Autel Dragonfish Pro con centottanta minuti di volo e 30 chilometri di raggio, il FIXAR 007 con 60 minuti e 60 chilometri, e il Voliro T progettato per l'ispezione industriale a contatto con appena 10 o 14 minuti di volo [15]. La lettura strategica di questa fascia è netta. Questi sistemi rispettano la classe compatta e la vocazione civile, ma non offrono né la lunga persistenza né il collegamento oltre l'orizzonte né il profilo istituzionale, e vivono in un mercato del rilievo dove il prezzo è la leva competitiva dominante. Sono cioè vicini a Firmamento sull'asse della taglia e lontanissimi sull'asse dell'autonomia e della missione.

Sistema e paese	Peso e apertura	Propulsione	Autonomia	Copertura o raggio	Impiego prevalente
Quantum Trinity Pro, Germania	5,75 kg, 2,39 m	ibrido VTOL ala fissa	90 min	700 ha o 100 km	mappatura civile e istituzionale
WingtraOne GEN II e WingtraRAY, Svizzera	compatto	elettrico VTOL ala fissa	45-59 min	310-550 ha	rilievo topografico a 1 cm
C-Astral SQA e Bramor, Slovenia	da meno di 3 kg	elettrico	1,5-3 h	40 km in vista	ISR compatto, agricoltura, topografia
Autel Dragonfish Pro, Cina	compatto	elettrico VTOL	180 min	30 km	mappatura e sorveglianza
FIXAR 007	compatto	elettrico	60 min	60 km	mappatura
Voliro T	compatto	elettrico	10-14 min	300 m	ispezione industriale a contatto

I grandi MALE come soffitto di prestazione e di prezzo

La terza fascia non è concorrenza diretta perché appartiene a un altro universo di peso, di missione e soprattutto di prezzo, ma va tenuta in quadro perché fissa il soffitto delle prestazioni e definisce l'ombrello di costo sotto cui il progetto si infila. Sono i velivoli a media altitudine e lunga autonomia, i MALE, che operano tra i 3.000 e i 9.000 metri con autonomie di 24 o 48 ore e pesi che vanno dalle centinaia di chili alle molte tonnellate [20][22]. Il riferimento italiano è il Leonardo Falco Xplorer, primo MALE interamente europeo e privo di componenti soggette a ITAR, con 1.300 chili al decollo, 24 ore di autonomia, 350 chili di sensori e quota fino a 30.000 piedi, offerto anche come servizio gestito direttamente da Leonardo [16][20]. Sul dominio marittimo il metro è l'americano GA-ASI MQ-9B SeaGuardian, con 5.670 chili al decollo, oltre 30 ore di autonomia, 24 metri di apertura, sensori marittimi modulari installabili e disinstallabili e kit per la sorveglianza del fondale [17]. Alle sue spalle stanno il MQ-9 Reaper, con 14 ore a 50.000 piedi, 3.000 libbre di carico e oltre 980.000 ore di volo cumulate su una flotta prevista di 350 velivoli, e il tedesco Aerodata AeroForce X, un MALE senza componenti ITAR da 40 ore di autonomia e una tonnellata e tre di carico, ai voli di prova nel 2026 e orientato alla protezione delle infrastrutture critiche [18][21]. La tabella comparativa dei MALE internazionali censisce nomi come l'israeliano IAI Heron con 52 ore, il turco Aksungur con sessanta, l'Eurodrone europeo con 11.000 chili al decollo e il Bayraktar TB2 con 27 ore e 700 chili, a testimoniare quanto densa e matura sia questa fascia alta [20].

Il valore di questo confronto sta nel prezzo. I grandi MALE vivono su costi che il progetto può battere di un ordine di grandezza, e questa è precisamente la leva di un servizio a basso costo in classe compatta. Il costo unitario del Global Hawk, capostipite dell'alta quota, è passato da un obiettivo di 10 milioni a una stima di 15 milioni e tre di dollari per velivolo, a conferma di quanto siano soggetti a sforamenti i programmi di quella taglia [25]. Ancora più eloquente è il costo orario di volo, perché un audit sui grandi UAV della dogana statunitense ha rivelato un costo reale di 12.255 dollari per ora contro i duemilaquattrocentosessantotto stimati dall'agenzia, e il tattico RQ-21A mostra un costo per ora di volo di 18.223 dollari, il triplo di un aereo con equipaggio come l'MC-12W fermo a 6.079 [22][23]. All'estremo opposto, uno studio su impieghi di soccorso stima per un VTOL compatto un costo giornaliero di appena 1.887 dollari, il 74 per cento in meno rispetto a un mezzo con equipaggio [24]. È in questa forbice enorme che si gioca la proposta di valore di Firmamento, perché offrire a un cliente

pubblico una persistenza di classe tattica al costo operativo di un piccolo VTOL significa erodere dal basso il mercato dei grandi sistemi. Gli stessi contratti di servizio dell'agenzia marittima europea, dell'ordine dei 30 milioni di euro per commessa quadro, dimostrano che la domanda pubblica paga per il dato e non per il velivolo, e che il modello dato-come-servizio è già la norma anche in cima alla piramide [3][28]. Vale infine come contesto che il mercato globale dei soli carichi utili per UAV è stimato oltre i 45 miliardi di dollari, cifra da trattare come ordine di grandezza e non come mercato aggredibile, ma indicativa di dove si concentri il valore, cioè nel sensore e nell'informazione più che nella cellula [22].

Sistema e paese	Peso al decollo	Autonomia	Carico utile	Quota	Note di mercato
Leonardo Falco Xplorer, Italia	1.300 kg	24 h	350 kg	30.000 ft	primo MALE full-European, servizio gestito
Leonardo AWHero, Italia	circa 200 kg	6 h	20-40 kg	media	relay comms e sonobuoy per ASW
GA-ASI MQ-9B SeaGuardian, USA	5.670 kg	oltre 30 h	363 kg interni, 2.155 esterni	oltre 40.000 ft	sensori marittimi modulari, ASW
GA-ASI MQ-9 Reaper, USA	diverse tonnellate	14 h	3.000 lb	50.000 ft	350 previsti, oltre 980.000 ore volo
Aerodata AeroForce X, Germania	meno di 5 t	40 h	1,3 t	media	senza ITAR, voli di prova 2026
IAI Heron, Israele	tattico-strategico	52 h	multiplo	33.000 ft	benchmark di autonomia MALE
Bayraktar TB2, Turchia	700 kg	27 h	circa 150 kg	25.000 ft	MALE economico molto diffuso

Il campo italiano, giovane ma ancora elettrico e a corto raggio

Prima di individuare il varco conviene guardare da vicino il campo nazionale, perché è lì che si misura davvero la contendibilità della nicchia. La correzione più importante che la ricerca impone a una tesi ingenua è che non è vero che in Italia non esista nulla di simile, anzi il mercato dei VTOL ad ala fissa sotto i 25 chili esiste ed è giovane, ma è quasi interamente elettrico e a corto raggio [26]. Il concorrente da battere più diretto è l'Overspace Dragonfly DS-1, un ala fissa a decollo verticale da 25 chili già autorizzato da ENAC e già in volo, che però è 100 per cento elettrico e non supera le 2 ore di autonomia [26]. È la prova che il fattore di forma è validato in Italia, e chiarisce che il varco non è la configurazione ma l'energia, perché il passaggio dall'elettrico all'ibrido a generatore vale un salto di un ordine di grandezza nell'autonomia. Nella stessa area giocano prodotti come il Songbird di Horus Technologies, sotto i 15 chili, elettrico, circa 2 ore di volo, orientato alla sorveglianza e alla committenza di sicurezza e già titolare di un'autorizzazione ENAC per il volo oltre la linea di vista, e le soluzioni di Nimbus a Torino, elettriche con un ibrido in sviluppo, applicate alla sanità in modalità oltre l'orizzonte [26][29]. Che l'ibrido VTOL italiano sia tecnicamente fattibile lo dimostra Sky Eye Systems di Pisa, il cui Rapier X-VTOL è un ibrido reale, con decollo verticale elettrico e crociera a JP5, da 5 a 11 ore di autonomia, ma pesa una cinquantina di chili ed è un sistema istituzionale già in servizio, quindi sopra la classe compatta, mentre il Rapier X-25 resta sotto i 25 chili ma a sola combustione a benzina, con 16 ore di autonomia e una commessa dell'Esercito da 9 milioni di euro nel 2022 [26]. Sopra tutti sta Leonardo con la

famiglia Falco EVO e AWHero, tra i 200 e i 650 chili, a benzina o heavy-fuel, saldamente in una fascia di prestazione ben oltre la classe compatta [26][27]. Il contesto motoristico rafforza la lettura, perché i propulsori della fascia ibrida commerciale sono tutti esteri, e un'opzione realmente sovrana richiederebbe di adattare a generatore i piccoli motori aeronautici italiani oggi disponibili solo in versione non ibrida [26].

Attore e sede	Prodotto	Classe	Propulsione	Autonomia	Stato
Sky Eye Systems, Pisa	Rapier X-VTOL	circa 50 kg	ibrido, VTOL elettrico e JP5	5-11 h	in servizio con la Marina, sopra la classe compatta
Sky Eye Systems, Pisa	Rapier X-25	meno di 25 kg	combustione a benzina	circa 16 h	commessa Esercito 9 mln EUR nel 2022
Overspace	Dragonfly DS-1	25 kg	elettrico	fino a 2 h	ala fissa VTOL, ENAC, già in volo
Horus Technologies	Songbird	meno di 15 kg	elettrico	circa 2 h	ISR e istituzionale, autorizzazione BVLOS ENAC
Nimbus, Torino	VTOL a lungo raggio	mini e tattico	elettrico, ibrido in sviluppo	in sviluppo	sanità in modalità oltre l'orizzonte
Leonardo	Falco EVO e AWHero	200-650 kg	benzina e heavy-fuel	oltre 20 h e multi-ora	istituzionale, ben sopra la classe compatta
Firmamento, proposta	piattaforma compatta ibrida	meno di 25 kg	ibrido a generatore	obiettivo 24 h	ala fissa e VTOL modulare, civile e istituzionale

Il varco lasciato libero

Messe in fila le tre fasce e il campo italiano, il varco competitivo si legge con precisione, ed è la combinazione di quattro caratteristiche che nessun concorrente presidia insieme. La prima è la classe compatta reale, cioè il rispetto simultaneo dei due limiti che il quadro europeo impone, meno di 25 chili e meno di 3 metri, laddove i sistemi che vincono i contratti, dal Flexrotor all'AR3 EVO allo ScanEagle, stanno sì nella fascia di peso dei 25 chili ma sforano l'apertura o sono sistemi di classe superiore non marcati [27]. La seconda è la propulsione ibrida a generatore, che i VTOL compatti commerciali non hanno perché sono elettrici o a corto raggio, e che il Trinity Pro, l'unico ibrido davvero sotto i 3 metri, declina solo verso i 90 minuti di volo [12]. La terza è la lunga persistenza, che i mappatori civili non offrono e che si compra proprio con il powertrain ibrido, dato che le architetture a sola batteria si fermano realisticamente a poche ore con carico utile, come confermano i benchmark elettrici della fascia [30]. La quarta è la vocazione civile e istituzionale venduta come servizio con payload modulari, che gli operatori istituzionali trattano come subordinata e quelli commerciali non esprimono affatto. L'incrocio di questi quattro assi, cioè classe compatta per ibrido per lunga persistenza per profilo civile e istituzionale modulare, individua un quadrante che nel materiale documentale raccolto risulta non occupato da alcun prodotto in servizio [26].

A questo varco principale se ne aggiunge uno adiacente e altrettanto scoperto, quello del ponte aereo leggero verso il dominio subacqueo. Il paradigma dell'aereo come nodo di rilancio e da collegamento nella catena di rilevamento sottomarino è reale e già praticato, ma dagli operatori pesanti, perché è proprio il Leonardo AWHero a vendere esplicitamente funzioni di relay di comunicazione e di rilancio dati da sensori acustici per la sorveglianza del fondale,

però in una classe da 200 chili, un ordine di grandezza sopra la classe compatta [6][27]. Il benchmark più vicino alla classe di Firmamento, l'AR3 EVO, fa ISR marittimo di superficie e non menziona alcun ruolo di collegamento per mezzi subacquei autonomi o di sorveglianza dei cavi, il che lascia libero lo spazio del gateway leggero che i pesanti non coprono [6]. È un varco a domanda pagante ancorata al Polo Nazionale della Dimensione Subacquea di La Spezia e ai programmi europei di ricerca, e coerente con una piattaforma aerea modulare che si posiziona come nodo multidominio e non come sostituto del mezzo subacqueo [27]. Va infine tenuta ferma una distinzione che le fonti ripetono e che orienta la strategia, ovvero che il vero discrimine competitivo non è la classe di peso ma la certificazione, perché molti velivoli compatti esistono ma pochi volano oltre la linea di vista con autorizzazioni solide, e la capacità di operare in BVLOS certificato vale più della targa di peso [26]. Overspace resta perciò il benchmark diretto da battere sul piano del fattore di forma, con lo scarto tutto giocato sull'energia, mentre Sky Eye dimostra che l'ibrido VTOL italiano è fattibile ma occupa la fascia dei 50 chili, lasciando scoperta quella sottostante.

L'affidabilità operativa come discrimine economico

Un confronto competitivo che si fermi alle prestazioni dichiarate lascia fuori la variabile che più incide sul costo del servizio, cioè quante ore un sistema riesce davvero a volare fra un guasto e l'altro. I riferimenti quantitativi disponibili vengono dai programmi pubblici, che sono gli unici a pubblicare serie storiche di impiego: l'MQ-1C Gray Eagle ha superato le 175.000 ore di volo con una disponibilità operativa oltre il 90 per cento su 131 velivoli consegnati dei 167 previsti [19], mentre sul fronte opposto i 96 guasti al gruppo di avviamento del Reaper, con 13 velivoli perduti, mostrano quanto un singolo sottosistema immaturo possa erodere l'economia di un programma [18]. Sono sistemi di tutt'altra classe e le cifre non si trasferiscono, ma il messaggio metodologico sì, e riguarda direttamente la scelta di architettura del progetto: in un impiego civile continuativo la disponibilità operativa vale quanto la persistenza dichiarata, perché un velivolo che vola 20 ore ma resta a terra per manutenzione metà dell'anno produce meno ore utili di uno meno prestante e più affidabile, e il costo orario segue la produzione di ore, non la scheda tecnica. È la ragione per cui la riparabilità di progetto e la semplicità del gruppo propulsivo, discusse nei capitoli tecnici, sono qui trattate come parametri competitivi e non come dettagli ingegneristici.

Implicazioni per il progetto

La mappa del campo consegna al progetto tre indicazioni operative. La prima è che competere frontalmente con gli incumbent della fascia tattica sarebbe un errore, perché Airbus, TEKEVER e i grandi gruppi americani sono meglio finanziati, già dentro i contratti quadro e sostenuti da scala industriale, sicché lo spazio per un nuovo entrante non è la sfida diretta ma il ruolo di fornitore di servizio di nicchia radicato sul territorio, eventualmente come operatore o subappaltatore di piattaforme dentro consorzi [27][28]. La seconda è che la differenziazione difendibile non consiste nel fare meglio l'ala fissa, mestiere ormai maturo, bensì nel presidiare per primi il quadrante ibrido compatto civile e istituzionale a lunga persistenza e, in parallelo, nel costruire il ponte leggero verso il subacqueo che gli operatori pesanti trascurano, due terreni su cui il vantaggio non è incrementale ma di posizione. La terza è che la leva economica è reale e misurabile, perché il divario tra il costo orario dei grandi sistemi e l'economia di un piccolo VTOL è tale da rendere credibile una proposta che offra persistenza di classe tattica al costo di un compatto, e questo argomento di prezzo è tanto più forte quanto più il cliente è pubblico e paga per il dato. Se ne ricava che la comunicazione competitiva del

progetto dovrebbe rivendicare senza reticenze la formula della prima piattaforma ibrida long-endurance compatta civile e istituzionale di matrice italiana, citando Sky Eye come prova di fattibilità e Overspace e gli altri elettrici come prova che il mercato nazionale è nascente ma ancora fermo alle 2 ore, cioè che il fattore di forma è validato e il varco è l'energia.

Note e riferimenti

1. Sintesi documentale del dominio tec-competitor Sintesi del panorama UAV a lunga autonomia e capacità VTOL, attori e contratti, con benchmark di autonomia e payload. Pagina compilata e citata ().
2. Wikipedia, Aerovel Flexrotor, specifiche e prestazioni. VTOL tail-sitter di Gruppo 2, oltre 32 ore di autonomia record, 100 km di collegamento, area di lancio 20 per 20 piedi, acquisito da Airbus Helicopters nel 2024. Fonte web tier 2 (tec_5576d7b9d41e).
3. Testata specializzata di settore, EMSA seleziona Airbus Flexrotor per la sorveglianza marittima. Contratto da 30 milioni di euro, Flexrotor a 25 kg di peso al decollo, 12-14 ore tipiche e 10 contrattuali, lancio e recupero in 3,7 m per lato, avvio 2026, quadro 2 anni più 2. Fonte web tier 2 (mar_82d5a1c21977).
4. Wikipedia, TEKEVER e gamma AR. Azienda portoghese da 1.200 dipendenti, gamma AR3 VTOL, AR4 mini, AR5 SATCOM, ARX, contratto Home Office UK fino a 1 miliardo di sterline, operatori in oltre 10 paesi, AR3 come StormShroud della RAF. Fonte web tier 2 (tec_d6f272de74d4).
5. Sito ufficiale TEKEVER, prodotti AR3 EVO e AR5, sviluppi AR6 heavy lift e NYX loyal wingman. Produzione AR6 entro fine 2026, programma OVERMATCH da 400 milioni di sterline, MoU per telecamere 10K, programma DESIR per antenne SAR. Fonte web tier 2 (tec_3b07f1c2276f).
6. Studio di Fattibilità, ricerca preliminare di mercato, approfondimento subacquea e PNS. Specifiche AR3 EVO (23-25 kg, 6 kg payload, 22 h ala fissa e 14 h VTOL, 100 km più BLOS, 5 m per lato), AWHero da 200 kg con relay e sonoboe per ASW, varco del gateway aereo leggero verso il subacqueo non presidiato. Documento di progetto (proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns).
7. Wikipedia, Boeing Insitu ScanEagle, specifiche, autonomia e payload. Apertura 3,11 m, peso 26,5 kg, payload 5 kg, oltre 20 ore con record 22 h 08, catapulta SuperWedge e recupero Skyhook, sistema di 4 velivoli a 3,2 milioni di dollari nel 2006, certificazione FAA commerciale 2013. Fonte web tier 2 (tec_d2138300e81c).
8. Edge Autonomy, Penguin C, specifiche del sistema a lunga autonomia. Apertura 5,5 m, lunghezza 2,8 m, peso 45 kg, fino a 20 ore, motore a benzina, payload fino a 10 kg, quota fino a 5.000 m. Fonte web tier 2 (tec_28e653c4fdfe).
9. Sito Edge Autonomy e Redwire, ex UAV Factory. Ordine da 21,5 milioni di dollari dal PAE RAS per sistemi di navigazione della linea Stalker UAS. Fonte web tier 2 (tec_06d6b45bba65).
10. AeroVironment, pagina prodotto del JUMP 20 VTOL. Decollo e atterraggio verticali da aree ristrette e non preparate, riduzione dell'impronta logistica, vocazione civile e istituzionale, senza specifiche quantitative nel testo. Fonte web tier 2 (tec_35a1fc5b0c22).
11. Wikipedia, AeroVironment, portafoglio UAS. Fatturato FY2025 di 820,6 milioni di dollari, acquisizione di BlueHalo nel 2025 per 4,1 miliardi, 3.750 dipendenti, gamma da Raven e Puma a HALE solari e VTOL ibridi. Fonte web tier 2 (tec_03a2a3bc38be).
12. Quantum-Systems Trinity Pro, specifiche del VTOL ibrido ad ala fissa. Peso 5,75 kg, apertura 2,39 m, 90 minuti di autonomia, 700 ettari o 100 km per missione, sensori intercam-

biabili a sgancio rapido, oltre 75.000 ore di volo di piattaforma dal 2018. Fonte web tier 2 (tec_3d6168dc1d6e).

13. WingtraOne GEN II, scheda tecnica del VTOL ad ala fissa. Copertura 310 ettari per volo, accuratezza orizzontale fino a 1 cm in PPK senza punti di controllo, sensori RGB, multispettrali e LiDAR. Fonte web tier 2 (tec_b1d46ef86dd4).
14. Sito ufficiale C-Astral Aerospace, gamma Bramor e SQA eVTOL. SQA con 40 km di portata, Bramor C4EYE con 3 ore e 40 km, ATLAS AS90X sotto i 3 kg con 1,5 ore, Bramor ppX sub-centimetrico, materiali aerospaziali e ala mista. Fonte web tier 2 (tec_4a1f868cf178).
15. UAV Coach, guida ai droni VTOL commerciali con modelli e fasce di prezzo. WingtraRAY fino a 550 ettari, Autel Dragonfish Pro 180 minuti e 30 km, FIXAR 007 60 minuti e 60 km, Voliro T 10-14 minuti per ispezione industriale. Fonte web tier 2 (tec_474a96cf7ab3).
16. Leonardo, prima campagna di volo del Falco Xplorer, MALE full-European. Carico utile fino a 350 kg, sensori LEOSS, Gabbiano TS-80, AIS e SAGE, certificazione STANAG 4671 in corso, esportabile senza ITAR e conforme MTCR classe II, disponibile anche come servizio gestito. Fonte web tier 2 (mar_58cddf3b0c48).
17. GA-ASI MQ-9B SeaGuardian, datasheet del MALE marittimo. Oltre 30 ore di autonomia, peso 5.670 kg, apertura 24 m, payload 363 kg interni e 2.155 esterni, quota oltre 40.000 piedi, sensori bolt-on e kit ASW, certificabile STANAG 4671. Fonte web tier 2 (mar_3c505c7c4f5a).
18. Selected Acquisition Report del MQ-9 Reaper. 14 ore a 50.000 piedi, 3.000 libbre di carico, 350 velivoli previsti e oltre 980.000 ore di volo, 96 guasti al gruppo avviamento con 13 velivoli persi. Fonte web tier 2 (tec_0c160a131622).
19. Selected Acquisition Report del MQ-1C Gray Eagle. 167 velivoli previsti, 131 consegnati, oltre 175.000 ore di volo con disponibilità operativa superiore al 90 per cento. Fonte web tier 2 (tec_52045d31a98f).
20. Wikipedia, Medium-altitude long-endurance UAV. Definizione dei MALE tra 3.000 e 9.000 m con 24-48 ore, tabella di 31 modelli e 15 paesi, IAI Heron 52 h, TAI Aksungur 60 h, Eurodrone 11.000 kg, Falco Xplorer 24 h e 1.300 kg, Bayraktar TB2 27 h e 700 kg, MQ-1 Predator 24 h. Fonte web tier 2 relevance 5 (tec_dd76698ae6fc).
21. SpaceWar, Aerodata presenta l'AeroForce X MALE per ISR a lunga autonomia. Fino a 40 ore, peso massimo sotto le 5 tonnellate, carico utile fino a 1,3 tonnellate, senza componenti ITAR, prodotto in Germania, voli di prova nel 2026. Fonte web tier 2 (tec_7ee57ee9e8b3).
22. Sintesi documentale del dominio tec-male Specifiche MALE, mercato globale dei payload UAV oltre 45 miliardi di dollari, costo per ora di volo dell'RQ-21A a 18.223 dollari contro 6.079 dell'MC-12W, budget RDT&E del Gray Eagle. Pagina compilata e citata (che cita, tec_a936b08992ea).
23. Sintesi documentale del dominio tec-fixedwing Costo reale per ora di volo dei grandi UAV della dogana statunitense a 12.255 dollari contro i 2.468 stimati, tendenze di procurement verso droni COTS a basso costo. Pagina compilata e citata (che cita, tec_425c48058ccd).
24. Sintesi documentale del dominio cost-vtol Costo giornaliero di un VTOL compatto per soccorso a 1.887 dollari, con riduzione del 74 per cento rispetto ai mezzi con equipaggio, e leva del 70 per cento del costo evitabile controllabile in fase concettuale. Pagina compilata e citata (che cita, tec_60fe71a81fff).
25. Sintesi documentale del dominio tec-hale Costo unitario del Global Hawk passato da un obiettivo di 10 milioni a una stima di 15,3 milioni di dollari, a esemplificazione degli sforamenti dei programmi di grande taglia. Pagina compilata e citata (che cita, tec_b1a18d2ab900).
26. Studio di Fattibilità, nota strategica sull'alternativa VTOL ibrida. Mappatura dei concorrenti italiani (Overspace Dragonfly DS-1 a 25 kg elettrico sotto le 2 ore, Sky Eye Rapier

X-VTOL ibrido a 50 kg e Rapier X-25 a combustione con 16 ore e commessa Esercito da 9 milioni, Nimbus, Horus Songbird), individuazione del quadrante libero della classe compatta per ibrido per long-endurance per civile e istituzionale, contesto motoristico estero. Documento di progetto (proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid).

27. Market Analysis Report consolidato della ricerca preliminare di mercato del progetto Validazione della fascia di peso dei 25 kg che vince i contratti e non dei limiti dimensionali di classe, distinzione tra benchmark fuori classe e obiettivo distintivo di Firmamento, ruolo dell'AWHero da 200 kg come incumbent pesante e varco del gateway leggero verso il subacqueo. Documento di progetto (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato).
28. Analisi preliminare di mercato del progetto Contratti EMSA di servizio dell'ordine dei 30 milioni di euro per Airbus Flexrotor e per TEKEVER AR5 nel modello dato-come-servizio, operatori consolidati del marittimo Airbus, TEKEVER e IAI. Analisi preliminare di mercato del progetto (proj_fase-a-analisi-di-mercato-deep-research).
29. Autorizzazione operativa ENAC per voli BVLOS di Horus Technologies. Conferma del profilo ISR e istituzionale del produttore italiano e della sua capacità di operare oltre la linea di vista con autorizzazione rilasciata. Fonte legale e regolatoria (leg_c7c86ca76955).
30. Sintesi documentale del dominio tec-vtol Vantaggio energetico del volo orizzontale sull'hovering e limiti delle architetture a sola batteria per la persistenza, con l'ibrido come via all'autonomia estesa in classe compatta. Pagina compilata e citata ().

2.13 La mappa dei finanziamenti attivabili

Per un prodotto venduto come servizio e comprato in larghissima parte da clienti pubblici, la mappa dei finanziamenti non è un capitolo accessorio dell'analisi di mercato ma ne è la spina dorsale, perché è dai programmi di spesa pubblica che discende la disponibilità a pagare che il progetto deve intercettare. Le sezioni precedenti hanno mostrato che il mercato italiano dei droni è piccolo, in decelerazione e trainato per la parte più solida dalla domanda istituzionale, e che quindi la partita competitiva non si gioca sul prezzo di listino ma sulla capacità di stare dentro gli appalti e dentro i canali di finanziamento. Questa sezione ricostruisce quei canali uno per uno, con importi, tempi e condizioni, distinguendo sempre il dato verificato dalla stima, e mostra come la doppia natura del prodotto, civile e istituzionale, apra budget di ordine di grandezza diverso e permetta di finanziare la stessa piattaforma modulare da più porte contemporaneamente. La logica di fondo è quella che l'analisi consolidata della ricerca preliminare di mercato chiama multi-ancora, ovvero l'idea che due agganci politico-istituzionali, entrambi radicati in Liguria, uno civile legato alle aree interne e uno istituzionale legato al polo subacqueo, finanzino e legittimino il primo velivolo, mentre il mercato ne sostiene poi la crescita [1]. Il punto di partenza concreto di questa architettura è già acquisito, perché lo Studio di Fattibilità stesso nasce da un contributo di 50.000 euro riconosciuto da Coopfond nell'ambito del programma Cooding II di Legacoop, che è la prova che il canale cooperativo di sistema ha già messo denaro sul progetto e ne è il primo sponsor finanziario [2].

L'ancora civile territoriale, dalla Strategia Nazionale per le Aree Interne ai bandi liguri

Il primo canale, il più coerente con l'identità del progetto, è quello della Strategia Nazionale per le Aree Interne. Le due delibere CIPESS del 2 agosto 2022 hanno stanziato per il ciclo corrente risorse verificate su fonte parlamentare primaria, ovvero 198,6 milioni di euro con la delibera 41, di cui 172 milioni destinati a 43 nuove aree interne nella misura di 4 milioni

ciascuna e 21,6 milioni ripartiti fra le 72 aree del ciclo precedente, più 11,4 milioni con la delibera 42 dedicata al progetto speciale Isole minori, per un totale congiunto di circa 210 milioni [3]. È importante leggere questa cifra per quello che è, cioè non denaro etichettato per i droni ma la cornice di spesa entro cui una Regione o un ente può finanziare un servizio di monitoraggio, di emergenza o di connettività, e la grandezza che conta operativamente non è il totale nazionale ma i 4 milioni per singola area, perché è quello l'ordine di grandezza che una singola vallata può mobilitare [3]. Che quella cifra sia sufficiente a pagare un servizio drone lo dimostra per analogia il modello adottato dalla Regione Calabria, che con 5 milioni di euro di fondi strutturali europei del Programma Regionale FESR FSE+ finanzia una rete di circa cinquanta stazioni-hub per il volo automatico di droni con sensori termici e analisi a bordo per l'allerta precoce degli incendi boschivi entro il 2027, che è esattamente la strategia ancora politica verso scala già realizzata da un'altra Regione e trasferibile alla Liguria [6].

La Liguria offre una versione territorialmente vicina e già dotata di questa cornice. Nel ciclo 2021-2027 le aree SNAI liguri sono otto, per un bacino ampio dell'entroterra, e a fine 2024 la Regione ha esteso a 58 nuovi comuni l'accesso ai bandi delle aree interne portando il totale a 108 comuni, con una dotazione complessiva dichiarata di oltre 50 milioni di euro fra fondi statali, nella misura ricorrente di 4 milioni per area destinati a sanità, scuola e trasporti, e bandi regionali a valere sul PR FESR 2021-2027, sul PR FSE 2021-2027 e sul complemento per lo sviluppo rurale CSR Liguria 2023-2027 [4][5]. Attorno a questi programmi opera FILSE, la finanziaria in-house della Regione, che gestisce gli strumenti attuativi e i bandi per l'innovazione, fra cui l'Azione 1.4.1 di supporto alle start up innovative, dotata di 300.000 euro con contributi a fondo perduto fino all'80 per cento dei costi e un massimale di 30.000 euro per domanda, oltre a linee per l'efficientamento energetico di imprese ed edifici pubblici da alcuni milioni ciascuna [7]. Sono importi modesti se presi singolarmente, e vanno visti come tasselli di avvio e di cofinanziamento più che come la fonte portante, ma la loro rilevanza sta nel fatto che agganciano il progetto al canale regionale ordinario e alla Smart Specialisation Strategy ligure, dentro la quale una piattaforma di monitoraggio per l'entroterra si colloca in modo naturale.

Strumento civile o territoriale	Importo	Condizione o unità	Natura del dato
SNAI, delibera CIPESS 41/2022	198,6 milioni di euro	172 milioni a 43 nuove aree, 4 milioni per area	verificato su fonte parlamentare
SNAI, delibera CIPESS 42/2022, Isole minori	11,4 milioni di euro	progetto speciale	verificato
Liguria, nuove aree interne	oltre 50 milioni di euro	4 milioni per area SNAI più bandi FESR, FSE, CSR	verificato
Modello Calabria antincendio	5 milioni di euro	circa 50 hub-drone entro il 2027, FESR FSE+	analogo trasferibile, alta confidenza
FILSE, Azione 1.4.1 start up	300.000 euro di dotazione	fino a 30.000 euro per domanda, 80 per cento	verificato
Coopfond, Cooding II	50.000 euro	contributo allo Studio di Fattibilità	verificato, già erogato

Il livello nazionale, il PNRR e i fondi settoriali

Salendo al livello nazionale, il programma di investimenti di gran lunga più capiente resta il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, con una dotazione complessiva di 194,4 miliardi di euro articolata su sette missioni allineate ai pilastri del Next Generation EU, fra cui la transizione verde e la trasformazione digitale che sono le due chiavi di accesso obbligate per

un progetto tecnologico [8]. Il PNRR non contiene un bando dedicato ai droni, e questo è un limite noto, ma contiene diverse linee entro cui un servizio con velivoli senza pilota può essere incardinato. La più pertinente all'ancora aree interne è quella del dissesto idrogeologico, a cui il Piano destina 2,49 miliardi di euro, di cui circa 1,15 miliardi già assegnati per la ricostruzione post-calamità, a cui si aggiunge il piano 2024 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica con circa 1,084 miliardi per la mitigazione del rischio idrogeologico [9][10]. Sono bacini enormi rispetto alla scala di un servizio drone, e il loro interesse per il progetto sta nel fatto che il monitoraggio del territorio e la sorveglianza dei versanti sono attività direttamente funzionali a quella spesa, purché si superi il collo di bottiglia noto della capacità delle amministrazioni locali di tradurre le risorse in progetti operativi, che le stesse fonti segnalano come criticità attuativa ricorrente [9].

All'interno di quel bacino la voce operativamente più vicina a un servizio di monitoraggio è il sub-investimento 2.1.b della componente 4 della missione 2, che fa capo al Dipartimento della Protezione Civile e dispone di 1,2 miliardi di euro per la gestione del rischio di alluvione e la riduzione del rischio idrogeologico, attuato attraverso accordi di collaborazione fra le Regioni e i Comuni come soggetti attuatori, mentre il sub-investimento 2.1.a è stato rimodulato in riduzione di 910 milioni scendendo a una dotazione di 290 milioni [38]. La titolarità della Protezione Civile è il dettaglio che conta, perché colloca la linea presso l'ente che del monitoraggio del territorio ha bisogno operativo e non solo programmatorio.

Al di fuori del Piano operano poi due strumenti nazionali ordinari che è opportuno mettere a piano perché finanziano proprio l'avvio del servizio anziché la ricerca. La Nuova Sabatini, gestita dal Ministero delle imprese e del made in Italy e rifinanziata con oltre 600 milioni di euro, eroga un contributo in conto impianti a copertura degli interessi su finanziamenti bancari o su operazioni di locazione finanziaria destinati all'acquisto di beni strumentali, hardware, software e tecnologie a basso impatto ambientale, ed è lo strumento naturale per l'acquisizione della piattaforma commerciale e della stazione di terra, perché opera su beni strumentali materiali e immateriali e si combina con il credito bancario anziché sostituirlo. Smart&Start Italia, gestito da Invitalia per conto dello stesso ministero con una dotazione dell'ordine di 200 milioni di euro, sostiene la nascita e lo sviluppo delle startup innovative con finanziamenti a tasso zero e una componente di contributo a fondo perduto [39]. Entrambi operano in regime di aiuto e vanno perciò conteggiati nel plafond de minimis quando concessi in quella forma, il che impone una verifica di cumulo prima di combinarli con i contributi regionali.

Accanto a queste, il PNRR offre due linee settoriali più circoscritte ma più direttamente spendibili. La prima è quella della meccanizzazione agricola, che stanzia 400 milioni di euro per l'ammodernamento delle macchine agricole includendo esplicitamente i droni, con contributi fino al 65 per cento della spesa e fino all'80 per cento per i giovani agricoltori, su investimenti tipicamente compresi fra 35.000 e 70.000 euro [11]. La seconda è quella della space economy, dove l'investimento 4.1 dedicato alle tecnologie satellitari e all'economia dello spazio vale circa 1,49 miliardi di euro, dentro un impegno complessivo del Piano per lo spazio superiore a 2 miliardi attuato attraverso le convenzioni siglate con l'Agenzia Spaziale Italiana e con l'Agenzia Spaziale Europea, in particolare per la costellazione di osservazione della Terra IRIDE [12][13]. Quest'ultima linea è rilevante meno come fonte diretta e più come contesto abilitante, perché lega il downstream dei dati satellitari a quello dei droni e apre la strada a servizi integrati di osservazione in cui una piattaforma aerea persistente completa il dato orbitale.

Il livello europeo della ricerca e dello spazio civile

Il terzo canale è quello dei programmi europei a gestione diretta, che è il più competitivo ma anche il più capiente in assoluto per la componente di ricerca e sviluppo. Il riferimento principale è Horizon Europe, il programma quadro per la ricerca e l'innovazione 2021-2027, dotato di circa 95,5 miliardi di euro, che finanzia progetti collaborativi valutati su tre criteri, l'eccellenza, l'impatto e la qualità dell'implementazione, con un rimborso forfettario dei costi indiretti pari al 25 per cento dei costi diretti e un requisito minimo di partenariato di almeno due organismi di due diversi Stati membri [14]. Il regolamento istitutivo fissa peraltro l'obiettivo di portare gli investimenti in ricerca e sviluppo dell'Unione ad almeno il 3 per cento del prodotto interno lordo, il che dà la misura della direzione di lungo periodo su cui il progetto si allinea [15]. Attorno a Horizon si muove una costellazione di strumenti più mirati che per il progetto sono anche più accessibili di un grande bando quadro. Il Programma Spaziale dell'Unione, con un bilancio di 14,8 miliardi di euro per il periodo, promuove esplicitamente l'uso istituzionale delle tecnologie spaziali e le sinergie fra spazio, trasporti e digitale, e attraverso l'agenzia EUSPA sostiene l'integrazione dei droni nello spazio aereo tramite lo U-space [16][17]. L'iniziativa CASSINI mette a disposizione un fondo da 1 miliardo di euro per startup e PMI del settore spaziale nelle fasi di seed e di crescita, mentre il programma ESA Space Solutions, nelle sue linee Business Applications, offre finanziamenti a fondo perduto senza cessione di quote per lo sviluppo di servizi basati sullo spazio, con nuove call a partire dalla fine del 2025 [18][19]. Completano il quadro il programma Europa Digitale, che finanzia supercalcolo, intelligenza artificiale e cibersicurezza rilevanti per l'autonomia della piattaforma, e lo strumento InvestEU, che con un unico fondo di garanzia semplifica l'accesso a debito e capitale per le imprese che vogliono scalare [20][21].

Su questo livello esiste anche un bando che vale la pena citare per intero perché è cucito quasi su misura per un attore come Firmamento. Il consorzio European Cluster for Drone Innovation, cofinanziato dall'Unione nell'ambito del programma Euroclusters, ha aperto il Civil Drones Innovative Programme, che seleziona fino a 25 PMI manifatturiere europee e riconosce a ciascuna un contributo a fondo perduto fino a 50.000 euro con intensità dell'80 per cento del piano di innovazione, oltre a servizi di mentorship, supporto normativo e accesso a test, il tutto proprio per accompagnare la transizione dei prodotti drone verso la committenza di sicurezza, con un budget totale di 1.250.000 euro, cut-off nel marzo e nel giugno 2026 e il requisito di un prodotto già a maturità tecnologica TRL 6 [22]. È un canale piccolo nell'importo ma prezioso come primo finanziamento non diluitivo e come credenziale. A questi programmi a gestione diretta si affiancano infine i fondi strutturali e i grandi strumenti di coesione, ovvero il FESR, il Fondo Sociale Europeo Plus, i piani della PAC per lo sviluppo rurale e il Meccanismo per Collegare l'Europa, che sono i serbatoi da cui le Regioni attingono per i bandi territoriali e che, come mostra il caso calabrese, possono legittimamente pagare persistenza aerea sul territorio [23].

Strumento europeo civile o spaziale	Dotazione	Accesso	Note
Horizon Europe 2021-2027	95,5 miliardi di euro	consorzio minimo 2 entità in 2 Stati	criteri eccellenza, impatto, implementazione, overhead 25 per cento
Programma Spaziale dell'Unione 2021-2027	14,8 miliardi di euro	bandi EUSPA	istituzionale esplicito, integrazione U-space
CASSINI, spazio	1 miliardo di euro	startup e PMI spaziali	fasi seed e crescita

Strumento europeo civile o spaziale	Dotazione	Accesso	Note
ESA Space Solutions, Business Applications	fondo perduto senza equity	PMI di servizi spaziali	nuove call da fine 2025
ECDI, Civil Drones Innovative Programme	50.000 euro per PMI, budget 1,25 milioni	fino a 25 PMI, 80 per cento, TRL 6	droni istituzionale, cut-off nel 2026

La co-progettazione del Terzo Settore e gli aiuti de minimis

Esiste poi un canale meno ovvio ma perfettamente coerente con l'identità cooperativa del progetto, quello dell'amministrazione condivisa fra pubblica amministrazione ed enti del Terzo settore. La sentenza della Corte Costituzionale numero 131 del 2020 ha legittimato in via costituzionale il modello fondato sulla co-programmazione, sulla co-progettazione e sul partenariato, riconoscendo la sussidiarietà orizzontale come principio, e le linee guida del decreto ministeriale 72 del 2021 ne hanno specificato le modalità operative in attuazione degli articoli da 55 a 57 del Codice del Terzo settore [28]. La rilevanza pratica di questo istituto è notevole, perché consente di sviluppare servizi condivisi con la pubblica amministrazione senza passare da una gara d'appalto tradizionale, e le attività di interesse generale definite dal Codice comprendono interventi ambientali, di protezione civile e di tutela del territorio che una piattaforma di monitoraggio può servire direttamente. Il modello cooperativo si innesta qui in modo naturale, sia attraverso le cooperative sociali disciplinate dalla legge 381 del 1991, distinte fra il tipo A dei servizi socio-sanitari e il tipo B dell'inserimento lavorativo, sia attraverso l'impresa sociale disciplinata dal decreto legislativo 112 del 2017, che per attrarre capitali privati riconosce agli investitori una detrazione dall'imposta sui redditi pari al 30 per cento [29]. Che il canale sia operativo e non teorico lo dimostra la stessa Regione Liguria, che ha pubblicato un avviso di co-progettazione con enti del Terzo settore per servizi agli anziani con un impegno di 500.000 euro, cifra che dà l'ordine di grandezza di ciò che un singolo avviso regionale può mobilitare [30]. Va tenuto presente il limite interpretativo, perché il parere del Consiglio di Stato numero 2052 del 2018 esclude questi affidamenti dal Codice dei contratti soltanto quando sono privi di carattere selettivo o si limitano al rimborso delle spese, e l'articolo 55 si applica solo a soggetti in possesso della qualifica di ente del Terzo settore, dettaglio che impone attenzione quando il partenariato coinvolge cooperative di comunità non qualificate come ETS [28][31].

A rendere finanziariamente sostenibile questa via concorre il regime degli aiuti di Stato di piccola entità. Il Regolamento dell'Unione 2023/2831 ha portato il massimale de minimis generale a 300.000 euro per impresa unica nell'arco di tre esercizi, in aumento rispetto ai precedenti 200.000, mentre il Regolamento 2023/2832 ha alzato a 750.000 euro il massimale per i Servizi di Interesse Economico Generale, i cosiddetti SIEG [32]. Questa distinzione è tutt'altro che formale per il progetto, perché un servizio di monitoraggio ambientale, di sorveglianza delle infrastrutture o di trasporto di beni essenziali nelle aree interne può essere qualificato come SIEG, e in quel caso il sostegno pubblico attivabile senza notifica alla Commissione sale della metà, da 300.000 a 750.000 euro per impresa su 3 anni. Il vantaggio è duplice, perché da un lato l'esenzione dalla notifica riduce tempi e costi amministrativi accelerando l'avvio, dall'altro il massimale più alto per i SIEG consente un sostegno più consistente proprio sui servizi di pubblica utilità che costituiscono l'ancora civile del progetto. La cautela necessaria riguarda il cumulo, perché il periodo di 3 anni è valutato su base mobile e sommando tutti gli aiuti ricevuti, cosicché un progetto che coinvolga più soggetti fra pubblica amministrazione,

enti del Terzo settore e imprese deve monitorare la soglia per non superarla involontariamente [32].

Gli appalti pubblici come sbocco a regime

Chiuso il ciclo dei finanziamenti allo sviluppo, resta il canale attraverso cui il servizio genera ricavi a regime, ovvero l'appalto pubblico. Il quadro è quello del nuovo Codice dei contratti pubblici, il decreto legislativo 36 del 2023, aggiornato dal correttivo 209 del 2024 che ha ridotto alcuni termini e introdotto flessibilità procedurali [33]. Per la pubblica amministrazione italiana lo strumento principale di acquisto è il Mercato Elettronico della Pubblica Amministrazione, obbligatorio per gli acquisti sopra i 5.000 euro, la cui scala dà la misura del canale, dato che nel solo 2024 ha registrato 221.986 ordini diretti di acquisto per un valore di circa 1,002 miliardi di euro con 38.710 operatori economici attivi, mentre le convenzioni Consip restano obbligatorie per tutte le amministrazioni [34]. Perché un fornitore di servizi drone possa cogliere questa domanda è necessario che il servizio sia inserito nelle categorie merceologiche del mercato elettronico e che l'operatore sia abilitato alla piattaforma. Accanto alle procedure ordinarie, il Codice e le linee guida europee mettono a disposizione gli strumenti dell'appalto per l'innovazione, in particolare il partenariato per l'innovazione e l'appalto pre-commerciale, che sono la via corretta quando la pubblica amministrazione vuole acquistare una soluzione non ancora presente sul mercato, come sarebbe un servizio di sorveglianza persistente con una piattaforma compatta [35]. Che il canale funzioni per i droni lo dimostra un precedente concreto, la prima gara pubblica del gruppo Ferrovie dello Stato per l'ispezione dei ponti ferroviari con droni, aggiudicata con un punteggio di 97,94 su 100 e poi rinnovata come accordo quadro, che segna la strada per l'ingresso strutturato di servizi aerei negli appalti delle grandi utility e dei gestori di infrastrutture [36]. All'estremità più alta di questo canale si colloca infine il modello del dato-come-servizio dell'agenzia europea per la sicurezza marittima EMSA, che acquista servizi di sorveglianza con velivoli a pilotaggio remoto tramite contratti quadro dell'ordine di 30 milioni di euro ciascuno e li mette gratuitamente a disposizione degli Stati membri, un modello che rappresenta il tetto della disponibilità a pagare istituzionale su cui il progetto può ambire a inserirsi come subfornitore o partner di consorzio [37][1].

Come la doppia natura moltiplica i budget

Messi in fila, i canali disegnano una traiettoria precisa e mostrano perché la scelta di progettare la piattaforma come istituzionale per costruzione non sia una posa ma una decisione finanziaria. Un prodotto puramente civile potrebbe attingere alla SNAI, ai bandi regionali liguri, alle linee civili del PNRR, a Horizon Europe e ai programmi spaziali, che sono canali reali ma affollati e in cui l'importo effettivamente aggredibile da una singola PMI resta contenuto. La qualificazione istituzionale aggiunge a questo insieme i budget per la sicurezza, che sono di ordine di grandezza superiore, dai programmi europei per la resilienza delle infrastrutture critiche con 7,9 miliardi allo schema EUDIS con 231 milioni per le sole PMI nel 2026, fino all'orizzonte da centinaia di miliardi del riarmo europeo, e soprattutto abilita l'accesso a bandi ibridi come Underwater Liguria in cui un fondo strutturale regionale finanzia sviluppo a vocazione difensiva [24][25][26][27]. Il progetto non deve scegliere fra le due nature ma tenerle insieme sulla stessa cellula modulare, cambiando payload e canale di finanziamento a seconda della missione, ed è precisamente questa la logica multi-ancora che consente di finanziare il primo velivolo da più porte e di scalare poi sui mercati paganti [1]. La disciplina che questa strategia impone è comunicativa e di compliance, perché la stessa

doppia natura che apre i budget per la sicurezza è la fonte del principale rischio reputazionale per un progetto nato nel mondo cooperativo, e va governata valorizzando la missione civile e salvavita e mantenendo il controllo umano sulle funzioni sensibili.

Implicazioni per il progetto

La lettura complessiva della mappa consegna allo Studio alcune indicazioni operative nette. La prima è che il progetto dispone già di un primo finanziamento reale, i 50.000 euro di Coopfond, e di almeno un bando prossimo e quasi cucito su misura, Underwater Liguria da 7,5 milioni con contributi fino a 800.000 euro per progetto e un filone dedicato ai droni, la cui finestra di settembre 2026 dovrebbe diventare un obiettivo di calendario esplicito, eventualmente in aggregazione con PMI e centri di ricerca del polo subacqueo [2][27]. La seconda è che la costruzione di un consorzio transfrontaliero non è un'opzione ma una precondizione per i canali più capienti, perché sia i programmi europei per la resilienza delle infrastrutture critiche sia il linea europea 2026 sulle infrastrutture critiche sulle infrastrutture del fondale richiedono almeno tre entità di 3 Stati membri, e questa esigenza va anticipata mappando fin da subito i partner potenziali e le finestre di scadenza [25][26]. La terza è che il progetto deve strutturarsi per parlare contemporaneamente il linguaggio della transizione verde e digitale, richiesto dai fondi civili e da Horizon Europe, e quello della sovranità tecnologica e dell'autonomia strategica, richiesto dai fondi istituzionale, il che rende decisiva la scelta di un coordinamento con esperienza di progettazione europea [14][24]. La quarta è che, sul piano dei ricavi a regime, la via maestra è l'appalto pubblico e in particolare gli strumenti dell'appalto per l'innovazione e la qualificazione del servizio come SIEG, che alza a 750.000 euro il sostegno de minimis attivabile e si combina con la co-progettazione del Terzo settore per aggredire la domanda pubblica senza competere unicamente sul prezzo [32][35]. Il baricentro competitivo, in sintesi, si sposta dalla scala industriale alla capacità di navigare un ecosistema di finanziamenti frammentato ma ricco, ed è un terreno su cui un attore radicato in Liguria e legato al mondo cooperativo parte con un vantaggio di posizionamento reale.

Note e riferimenti

1. ricerca preliminare di mercato, Market Analysis Report consolidato del progetto, strategia multi-ancora civile e istituzionale, mappa del funding attivabile e modello data-as-a-service EMSA a contratti quadro dell'ordine di 30 milioni di euro. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
2. Registrazione ufficiale del contributo Coopfond nell'ambito del programma Cooding II di Legacoop, 50.000 euro riconosciuti per lo Studio di Fattibilità del progetto (proj_reg-uff-coopfond-2025u0001593-24-10-2025-progettohale-c)
3. Fonti primarie d'archivio sulla spesa pubblica SNAI, delibere CIPESS 41 e 42 del 2 agosto 2022, 198,6 milioni più 11,4 milioni, 172 milioni a 43 nuove aree interne nella misura di 4 milioni per area, dato corretto e verificato su fonte parlamentare. (proj_fonti-primarie-spesa-pubblica-snai-da-archivio)
4. Regione Liguria, estensione a 58 nuovi comuni delle aree interne per un totale di 108 comuni, oltre 50 milioni di euro fra fondi statali e bandi regionali PR FESR, PR FSE e CSR, 4 milioni per area dalla SNAI. (mar_ca762ffc5f5c)
5. Dossier regionale SNAI Liguria 2021-2027, otto aree interne, 102 comuni, 119.383 residenti e superficie di 2.934 km quadrati prima dell'ultima estensione. (proj_dossier-snai)
6. ricerca preliminare di mercato, Downstream civile e terrestre, Regione Calabria che finanzia con 5 milioni di euro del PR FESR FSE+ circa cinquanta stazioni-hub per droni antincen-

dio con sensori termici e analisi a bordo entro il 2027, modello di spesa pubblica trasferibile. (proj_fase-a-downstream-civile-terrestre-deep-research)

7. FILSE, finanziaria in-house della Regione Liguria, bando Azione 1.4.1 per start up innovative con 300.000 euro di dotazione, contributi a fondo perduto fino all'80 per cento e massimo 30.000 euro per domanda, più linee per l'efficientamento energetico. (mar_86fee3b41d7c)
8. Portale Italia Domani del PNRR, dotazione complessiva di 194,4 miliardi di euro su sette missioni allineate ai pilastri del Next Generation EU, fra cui transizione verde e trasformazione digitale. (mar_5a3b233d927e)
9. PNRR e dissesto idrogeologico, 2,49 miliardi di euro destinati al dissesto, di cui circa 1,15 miliardi già assegnati per la ricostruzione post-calamità. (mar_32960b512158)
10. Dossier sul dissesto idrogeologico, piano 2024 del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica con circa 1,084 miliardi di euro per la mitigazione del rischio, con criticità attuative segnalate. (mar_8ff5c1b3b272)
11. Bando meccanizzazione agricola PNRR, 400 milioni di euro per l'ammodernamento delle macchine agricole inclusi i droni, contributi fino al 65 per cento e all'80 per cento per i giovani agricoltori, investimenti tipici fra 35.000 e 70.000 euro. (mar_1843809227da)
12. PNRR, investimento 4.1 su tecnologie satellitari ed economia dello spazio, dotazione di circa 1,49 miliardi di euro per lo sviluppo di connessioni satellitari. (mar_c8ab5554d584)
13. Convenzioni PNRR siglate con ASI ed ESA, oltre 2 miliardi di euro per lo spazio, in particolare per la costellazione di osservazione della Terra IRIDE. (mar_f064520d7123)
14. Horizon Europe 2021-2027, dotazione di circa 95,5 miliardi di euro, valutazione su eccellenza, impatto e implementazione, rimborso forfettario dei costi indiretti al 25 per cento e partenariato minimo di due organismi in 2 Stati membri. (met_53912f40cbc0)
15. Regolamento (UE) 2021/695 che istituisce Horizon Europe, obiettivo di investimenti in ricerca e sviluppo pari ad almeno il 3 per cento del PIL dell'Unione. (mar_5c420ec232ab)
16. Regolamento (UE) 2021/696, Programma Spaziale dell'Unione, bilancio di 14,8 miliardi di euro per il 2021-2027 e promozione esplicita dell'uso istituzionale delle tecnologie spaziali. (mar_a664e9717555)
17. EUSPA, agenzia dell'Unione per il programma spaziale, coordinamento di Galileo, EGNOS e Copernicus e supporto all'integrazione dei droni tramite lo U-space. (mar_3e9847ff103a)
18. CASSINI, iniziativa dell'Unione per startup e scale-up del settore spaziale, fondo da 1 miliardo di euro per fasi di seed e crescita, oltre ad accelerazione e matchmaking. (mar_8cec2bddadea)
19. ESA Space Solutions, linee Business Applications, finanziamenti a fondo perduto senza cessione di quote per servizi basati sullo spazio, nuove call a partire dalla fine del 2025. (mar_650a8027b68e)
20. Regolamento (UE) 2021/694, programma Europa Digitale, finanziamento di supercalcolo, intelligenza artificiale e cibersicurezza rilevanti per le piattaforme UAV. (mar_3cccd2b0e98a)
21. Regolamento (UE) 2021/523, InvestEU, fondo unico di garanzia di bilancio che semplifica l'accesso a debito, capitale e quasi-capitale. (mar_15cbd54b3be7)
22. ART-ER, bando ECDI Civil Drones Innovative Programme del programma Euroclusters, fino a 25 PMI, contributo a fondo perduto fino a 50.000 euro con intensità dell'80 per cento, budget totale di 1.250.000 euro, requisito TRL 6, cut-off nel marzo e giugno 2026, finalità istituzionale. (mar_5e1ed976b783)
23. Fondi strutturali e di coesione dell'Unione, Fondo europeo di sviluppo regionale, Fondo sociale europeo Plus, piani strategici della PAC per lo sviluppo rurale e Meccanismo

per Collegare l'Europa, serbatoi da cui le Regioni attingono per i bandi territoriali. (mar_b618228e4dab, mar_aefadddce4b7, mar_36cdb65fae2c)

24. Briefing EPRS sul programma per l'industria europea istituzionale, spesa sicurezza UE-27 pari a 343 miliardi nel 2024 e stimata in 392 miliardi nel 2025, 78 per cento degli acquisti da fuori Unione di cui 63 per cento dagli USA, acquisti collaborativi al 18 per cento contro il 35 per cento obiettivo, EDIP con 1,5 miliardi di euro dal bilancio dell'Unione per il 2025-2027. (elaborazione dello studio)
25. Regolamento (UE) 2021/697 sul programmi europei per la resilienza delle infrastrutture critiche 2021-2027, dotazione di 7,9 miliardi di euro e requisito di consorzi di almeno tre entità di tre diversi Stati membri. (elaborazione dello studio)
26. ricerca preliminare di mercato, Approfondimento subacquea e PNS, linea europea 2026 sulle infrastrutture critiche sulla protezione stratificata delle infrastrutture del fondale con budget stimato dell'ordine di 20-30 milioni di euro, payload intercambiabili, scadenza 29 settembre 2026 e consorzio di almeno tre organizzazioni in tre Paesi, oltre ai canali acceleratori europei per le tecnologie critiche e NIF collegati al centro di eccellenza di La Spezia. (proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns)
27. Bando Underwater Liguria presentato dal Polo Nazionale della Dimensione Subacquea a La Spezia e finanziato dalla Regione Liguria con 7,5 milioni di euro del FESR, contributi a fondo perduto fino a 800.000 euro per progetto, aggregazioni di 3-6 partner a prevalenza PMI, durata massima 18 mesi, filone dedicato a veicoli autonomi, droni e robotica, candidature dal primo al 15 settembre 2026, polo di circa 260 realtà. (mar_4d5133a5f984)
28. Amministrazione condivisa fra pubblica amministrazione ed enti del Terzo settore, sentenza della Corte Costituzionale 131/2020, articoli 55-57 del Codice del Terzo settore e linee guida del decreto ministeriale 72 del 2021 su co-programmazione e co-progettazione. (leg_188896c73aa0, leg_70cd1492e148, leg_0b60fe552331)
29. Cooperative sociali disciplinate dalla legge 381 del 1991 nei tipi A e B, impresa sociale disciplinata dal decreto legislativo 112 del 2017 con detrazione IRPEF del 30 per cento per gli investimenti privati. (leg_435c2a5057c7, leg_8366a7103a5e, leg_2e61ad5ab876)
30. Regione Liguria, avviso di evidenza pubblica di co-progettazione con enti del Terzo settore per servizi agli anziani con impegno di 500.000 euro. (leg_94a99d41b6b9)
31. Parere del Consiglio di Stato 2052/2018, esclusione dal Codice dei contratti degli affidamenti a enti del Terzo settore privi di carattere selettivo o con solo rimborso spese. (leg_86a964ff72a0)
32. Regolamento (UE) 2023/2831 sugli aiuti de minimis con massimale a 300.000 euro per impresa unica su tre esercizi e Regolamento (UE) 2023/2832 sui SIEG con massimale a 750.000 euro, cumulo valutato su base mobile triennale. (leg_1d4a1def8fe5, leg_bcf5fc1a9eba)
33. Codice dei contratti pubblici, decreto legislativo 36 del 2023, e correttivo decreto legislativo 209 del 2024 con riduzione dei termini e maggiore flessibilità procedurale. (leg_e7a7482597d1, leg_16c7696728f7)
34. Consip, analisi degli ordini diretti di acquisto sul MEPA, 221.986 ordini nel 2024 per un valore di circa 1,002 miliardi di euro con 38.710 operatori economici attivi, obbligatorietà del mercato elettronico sopra i 5.000 euro e delle convenzioni Consip per tutte le amministrazioni. (leg_4b89b2d3427b, leg_e261ca4c39c9)
35. Linee guida della Commissione europea sull'appalto per l'innovazione, procedure di partenariato per l'innovazione e appalto pre-commerciale per soluzioni non ancora presenti sul mercato. (leg_fc3c3959866b, leg_b1e76bb65909)

36. Gara RFI del gruppo Ferrovie dello Stato per l'ispezione dei ponti ferroviari con droni, prima gara pubblica SAPR del gruppo, aggiudicata con punteggio 97,94 su 100 e rinnovata come accordo quadro. (`leg_97bfd068b11a`)
37. EMSA, servizi con velivoli a pilotaggio remoto per la sorveglianza marittima offerti gratuitamente agli Stati membri, modello data-as-a-service a contratti quadro. (`mar_db31f5476748`)
38. Piano nazionale di ripresa e resilienza, componente 4 della missione 2. Sub-investimento 2.1.b in capo al Dipartimento della Protezione Civile con 1,2 miliardi di euro per la gestione del rischio di alluvione e la riduzione del rischio idrogeologico, sub-investimento 2.1.a rimodulato in riduzione di 910 milioni a una dotazione di 290 milioni, attuazione tramite accordi di collaborazione fra Regioni e Comuni (mar_cf7e204401fb).
39. Strumenti nazionali di sostegno agli investimenti. Nuova Sabatini rifinanziata con oltre 600 milioni di euro per il contributo in conto impianti su beni strumentali, hardware, software e tecnologie a basso impatto ambientale; Smart&Start Italia gestito da Invitalia con dotazione dell'ordine di 200 milioni di euro, finanziamenti a tasso zero e componente di contributo a fondo perduto per le startup innovative (mar_c6ff0f03bc73).

2.14 Il modello di business e la disponibilità a pagare

La fattibilità economica del progetto dipende meno dal costruire il velivolo che dal modo in cui viene venduto e da chi lo paga, e la scelta di fondo è già stata compiuta, perché la piattaforma non viene ceduta come oggetto ma erogata come servizio. Questa sezione argomenta perché quella scelta sia corretta per un attore delle dimensioni di Firmamento, quale metrica economica la governi, come si concili con l'esecuzione a doppio binario fra integrazione di un mezzo commerciale e sviluppo del velivolo sovrano, e soprattutto quanto ciascun segmento di domanda sia davvero disposto a pagare, tenendo separata la domanda solida da quella soltanto evocata. Il filo conduttore è che il valore non sta nel drone in quanto tale ma nel dato e nella persistenza che quel drone consegna, e che la disponibilità a pagare più alta e più stabile è quella dei clienti pubblici, il che sposta la partita competitiva dal prezzo di listino alla capacità di stare dentro contratti di servizio e canali di spesa. Le cifre riportate distinguono sempre il dato verificato dalla stima, e diverse voci di prezzo assoluto restano oggi stime parametriche perché prezzi unitari, canoni e valori di contratto dei sistemi di questa classe non sono pubblici [2].

Vendere il dato, non il mezzo

La prima decisione è vendere un servizio ricorrente invece di un bene una tantum, e la ragione non è ideologica ma di struttura del margine. Chi vende il velivolo incassa una volta, resta esposto alla concorrenza di prezzo degli operatori low cost e, se non è l'originatore della tecnologia, dipende dall'OEM che gliela fornisce, mentre chi vende il servizio incassa in modo continuativo e cattura il valore dell'intera catena, dalla missione al prodotto informativo consegnato al cliente. È la logica del dato come servizio, ovvero del data-as-a-service, che il piano economico dello Studio ha già codificato accanto alla connettività come servizio quando individua nei modelli Connectivity e Data-as-a-Service e nella valutazione del costo totale di possesso a livello di vallata i due oggetti su cui l'analista economico del progetto deve lavorare [3]. La stessa nota strategica traduce lo slogan della riunione, vendiamo il servizio e non il mezzo, esattamente in un modello data-as-a-service con cliente pubblico ricorrente, ancorato alla metrica del costo di ciclo di vita per ora di volo [1].

Che la direzione sia quella giusta lo conferma la struttura del mercato. Il comparto professionale italiano dei droni vale circa 160 milioni di euro nel 2024 e cresce di circa il 10 per cento l'anno, è popolato da circa 657 operatori professionali, è in fase di consolidamento, e per la parte più solida è trainato dalla domanda pubblica, con le operazioni aeree che rappresentano circa il 96 per cento del valore [6]. In un mercato così non c'è spazio per l'ennesimo fornitore generico di voli, e la via che paga è presidiare una nicchia con un servizio informativo verticale. Sul piano dell'ordine di grandezza superiore, il mercato globale dei droni civili è stimato passare da 44,4 a 83,0 miliardi di dollari fra il 2026 e il 2035 con un tasso di crescita annuo composto del 7,2 per cento, mentre la porzione europea dei droni commerciali cresce da 7,63 a 12,96 miliardi di dollari fra il 2024 e il 2030 al 9,3 per cento annuo [6]. Sono cifre di contesto che vanno prese come direzionali e triangolate, e vanno tenute distinte dalla stima di mercato indirizzabile di PwC, che valuta in oltre 127 miliardi di dollari il mercato dei droni commerciali con le infrastrutture a 45,2 miliardi e i trasporti a 13 miliardi come segmenti maggiori [13]. Il segnale più forte per la scelta a servizio arriva però dal segmento specifico dei droni come servizio, che in Europa è previsto salire da 8,92 miliardi di dollari nel 2025 a 64,10 miliardi nel 2034 con un tasso di crescita del 24,5 per cento e oltre 500.000 operatori registrati, un ritmo 3 volte più rapido del mercato dei droni nel suo complesso e la prova che il valore si sta spostando dalla vendita dell'hardware all'erogazione continuativa del servizio [9]. Anche il sottosegmento della consegna, più stretto, racconta la stessa dinamica quando passa da 472,2 milioni di dollari nel 2024 a una stima di 5.764,5 milioni nel 2032, con l'operatore Manna che ha abbattuto il costo per consegna da 20-30 dollari a meno di quattro proprio grazie alla scala del servizio [5].

Il modo in cui il servizio viene messo a prezzo non è indifferente. La prassi del mercato conosce tre schemi, la tariffa oraria, la tariffa per unità di superficie e la tariffa per prodotto consegnato, e la letteratura operativa mostra che il prezzo legato al deliverable cattura quasi sempre più valore, perché fa pagare la capacità di elaborazione e non solo le ore di volo [4]. È un'indicazione che il progetto deve incorporare, vendendo il prodotto informativo, cioè la mappa termica dell'incendio, l'ortofoto dell'infrastruttura, il tracciato di sorveglianza, e non l'ora di velivolo in sé. Le tariffe di riferimento del mercato dei servizi con droni, per quanto ricavate dal contesto statunitense e quindi da usare come benchmark direzionale, danno l'ordine di grandezza del ricavo unitario.

Voce di tariffa	Ordine di grandezza	Natura del dato
Servizio con drone, tariffa oraria generica	100-400 dollari l'ora	mercato USA, direzionale
Mappatura e ispezione, tariffa oraria	300-600 dollari l'ora	mercato USA, direzionale
Fotografia aerea, tariffa oraria	200-400 dollari l'ora	mercato USA, direzionale
Rilievo topografico	500-1.500 dollari al giorno oppure 10-25 dollari per acro	mercato USA, direzionale
Prodotto consegnato, modello 3D	500-1.500 dollari, contro 99-199 di solo processamento	mercato USA, direzionale
Tariffa fissa per progetto	300-1.500 dollari	mercato USA, direzionale
Consegna per unità, caso Manna	meno di 4 dollari, dai 20-30 iniziali	operatore, a regime

Un ultimo elemento del disegno di prezzo merita attenzione, perché uno studio sulla mobilità aerea urbana in ambito aeroportuale dimostra che un modello di prezzo variabile, di tipo dinamico, raddoppia il profitto operativo rispetto a una tariffa fissa [8]. Per un servizio che vive di picchi stagionali, come la sorveglianza incendi in estate o il monitoraggio del dissesto dopo un evento meteo, la capacità di modulare la tariffa nei momenti di domanda alta è una leva di redditività che va progettata fin dall'inizio.

La metrica giusta, il costo del ciclo di vita per ora di volo

Se il ricavo si misura in ore contrattualizzate e in prodotti consegnati, il costo va misurato con la metrica corretta, che non è il costo ricorrente di esercizio ma il costo di ciclo di vita per ora di volo, cioè un costo che ammortizza sull'ora anche l'acquisizione del sistema. La scelta della metrica non è un tecnicismo contabile, perché cambia il verdetto economico. La metodologia dell'ufficio di bilancio del Congresso statunitense mostra che, per un sistema come l'RQ-4, il vantaggio di costo rispetto all'alternativa con equipaggio scende dal 38 al 17 per cento nel passaggio dal costo ricorrente al costo di ciclo di vita, il che significa che ragionare solo sul costo orario spicciolo sopravvaluta la convenienza [2]. Dentro questa metrica i due parametri che decidono il risultato sono la persistenza e il tasso di perdita. La persistenza conta perché più ore vola ogni velivolo in un anno, più basso è il costo orario, dato che i sistemi senza pilota dell'aviazione statunitense volano circa il doppio delle ore dei mezzi ISR con equipaggio, e per questo il posizionamento long-endurance del progetto, con una persistenza di riferimento intorno alle 20-22 ore, non è soltanto un argomento di prestazione ma un vantaggio di costo strutturale [2]. Il tasso di perdita conta in senso opposto, perché i sistemi senza pilota si perdono più spesso e questo obbliga a dimensionare la flotta con un margine dell'ordine del 22 per cento e a mettere i ricambi nel conto economico, pena la sottostima del costo reale del servizio [2]. La stessa letteratura mostra che un velivolo riutilizzabile costa più di uno a perdere, 496 mila contro 364.000 dollari nell'analisi RAND, ma diventa più conveniente oltre le cinque missioni, il che conferma che è il ciclo di vita, e non il prezzo del singolo volo, il terreno su cui si gioca la convenienza [7].

Sul lato della grandezza dei numeri operativi, i dati disponibili riguardano classi diverse dalla nostra e vanno letti come analoghi, non come misure trasferibili uno a uno. Un eVTOL da mobilità urbana ha un costo operativo stimato intorno ai 650 euro per ora di volo, circa la metà dei 1.200 euro di un elicottero equivalente, e nel dominio delle ispezioni un drone attrezzato costa circa 250.000 dollari contro oltre 2 milioni di un elicottero strumentato, individuando anche il 48 per cento di problemi in più rispetto all'ispezione da terra [7]. Sono ordini di grandezza che confermano la logica economica di fondo, cioè che l'operazione aerea senza pilota abbatte il costo rispetto all'alternativa tradizionale, Il costo per ora di volo del mini-UAV della classe di Firmamento non è pubblicato da alcun costruttore, e va quindi costruito dal basso sommando le voci di cui si conosce il prezzo di mercato. Il capitolo economico lo fa in modo esplicito, partendo dal costo del personale operativo, dalla manutenzione proporzionale alle ore, dal premio assicurativo di responsabilità civile che per l'impiego professionale si colloca fra 800 e 3.000 euro l'anno [14], dalle tariffe amministrative dell'autorizzazione operativa, pari a 309 euro per l'istanza e 355 euro per il rilascio [15], e dall'ammortamento del sistema sulle ore prodotte, e arriva a un costo pieno dell'ordine di alcune centinaia di euro per ora di volo. Il termine di confronto sul mercato italiano è la tariffa praticata dagli operatori certificati, compresa fra 70 e 300 euro per ora di volo per prestazioni brevi in vista del pilota [16], che rappresenta il pavimento competitivo, mentre il servizio persistente oltre la linea di vista si colloca su una fascia superiore in ragione delle autorizzazioni, del collegamento

e dell'equipaggio richiesti. Il business case si chiude quindi sull'equazione fra le ore di volo contrattualizzate moltiplicate per la tariffa e il costo di ciclo di vita per ora, con entrambi i fattori ora quantificati.

L'esecuzione a doppio binario

La tensione fra il bisogno di fatturare subito e l'ambizione di costruire un velivolo sovrano si risolve non scegliendo ma tenendo insieme i due percorsi su binari separati, ed è la raccomandazione esplicita dell'analisi make contro buy dello Studio. Sul primo binario, quello dell'acquisto e integrazione, Firmamento prende una piattaforma commerciale ad ala fissa già matura, del tipo AR3, AR5, Flexrotor o JOUAV, la opera come fornitore di servizio e comincia a incassare in pochi mesi con rischio tecnico minimo, perché quelle piattaforme sono a maturità tecnologica 8-9, servendo subito le ancore territoriali e generando dati ed evidenze operative [2]. È la stessa logica del pilota da 600.000-900.000 euro emerso nella prima ricerca, che era appunto il percorso di comprare e operare, non di costruire [2]. Sul secondo binario, quello dello sviluppo proprietario, si conduce in parallelo la ricerca e sviluppo del velivolo ibrido sovrano, con nucleo ad ala fissa, powertrain moderno e modulo VTOL rimovibile, e la si fa pagare dai programmi di ricerca e innovazione che esistono proprio per finanziare il rischio tecnologico, dai programmi europei per la resilienza delle infrastrutture critiche ai programmi nazionali di ricerca industriale, dal bando Underwater Liguria all'acceleratori europei per le tecnologie critiche [2]. Il meccanismo che tiene insieme i due binari è che le ancore pagano il make mentre il buy genera trazione, cosicché il cash-flow del servizio e il finanziamento pubblico della ricerca si alimentano a vicenda invece di competere per le stesse risorse [1][2].

Gli ordini di grandezza dei due percorsi sono asimmetrici e vanno dichiarati come stime parametriche, non come preventivi, perché costruiti con metodo bottom-up in assenza di prezzi pubblici. Il percorso di acquisto e integrazione parte da un pilota nell'ordine delle centinaia di migliaia di euro, mentre il percorso di costruzione richiede alcuni milioni fino al dimostratore volante e ancora di più fino al prodotto operativo certificabile.

Percorso	CAPEX stimato	Tempi	Maturità di partenza
Acquisto e integrazione, pilota di servizio	600.000-900.000 euro	mesi	TRL 8-9
Costruzione a dimostratore, ala fissa convenzionale	2-3 milioni di euro	18-24 mesi	TRL 6-7
Costruzione a dimostratore, variante box-wing	3-5 milioni di euro	24-36 mesi	TRL 4-5
Costruzione a prodotto operativo certificabile	5-10 milioni di euro	3-4 anni	in salita

La stessa asimmetria vale sul costo unitario del sistema a regime, dove è il payload, e in particolare il radar ad apertura sintetica e i sensori elettro-ottici e a infrarossi di qualità, a dominare il prezzo, il che spinge verso la modularità come leva commerciale, perché consente di vendere separatamente la cellula base e i moduli di payload.

Configurazione del sistema	Stima unitaria
Solo velivolo, cellula con propulsione e avionica	50.000-150.000 euro
Sistema completo con stazione di terra e datalink	150.000-350.000 euro
Sistema con payload pesanti, gimbal EO/IR con radar SAR e SATCOM	300.000-800.000 euro e oltre

La scelta a doppio binario si riflette anche sulle decisioni di sottosistema, dove la razionalità impone di comprare ciò che è maturo e costruire solo ciò che differenzia. Sull'avionica, la via ottimale per una PMI è un sistema COTS certificabile, con un costo di sviluppo non ricorrente compreso fra 0,8 e 2,5 milioni di euro e un team di 5-8 ingegneri per 1-2 anni, contro gli 8-20 milioni e oltre e i 20-30 ingegneri di un full custom, un divario che da solo giustifica la strategia di non reinventare ciò che il mercato offre già maturo [11]. A queste voci si aggiungono i costi di certificazione tipici dell'hardware deep-tech, dell'ordine di 5.000-15.000 dollari nella fase di pre-compliance e di 15.000-50.000 dollari per la compliance finale, contenuti in valore assoluto ma da mettere comunque a piano [12]. La coerenza con la struttura dei costi del progetto è piena, perché il piano economico destina oltre l'80 per cento del budget al personale altamente specializzato, il che è esattamente il profilo di spesa di un'attività che vende conoscenza e servizio, non manifattura di serie [3][12].

La disponibilità a pagare, segmento per segmento

Stimare la disponibilità a pagare significa chiedersi non se un segmento sia interessante in astratto, ma se esista già un cliente che mette denaro su quel servizio e in quale ordine di grandezza. Applicando questo filtro, i sei segmenti downstream si dividono nettamente fra una domanda solida, fatta di clienti pubblici che pagano già o hanno stanziamenti dedicati, e una domanda debole, evocata politicamente ma priva di cifre e di clienti paganti dimostrati. La tabella che segue sintetizza il giudizio, che i paragrafi successivi argomentano.

Segmento	Cliente pagante	Ordine di grandezza	Solidità della domanda
Marittimo istituzionale	EMSA, Frontex, Guardia Costiera	circa 30 milioni per contratto quadro	solida, verificata
Subacquea e protezione infrastrutture	PNS, programmi europei, Marina, operatori cavi	seed 2-3 milioni l'anno, programmi europei 20-30 milioni, Underwater Liguria 7,5 milioni	solida
Monitoraggio rischi e incendi	Regione, Protezione Civile, VVF	5 milioni modello Calabria, 4 milioni per area SNAI	solida
Ispezione infrastrutture lineari	Enel, Terna, RFI, Snam, Autostrade	ricorrente B2B, tariffe 300-600 dollari l'ora	media-alta
Agricoltura di precisione	Aziende agricole, cooperative	mercato DaaS EU in forte crescita, WTP Italia da quantificare	media, da validare
Connettività aree interne	Protezione Civile, telco	non quantificato	debole sul mercato

La domanda più solida in assoluto è quella del marittimo istituzionale, perché esiste un cliente che compra già questo servizio con la formula esatta del dato come servizio. L'agenzia europea per la sicurezza marittima acquista servizi di sorveglianza con velivoli a pilotaggio remoto tramite contratti quadro dell'ordine di 30 milioni di euro ciascuno e li mette gratuitamente a disposizione degli Stati membri, un modello che rappresenta il tetto verificato della disponibilità a pagare istituzionale e su cui Firmamento può inserirsi come subfornitore o partner di consorzio, tanto più che sul Golfo di Genova opererebbe già un servizio del genere a supporto della Guardia Costiera, ossia domanda finanziata sullo stesso territorio ligure dell'ancora [6]. È il mercato di scala più credibile perché ricorrente, pubblico e nella classe di peso giusta.

Altrettanto solida, ma con la natura ibrida del finanziamento allo sviluppo più che dell'appalto di servizio, è la domanda subacquea e di protezione delle infrastrutture critiche sottomarine, che è la seconda ancora del progetto ed è radicata a La Spezia. Qui la disponibilità a pagare prende la forma dei programmi di ricerca e innovazione, con il seed effettivo del Polo Nazionale della Dimensione Subacquea nell'ordine dei 2-3 milioni l'anno, il topic dei programmi europei per la resilienza delle infrastrutture critiche 2026 sulla protezione stratificata delle infrastrutture del fondale con budget stimato fra venti e 30 milioni, e soprattutto il bando Underwater Liguria da 7,5 milioni di euro che riconosce contributi fino a 800.000 euro per progetto, con un filone dedicato ai veicoli autonomi, ai droni e alla robotica e una finestra di candidatura nel settembre 2026 [6][10]. È il canale in cui un fondo strutturale regionale paga direttamente lo sviluppo di una piattaforma a vocazione istituzionale nello stesso territorio dell'ancora civile, e per questo la sua rilevanza per il make è massima, mentre il varco competitivo è aperto perché gli incumbent del gateway aereo verso il dominio subacqueo sono pesanti e sopra la classe compatta.

La terza domanda solida è il monitoraggio dei rischi naturali, e in particolare degli incendi, che è il proof-point diretto della strategia ancora politica verso scala. La Regione Calabria finanzia con 5 milioni di euro di fondi strutturali europei una rete di circa cinquanta stazioni-hub per droni con sensori termici e analisi a bordo per l'allerta precoce degli incendi boschivi entro il 2027, ed è letteralmente il modello di spesa pubblica regionale che paga persistenza aerea sul territorio, trasferibile alla Liguria [10]. A questa cifra si affianca la cornice della Strategia Nazionale per le Aree Interne, che mette a disposizione 4 milioni di euro per singola area, che è l'ordine di grandezza che una vallata può mobilitare per un servizio di monitoraggio o emergenza [6]. Il fit tecnico con un velivolo compatto ad alta persistenza è ottimo, e la coerenza con l'ancora civile del bando Cooding e con il sito pilota dell'entroterra è totale, il che rende questo il candidato civile numero uno.

Di grado leggermente inferiore ma comunque concreta è la domanda per l'ispezione delle infrastrutture lineari, dove i clienti paganti sono molti e ricorrenti, da Enel a Terna a RFI a Snam ad Autostrade. Che il canale funzioni per i droni lo dimostra la prima gara pubblica del gruppo Ferrovie dello Stato per l'ispezione dei ponti ferroviari, aggiudicata con un punteggio di 97,94 su cento e poi rinnovata come accordo quadro [10]. La cautela è che l'ispezione puntuale dei ponti usa tipicamente multirotori a corto raggio e non definisce l'idoneità della nostra piattaforma, il cui spazio è semmai l'ispezione lineare estesa delle linee elettriche, delle ferrovie e delle condotte, dove la persistenza e l'autonomia pagano, e dove le tariffe di mappatura e ispezione dell'ordine di 300-600 dollari l'ora indicano il ricavo unitario aggredibile [4][10].

Sul confine fra domanda media e domanda ancora da dimostrare si colloca l'agricoltura di precisione, che ha un mercato di scala europeo in forte crescita ma un dato italiano di disponibilità a pagare ancora non quantificato. Il mercato dei droni come servizio in agricoltura cresce in Europa a un tasso del 24,5 per cento annuo, oltre sei aziende agricole italiane su dieci si dichiarano pronte a investire nella tecnologia, e nel mondo sono già in uso circa 600.000 droni agricoli, con benefici documentati come la riduzione degli agrofarmaci fra il trenta e il 50 per cento e dell'acqua fino al 90 per cento [9]. Sul piano della convenienza per l'utente finale, un'analisi tecnico-economica su droni agricoli mostra un valore attuale netto positivo, un tasso interno di rendimento del 22,62 per cento a fronte di una soglia minima del venti e un ritorno dell'investimento in 2 anni e 10 mesi, che è un segnale incoraggiante ma ricavato da un contesto estero e da validare in Italia [8]. Il costo di acquisizione dei mezzi è noto, con un DJI Agras T25P intorno ai 5.723 euro e un T50 intorno ai 13.008, mentre resta ignota la disponibilità a pagare per ettaro delle aziende agricole italiane, che è la cifra che deciderebbe

la solidità del segmento e che va cercata presso l'Osservatorio Smart AgriFood del Politecnico di Milano [9]. Il modello cooperativo di comunità, con l'adozione condivisa della tecnologia, è la via più promettente per abbattere la barriera dell'investimento iniziale nelle aree interne a agricoltura frammentata [9].

La domanda strutturalmente debole è quella della connettività alle aree interne, che è la promessa politica di partenza del progetto ma è il verticale con l'evidenza di mercato più fragile e con un problema di fisica. Le evidenze positive sulla connettività aerea riguardano piattaforme stratosferiche ad alta quota, una classe diversa, e un velivolo compatto a bassa quota non può coprire aree ampie né fare da ponte verso le costellazioni in orbita bassa come farebbe un pseudo-satellite, cosicché per la connettività non esiste una cifra di mercato italiana né una disponibilità a pagare dimostrata da clienti reali [10]. La lettura corretta è di mantenere la connettività come funzione di missione modulare, cioè come relay tattico in emergenza o gateway per l'internet delle cose di una singola vallata, e come gancio narrativo verso la domanda politica, ma non come business portante, spostando il caso di mercato sui segmenti dove il cliente paga già [1][10]. Nel fare questo va ribadito che le cifre-slogan un tempo associate a questo verticale, come la copertura di un milione di chilometri quadrati per una piattaforma d'alta quota, i circa 2 miliardi e sei di persone prive di connessione e il mercato del posizionamento satellitare da trecento a 580 miliardi, sono state smentite dal controllo delle fonti primarie e non vanno usate a sostegno della disponibilità a pagare [10].

Implicazioni per il progetto

La lettura d'insieme consegna allo Studio alcune indicazioni operative nette. La prima è che il modello a servizio non è una preferenza ma la scelta obbligata di struttura del margine per un nuovo entrante in un mercato piccolo, in consolidamento e trainato dalla domanda pubblica, e che dentro quel modello conviene far pagare il prodotto informativo consegnato più che l'ora di volo, perché è lì che si cattura il valore dell'elaborazione. La seconda è che la metrica corretta per governare l'economia del servizio è il costo di ciclo di vita per ora di volo, con la persistenza come alleata e il tasso di perdita come costo da mettere a bilancio, il che trasforma la scelta long-endurance in un vantaggio economico e non solo prestazionale. La terza è che il doppio binario è ciò che rende il tutto eseguibile, perché l'acquisto e integrazione di una piattaforma commerciale genera cassa e serve subito le ancore con rischio minimo mentre lo sviluppo del velivolo sovrano viene finanziato dai programmi di ricerca e innovazione, e la disciplina finanziaria consiste nel non far competere i due binari ma nel farli alimentare a vicenda. La quarta è che la disponibilità a pagare va concentrata dove è solida e verificata, ovvero il marittimo istituzionale con i contratti quadro dell'ordine dei 30 milioni, la subacquea istituzionale con i fonistituzionale e il bando Underwater Liguria, e il monitoraggio dei rischi con il modello Calabria da 5 milioni e i 4 milioni per area della Strategia Aree Interne, mentre l'ispezione lineare va coltivata come scala B2B ricorrente e l'agricoltura come opzione da validare. La quinta è che la connettività va tenuta come funzione modulare e leva narrativa, non come promessa di ricavo, per non appoggiare il piano economico su una domanda non ancora consolidata.

Note e riferimenti

1. Nota strategica del progetto, riformulazione del posizionamento a servizio, modello data-as-a-service con cliente pubblico ricorrente, doppio binario acquisto contro costruzione, connettività come funzione modulare e non come business portante. (proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid)

2. fase progettuale successiva, WP-B5 su costi, maturità tecnologica e make contro buy, doppio binario acquisto e costruzione, metrica del costo di ciclo di vita per ora di volo con persistenza e tasso di perdita come driver, stime parametriche di CAPEX e costo unitario, avvertenza sulla non pubblicità dei prezzi. (proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy)
3. Piano economico del prototipo Cooding, oltre l'80 per cento del budget al personale altamente specializzato, modelli Connectivity e Data-as-a-Service e valutazione del costo totale di possesso a livello di vallata come oggetti dell'analisi economica. (proj_piano-economico-prototype-cooding)
4. Guida ai prezzi dei servizi con droni per tipo di lavoro, tariffe orarie da 100 a 400 dollari, mappatura e ispezione 300-600 dollari l'ora, rilievo 500-1.500 dollari al giorno o 10-25 dollari per acro, prodotto consegnato che cattura più valore delle sole ore di volo, e modello a entrate ricorrenti del drone come servizio. (`tec_621446bb24b2`; `tec_16d611616b0b`)
5. Sintesi documentale del dominio business plan, mercato della consegna con droni da 472,2 milioni di dollari nel 2024 a 5.764,5 milioni nel 2032, caso Manna con costo per consegna sceso da 20-30 dollari a meno di 4, tariffe di servizio 150-400 dollari l'ora e tariffe fisse per progetto 300-1.500 dollari. (`met_e6158d2bdfff`; `met_1b2a41e8ca42`)
6. ricerca preliminare di mercato, Market Analysis Report consolidato, dimensionamento del mercato droni globale ed europeo, mercato italiano circa 160 milioni con circa 657 operatori e operazioni al 96 per cento del valore, modello data-as-a-service EMSA a contratti quadro dell'ordine di 30 milioni, 4 milioni per area SNAI, mappa del funding istituzionale inclusi programmi europei e Underwater Liguria, strategia multi-ancora verso scala. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
7. Sintesi documentale del dominio costi e operatività, eVTOL a circa 650 euro per ora di volo contro 1.200 di un elicottero, drone di ispezione a circa 250.000 dollari contro oltre 2 milioni dell'elicottero strumentato con il 48 per cento di problemi individuati in più, e analisi RAND sul velivolo riutilizzabile a 496.000 dollari contro 364 mila dell'espendibile, più conveniente oltre cinque missioni. (`tec_e29b6e960ccc`; `tec_280aa1ee7f9f`; `tec_0aa1bbc42baf`)
8. Sintesi documentale del dominio fattibilità e analisi costi-benefici, studio tecnico-economico su droni agricoli con valore attuale netto positivo, tasso interno di rendimento del 22,62 per cento a fronte di soglia minima del 20 e payback di 2 anni e 10 mesi, e modello di prezzo variabile per la mobilità aerea che raddoppia il profitto operativo rispetto alla tariffa fissa. (`met_8e893b8a0ef5`; `met_23c14af8ae4f`)
9. Sintesi documentale del dominio agricoltura di precisione, mercato europeo dei droni come servizio da 8,92 a 64,10 miliardi di dollari fra 2025 e 2034 con tasso del 24,5 per cento e oltre 500.000 operatori registrati, circa 600.000 droni agricoli nel mondo, oltre sei aziende agricole italiane su dieci pronte a investire, prezzi DJI Agras T25P 5.723 euro e T50 13.008 euro, riduzione agrofarmaci 30-50 per cento e acqua fino al 90, modello cooperativo di comunità per le aree interne. (`mar_6361c3d179a5`; `mar_3ca7a78e6c31`; `mar_a3bfd39e37b7`)
10. ricerca preliminare di mercato, downstream civile e terrestre, modello Calabria da 5 milioni per circa cinquanta hub-drone antincendio entro il 2027, gara RFI per l'ispezione dei ponti aggiudicata con 97,94 su cento, agricoltura di precisione con disponibilità a pagare italiana non quantificata, connettività aree interne come verticale più debole con problema di fisica, elenco delle cifre-slogan confutate da non usare. (proj_fase-a-downstream-civile-terrestre-deep-research)
11. Sintesi documentale del dominio business plan sul make contro buy dell'avionica, sistema COTS certificabile con costo di sviluppo non ricorrente fra 0,8 e 2,5 milioni e team di 5-8

ingegneri contro 8-20 milioni e 20-30 ingegneri del full custom. (proj_fase-b-avionica-del-mercato-civile-custom-vs-cots-make-)

12. Sintesi documentale del dominio business plan, costi di certificazione dell'hardware deep-tech da 5.000-15.000 dollari in pre-compliance a 15.000-50.000 dollari finali, e metriche di crescita da monitorare come costo di acquisizione cliente, valore del cliente nel tempo e margine lordo. (`met_808d74eec9b1`; `met_80d57323871f`)
13. Sintesi documentale del dominio business plan, stima del mercato indirizzabile dei droni commerciali di PwC in oltre 127 miliardi di dollari con infrastrutture a 45,2 miliardi e trasporti a 13 miliardi. (`met_374ffb57cdca`)
14. Obbligo assicurativo per gli aeromobili senza pilota e costo delle polizze in Italia. Massimale minimo di 750.000 diritti speciali di prelievo, circa 850.000 euro, per massa massima al decollo inferiore a 500 chilogrammi ai sensi dell'articolo 7 del Regolamento (CE) 785/2004, copertura professionale di mercato comunemente a 1.000.000 di euro, premio annuo professionale fra 800 e 3.000 euro (leg_24396e0b8f2f).
15. Tariffe ENAC per l'autorizzazione operativa in categoria specifica. 309 euro per la presentazione dell'istanza e 355 euro per il rilascio, oltre alle tariffe aggiornate della piattaforma nazionale d-flight in vigore dal 15 gennaio 2026 (leg_26b6ced84879).
16. Listini pubblici degli operatori professionali italiani. Tariffa fra 70 e 300 euro per ora di volo secondo la qualificazione del pilota e la classe del velivolo, ispezione aerea a corpo intorno ai 250 euro, rilievo fotogrammetrico o termografico da circa 350 euro, riferiti a operazioni brevi in vista del pilota (mar_1cdb4822039f).

2.15 Il mercato aggredibile per il progetto e la strategia di ingresso

Le sezioni che precedono hanno fatto due cose distinte. Il quadro generale ha misurato il terreno di gioco e ha mostrato che il mercato italiano dei servizi da drone è piccolo, in decelerazione e trainato dalla domanda pubblica, un mercato in cui non esiste spazio economico per un fornitore generico [4][29]. Le sezioni dedicate ai singoli verticali hanno poi passato in rassegna una a una le nicchie paganti, dal marittimo istituzionale alla subacquea istituzionale, dal monitoraggio dei rischi naturali all'ispezione delle infrastrutture lineari, dall'agricoltura di precisione alla ricerca e soccorso, stabilendo per ciascuna chi paga e con quale ordine di grandezza. Questa sezione tira le somme di quel lavoro. Prende le grandezze aggregate del mercato e le nicchie qualificate e le fonde in una stima del mercato totale indirizzabile, di quello effettivamente servibile e di quello realisticamente aggredibile da Firmamento, costruita dall'alto verso il basso con le assunzioni dichiarate a ogni passaggio, e da quella stima fa discendere la strategia di ingresso, la nicchia da cui partire e la sequenza con cui allargarsi. Come nel resto del capitolo ogni cifra distingue il dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti dalla stima direzionale, e restano deliberatamente fuori dall'analisi le tre cifre-slogan che il controllo delle fonti primarie ha smentito, ovvero la copertura di un milione di chilometri quadrati attribuita a una singola piattaforma d'alta quota, il bacino dei circa 2 miliardi e sei di persone prive di connessione e il mercato del posizionamento satellitare stimato tra 300 e 580 miliardi, che non sono in alcun modo grandezze del mercato di un velivolo compatto a bassa quota venduto come servizio [32].

Perché il mercato rilevante è quello italiano e non quello globale

La disciplina del dimensionamento impone di tenere separati tre insiemi concentrici, il mercato totale indirizzabile che rappresenta il ricavo teorico con una quota del 100 per cento,

il mercato servibile che è la porzione realisticamente raggiungibile con il prodotto e il canale di cui si dispone, e il mercato ottenibile che è la frazione del servibile che un singolo attore può davvero catturare in un orizzonte definito, e la metodologia più adatta a un progetto che parte da grandezze di settore per restringere verso un target locale è quella top-down, che scende per gradini dal dato aggregato al mercato accessibile [1]. Il primo gradino, quello globale, va guardato solo per orientarsi. Il mercato civile mondiale dei droni cresce da 44,4 miliardi di dollari nel 2026 a 83,0 miliardi nel 2035 con un tasso composto del 7,2 per cento, e la parte che conta per chi vende un servizio è che i servizi valgono già il 78,5 per cento di quel mercato, cioè circa 35 miliardi di dollari nel 2026, mentre l'hardware pesa appena il 17 per cento [2]. È un dato confermato e utile a validare il modello dato-come-servizio, ma è anche la prima cifra da mettere da parte come misura del mercato del progetto, perché è un aggregato mondiale quasi interamente inaccessibile a un attore nazionale. Lo stesso vale per il gradino europeo, dove il mercato dei droni commerciali passa da 7,63 miliardi di dollari nel 2024 a circa 12,96 miliardi nel 2030 con un tasso del 9,3 per cento superiore alla media mondiale [3]. Sono cornici, non bersagli.

La ragione per cui il bersaglio va cercato più in basso, nel perimetro italiano, non è soltanto di prudenza metodologica ma discende dalla struttura competitiva già documentata. L'hardware è commoditizzato da un quasi-monopolio, dato che una sola azienda controlla circa il 90 per cento del mercato commerciale mondiale dei piccoli droni [30], il che significa che nessun vantaggio difendibile può nascere dalla vendita del mezzo e che il valore si concentra tutto nell'integrazione operativa, nella persistenza, nella modularità del payload e nella sovranità del dato, terreni che si presidiano localmente e per nicchia. Ne segue che la metrica corretta per valutare il progetto non è il TAM globale da decine di miliardi, enorme e quasi tutto fuori portata, bensì il mercato professionale italiano reale e la spesa pubblica che ne alimenta la crescita, e che il dimensionamento va costruito sommando dal basso le nicchie paganti nazionali già qualificate nelle sezioni precedenti anziché ritagliando dall'alto una fetta arbitraria del mercato mondiale.

Il mercato totale indirizzabile, la somma delle nicchie paganti italiane

Il punto di ancoraggio del mercato totale indirizzabile è il valore misurato del mercato professionale italiano dei droni e della mobilità aerea avanzata, pari a 168 milioni di euro nel 2025 dopo i 160 milioni del 2024, una cifra confermata dal riscontro incrociato delle fonti e riferita ai segmenti business e pubblica amministrazione [4][5]. Questo è il perimetro onesto dentro cui vive la categoria di prodotto del progetto, e va preso come il TAM di riferimento perché è l'unico dato di mercato nazionale robusto e non gonfiato. La sua traiettoria è modesta, con la crescita scesa dal 29 per cento del 2021 al 5 per cento del 2025, il che porta a proiettare per il 2030, applicando un intervallo di crescita che va dal 5 per cento nazionale attuale al 9,3 per cento del passo europeo, un mercato professionale compreso all'incirca tra 215 e 260 milioni di euro, valore che dichiaro come stima interpolata e non come dato di fonte [4]. A questo nucleo vanno aggiunte le adiacenze che la piattaforma modulare del progetto tocca direttamente. La prima è il mercato dei droni marini e subacquei, che in Italia è stimato passare da 63,4 milioni nel 2022 a 189 milioni nel 2030, rilevante per la gamba istituzionale della subacquea e della protezione delle infrastrutture sottomarine [9]. La seconda è il mercato dei servizi di osservazione della Terra, un comparto che a scala europea cresce da 3,5 a 7,9 miliardi di euro tra il 2024 e il 2034 [10] e che in Italia vale circa 340 milioni di euro nel 2025 con una crescita del 17 per cento e nel quale il 62 per cento delle imprese adotta o valuta modelli as-a-service, un mercato adiacente di cui il progetto è di fatto un abilitatore aereo più

che un concorrente diretto, e che va quindi contato solo per una frazione [11]. Sommando il nucleo professionale proiettato e la sola quota indirizzabile di queste adiacenze si ottiene un mercato totale indirizzabile italiano che stimo, al 2030, in un intervallo prudenziale compreso tra 250 e 450 milioni di euro, dove l'estremo inferiore riflette il solo mercato professionale e l'estremo superiore include la parte marina e una fetta contenuta dei servizi EO.

Sopra questa stima onesta va segnalato un tetto ottimistico, da maneggiare con cautela. La società di consulenza PwC Strategy& misura un comparto allargato droni più mobilità aerea avanzata che vale 503 milioni nel 2024, 597 milioni nel 2025 ed è proiettato a circa 1,46 miliardi nel 2030 [7]. Quella cifra non è confrontabile con il mercato professionale reale perché al suo interno il trasporto passeggeri passerebbe da 37 a 366 milioni e la componente istituzionale da 152 a 349 milioni tra il 2025 e il 2030, mentre il solo segmento cargo salirebbe da 84 a 284 milioni [7][8]. Al netto del trasporto passeggeri, che è la componente più speculativa e meno pertinente a un servizio di monitoraggio con velivolo compatto, il perimetro allargato professionale più istituzionale più cargo si aggira attorno a 560 milioni nel 2025 e potrebbe avvicinare 1,1 miliardi nel 2030, ma resta una stima a confidenza media che ingloba componenti in larga parte ancora ipotetiche e che va usata come soffitto teorico dell'ambizione di settore, non come misura dello spazio aggredibile oggi. Confondere i 168 milioni del mercato operativo reale con l'1,46 miliardi del comparto allargato sarebbe l'errore metodologico più grosso possibile in questa sezione, ed è esattamente per questo che il TAM di lavoro resta ancorato al dato professionale verificato.

Livello del funnel	Perimetro	Stima annua	Natura del dato
Contesto globale	servizi da drone civili nel mondo, 2026	circa 35 miliardi di dollari	verificato, non indirizzabile
Contesto europeo	droni commerciali UE, 2024	7,63 miliardi di dollari	verificato, non indirizzabile
TAM Italia nucleo	servizi professionali da drone, 2025	168 milioni di euro	verificato
TAM Italia proiettato	nucleo professionale al 2030	215-260 milioni di euro	stima interpolata
TAM Italia esteso	nucleo più adiacenze marine ed EO al 2030	250-450 milioni di euro	stima
Tetto ottimistico	comparto allargato droni più mobilità aerea al 2030	circa 1,46 miliardi di euro	stima a confidenza media

Il mercato servibile, quanto un velivolo compatto modulare long-endurance può davvero prendere

Il salto dal totale indirizzabile al servibile consiste nel togliere tutto ciò che il prodotto del progetto non può o non deve servire e nel tenere solo le missioni in cui la persistenza in volo, la capacità di operare oltre la linea di vista e la modularità del payload fanno davvero la differenza. La leva per operare questo filtro è la composizione applicativa del mercato professionale italiano, dove le ispezioni e i sopralluoghi valgono circa il 43 per cento dell'attività, la sicurezza e sorveglianza circa il 18 per cento e la ricerca e soccorso circa il 12 per cento [6]. Non tutte queste attività premiano una piattaforma long-endurance, perché una quota rilevante delle ispezioni è lavoro ravvicinato che si fa meglio con un multirotore a corto raggio, come mostra il fatto che la stessa ispezione dei ponti ferroviari nella gara vinta in Italia si esegue tipicamente con multirotori e non con un velivolo ad alta persistenza. Il sottoinsieme che appartiene al progetto è quello in cui la persistenza paga, cioè la sorveglianza di area, il monitoraggio ambientale e dei rischi, l'ispezione lineare estesa delle reti elettriche, ferroviarie

e delle condotte, la ricerca e soccorso su aree ampie e impervie e il marittimo costiero. Assumendo che alla piattaforma competa l'intera fetta di sicurezza e sorveglianza, l'intera fetta di ricerca e soccorso e circa un terzo di quella di ispezione, quella lineare dove l'autonomia conta, si ottiene che poco più del 40 per cento del mercato professionale è in linea di principio pertinente alla persistenza, ovvero dell'ordine dei 70-75 milioni di euro nel 2025, valore che dichiaro come mia stima costruita sulla composizione applicativa.

Questa cifra va però corretta al ribasso per un motivo economico e non tecnico. Gran parte di quel lavoro pertinente è oggi svolto da centinaia di piccoli operatori con hardware di scaffale a prezzi commoditizzati, e non è terreno difendibile per un nuovo entrante che vi si presentasse a competere sull'ora di volo. Il mercato realmente servibile dal progetto non è tutta la fetta a persistenza ma la sua parte a più alta disponibilità a pagare, quella istituzionale e ricorrente e quella che richiede prestazioni che il multirotore commerciale non raggiunge, e la stimo prudenzialmente in un intervallo compreso tra 25 e 40 milioni di euro l'anno di domanda italiana, in crescita al ritmo del traino pubblico. A questa domanda misurata dentro il mercato professionale va aggiunto un secondo strato che quel mercato di 168 milioni in larga parte non cattura, quello del procurement istituzionale a contratto quadro, il cui ordine di grandezza è ben più grande della singola commessa privata. L'agenzia europea per la sicurezza marittima acquista servizi di sorveglianza a contratti quadro dell'ordine di 30 milioni di euro ciascuno e li eroga gratuitamente agli Stati, con un modello puro dato-come-servizio in cui l'agenzia compra il dato e non il mezzo [19], e a questo si somma il canale della subacquea e delle infrastrutture critiche, dove un singolo topic di un programma europeo sui fondali può valere da solo venti o 30 milioni di euro e il fabbisogno del polo subacqueo nazionale è stimato dalla stampa di settore nell'ordine delle decine di milioni l'anno [24]. Il mercato servibile del progetto è quindi la somma di una componente misurata di alcune decine di milioni l'anno dentro il mercato professionale e di un accesso, per subappalto o per consorzio, a un procurement istituzionale che si conta a decine di milioni per programma pluriennale. La distinzione è cruciale perché sposta il baricentro competitivo dal prezzo di listino alla capacità di stare dentro gli appalti e dentro i programmi di finanziamento.

Per dare concretezza a questa domanda in termini di prezzo unitario conviene ancorarsi ai pochi riferimenti robusti disponibili. Le tariffe orarie dei servizi da drone nel 2025 si collocano tra 150 e 400 dollari l'ora, con tariffe fisse per progetto tra 300 e 1.500 dollari [13], mentre il costo per ora di volo delle piattaforme più capaci varia enormemente con la scala e il contesto, da un centinaio a 400 dollari per i servizi commerciali fino a valori di gran lunga superiori nei programmi governativi mal ottimizzati, con l'eVTOL indicato attorno a 650 euro per ora di volo contro i 1.200 euro di un elicottero [14]. Questi numeri dicono che un servizio di persistenza che generi molte ore di volo utili al giorno su una stagione produce ricavi significativi solo se la tariffa è ancorata al valore dell'informazione prodotta e non alla semplice ora di volo commoditizzata, e giustificano la scelta di vendere un canone di servizio o un contratto data-as-a-service anziché ore sfuse. La leva della scala sul costo unitario è reale ma va dimostrata sul campo, come mostra il caso della consegna con droni in cui il costo per missione di un operatore è sceso da 20-30 dollari a sotto 4 dollari con la crescita dei volumi, in un segmento peraltro ancora immaturo il cui mercato mondiale è stimato passare da 472 milioni di dollari nel 2024 a circa 5,76 miliardi nel 2032 [15]. Che la fattibilità economica dipenda in modo decisivo dal modello e dal contesto lo conferma la letteratura tecnico-economica, dove uno studio su droni agricoli riporta un tasso interno di rendimento del 22,62 per cento e un tempo di ritorno di 2 anni e 10 mesi, un risultato positivo ma non trasferibile in automatico al contesto italiano e citato qui solo come ordine di grandezza della redditività possibile in un verticale ben scelto [17].

Il mercato aggredibile, quanto Firmamento può realisticamente catturare

Il mercato ottenibile è la frazione del servibile che Firmamento può davvero conquistare nei primi anni, ed è meglio stimarlo dal basso, ricostruendo i contratti plausibili, che non applicando una quota percentuale astratta al servibile. Il primo mattone è il pilota operativo. Il modello economico del progetto prevede un doppio binario in cui l'impresa opera da subito una piattaforma commerciale come fornitore di servizio per generare cassa mentre sviluppa in parallelo il velivolo proprietario, e stima l'investimento di avvio del servizio in 385.000 euro [27]. Il secondo mattone è la prima commessa pubblica ricorrente, per la quale il riferimento più solido è il modello con cui la Regione Calabria finanzia con 5 milioni di euro di fondi strutturali europei una rete di circa cinquanta stazioni-hub per l'allerta precoce degli incendi boschivi, un investimento pluriennale che tradotto in canone annuo di servizio vale nell'ordine di alcune centinaia di migliaia fino a un milione e mezzo di euro l'anno [22]. Il terzo mattone sono le commesse minori di servizio, ispezione di tratte lineari, monitoraggio agricolo e ambientale, supporto alla ricerca e soccorso, ciascuna dell'ordine di poche centinaia di migliaia di euro. Il quarto è l'accesso, per subappalto o come operatore locale, a una quota di un contratto quadro di sorveglianza marittima del tipo di quelli da circa 30 milioni pluriennali, dove le operazioni di volo sono spesso subappaltate e un operatore radicato sul Golfo di Genova può ambire a catturarne una frazione [19]. Mettendo insieme questi mattoni con prudenza si arriva a stimare per il quinto anno un flusso di ricavi ricorrenti di servizio di 1,91 milioni di euro l'anno nello scenario di base, compreso fra 1,07 milioni nello scenario prudente e 3,28 milioni in quello favorevole, cifre che dichiaro come stima e che corrispondono a una quota compresa all'incirca tra l'1 e il 2 per cento del mercato totale indirizzabile italiano, un ordine di grandezza realistico e volutamente conservativo per un nuovo entrante di nicchia.

A questo flusso di mercato va affiancato, tenendolo però separato perché è denaro di natura diversa, il finanziamento non diluitivo che sostiene lo sviluppo della piattaforma sul binario del costruire. Lo Studio di Fattibilità stesso nasce da un contributo di 50.000 euro riconosciuto da Coopfond nell'ambito del programma Cooding II di Legacoop, prova che il canale cooperativo di sistema ha già messo denaro sul progetto [26]. A valle si aprono canali più capienti e cuciti sulla committenza di sicurezza, dal bando ligure Underwater Liguria che mette 7,5 milioni di euro su veicoli autonomi e robotica sottomarina con contributi fino a 800.000 euro per progetto, ai bandi dei programmi europei sulla protezione dei fondali dell'ordine di venti o 30 milioni per l'intero consorzio, fino ai seed del polo subacqueo nazionale [24][25], oltre ai piccoli ma preziosi contributi a fondo perduto per l'innovazione dei prodotti drone verso la committenza di sicurezza. Sul piano nazionale, inoltre, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza destina 2,49 miliardi di euro al dissesto idrogeologico e il piano 2024 del Ministero dell'Ambiente circa 1,084 miliardi alla mitigazione del rischio, bacini enormi rispetto alla scala di un servizio drone ma direttamente funzionali al monitoraggio del territorio e dei versanti, purché si superi il collo di bottiglia della capacità delle amministrazioni locali di tradurre le risorse in progetti operativi [23]. Sommando questi canali in modo prudente si può stimare un funding attivabile per la piattaforma dell'ordine di alcuni milioni, plausibilmente tra due e 7 milioni di euro lungo il periodo, che pagano la ricerca e sviluppo senza cedere quote e che vanno letti come mercato ottenibile nel senso della spesa pubblica attivabile più che come ricavo. La distinzione tra ricavo di servizio e funding di sviluppo è la chiave dell'intero modello, perché consente di sostenere lo sviluppo di un velivolo proprietario, la cui realizzazione è stimata dal progetto in 1,85-3,05 milioni di euro di stima puntuale per il dimostratore, con un inviluppo di pianificazione di 2,4-4,6 milioni che applica alla stima la contingenza della propria classe di accuratezza e un sistema tra 150.000 e 800.000 euro, senza dover generare fin

da subito ricavi di mercato impossibili per un'impresa giovane [27]. A questi costi di sviluppo vanno peraltro aggiunte le spese di certificazione dell'hardware deep-tech, che i riferimenti di settore collocano tra 5.000 e 15.000 dollari nella fase di pre-conformità e tra 15.000 e 50.000 dollari nella fase finale, voci contenute rispetto al capitale di sviluppo ma da mettere in conto nel piano finanziario [16].

Questa stima del mercato aggredibile va infine calibrata su un dato di realtà che impone umiltà. I tassi di sopravvivenza delle imprese giovani sono bassi, tanto che nel settore informatico statunitense solo circa un quarto delle aziende arriva a 7 anni di vita [18], e questo significa che il mercato ottenibile va stimato al ribasso e che la strategia deve ridurre il rischio esattamente dove il progetto lo colloca, cioè facendo pagare lo sviluppo dai fondi pubblici e agganciando ricavi ricorrenti a clienti istituzionali poco sensibili al prezzo. La struttura di costo dello stesso Studio, che destina oltre l'80 per cento del budget al personale altamente specializzato [28], è coerente con questa logica deep-tech in cui il valore si costruisce nella conoscenza e nella riduzione del rischio operativo prima che nella produzione di serie.

Livello del funnel	Perimetro	Stima annua	Natura del dato
SAM misurato	missioni a persistenza e alta disponibilità a pagare in Italia, 2025	25-40 milioni di euro annui	stima
SAM istituzionale	procurement marittimo e istituzionale accessibile per contratto quadro o consorzio	decine di milioni per programma pluriennale	verificato come ordine di grandezza
SOM anno 5, servizio	ricavi ricorrenti di servizio catturabili da Firmamento	1,91 milioni di euro annui nello scenario di base, 1,07-3,28 fra gli scenari	stima
SOM, funding di sviluppo	grant istituzionale e civili non diluitivi per la piattaforma	2-7 milioni di euro nel periodo	stima
Quota implicita	SOM di servizio sul TAM italiano proiettato	circa 1-2 per cento	stima

La strategia di ingresso, due ancore politico-istituzionali verso la scala di mercato

La strategia che discende da questo dimensionamento è quella che l'analisi consolidata della ricerca preliminare di mercato chiama multi-ancora verso la scala, e non è uno slogan ma la risposta logica al fatto che il mercato immediato è piccolo mentre la spesa pubblica attivabile è grande e la domanda istituzionale è la più solida [29]. L'idea è di usare due agganci politico-istituzionali, entrambi radicati in Liguria, per finanziare e legittimare il primo velivolo, e di lasciare che sia il mercato a sostenerne la crescita successiva. La prima ancora è civile e territoriale ed è quella delle aree interne e della Strategia Nazionale per le Aree Interne, il canale più coerente con l'identità cooperativa del progetto, che insiste su un bacino vasto del Paese, poiché le aree interne coprono circa il 60 per cento del territorio nazionale e ospitano una popolazione dell'ordine dei 13 milioni di residenti che esprime una domanda pubblica di monitoraggio e di servizi essenziali [31], e che nel ciclo corrente stanzia risorse verificate su fonte parlamentare nell'ordine dei 198,6 milioni di euro con una dotazione ricorrente di 4 milioni per singola area, traducendosi in Liguria in otto aree e in oltre 50 milioni di euro fra fondi statali e bandi regionali [20][21]. Il valore di questa ancora non sta nella sua dimensione di mercato, che è modesta, ma nel fatto che ha già fatto ottenere il bando, porta la sponsorship della Regione e del mondo Legacoop, offre un sito pilota nell'entroterra e dà accesso a fondi non diluitivi, e va quindi misurata con la metrica della spesa pubblica attivabile e non con

quella del TAM, perché misurarla con la metrica sbagliata la farebbe apparire debole. La seconda ancora è istituzionale ed è quella del polo subacqueo di La Spezia, che porta budget di natura diversa e più capienti attraverso i programmi europei e i bandi regionali sulla robotica sottomarina, e che apre alla stessa piattaforma modulare una seconda porta di finanziamento nello stesso territorio.

Il ponte tra le due ancore e i mercati di scala è un unico prodotto multi-ruolo modulare in classe compatta, con payload intercambiabili, che risolve alla radice la falsa alternativa tra fare un velivolo generalista e farne due specializzati. La stessa cellula monta il sensore termico per il monitoraggio degli incendi e dei rischi, la coppia ottico-termica per l'ispezione, il multispettrale per l'agricoltura e il relay per la connettività di emergenza, e questo consente di agganciare l'interesse politico per raccogliere i fondi e poi di scalare sui mercati che già pagano, la sorveglianza marittima istituzionale, l'ispezione delle infrastrutture lineari e l'agricoltura di precisione. La strategia si concretizza operativamente in un doppio binario che il progetto ha già disegnato. Sul binario dell'acquisto l'impresa opera da subito una piattaforma commerciale come fornitore di servizio, generando cassa e servendo immediatamente le ancore, mentre sul binario della costruzione sviluppa in parallelo il velivolo proprietario con la ricerca e lo sviluppo pagati dai programmi di ricerca e innovazione, cosicché le ancore pagano lo sviluppo e il servizio genera trazione [27]. Questa impostazione è anche la più attrattiva per un eventuale investitore, perché il modello a servizio con cliente pubblico ricorrente genera un portafoglio contrattuale pluriennale invece della vendita spot di un mezzo, ed è coerente con la migrazione del valore verso i servizi che caratterizza l'intero mercato mondiale e con la spinta europea al drone-come-servizio, stimata in crescita a un tasso composto del 24,5 per cento fino al 2034 [12].

La nicchia di partenza e la sequenza di espansione

La scelta della nicchia da cui partire è la decisione operativa più importante e va fatta tenendo separati due criteri, la solidità della domanda pagante e l'idoneità tecnica di un velivolo compatto ad alta persistenza. La sorveglianza marittima istituzionale è il mercato di scala più solido in assoluto, con la domanda pubblica più chiara, ricorrente e finanziata centralmente e con un possibile lead già sul Golfo di Genova a supporto della Guardia Costiera, e resta il bersaglio naturale della fase di scala [19][29]. Il monitoraggio dei rischi naturali, e in particolare degli incendi e del dissesto, è invece la nicchia in cui l'idoneità di un velivolo compatto long-endurance è massima e in cui esiste un proof-point diretto e trasferibile della strategia ancora verso scala, quello del modello calabrese che paga persistenza aerea sul territorio con fondi strutturali regionali, ed è la nicchia più coerente con l'ancora delle aree interne e con il sito pilota dell'entroterra ligure attorno all'Antola [22]. La lettura che emerge dal materiale è che la nicchia di partenza del pilota debba essere il monitoraggio ambientale e dei rischi nell'entroterra ligure, perché è insieme il miglior fit tecnico e il più coerente con l'ancora che ha già portato il bando, mentre il marittimo va tenuto come primo mercato di scala da aggredire subito dopo, e la subacquea istituzionale come motore di finanziamento dello sviluppo. La connettività alle aree interne, che era la promessa politica di partenza, va mantenuta come funzione di missione modulare e come gancio narrativo, un relay tattico di vallata in emergenza, ma non come business portante, perché un velivolo compatto a bassa quota non è una piattaforma stratosferica e non può fare da ponte verso i satelliti in orbita bassa come farebbe un HAPS, ragione per cui il caso di mercato va spostato sui verticali dove il velivolo è tecnicamente adatto e i clienti pagano già.

La sequenza di espansione segue una logica di ancoraggio progressivo e di land-and-expand di payload sullo stesso cliente. Nella prima fase, dall'oggi ai primi 3 mesi, si chiude lo Studio di Fattibilità, si raccolgono i preventivi dei fornitori con richieste formali di quotazione, si verifica il lead marittimo del Golfo di Genova e si punta sul bando ligure della robotica sottomarina in scadenza nel 2026 [27]. Nella seconda fase, fino al dodicesimo mese, si lancia il pilota sul binario dell'acquisto su una singola nicchia, il monitoraggio incendi o il marittimo, e si avvia in parallelo la ricerca e sviluppo del velivolo proprietario finanziata da un bando istituzionale. Nella terza fase, fino al trentaseiesimo mese, si porta a maturità il dimostratore proprietario e lo si trasforma in prodotto modulare, allargando l'offerta ai mercati di scala. Il meccanismo di crescita più efficiente lungo questa sequenza è vendere allo stesso cliente istituzionale missioni diverse sulla stessa piattaforma, offrendo alla Regione o all'ente che ha comprato il monitoraggio incendi anche l'ispezione delle reti, il supporto alla ricerca e soccorso e il monitoraggio del dissesto, perché ogni payload aggiuntivo aumenta il valore contrattuale senza moltiplicare il costo di acquisizione del cliente, e questo è esattamente il vantaggio strutturale di una piattaforma comune modulare rispetto a una flotta di velivoli specializzati.

Implicazioni per il progetto

Il dimensionamento e la strategia appena costruiti hanno alcune conseguenze dirette per il progetto. La prima è che l'obiettivo di ricavo non va calibrato sul TAM globale ma sul mercato ottenibile italiano, un flusso di servizio dell'ordine di pochi milioni di euro l'anno al quinto anno che corrisponde a una quota realistica di poche unità percentuali del mercato professionale nazionale, e che questo va accompagnato da un funding di sviluppo di alcuni milioni che paga la piattaforma senza diluire il capitale. La seconda è che la sequenza corretta mette in testa la nicchia a miglior fit tecnico e più coerente con l'ancora, cioè il monitoraggio ambientale e dei rischi nell'entroterra ligure, e non la connettività che era la promessa iniziale, e tiene il marittimo istituzionale come primo mercato di scala e la subacquea istituzionale come motore di finanziamento. La terza è che il baricentro competitivo si sposta dal prezzo di listino alla capacità di stare dentro gli appalti e i programmi, il che privilegia un attore radicato sul territorio ligure e legato al mondo cooperativo più della scala industriale pura, e rende la mappa dei finanziamenti attivabili non un capitolo accessorio ma la spina dorsale della strategia di ingresso. La quarta è che il modello dato-come-servizio con cliente pubblico ricorrente, oltre a essere il più difendibile, è anche il più adatto a costruire un portafoglio contrattuale pluriennale e a reggere la prova dei tassi di mortalità delle imprese giovani, purché la disciplina del prezzo ancori la tariffa al valore dell'informazione e non all'ora di volo commoditizzata.

Note e riferimenti

1. MaRS Discovery District, guida al dimensionamento del mercato. Metodologia TAM, SAM e SOM con approccio top-down dal dato aggregato al mercato accessibile. Riferimento metodologico. (met_e37974f721a9)
2. Drone Industry Insights, Global Drone Market Report 2026-2035, ripreso da DronEzine. Mercato civile mondiale da 44,4 a 83,0 miliardi di dollari al 2035, tasso composto 7,2 per cento, servizi 78,5 per cento del mercato civile nel 2026. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti. (mar_abee030a8bc9)
3. Grand View Research, Europe Commercial Drone Market, ripreso nel Market Analysis Report della ricerca preliminare di mercato. Da 7,63 miliardi di dollari nel 2024 a circa 12,96

miliardi nel 2030, tasso composto 9,3 per cento. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti. (proj_fase-a-analisi-di-mercato-deep-research)

4. Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata del Politecnico di Milano, dati 2025, ripresi da Osservatori.net e DronEzine. Mercato professionale a 168 milioni di euro con crescita 5 per cento, traiettoria in decelerazione dal 29 per cento del 2021, 95 per cento del valore da Aerial Operations, domanda pubblica al 10 per cento del valore. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti. (mar_c3e00d16272b, mar_5cb0ff2ebebb)
5. ANSA e Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata del Politecnico di Milano. Mercato professionale italiano a 160 milioni di euro nel 2024, crescita 10 per cento, 657 imprese, settore in consolidamento. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti. (mar_884c40105d07)
6. StartupItalia ed Economyup, con base Osservatorio Politecnico di Milano. Applicazioni professionali prevalenti, ispezioni e sopralluoghi circa 43 per cento, sicurezza e sorveglianza circa 18 per cento, ricerca e soccorso circa 12 per cento. Dato a fonte secondaria. (mar_16e519dffe81, mar_21fea4a0908a)
7. PwC Strategy& Italy, studio Advanced Air Mobility. Comparto allargato droni più mobilità aerea avanzata da 503 milioni nel 2024 a 597 milioni nel 2025 e proiezione a circa 1,46 miliardi nel 2030, con sicurezza da 152 a 349 milioni e trasporto passeggeri da 37 a 366 milioni. Stima a confidenza media, perimetro più ampio del mercato professionale reale. (mar_7fda798bc51a)
8. PwC Strategy& Italy via Supply Chain Italy. Segmento cargo drone italiano da 84 milioni nel 2025 a 284 milioni nel 2030. Stima direzionale. (mar_622571f66381)
9. PwC Strategy& Italy via ANSA. Droni marini e subacquei in Italia da 63,4 milioni nel 2022 a 189 milioni nel 2030, mercato mondiale da 5,9 a 18,9 miliardi di euro. Stima direzionale. (mar_c1bf6fd33f5b)
10. EUSPA, EU Space Market Report, triangolato nel report consolidato della ricerca preliminare di mercato. Mercato europeo dei servizi di osservazione della Terra da 3,5 a 7,9 miliardi di euro tra 2024 e 2034, con le sotto-cifre non verificabili in modo indipendente da non citare come dati certi. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
11. Osservatorio Space Economy del Politecnico di Milano via CorCom. Servizi italiani di osservazione della Terra a 340 milioni di euro nel 2025 con crescita del 17 per cento e 62 per cento delle imprese orientate a modelli as-a-service. Dato di testata a fonte secondaria. (mar_e1e5160803d9)
12. Europe Drone-as-a-Service Market. Tasso composto stimato al 24,5 per cento fino al 2034. Stima direzionale a fonte singola. (mar_6361c3d179a5)
13. UAV Coach, guida ai prezzi dei servizi da drone. Tariffe orarie tra 150 e 400 dollari nel 2025 e tariffe fisse per progetto tra 300 e 1.500 dollari. Dato di mercato statunitense, direzionale. (met_1b2a41e8ca42)
14. Sintesi documentale sui costi per ora di volo, benchmark commerciali e comparativi. Servizi commerciali da circa 100 a 400 dollari per ora di volo, eVTOL circa 650 euro contro 1.200 euro dell'elicottero, valori molto superiori nei programmi governativi mal ottimizzati. Dati compositi, ordine di grandezza. (tec_621446bb24b2, tec_e29b6e960ccc, tec_425c48058ccd)
15. Murzilli Consulting, unit economics della consegna con droni. Mercato mondiale della delivery da 472 milioni a 5.764 milioni di dollari tra 2024 e 2032 e costo per consegna di Manna sceso da 20-30 a sotto 4 dollari con la scala. Stima a fonte singola, direzionale. (met_e6158d2bdfff)

16. Guida al budget per hardware deep-tech. Costi di certificazione da 5.000-15.000 dollari in pre-compliance a 15.000-50.000 dollari in fase finale. Dato di riferimento. (met_808d74eec9b1)
17. Studio di fattibilità tecnico-economica su droni agricoli. Tasso interno di rendimento del 22,62 per cento e tempo di ritorno di 2 anni e 10 mesi. Studio estero, non trasferibile in automatico, citato come ordine di grandezza di redditività. (met_8e893b8a0ef5)
18. Damodaran, valutazione di imprese giovani e in crescita. Nel settore informatico statunitense solo circa il 24,78 per cento delle aziende sopravvive 7 anni. Dato di benchmark sulla mortalità delle startup. (met_50ab55a89c28)
19. ricerca preliminare di mercato, analisi di mercato del downstream, e dossier di controllo delle fonti. Modello EMSA dato-come-servizio con contratti quadro dell'ordine di 30 milioni di euro ciascuno nel 2025, l'agenzia compra il dato e non il mezzo, operazioni di volo spesso subappaltate. Dato confermato dal riscontro incrociato delle fonti. (proj_fase-a-analisi-di-mercato-deep-research, proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)
20. Dossier SNAI e overview del dominio contesto di mercato e finanziamenti. Strategia Nazionale per le Aree Interne, delibera CIPESS 41/2022 pari a 198,6 milioni di euro con dotazione ricorrente di 4 milioni per area, e complessivi 591,2 milioni di euro stanziati dal 2014 al 2023. Dato verificato su fonte parlamentare. (proj_dossier-snai, mar_dcb0a7ded278)
21. Regione Liguria, aree interne del ciclo 2021-2027. Otto aree SNAI liguri, estensione a nuovi comuni fino a un totale di 108, dotazione complessiva dichiarata di oltre 50 milioni di euro fra fondi statali e bandi FESR, FSE e sviluppo rurale. Dato verificato. (mar_ca762ffc5f5c, mar_e2f883113a84)
22. ricerca preliminare di mercato, downstream civile e terrestre, e fonte primaria Regione Calabria. Programma Regionale FESR FSE+ che finanzia con 5 milioni di euro circa cinquanta stazioni-hub per il volo automatico di droni con sensori termici per l'allerta precoce degli incendi entro il 2027. Analogo trasferibile, alta confidenza. (proj_fase-a-downstream-civile-terrestre-deep-research)
23. Dossier Camera dei Deputati e piano MASE, ripresi dall'overview del dominio contesto di mercato e finanziamenti. PNRR con 2,49 miliardi di euro al dissesto idrogeologico e circa 1,084 miliardi del piano 2024 del Ministero dell'Ambiente per la mitigazione del rischio. Dato verificato. (mar_32960b512158, mar_8ff5c1b3b272)
24. Report consolidato della ricerca preliminare di mercato e approfondimento subacquea PNS. Bandi dei programmi europei sulla protezione dei fondali dell'ordine di 20-30 milioni per consorzio, seed del polo subacqueo nazionale nell'ordine di alcuni milioni e fabbisogno stimato dalla stampa nell'ordine delle decine di milioni l'anno. Dato misto, ordine di grandezza. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato, proj_fase-a-approfondimento-subacquea-pns)
25. La Spezia, bando regionale Underwater Liguria. Circa 7,5 milioni di euro su veicoli autonomi e robotica sottomarina, contributi fino a 800.000 euro per progetto ad aggregazioni di imprese. Dato verificato su fonte, candidature nel 2026. (mar_4d5133a5f984)
26. Registro ufficiale Coopfond, programma Cooding II di Legacoop. Contributo di 50.000 euro riconosciuto allo Studio di Fattibilità del progetto Dato verificato, già erogato. (proj_reg-uff-coopfond-2025u0001593)
27. Sintesi decisionale del progetto e roadmap. Doppio binario acquisto e costruzione, pilota nell'ordine di 600.000-900.000 euro, investimento di sviluppo dell'ordine di 2-5 milioni per il dimostratore e sistema tra 150.000 e 800.000 euro, sequenza a tre fasi dallo Studio al prodotto modulare, verifica del lead Golfo di Genova e del bando subacqueo ligure. Stime

di progetto da confermare via richiesta formale di quotazione. (proj_one-pager-sintesi-per-la-riunione)

28. Piano economico dello Studio di Fattibilità Oltre l'80 per cento del budget destinato al personale altamente specializzato, con spese non-personale ridotte e abilitanti. Documento di progetto. (proj_piano-economico-prototype-cooding)
29. Market Analysis Report consolidato della ricerca preliminare di mercato. Strategia multi-ancora verso la scala, shortlist delle nicchie N1-N6 con priorità, struttura italiana con circa 657 operatori professionali e operazioni aeree pari a circa il 96 per cento del valore, conclusione che non c'è spazio per un service provider generico ma serve una nicchia difendibile. Sintesi decisionale della ricerca preliminare di mercato. (proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato)
30. CSET Georgetown, analisi del mercato UAV. DJI a circa il 90 per cento del mercato commerciale mondiale dei piccoli droni. Dato confermato. (met_3dcf1c9c6ce2)
31. Sintesi documentale del dominio aree interne e contesto di mercato e finanziamenti. Cornice territoriale delle aree interne italiane come bacino della domanda pubblica di monitoraggio e servizi essenziali. Sintesi di dominio. ()
32. Dossier di controllo delle fonti e delle citazioni del progetto Smontaggio delle cifre confutate o mal attribuite, fra cui la copertura di un milione di chilometri quadrati per una piattaforma d'alta quota sovrastimata di circa un ordine di grandezza, il bacino dei circa 2 miliardi e sei di persone senza connessione come dato sociale non trasferibile, e il downstream del posizionamento satellitare tra 300 e 580 miliardi come grandezza globale e non europea né del mercato del progetto (proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni)

CAPITOLO 3

Requisiti di missione e concetto operativo

IN BREVE

Traduce i bisogni in tredici requisiti verificabili, con l'autonomia sdoppiata per configurazione, e nel concetto operativo delle missioni: un velivolo compatto, modulare, operabile da spazi confinati e collegato oltre l'orizzonte.

13	4 kg	20-22 h
REQUISITI VERIFICABILI	CARICO UTILE MODULARE	AUTONOMIA SENZA MODULO VTOL

NEL CAPITOLO

3.1 Dai bisogni ai profili di missione . . . 146
3.2 I requisiti trasversali . . . 147
3.3 I due limiti dimensionali come requisito e come scelta consapevole . . . 150
3.4 Il decollo verticale modulare . . . 151
3.5 Il concetto operativo . . . 151
3.6 Implicazioni per il progetto . . . 152

Tavola 3.1. Un velivolo ad ala fissa a decollo verticale per sorveglianza civile in volo, di classe e impiego analoghi a quelli di progetto.

I due capitoli precedenti hanno risposto alle domande su quali bisogni esistano nelle aree interne e quale mercato possa remunerare la risposta. Questo capitolo compie il passo che sta tra la domanda e la macchina, e cioè traduce quei bisogni e quelle nicchie in requisiti, vale a dire in ciò che il velivolo deve saper fare, e in un concetto operativo, ovvero nel modo concreto in cui una missione si svolge dal decollo alla consegna del dato. È un passaggio decisivo perché fissa i paletti entro cui il capitolo successivo confronterà le architetture possibili, e ogni requisito scritto qui diventerà più avanti un criterio di scelta o di scarto. Per questa ragione il capitolo evita di elencare desideri e prova invece a ricavare ogni requisito da una necessità già dimostrata, distinguendo con onestà ciò che è imposto dalle missioni da ciò che resta un obiettivo ambizioso ancora da verificare sul piano fisico.

3.1 Dai bisogni ai profili di missione

Un requisito nasce da una missione, e le missioni che il progetto deve servire discendono direttamente dalle nicchie individuate nell'analisi di mercato. Metterle a confronto secondo il carico utile che richiedono, la persistenza necessaria, l'area da coprire, la quota di volo e il tipo di collegamento dati permette di leggerle non come casi isolati ma come varianti di un unico problema progettuale [1]. La tabella che segue raccoglie i profili così come emergono dai sistemi realmente in servizio e dai bisogni delle nicchie, e costituisce l'ossatura da cui derivano i requisiti veri e propri.

Missione	Carico utile tipico	Persistenza	Area e quota	Collegamento dati	Decollo
Connettività di vallata	Ripetitore per telefonia, wi-fi e internet delle cose	Alta	Locale, quota bassa	Da gateway	Da terra o verticale

Missione	Carico utile tipico	Persistenza	Area e quota	Collegamento dati	Decollo
Consegna sanitaria	Modulo di trasporto per farmaci, sangue e defibrillatori, circa 3 o 4 chili	Bassa, missione punto a punto	Valli interne, quota bassa	Quasi in tempo reale	Verticale da piazzola
Monitoraggio rischi e incendi	Ottico e termico con intelligenza a bordo	Alta, sorveglianza continua	Vallata e area interna, quota bassa	Quasi in tempo reale	Da terra
Ispezione infrastrutture	Immagini ottiche, termiche e geometriche	Media e alta	Tratte lunghe, quota bassa	Registrazione o ponte	Da terra
Agricoltura di precisione	Sensori multispettrali	Media	Campi e comprensori, quota bassa	Registrazione	Da terra
Sorveglianza marittima	Sensori ottici e infrarossi con radar, circa 8 chili	Da 10 a 14 ore	Ampia, sul mare, fino a circa 21.000 piedi	In tempo reale, oltre l'orizzonte via satellite	Anche da nave, piazzola cinque per 5 metri
Gateway subacqueo	Ripetitore di comunicazioni con sensori ottici e acustici	Da 12 a 22 ore	Costiera e offshore, quota bassa o media	Oltre l'orizzonte, ponte multidominio	Da nave

La lettura trasversale di questa tabella conferma la conclusione già emersa nell'analisi di mercato, e cioè che un solo velivolo può servire tutte queste missioni a patto di cambiare il carico utile, perché ciò che varia da una riga all'altra è soprattutto il sensore trasportato mentre restano costanti la fascia di peso, la quota bassa e la necessità di volare a lungo [1]. È da questa costanza di fondo che nasce il primo e più importante requisito, la modularità, e sono le differenze residue a definire i requisiti che il velivolo dovrà soddisfare nella configurazione più esigente.

3.2 I requisiti trasversali

Il requisito che condiziona ogni altra scelta è il rapporto tra persistenza, peso e carico utile. Le missioni che chiedono di restare in volo per molte ore sono il presidio continuo dei rischi naturali sulle valli interne e, sul versante istituzionale che sostiene i ricavi, la sorveglianza marittima, e l'obiettivo dichiarato dal progetto è arrivare a una giornata intera di autonomia restando sotto i 25 chilogrammi, un traguardo che il materiale interno riconosce come ambizioso e in tensione con le leggi della fisica, perché ogni ora di volo in più richiede energia e quindi peso, sottratto al carico utile o alla struttura [1][2]. Fissare questo requisito significa quindi accettare fin da ora che la sua verifica quantitativa, il bilancio tra massa ed energia, sarà il cuore del confronto tra architetture e potrà costringere a rivedere il numero di ore realmente raggiungibile. Il progetto lavora oggi su un obiettivo realistico attorno alle 20 o 22 ore in classe compatta, con la giornata piena come aspirazione da confermare [2].

Al requisito di persistenza si affianca quello del collegamento dati oltre l'orizzonte. Le missioni marittime e subacquee non possono contare sul solo collegamento a vista, perché il velivolo opera lontano dalla base e talvolta oltre la curvatura terrestre, e questo impone la capacità di trasmettere e ricevere attraverso reti cellulari, collegamenti radio a lungo raggio o satellite, con la latenza compatibile con il controllo in tempo reale [1]. La scelta di questo

canale non è neutra rispetto alla sovranità dei dati, tema che un capitolo dedicato affronterà per esteso, perché appoggiarsi a costellazioni satellitari straniere introduce dipendenze che il progetto ha ragione di voler evitare.

Il terzo requisito trasversale è la flessibilità del decollo. Se le missioni terrestri partono da terra senza particolari vincoli, quelle marittime richiedono di poter decollare e rientrare anche da una nave, in uno spazio ridotto dell'ordine di 5 metri per cinque [1], e questa esigenza, insieme alla necessità di operare da radure e piazzole improvvisate nelle valli interne, spinge con forza verso la capacità di decollo e atterraggio verticale. Il quarto requisito, infine, è la modularità del vano di carico, che deve trasformare lo stesso velivolo da ripetitore di connettività a sentinella antincendio a vettore di consegna sanitaria, e sul versante istituzionale a sorvegliante marittimo, semplicemente sostituendo il carico utile [1]. Le missioni, prese una per una, chiedevano una capacità dell'ordine di 6 o 8 chilogrammi, ma il bilancio di massa ed energia del capitolo tecnico ha mostrato che sotto il vincolo dei 25 chilogrammi complessivi quel valore è incompatibile con le 20-22 ore di autonomia, e ha fissato il carico utile di progetto a 4 chilogrammi [6]. È entro quei 4 chilogrammi che la modularità va realizzata, e la sezione sulla matrice dei requisiti ne registra la conseguenza sui sensori più pesanti.

La matrice dei requisiti, delle verifiche e delle fonti

I requisiti fin qui argomentati vanno fissati in forma tracciabile, perché un requisito che non indichi come si verifica e da dove discende non è ancora un requisito ma un'intenzione. La tabella seguente li raccoglie assegnando a ciascuno un identificativo stabile, il valore obiettivo, il metodo con cui se ne accerta il soddisfacimento e il capitolo dello studio in cui la verifica è trattata. È la matrice su cui si costruirà il piano di prova del prototipo, e ogni riga sopravvive ai capitoli successivi come impegno verificabile.

Id	Requisito	Valore obiettivo	Metodo di verifica	Trattazione
RQ-01	Massa massima al decollo	inferiore a 25 kg, valore di progetto 23,7 kg in configurazione capillare e 20,9 kg in configurazione di persistenza	pesatura del sistema completo in entrambe le configurazioni operative	capitolo 5, bilancio di massa
RQ-02	Apertura alare	inferiore a 3 m, valore di progetto 2,9 m con allungamento 10 e superficie di 0,84 m²	misura diretta sulla cellula	capitoli 5 e 7
RQ-03a	Autonomia in configurazione di persistenza, senza modulo di decollo verticale	20-22 h con carico utile di 4 kg	prova in volo di durata a quota e velocità di riferimento, con lancio assistito	capitolo 5, meccanica del volo
RQ-03b	Autonomia in configurazione capillare, con modulo di decollo verticale	10-13 h con carico utile di 4 kg	prova in volo di durata con il modulo montato, partenza e rientro verticali	capitolo 5, meccanica del volo e sezione 5.9
RQ-04	Carico utile intercambiabile	4 kg di massa utile, sostituzione in meno di 30 minuti	prova di sostituzione a banco con cronometraggio e pesatura del modulo	capitolo 5, payload e modularità

Id	Requisito	Valore obiettivo	Metodo di verifica	Trattazione
RQ-05	Decollo e atterraggio verticale	area operativa di 5 m per 5 m, anche da nave	prova di decollo e recupero su piazzola delimitata e su piattaforma mobile	capitolo 5, transizione e VTOL
RQ-06	Collegamento oltre l'orizzonte	continuità del comando e controllo con latenza compatibile con il pilotaggio	prova di collegamento su tratta rappresentativa con misura della latenza	capitolo 5, comunicazioni
RQ-07	Elaborazione a bordo	trasmissione del solo risultato elaborato, riduzione della banda richiesta	confronto della banda occupata fra trasmissione grezza ed elaborata	capitoli 5 e 8
RQ-08	Autorizzazione al volo oltre la linea di vista	autorizzazione operativa in categoria specifica, livello di severità contenuto	valutazione del rischio operativo e istanza all'autorità	capitolo 7
RQ-09	Copertura assicurativa	non inferiore a 750.000 diritti speciali di prelievo	polizza in corso di validità	capitoli 7 e 10
RQ-10	Disponibilità al volo in condizioni reali	almeno 600 ore volabili l'anno per sistema, pari a una finestra utile non inferiore al 55 per cento delle giornate, con vento fino a 12 m/s e assenza di condizioni di formazione di ghiaccio	registrazione delle ore volate e delle giornate perse per meteo su una stagione intera, confrontata con la serie storica della stazione dell'Antola	capitoli 5 e 10
RQ-11	Costo pieno per ora di volo	non superiore a 544 euro a 600 ore l'anno	rilevazione a consuntivo dei costi di esercizio sul primo anno di servizio	capitolo 10
RQ-12	Sovranità del dato	archiviazione ed elaborazione su infrastruttura soggetta al diritto europeo	verifica contrattuale e valutazione d'impatto sulla protezione dei dati	capitolo 8

Due righe della matrice, la RQ-03a e la RQ-03b, meritano di essere lette insieme perché registrano il compromesso centrale del progetto e correggono un modo di dire che sarebbe stato comodo e sbagliato. Sarebbe stato comodo scrivere una sola riga di autonomia con il valore migliore, cioè le 20 o 22 ore. Sarebbe stato sbagliato perché quel valore appartiene alla configurazione senza il modulo di decollo verticale, e il decollo verticale è precisamente ciò che la RQ-05 pretende per poter partire da un'area di cinque metri per cinque e da una nave. Le due righe non sono quindi due requisiti alternativi ma due condizioni operative dello stesso velivolo, e chiedere a un'unica configurazione di soddisfarle insieme sarebbe una richiesta impossibile, come il bilancio energetico della sezione 5.9 dimostra. La conseguenza va portata fino in fondo, perché tocca il piano di impiego prima ancora della tecnica. Le missioni che partono dalle radure di fondovalle e dai piazzali dei borghi, cioè la maggior parte di quelle dell'entroterra, si volano in configurazione capillare e durano una mezza giornata,

mentre le missioni di lunga persistenza si volano dalle basi attrezzate, tipicamente costiere, dove il lancio assistito è possibile. Il concetto operativo e il conto delle ore vendibili poggiano su questa distinzione e non sul solo valore di punta.

Una terza riga merita di essere spiegata, perché registra una revisione del requisito e non la sua semplice trascrizione. Le missioni, lette una per una, chiedevano un vano capace di 6-8 chilogrammi, ed è il valore con cui il requisito era stato formulato in origine. Il bilancio di massa ed energia svolto nel capitolo tecnico ha però mostrato che sotto il vincolo dei 25 chilogrammi complessivi quel valore non è compatibile con le 20-22 ore di autonomia, e ha portato il carico utile di progetto a 4 chilogrammi [6]. RQ-03 e RQ-04 recepiscono quindi il valore che il bilancio chiude, non quello che le missioni desideravano, e la conseguenza va detta senza attenuazioni: la combinazione simultanea di più sensori pesanti, e in particolare il radar di fascia alta, esce dalla configurazione di base e va servita con una piattaforma di classe superiore, mentre dentro i 4 chilogrammi restano possibili la torretta ottica e infrarossa, il ripetitore di connettività, il radar leggero a schiera e il modulo di trasporto sanitario. È il primo caso, in questo studio, in cui un requisito è stato abbassato dall'evidenza tecnica anziché difeso, e registrarlo nella matrice è più utile che nasconderlo.

Due altre righe meritano una nota perché sono quelle che più spesso vengono omesse nei documenti di questo tipo. La prima è RQ-10, la disponibilità al volo in condizioni reali, che non è una prestazione del velivolo ma una proprietà statistica del suo impiego, e va misurata su una stagione intera perché è solo su quell'orizzonte che il meteo mostra il proprio effetto; è anche il requisito che collega direttamente la tecnica all'economia, perché le ore perse per condizioni avverse sono ore non fatturate. La riga porta ora un valore numerico e non più una formula qualitativa, cioè le 600 ore l'anno per sistema su cui il capitolo economico costruisce il proprio caso base, e va detto con franchezza che quel valore è oggi un obiettivo e non una misura, perché la documentazione raccolta per questo studio non contiene serie di flyability per l'Appennino ligure e la letteratura disponibile sui sistemi senza pilota nelle aree interne italiane non copre le condizioni meteorologiche locali. Fissarlo come requisito verificabile, anziché lasciarlo implicito nel piano economico, è il modo di trasformare una lacuna informativa in un compito assegnato, e la sua verifica sulla prima stagione di esercizio è fra i dati che il capitolo economico indica come prioritari da raccogliere. La seconda è RQ-11, il costo pieno per ora di volo, che è un requisito a tutti gli effetti e non una conseguenza, perché se il costo consuntivo eccede la soglia il servizio non è vendibile alla tariffa su cui il piano è costruito, e la verifica va quindi impostata fin dal primo esercizio con una contabilità analitica che separi i costi per sistema e per commessa.

3.3 I due limiti dimensionali come requisito e come scelta consapevole

Tra tutti i requisiti, quello sui limiti di massa e di dimensione merita un discorso a parte perché è insieme un vincolo tecnico e una scelta strategica. Il progetto si impone di restare sotto i 25 chilogrammi di massa al decollo e sotto i 3 metri di dimensione caratteristica, che per un'ala fissa è l'apertura alare, e li assume entrambi come requisiti distintivi. La ragione è che quei due numeri ricorrono in tre luoghi diversi del quadro europeo, cioè fra i requisiti di ogni marcatura di classe, nella tabella con cui il metodo europeo calcola il rischio intrinseco a terra e nei tetti di accesso alle procedure autorizzative semplificate, cosicché rispettarli apre insieme la porta del prodotto vendibile e quella del permesso rapido, come il capitolo normativo mostrerà [3][5].

Va però corretto fin d'ora un punto che il materiale preparatorio dava per acquisito, perché la sua smentita cambia il modo di raccontare la scelta senza cambiarne i numeri. La marcatura C3, che quei documenti attribuivano alla piattaforma ibrida, richiede al velivolo di essere alimentato esclusivamente a elettricità, e resta quindi preclusa a qualunque motorizzazione a combustione, pura o ibrida che sia. La classe che ammette insieme l'ala fissa e la propulsione ibrida è la C6, che eredita entrambi i limiti dimensionali, e i due requisiti di questa sezione restano perciò identici mentre cambia l'etichetta sotto cui il velivolo li soddisfa. Ne discende, come il capitolo normativo argomenta, che la marcatura di classe interessa soprattutto la variante elettrica destinata alla vendita, mentre la variante ibrida destinata al servizio si autorizza per la via delle valutazioni di rischio predefinite, che una marcatura non la richiedono affatto.

Il progetto assume questa doppia disciplina consapevole di un costo. I sistemi che oggi vincono i contratti pubblici nella stessa fascia di peso, dal Flexrotor ai velivoli della famiglia Rapier, superano i 3 metri di apertura e rinunciano quindi a ogni marcatura, il che consente loro prestazioni al più pari o superiori a quelle raggiungibili restando dentro il vincolo [2]. Restare compatti significa dunque rinunciare a un margine di prestazione bruta in cambio di un vantaggio autorizzativo e di posizionamento, perché la compattezza sotto i 3 metri abbassa la classe di rischio a terra, conserva i percorsi predefiniti previsti dalla normativa e riduce il costo e i tempi per ottenere il permesso di volo oltre la vista. È una decisione di progetto, non un dato di natura, ed è bene che lo studio la presenti come tale. Va aggiunto, e il capitolo normativo lo quantifica, che i due limiti non hanno lo stesso prezzo, perché superare i 25 chilogrammi non peggiora affatto la classe di rischio mentre superare i 3 metri la peggiora di un gradino e cancella insieme marcature e procedure semplificate, cosicché il bersaglio dimensionale va fissato attorno ai 2,8 metri con margine costruttivo anziché sui 3 metri esatti, che il regolamento colloca già fuori dalla classe.

3.4 Il decollo verticale modulare

La capacità di decollo verticale risolve il problema della capillarità, cioè della possibilità di operare ovunque senza piste né catapulte, e proprio per questo è preziosa in un territorio di montagna [1][2]. Presenta però un rovescio che il progetto ha già misurato e che va dichiarato, perché mantenere in permanenza i rotori e la meccanica necessari al volo verticale appesantisce il velivolo e riduce sensibilmente l'autonomia, con un calo che il confronto con sistemi analoghi stima intorno al 36 per cento [2]. La soluzione che concilia le due esigenze non è un velivolo sempre in configurazione verticale ma una cellula ad ala fissa pensata per la lunga persistenza a cui si aggiunge un modulo di decollo verticale rimovibile, montato quando la missione richiede di partire da uno spazio confinato e smontato quando conta massimizzare le ore di volo [2]. Questo requisito di modularità della propulsione, oltre che del carico utile, sarà uno dei criteri con cui il capitolo successivo giudicherà le architetture candidate, e anticipa la scelta di una catena propulsiva capace di alimentare in modo diverso la crociera e la fase verticale.

3.5 Il concetto operativo

Definiti i requisiti, resta da immaginare come una missione si svolge realmente, perché è il concetto operativo a dire se il sistema è utilizzabile da chi dovrà servirsene. Nel disegno del progetto una missione tipica nasce da una richiesta del cliente, un comune, la Protezione

Civile o un'agenzia, di una stazione di controllo a terra e del personale abilitato. Il volo si svolge in gran parte a quota bassa, entro i volumi di spazio aereo che la regolamentazione europea sull'integrazione dei droni definisce per le operazioni a bassa altitudine, con regole diverse a seconda del rischio a terra e in aria e della densità di traffico [4]. Nella fase iniziale, e in coerenza con la prudenza che il capitolo normativo giustificherà, le missioni si svolgono a vista o entro spazi ristretti e autorizzati, mentre il volo oltre la vista viene istruito in parallelo e attivato progressivamente man mano che maturano le autorizzazioni e l'esperienza operativa [2]. Il dato raccolto, che sia un'immagine termica di un versante o una mappa di un incendio nascente, viene elaborato e restituito attraverso il segmento di terra, che ne garantisce la conservazione e il riuso sul territorio, e il modo in cui questo segmento tratta e protegge i dati è a sua volta oggetto di un capitolo dedicato, perché tocca la sovranità informativa che il cliente ha posto tra le proprie priorità.

Figura 3.1. Il profilo di una missione tipo. Il modulo di decollo verticale permette di operare da spazi confinati, la crociera ad ala fissa copre la distanza e la stazione di missione, dove il velivolo resta in quota a svolgere il proprio compito prima del rientro.

3.6 Implicazioni per il progetto

I requisiti raccolti in questo capitolo disegnano un velivolo preciso, una cellula ad ala fissa compatta sotto i 3 metri e i 25 chilogrammi, con decollo verticale modulare, capace di volare per molte ore, di collegarsi oltre l'orizzonte e di cambiare missione sostituendo un carico utile di 4 chilogrammi, operabile da terra e da nave e gestito da Firmamento Technologies, la cooperativa che opera il servizio. È il ritratto che il confronto tra architetture del capitolo successivo dovrà rendere concreto, scegliendo la configurazione e la propulsione che meglio lo realizzano. Due verifiche restano però esplicitamente aperte e non possono essere chiuse qui. La prima è il bilancio tra massa ed energia, perché solo un calcolo dettagliato dirà se e con quale propulsione la giornata intera di autonomia sia raggiungibile in classe compatta, o se il requisito vada ridimensionato verso le 20 ore. La seconda è la raccolta dei fabbisogni reali delle 10 cooperative della rete, perché sono loro a dover confermare quali missioni servano davvero, con quale frequenza e con quali vincoli locali, e questa co-progettazione trasformerà i requisiti provvisori di questo capitolo nelle specifiche definitive dello studio.

Note e riferimenti

Le fonti sono letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Analisi di mercato consolidata della ricerca preliminare di mercato, con i profili di missione e i requisiti trasversali, `proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato`
2. Nota Strategica sul posizionamento, con classe C3, decollo verticale modulare e obiettivo di persistenza, `proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid`
3. Requisiti tecnici delle classi di droni dal C0 al C6, `tec_d27fe10f2600`
4. Concetto operativo europeo per lo spazio aereo a bassa quota, `met_bd60ccd3e1fe`
5. Sistema di classificazione e categorie operative dei droni, `tec_6a0c4ae0a573`
6. Bilancio preliminare di massa ed energia e studio dei pesi dei carichi utili applicativi, riduzione del carico utile di progetto da 6 a 4 chilogrammi per chiudere il bilancio a 20-22 ore di autonomia sotto i 25 chilogrammi complessivi, `proj_fase-b-trade-study-architetture` e `proj_fase-b-studio-pesi-payload-applicativi-contemplati`

CAPITOLO 4

Confronto delle alternative di piattaforma (DOCFAP)

IN BREVE

Confronta le architetture candidate con il metodo del documento di fattibilità delle alternative e scarta, per ragioni fisiche ed economiche, tutte le opzioni tranne una: la classe compatta a propulsione ibrida.

HALE	Batterie	Ibrido serie
SCARTATA: IL SOLE INVERNALE NON BASTA	INSUFFICIENTI ALLA PERSISTENZA	LA SCELTA DEL CONFRONTO

NEL CAPITOLO

4.1 La domanda centrale, una giornata di volo sotto i 25 chili . . . 156
4.2 Le architetture in campo . . . 157
4.3 Il confronto pesato . . . 157
4.4 La scelta . . . 158
4.5 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte . . . 159

Parte I dello Studio di Fattibilità, Firmamento Technologies. Le fonti sono richiamate con un numero tra parentesi quadre e raccolte nell'indice dei riferimenti in fondo al capitolo. Questo capitolo svolge la funzione del Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali previsto dalla metodologia italiana degli studi di fattibilità.

Fin qui lo studio ha stabilito di quali servizi c'è bisogno, quale mercato può remunerarli e quali requisiti il velivolo deve soddisfare. Arriva ora il momento della scelta, e cioè il confronto tra le architetture possibili per capire quale realizzi quei requisiti al costo e al rischio più bassi. La metodologia italiana degli studi di fattibilità chiama questo passaggio Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali, e ne fa il perno su cui ruota l'intera decisione, perché è qui che le opzioni vengono messe a confronto in modo trasparente prima di sviluppare in dettaglio quella prescelta. Il confronto che segue non parte da preferenze ma da un calcolo, il bilancio di primo livello tra massa, energia e potenza, integrato dai dati dei sistemi realmente in servizio e da una valutazione pesata dei criteri che contano per il progetto. La domanda a cui tutto il capitolo risponde è una sola e molto concreta, se sia fisicamente possibile volare per una giornata intera restando sotto i 25 chilogrammi, e con quale architettura.

4.1 La domanda centrale, una giornata di volo sotto i 25 chili

La risposta che emerge dal calcolo è netta e va enunciata subito, perché condiziona ogni scelta successiva. Ventiquattro ore di autonomia in classe compatta sono raggiungibili soltanto con un velivolo ad ala fissa alimentato a combustibile o con una catena ibrida, mentre non lo sono né con le sole batterie né con il solo sole [1]. La ragione sta in un ordine di grandezza semplice. Un velivolo di questo tipo consuma in crociera una potenza dell'ordine di 400 watt, il che significa fra otto e mezzo e 12 kWh di energia per coprire una giornata [1]. Se questa energia dovesse venire da una batteria, servirebbero tra i 42 e i 75 chilogrammi di accumulatori a seconda della densità energetica di pacco, una massa che da sola supera il peso totale ammesso, e questo spiega perché l'autonomia realistica di un velivolo a sole batterie si fermi intorno alle 9 o 11 ore [1]. La conclusione è rafforzata da una precisazione tecnica che il progetto ha avuto l'onestà di registrare, e cioè che le densità energetiche più alte che si leggono nelle schede, attorno ai 250 o 300 wattora per chilo, si riferiscono alla singola cella e non al pacco completo installato sul velivolo, che nella realtà aeronautica scende tra i 160 e i 200 wattora per chilo [1][3].

La stessa energia, se prodotta bruciando combustibile, richiede invece appena 3,5-4,5 kg di benzina, un peso perfettamente compatibile con i 25 chilogrammi anche tenendo conto del carico utile, ed è precisamente ciò che i velivoli commerciali della stessa taglia dimostrano ogni giorno, con autonomie intorno alle 20 o 22 ore [1]. Il sole, che il cliente immaginava come motore del velivolo, si rivela invece un semplice supplemento, perché alla latitudine ligure e a bassa quota l'ala raccoglie circa il 15 per cento del fabbisogno in estate e appena il 4 per cento in inverno, con un picco a mezzogiorno che resta ben al di sotto della potenza necessaria alla crociera [1]. È lo stesso ostacolo energetico invernale che rende impraticabile il drone stratosferico solare, qui riprodotto in scala ridotta, e la conseguenza è che il fotovoltaico può al più ridurre il consumo di carburante nelle ore diurne e alimentare la narrazione di autonomia e sostenibilità, ma non sostituire il generatore, tanto che sotto il vincolo stringente dei 25 chilogrammi il suo peso finisce per aggiungere più massa di quanta ne liberi, e per questo esce dalla configurazione di base restando solo come opzione dimostrativa [1]. Resta infine il decollo verticale, che quando è permanente dimezza quasi l'autonomia, con una perdita

misurata intorno al 36 per cento sui sistemi analoghi, oltre al peso e alla resistenza aggiuntivi dei rotori di sollevamento [1][4].

4.2 Le architetture in campo

Fissata la fisica, il confronto si concentra su cinque architetture candidate, ciascuna con la propria autonomia tipica in classe 25 chilogrammi, la propria maturità tecnologica e i propri riscontri sui sistemi reali [1]. La prima è il velivolo a decollo verticale ibrido, un'ala fissa a cui si aggiungono quattro rotori di sollevamento, tecnologicamente maturo ma penalizzato dalla perdita di autonomia appena descritta, che lo tiene tra le 10 e le 14 ore. La seconda è l'ala fissa a lancio assistito, che rinuncia al decollo verticale affidandosi a un lancio elastico o a catapulta e a un recupero con pattino o paracadute, e proprio per questo raggiunge le 18 o 24 ore con una maturità elevata, come dimostrano i velivoli commerciali di riferimento. La terza è l'ala scatolata, o box-wing, una configurazione a due ali chiuse che promette efficienza e una silhouette distintiva ma resta a maturità più bassa e con benefici da confermare in galleria del vento. La quarta è un velivolo ad ala fissa di taglia maggiore, una sorta di sistema a media quota alleggerito, capace di venti o 24 ore ma più vicino al limite di peso. La quinta, infine, è il velivolo puramente solare ed elettrico, che a quella latitudine non regge il volo persistente per l'intero anno e resta quindi fuori gioco per l'uso previsto.

Trasversale a queste architetture è la scelta della propulsione, che può essere puramente a batteria, ibrida con un generatore a combustibile affiancato da un accumulatore tampone, a combustione diretta oppure assistita dal solare. Il calcolo appena svolto restringe di fatto il campo alla soluzione ibrida a generatore, che unisce l'autonomia del combustibile alla possibilità di una modalità elettrica silenziosa preziosa nelle missioni di sorveglianza, ed è questa combinazione a orientare il confronto finale.

4.3 Il confronto pesato

Per scegliere non basta l'autonomia, perché contano anche il costo, la modularità, la varietà dei casi d'uso serviti, il rispetto della classe di peso, l'attrattività per gli investitori e per i canali di finanziamento, l'impatto politico e mediatico e il grado di innovazione. Il progetto ha ordinato questi criteri in una matrice pesata, attribuendo il peso maggiore all'autonomia e all'innovazione, e ha assegnato a ciascuna architettura un punteggio, ottenendo il quadro che segue [1].

La matrice è pubblicata per esteso, con i pesi e i punteggi per criterio, perché una scelta che non mostra i propri numeri non è verificabile. I pesi sommano a cento e riflettono le priorità del progetto, con l'autonomia e l'innovazione a fare da criteri dominanti; i punteggi vanno da 1 a 10 e il totale è la media pesata riportata su cento, con gli arrotondamenti all'intero più vicino.

Criterio (peso)	Ala scatolata ibrida	Ala fissa a lancio assistito	Ala fissa di taglia maggiore	Solare ed elettrico puro	Decollo verticale ibrido
Autonomia (25)	8	10	10	4	5
Innovazione (15)	10	6	7	10	6
Costo (12)	5	8	5	7	6
Maturità tecnologica (12)	5	9	9	6	9

Criterio (peso)	Ala scatolata ibrida	Ala fissa a lancio assistito	Ala fissa di taglia maggiore	Solare ed elettrico puro	Decollo verticale ibrido
Modularità e casi d'uso (10)	10	6	7	8	10
Attrattività per finanziamenti (10)	9	8	9	10	7
Rispetto della classe di peso (8)	9	9	2	10	9
Impatto politico e mediatico (8)	10	5	7	10	6
Totale pesato su cento	81	80	76	75	68

La lettura di questi numeri racconta una storia precisa. In testa si collocano appaiate l'ala scatolata e l'ala fissa a lancio assistito, con la prima che prevale sul terreno dell'innovazione e dell'appeal verso investitori e politica e la seconda che vince su autonomia, costo e maturità, mentre il decollo verticale chiude la classifica proprio per la penalità di autonomia, che nemmeno la sua superiore modularità riesce a compensare [1]. Il dato più utile per la decisione, però, viene dall'analisi di sensibilità, perché dimezzando il peso attribuito all'innovazione la classifica si rovescia e l'ala fissa liscia supera l'ala scatolata, 81 contro 80, il che rivela che la scelta tra le due non è tecnica ma strategica e dipende da quanto il progetto voglia scommettere sull'effetto vetrina rispetto al contenimento del costo e del rischio [1].

4.4 La scelta

La raccomandazione che discende da questo confronto non è un singolo velivolo ma una famiglia costruita sulla stessa cellula ad ala fissa ad alto allungamento, declinata in due configurazioni che condividono l'avionica e la propulsione e si differenziano solo nell'ala [1][2]. La configurazione di prestazione adotta un'ala fissa convenzionale con lancio assistito e propulsione ibrida a generatore in serie, senza pannelli solari nella versione di base, ed è quella che centra l'autonomia di progetto attorno alle 20 o 22 ore restando sotto i 25 chilogrammi con un margine di sicurezza sul peso e con un rischio contenuto, grazie alla sua maturità tecnologica. La configurazione di punta adotta la stessa meccanica ma monta l'ala scatolata, e serve a fare colpo su politica, investitori e media grazie alla sua forma distintiva, al prezzo di un rischio maggiore che impone una validazione in galleria del vento e un dimostratore in scala prima di poterla considerare pronta.

Entrambe le versioni condividono le stesse scelte di fondo, ed è in queste che si risolvono le tensioni emerse nel gruppo di lavoro. La propulsione è ibrida a generatore in serie, con il motore che gira al regime ottimale e con la ridondanza offerta dalla possibilità di rientrare a batteria in caso di avaria, e garantisce l'autonomia di progetto in classe compatta [1][5]. Il solare resta soltanto opzionale e dimostrativo, fuori dalla configurazione di base perché sotto il vincolo di peso toglie più di quanto dia, ma disponibile come elemento di narrazione senza promettere un volo solare perpetuo che la fisica non concede. Il vano di carico è modulare e ospita di progetto 4 chili di sensori intercambiabili, dall'ottico all'infrarosso termico al radar al ripetitore, ed è ciò che rende il velivolo capace di servire molte missioni. Il decollo verticale, infine, non è permanente ma affidato a un modulo rimovibile, montato solo sulle missioni che richiedono di partire da uno spazio confinato o da una nave e accettando su quelle la perdita di autonomia, il che concilia l'esigenza di capillarità con quella di persistenza senza sacrificare

né l'una né l'altra in modo definitivo. Il prezzo consapevole di tutto questo, come i capitoli sul mercato e sui requisiti avevano già annunciato, è un'autonomia e un carico utile leggermente inferiori a quelli dei sistemi più grandi che superano i 3 metri di apertura, un prezzo che il progetto paga volentieri in cambio del vantaggio autorizzativo e di posizionamento che la compattezza sotto i 3 metri garantisce nella valutazione del rischio.

Alla declinazione della famiglia lungo l'asse dell'ala se ne aggiunge una seconda lungo l'asse della propulsione, che il capitolo normativo motiva e che qui conviene registrare come scelta di struttura. Accanto alla configurazione ibrida, che è quella su cui il presente confronto si è espresso e che regge la persistenza, il progetto prevede una variante a sole batterie della medesima cellula, con un'autonomia dell'ordine di poche ore e nessuna ambizione di persistenza. La ragione non è tecnica ma regolatoria, perché il regolamento europeo riserva la marcatura di classe più capace ai soli mezzi ad alimentazione esclusivamente elettrica, cosicché la variante a batterie è l'unica delle due che possa essere marcata e quindi consegnata a una cooperativa, a un comune o a un gruppo di protezione civile che la faccia volare senza alcuna pratica autorizzativa. Le due varianti servono perciò due modelli di ricavo distinti, la vendita del mezzo per l'elettrica e la vendita del servizio per l'ibrida, e condividono cellula, avionica, collegamenti, contenimento geografico, sistema di arresto del volo, manuale operativo e addestramento degli equipaggi, il che rende l'evidenza raccolta sull'una in buona parte spendibile sull'altra. Non si riusa invece ciò che dipende dalla catena propulsiva, perché il passaggio all'ibrido cambia il rischio di incendio, le vibrazioni, i disturbi elettromagnetici e i modi di guasto, e obbliga a riargomentare su quella variante gli obiettivi di sicurezza di progetto.

4.5 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte

LE VERIFICHE APERTE

Con questa scelta lo studio esce dalla fase delle alternative ed entra in quella dello sviluppo della soluzione, che i capitoli della seconda parte affronteranno in dettaglio. L'architettura selezionata, un'ala fissa ad alto allungamento con propulsione ibrida a generatore, carico utile modulare e decollo verticale opzionale, fissa l'oggetto tecnico di cui il capitolo successivo dettaglierà il funzionamento e il bilancio tra massa ed energia. Restano però aperte alcune verifiche che il confronto di primo livello non poteva chiudere e che vanno dichiarate con chiarezza, perché il calcolo qui svolto è parametrico e stage-appropriate, adeguato cioè alla fase di fattibilità ma non sostitutivo del progetto di dettaglio [1]. Il beneficio aerodinamico dell'ala scatolata resta da confermare con simulazioni fluidodinamiche e con un dimostratore in scala, perché la maggiore area bagnata e la complessità delle giunzioni potrebbero erodere il vantaggio teorico. L'efficienza aerodinamica reale e la potenza di crociera, qui assunte per stima, richiedono un'analisi dedicata e prove in galleria del vento. L'integrazione della catena ibrida, con il suo peso, le sue vibrazioni e la sua firma termica, va approfondita in uno studio propulsivo dettagliato. I pesi e i consumi reali dei sensori vanno raccolti dai fornitori. E i costi, i tempi e la maturità di ciascuna configurazione, così come la convenienza economica di costruire anziché integrare un velivolo commerciale esistente, saranno oggetto del capitolo economico. Sono verifiche che non mettono in discussione la scelta di fondo, ormai solida sul piano fisico, ma che ne definiscono i contorni prima di impegnare risorse nello sviluppo.

Note e riferimenti

Le fonti sono letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Trade Study delle architetture della fase progettuale successiva, con analisi di primo livello e matrice di trade-off, `proj_fase-b-trade-study-architetture`
2. Nota Strategica sul posizionamento e sulla configurazione raccomandata, `proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid`
3. Densità energetica reale delle batterie agli ioni di litio nei sistemi UAV, `tec_02b0e6582fa3`
4. Effetto del decollo verticale e del volo in avanti sui consumi, `tec_a5d441e60eab`
5. Trade propulsione dettagliato sulla catena ibrida a generatore, `proj_fase-b-trade-propulsione-dettagliato`

PARTE SECONDA

II

La soluzione

Il velivolo, il servizio, la normativa, i dati, la governance, i conti e i rischi: come si realizza e perché conviene.

CAPITOLO 5

Architettura tecnica della piattaforma

IN BREVE

Sviluppa l'architettura del velivolo: ala fissa con allungamento intorno a 10, catena ibrida a generatore in serie, decollo verticale rimovibile, avionica europea certificabile, vano di carico intercambiabile.

400 W	4-7 kW	78-86%
POTENZA IN CROCIERA	PICCO DEL DECOLLO VERTICALE	RENDIMENTO DELLA CATENA

NEL CAPITOLO

5.1 L'oggetto di cui si parla . . . 164
5.2 Come è costruito il capitolo . . . 164
5.3 Come leggere le sezioni . . . 165
5.4 Le alternative di piattaforma a confronto tecnico . . . 165
5.5 La configurazione aerodinamica e il disegno dell'ala . . . 171
5.6 La meccanica del volo e le prestazioni . . . 176
5.7 La struttura e i materiali . . . 180
5.8 La propulsione fra elettrico, ibrido e carburante . . . 184
5.9 La catena ibrida a generatore in serie . . . 187
5.10 Il motore termico . . . 191
5.11 L'accumulo elettrico e la gestione dell'energia . . . 195
5.12 Il sistema di decollo verticale e la transizione . . . 200
5.13 L'avionica e l'elettronica di bordo . . . 204
5.14 L'autonomia, la navigazione e i requisiti per il volo oltre l'orizzonte . . . 209
5.15 Le comunicazioni, il collegamento di comando e il ripetitore di connettività . . . 213
5.16 I payload, la strumentazione e la modularità . . . 217
5.17 Il bilancio di massa, l'affidabilità, la produzione e la maturità tecnologica . . . 223

Il capitolo precedente ha svolto la funzione che il metodo italiano affida al documento di fattibilità delle alternative, e ha scelto. Ha messo a confronto le architetture possibili per un mezzo aereo a pilotaggio remoto al servizio delle aree interne, ha verificato con un calcolo di primo livello quali autonomie siano fisicamente raggiungibili sotto i 25 chilogrammi, e ne ha ricavato una raccomandazione, una cellula ad ala fissa ad alto allungamento, con propulsione ibrida a generatore e decollo verticale affidato a un modulo che si può montare e togliere, in classe compatta e venduta come servizio. Restava però da mostrare come questa architettura funzioni davvero, perché dire ibrido a generatore non basta a costruire un velivolo. Occorre stabilire come nasce la forma dell'ala e perché quella forma massimizza le ore di volo, come si legano fra loro potenza, energia e autonomia, con quali materiali si tiene leggera una struttura che deve durare, in che modo l'energia arriva davvero all'elica, quale motore termico conviene, come si gestisce l'accumulo elettrico, come si decolla in verticale e si torna al volo dell'ala, quale sistema nervoso di bordo tiene insieme il mezzo, che cosa serve perché voli in autonomia e oltre l'orizzonte del pilota, come comunica e come diventa un ripetitore capace di portare connessione nei borghi, quali strumenti può imbarcare e a quale costo, e infine come tutto questo chiude entro il vincolo di peso restando affidabile e costruibile. Sono le domande a cui rispondono, una per volta, le quattordici sezioni che seguono.

5.1 L'oggetto di cui si parla

Il soggetto di queste pagine è una cosa sola, la piattaforma modulare a bassa quota, cioè il velivolo ad ala fissa compatto con propulsione ibrida a generatore e decollo verticale affidato a un modulo rimovibile, e a quell'oggetto concreto si dedica per intero il capitolo. Il confronto tra le alternative, svolto in precedenza, ha già deciso quale mezzo conviene costruire e per quali ragioni di costo e di fisica, e da qui in avanti lo studio lavora su quel mezzo, richiamando le altre architetture solo dove serve un onesto termine di paragone su una scelta di dettaglio.

I due limiti dimensionali meritano una parola perché condizionano ogni numero del capitolo, cioè i 25 chilogrammi di peso al decollo e i 3 metri di dimensione massima della cellula. Rimanere dentro entrambi non è una comodità ma una strategia, perché apre un percorso autorizzativo più rapido e un posizionamento di mercato che i mezzi più grandi non hanno, e il prezzo che si paga, un carico utile e un'autonomia un poco inferiori a quelli dei velivoli oltre i 3 metri, è un prezzo che il progetto accetta consapevolmente. Tutta l'architettura tecnica descritta nel capitolo è, in fondo, il tentativo di ottenere il massimo delle prestazioni utili restando entro questi due numeri. Il capitolo normativo mostra che i due limiti non pesano allo stesso modo, perché la massa non entra nel calcolo del rischio a terra mentre la dimensione sì, e ne trae un bersaglio di progetto attorno ai 2,8 metri con margine costruttivo, misurato sulla dimensione maggiore della cellula e non sulla sola apertura, insieme a due tetti di velocità che il dimensionamento deve rispettare, i 50 metri al secondo della marcatura di classe e l'energia cinetica di 34 chilojoule oltre la quale si perdono le procedure autorizzative semplificate.

5.2 Come è costruito il capitolo

Le quattordici sezioni poggiano sulla documentazione tecnica e scientifica raccolta per il progetto e sugli studi di dettaglio già elaborati internamente, in particolare il trade study delle architetture, l'approfondimento di dettaglio sulla propulsione ibrida, il bilancio preliminare di massa ed energia, gli studi sull'avionica e sui payload e la telemetria [1][2][3]. Ogni cifra riportata è, per la natura di uno studio di fattibilità, un ordine di grandezza prima che un

valore esatto, e il testo distingue sempre il dato verificato dalla stima, dichiarando quando un numero è una valutazione da confermare al banco di prova. Diversi calcoli qui presentati usano rendimenti e densità tipici della letteratura tecnica al posto di misure sul sistema reale, che ancora non esiste, e proprio per questo l'ultima sezione raccoglie con chiarezza le verifiche che restano aperte e che la fase progettuale successiva dovrà chiudere prima di tagliare metallo e fibra.

Il registro è volutamente doppio. Il capitolo deve reggere lo sguardo di un ingegnere, e per questo non rinuncia ai numeri, ai bilanci e ai compromessi tecnici, ma deve restare comprensibile a un amministratore di cooperativa o a un decisore pubblico, e per questo ogni termine specialistico viene spiegato in parole piane nel punto in cui compare, senza rimandare a un glossario e senza riquadri separati. Chi legge per decidere può fermarsi alle prime righe di ogni sezione, dove il senso della scelta è enunciato prima di essere dimostrato, mentre chi legge per verificare troverà più avanti il calcolo che sostiene quella scelta.

5.3 Come leggere le sezioni

Le prime quattro sezioni fissano le basi fisiche del mezzo. La prima mette a confronto sul piano ingegneristico gli archetipi di velivolo che si potevano scegliere, e spiega perché per questa missione conviene l'ala fissa compatta. La seconda entra nel disegno dell'ala e nella sua aerodinamica, la terza traduce la forma in prestazioni di volo, ore di autonomia e velocità, la quarta si occupa della struttura e dei materiali che tengono insieme il tutto restando leggeri. Le sezioni dalla quinta all'ottava sono il cuore energetico del velivolo, con il confronto fra le vie propulsive, la descrizione della catena ibrida a generatore, la scelta del motore termico e la gestione dell'accumulo elettrico e dell'energia di bordo. La nona descrive il sistema di decollo verticale e la sua natura modulare. Le sezioni dalla decima alla dodicesima riguardano l'intelligenza e i sensi del mezzo, cioè l'avionica di bordo, l'autonomia e la navigazione necessarie al volo oltre l'orizzonte, e le comunicazioni, comprese quelle che fanno del velivolo un ripetitore di connettività per le valli isolate. La tredicesima presenta il catalogo dei carichi utili intercambiabili con i loro pesi, consumi, costi e capacità, ed è la sezione che lega la tecnica alle missioni concrete delle aree interne e al modello di servizio. La quattordicesima, infine, tira le fila, chiude il bilancio di massa entro la classe di peso, tratta l'affidabilità, la produzione e la maturità tecnologica, e raccoglie le verifiche ancora aperte. Chi cerca la sintesi dell'architettura può leggere la prima e l'ultima sezione e avrà il quadro, mentre le dodici centrali ne contengono la dimostrazione.

Note e riferimenti

1. Trade study delle architetture della fase progettuale successiva, con l'analisi di primo livello e la matrice di selezione, `proj_fase-b-trade-study-architetture`
2. Trade dettagliato sulla propulsione, con l'architettura a generatore in serie e i motori termici alternativi, `proj_fase-b-trade-propulsione-dettagliato-powertrain-ibrido`
3. Bilancio preliminare di massa ed energia, con il rientro nei limiti di classe e la ritaratura dell'autonomia, `proj_fase-b-bilancio-di-massa-ed-energia-preliminare`

5.4 Le alternative di piattaforma a confronto tecnico

La scelta dell'architettura è già stata compiuta nel capitolo del confronto, ma una decisione di questa portata merita di essere ripercorsa qui sul terreno dell'ingegneria, perché è

dai numeri di ogni archetipo che discende il resto del capitolo. Chi legge questo studio per valutarne la solidità ha diritto di vedere non soltanto quale velivolo si è scelto, ma perché gli altri, che pure esistono e volano, non servivano a questa missione. La domanda intorno a cui ruota tutto il confronto è concreta e severa, se sia fisicamente possibile restare in volo per una giornata intera sopra le valli dell'entroterra ligure con un mezzo che pesa meno di 25 chilogrammi, e con quale famiglia di velivoli. La risposta, come si vedrà, restringe il campo molto più di quanto l'intuizione suggerirebbe, e lo restringe non per gusto ma per via di una catena di ordini di grandezza che nessuna abilità progettuale può aggirare.

La fisica che decide, ore di volo contro peso

Prima ancora di guardare i velivoli conviene guardare l'energia, perché è lì che si gioca la partita. Un mezzo aereo di questa taglia, con un'ala lunga e sottile fatta per planare più che per correre, consuma in volo livellato una potenza dell'ordine dei 400 watt, quanto quattro lampadine di vecchio tipo, e da questo dato apparentemente minuscolo discende tutto il resto [1]. Per restare in aria una giornata piena, intorno alle 24 ore, servono da 8,5 kWh a 12 kWh di energia, a seconda di quanto efficiente sia il velivolo e di quanto tiri il vento [1]. La questione allora diventa dove prendere quell'energia, e le sole tre risposte disponibili, la batteria, il sole e il combustibile, non sono affatto equivalenti.

La batteria è la risposta che la fisica boccia. Per contenere fra otto e mezzo e 12 kWh servirebbero fra i 30 e i 47 chilogrammi di accumulatori, una massa che da sola supera abbondantemente il peso totale ammesso per l'intero velivolo, e questo spiega perché un mezzo a sole batterie di questa classe si fermi realisticamente intorno alle 9 o 11 ore, spesso molto meno [1]. Vale la pena smontare qui un equivoco che ricorre nelle discussioni, perché le densità energetiche che si leggono sulle schede tecniche, attorno ai 250 o 300 wattora per chilogrammo, si riferiscono alla singola cella nuda e non al pacco completo installato a bordo, che una volta aggiunti l'involucro, i sistemi di gestione e i margini di sicurezza scende nella realtà aeronautica tra i 160 e i 200 wattora per chilogrammo [1]. Anche accettando le stime più ottimistiche, la batteria da sola non porta un mezzo compatto oltre poche ore, ed è per questo che nessun velivolo a sole batterie compare fra i candidati seri per la persistenza.

Il sole, che il bando immaginava come motore del velivolo, si rivela alla prova dei conti un supplemento e non una sorgente. Alla latitudine ligure e alle quote basse a cui la piattaforma opera, la superficie alare disponibile raccoglie in estate circa il 15 per cento del fabbisogno e in inverno appena il 4 per cento, con un picco a mezzogiorno che resta comunque ben sotto la potenza necessaria a volare, e questo significa che il fotovoltaico può al più allungare l'autonomia nelle ore diurne ma non sostenere il volo da solo [1]. È lo stesso ostacolo invernale che rende improponibile il velivolo solare d'alta quota, il grande drone stratosferico da cui il progetto prese in origine il nome e che proprio per questa ragione, oltre che per i costi fuori scala, è stato valutato altrove e messo da parte. In questo studio quell'archetipo compare soltanto qui, come termine estremo del confronto, e non torna più.

Resta il combustibile, ed è la risposta che la fisica premia. La stessa energia di una giornata di volo, se prodotta bruciando benzina o cherosene, sta in appena 3,5-4,5 kg di carburante, un peso perfettamente compatibile con i 25 chilogrammi anche tenendo conto del carico utile e della struttura, ed è esattamente ciò che i velivoli commerciali di questa taglia dimostrano ogni giorno con autonomie fra le venti e le 24 ore [1]. La conseguenza è netta e orienta tutto il confronto. Una giornata di volo in classe compatta si ottiene solo con un velivolo ad ala fissa alimentato a combustibile, eventualmente in una catena ibrida che affianca al combustibile

una batteria tampone, mentre le sole batterie e il solo sole non bastano. Fissato questo, la scelta non è più fra decine di possibilità ma fra poche varianti di un'unica famiglia.

Gli archetipi in campo

Con la fisica come filtro, gli archetipi che meritano un confronto serio sono cinque, e conviene percorrerli uno per uno guardando per ciascuno la classe di peso, il carico utile che riesce a portare, l'autonomia tipica, la quota a cui lavora, la sorgente di energia che gli è naturale, ciò che sa fare e l'ordine di grandezza del suo costo.

Il primo è il velivolo ad altissima quota e lunghissima autonomia, il cosiddetto pseudo satellite stratosferico. È un mezzo che vola sopra i 20 chilometri di quota per giorni o settimane, con autonomie da 7 a 14 giorni. Sul carico utile va evitato un equivoco che circola nella letteratura di programma, perché le cifre dell'ordine delle centinaia di chilogrammi provengono da studi di fattibilità e da requisiti di missione, non da mezzi in servizio: i velivoli stratosferici realmente volanti stanno su masse al decollo fra alcune decine e alcune centinaia di chilogrammi e portano carichi utili dell'ordine di pochi chilogrammi o poche decine, perché il vincolo di potenza solare a quelle quote non concede altro, ma appartiene a una classe di peso, di costo e di complessità del tutto diversa da quella del progetto, ed è alimentato dal sole o da celle a combustibile a idrogeno liquido perché nessun'altra sorgente reggerebbe quelle durate [2]. Sa fare cose che nessun velivolo basso può fare, come sorvegliare in permanenza una vasta area o fungere da ripetitore quasi satellitare, ma a un costo di programma che si misura in decine o centinaia di milioni, e la sua fisica invernale alle nostre latitudini resta un ostacolo aperto. Per la missione delle aree interne è un'ambizione fuori scala, e viene richiamato solo come pietra di paragone.

Il secondo è il velivolo a media quota e lunga autonomia, il MALE nel gergo del settore. È la categoria matura e collaudata dei grandi droni da sorveglianza, che vola fra i 3 e i 9 chilometri di quota con autonomie da 24 a 48 ore, con esemplari come l'Heron israeliano che tocca le 52 ore e sistemi recenti che portano oltre una tonnellata di sensori restando sotto le 5 tonnellate al decollo [3]. È una macchina straordinaria e del tutto inadatta al progetto, perché pesa migliaia di chilogrammi contro i venticinque ammessi, richiede piste e infrastrutture, e costa in proporzione. Anche solo il costo per ora di volo dà la misura della distanza, con piattaforme di questa filiera che nelle analisi indipendenti superano i 18.000 dollari all'ora, e casi documentati di programmi che hanno sfiorato i 12.000 dollari all'ora restando sotto le prestazioni promesse [4][5]. Sul piano propulsivo la ricerca sta portando anche in questa classe l'ibrido in parallelo per migliorare i consumi, mentre conferma che la propulsione a sole batterie non è praticabile a questa taglia, il che è coerente con quanto vale un gradino più in basso [6]. Il MALE definisce l'estremo alto delle capacità, quello che il progetto rinuncia deliberatamente a inseguire in cambio di leggerezza, economicità e facilità autorizzativa.

Il terzo archetipo è quello che il progetto sceglie, il velivolo ad ala fissa compatto a decollo assistito. È un'ala fissa ad alto allungamento che rinuncia al decollo verticale affidandosi a un lancio elastico o a catapulta e a un recupero con pattino, gancio o paracadute, e proprio grazie a questa rinuncia raggiunge le 18 o 24 ore di autonomia restando sotto i 25 chilogrammi, come dimostrano i sistemi commerciali di riferimento, a cominciare da quello che vola da anni con oltre 18 ore di persistenza a benzina [7]. È tecnologicamente maturo, economico, e la sua ala lunga e stretta è la geometria che massimizza le ore di volo, ma paga la mancanza del decollo verticale con la necessità di uno spazio libero per il lancio e il recupero, che nell'orografia stretta dell'entroterra non è sempre disponibile. Da qui nasce l'idea di renderlo capace di decollo verticale solo quando serve, tramite un modulo aggiuntivo, che è il quarto archetipo.

Il quarto è il velivolo a decollo verticale ibrido, un'ala fissa a cui si aggiungono quattro rotori di sollevamento per partire e atterrare come un elicottero e poi volare come un aeroplano. È tecnologicamente maturo e operativamente comodissimo, perché non ha bisogno di spazi per il lancio e può partire da una radura, da un piazzale o dal ponte di una nave, ma paga questa comodità con una perdita di autonomia intorno a un terzo rispetto al gemello a decollo assistito, dovuta al peso e alla resistenza dei rotori di sollevamento e all'energia spesa nelle fasi verticali [1][8]. I sistemi reali lo confermano, con la stessa cellula che vola dalle dieci alle 13 ore nella versione con i quattro rotori e oltre 18 ore nella versione lanciata a catapulta [7]. La conseguenza di progetto è elegante, cioè tenere il decollo verticale non come caratteristica permanente ma come modulo che si monta solo sulle missioni che lo richiedono, pagandone il costo di autonomia soltanto lì.

Il quinto archetipo è l'ala scatolata, o box wing, una configurazione a due ali chiuse ad anello che Prandtl teorizzò un secolo fa come il sistema alare a minima resistenza indotta. Le analisi ad alta fedeltà le riconoscono una riduzione di resistenza intorno al 10 per cento e un risparmio di carburante attorno al 9 per cento rispetto a un'ala convenzionale di pari missione, oltre a una migliore tolleranza alle raffiche che nelle valli ventose non è un dettaglio, e la stessa teoria della distribuzione di portanza a campana promette un'ala con l'11 per cento di efficienza in più e il 22 per cento di apertura in più a parità di peso strutturale, con l'ulteriore vantaggio di poter fare a meno della deriva verticale [9][10]. Esistono già dimostratori di questa configurazione in classe 25 chilogrammi, con pesi a vuoto intorno ai 25 chili e carichi utili fino a dieci [9]. Il rovescio della medaglia è che l'ala scatolata pesa circa il doppio di un'ala convenzionale e ha una maggiore superficie bagnata a causa delle giunzioni, cosicché il vantaggio aerodinamico teorico rischia in parte di essere eroso dal peso e dall'attrito aggiuntivi, e va perciò confermato in galleria del vento prima di potervi contare [9][10]. Per questo il progetto la tiene come configurazione di punta ad alto valore dimostrativo, costruita sulla stessa meccanica dell'ala convenzionale, e non come linea di base.

La tabella che segue riassume il confronto e rende visibile perché il campo si restringa come si è detto.

Archetipo	Classe di peso	Autonomia tipica	Quota	Sorgente naturale	Costo indicativo	Idoneità alla missione
Stratosferico solare	centinaia di kg	giorni	oltre 20 km	sole, idrogeno	decine o centinaia di milioni	fuori scala, accantonato
Media quota MALE	migliaia di kg	24-48 h	3-9 km	carburante, ibrido	migliaia di euro per ora	fuori classe, troppo grande
Ala fissa a lancio	sotto 25 kg	18-24 h	bassa	carburante, ibrido	contenuto	alta, base di prestazione
Decollo verticale ibrido	sotto 25 kg	10-14 h	bassa	ibrido	contenuto	alta ma con perdita di ore
Ala scatolata ibrida	sotto 25 kg	stimata alta	bassa	ibrido, solare	contenuto, più R&S	promettente, da validare

I sistemi reali che fanno da riferimento

Il confronto fra archetipi non resta astratto, perché esistono velivoli reali che ne incarnano i termini, e conviene richiamarli perché danno la misura concreta di ciò che è possibile e di ciò che costa. Nella famiglia dell'ala fissa a lancio assistito il riferimento storico è un velivolo a benzina che vola oltre le 15 ore e che, nella versione priva del kit di decollo verticale, supera

abbondantemente le venti, con un carico utile di pochi chilogrammi e un'apertura vicina ai 3 metri [7]. Accanto a esso altri sistemi commerciali della stessa classe dichiarano una ventina di ore di persistenza, e uno arriva addirittura oltre le 30 ore nella configurazione a lunga durata, il che dimostra che la persistenza estrema in classe compatta non è una speranza ma un fatto industriale già realizzato da altri [11][12]. Nella famiglia a media quota, invece, i grandi velivoli da sorveglianza mostrano che cosa comporti salire di categoria, perché pur volando anche 50 ore e portando tonnellate di sensori pesano migliaia di chilogrammi e costano, solo per restare in aria, cifre che le analisi indipendenti collocano oltre i 18.000 dollari l'ora per i sistemi compatti e che un audit ha misurato oltre i 12.000 dollari l'ora per un programma di frontiera, a fronte di prestazioni inferiori alle attese [4][5]. Messi accanto ai pochi chilogrammi di carburante e alle poche migliaia di euro per esemplare della classe compatta, questi numeri rendono tangibile perché il progetto scelga deliberatamente di restare piccolo, rinunciando alle capacità superiori dei mezzi maggiori in cambio di un costo e di un onere autorizzativo di un altro ordine di grandezza. Quanto all'ala scatolata, che nessun prodotto commerciale di questa classe ancora incarna, le prime simulazioni interne del team indicano un potenziale su tre fronti insieme, una maggiore efficienza aerodinamica, una maggiore rigidezza strutturale e una minore apertura a parità di prestazione, quest'ultima preziosa proprio per restare sotto i 3 metri della classe, ma si tratta di stime preliminari da confermare in galleria del vento e con un dimostratore in scala prima di potervi contare [13].

Elettrico, ibrido o carburante, la scelta trasversale

Attraversa tutti questi archetipi una seconda scelta, quella della sorgente di potenza, e conviene enunciarla qui anche se la sua trattazione di dettaglio occupa più avanti tre intere sezioni, perché senza di essa il confronto resterebbe sospeso. Le opzioni sono quattro, la sola batteria, la sola combustione, l'ibrido che affianca un piccolo generatore a combustibile a una batteria tampone, e l'assistenza solare che si somma a una delle prime. Il calcolo energetico appena svolto esclude la sola batteria per la persistenza, e riduce il solare a supplemento. Fra la sola combustione e l'ibrido la scelta è più sottile e si gioca su vantaggi operativi più che su pure ore di volo, perché l'ibrido paga una piccola penalità di consumo in cambio della possibilità di volare per tratti in silenzio a sola batteria, di rientrare a motore spento in caso di avaria e di alimentare comodamente i rotori del decollo verticale dallo stesso bus elettrico. È questa combinazione, l'ala fissa compatta con propulsione ibrida a generatore, a vincere il confronto, e le ragioni di dettaglio della preferenza per l'ibrido in serie rispetto alle altre topologie sono sviluppate nelle sezioni sulla propulsione.

I due limiti dimensionali come vincolo che plasma il velivolo

Conviene fissare con precisione che cosa significhi restare compatti, perché è un vincolo che attraversa tutto il progetto e ne spiega molte scelte. Il quadro europeo classifica i mezzi aerei senza pilota in classi contrassegnate da una marcatura, dalle più piccole di pochi etti alle più grandi, e le classi che interessano il progetto raccolgono i mezzi che stanno insieme sotto i 25 chilogrammi al decollo e sotto i 3 metri di dimensione massima [7]. A questa classificazione del mezzo si affianca quella delle operazioni, distinte per rischio in una categoria aperta a rischio basso, una specifica a rischio medio che richiede una valutazione approfondita, e una certificata a rischio alto, e il volo oltre l'orizzonte sulle aree interne ricade tipicamente nella categoria specifica. Restare compatti non è quindi una scelta puramente tecnica ma una strategia autorizzativa, perché apre un percorso più rapido e prevedibile rispetto ai mezzi più grandi, e impone al progetto due discipline stringenti, il peso sotto i 25 chilogrammi, che il

bilancio di massa insegue con le sue rinunce, e l'apertura sotto i 3 metri, che limita quanto si può allungare l'ala per guadagnare persistenza. Ogni scelta di dimensionamento del capitolo, dalla lunghezza dell'ala al carico utile al carburante, è in fondo il tentativo di ottenere il massimo delle prestazioni utili dentro questi due numeri, ed è la loro importanza a spiegare perché il progetto rinunci consapevolmente alle capacità superiori dei mezzi che li superano. La marcatura di classe porta con sé anche obblighi tecnici, come l'identificazione remota del velivolo, il contenimento geografico programmabile e un sistema di terminazione del volo indipendente dal pilota automatico, che l'avionica e le comunicazioni dovranno recepire, a conferma che la classe non è un'etichetta ma un insieme di requisiti che plasmano il mezzo fin nei dettagli. Va precisato, poiché il materiale preparatorio diceva altro, che la marcatura più nota di questa fascia esige un'alimentazione esclusivamente elettrica e non è quindi disponibile per un velivolo ibrido, il quale può al più conseguire la marcatura immediatamente superiore, quella pensata per il volo oltre la vista in ambiente scarsamente popolato, che gli stessi due limiti dimensionali li conserva intatti.

Perché vince l'ala fissa compatta ibrida

Tirando le fila, la missione delle aree interne chiede un velivolo che stia a lungo in aria sopra un territorio impervio, che parta e rientri da spazi ristretti, che porti sensori diversi a seconda del bisogno e che costi poco da comprare e da operare, e chiede tutto questo dentro il vincolo dei 25 chilogrammi e dei 3 metri di apertura che apre la strada autorizzativa più rapida. Nessuno degli archetipi estremi risponde a questa domanda. Lo stratosferico e il MALE hanno capacità superiori ma appartengono a mondi di peso e di costo incompatibili con il progetto e con il cliente. Il velivolo a sole batterie e quello a solo sole non reggono la persistenza. Restano l'ala fissa compatta a lancio assistito, che è la base di prestazione perché centra le ore di volo con la maturità più alta e il rischio più basso, e la sua evoluzione a decollo verticale modulare, che aggiunge la capacità di operare ovunque pagandola solo quando serve, con l'ala scatolata a fare da variante di punta per il valore dimostrativo. La raccomandazione che ne esce non è un singolo velivolo ma una famiglia costruita sulla stessa cellula, con la stessa avionica e la stessa catena ibrida a generatore, ed è questa famiglia che le sezioni seguenti smontano pezzo per pezzo, cominciando dall'ala e dalla sua aerodinamica, che sono la ragione fisica di tutta la persistenza.

Va detto con onestà, a chiusura, che questo confronto è di primo livello, adeguato alla fase di fattibilità ma non sostitutivo del progetto di dettaglio. Le autonomie degli archetipi sono quelle tipiche dei sistemi reali e delle analisi di letteratura, non misure sul velivolo del progetto, che ancora non esiste, e i costi sono ordini di grandezza tratti da programmi altrui. Il beneficio aerodinamico dell'ala scatolata, in particolare, resta una promessa da verificare in galleria del vento, e la stessa penalità del decollo verticale andrà misurata sul sistema reale. Sono verifiche che appartengono alle fasi successive e che le ultime pagine del capitolo raccolgono, ma che non intaccano la conclusione di fondo, solida sul piano fisico, secondo cui la giornata di volo in classe compatta si ottiene con l'ala fissa a combustibile o ibrida e con nessun'altra strada.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Bilancio preliminare di massa ed energia, con la potenza di crociera, il fabbisogno di una giornata e il confronto fra batteria, solare e combustibile, `proj_fase-b-bilancio-di-massa-ed-energia-preliminare`
2. Analisi NASA di fattibilità dei velivoli ad altissima quota e lunga autonomia, quota oltre i 20 chilometri, carichi di centinaia di chilogrammi e autonomie di giorni, `tec_05c36455361c`
3. Voce enciclopedica sui velivoli a media quota e lunga autonomia, autonomie da 24 a 48 ore e quote fra i 3 e i 9 chilometri, `tec_dd76698ae6fc`
4. Tesi comparativa sui costi dei sistemi a pilotaggio remoto per la sorveglianza, costo per ora di volo del sistema compatto intorno ai 18.000 dollari, `tec_a936b08992ea`
5. Audit sui costi operativi di un programma di droni di frontiera, costo per ora di volo oltre i 12.000 dollari sotto le prestazioni attese, `tec_425c48058ccd`
6. Studio sulla propulsione ibrida in parallelo per i velivoli a media quota e sulla non praticabilità della sola batteria a quella taglia, `tec_8c0547cf4941`
7. Trade study delle architetture della fase progettuale successiva, autonomie dei sistemi reali nelle configurazioni con e senza decollo verticale e matrice di selezione, `proj_fase-b-trade-study-architetture`
8. Sintesi tecnica trasversale sull'effetto del decollo verticale permanente sui consumi, `ANALISI.md`
9. Sintesi documentale del dominio dell'ala scatolata, risparmio di carburante intorno al 9 per cento, peso alare circa doppio e dimostratore in classe 25 chilogrammi, `tec-boxwing` con fonte `tec_3fd2c462335c` e `tec_a5acc49aeba8`
10. Studio sulla distribuzione di portanza a campana come alternativa efficiente, 11 per cento di efficienza e 22 per cento di apertura in più a parità di peso, `tec_d3172046ac7c`
11. Specifiche di un velivolo a lunga persistenza della classe compatta, autonomia intorno alle 20 ore, `tec_28e653c4fdfe`
12. Specifiche di un velivolo a decollo verticale a lunga persistenza, autonomia oltre le 30 ore, `tec_5576d7b9d41e`
13. Studio su costi, maturità e scelta fra costruire e acquistare, potenziale dell'ala scatolata su efficienza, rigidità e compattezza secondo le simulazioni interne, da validare, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`

5.5 La configurazione aerodinamica e il disegno dell'ala

Tutta la persistenza del velivolo, cioè la sua capacità di restare a lungo in aria che è la ragione stessa del progetto, nasce dalla forma dell'ala. Un mezzo pensato per correre e uno pensato per planare hanno ali profondamente diverse, e il nostro appartiene senza dubbi alla seconda famiglia, perché ogni grammo di resistenza aerodinamica risparmiato si traduce in minori consumi e quindi in più ore di volo a parità di carburante. Questa sezione spiega da dove viene quella forma, perché un'ala lunga e sottile è la scelta obbligata, come si sceglie il profilo che la seziona, quanto deve essere caricata, come conviene distribuire la portanza lungo l'apertura e quale variante più ardita, l'ala scatolata, il progetto tiene in serbo come configurazione di punta. Il filo che lega tutti questi ragionamenti è sempre lo stesso, la ricerca del massimo rendimento aerodinamico dentro i vincoli di peso e di dimensione della classe.

L'allungamento e il limite di apertura

L'allungamento, cioè il quadrato dell'apertura diviso la superficie alare, governa la resistenza indotta, che nel volo lento e prolungato del progetto è la componente dominante della

resistenza totale. A parità di portanza, un allungamento maggiore riduce l'intensità dei vortici di estremità e con essa la potenza necessaria alla crociera. La configurazione di riferimento, già disponibile come modello tridimensionale nella documentazione di progetto, adotta perciò un'ala di grande apertura e corda ridotta, con trave di coda snella ed elica al muso [1][2].

Il vincolo di classe fissa però l'apertura a un massimo di 3 m, e questo limite domina la scelta. Con l'apertura bloccata, l'allungamento si può aumentare solo riducendo la superficie alare, il che innalza il carico alare e le velocità di volo, come la sezione 5.2.3 quantifica. La progettazione dell'ala non è quindi la ricerca del massimo allungamento possibile ma l'arbitrato fra allungamento, carico alare e rigidezza strutturale dentro un'apertura fissata, e il valore che ne esce, intorno a 10, è un esito del vincolo dimensionale e non un obiettivo perseguito. La flessibilità dell'ala resta un vincolo di progetto strutturale, trattato nella sezione sui materiali [3].

Il regime aerodinamico e la selezione del profilo

Il profilo alare determina il coefficiente di portanza e la polare di resistenza, e va scelto per il regime di volo effettivo. Con corda media di 0,29 m e velocità di crociera di 22,4 m/s, il velivolo opera a numeri di Reynolds compresi fra 2 e 5 per 10^5, un regime in cui gli effetti viscosi sono rilevanti, la transizione dello strato limite non è assicurata e le prestazioni dei profili si degradano rapidamente al di fuori del punto di progetto [4][5].

La selezione del profilo appartiene al progetto di dettaglio e non a questo studio, perché dipende da grandezze che non sono ancora fissate, cioè la distribuzione di corda definitiva, la posizione della transizione e i vincoli di alloggiamento del longherone. Questa sezione si limita quindi a fissare i criteri di selezione e a indicare l'ordine di grandezza atteso delle prestazioni. I criteri sono quattro. Il primo è un'efficienza aerodinamica elevata al coefficiente di portanza di crociera, che per il carico alare adottato si colloca intorno a 0,6. Il secondo è un coefficiente di portanza massimo sufficiente a contenere la velocità di stallo entro i valori richiesti dal recupero. Il terzo è un comportamento allo stallo progressivo e non improvviso, requisito di sicurezza per un mezzo che opera in valle. Il quarto è una tolleranza accettabile alla contaminazione del bordo d'attacco, perché in esercizio l'ala raccoglie insetti e pulviscolo e un profilo troppo sensibile perde in servizio ciò che guadagna in galleria.

La letteratura di riferimento raccolta per questo studio documenta prestazioni utili come termine di paragone per famiglie diverse, dai profili a portanza elevata per basso Reynolds a soluzioni di derivazione biomimetica con bordi d'uscita modificati, con incrementi dichiarati del coefficiente di portanza massimo e ritardi dell'angolo di stallo [4][5][6][7]. Sono riferimenti di ordine di grandezza, non una selezione: la scelta si compie con analisi fluidodinamiche dedicate e prove in galleria del vento sulla geometria definitiva.

Quanto caricare l'ala

Un terzo parametro decide la persistenza, ed è il carico alare, cioè il peso del velivolo diviso per la superficie dell'ala. Un carico alare basso significa un'ala grande rispetto al peso, e quindi la possibilità di volare lenti sostenendo il velivolo con poca potenza, il che allunga l'autonomia, mentre un carico alare alto obbliga a volare veloci e a consumare di più. Per un velivolo di persistenza conviene quindi un carico alare contenuto, e la teoria del dimensionamento fornisce anche la formula che lega il carico alare ottimale di crociera alla pressione dinamica e al rapporto fra la resistenza a portanza nulla e il fattore di resistenza indotta, un modo compatto per dire che il carico alare va scelto insieme al profilo e alla velocità per stare nel punto di minimo consumo [8]. Il rovescio del carico alare basso è la sensibilità alle

raffiche, perché un'ala grande e leggera viene scossa di più dalle folate, e nelle valli ventose dell'entroterra ligure questo conta parecchio. Il progetto si colloca perciò su un carico alare medio, che è anche, come la sezione seguente mostra con i numeri, l'esito a cui il vincolo dei 3 metri conduce comunque, e questo compromesso è esattamente il genere di scelta che il volo di prova dovrà confermare.

Come distribuire la portanza lungo l'ala

Oltre alla forma della sezione conta come la portanza si distribuisce lungo l'apertura, dalla radice alla punta, perché questa distribuzione governa sia la resistenza indotta sia i carichi strutturali. La teoria classica insegnava che la distribuzione più efficiente fosse quella ellittica, resa celebre dall'ala dello Spitfire, ma studi più recenti e ben documentati mostrano che una distribuzione a campana, con la portanza che si concentra verso il centro e si annulla dolcemente alle estremità, è in realtà superiore, perché offre a parità di peso strutturale un'ala con l'11 per cento di efficienza in più e il 22 per cento di apertura in più, elimina i vortici di estremità e produce un effetto di imbardata favorevole che permette perfino di rinunciare alla deriva verticale, come accade nel volo degli uccelli e nelle ali volanti [9][10]. Il prezzo di questo vantaggio è una geometria alare più complessa, con svergolamento e corda variabile lungo l'apertura, più difficile da costruire. Un'alternativa più semplice, ottenibile su un'ala convenzionale, sono le alette di estremità, le winglet, che riducono la resistenza indotta quanto circa metà di un allungamento equivalente ma con meno peso e meno sforzo alla radice [10]. Il progetto ha di fronte qui una scelta graduabile, adottare elementi della distribuzione a campana per spingere l'efficienza, oppure accontentarsi di winglet più semplici, e la decisione dipenderà da quanto la fase di dettaglio riuscirà a dominare la complessità costruttiva senza appesantire l'ala.

La variante ad ala scatolata

La configurazione di punta che il progetto conserva sostituisce all'ala convenzionale un'ala scatolata, due semiali chiuse a formare un anello, una soluzione che l'aerodinamico Prandtl teorizzò un secolo fa come il sistema alare a minima resistenza indotta. Le analisi moderne le riconoscono vantaggi reali, una riduzione di resistenza intorno al 10 per cento, un risparmio di carburante attorno al 9 per cento e un rapporto di planata dell'ordine di venti a uno su un velivolo di riferimento, oltre a una migliore tolleranza alle raffiche che nelle nostre valli è preziosa [11]. A questi vantaggi si aggiunge il valore comunicativo di una silhouette insolita, che segnala innovazione a investitori e decisori pubblici. Il rovescio, però, è serio e va detto con chiarezza, perché l'ala scatolata pesa circa il doppio di un'ala convenzionale a causa della sua struttura più complessa, e la sua maggiore superficie esposta all'aria, dovuta alle due ali e alle giunzioni, aggiunge resistenza d'attrito che può erodere parte del vantaggio indotto [11]. Il beneficio netto dipende quindi dalla missione e dalla capacità di contenere il peso strutturale, e non è dimostrato finché non lo si misura in galleria del vento e su un dimostratore in scala. Per questo il progetto tratta l'ala scatolata come una variante ad alto potenziale ma a maturità più bassa, costruita sulla stessa meccanica e la stessa avionica dell'ala convenzionale in modo da poterla sviluppare in parallelo senza rifare tutto, e non come la linea di base su cui impegnare da subito le risorse.

Gli impennaggi e le superfici di comando

Oltre all'ala, la forma aerodinamica comprende gli impennaggi di coda e le superfici mobili con cui il velivolo si governa, elementi che il modello concettuale del progetto raffigura come

un impennaggio a T in fondo a una trave di coda snella [1]. La coda svolge due compiti, stabilizzare il velivolo perché voli dritto senza oscillare e permettere di comandarlo, attraverso le superfici mobili, l'equilibratore dietro il piano orizzontale che fa cabrare e picchiare, e il timone dietro il piano verticale che fa virare. Sull'ala, invece, gli alettoni comandano il rollio, cioè l'inclinazione laterale con cui il velivolo inizia le virate. Il dimensionamento di queste superfici è un compromesso, perché superfici grandi danno molta autorità di comando ma aggiungono peso e resistenza, mentre superfici piccole alleggeriscono ma rendono il velivolo pigro a rispondere, e la scelta va fatta insieme alla distribuzione dei pesi e alla posizione del centro di gravità per garantire che il mezzo sia stabile ma governabile. La stabilità, in particolare, dipende da dove cade il baricentro rispetto all'ala, e va tenuta sotto controllo perché cambia quando si monta o si toglie un carico utile, il che lega il disegno della coda alla modularità del velivolo. Vale infine la pena ricordare che la configurazione ad ala scatolata, grazie all'effetto di imbardata favorevole della sua distribuzione di portanza, potrebbe in linea di principio ridurre o eliminare la deriva verticale, semplificando la coda, un vantaggio ulteriore di quella configurazione che resta però da confermare in galleria del vento [12]. Nella versione ad ala convenzionale, che è la linea di base, la coda a T resta la soluzione robusta e ben compresa, e il suo dimensionamento appartiene al progetto di dettaglio, guidato dall'esigenza di stabilità e di controllo su tutto l'inviluppo di volo, comprese le fasi delicate della transizione dal decollo verticale.

Che cosa ne consegue per il progetto

Conviene a questo punto uscire dagli aggettivi e scrivere i numeri, perché i tre desideri appena esposti, allungamento elevato, carico alare contenuto e apertura sotto i 3 metri, non sono simultaneamente soddisfacibili su un velivolo di 24 chilogrammi e vanno arbitrati esplicitamente. Con l'apertura fissata a 2,9 metri dal vincolo di classe, la superficie alare e l'allungamento sono legati fra loro, perché l'allungamento è il quadrato dell'apertura diviso la superficie, cosicché scegliere l'uno determina l'altro e con esso il carico alare e le velocità di volo. La tabella mette a confronto tre arbitrati possibili e mostra dove ciascuno porta, con le velocità calcolate a livello del mare per la massa di 20,9 chilogrammi della configurazione di persistenza e per un coefficiente di portanza massimo di 1,3, e con la potenza all'elica ricavata dall'efficienza aerodinamica attesa e da un rendimento dell'elica del 74 per cento. Sono valori di primo livello da confermare in galleria del vento [12].

Grandezza	Ala corta e larga	Arbitrato di progetto	Ala lunga e stretta
Apertura alare	2,9 m	2,9 m	2,9 m
Superficie alare	1,05 m²	0,84 m²	0,60 m²
Allungamento	8,0	10,0	14,0
Carico alare	19,9 kg/m²	24,9 kg/m²	34,8 kg/m²
Velocità di stallo	15,7 m/s, 56 km/h	17,5 m/s, 63 km/h	20,7 m/s, 75 km/h
Velocità di crociera di persistenza	20,0 m/s, 72 km/h	22,4 m/s, 81 km/h	26,5 m/s, 95 km/h
Efficienza aerodinamica attesa in crociera	14	16	18
Potenza richiesta all'elica in crociera	396 W	388 W	408 W

La lettura della tabella conferma il valore di circa 400 watt su cui il bilancio energetico è costruito, e insieme corregge un'impressione che il linguaggio corrente sui velivoli di persistenza induce facilmente. Nella classe compatta l'allungamento non compra autonomia

quasi per nulla, perché il guadagno di efficienza che porta viene quasi interamente restituito dall'aumento della velocità che il carico alare più alto impone, cosicché la potenza richiesta resta attorno ai 400 watt in tutte e tre le colonne e il consumo orario con essa. Ciò che l'allungamento cambia davvero sono le velocità, e quindi la capacità di penetrare il vento da un lato e la difficoltà del recupero dall'altro. Il progetto sceglie perciò l'arbitrato centrale, con un allungamento di 10 e un carico alare intorno ai 25 chilogrammi per metro quadrato, e va detto con franchezza che si tratta di un carico alare medio e non basso, e di una velocità di crociera intorno agli 81 chilometri l'ora che non è un volo lento. È il prezzo della classe compatta, ed è il motivo per cui questo velivolo non somiglia agli alianti a motore da cui l'immaginario della lunga persistenza proviene ma ai velivoli tattici da ricognizione, che in questa taglia volano infatti a velocità confrontabili, come mostra il riferimento di classe più vicino, che incrocia a 111 chilometri l'ora [13]. La conseguenza operativa è favorevole più che sfavorevole sul fronte del vento, perché un carico alare medio penetra le correnti di valle meglio di uno basso e rende il mezzo meno sensibile alle raffiche, e va invece messa in conto sul fronte del recupero, perché una velocità di stallo di 63 chilometri l'ora esclude l'atterraggio su radura corta e conferma la necessità del modulo di decollo verticale o di una rete di arresto. Nella configurazione capillare, più pesante di quasi 3 chilogrammi, le velocità salgono di circa il 6 per cento e la potenza di crociera si porta attorno ai 440 watt, il che concorre con la massa e la resistenza dei rotori a spiegare la riduzione di autonomia che la sezione 5.9 quantifica.

La forma aerodinamica di riferimento che esce da questi ragionamenti è dunque precisa. Si tratta di un'ala convenzionale con allungamento intorno a 10, apertura di 2,9 metri e superficie di circa 0,84 metri quadrati, con un profilo di crociera efficiente per il regime viscoso tipico di questa taglia, un carico alare medio scelto per conciliare la persistenza con la tenuta al vento, elementi di distribuzione della portanza che ne migliorino l'efficienza senza appesantirla, e la possibilità di evolvere nella variante scatolata per la configurazione di punta. È una forma che sta interamente dentro ciò che l'ingegneria aeronautica sa già fare, come dimostra il fatto che ali di allungamento anche superiore volano regolarmente, ma che porta con sé alcune verifiche non ancora chiuse. Il profilo definitivo e il carico alare ottimale vanno confermati con simulazioni fluidodinamiche dedicate e con prove in galleria del vento, perché i numeri qui usati vengono dalla letteratura e non dal velivolo reale. La flessibilità dell'ala lunga va gestita con la progettazione strutturale che la sezione sui materiali affronterà, perché un'ala che flette molto va calcolata con strumenti adeguati per non incorrere in problemi aeroelastici. E il vantaggio dell'ala scatolata resta da dimostrare prima di impegnarsi sulla configurazione di punta. Sono verifiche circoscritte, che non mettono in discussione la scelta di un'ala fissa ad alto allungamento come cuore aerodinamico del velivolo, ma che ne fisseranno i valori definitivi.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Modello concettuale della struttura, aliante motorizzato ad alto allungamento con trave di coda ed elica traente, `proj_progetto-concettuale-struttura-hale`
2. Trade study delle architetture della fase progettuale successiva, scelta della cellula ad ala fissa ad alto allungamento, `proj_fase-b-trade-study-architetture`

3. Ottimizzazione aerostrutturale ad alta fedeltà con modelli geometricamente non lineari, ala con allungamento superiore a diciannove e deflessioni oltre il 30 per cento della semiapertura, tec_f368e1fdc078
4. Studio sui profili a basso numero di Reynolds e sul profilo ad alta portanza S1223 nel regime fra 2 e 5 per 10^5, tec_9da54045fd82
5. Analisi e ottimizzazione dei profili NACA, massimo rapporto portanza su resistenza del NACA 4415 con angolo ottimale intorno a 8,5 gradi, tec_feb216e257f9
6. Confronto del profilo ispirato al gufo con un profilo simmetrico di riferimento, vantaggio del 6,7 per cento nel rapporto portanza su resistenza a bassi Reynolds, tec_5f536298543b
7. Studio sui bordi d’uscita ondulati biomimetici, incremento della portanza massima fino al 31 per cento e ritardo dello stallo di circa 6 gradi, tec_959936a81580
8. Quadro comune per l’ottimizzazione del progetto di velivolo, formula del carico alare ottimale di crociera, tec_8eda19b450fa
9. Studio sulla distribuzione di portanza a campana, 11 per cento di efficienza e 22 per cento di apertura in più a parità di peso, con imbardata favorevole, tec_d3172046ac7c
10. Studio sulla minima resistenza indotta e sulle winglet come alternativa all’estensione alare, tec_ba554fa040b6
11. Fondamenti dell’ala scatolata dal punto di vista del progetto, risparmio di carburante del 9 per cento, rapporto di planata intorno a venti e ala circa doppia in peso, tec_3fd2c462335c
12. Elaborazione dell’autore sul dimensionamento alare, con le relazioni fra apertura, superficie, allungamento, carico alare e velocità di stallo applicate alla massa e ai vincoli di questo progetto, e formula del carico alare ottimale di crociera, tec_8eda19b450fa
13. Specifiche del velivolo commerciale di riferimento della classe, apertura di 3,11 metri, massa massima al decollo di 26,5 chilogrammi, autonomia oltre 20 ore e velocità di crociera di 111 chilometri l’ora, tec_d2138300e81c

5.6 La meccanica del volo e le prestazioni

L’ala della sezione precedente è fatta per planare, ma per capire davvero che cosa il velivolo sappia fare occorre tradurre quella forma in numeri di volo, cioè in ore di autonomia, in velocità, in quota e in capacità di tenere la rotta quando il vento contrasta. È questo il compito della meccanica del volo, che lega fra loro la potenza consumata, l’energia trasportata e le prestazioni ottenute, e che permette di dire con onestà quanto a lungo il mezzo resterà in aria e in quali condizioni. L’autonomia che ne risulta, 20-22 h in configurazione di persistenza e 10-13 h con il modulo di decollo verticale montato, discende dal bilancio fra potenza richiesta ed energia trasportata.

Dalla potenza alle ore di volo

La potenza richiesta in volo livellato per questa taglia è dell’ordine di 400 W [1], valore che deriva dall’efficienza aerodinamica dell’ala e dalla bassa velocità di crociera, e che è la grandezza da cui l’intero bilancio energetico dipende. La potenza richiesta non è costante con la velocità, e disegna una curva a conca, alta alle basse velocità perché l’ala molto inclinata produce molta resistenza indotta, alta di nuovo alle alte velocità perché cresce la resistenza d’attrito con l’aria, e minima in mezzo. Il punto più basso di questa conca è la velocità di minima potenza, quella a cui il velivolo consuma di meno e resta in aria il più a lungo possibile, ed è intorno a quel punto, o poco più veloce, che una missione di persistenza conviene sia volata. Esiste anche una velocità leggermente superiore, quella di massima efficienza aerodinamica,

a cui il velivolo percorre la massima distanza con una data energia, ed è quella che conta quando la missione è raggiungere un punto lontano, per esempio al largo della costa, più che restare fermi a sorvegliare un'area.

Da questa potenza discende, per un semplice conto di energia, l'autonomia. In una giornata di volo il velivolo consuma fra 8,5 e 12 kWh, a seconda della sua efficienza reale e delle condizioni [1]. Se questa energia viene da un combustibile, che ne contiene moltissima per ogni chilogrammo, ne bastano da 3,5 a 4,5 kg per coprire l'intera giornata, ed è per questo che i velivoli commerciali di riferimento di questa taglia dichiarano autonomie fra le 18 e le 24 ore [1][2]. La relazione che governa la persistenza di un velivolo a elica lega l'autonomia con l'energia trasportata e con il rendimento con cui la si converte in spinta, e cala con la potenza richiesta, cosicché un velivolo che consuma poco, converte bene e porta molta energia vola a lungo. Il nostro è progettato esattamente per stare bene su tutti e tre questi fronti, poca potenza grazie all'ala, energia densa grazie al combustibile, e un rendimento di conversione che la catena ibrida, trattata più avanti, tiene sotto controllo.

L'autonomia realistica, dal desiderio al numero difendibile

Il valore aspirazionale non regge il bilancio completo. Sommando tutto insieme, la giornata piena di volo, il carico utile massimo, i pannelli solari e il decollo verticale, porterebbe il peso ben oltre il limite, intorno ai 33 chilogrammi, sfondando la classe [3]. Per rientrare sotto i 25 chilogrammi con un margine di sicurezza, e realisticamente sotto i 23,75 chilogrammi, il progetto compie alcune rinunce misurate, toglie i pannelli solari dalla configurazione di base, porta il carico utile da 6 a 4 chilogrammi, rende rimovibile il decollo verticale e ricalibra la quantità di carburante, e proprio quest'ultima ricalibrazione porta l'autonomia dal valore pieno aspirazionale a un valore realistico intorno alle 20 o 22 ore [1][3].

Quel numero, però, va letto con la sua condizione, e va detto qui perché è la premessa di tutti i conti operativi ed economici dello studio. Le 20 o 22 ore appartengono alla configurazione di persistenza, cioè al velivolo che parte con lancio assistito e non porta il modulo di decollo verticale. Con i quattro rotori montati la stessa cellula vola fra le 10 e le 13 ore, perché ne trasporta in crociera per l'intera missione la massa e la resistenza, come la sezione 5.9 quantifica e come la tabella delle due configurazioni della sezione 5.14 riassume [3]. Il velivolo ha dunque due autonomie e non una, e le missioni che partono dalle radure di fondovalle, cioè quelle che il territorio del progetto richiede più spesso, sono servite dalla configurazione più capace e meno persistente. È il modo corretto in cui uno studio di fattibilità trasforma un desiderio in una prestazione difendibile, e dichiarare la coppia di valori anziché il solo migliore è parte di quella correttezza.

Un conto di autonomia, passo per passo

Il legame fra potenza ed energia si verifica con un conto di ordine di grandezza. Se il velivolo consuma in crociera circa 400 watt di potenza utile all'elica, e se in un'ora di volo servono quindi circa quattro decimi di chilowattora di lavoro all'elica, l'energia da spendere è però maggiore, perché la catena a generatore converte l'energia chimica del combustibile in spinta con un rendimento complessivo modesto, dell'ordine di un quarto una volta messi in conto sia il motore termico sia la doppia conversione elettrica [1]. Ne segue che per ogni ora di volo occorre liberare dal combustibile un'energia parecchie volte superiore al lavoro utile. Poiché un chilogrammo di benzina racchiude circa 12 kWh di energia chimica, e poiché solo una frazione di essa diventa lavoro, un conto prudente porta a un consumo dell'ordine di 0,2 kg/h di carburante, cosicché 3,5-4,0 kg di carburante bastano per una ventina di ore [1]. È

un calcolo grezzo, che la fase di dettaglio dovrà sostituire con misure al banco del consumo specifico reale del motore e dei rendimenti effettivi della catena, ma ha il pregio di mostrare che il numero delle 20 ore nasce da pochi ordini di grandezza incatenati, la piccola potenza resa possibile dall'ala efficiente, l'alta densità energetica del combustibile e il rendimento non perfetto ma accettabile della catena a generatore, e non da un'ipotesi ottimistica.

L'inviluppo di volo, velocità, quota e salita

Oltre all'autonomia, un velivolo si descrive con il suo inviluppo di volo, cioè con l'insieme delle velocità e delle quote a cui può operare in sicurezza. La velocità minima è quella di stallo, sotto la quale l'ala non genera più portanza sufficiente e il velivolo non si sostiene, e va tenuta bassa perché una bassa velocità di stallo significa poter volare lenti per risparmiare e poter recuperare il mezzo in spazi ridotti. Gli accorgimenti aerodinamici della sezione precedente, come i bordi d'uscita che ritardano lo stallo, servono anche a questo. La velocità massima è limitata dalla potenza disponibile e dalla struttura, e per un velivolo di persistenza non ha bisogno di essere alta, ma non deve nemmeno essere troppo vicina alla velocità di crociera, perché tra le due deve restare un margine per manovrare e per contrastare il vento. La quota operativa, infine, è per questo velivolo deliberatamente bassa, dalle poche centinaia di metri sul terreno fino a un paio di chilometri, sia perché la missione è osservare e collegare il territorio da vicino, sia perché salire in quota non porta i vantaggi di un velivolo d'alta quota e costerebbe energia. La capacità di salita è modesta e adeguata a superare i rilievi e a portarsi sulla zona di lavoro, mentre la salita verticale, quando serve partire da uno spazio confinato, è affidata al modulo di decollo verticale e non all'ala.

Un fattore lega la quota alle prestazioni, ed è la densità dell'aria, che diminuisce salendo. Un'aria meno densa offre meno portanza e meno spinta all'elica a parità di velocità, e questo va tenuto presente perché il sito pilota dell'entroterra ligure, intorno al massiccio dell'Antola, sta esso stesso a quote non trascurabili, oltre il migliaio di metri, il che riduce leggermente le prestazioni rispetto al livello del mare e va considerato nel dimensionamento del decollo verticale, che in aria rarefatta fatica un poco di più. Sono effetti di secondo ordine alle quote basse del progetto, ma reali, e la fase di dettaglio dovrà tenerne conto nei calcoli definitivi.

Il vento, il vero avversario nelle valli

Nell'entroterra ligure la capacità di penetrare il vento pesa più di quanto i dati di catalogo lascino intendere. Un velivolo di persistenza vola lento per consumare poco, ma un velivolo lento è anche vulnerabile al vento, perché se la sua velocità di crociera non supera con margine la velocità del vento contrario esso non avanza, o addirittura arretra rispetto al suolo, e non riesce a raggiungere o a mantenere la zona di lavoro. Nelle valli strette e ventose dell'Appennino ligure, dove le correnti si incanalano e si rafforzano, questo non è un dettaglio ma un requisito operativo, ed è una delle ragioni per cui il carico alare non va spinto troppo in basso. Su questo punto il vincolo di classe lavora a favore del progetto anziché contro, perché l'apertura limitata a 2,9 metri porta comunque a un carico alare medio e a una velocità di crociera intorno agli 81 chilometri l'ora, che è più che sufficiente a tenere la rotta contro i venti ordinari di valle e lascia un margine anche con raffiche sostenute [4]. Il progetto affronta quindi questa tensione senza dover sacrificare autonomia, perché la velocità che il dimensionamento impone è già quella che serve, e semmai deve preoccuparsi del problema opposto, cioè del recupero, che a una velocità di stallo di 63 chilometri l'ora non è praticabile su radura corta e va affidato al decollo verticale o a una rete di arresto. È un compromesso che i dati di vento locali, da raccogliere sul sito pilota, dovranno tarare con precisione.

Prestazioni diverse per missioni diverse

Le prestazioni utili cambiano con la missione, e questo orienta il modo di volare più che il progetto del velivolo. Le missioni delle aree interne, la sorveglianza di un versante a rischio frana, il monitoraggio di un incendio, l'ispezione di una linea elettrica di valle, chiedono soprattutto di restare a lungo sopra un'area contenuta, volando lenti e bassi, e premiano quindi la persistenza e la tolleranza al vento più della velocità. Le missioni marittime e istituzionale, invece, come raggiungere un tratto di mare al largo del Golfo o pattugliare un lungo tratto di costa, chiedono di percorrere molta distanza, e premiano la velocità di massima efficienza e il raggio d'azione più della sola persistenza sul posto. Lo stesso velivolo serve entrambe cambiando profilo di volo, e la modularità del carico utile, trattata più avanti, permette di adattare anche i sensori alla missione senza toccare la cellula. È questa versatilità, più di ogni singolo primato prestazionale, il vero prodotto tecnico del progetto.

I limiti ambientali, meteo, notte e ghiaccio

Un velivolo che opera sul territorio ligure per gran parte dell'anno incontra condizioni ambientali che ne definiscono i limiti, ed è onesto riconoscerli perché nessun mezzo vola in ogni condizione. Il vento è il primo limite, e impone come si è visto una velocità di crociera che gli tenga testa. La pioggia e la nebbia riducono la visibilità dei sensori ottici, anche se l'infrarosso termico e il radar leggero vi resistono molto meglio, ed è una delle ragioni per cui il carico utile va scelto secondo la missione e la stagione. La notte, lungi dall'essere un limite, è un ambito in cui il velivolo dà il meglio grazie al sensore a infrarossi, che vede il calore al buio e rende il mezzo prezioso nella sorveglianza notturna degli incendi e nella ricerca di persone disperse quando i mezzi a vista sono ciechi. Il vero pericolo, invece, è il ghiaccio, perché in condizioni di umidità e freddo esso può accumularsi sui bordi dell'ala alterandone la forma e appesantendola, con effetti anche gravi sulla portanza, ed è un rischio noto e temuto per i velivoli piccoli, che raramente possono montare i pesanti sistemi antighiaccio dei grandi aerei. La risposta prudente è operativa più che tecnica, cioè evitare il volo nelle condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio e sorvegliare con attenzione la meteorologia, integrando questa disciplina nella pianificazione delle missioni. Anche la temperatura pone limiti, al freddo per la batteria come si vedrà e al caldo per il raffreddamento del motore e dell'elettronica, e l'insieme di questi vincoli definisce una finestra operativa che la fase di dettaglio dovrà quantificare sulle condizioni reali del sito pilota, perché è dentro quella finestra, e non in ogni tempo, che il servizio dovrà garantire la propria disponibilità.

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> La meccanica del volo conferma che l'architettura scelta regge la promessa di fondo, una giornata quasi intera di volo in classe compatta nella configurazione di persistenza e una mezza giornata in quella capillare, purché si accettino le rinunce che riportano il peso sotto il limite. Le prestazioni non sono quelle da primato dei sistemi più grandi, ma sono adeguate e difendibili per la missione, e la versatilità fra profili di volo diversi le rende utili tanto sull'entroterra quanto sul mare. Restano però numeri di primo livello, e vanno dichiarate le verifiche che li renderanno definitivi. L'efficienza aerodinamica reale e la potenza di crociera effettiva, qui assunte dalla letteratura e dai sistemi analoghi, vanno misurate sul velivolo del progetto, perché toccano direttamente l'autonomia. La velocità di crociera di compromesso va tarata sui dati di vento reali del sito pilota. E gli effetti della

> quota e della densità dell'aria sul decollo verticale vanno calcolati sulle condizioni dell'Antola. Sono verifiche che appartengono alla fase di dettaglio e alle prove di volo, e che non cambiano il quadro delle prestazioni ma ne fisseranno i valori esatti prima di impegnarsi sul dimostratore.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Bilancio preliminare di massa ed energia, potenza di crociera intorno ai 400 watt, fabbisogno di una giornata fra otto e mezzo e 12 kWh e carburante di tre e mezzo o 4 chili e mezzo, `proj_fase-b-bilancio-di-massa-ed-energia-preliminare`
2. Specifiche di un velivolo commerciale ad ala fissa di riferimento, autonomia e carico utile della classe, `tec_d2138300e81c`
3. Trade study delle architetture della fase progettuale successiva, sfondamento del peso a configurazione piena e rientro nella classe con le rinunce che ricalibrano l'autonomia, `proj_fase-b-trade-study-architetture`
4. Elaborazione dell'autore sul dimensionamento alare, sezione 5.2 di questo capitolo, carico alare intorno ai 25 chilogrammi per metro quadrato e velocità di stallo e di crociera che ne discendono

5.7 La struttura e i materiali

Un'ala lunga e sottile che deve sostenere il velivolo per una giornata intera, resistere alle raffiche delle valli e restare comunque leggera pone un problema strutturale severo, perché le tre esigenze, leggerezza, resistenza e rigidezza, tirano in direzioni opposte. La risposta a questo problema decide quanto peso resta disponibile per il carburante, i sensori e il carico utile, e quindi incide direttamente sulle prestazioni. Questa sezione spiega perché la scelta cade sui materiali compositi a fibra di carbonio per le parti che contano, come la produzione additiva, cioè la stampa tridimensionale, si affianca ai compositi per le parti secondarie, quali margini di sicurezza e verifiche la struttura richiede, e perché la riparabilità del velivolo è una voce di progetto e non un dettaglio, soprattutto per un operatore cooperativo che deve tenere il mezzo in servizio con costi contenuti.

Perché i compositi a fibra di carbonio

La misura di quanto un materiale sia adatto a una struttura aerea leggera è il suo rapporto fra resistenza e peso, e su questo terreno i compositi a fibra di carbonio, cioè fibre sottilissime di carbonio annegate in una resina, non hanno rivali pratici in questa taglia. Non si tratta di una scommessa sperimentale ma di uno standard ormai consolidato dell'aviazione, tanto che i due grandi aerei di linea più recenti, il Boeing 787 e l'Airbus A350, hanno rispettivamente circa il cinquanta e il cinquantatré per cento del proprio peso in materiali compositi, e i tessuti preimpregnati costituiscono oltre la metà della loro cellula [1][2]. Per un'ala ad alto allungamento come la nostra il vantaggio è ancora più marcato, perché uno studio dedicato a un'ala di questo tipo ha dimostrato un risparmio di peso fino al 60 per cento rispetto alla stessa ala costruita in alluminio [3]. Tradotto in termini di progetto, questo significa che gran parte del peso che i compositi fanno risparmiare rispetto al metallo può essere reinvestito in

carburante e sensori, cioè in autonomia e capacità, ed è per questo che la fibra di carbonio è la scelta obbligata per la struttura primaria del velivolo.

Il longherone e il cassone alare

Dentro l'ala l'elemento che porta il peso è il longherone, la trave che corre lungo l'apertura e che si oppone alla flessione, cioè alla tendenza dell'ala a piegarsi verso l'alto sotto il carico. In un'ala lunga e flessibile come la nostra il longherone è l'elemento più sollecitato e più critico, e proprio qui i compositi a fibra continua danno il meglio, perché le fibre possono essere orientate lungo la direzione dello sforzo, mettendo la resistenza esattamente dove serve. L'ottimizzazione di un longherone alare in composito porta a ridurre il peso fino al 20 per cento rispetto all'alluminio anche solo intervenendo sul disegno della trave [4]. Attorno al longherone si costruisce il cassone alare, la scatola strutturale che dà rigidezza torsionale all'ala e ne definisce il profilo, e da questo cassone i carichi si trasferiscono alla fusoliera e da lì alla trave di coda che porta gli impennaggi. Tutta questa catena di elementi va progettata insieme, perché un'ala molto flessibile, che come si è visto può flettere in volo anche di oltre il 30 per cento della sua semiapertura, si comporta in modo non lineare e va calcolata con strumenti che tengano conto di queste grandi deformazioni, altrimenti si rischiano fenomeni aeroelastici, cioè interazioni indesiderate fra la flessibilità della struttura e le forze dell'aria, che possono degradare le prestazioni o la sicurezza. La tecnica di orientare le fibre per governare come l'ala flette sotto carico, chiamata adattamento aeroelastico, è matura e applicata da decenni sui grandi velivoli, ed è uno degli strumenti che la fase di dettaglio userà per rendere l'ala lunga insieme leggera e docile [5].

La produzione additiva per le parti secondarie

Non tutta la struttura ha bisogno della fibra continua, e per le parti secondarie la produzione additiva, cioè la stampa tridimensionale di materiali polimerici anche caricati con fibra corta, offre un compromesso eccellente fra prestazioni, costo e libertà di forma. I dati mostrano che i filamenti compositi da stampa hanno fatto passi da gigante, con un materiale plastico caricato di fibra di carbonio corta che raggiunge una resistenza specifica superiore a quella dell'alluminio da lavorazione, e con materiali tecnici come il PEEK stampato che arrivano a resistenze a trazione e flessione ragguardevoli, superando persino i pezzi ottenuti per stampaggio a iniezione [6][7]. Per un velivolo come il nostro questo apre la strada a produrre in casa e a basso costo i bracci che reggono i rotori del decollo verticale, gli alloggiamenti dei sensori, le staffe e i supporti, spesso con la geometria ottimizzata al calcolatore per togliere materiale dove non serve, e con la possibilità di integrare direttamente nel pezzo gli alloggiamenti per l'elettronica, semplificando l'assemblaggio e togliendo peso. Esistono già telai di drone stampati che pesano poche centinaia di grammi e battono in leggerezza i prodotti commerciali di riferimento [8]. La produzione additiva è inoltre ideale per la prototipazione rapida e per i piccoli lotti, che è esattamente il regime in cui un progetto come questo si muove nelle sue prime fasi.

La strategia costruttiva mista

Da questi due mondi discende la strategia più sensata, che non è scegliere l'uno o l'altro ma combinarli secondo dove conta cosa. La fibra di carbonio continua va usata per la struttura primaria, il longherone, il cassone alare e i punti di attacco più sollecitati, dove contano la rigidezza e la resistenza e dove il risparmio di peso ripaga il costo maggiore del materiale e del processo. La stampa tridimensionale va usata per i componenti secondari, i bracci dei rotori,

gli alloggiamenti e i supporti, dove conta il costo e la libertà di forma e dove le prestazioni della fibra corta bastano. Questa divisione del lavoro fra i materiali massimizza il rapporto fra prestazioni e spesa dentro il vincolo di peso, e ha il pregio pratico di collocare la lavorazione più delicata, quella dei compositi a fibra continua, su un numero ridotto di parti critiche, lasciando alla stampa, più economica e flessibile, tutto il resto. È un approccio coerente con la natura del progetto, che deve produrre pochi esemplari di alta qualità con budget contenuti, e non grandi serie.

Margini di sicurezza, fatica e riparabilità

Una struttura aerea non si progetta sul carico massimo previsto ma su un multiplo di esso, il coefficiente di sicurezza, che tiene conto delle incertezze dei materiali, dei difetti di produzione e dei carichi imprevisti, e va applicato con cura ai compositi perché il loro comportamento a rottura è più improvviso di quello dei metalli. A questo si aggiunge la fatica, cioè l'accumulo di piccoli danni a ogni ciclo di volo, che in un velivolo destinato a molte ore di servizio va tenuta sotto controllo perché è spesso lei, più del singolo carico eccezionale, a definire la vita utile della struttura. Proprio perché il velivolo è pensato per volare molto e per essere operato da un'impresa cooperativa che deve contenere i costi, la riparabilità diventa una scelta di progetto. Le tecniche recenti di riparazione dei compositi con resine termoplastiche liquide recuperano fino al 97 per cento della resistenza originale di un giunto danneggiato, a un costo di riparazione che si colloca fra l'otto e il 25 per cento del costo di sostituzione della parte [9]. Progettare la struttura pensando fin dall'inizio a come la si ripara, con parti sostituibili e giunzioni accessibili, significa abbassare il costo del ciclo di vita del velivolo e ridurre i tempi di fermo, il che per un operatore di servizio è denaro reale.

Le giunzioni, l'assemblaggio e il controllo di qualità

Costruire una struttura in composito non significa solo laminare le fibre, ma anche unire le parti e verificare che il risultato sia sano, e questi due aspetti, le giunzioni e il controllo di qualità, decidono spesso l'affidabilità reale più della bontà del laminato. Le parti in composito si uniscono per incollaggio o con inserti metallici annegati, e le giunzioni sono i punti più delicati della struttura, perché è lì che i carichi si concentrano e che i difetti si annidano, ragione per cui vanno progettate con margini generosi e provate con cura. Il controllo di qualità, a sua volta, è essenziale perché un composito può nascondere al suo interno difetti invisibili all'occhio, come vuoti d'aria, distacchi fra gli strati o zone mal impregnate di resina, che ne riducono silenziosamente la resistenza, Il controllo di questi difetti, in un'impresa della scala del progetto, si fa con i mezzi che l'impresa può realmente permettersi, cioè con il controllo di processo in laminazione, la pesatura dei pezzi come indicatore indiretto della frazione di resina, e l'ispezione visiva e tattile sistematica prima di ogni impiego, condotta secondo una lista di controllo scritta. Le tecniche strumentali di controllo non distruttivo, dagli ultrasuoni alla termografia, appartengono a laboratori attrezzati e a volumi produttivi che il progetto non ha, e vanno eventualmente acquistate come servizio esterno sui soli componenti critici del primo esemplare, non assunte come pratica corrente. La riparabilità dei compositi, di cui si è detto, permette poi di intervenire sui difetti trovati recuperando gran parte della resistenza a costo contenuto. Anche la produzione additiva richiede il suo controllo, perché le proprietà delle parti stampate dipendono sensibilmente dai parametri del processo, dall'orientamento con cui si deposita il materiale alla temperatura, e vanno quindi caratterizzate sui pezzi reali prima di affidare loro funzioni portanti. L'insieme di queste pratiche, le giunzioni curate, il controllo non distruttivo e la caratterizzazione delle parti stampate, è ciò che trasforma un

buon progetto in un velivolo affidabile, ed è parte integrante del piano di produzione tanto quanto la scelta dei materiali.

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> La struttura di riferimento che esce da questa sezione è una cellula mista, con la fibra di carbonio continua per il longherone, il cassone alare e i punti critici, e la stampa tridimensionale per i bracci dei rotori, gli alloggiamenti e i supporti, il tutto progettato con margini di sicurezza adeguati ai compositi, con attenzione alla fatica e con la riparabilità come criterio. È una soluzione che sta interamente dentro tecnologie mature e ampiamente usate, il che tiene basso il rischio, e che sfrutta la leggerezza dei compositi per liberare peso a favore dell'autonomia e del carico utile. Restano naturalmente le verifiche che appartengono al progetto di dettaglio e alla prova. I carichi reali e la risposta della struttura, qui stimati sulla base della letteratura e di ali analoghe, vanno confermati con calcoli dedicati e con prove statiche e a fatica sul cassone e sul longherone, perché è su questi numeri che si fissano i coefficienti di sicurezza e la vita utile. Il comportamento aeroelastico dell'ala lunga e flessibile va simulato e verificato in galleria del vento e in volo, per escludere fenomeni pericolosi. E le proprietà effettive delle parti stampate, che dipendono sensibilmente dai parametri di stampa, vanno caratterizzate sui pezzi reali prima di affidare loro funzioni strutturali. Sono verifiche circoscritte, che non mettono in discussione la scelta dei compositi e della strategia mista, ormai solida, ma che ne definiranno i valori e le tolleranze prima di costruire il dimostratore.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Sviluppo dei materiali compositi nell'aviazione, quota di composito intorno al 50 per cento del peso nei grandi velivoli recenti, `tec_223cfb799a8b`
2. Guida tecnica ai preimpregnati e alla laminazione dei compositi, oltre metà della cellula in preimpregnato sui velivoli di riferimento, `tec_ce86ccb21113`
3. Progetto di un'ala ad alto allungamento in composito, risparmio di peso fino al 60 per cento rispetto all'alluminio, `tec_32fb65b7b12a`
4. Ottimizzazione dei longheroni alari in composito, riduzione di peso fino al 20 per cento rispetto all'alluminio, `tec_9ea02d1e18fc`
5. Adattamento aeroelastico per applicazioni aerospaziali, tecnica matura per governare la flessibilità dell'ala, `tec_aecf08bae40e`
6. Compositi a fibra orientata da produzione additiva, resistenza specifica superiore all'alluminio da lavorazione, `tec_48d414708b65`
7. Miglioramenti di resistenza a trazione e flessione nel PEEK stampato, valori superiori allo stampaggio a iniezione, `tec_848346a9c8b9`
8. Produzione rapida di telai di drone leggeri con fibra continua, telaio di poche centinaia di grammi più leggero del riferimento commerciale, `tec_d3874ef2051a`
9. Riparazione delle strutture aerospaziali in composito con resina termoplastica liquida, recupero fino al 97 per cento della resistenza a costo fra l'otto e il 25 per cento della sostituzione, `tec_7eb921142185`

5.8 La propulsione fra elettrico, ibrido e carburante

Se l'ala decide quanto poco consuma il velivolo, è la propulsione a decidere da dove viene l'energia che consuma, ed è questa la scelta tecnica più consequenziale dell'intero progetto, perché condiziona l'autonomia, il peso, il rumore, l'affidabilità e persino la facilità di ottenere i permessi di volo. La sezione precedente sulla meccanica del volo ha già mostrato che una giornata di volo in classe compatta esclude la sola batteria, ma questo non basta a chiudere la questione, perché una volta stabilito che serve il combustibile restano aperte due domande. La prima è se convenga bruciare il combustibile per muovere direttamente l'elica oppure per produrre elettricità, e la seconda, se si sceglie la via elettrica, è come organizzare la catena. Questa sezione risponde a entrambe, arrivando alla configurazione a generatore in serie che il gruppo di lavoro ha selezionato, e lo fa confrontando con i numeri le strade possibili.

Perché non la sola batteria

Conviene ribadire con una cifra perché la batteria da sola non regge la missione, anche se domina il mercato dei piccoli droni, dove circa il 90 per cento dei velivoli sotto i 2 chilogrammi vola a batterie al litio [1]. Le batterie migliori disponibili commercialmente arrivano a circa 240 wattora per chilogrammo a livello di singola cella, e le tecnologie di laboratorio come il litio zolfo hanno toccato record di oltre 700 wattora per chilogrammo, ma questi numeri non vanno confusi con ciò che si installa davvero a bordo [2][3]. Il pacco completo, una volta aggiunti l'involucro, il sistema di gestione, i cavi e i margini di sicurezza, scende nella realtà aeronautica fra i 160 e i 200 wattora per chilogrammo, e a questa densità l'energia di una giornata di volo peserebbe fra i 30 e i 47 chilogrammi di sole batterie, più dell'intero velivolo ammesso [4]. Non stupisce quindi che un velivolo a sole batterie di questa classe si fermi a poche ore, e che i dati riportino per un mezzo a rotori a sole batterie un raggio d'azione dell'ordine degli 80 chilometri [5]. La batteria resta indispensabile nel progetto, ma come tampone dentro una catena ibrida, non come sorgente primaria di energia.

Bruciare per muovere o bruciare per produrre elettricità

Stabilito che serve il combustibile, la prima biforcazione è netta. Nella trasmissione diretta il motore termico muove l'elica attraverso un albero, come in un aeroplano tradizionale, ed è la soluzione più efficiente in assoluto perché l'energia passa dal combustibile all'elica con un solo stadio di conversione, con un rendimento fra il novantasette e il 99 per cento, ed è ciò che permette ai velivoli a benzina di riferimento di volare anche 15 ore o più [6]. È una soluzione collaudata e frugale, ma paga tre limiti che per questo progetto pesano. Il motore è costretto a seguire i giri che il volo richiede, spesso lontano dal suo punto di minimo consumo, non offre alcuna riserva se si guasta, e soprattutto mal si presta ad alimentare i quattro rotori del decollo verticale, che sono elettrici per natura e che una trasmissione meccanica diretta non raggiunge senza complicazioni.

L'alternativa è produrre elettricità e distribuirla, ed è la via ibrida, che affianca al combustibile una componente elettrica. Le fonti confermano che l'ibridazione conviene, perché rispetto al solo motore termico può ridurre il consumo di carburante di circa il 25 per cento su voli di un'ora, e perché esiste una quota ottimale di volo elettrico, intorno a un quarto del tempo per missioni sotto le 5 ore e mezza, che massimizza l'efficienza [7]. La via ibrida costa qualcosa in termini di conversione, ma restituisce flessibilità, ridondanza e la capacità di alimentare comodamente i rotori del decollo verticale, ed è per questo che il progetto la sceglie. Restano allora da confrontare i tre modi di costruire un ibrido.

Le tre topologie ibride

Il primo modo è l'ibrido in parallelo, in cui il motore termico e un motore elettrico agiscono insieme sullo stesso albero dell'elica, e possono spingere separatamente o insieme. È una soluzione potente, usata per esempio in un sistema sperimentale per velivoli a media quota che accoppia un motore Rotax a un motore elettrico da 40 chilowatt, e ha il pregio di permettere una spinta supplementare nei momenti critici come il decollo [8]. Il suo limite è la complessità meccanica dell'accoppiamento fra i due motori sullo stesso albero, e il fatto che, come la trasmissione diretta, non serve naturalmente i rotori del decollo verticale distribuiti sui bracci.

Il secondo modo è la trasmissione diretta assistita, in cui il motore muove l'elica e un piccolo alternatore ricarica una batteria che alimenta i soli servizi di bordo e i rotori verticali. È efficiente in crociera ma eredita il difetto del motore a giri variabili e tiene la potenza del decollo verticale separata dalla catena principale.

Il terzo modo è l'ibrido in serie, chiamato anche configurazione a generatore, in cui il motore termico non tocca mai l'elica ma gira a regime costante trascinando un generatore che alimenta un bus elettrico, dal quale attingono sia il motore elettrico di crociera sia i quattro rotori del decollo verticale, con una batteria che fa da tampone. Qui il prezzo è il più alto sul piano dei rendimenti, perché l'energia attraversa due conversioni, prima in elettricità nel generatore e poi di nuovo in moto nel motore elettrico, e il prodotto dei rendimenti dei vari stadi, il generatore, l'elettronica di potenza, il bus e il motore, si aggira fra il settantotto e l'86 per cento contro il novantasette o novantanove della trasmissione diretta [9]. Questa penalità lorda, dell'ordine del 15 o 18 per cento, sembrerebbe squalificare la soluzione, e invece è proprio quella scelta, per ragioni che vanno spiegate.

Il confronto fra trasmissione diretta e generatore in serie

Il confronto fra le due topologie va impostato con precisione, perché il modo in cui viene spesso presentato, cioè come una penalità di rendimento dell'ibrido in serie dovuta alla doppia conversione, è fuorviante se non si dichiara quale rendimento si sta confrontando. Nella trasmissione diretta l'elica è calettata sull'albero motore, e il motore segue il regime imposto dal volo, lavorando quindi spesso lontano dal proprio punto di minimo consumo specifico. Nell'ibrido in serie il motore gira a regime costante nel punto di consumo specifico minimo, e la sua uscita attraversa generatore, elettronica di potenza e motore elettrico prima di arrivare all'elica. Le due catene hanno perdite di natura diversa, e il bilancio netto in crociera dipende dal profilo di missione e dalla qualità dei componenti: nella letteratura raccolta per questo studio il recupero dovuto al funzionamento a regime ottimale è dell'ordine dell'8-12 per cento, sufficiente a compensare buona parte delle perdite di conversione, cosicché il differenziale netto in crociera è contenuto e non è la ragione della scelta [9].

La differenza sostanziale fra le due architetture non sta infatti nel rendimento di crociera ma nel dimensionamento dell'accumulo. In un ibrido in serie i quattro rotori del decollo verticale sono alimentati dallo stesso bus elettrico su cui eroga il generatore, cosicché una parte della potenza di sollevamento proviene direttamente dalla combustione e la batteria copre solo il picco. Con il motore calettato sull'elica, invece, il bus elettrico che alimenta i rotori non ha alcuna sorgente propria e l'intera energia del decollo e dell'atterraggio verticale deve venire dal pacco, che va perciò dimensionato più grande e più pesante. È questo, e non un vantaggio di consumo, il motivo per cui la configurazione in serie chiude meglio il bilancio di massa di un velivolo che deve insieme decollare in verticale e restare in aria a lungo.

A questa ragione di dimensionamento si affiancano due vantaggi operativi. Il primo è la ridondanza, perché se il motore termico si ferma il velivolo rientra volando a batteria per 15 o 20 minuti, riserva sufficiente soprattutto nelle operazioni a vista [9]. Il secondo è la possibilità di volare per tratti a sola batteria, con il motore spento, capacità che la trasmissione diretta non offre e che riduce il rumore percepito a terra nelle missioni condotte a bassa quota sopra i centri abitati.

A questi vantaggi operativi si aggiunge un fatto di dimensionamento che l'ibrido in serie sfrutta meglio di ogni altra topologia, e cioè che la potenza necessaria al decollo verticale è circa 10 volte quella di crociera, dell'ordine di 4-7 kW contro i 400 W del volo livellato [9]. Se il generatore dovesse coprire quel picco sarebbe grande e pesante, ma poiché il decollo verticale dura pochi minuti mentre la crociera dura ore, il picco viene affidato alla batteria tampone e il generatore può essere dimensionato sulla media, cioè su 1,0-1,5 kW continui. Questo disaccoppiamento fra il generatore piccolo e il picco coperto dalla batteria è il principio che rende compatibile con i 25 chilogrammi un velivolo che deve sia restare in aria un giorno sia decollare in verticale. Esiste peraltro una frazione ottimale del peso da destinare alla batteria in un ibrido in serie, che gli studi sanno calcolare, e che conferma come esista un punto di equilibrio ben definito fra la massa del generatore, quella della batteria e quella del carburante [10]. Su tutto questo, e sui vantaggi di durata del motore che gira sempre al regime giusto, la sezione seguente entra nel dettaglio della catena.

Quanta batteria, il punto di equilibrio

Una domanda che la scelta ibrida in serie lascia aperta è quanta batteria imbarcare, e non è banale, perché la batteria tira in due direzioni opposte. Troppo poca, e non copre il picco del decollo verticale né garantisce una riserva di rientro dignitosa. Troppa, e il suo peso ruba spazio al carburante e al carico utile, riducendo proprio l'autonomia che si vorrebbe difendere. Esiste quindi un punto di equilibrio, una frazione ottimale del peso da destinare alla batteria, che gli studi sui sistemi ibridi in serie sanno individuare e che dipende dalla durata della missione e dal profilo di volo [10]. Per un velivolo come il nostro, in cui la crociera domina e il decollo verticale è breve, quel punto cade su una batteria modesta, dimensionata sul picco verticale più una riserva, e non su una batteria grande da mezzo elettrico, ed è coerente con i 2 o 3 chilogrammi che il bilancio di massa assegna all'accumulo. Capire che esiste un ottimo, e che sta dalla parte della batteria piccola per questa missione, evita l'errore di appesantire il velivolo con un accumulo eccessivo nell'illusione di guadagnare autonomia, quando è il carburante, non la batteria, a portare l'energia delle lunghe ore. La determinazione precisa di questa frazione appartiene al progetto di dettaglio, che la calcolerà sul profilo di missione reale, ma il principio orienta fin d'ora il dimensionamento verso una batteria tampone contenuta, al servizio della catena e non sua rivale.

Che cosa ne consegue per il progetto

La scelta propulsiva del progetto è quindi l'ibrido in serie a generatore, la configurazione che il gruppo di lavoro ha individuato fra le candidate come la migliore per questa piattaforma, e non è una scelta di massima efficienza ma una scelta operativa [9]. Si accetta consapevolmente una piccola penalità di consumo in crociera, quantificata fra il cinque e il 12 per cento, in cambio della ridondanza che permette di rientrare a motore spento, della modalità silenziosa utile alla sorveglianza, e della capacità di alimentare da un unico bus sia l'elica sia i rotori del decollo verticale. È una scelta coerente con la natura modulare e di servizio del velivolo, che deve essere affidabile e versatile più che primatista nei consumi.

Resta inteso, e la fase di dettaglio dovrà chiuderlo, che i rendimenti qui usati sono valori tipici di letteratura e non misure sul sistema reale, e che il consumo specifico effettivo del motore prescelto e i rendimenti della catena vanno verificati al banco, perché toccano direttamente l'autonomia. Con questa premessa, la sezione successiva descrive come la catena a generatore in serie funziona pezzo per pezzo.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Rassegna sui sistemi di consegna con drone e sulla loro gestione energetica, prevalenza delle batterie al litio nei piccoli velivoli, `tec_49b0ada19032`
2. Scheda della cella al litio Panasonic di riferimento, densità energetica intorno ai 240 wattora per chilogrammo, `tec_86265c362f3b`
3. Studio sulle celle al litio zolfo ultraleggere, record di laboratorio oltre i 700 wattora per chilogrammo a basso regime, `tec_7984e80ac8e4`
4. Bilancio preliminare di massa ed energia, densità reale del pacco fra 160 e 200 wattora per chilogrammo e massa delle batterie per una giornata, `proj_fase-b-bilancio-di-massa-ed-energia-preliminare`
5. Ottimizzazione di un sistema ibrido a cella a combustibile e batteria per velivolo, raggio del solo elettrico a rotori intorno agli 80 chilometri, `tec_02b0e6582fa3`
6. Panoramica sulla propulsione dei velivoli senza pilota, autonomie fino a 15 ore per i mezzi a benzina, `tec-propulsion` con fonte sullo ScanEagle
7. Modellazione del powertrain ibrido per velivoli senza pilota, riduzione del carburante di circa il 25 per cento e quota ottimale di volo elettrico intorno a un quarto, `tec_5cfa1ee94a66`
8. Sistema ibrido in parallelo per velivolo a media quota con motore Rotax e motore elettrico da 40 chilowatt, `tec_8c0547cf4941`
9. Trade dettagliato sulla propulsione, scelta dell'ibrido in serie, rendimenti della catena, penalità netta di crociera e potenza del decollo verticale circa 10 volte la crociera, `proj_fase-b-trade-propulsione-dettagliato-powertrain-ibrido`
10. Studio sulla frazione ottimale di peso della batteria in un sistema ibrido in serie, `tec_4cf5147849a7`

5.9 La catena ibrida a generatore in serie

Scelta la propulsione ibrida in serie, resta da mostrare come funziona davvero, seguendo l'energia dal serbatoio fino alle eliche, perché è nel disegno di questa catena che si concentrano gli accorgimenti che rendono l'architettura compatibile con i 25 chilogrammi e affidabile in volo. La catena non è un'astrazione, perché esistono già gruppi di generazione commerciali della classe giusta che la incarnano, e la sezione li richiama per mostrare che si tratta di ingegneria disponibile e non di ricerca da inventare. Il filo del ragionamento segue il percorso fisico dell'energia, dal motore che gira a regime costante al bus elettrico che distribuisce, dalla batteria che assorbe i picchi ai motori che spingono, e si chiude sul modo in cui il sistema decide istante per istante da dove prendere la potenza.

Il percorso dell'energia

All'inizio della catena c'è un piccolo motore termico che, a differenza di un aeroplano tradizionale, non è collegato ad alcuna elica. Il suo unico compito è girare a un regime costante, quello di minimo consumo, trascinando un generatore elettrico che converte la potenza meccanica in corrente. Questa corrente, alternata all'uscita del generatore, viene raddrizzata dall'elettronica di potenza e immessa in un bus elettrico in corrente continua, che è la spina dorsale del sistema, una sorta di rete elettrica di bordo a cui tutto si collega. Al bus è collegata in parallelo una batteria, che non è la sorgente principale ma un serbatoio tampone capace di assorbire e restituire potenza in fretta. Dal bus, infine, l'energia va agli utilizzatori attraverso altri convertitori, il motore elettrico che muove l'elica di crociera al muso e i quattro motori che azionano i rotori del decollo verticale sui bracci. Ogni utilizzatore preleva dal bus la potenza che gli serve nel momento in cui gli serve, e questa è la virtù dell'architettura, perché disaccoppia la produzione di energia, affidata al motore a regime costante, dal consumo, che varia moltissimo tra la crociera tranquilla e il decollo verticale.

Due regimi molto diversi, la crociera e il decollo verticale

La catena lavora in due condizioni profondamente diverse, e capirle spiega come è dimensionata. In crociera il fabbisogno è modesto, intorno ai 400 watt all'elica, e il motore termico produce quel poco più il necessario a ricaricare lentamente la batteria e ad alimentare i servizi di bordo, girando rilassato al suo regime ottimale mentre la batteria galleggia quasi carica. È la condizione in cui il velivolo passa la stragrande maggioranza del tempo, ed è per questo che il generatore va dimensionato su questo consumo medio contenuto. Nel decollo verticale, invece, per pochi minuti il fabbisogno esplode, perché sollevare il velivolo con i quattro rotori richiede una potenza dell'ordine di quattro o sette chilowatt, circa 10 volte quella di crociera [1]. Se il generatore dovesse coprire da solo questo picco andrebbe reso grande e pesante, vanificando la leggerezza dell'insieme, e invece qui interviene la batteria, che restituisce in pochi minuti l'energia accumulata e copre la differenza fra il picco richiesto e la potenza costante del generatore. Il generatore, di conseguenza, può restare piccolo, dimensionato su circa uno o un chilowatt e mezzo continui, cioè sul fabbisogno medio, mentre la batteria fa da cuscinetto per i picchi. Questo disaccoppiamento fra un generatore modesto e i picchi coperti dalla batteria è l'idea che rende l'intera architettura compatibile con la classe di peso, e sta al cuore della scelta ibrida in serie.

I rendimenti dei singoli stadi

L'energia attraversa più stadi di conversione, e ognuno ne trattiene una parte. Il generatore converte la potenza meccanica in elettrica con un rendimento dell'ordine del 90 per cento, l'elettronica di potenza che raddrizza e converte lavora fra il 95 e il 98 per cento, e il motore elettrico che aziona l'elica rende a sua volta intorno al 90 per cento, cosicché il rendimento della sola catena elettrica, dal moto dell'albero alla potenza all'elica, si colloca fra il 78 e l'86 per cento, contro il 97-99 per cento della trasmissione diretta [1].

Questo differenziale non va però letto come la misura della convenienza relativa fra le due topologie, perché confronta due grandezze omogenee soltanto in apparenza. Nella trasmissione diretta il motore segue il regime imposto dal volo e lavora quindi con un consumo specifico variabile e in media superiore al minimo, mentre nell'ibrido in serie gira in un punto fisso scelto per il consumo specifico minimo. Il confronto corretto si fa sul consumo di carburante per ora di crociera, non sul rendimento del solo tratto elettrico, e su quella base la differenza fra le due soluzioni si riduce a pochi punti percentuali il cui segno dipende dal profilo di missione e

dalla mappa del motore prescelto [1]. Il progetto non fonda quindi la scelta su un vantaggio di consumo, che non rivendica, ma sul dimensionamento dell'accumulo discusso nella sezione precedente e sulle capacità operative che il bus elettrico rende possibili. La misura al banco del consumo specifico reale nel punto di lavoro è fra le verifiche prioritarie, perché è l'unico modo per chiudere il confronto con un numero anziché con una stima.

Il generatore, l'elettronica e il bus

Il generatore di un ibrido in serie è tipicamente una macchina elettrica a magneti permanenti, compatta ed efficiente, accoppiata direttamente all'albero del motore termico, e il suo dimensionamento sulla potenza media più che sul picco è ciò che gli permette di restare leggero. L'elettronica di potenza che sta fra il generatore e il bus svolge un lavoro delicato, perché raddrizza la corrente alternata, ne stabilizza la tensione e gestisce il flusso verso e dalla batteria, e la sua affidabilità è critica perché è un punto singolo attraverso cui passa quasi tutta l'energia. Il bus in corrente continua, infine, è la rete a cui tutto si collega, e la scelta della sua tensione influenza il peso dei cavi e l'efficienza della distribuzione, con tensioni più alte che riducono le correnti e quindi le perdite ma richiedono più attenzione all'isolamento. Sono scelte di dettaglio che il progetto esecutivo dovrà fissare, ma il principio è chiaro, una spina dorsale elettrica unica e ridondata da cui pescano tutti gli utilizzatori.

La protezione del bus e l'isolamento dei guasti

Poiché quasi tutta l'energia del velivolo passa per il bus elettrico, la sua protezione è una questione di sicurezza oltre che di funzionamento. Il bus va difeso dai cortocircuiti e dai sovraccarichi con dispositivi che isolano rapidamente un guasto prima che si propaghi, e va organizzato in modo che il cedimento di un utilizzatore, per esempio uno dei quattro rotori, non trascini con sé l'intero sistema. La telemetria che ogni regolatore di potenza riferisce, con la sua tensione, corrente, velocità e temperatura, serve esattamente a questo, a sorvegliare lo stato del bus e a individuare dove nasce un problema, così che il sistema possa reagire, ridistribuendo per esempio la spinta sugli altri rotori o attingendo alla riserva di batteria. Questa attenzione all'isolamento dei guasti è coerente con la scelta, spiegata trattando l'avionica, di quattro regolatori separati invece di uno solo, e con la logica generale del progetto di non affidare mai una funzione critica a un unico organo. La progettazione di dettaglio del bus, la sua tensione, le sue protezioni e la sua architettura ridondata, è uno dei compiti che la fase successiva dovrà svolgere con cura, perché è la spina dorsale su cui tutto il resto poggia e un suo cedimento non protetto avrebbe conseguenze sull'intero velivolo.

Gruppi di generazione già disponibili

Il pregio forse maggiore di questa architettura è che non va inventata, perché esistono già gruppi di generazione commerciali della classe giusta, il che colloca la catena a un livello di maturità elevato e riduce il rischio di sviluppo. Nella fascia utile si trovano generatori dell'ordine di 2 o 4 chilowatt e di 3 o 5 chilogrammi, alcuni dei quali integrano già la telemetria negli autopiloti a codice aperto più diffusi, semplificando l'integrazione [1]. Fra gli esempi documentati c'è un generatore ibrido per velivoli senza pilota da circa 4.000 watt e 3,5 kg, che dà la misura di quanta potenza si ottenga oggi da un pacco leggero [2], e c'è un motore a combustibile pesante da 50 centimetri cubici accoppiato a una generazione elettrica di poco più di 2 chilowatt, che rappresenta quasi esattamente il gruppo di cui il progetto ha bisogno per la versione navale [3]. La disponibilità di questi prodotti significa che il progetto può, nelle prime fasi, integrare un gruppo commerciale anziché svilupparne uno da zero, riservando lo

sviluppo su misura alle fasi in cui il volume e i requisiti lo giustifichino, secondo la logica di comprare ciò che è maturo e costruire solo ciò che aggiunge valore.

L'elica di crociera, l'ultimo anello

L'ultimo anello della catena è l'elica di crociera, che converte la potenza del motore elettrico in spinta, e la sua efficienza incide direttamente sull'autonomia perché ogni frazione persa qui si somma alle perdite della catena a monte. Per un velivolo lento e di lunga persistenza conviene un'elica di grande diametro che gira piano, come quella di un aliante motorizzato, perché muove molta aria a bassa velocità con il minimo spreco, ed è l'opposto dell'elica piccola e veloce di un mezzo da corsa. L'elica va accordata con cura alla velocità di crociera e al motore elettrico, perché un'elica troppo caricata o troppo scarica lavora lontano dal suo punto di massimo rendimento e disperde energia. Soluzioni più raffinate offrono vantaggi ulteriori al prezzo di una maggiore complessità, come l'elica a passo variabile che adatta l'inclinazione delle pale alla fase di volo, oppure l'elica ripiegabile che si chiude per ridurre la resistenza quando il velivolo plana a motore spento nella modalità silenziosa, recuperando un poco di autonomia proprio quando conta restare in aria senza consumare. La scelta dell'elica appartiene al progetto di dettaglio, ma il principio è chiaro, un'elica grande e lenta accordata alla crociera per spremere l'ultima frazione di rendimento dall'intera catena.

Come il sistema decide da dove prendere la potenza

Una catena ibrida non è solo un insieme di componenti ma anche una logica che decide, istante per istante, quanta potenza far erogare al motore e quanta far scambiare alla batteria, e questa logica è ciò che i tecnici chiamano gestione dell'energia. In crociera la strategia mantiene il motore al regime ottimale e la batteria vicino alla piena carica, pronta per il prossimo picco. Nel decollo verticale la strategia lascia che la batteria eroghi la potenza di picco, per poi ricaricarla dolcemente durante la crociera successiva. Nelle fasi in cui serve silenzio la strategia spegne il motore e fa volare il velivolo a sola batteria per il tempo consentito. Esistono metodi raffinati per prendere queste decisioni in modo ottimale, dai controlli a regole fisse a quelli a logica sfumata fino a quelli predittivi, e la loro trattazione appartiene alla sezione sulla gestione dell'energia, ma è importante notare fin d'ora che una buona logica di gestione può da sola migliorare sensibilmente i consumi e l'autonomia, ed è quindi parte integrante del progetto propulsivo e non un accessorio. La stima accurata dello stato di carica della batteria, che questi sistemi richiedono, è oggi possibile con precisioni dell'ordine di pochi punti percentuali, il che rende affidabile la gestione [4].

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> La catena a generatore in serie che esce da questa sezione è un sistema definito e costruibile, con un piccolo motore termico a regime costante, un generatore a magneti permanenti dimensionato sulla potenza media, un'elettronica di potenza che alimenta un bus in corrente continua, una batteria tampone che copre i picchi del decollo verticale e garantisce il rientro di emergenza, e i motori elettrici che muovono l'elica di crociera e i quattro rotori. È un'architettura che sacrifica un poco di rendimento in cambio di flessibilità, ridondanza e silenzio, e che poggia su componenti in gran parte già disponibili sul mercato, il che ne tiene basso il rischio. Le verifiche che restano aperte sono precise e circoscritte. I rendimenti effettivi di ogni stadio della catena vanno misurati al banco sul

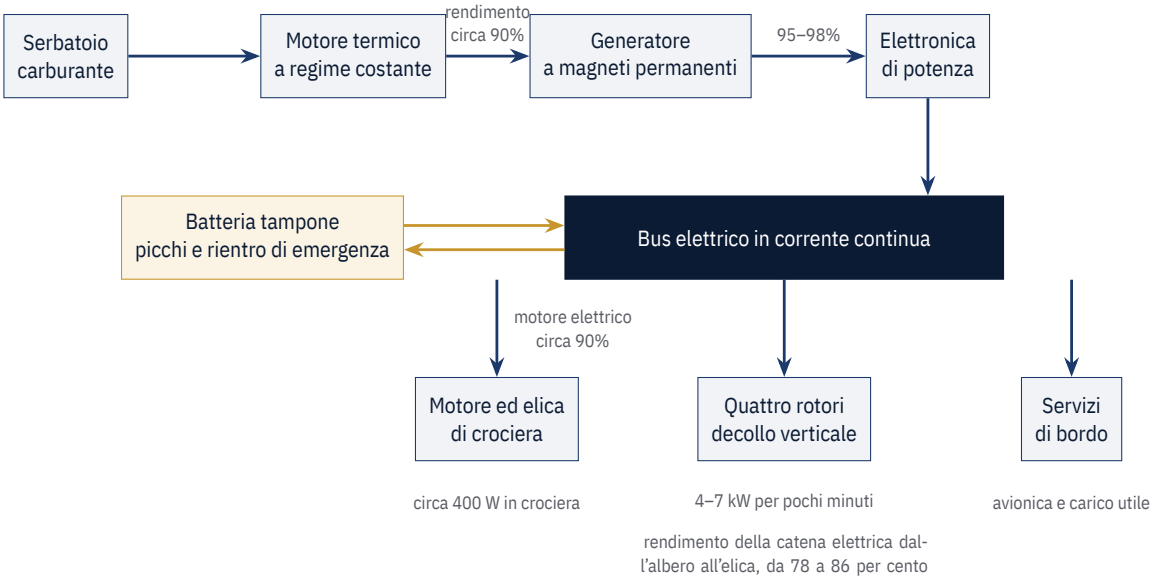


Figura 5.1. La catena propulsiva ibrida a generatore in serie. Il motore termico non muove alcuna elica: produce corrente a regime costante, il bus distribuisce agli utilizzatori e la batteria copre i picchi del decollo verticale e garantisce il rientro di emergenza.

> sistema reale, perché il loro prodotto fissa l'autonomia. La tensione del bus e il dimensionamento dei cavi e dei convertitori vanno definiti nel progetto esecutivo. E la logica di gestione dell'energia va sviluppata e provata, perché è lei a trasformare i componenti in un sistema efficiente. Sono verifiche di ingegneria ordinaria, che non mettono in discussione l'architettura ormai scelta ma che ne fisseranno le prestazioni definitive prima della costruzione del dimostratore.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Trade dettagliato sulla propulsione, architettura della catena a generatore, rendimenti degli stadi, dimensionamento del generatore sulla media e potenza del decollo verticale circa 10 volte la crociera, `proj_fase-b-trade-propulsione-dettagliato-powertrain-ibrido`
2. Scheda di un generatore ibrido per velivoli senza pilota, circa 4.000 watt per 3,5 kg, `tec_12d6db13dafd`
3. Scheda di un motore a combustibile pesante da 50 centimetri cubici con generazione elettrica di poco più di 2 chilowatt, `tec_baf7147363ca`
4. Metodo di stima dello stato di carica della batteria per sistemi ibridi con motore termico, batteria e bus in corrente continua, precisione di pochi punti percentuali, `tec_e9bc2d55b2df`

5.10 Il motore termico

Nel cuore della catena a generatore c'è un piccolo motore termico, e la sua scelta è meno ovvia di quanto sembri, perché non esiste un motore migliore in assoluto ma un motore giusto per ciascuna fase del progetto e per ciascun cliente. Un conto è il motore del dimostratore, dove contano il costo e la disponibilità immediata, un altro è il motore del prodotto operativo

destinato al mercato navale e istituzionale, dove contano la logistica del carburante e la regolarità di funzionamento. Questa sezione percorre le opzioni, il monocilindrico a benzina, il motore rotativo e il motore a combustibile pesante, spiega perché la microturbina resta esclusa a questa taglia, e affronta due questioni pratiche che pesano più di quanto la scheda tecnica suggerisca, le vibrazioni che disturbano il sensore e la differenza fra l'iniezione elettronica e il vecchio carburatore. Un chiarimento di scala è però necessario in apertura, perché il motore del progetto è piccolo, dovendo produrre in media appena uno o un chilowatt e mezzo per il generatore, e i motori più grandi citati come esempi servono a illustrare la tecnologia della famiglia, non le dimensioni del nostro.

Il monocilindrico a benzina per il dimostratore

Per il dimostratore la soluzione a massima maturità e minimo costo è un piccolo monocilindrico a benzina a due tempi, che offre il miglior rapporto fra potenza e peso e si trova facilmente sul mercato, come mostrano le famiglie di motori per velivoli senza pilota consolidate da decenni [1]. È una scelta pragmatica, ma porta con sé due debolezze che vanno riconosciute. La prima è il consumo specifico non ottimale, tipico dei due tempi, con valori che nei motori di riferimento si aggirano intorno ai 640 grammi di carburante per chilowattora, un dato che incide direttamente sull'autonomia [2]. La seconda, e più insidiosa, sono le vibrazioni, perché un solo pistone che sale e scende produce scuotimenti che si trasmettono alla cellula. Questo non è un dettaglio da manuale, perché quelle vibrazioni arrivano al sensore ottico stabilizzato e ne degradano le immagini, che sono il prodotto stesso della missione di sorveglianza, cosicché il montaggio del gruppo su supporti antivibranti diventa una voce di progetto obbligata e non un accessorio. A questo si aggiunge una firma acustica e termica marcata, che riduce la discrezione del velivolo, e intervalli di revisione brevi che aumentano i costi di manutenzione. Il monocilindrico è quindi la scelta giusta per dimostrare e per contenere i costi iniziali, ma non la parola definitiva per il prodotto operativo.

La scelta del combustibile ha conseguenze operative dirette. I piccoli motori tradizionali usano il carburatore, un dispositivo semplice ma sporco e sensibile alla quota e alla temperatura, mentre l'iniezione elettronica del carburante dosa la miscela con precisione, migliora il consumo, rende il motore più stabile alle diverse quote e riduce le emissioni, il che semplifica anche il percorso di certificazione ambientale. La logica del progetto è quindi di adottare un monocilindrico a benzina a iniezione elettronica per il dimostratore, sostituendo il carburatore sporco con un sistema che governa la combustione in modo pulito, e di curare fin da subito l'isolamento antivibrante che protegge il sensore.

Il motore rotativo per il prodotto operativo

Per il prodotto operativo la scelta guarda al motore rotativo, il cosiddetto Wankel, che grazie all'assenza di masse alterne, cioè di pistoni che salgono e scendono, produce una coppia liscia e continua, ideale sia per trascinare uniformemente il generatore sia per non disturbare il sensore con le vibrazioni. Ha un ottimo rapporto fra potenza e peso, è compatto, ed è spesso predisposto per i combustibili pesanti, il che lo rende adatto alla versione navale. Il mercato offre esemplari di questa famiglia in varie taglie, dai motori più grandi da un centinaio di cavalli e diverse decine di chilogrammi, troppo per il nostro velivolo ma utili a mostrare la maturità della tecnologia, fino a rotativi piccoli della classe giusta, come un modello da poche decine di cavalli e meno di 5 chilogrammi con un consumo specifico interessante intorno ai 245 grammi per chilowattora [3][4]. La ricerca ha inoltre dimostrato su motori rotativi a carica stratificata densità di potenza molto elevate, il che conferma il potenziale della configurazione [5]. Vale la

pena correggere qui un luogo comune diffuso, secondo cui il rotativo consumerebbe troppo. Un rotativo moderno a iniezione elettronica, fatto girare ai regimi costanti e relativamente alti tipici di un generatore, consuma quanto o meno del monocilindrico a due tempi con carburatore che sostituisce, e paga semmai in usura delle guarnizioni di tenuta e in consumo d'olio, non in carburante [1]. Per una catena a generatore, dove il motore gira sempre allo stesso regime ottimale, questo è esattamente il profilo d'uso in cui il rotativo dà il meglio.

Il combustibile pesante per il mercato navale e istituzionale

Quando il cliente è la marina o il comparto istituzionale, la scelta del combustibile diventa quasi obbligata, e si sposta verso i combustibili pesanti come il cherosene aeronautico. La ragione è duplice. La prima è la logistica a carburante unico, perché una nave o un reparto istituzionale che già usa cherosene per gli altri mezzi preferisce di gran lunga un velivolo che usi lo stesso carburante, evitando di gestire una scorta separata di benzina. La seconda è la sicurezza, perché il cherosene è molto meno infiammabile della benzina, un requisito critico a bordo di una nave dove un incendio è tra i pericoli più temuti. La tecnologia per bruciare combustibili pesanti in piccoli motori è matura, con sistemi che atomizzano il cherosene in goccioline finissime, dell'ordine di pochi micron, paragonabili a quelle della benzina, per ottenere una combustione pulita [6], e con esempi di gruppi ibridi a combustibile pesante della classe giusta già disponibili [7]. Il prezzo di questa scelta è un rapporto fra potenza e peso e un costo peggiori rispetto alla benzina, e alcune sfide tecniche note, come il basso rapporto di compressione e le perdite di calore che il combustibile pesante comporta nei motori rotativi, che vanno affrontate in progettazione [8]. La logica che ne discende è chiara, un motore a benzina a iniezione elettronica per il dimostratore e per gli usi civili, e un rotativo o un motore a combustibile pesante per la versione navale e istituzionale, sempre con un isolamento antivibrante curato.

Perché non la microturbina

Una tentazione ricorrente in questa taglia è la microturbina, seducente per la sua leggerezza, la sua regolarità e la sua densità di potenza, ma va scartata per una ragione dirimente, il consumo specifico. Alle piccole taglie una turbina consuma molto più carburante di un motore a pistoni o rotativo a parità di potenza, e questo consumo elevato distruggerebbe proprio l'autonomia che è la ragione del progetto. La microturbina resta quindi fuori dalla scelta, nonostante il suo fascino, e la si cita solo per chiarire perché non compaia fra le opzioni. Allo stesso modo la cella a combustibile a idrogeno, che è una sorgente elettrica e non un motore termico e che offre vantaggi di silenziosità e di energia specifica, viene trattata nella sezione sull'accumulo e la gestione dell'energia come opzione di lungo periodo, non fra i motori termici.

Il consumo, le vibrazioni e la manutenzione a confronto

Mettendo a confronto le opzioni sul terreno che conta, cioè quanto carburante bruciano, quanto scuotono il velivolo e quanto durano fra una revisione e l'altra, emerge il compromesso che guida la scelta. Il monocilindrico a due tempi vince sul costo e sulla disponibilità ma perde su consumo, vibrazioni e durata. Il rotativo vince su regolarità e assenza di vibrazioni, con un consumo competitivo ai regimi costanti del generatore, e perde su usura delle tenute e consumo d'olio. Il motore a combustibile pesante vince sulla logistica e sulla sicurezza per gli usi navali e perde su peso e costo. In tutti i casi le vibrazioni vanno domate con supporti antivibranti per proteggere il sensore, e il raffreddamento va curato, dato che i motori due

tempi richiedono un rapporto ben preciso fra le aree di ingresso e di uscita dell'aria per smaltire il calore, dell'ordine di quattro a uno [1]. Questi accorgimenti installativi, spesso trascurati nelle valutazioni sommarie, sono ciò che separa un motore che funziona al banco da un motore che funziona a bordo senza rovinare le immagini.

L'avviamento, l'accensione e l'impianto del carburante

Attorno al motore termico c'è un impianto che ne permette il funzionamento e che merita una parola, perché in un velivolo a generatore alcune scelte sono più semplici che in un aeroplano tradizionale. L'avviamento, per esempio, si risolve elegantemente sfruttando il generatore stesso, che può funzionare a rovescio come motorino di avviamento alimentato dalla batteria tampone, evitando un dispositivo dedicato e risparmiando peso, e questo permette anche di riavviare il motore in volo dopo averlo spento per la modalità silenziosa, tornando alla propulsione a combustibile quando la riserva di batteria si assottiglia. L'accensione e l'iniezione del carburante sono governate dal calcolatore del motore, che con l'iniezione elettronica dosa la miscela con precisione a ogni ciclo, migliorando il consumo e la pulizia della combustione rispetto al vecchio carburatore e adattandosi automaticamente alla quota, dove l'aria è più rada. L'impianto del carburante comprende il serbatoio, una pompa che porta il carburante al motore, un filtro che lo mantiene pulito e le tubazioni, e va progettato perché funzioni in ogni assetto del velivolo, anche in salita ripida o in virata stretta, senza che il motore resti a secco, il che in un mezzo che manovra sopra le valli non è affatto scontato e richiede accorgimenti come il pescaggio ben posizionato e una piccola riserva. La sonda di livello e la stima della portata, di cui si è detto trattando l'avionica, chiudono l'impianto fornendo la misura di quanto carburante resta e quindi dell'autonomia residua. Sono componenti semplici e maturi presi uno per uno, ma la loro integrazione affidabile è parte del lavoro che separa un motore che gira bene al banco da un gruppo di generazione che funziona a bordo per 20 ore di seguito senza un'esitazione.

La gestione del calore

Un motore che brucia carburante produce molto calore, e smaltirlo è un problema di progetto che le schede tecniche non raccontano ma che a bordo diventa concreto. I motori a due tempi in particolare richiedono un flusso d'aria di raffreddamento generoso e ben incanalato, con un rapporto preciso fra l'area di uscita e quella di ingresso dell'aria, dell'ordine di quattro a uno, per non surriscaldarsi [1]. Disegnare le prese e le uscite d'aria del vano motore è quindi parte integrante dell'architettura, e va fatto senza aumentare troppo la resistenza aerodinamica, che eroderebbe l'autonomia, e senza esporre il motore agli elementi. Il calore ha un secondo risvolto che riguarda il carico utile e non la discrezione del mezzo, perché il vano motore caldo e il flusso di scarico stanno a poca distanza dal sensore a infrarossi e possono comprometterne la misura, sia per irraggiamento diretto sulla lente sia per la turbolenza termica che attraversa il campo di vista. La collocazione reciproca del gruppo propulsivo e della torretta, la schermatura del vano e l'orientamento delle uscite d'aria vanno quindi progettati insieme, ed è una delle ragioni per cui la modalità a sola batteria, che spegne il motore, torna utile anche nelle misure termiche più delicate. Il motore rotativo, con la sua combustione più regolare, e i motori a combustibile pesante presentano comportamenti termici diversi che andranno caratterizzate, e l'insieme di queste considerazioni conferma che il calore, come le vibrazioni, è un vincolo installativo che separa un motore che funziona al banco da uno che funziona bene a bordo senza tradire la posizione del velivolo.

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> La scelta del motore termico che esce da questa sezione è quindi articolata per fase e per cliente, un monocilindrico a benzina a iniezione elettronica per il dimostratore e per gli usi civili, per il suo basso costo e la sua immediata disponibilità, e un motore rotativo o a combustibile pesante per la versione navale e istituzionale, per la coppia liscia e la logistica a carburante unico, sempre montati su supporti antivibranti e con un raffreddamento curato. È una scelta che poggia interamente su motori disponibili sul mercato, il che tiene basso il rischio, e che rinvia le decisioni di dettaglio alle prove. Restano infatti da verificare due numeri che toccano l'autonomia e la qualità delle immagini. Il consumo specifico del motore prescelto al suo punto di lavoro va misurato al banco, perché i valori qui riportati vengono dalle schede dei costruttori e non dal gruppo integrato del progetto. E il livello di vibrazione trasmesso alla cellula va caratterizzato con il motore installato, per dimensionare correttamente l'isolamento antivibrante e garantire che il sensore ottico resti stabile. Sono verifiche circoscritte, che non cambiano la logica della scelta ma che ne fisseranno i dettagli prima della costruzione del dimostratore.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Trade dettagliato sulla propulsione, confronto fra motori termici alternativi, correzione del luogo comune sul consumo del rotativo e requisiti installativi, `proj_fase-b-trade-propulsione-dettagliato-powertrain-ibrido`
2. Scheda di un motore a due tempi per velivoli senza pilota, consumo specifico intorno ai 640 grammi per chilowattora, `tec_51adfca9cb24`
3. Scheda di un motore rotativo per velivoli senza pilota di piccola taglia, poche decine di cavalli, meno di 5 chilogrammi e consumo intorno ai 245 grammi per chilowattora, `tec_7ec23a1a108f`
4. Scheda di un motore rotativo di taglia maggiore, un centinaio di cavalli e diverse decine di chilogrammi, come riferimento di tecnologia, `tec_0a770a309c3e`
5. Programma sul motore rotativo a carica stratificata, densità di potenza molto elevata, `tec_779824149f21`
6. Rassegna sui motori a combustibile pesante per velivoli senza pilota, atomizzazione del cherosene in goccioline di pochi micron, `tec_49a2c1e97d55`
7. Scheda di un gruppo ibrido a combustibile pesante da 50 centimetri cubici, `tec_baf7147363ca`
8. Rassegna sulle sfide della combustione del combustibile pesante nei motori rotativi, basso rapporto di compressione e perdite di calore, `tec_22aa8c5d83c2`

5.11 L'accumulo elettrico e la gestione dell'energia

Nella catena a generatore la batteria non è la sorgente dell'energia ma il suo cuscinetto, il serbatoio veloce che assorbe i picchi del decollo verticale, garantisce il rientro se il motore si ferma e permette di volare in silenzio quando serve. Dimensionarla bene e governarla con intelligenza è tanto importante quanto scegliere il motore, perché una batteria troppo piccola non copre i picchi e una troppo grande ruba peso al carburante e al carico utile, e perché una

gestione ottusa dell'energia spreca autonomia che una gestione accorta recupererebbe. Questa sezione spiega come si dimensiona la batteria tampone, quale chimica conviene oggi e quali si affacciano all'orizzonte, come un sistema di gestione la protegge e ne stima lo stato, con quali strategie il velivolo decide da dove prendere la potenza, e infine tratta due alternative di lungo periodo, la cella a combustibile a idrogeno e il solare, chiarendo il ruolo di ciascuna.

Dimensionare la batteria tampone

La batteria si dimensiona sul compito più gravoso che deve svolgere, cioè fornire l'energia del decollo verticale più una riserva di sicurezza per il rientro. Poiché il decollo verticale assorbe una potenza dell'ordine di quattro o sette chilowatt per pochi minuti, e poiché occorre tenere da parte energia per volare a batteria in caso di avaria del motore per 15 o 20 minuti, la batteria che ne risulta pesa fra i 2 e i 3 chilogrammi [1]. Questo numero dipende in modo critico dalla densità energetica reale del pacco, ed è qui che va evitato l'errore più comune. Le schede delle celle riportano densità intorno ai 240 wattora per chilogrammo, e i migliori campioni di laboratorio al litio zolfo hanno superato i settecento, ma questi valori si riferiscono alla singola cella nuda [2][3]. Il pacco completo installato a bordo, con l'involucro, il sistema di gestione, i connettori e i margini, scende nella realtà fra i 160 e i 200 wattora per chilogrammo, ed è su questo valore prudente, non su quello di catalogo, che il progetto dimensiona la massa della batteria [1]. Confondere la densità della cella con quella del pacco è il modo più rapido per costruire un velivolo che sulla carta vola e nella realtà è troppo pesante.

La chimica di oggi e quella di domani

La chimica che oggi conviene è quella al litio delle famiglie mature, affidabile e disponibile, con le densità di pacco appena citate. All'orizzonte si affacciano però due tecnologie promettenti che vale la pena tenere d'occhio senza farvi affidamento prematuro. La prima è il litio zolfo, che in laboratorio ha raggiunto densità energetiche molto elevate e che teoricamente potrebbe moltiplicarle ancora, ma che sconta due limiti seri per l'uso reale, una durata di vita ancora insufficiente e soprattutto un crollo delle prestazioni al freddo, con perdite di oltre il 75 per cento della capacità a 20 gradi sotto zero [3][4]. Per un velivolo che deve operare d'inverno sui rilievi dell'entroterra, dove le temperature scendono, questo è un limite dirimente che oggi esclude il litio zolfo dall'uso operativo. La seconda tecnologia è quella delle batterie a stato solido, su cui si concentrano investimenti ingenti e un mercato previsto in forte crescita, ma che vanno guardate con realismo anche sul piano della sicurezza, perché contrariamente a un'idea diffusa non sono intrinsecamente sicure, e in prova una cella a stato solido ha mostrato un fenomeno di fuga termica in pochi millisecondi con temperature superiori ai 1.300 gradi [5][6]. La conclusione onesta è che il progetto usa oggi il litio maturo e affidabile, e tiene le chimiche emergenti come opzioni da rivalutare quando saranno mature e sicure, senza costruire il velivolo su promesse di laboratorio.

Il sistema di gestione della batteria

Una batteria di bordo non è mai lasciata a se stessa, ma è sorvegliata da un sistema di gestione che ne controlla ogni cella, ne bilancia le cariche, la protegge da sovraccarichi e sovrascariche e ne misura lo stato, ed è questo sistema a fare la differenza fra una batteria sicura e duratura e una pericolosa e di breve vita. Una funzione particolarmente importante è la stima dello stato di carica, cioè capire quanta energia resta davvero, che è più difficile di quanto sembri perché la tensione da sola inganna, e i metodi moderni la ottengono con pre-

cisioni dell'ordine di pochi punti percentuali e calcoli quasi istantanei, il che rende affidabili sia le decisioni di volo sia la gestione dei picchi [7]. Il sistema di gestione tiene anche conto del degrado, perché una batteria invecchia e perde capacità con i cicli e con il tempo, tanto più se tenuta calda e molto carica, con perdite di conducibilità che possono superare il 20 per cento dopo alcuni anni in condizioni sfavorevoli [8]. Per un operatore di servizio come una cooperativa questo si traduce in un costo di sostituzione periodica della batteria che va messo a bilancio fin dall'inizio, e in accorgimenti di conservazione, come non tenere i pacchi sempre pieni e al caldo, che ne allungano la vita e riducono i costi.

Le strategie di gestione dell'energia

Avere un motore, un generatore e una batteria non basta, perché qualcuno deve decidere istante per istante quanta potenza far erogare a ciascuno, e questa decisione è la gestione dell'energia, che incide direttamente sui consumi e sull'autonomia. Le strategie possibili vanno dalle più semplici alle più raffinate. Le strategie a regole fisse seguono soglie prestabilite, accendendo o spegnendo il motore e caricando o scaricando la batteria secondo criteri semplici, e sono robuste ma non ottimali. Le strategie a logica sfumata, che ragionano per gradi anziché per soglie nette, si adattano meglio alle condizioni e hanno dimostrato risparmi notevoli, riducendo in un caso il consumo di combustibile di oltre il 40 per cento in una missione lunga [9]. Le strategie predittive, che anticipano il profilo della missione per gestire in anticipo l'energia, sono le più efficienti ma anche le più complesse. Una possibilità particolarmente interessante per il nostro velivolo è la pianificazione del volo consapevole del rumore, che sceglie quando volare a batteria per restare silenziosi sopra le zone sensibili e quando far lavorare il motore altrove, coniugando l'efficienza con la discrezione. La scelta della strategia appartiene alla fase di sviluppo del software di bordo, ma è importante riconoscere fin d'ora che una buona gestione dell'energia è parte integrante del progetto propulsivo, perché può da sola recuperare una parte significativa della penalità della catena ibrida.

La modalità silenziosa

Una capacità che merita di essere sottolineata è la modalità silenziosa, resa possibile proprio dalla batteria tampone e dal bus elettrico. Spegnendo il motore termico e volando per un tratto a sola batteria, il velivolo elimina il rumore del gruppo termico, che è la sua emissione più percepibile a terra, il che conta nel sorvolo dei centri abitati, nelle aree protette dove il disturbo alla fauna è un vincolo autorizzativo, e nelle riprese in cui la vibrazione del motore degraderebbe la misura. È una capacità che la trasmissione diretta non potrebbe offrire, perché lì il motore è sempre acceso e collegato all'elica, ed è uno dei vantaggi concreti che hanno orientato la scelta verso l'ibrido in serie. La durata della modalità silenziosa dipende dall'energia della batteria e dalla riserva che si vuole mantenere, ed è dell'ordine di alcuni minuti, sufficiente a coprire il passaggio critico di una missione ma non a sostituire il volo a motore.

L'idrogeno come opzione di lungo periodo

Fra le sorgenti alternative al generatore, la cella a combustibile a idrogeno è la più promettente per il futuro, e va valutata con equilibrio. Il suo pregio è un'energia specifica di sistema molto superiore a quella della batteria, 4 o 5 volte, che si traduce in autonomie notevoli, con dimostratori che hanno triplicato le ore di volo rispetto alle sole batterie e voli documentati di oltre 3 ore e mezza con celle di poche centinaia di watt, e con l'ulteriore vantaggio del silenzio e dell'assenza di emissioni locali [10][11]. I suoi limiti, però, sono seri per un velivolo

compatto, perché la densità di potenza della cella è modesta, dell'ordine di poco più di mezzo chilowatt per chilogrammo contro le decine di un motore, e soprattutto perché l'idrogeno va stoccato in serbatoi pressurizzati e voluminosi, con la relativa logistica di rifornimento che nell'entroterra non è banale [12][13]. La conclusione è che la cella a combustibile resta un elemento da tenere d'occhio per le versioni future, dove il silenzio totale e l'assenza di emissioni fossero requisiti prioritari, ma non è oggi la scelta di base, che resta il generatore a combustibile per la sua maturità e la sua praticità logistica.

Il solare come supplemento diurno

Va infine chiarito il ruolo del solare, che il bando immaginava come motore e che il progetto ridimensiona a supplemento. Alla latitudine ligure e alle quote basse del velivolo, la superficie alare disponibile raccoglie in estate circa il 15 per cento del fabbisogno e in inverno appena il 4 per cento, con un picco a mezzogiorno che resta sotto la potenza necessaria a volare [14]. Il sistema di celle con la relativa elettronica pesa attorno a 1,5 kg e libera al più 0,6 kg di carburante nelle giornate estive, cosicché sotto il vincolo stringente del peso aggiunge più massa di quanta ne tolga, oltre a erodere il budget [1]. La conseguenza è che il solare esce dalla configurazione di base e resta un'opzione dimostrativa e narrativa, utile a comunicare autonomia e sostenibilità e da montare solo quando il bilancio di massa lo consente con margine, senza mai promettere un volo solare perpetuo che la fisica alle nostre latitudini non concede.

La sicurezza e la seconda vita della batteria

Due aspetti pratici completano il quadro dell'accumulo. Il primo è la sicurezza, perché una batteria al litio danneggiata o mal gestita può incendiarsi, ed è per questo che il pacco va protetto meccanicamente dagli urti, sorvegliato di continuo dal sistema di gestione e alloggiato in modo che un eventuale guasto sia contenuto e non coinvolga il resto del velivolo, un'esigenza tanto più sentita a bordo di un mezzo che porta anche carburante. Il secondo è la seconda vita, perché una batteria che ha perso troppa capacità per il volo non è necessariamente da buttare, potendo servire ancora a terra per usi meno esigenti, il che riduce l'impatto ambientale e il costo del ciclo di vita, un aspetto non trascurabile per un operatore attento come una cooperativa. La gestione del fine vita della batteria, con la sua sostituzione programmata e il suo riuso o riciclo, è parte del piano di manutenzione e di sostenibilità del velivolo, e va prevista fin dall'inizio, perché la batteria è, insieme al motore, il componente che si consuma di più e che più incide sui costi ricorrenti del servizio, oltre a essere quello con le implicazioni ambientali più delicate.

Il comportamento della batteria alle basse temperature

Un aspetto che le schede tecniche trascurano e che nell'entroterra ligure conta molto è il comportamento della batteria al freddo, perché le missioni non si fermano d'inverno e i rilievi appenninici raggiungono temperature rigide. Le batterie al litio perdono capacità e capacità di erogare potenza quando fa freddo, un effetto che nelle chimiche più spinte diventa drammatico, con perdite che per il litio zolfo superano il 75 per cento della capacità a 20 gradi sotto zero, e che anche nelle chimiche mature riduce sensibilmente le prestazioni [4]. Per un velivolo a generatore questo è meno critico che per uno a sole batterie, perché la batteria fa da tampone e non da sorgente, ma resta importante nei due momenti in cui la batteria è sollecitata, il decollo verticale e il rientro di emergenza, che sono proprio le fasi in cui non ci si può permettere un calo di potenza. La risposta di progetto è duplice, dimensionare la batteria

con un margine che tenga conto del freddo e, dove serve, prevedere un leggero riscaldamento del pacco prima del decollo, alimentato dal generatore, così che la batteria lavori sempre in una finestra di temperatura favorevole. È un accorgimento modesto in peso ma decisivo per l'affidabilità invernale, e va dimensionato sulle temperature reali del sito pilota, che la fase di dettaglio dovrà rilevare.

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> L'accumulo di riferimento che esce da questa sezione è una batteria al litio tampone di 2 o 3 chilogrammi, dimensionata sul picco del decollo verticale e sulla riserva di rientro alla densità reale del pacco, sorvegliata da un sistema di gestione che ne stima lo stato e ne governa il degrado, e affiancata da una logica di gestione dell'energia che ne massimizza l'efficienza e abilita la modalità silenziosa. La cella a combustibile a idrogeno e il solare restano opzioni, la prima per le versioni future a silenzio totale, il secondo come supplemento dimostrativo fuori dalla configurazione di base. Le verifiche aperte sono precise. La densità reale del pacco e la sua tenuta al freddo dell'inverno appenninico vanno misurate sui componenti scelti, perché fissano la massa e l'affidabilità invernale. La strategia di gestione dell'energia va sviluppata e provata, perché è lei a recuperare parte della penalità della catena. E il piano di sostituzione della batteria, legato al suo degrado, va messo a bilancio nei costi operativi del servizio. Sono verifiche circoscritte, che non mettono in discussione le scelte di fondo ma che ne fisseranno i valori prima della costruzione del dimostratore.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Bilancio preliminare di massa ed energia, dimensionamento della batteria tampone, densità reale del pacco e ruolo marginale del solare, `proj_fase-b-bilancio-di-massa-ed-energia-preliminare`
2. Scheda della cella al litio di riferimento, densità intorno ai 240 wattora per chilogrammo, `tec_86265c362f3b`
3. Studio sulle celle al litio zolfo ultraleggere, record di laboratorio oltre i 700 wattora per chilogrammo, `tec_7984e80ac8e4`
4. Studio sulle sfide del litio zolfo a bassa temperatura, perdita di oltre il 75 per cento della capacità a 20 gradi sotto zero, `tec_676d67d440e4`
5. Studio sulla fuga termica nelle batterie a stato solido, evento in pochi millisecondi con temperature oltre i 1.300 gradi, `tec_dcf115dd58a4`
6. Analisi sugli sviluppi tecnologici e di mercato delle batterie a stato solido, `tec_f0fc5457c646`
7. Metodo di stima dello stato di carica e di salute della batteria, precisione di pochi punti percentuali con calcolo quasi istantaneo, `tec_14d34deaec48`
8. Studio sugli effetti di temperatura e stato di carica sul degrado delle batterie al litio, perdita di conducibilità oltre il 20 per cento dopo alcuni anni in condizioni sfavorevoli, `tec_c90e5034a741`
9. Gestione dell'energia a logica sfumata per sistema ibrido a cella a combustibile e batteria, riduzione del consumo oltre il 40 per cento in missione lunga, `tec_ecf125d4d155`

10. Cella a combustibile a membrana su misura per piccolo velivolo, triplicazione dell'autonomia rispetto alle sole batterie, `tec_aeed07a22c15`
11. Velivolo dimostrativo a idrogeno, volo di oltre 3 ore e mezza con cella di poche centinaia di watt, `tec_ec845b7afbeb`
12. Studio sulle celle a combustibile per la propulsione dei velivoli senza pilota, densità di potenza modesta rispetto ai motori, `tec_021ba6ab85bf`
13. Ottimizzazione di un sistema ibrido a cella a combustibile e batteria, autonomie elevate a idrogeno liquido e vincoli di serbatoio, `tec_02b0e6582fa3`
14. Trade dettagliato sulla propulsione, frazione del fabbisogno coperta dal solare in estate e in inverno alle latitudini liguri, `proj_fase-b-trade-propulsione-dettagliato-powertrain-ibrido`

5.12 Il sistema di decollo verticale e la transizione

L'orografia dell'entroterra ligure, fatta di valli strette, versanti ripidi e pochi spazi pianeggianti, pone un problema pratico che l'ala fissa da sola non risolve, perché un velivolo ad ala fissa ha bisogno di uno spazio libero per essere lanciato e recuperato, e quello spazio nei borghi appenninici spesso non c'è. La risposta del progetto è dotare il velivolo della capacità di decollare e atterrare in verticale come un elicottero, attraverso quattro rotori montati su bracci, ma di farlo in modo intelligente, perché quella capacità costa cara in termini di ore di volo e non serve in tutte le missioni. La soluzione, che questa sezione descrive, è rendere il decollo verticale un modulo che si monta quando la missione lo richiede e si toglie quando conta massimizzare la persistenza, conciliando così la capacità di operare ovunque con quella di restare a lungo in aria. Per arrivarci occorre capire perché il volo orizzontale è tanto più efficiente di quello verticale, come avviene la delicata transizione fra i due, quale configurazione di rotori conviene e come si disegna un'interfaccia che permetta di montare e togliere il modulo in fretta.

Perché il volo dell'ala batte l'elicottero

Sostenere il velivolo con l'ala costa molta meno energia che sostenerlo con i rotori, e la differenza è misurata: un velivolo a decollo verticale a passo variabile ha registrato una riduzione del consumo del 64 per cento passando dal volo sostenuto dai rotori al volo in avanti sostenuto dall'ala, e un altro sistema consuma in volo livellato circa 5 volte meno che in sospensione [1][2]. La ragione è che l'ala, sfruttando il movimento in avanti, genera portanza con grande efficienza, mentre i rotori devono continuamente accelerare aria verso il basso spendendo molta potenza per restare fermi. Questo spiega perché i rotori del decollo verticale, utilissimi per partire e atterrare, diventino un peso morto durante la crociera, che è la fase in cui il velivolo passa quasi tutto il suo tempo. Tenere quei rotori sempre montati significa portarsi dietro per ore la loro massa e la loro resistenza aerodinamica, pagando una perdita di autonomia che i sistemi reali misurano intorno a un terzo, con la stessa cellula che vola 10 o 13 ore nella versione con i quattro rotori e oltre 18 ore nella versione senza [3]. Il confronto fra i velivoli commerciali lo conferma con chiarezza, perché quelli a decollo verticale permanente si fermano a un'ora e mezza o poche ore, mentre quelli ad ala fissa a lancio, come i sistemi di riferimento a lunga persistenza, arrivano a venti o addirittura 32 ore [4][5][6].

La natura modulare del decollo verticale

Da questo fatto discende la scelta che dà carattere al progetto, cioè rendere il decollo verticale rimovibile. Invece di accettare la perdita di autonomia su ogni missione, il velivolo monta i quattro rotori solo quando deve partire o atterrare in uno spazio confinato, per esempio da una radura di montagna, da un piazzale di paese o dal ponte di una nave, e li rimuove quando la missione consente un lancio assistito e chiede la massima persistenza, per esempio una lunga sorveglianza costiera o un monitoraggio esteso. In questo modo il costo di autonomia del decollo verticale si paga soltanto dove serve davvero la partenza verticale, e non altrove, il che concilia due esigenze che sembravano in contrasto, la capillarità operativa nei borghi impervi e la lunga permanenza in volo. È una soluzione che trasforma un compromesso obbligato in una scelta di missione, e che si sposa naturalmente con la logica modulare dell'intero velivolo, dove anche i sensori si cambiano secondo il compito.

La transizione, la fase più delicata

Il passaggio dal volo verticale al volo dell'ala, e viceversa, si chiama transizione, ed è la fase di volo tecnicamente più delicata, perché in quei pochi secondi il velivolo cambia il modo stesso in cui si sostiene, passando dai rotori all'ala mentre accelera, e attraversa una condizione intermedia in cui né i rotori né l'ala lavorano al meglio. Durante la transizione il sistema di controllo deve coordinare la spinta dei rotori, la spinta dell'elica di crociera e le superfici di comando dell'ala in modo che il velivolo non perda quota né controllo, ed è per questo che la transizione ha ricevuto molta attenzione nella ricerca. Sono stati sviluppati schemi di controllo capaci di tollerare il guasto di un rotore ridistribuendo la spinta sugli altri, metodologie basate su apprendimento automatico per rendere la transizione più dolce e robusta, e strategie di controllo dell'intero inviluppo di volo che governano il passaggio in sicurezza [7][8][9]. Per il progetto questo significa che la transizione è un problema noto e risolto in linea di principio, ma che va calibrato con cura sul velivolo specifico e provato estesamente in volo, perché è nella transizione che si concentrano i rischi di un velivolo a decollo verticale ad ala fissa.

Quale configurazione di rotori

Esistono più modi di realizzare un velivolo a decollo verticale ad ala fissa, e conviene spiegare perché il progetto sceglie il più semplice. Nella configurazione a rotori dedicati, detta anche sollevamento più crociera, quattro rotori servono solo a salire e scendere e un'elica separata al muso serve solo alla crociera, cosicché ogni gruppo è ottimizzato per il suo compito e nessuno deve fare compromessi. Nella configurazione a rotori basculanti i medesimi rotori ruotano dall'assetto verticale a quello orizzontale, servendo entrambe le fasi, il che è più efficiente perché non ci sono rotori morti in crociera ma più complesso sul piano meccanico e del controllo. Esiste infine la configurazione a corpo basculante, in cui è tutto il velivolo a inclinarsi, elegante ma difficile da controllare al vento. Il progetto sceglie la configurazione a rotori dedicati, il sollevamento più crociera, per tre ragioni convergenti. La prima è la semplicità, perché rotori fissi verticali e un'elica fissa orizzontale sono più facili da progettare, controllare e certificare dei meccanismi basculanti. La seconda è proprio la modularità, perché quattro rotori su bracci si prestano a essere raccolti in un modulo staccabile molto meglio di un sistema basculante integrato nella cellula. La terza è la coerenza con la catena a generatore, perché i quattro rotori elettrici si alimentano naturalmente dal bus elettrico comune. Si accetta consapevolmente la piccola inefficienza dei rotori fermi in crociera, che peraltro la modularità elimina del tutto nelle missioni a lunga persistenza dove il modulo non è montato.

I motori, i regolatori e il modulo staccabile

Ciascun rotore è mosso da un motore elettrico senza spazzole, comandato da un regolatore elettronico di velocità che ne dosa la potenza, e tutti attingono dal bus elettrico della catena a generatore, con la batteria tampone che fornisce il picco nei pochi minuti del decollo. La vera sfida ingegneristica del concetto modulare, però, non sta nei rotori, che sono componenti maturi, ma nell'interfaccia che permette di montarli e toglierli in fretta e in sicurezza. Questa interfaccia deve essere insieme meccanica ed elettrica, perché deve reggere i carichi del sollevamento trasmettendoli alla struttura dell'ala senza gioco e deve portare la potenza dal bus ai motori attraverso connettori affidabili, e deve consentire a un operatore di completare il montaggio o lo smontaggio in pochi minuti sul campo, senza attrezzi speciali. È qui che si concentra lo sforzo di progettazione del sistema di decollo verticale, nel disegnare attacchi rapidi robusti e connettori elettrici sicuri, perché è la qualità di questa interfaccia a determinare se la promessa della modularità, cambiare configurazione in pochi minuti, sia reale o soltanto teorica. Il progetto tratta quindi l'interfaccia del modulo come uno dei suoi elementi tecnici più caratterizzanti, da prototipare e provare con attenzione.

Il lancio assistito e il recupero, l'alternativa al decollo verticale

Poiché il decollo verticale è modulare e si rimuove per le missioni a lunga persistenza, il velivolo deve poter partire e rientrare anche senza di esso, ed è qui che entrano il lancio assistito e il recupero, tecnologie che i velivoli ad ala fissa usano da decenni con altissima maturità. Il lancio assistito sostituisce la pista con un dispositivo che imprime al velivolo la velocità di volo in pochi metri, tipicamente una catapulta a elastico o pneumatica montata su un supporto trasportabile, che scaglia il mezzo in aria come una fionda. Il recupero senza pista, a sua volta, può avvenire con un paracadute che fa scendere dolcemente il velivolo, con una rete che lo cattura o con un gancio che aggancia un cavo teso, soluzioni scelte secondo lo spazio disponibile e la delicatezza del carico utile. Sono tecnologie a basso costo e a rischio minimo, e la loro disponibilità è ciò che permette al velivolo di operare a lunga persistenza da un piazzale o da un tratto di strada senza portarsi dietro il peso del modulo di decollo verticale, pagando in cambio soltanto la necessità di un piccolo spazio libero per il lancio e il recupero. La scelta fra il decollo verticale e il lancio assistito è quindi, ancora una volta, una scelta di missione, il primo dove è indispensabile partire da uno spazio confinato o da una nave, il secondo dove conta la massima autonomia e uno spazio minimo è comunque disponibile, e il velivolo modulare offre entrambe le vie sulla stessa cellula.

La sicurezza nel volo verticale

Il volo verticale ha margini di sicurezza diversi da quello dell'ala, perché mentre un'ala fissa che perde potenza può planare, un velivolo sospeso sui rotori che perde un rotore o la potenza cade. Per questo la sicurezza del decollo verticale poggia su due pilastri. Il primo è la ridondanza del controllo, perché con quattro rotori il sistema può, entro certi limiti, ridistribuire la spinta se uno di essi si guasta, mantenendo il controllo abbastanza a lungo da atterrare, ed è esattamente ciò che gli schemi di controllo tolleranti ai guasti realizzano [7]. Il secondo è la brevità dell'esposizione, perché il decollo verticale dura pochi minuti e avviene vicino al suolo e sotto controllo diretto dell'operatore, il che limita la finestra di rischio. A questi si aggiunge la riserva di energia della batteria, dimensionata anche per garantire un atterraggio sicuro in caso di avaria del motore termico durante le fasi verticali. Vale la pena ricordare, sul piano della prudenza progettuale, che le prove reali riservano sorprese, come ha mostrato un crash test in cui il modello di calcolo non aveva previsto la rottura fragile

osservata nella struttura composita, a conferma che la sicurezza del volo verticale va validata sperimentalmente e non solo simulata [10].

La movimentazione a terra e l'impiego navale

Il decollo verticale non serve solo a partire da spazi confinati a terra ma apre anche l'impiego dal mare, dal ponte di una nave, che è uno degli sbocchi istituzionale del progetto, e questo pone requisiti particolari. Partire e rientrare su un ponte che rolla e beccheggia è più difficile che su terra ferma, e richiede un atterraggio di precisione che, come si è visto trattando l'avionica, si appoggia a una misura relativa della posizione rispetto alla nave in movimento. La movimentazione a terra, a sua volta, comprende il trasporto del velivolo smontato nei suoi moduli, il suo montaggio rapido sul campo, il posizionamento per il lancio o per il decollo verticale e il ricovero dopo la missione, attività che vanno rese semplici perché un operatore ridotto, come quello di una cooperativa o di un piccolo reparto, deve poterle svolgere senza mezzi pesanti. La modularità del velivolo aiuta anche qui, perché un mezzo che si scompone in ala, coda, moduli e carichi utili si trasporta e si ripara più facilmente di un velivolo monolitico. Questi aspetti, apparentemente minori rispetto alla fisica del volo, sono in realtà ciò che decide se il velivolo è davvero utilizzabile sul campo dalle persone che dovranno operarlo, e vanno perciò curati nel progetto quanto le prestazioni.

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> Il sistema di decollo verticale che esce da questa sezione è un modulo a quattro rotori dedicati, montati su bracci e alimentati dal bus elettrico della catena a generatore, che si installa per le missioni che richiedono la partenza verticale da spazi confinati o da una nave e si rimuove per le missioni a lunga persistenza, con un'interfaccia meccanica ed elettrica progettata per un montaggio e uno smontaggio rapidi sul campo. È una soluzione che paga il costo di autonomia del decollo verticale, misurato intorno a un terzo, soltanto dove quel costo è giustificato dalla missione, e che poggia su componenti maturi e su una fisica del volo ben compresa. Le verifiche aperte sono chiare e appartengono alla fase di sviluppo e di prova. Il controllo della transizione fra volo verticale e volo dell'ala va calibrato sul velivolo specifico e provato estesamente, perché è la fase più delicata. L'interfaccia del modulo staccabile va prototipata e collaudata, perché è lei a rendere reale la promessa della modularità. E la perdita di autonomia effettiva della configurazione con i rotori va misurata sul sistema reale, per confermare il valore stimato. Sono verifiche circoscritte ma importanti, perché toccano la sicurezza e la caratteristica distintiva del velivolo, e vanno chiuse prima della piena operatività.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio sulla metodologia di sviluppo e volo di un velivolo a decollo verticale, riduzione del consumo del 64 per cento nel volo in avanti rispetto alla sospensione, `tec_a5d441e60eab`
2. Studio sul controllo di un quadrirotore a corpo basculante, consumo in volo livellato circa 5 volte inferiore alla sospensione, `tec_77fe0f4b4e12`

3. Trade study delle architetture della fase progettuale successiva, perdita di autonomia del decollo verticale permanente intorno a un terzo e natura modulare del sistema, `proj_fase-b-trade-study-architetture`
4. Specifiche di un velivolo ad ala fissa a decollo verticale commerciale, autonomia dell'ordine di un'ora e mezza, `tec_3d6168dc1d6e`
5. Specifiche di un velivolo a lunga persistenza, autonomia intorno alle 20 ore, `tec_28e653c4fdfe`
6. Specifiche di un velivolo a decollo verticale a lunga persistenza, autonomia oltre le 30 ore, `tec_5576d7b9d41e`
7. Schema di controllo tollerante ai guasti con riallocazione della spinta per velivolo a decollo verticale, `tec_659fba835147`
8. Metodologia di controllo basata su apprendimento per la transizione dei velivoli a decollo verticale, `tec_6527347b805b`
9. Progetto e prova di un velivolo ibrido a decollo verticale a rotori basculanti, `tec_16a6d0ff8272`
10. Analisi di un crash test su velivolo a decollo verticale, rottura fragile della struttura composita non prevista dal modello di calcolo, `tec_354dc5db4557`

5.13 L'avionica e l'elettronica di bordo

Se la cellula, la propulsione e l'ala sono il corpo del velivolo, l'avionica ne è il sistema nervoso, l'insieme dei calcolatori, dei sensori e dell'elettronica che percepiscono l'assetto, decidono le manovre, comandano i motori e le superfici e tengono in sicurezza il volo. È una parte meno visibile della struttura o del motore, ma decisiva, perché è qui che si gioca gran parte della differenza fra un giocattolo volante e un mezzo capace di operare oltre l'orizzonte visivo del pilota e di superare un esame di certificazione. Proprio la certificazione è il filo conduttore di questa sezione, perché la scelta dell'avionica non si fa sulle prestazioni di catalogo ma sulla possibilità di dimostrarne l'affidabilità a un'autorità aeronautica, e questo criterio rovescia molte intuizioni, escludendo per il prodotto finale proprio l'elettronica a basso costo che va benissimo per un prototipo. Il progetto affronta la questione con una strategia a due tempi che vale la pena spiegare, perché concilia il costo contenuto del dimostratore con la serietà del prodotto operativo.

Che cosa significa davvero certificabile

La parola certificabile ha, nel mondo aeronautico, un significato preciso che va chiarito, perché è il perno di ogni scelta. Un componente è davvero certificabile solo se il suo fornitore consegna un pacchetto di evidenze che dimostrano come il software e l'elettronica siano stati sviluppati secondo standard di garanzia aeronautici, il principale dei quali per il software richiede che ogni riga di codice sia tracciabile dai requisiti fino alle prove, un altro fa lo stesso per l'elettronica complessa, e un terzo attesta che il componente ha superato prove ambientali di compatibilità elettromagnetica, vibrazione e temperatura, il tutto a un livello di garanzia dichiarato [1]. Questa distinzione ha una conseguenza netta e sorprendente. I sistemi di controllo del volo a codice aperto più diffusi nel mondo dei droni, ottimi, economici e ampiamente collaudati, non possiedono alcun pacchetto di garanzia né livello di assurance dichiarato, e quindi, per quanto affidabili nella pratica, non possono formare la base di una certificazione presso l'autorità europea [1]. Non è un giudizio sulla loro qualità tecnica, che è alta, ma sul fatto che manca la documentazione formale che l'autorità richiede, ed è per

questo che stimare l'avionica del prodotto finale con l'elettronica di un prototipo falserebbe insieme il peso, il costo e la certificabilità del velivolo.

La strategia a due tempi, dimostratore e prodotto

Da questa distinzione il progetto ricava una strategia pragmatica che evita sia lo spreco sia l'illusione. Nella fase di dimostrazione e collaudo il velivolo vola con un sistema di controllo a codice aperto montato su elettronica di alta qualità ma non certificata, perché è rapido da integrare, economico e sufficiente a provare che l'architettura funziona, e permette di concentrare le risorse sui rischi tecnici veri anziché sulla certificazione prematura [1]. Per il prodotto operativo, invece, la base di certificazione si costruisce su un sistema di controllo dotato di pacchetto di garanzia completo, e il mercato ne offre due candidati europei di riferimento. Il primo è un autopilota di un costruttore spagnolo che porta un livello di garanzia elevato sia sul software sia sull'elettronica, pesa circa 200 grammi, integra al suo interno la ridondanza dei sensori di assetto, di posizione e di quota, e supporta esplicitamente la transizione fra volo verticale e volo dell'ala, il che lo rende adatto proprio al nostro tipo di velivolo [1]. Il secondo è un autopilota che nasce come evoluzione certificabile di un diffuso sistema aperto, più leggero, con l'elettronica garantita a un livello e il software reso conforme grazie a un partner francese, ed è descritto come il più economico fra i certificabili [1]. La scelta fra i due si farà sui dettagli del pacchetto di garanzia e sul costo, ma la logica è chiara, volare presto e a poco sul dimostratore, e migrare in modo naturale verso un autopilota con pacchetto di garanzia per il prodotto, con il vantaggio non secondario che entrambi i candidati sono europei, il che rafforza la sovranità tecnologica del progetto.

La ridondanza, cioè non affidarsi a un solo organo

Il principio che guida il disegno dell'avionica è la ridondanza, cioè non affidare mai una funzione critica a un solo organo, perché ogni componente può guastarsi e il velivolo deve poter continuare a volare in sicurezza anche quando questo accade. L'obiettivo di ridondanza per la classe prevede una tripla unità di misura inerziale, cioè 3 sensori indipendenti che misurano l'assetto in modo che, se uno impazzisce, gli altri due lo smascherino, un doppio ricevitore di posizione satellitare, preferibilmente con due antenne per ricavare la direzione anche quando la bussola magnetica è disturbata, un doppio ingresso di alimentazione perché la corrente non manchi mai al cervello del velivolo, e un sistema indipendente di terminazione del volo, cioè un dispositivo separato capace di far scendere il velivolo in sicurezza se tutto il resto fallisce [1]. Gli autopiloti certificabili candidati offrono già al loro interno la tripla unità inerziale, e si sale a soluzioni ancora più ridondate, capaci di continuare a operare dopo un guasto invece che semplicemente di spegnersi in sicurezza, solo se una missione lo richiedesse espressamente, il che a questa taglia è probabilmente eccessivo. Un accorgimento particolare riguarda proprio la bussola, perché in un velivolo a quattro rotori i forti campi magnetici dei motori disturbano il magnetometro, ed è per questo che si preferisce ricavare la direzione dal doppio ricevitore satellitare a due antenne o da una piattaforma inerziale di supporto, più robusta ai disturbi.

La navigazione satellitare e la sua resilienza

Il velivolo si orienta principalmente grazie ai segnali dei satelliti di posizionamento, ma qui il progetto compie una scelta controcorrente e sensata, perché rinuncia a inseguire la massima precisione centimetrica dove non serve e privilegia invece la robustezza del segnale. Per navigare in rotta non occorre la precisione centimetrica, perché è sufficiente la posizione

al metro fornita dai satelliti con l'aiuto del sistema europeo di correzione, che ha per giunta il pregio di fornire anche l'integrità, cioè la garanzia che il dato di posizione è affidabile entro limiti dichiarati, cosa che la sola correzione centimetrica grezza non offre [1]. La precisione centimetrica serve soltanto in 2 casi particolari, l'atterraggio di precisione sul ponte di una nave, dove peraltro va usata in modo relativo perché il ponte si muove, e i sensori che devono georeferenziare con esattezza i dati raccolti, per i quali si può ricorrere anche a una correzione fatta dopo il volo. La priorità vera, invece, e sempre più un'aspettativa esplicita per gli usi marittimi e istituzionale, è la resilienza del segnale ai disturbi e agli inganni, cioè la capacità del ricevitore di resistere ai tentativi di accecare o falsificare il segnale satellitare, e per questo si scelgono ricevitori dotati di protezione contro il disturbo e la falsificazione [1]. Che cosa fare quando il segnale satellitare manca del tutto è invece materia della sezione seguente sull'autonomia e la navigazione, perché tocca la capacità del velivolo di cavarsela da solo.

I dati dell'aria

Un gruppo di sensori misura come il velivolo si muove nell'aria, i cosiddetti dati aria, ed è essenziale perché il volo dell'ala dipende dalla velocità rispetto all'aria e non rispetto al suolo. Una piccola sonda rivolta in avanti misura la pressione dell'aria che investe il velivolo e da essa si ricava la velocità rispetto all'aria, mentre altri sensori misurano la pressione statica per la quota e l'angolo con cui l'aria investe l'ala. Questi dati sono ciò che dice all'autopilota se il velivolo sta volando abbastanza veloce da sostenersi o se si sta avvicinando allo stallo, e la loro affidabilità è critica, perché una sonda ostruita o ghiacciata darebbe una velocità falsa con conseguenze pericolose, ragione per cui vanno protetti e, dove serve, riscaldati e ridondati. La combinazione dei dati aria con la posizione satellitare e con la piattaforma inerziale permette all'avionica di conoscere in ogni istante l'assetto, la velocità e la quota del velivolo, che sono le grandezze su cui si fondano tutte le decisioni di volo. Sono componenti piccoli e maturi, ma la loro corretta installazione, in una posizione dove il flusso d'aria è pulito e non disturbato dall'elica o dalla fusoliera, è parte del progetto aerodinamico oltre che avionico.

Sapere quanto si è alti davvero

Un problema apparentemente banale ma insidioso riguarda la misura della quota, perché il sensore di pressione, che è il modo classico di misurare l'altezza, dà la quota rispetto al punto di decollo e non la distanza reale dal suolo sottostante, che cambia continuamente sorvolando un terreno accidentato. Nello scenario tipico dell'entroterra, in cui il velivolo decolla dal fondo di un avvallamento e poi deve salire e sorvolare versanti a quote diverse, sapere la distanza reale dal terreno è essenziale per non urtare ostacoli, e la si ottiene con sensori dedicati, un piccolo radar che misura la distanza dal suolo in ogni condizione di tempo e anche sopra l'acqua o un ponte di nave, affiancato da un sensore laser per la fase finale di atterraggio su superficie dura, mentre in rotta ci si affida al sensore di pressione combinato con una mappa digitale del terreno [1]. Sono componenti leggeri e poco assetati, dell'ordine del centinaio di grammi e di pochi watt, che non gravano sul bilancio ma aggiungono una sicurezza importante nel volo a bassa quota sopra un territorio movimentato.

Sapere quanto carburante resta

Un dato apparentemente minore ma operativamente importante è la misura di quanto carburante resta nel serbatoio, perché in un velivolo a generatore è da lì che dipendono l'autonomia residua e la riserva di rientro, e quest'ultima alimenta la stessa logica di ridondanza che consente di tornare a motore spento. Misurare il livello di un liquido in un serbatoio che oscilla

e si inclina in volo non è banale, e la soluzione adottata combina due fonti indipendenti [1]. La prima è una sonda di livello capacitiva, un sensore a stato solido senza parti in movimento che resta accurato anche quando il carburante si muove con le manovre, insensibile all'assetto. La seconda è la portata istantanea, che nel caso di un motore a iniezione elettronica il calcolatore del motore già ricava dal funzionamento degli iniettori, praticamente senza costo aggiuntivo. Fondendo la quantità residua misurata dalla sonda con il consumo istantaneo dedotto dal motore si ottiene la migliore stima possibile dell'autonomia e della riserva, un'informazione che non richiede certificazione ma che è essenziale per operare in sicurezza oltre l'orizzonte, perché è ciò che dice al sistema quando è il momento di rientrare.

L'elettronica di potenza e i comandi

Un capitolo pratico ma cruciale riguarda l'elettronica che comanda i quattro motori del decollo verticale, e qui il progetto compie una scelta di affidabilità precisa. Invece di concentrare il comando dei quattro rotori in un'unica scheda, apparentemente più compatta, si preferiscono quattro regolatori separati, uno vicino a ciascun motore, collegati a una scheda di distribuzione della potenza, per tre ragioni convergenti [1]. La prima è che avvicinare il regolatore al motore accorcia i tratti in cui scorre la potenza piena e distribuisce meglio il calore. La seconda, e decisiva, è che un'unica scheda per quattro motori sarebbe un punto singolo di guasto il cui cedimento farebbe perdere più rotori insieme, un rischio inaccettabile per un velivolo che si vuole certificare. La terza è che ogni regolatore separato può riferire tramite un bus di comunicazione la propria tensione, corrente, velocità e temperatura, informazioni essenziali per sorvegliare lo stato del sistema e isolare un guasto. Poiché un velivolo a decollo verticale ad ala fissa ha molte più uscite di comando di quante un piccolo autopilota ne offra, dovendo governare i quattro rotori, l'elica di crociera, gli alettoni, l'equilibratore, il timone, il gas e l'avviamento del generatore e il carico utile, si aggiungono nodi di comunicazione che espandono le uscite restando, per la versione certificata, dentro l'ecosistema garantito del fornitore dell'autopilota, così che l'intera catena sia coperta dallo stesso pacchetto di garanzia [1].

La sicurezza informatica del velivolo

Un velivolo che vola in autonomia e che raccoglie dati sensibili è anche un bersaglio informatico, e trascurarlo sarebbe un errore tanto più grave quanto più il mezzo opera per clienti istituzionali o in contesti istituzionale. Le minacce sono di tre tipi, e a ciascuna corrisponde una sicurezza. La prima è la presa di controllo del velivolo attraverso il collegamento di comando, che un attaccante potrebbe tentare di intercettare o falsificare per impartire comandi ostili, e contro la quale si protegge cifrando il collegamento con algoritmi robusti e verificandone l'integrità, così che un comando non autentico venga riconosciuto e scartato. La seconda è l'inganno del segnale satellitare di posizione, il cosiddetto spoofing, in cui un segnale falso convince il velivolo di trovarsi dove non è, con conseguenze potenzialmente gravi, e contro il quale si adottano ricevitori capaci di resistere al disturbo e soprattutto l'autenticazione del segnale, come quella offerta dal sistema europeo di navigazione, che certifica che il segnale ricevuto è genuino. La terza è la sottrazione o l'alterazione dei dati raccolti, che riguarda tanto la sicurezza quanto la sovranità e che si affronta proteggendo l'informazione a bordo e nel suo trasferimento a terra. Queste difese non sono un lusso ma un'aspettativa esplicita ai livelli più alti di certificazione e per i clienti pubblici, e il progetto le incorpora scegliendo componenti che le supportano, il collegamento cifrato, il ricevitore satellitare autenticato, l'architettura dati protetta. La sicurezza informatica del velivolo si salda così con il tema più

ampio della sovranità dei dati, che il capitolo dedicato svilupperà, perché proteggere il mezzo e proteggere l'informazione che raccoglie sono due facce della stessa esigenza di controllo.

Il costo della certificabilità e la scelta di comprare

Va detto con chiarezza che la certificabilità ha un prezzo, e non piccolo, perché un autopilota con pacchetto di garanzia completo costa da uno a due ordini di grandezza più di uno a codice aperto, passando da poche centinaia di euro a diverse migliaia o decine di migliaia, e altrettanto vale per il ricevitore satellitare protetto rispetto a quello comune [1]. Questo salto di costo va riconosciuto e messo a bilancio fin dall'inizio, perché è proprio la voce che una valutazione superficiale, fatta con i prezzi dell'elettronica hobbistica, sottostima di più. La conseguenza di progetto è duplice. Da un lato conferma la strategia a due tempi, che tiene i costi bassi finché si dimostra e li affronta solo quando si certifica. Dall'altro orienta verso una logica del comprare più che del costruire, perché non ha senso sviluppare da zero un'avionica certificata quando il mercato, per giunta europeo, ne offre di pronte, e il valore che il progetto aggiunge non sta nel reinventare l'autopilota ma nell'integrare bene i componenti in un sistema affidabile. I consumi complessivi di questa elettronica, per inciso, restano contenuti fra i 15 e i 30 watt, del tutto compatibili con il bilancio energetico del velivolo, a conferma che la scelta di componenti seri non fa saltare il budget di potenza [1].

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> L'avionica di riferimento che esce da questa sezione è un sistema costruito attorno a un autopilota europeo con pacchetto di garanzia per il prodotto operativo, preceduto da un dimostratore su elettronica a codice aperto, con una ridondanza dei sensori di assetto, di posizione e di alimentazione e con una terminazione di volo indipendente, una navigazione satellitare robusta ai disturbi più che ossessionata dalla precisione centimetrica, sensori dedicati per la distanza dal suolo, quattro regolatori di potenza separati per i rotori e nodi di comunicazione per i comandi, il tutto tenuto dentro un ecosistema garantito e integrato più che costruito da zero. È un'architettura che sta interamente dentro prodotti disponibili e in buona parte europei, il che serve insieme la maturità e la sovranità, ma che porta con sé verifiche che appartengono alla fase successiva. Il contenuto reale del pacchetto di garanzia dei fornitori candidati va richiesto e verificato prima di fondarvi la pratica di sicurezza, perché le dichiarazioni di certificazione vanno provate sui documenti e non date per buone. La robustezza della misura di direzione nei forti campi magnetici dei motori va provata sul velivolo reale. E la certificabilità della catena di potenza dei motori va accertata presso i fornitori, individuando dove eventualmente serva un intervento su misura. Sono verifiche circoscritte ma sostanziali, perché toccano proprio ciò che separa un prototipo da un mezzo autorizzabile, e vanno chiuse prima di impegnarsi sul prodotto operativo.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio tecnico dell'avionica e dell'elettronica di bordo, significato della certificabilità, autopiloti certificabili europei, strategia dimostratore e prodotto, ridondanza, navigazione satellitare resiliente, sensori di quota, elettronica di potenza dei rotori, consumi e costi, `proj_fase-b-avionica-ed-elettronica-di-bordo-studio-tecnico`

5.14 L'autonomia, la navigazione e i requisiti per il volo oltre l'orizzonte

Il velivolo di questo progetto è pensato per volare oltre l'orizzonte visivo del pilota, cioè lontano dal punto da cui lo si comanda, sopra valli e crinali che l'operatore non vede direttamente, ed è questa la condizione operativa che le missioni sulle aree interne richiedono, perché sorvegliare un versante franoso o seguire un incendio significa spesso portarsi a chilometri di distanza dietro un rilievo. Volare oltre l'orizzonte, però, cambia radicalmente ciò che si chiede al velivolo, perché quando il pilota non vede più il mezzo e non può correggere a vista ogni imprevisto, deve essere il velivolo stesso a gestire la missione, a navigare con sicurezza anche quando il segnale satellitare vacilla, a percepire ed evitare gli ostacoli e gli altri velivoli, e a reagire in modo sicuro ai guasti. Questa sezione descrive gli abilitatori tecnologici di bordo che rendono possibile tutto ciò, tenendo distinto il piano tecnico, che è quello di cui ci si occupa qui, dal piano autorizzativo del volo oltre l'orizzonte, che appartiene al capitolo sulla normativa. Un filo lega tutta la trattazione al modello di servizio del progetto, perché più il velivolo è autonomo, meno personale serve per operarlo, e minore è il costo per una cooperativa che offre il servizio.

Che cosa significa autonomia per un volo oltre l'orizzonte

Conviene chiarire che l'autonomia di cui si parla non è la fantascienza di un velivolo che decide da sé le proprie missioni, ma la capacità concreta di eseguire in sicurezza un piano di volo senza l'intervento continuo di un pilota, adattandosi alle circostanze. Un velivolo autonomo in questo senso segue una rotta assegnata per punti, ma sa anche mantenere la quota rispetto a un terreno che cambia, rispettare i confini geografici entro cui è autorizzato a volare, gestire le situazioni di contingenza come la perdita del collegamento con la stazione di terra rientrando o attendendo secondo una procedura prestabilita, e riconoscere i propri guasti reagendo di conseguenza. Questa autonomia di esecuzione è il primo requisito del volo oltre l'orizzonte, perché sostituisce la mano del pilota che a vista correggerebbe di continuo, e poggia sull'avionica descritta nella sezione precedente, ma vi aggiunge una capacità di calcolo e una logica di missione più sofisticate.

Navigare quando il satellite non basta

Il problema tecnico più serio del volo autonomo sulle aree interne è la navigazione quando il segnale satellitare è degradato o assente, una condizione tutt'altro che rara fra i rilievi appenninici, dove le valli profonde schermano il cielo e dove, negli usi istituzionale, il segnale può essere deliberatamente disturbato. Un velivolo che si affidasse ciecamente ai satelliti si perderebbe in queste condizioni, ed è per questo che il progetto guarda alle tecnologie di navigazione che funzionano anche senza satelliti. La ricerca in questo campo è matura e sorprendentemente efficace. Programmi sperimentali hanno dimostrato voli autonomi ad alta velocità, fino a 20 metri al secondo, in ambienti privi di segnale satellitare, usando appena 20 watt di potenza di calcolo, e sistemi più recenti hanno raggiunto i 30 metri al secondo con una deriva inferiore al 2 per cento su traiettorie lunghe chilometri, appoggiandosi a telecamere e a sensori inerziali elaborati da piccoli calcolatori di bordo [1][2]. Esistono tecniche di odometria visiva e inerziale, che ricostruiscono il movimento del velivolo osservando come scorre il paesaggio, e varianti termiche che funzionano anche di notte e nella nebbia perché usano una telecamera a infrarossi, e soluzioni pensate specificamente per l'ala fissa che riducono la deriva in assenza di satellite [3][4][5]. Alcuni approcci recenti stimano perfino la distanza dagli oggetti da una sola telecamera grazie all'intelligenza artificiale, senza bisogno di satellite, di mappa o di sensori laser [6]. Per il progetto questo significa che la navigazione robusta

nelle valli senza cielo aperto è un problema tecnicamente risolvibile con hardware leggero e poco assetato, purché lo si validi sul terreno reale dell'entroterra, che nessuno degli studi disponibili ha ancora provato specificamente.

Percepire ed evitare

Il secondo requisito del volo oltre l'orizzonte è la capacità di percepire ed evitare, cioè di accorgersi degli ostacoli e degli altri velivoli e di scansarli, compito che a vista svolge il pilota e che senza la vista diretta deve svolgere il velivolo. Sul fronte degli ostacoli fissi, come rilievi, alberi, tralicci e cavi, la pianificazione della traiettoria è ormai efficiente, con algoritmi capaci di calcolare percorsi lisci ed evitare gli ostacoli in tempi di calcolo ridotti anche in ambienti fitti, e con metodi basati su apprendimento automatico che riducono drasticamente la latenza delle decisioni, portando la reazione a frazioni di secondo su distanze di sicurezza dell'ordine del chilometro [7][8][9]. Sul fronte degli altri velivoli, il velivolo deve poterli rilevare e cedere loro il passo, capacità nota come rilevare ed evitare, che è uno dei cardini dell'integrazione nello spazio aereo condiviso e che combina sensori di bordo e informazioni ricevute dalla rete. La trattazione dettagliata dei requisiti regolatori di questa capacità appartiene al capitolo normativo, ma sul piano tecnico è importante riconoscere che percepire ed evitare è, insieme alla navigazione robusta, l'abilitatore che trasforma un velivolo telecomandato a vista in un mezzo capace di operare oltre l'orizzonte.

Il calcolo a bordo e l'intelligenza artificiale

Molte di queste capacità richiedono di elaborare a bordo grandi quantità di dati in tempo reale, e questo è reso possibile da piccoli calcolatori specializzati, i cosiddetti calcolatori di bordo, che oggi offrono una notevole potenza a consumi dell'ordine di poche decine di watt, compatibili con il bilancio energetico del velivolo [1][2]. La disponibilità di questo calcolo a bordo apre una possibilità che va ben oltre la navigazione, perché consente di elaborare direttamente sul velivolo i dati raccolti dai sensori, per esempio riconoscere un principio di incendio, individuare una persona dispersa o contare i capi di un allevamento, e di trasmettere a terra solo il risultato dell'analisi anziché l'intero flusso di immagini. Questa elaborazione a bordo ha due vantaggi importanti per il progetto. Il primo è che riduce enormemente la quantità di dati da trasmettere, alleggerendo il collegamento radio, tema della sezione seguente. Il secondo, non meno importante, è che tenere l'elaborazione a bordo e trasmettere solo l'essenziale è anche una scelta a favore della sovranità e della protezione del dato, perché meno informazione grezza viaggia e finisce in reti esterne, minore è il rischio che se ne perda il controllo, un tema che il capitolo sui dati e la sovranità digitale svilupperà. L'intelligenza artificiale di bordo è quindi non solo un abilitatore dell'autonomia ma anche un tassello della strategia sui dati.

Il calcolatore di bordo, quanta intelligenza portare in volo

La quantità di intelligenza che si può portare in volo dipende dal calcolatore di bordo, e qui il progresso recente ha cambiato le regole, perché oggi esistono piccoli calcolatori specializzati che offrono una potenza notevole entro pochi etti di peso e poche decine di watt di consumo, compatibili con il bilancio del velivolo. Scegliere quanto calcolo imbarcare è un compromesso, perché più potenza permette analisi più sofisticate a bordo, dal riconoscimento automatico degli oggetti alla navigazione senza satellite, ma consuma più energia e costa di più, e va quindi dimensionato sulle missioni reali e non sull'ambizione astratta. Per le missioni tipiche delle aree interne, riconoscere un incendio o una persona e navigare in sicurezza, basta un

calcolatore di fascia media, mentre le missioni più esigenti ne possono richiedere uno più potente. La scelta di un calcolatore aggiornabile è importante, perché in questo campo la tecnologia evolve in fretta e ciò che oggi è all'avanguardia potrebbe essere superato in pochi anni, e un velivolo progettato per accogliere calcolatori via via più capaci resta attuale più a lungo. È un altro esempio della filosofia del progetto, che preferisce architetture aperte e aggiornabili a soluzioni chiuse destinate a invecchiare in fretta.

L'autonomia come leva del modello di servizio

Il legame fra l'autonomia di bordo e il modello economico del progetto non è un dettaglio tecnico ma una ragione strategica. Il progetto vende un servizio, la raccolta e l'elaborazione di dati, non un velivolo, e il costo di quel servizio dipende in buona parte da quanto personale serve per operare il mezzo. Un velivolo che richiede un pilota dedicato e concentrato per ogni ora di volo costa molto da operare, mentre un velivolo autonomo, che esegue la missione da solo sotto la supervisione di un operatore che ne segue diversi o che interviene solo nelle decisioni importanti, costa molto meno. Per una cooperativa che offre il servizio nelle aree interne, con volumi non enormi e con l'esigenza di contenere i costi, questa differenza è decisiva, perché è ciò che rende sostenibile offrire il monitoraggio di un territorio a un prezzo che il cliente pubblico può permettersi. L'autonomia di bordo, in altre parole, non è un lusso tecnologico ma la condizione economica che rende il servizio possibile, ed è per questo che il progetto vi investe.

Le tecnologie per percepire ed evitare

Merita qualche parola in più il modo concreto in cui un velivolo percepisce ed evita, perché è una delle capacità più delicate e più osservate dalle autorità. Il problema si scompone in due, evitare il terreno e gli ostacoli fissi, e evitare gli altri velivoli in movimento. Per gli ostacoli fissi il velivolo si affida ai sensori di distanza già descritti e a una mappa del terreno, e a una pianificazione della traiettoria che ricalcola il percorso in tempo reale quando incontra un ostacolo, con algoritmi ormai capaci di reagire in frazioni di secondo [7][8]. Per gli altri velivoli la questione è più complessa, perché occorre sapere dove sono, e le fonti di questa informazione sono due, la cooperazione e la sorveglianza. Nella modalità cooperativa gli altri velivoli dichiarano la propria posizione, per esempio attraverso l'identificazione elettronica o i sistemi di traffico, e il nostro la riceve e cede il passo. Nella modalità non cooperativa il velivolo deve accorgersi da sé di un intruso che non si annuncia, tipicamente con sensori ottici o radar di bordo, un compito più arduo che richiede calcolo e sensori dedicati. La combinazione delle due, la cooperazione dove possibile e la sorveglianza dove necessaria, è ciò che rende accettabile il rischio di collisione, ed è uno dei punti su cui la pratica di autorizzazione al volo oltre l'orizzonte è più esigente. Il progetto affronta questa capacità come un abilitatore da sviluppare per gradi, sufficiente al rischio delle prime missioni e via via più completo al crescere della complessità operativa.

I livelli dell'integrazione nello spazio aereo condiviso

Il quadro europeo dello spazio a servizi per i droni non è un interruttore acceso o spento, ma una scala di livelli crescenti di automazione, dai servizi fondamentali di identificazione e autorizzazione al volo, al supporto iniziale che aggiunge la consapevolezza del traffico, fino al supporto avanzato e completo che gestisce dinamicamente il traffico con alta automazione [10]. Questa gradualità è preziosa per il progetto, perché permette di operare fin da subito ai livelli più semplici, dove le missioni delle aree interne in gran parte ricadono, e di salire

ai livelli più automatizzati man mano che la tecnologia di bordo e la maturità operativa lo consentono. Il velivolo, con la sua navigazione robusta, la sua identificazione remota e la sua capacità di percepire ed evitare, è progettato per soddisfare i requisiti di questi livelli, e la scelta di abilitatori aggiornabili gli permette di seguire l'evoluzione del quadro regolatorio senza dover essere riprogettato.

Il contesto dell'integrazione nello spazio aereo

Tutte queste capacità tecniche vivono dentro un contesto regolatorio che le rende utilizzabili, l'insieme di regole e servizi che governano l'accesso allo spazio aereo a bassa quota, noto in Europa come spazio a servizi per i droni, in vigore dal 2023 e articolato su livelli crescenti di automazione, dai servizi fondamentali fino al supporto completo ad alta automazione [10]. Non è compito di questa sezione entrare nel dettaglio di queste regole, che il capitolo normativo tratterà, ma è importante notare fin d'ora che gli abilitatori tecnologici di bordo, la navigazione robusta e il percepire ed evitare, sono proprio ciò che permette al velivolo di soddisfare i requisiti di quel quadro e di integrarsi ordinatamente nel traffico aereo condiviso. La tecnologia e la norma, in questo campo, avanzano insieme, e il progetto le tiene allineate scegliendo abilitatori compatibili con il percorso autorizzativo.

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> Gli abilitatori di autonomia che escono da questa sezione sono un sistema di gestione autonoma della missione che esegue il piano di volo e le contingenze senza la mano continua del pilota, una navigazione capace di funzionare anche quando il segnale satellitare manca, grazie a tecniche visive, inerziali e termiche su calcolatori di bordo leggeri, una capacità di percepire ed evitare gli ostacoli e gli altri velivoli, e un'elaborazione dei dati a bordo che riduce ciò che va trasmesso e protegge il dato. È un insieme di tecnologie mature nella ricerca e in parte già nei prodotti, che rende tecnicamente possibile il volo oltre l'orizzonte richiesto dalle missioni delle aree interne, e che al tempo stesso abbassa il costo del servizio rendendolo sostenibile per le cooperative. Restano però verifiche importanti che appartengono alla fase successiva. La navigazione senza satellite va validata sul terreno reale dell'entroterra ligure, perché gli studi disponibili non hanno provato queste tecniche negli specifici scenari appenninici, e la validazione sul terreno reale è parte del piano di prova. La capacità di percepire ed evitare va sviluppata e certificata nel percorso autorizzativo, che il capitolo normativo affronta. E la rapidità con cui questa tecnologia evolve impone di scegliere soluzioni aggiornabili, perché ciò che oggi è all'avanguardia potrebbe essere superato in pochi anni. Sono verifiche che non mettono in discussione la fattibilità tecnica dell'autonomia, ormai solida, ma che ne fisseranno le prestazioni e la conformità prima della piena operatività oltre l'orizzonte.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Prova di volo autonomo in ambiente privo di segnale satellitare, 20 metri al secondo con appena 20 watt di potenza di calcolo, `tec_a6aa95888467`
2. Odometria termico inerziale su calcolatore di bordo, 30 metri al secondo con deriva inferiore al 2 per cento su traiettorie chilometriche, `tec_5f1d9000d248`

3. Studio comparativo di odometria visivo inerziale a basso costo, aggiornamento a frequenze diverse secondo l'accuratezza, `tec_9bd7f030aaf7`
4. Navigazione visivo inerziale a lunga distanza in assenza di segnale satellitare per velivolo ad ala fissa, `tec_a981c34c0532`
5. Elusione degli ostacoli con singola telecamera e apprendimento per rinforzo su ala fissa, oltre 30 metri al secondo, `tec_8dbf71a0a858`
6. Navigazione ed elusione basate su stima della profondità con intelligenza artificiale senza segnale satellitare, mappa o sensori laser, `tec_8c2e560d4a4f`
7. Pianificazione della traiettoria di elusione degli ostacoli basata su gradienti, traiettorie lisce in ambienti complessi, `tec_67e93fa0f4c4`
8. Algoritmo di pianificazione del percorso ad alta densità di ostacoli, forte riduzione dei tempi di calcolo, `tec_ca99343c9a68`
9. Navigazione autonoma basata su apprendimento per rinforzo profondo, riduzione della latenza del 91 per cento e volo sicuro su oltre 1.000 metri, `tec_2967721c41e1`
10. Quadro regolatorio europeo dello spazio a servizi per i droni, in vigore dal 2023 con livelli crescenti di automazione, `tec_60db5f6eef8c`

5.15 Le comunicazioni, il collegamento di comando e il ripetitore di connettività

Le comunicazioni del velivolo sono di due nature ben distinte, che conviene tenere separate perché rispondono a esigenze diverse. La prima è il collegamento di comando e controllo, il filo radio invisibile che porta i comandi al velivolo e la telemetria a terra, e che deve restare saldo anche quando il mezzo vola oltre l'orizzonte del pilota, perché senza di esso il volo non è sicuro né autorizzabile. La seconda è il carico utile di connettività, cioè la capacità del velivolo di fare da ripetitore radio per portare connessione internet e telefonica nei borghi e nelle valli che ne sono privi, una missione che il cliente considera fondamentale perché tocca il cuore stesso del divario che affligge le aree interne. Questa sezione tratta entrambe, spiegando come si tiene saldo il collegamento di comando su un territorio impervio e come il velivolo può diventare un ponte di connettività, e rimanda al capitolo sui dati e la sovranità digitale la questione, cruciale, di chi controlla quel ponte e quei dati.

Il collegamento di comando e controllo

Il collegamento di comando e controllo trasporta poca informazione ma la trasporta con esigenze severe, perché i comandi di volo e la telemetria essenziale richiedono una banda modesta, dell'ordine di poche decine di migliaia di bit al secondo, ma con altissima affidabilità e bassa latenza, perché un comando che arriva in ritardo o si perde mette a rischio il volo [1]. In Italia e in Europa questo collegamento viaggia sulle bande radio libere, utilizzabili senza licenza per apparato entro precisi limiti di potenza, cioè le bande intorno ai 2 gigahertz e mezzo, ai 5 gigahertz e 8 e agli 868 megahertz, e qui va evitato un errore ricorrente e illegale, l'uso di apparati nella banda dei 915 megahertz che è ammessa negli Stati Uniti ma non in Europa, per cui ogni radio va acquistata nella sua variante europea [2]. Una radio di telemetria europea di riferimento raggiunge oltre 40 chilometri di portata in vista diretta con una potenza di un watt e una banda fino a cinquecento chilobit al secondo, sufficiente per il comando ma non per il video [3].

Il problema è che in vista diretta il collegamento funziona finché il velivolo non scompare dietro un rilievo, e nell'orografia stretta dell'entroterra questo accade presto. La soluzione

tecnica adottata è duplice. Da un lato si usa un collegamento primario a maglia, in cui più nodi radio si ritrasmettono il segnale l'un l'altro estendendone la portata e aggirando gli ostacoli, capace con i giusti apparati europei di coprire distanze dell'ordine del centinaio di chilometri appoggiandosi a ripetitori. Dall'altro, quando il velivolo esce comunque dalla portata radio terrestre, il collegamento prosegue via satellite, l'unico modo di raggiungere un mezzo oltre l'orizzonte, con terminali satellitari leggeri che portano il comando e la telemetria a basso ritmo a un costo mensile contenuto quando servono solo come riserva del comando e non per il video [1]. Questa ridondanza fra il collegamento terrestre a maglia e la riserva satellitare non è un lusso, perché è proprio ciò che riduce il rischio di perdere il collegamento e che rende dimostrabile all'autorità la continuità del comando, un requisito centrale dell'autorizzazione al volo oltre l'orizzonte che il capitolo normativo tratterà. A questo si aggiungono l'identificazione remota obbligatoria, cioè la targa elettronica che il velivolo trasmette localmente ed è obbligatoria dal 2024, e un comportamento predefinito e prevedibile in caso di perdita del collegamento, per cui il velivolo rientra o attende secondo una procedura stabilita restando dentro il volume autorizzato [1].

Un percorso per gradi

Un pregio dell'impostazione scelta è che il collegamento non è una scelta unica e costosa da farsi subito, ma un percorso per gradi che adotta il livello minimo sufficiente e sale solo quando la missione lo impone [1]. Al primo grado si vola legalmente e senza autorizzazioni particolari usando le sole bande libere entro i limiti, il che basta per il dimostratore e per i primi voli oltre l'orizzonte a basso rischio. Al secondo grado, quando serve più portata o il volo oltre l'orizzonte via satellite, si aggiunge un'autorizzazione individuale all'uso dello spettro e l'abbonamento satellitare, che è la voce di costo ricorrente dominante. Al terzo grado, richiesto per i livelli di rischio più alti e per i clienti istituzionali, si aggiunge non tanto altro hardware quanto la sua garanzia, cioè la cifratura del collegamento, il controllo di integrità dei dati, l'autenticazione del segnale satellitare contro la falsificazione e un pacchetto di certificazione della stazione di terra. Questa gradualità permette di contenere i costi nelle prime fasi e di affrontarli solo quando il valore della missione li giustifica, ed è coerente con la natura prudente e a stadi dell'intero progetto.

Le bande radio e il calcolo del collegamento

Il dettaglio delle bande radio determina quanto lontano e quanto bene il collegamento funziona, e perché le regole europee sono precise. Le bande libere utilizzabili senza licenza per apparato in Italia sono tre, ciascuna con un compromesso proprio [1]. La banda intorno ai 2 gigahertz e mezzo è la più diffusa e porta sia il comando sia il video, ma è affollata perché la usano molti dispositivi. La banda intorno ai 5 gigahertz e otto offre più capacità per il video ma raggiunge meno lontano, perché le frequenze più alte penetrano peggio gli ostacoli. La banda intorno agli 868 megahertz, infine, raggiunge molto lontano e penetra bene, ideale per la telemetria a lungo raggio, ma trasporta poca informazione. La regola pratica che ne discende è di usare le frequenze basse per il comando robusto a lunga distanza e quelle alte per il video quando si è vicini, e di aggiungere la riserva satellitare per il resto. Sotto tutto questo c'è un calcolo che i tecnici chiamano bilancio del collegamento, che confronta la potenza trasmessa, il guadagno delle antenne e le perdite lungo il percorso con la sensibilità del ricevitore, e che dice se e a quale distanza il collegamento regge. È questo calcolo, da svolgere sul territorio specifico con i suoi rilievi e i suoi ostacoli, a stabilire con precisione la portata reale e a giustificare all'autorità la robustezza del collegamento, ed è una delle

verifiche che la fase di dettaglio dovrà chiudere prima di fissare la scelta finale delle radio e delle antenne.

La stazione di terra

All'altro capo del collegamento c'è la stazione di terra, l'insieme di computer, software, radio e antenne con cui si pilota e si sorveglia il velivolo, che va menzionata qui perché è parte integrante del sistema anche sul piano normativo, ma la cui trattazione piena appartiene al capitolo sul segmento di terra e sul servizio. Basti dire che anch'essa segue la logica dei due tempi già vista per l'avionica, con un software a codice aperto per il dimostratore e uno stack certificabile per il prodotto operativo, e che la sua affidabilità, la sua interfaccia e la gestione della perdita del collegamento sono valutate dall'autorità come parte del sistema e non come accessori.

Il terminale di terra e le antenne

All'estremità a terra del collegamento c'è il terminale radio con le sue antenne, e la loro scelta incide sulla portata quanto la radio di bordo. Un'antenna direzionale, che concentra il segnale in una direzione anziché irradiarlo ovunque, estende sensibilmente la portata, e se montata su un supporto che insegue automaticamente il velivolo mantiene il collegamento saldo anche quando il mezzo si allontana. Sollevare l'antenna su un palo, poi, migliora la vista diretta scavalcando gli ostacoli vicini, un accorgimento semplice ma efficace nell'orografia stretta dove ogni rilievo taglia il segnale. Il terminale di terra comprende anche un'unità di controllo robusta con il software della stazione e un radiocomando manuale separato per il decollo e l'atterraggio e per riprendere il controllo a mano nelle fasi delicate, spesso richiesto dalle procedure di sicurezza. La cura di questi elementi a terra, le antenne, il loro puntamento e la loro elevazione, è ciò che trasforma la portata teorica delle radio nella portata reale sul territorio, ed è parte integrante del segmento di terra che il capitolo dedicato svilupperà in profondità.

Il velivolo come ripetitore di connettività

Si arriva così alla missione che il cliente considera fondamentale, quella per cui il velivolo, oltre a essere comandato via radio, porta a bordo un carico utile che lo trasforma in un ripetitore capace di estendere la copertura di rete là dove manca. È una funzione che tocca direttamente il divario digitale delle aree interne, dove interi borghi e valli restano privi di connessione affidabile perché stendere fibra o erigere ripetitori terrestri su quei rilievi è troppo costoso, e dove un ripetitore volante può coprire temporaneamente il vuoto durante un'emergenza, un evento o un intervento sul territorio. La tecnica è matura e standardizzata, perché gli organismi che definiscono gli standard della telefonia mobile hanno già normato l'integrazione delle reti non terrestri, cioè delle piattaforme aeree e satellitari, con le reti di terra, prevedendo che un mezzo aereo possa fungere da nodo di rete [4][5]. Esistono due modi di realizzare questa funzione. Nel modo trasparente il velivolo si limita a ricevere e ritrasmettere il segnale, facendo da specchio radio fra un utente a terra e una stazione lontana, mentre nel modo rigenerativo il velivolo elabora a bordo il segnale come farebbe una vera stazione radio base, offrendo una copertura più autonoma [4]. Il velivolo può così estendere la copertura cellulare, offrire una rete locale senza fili a un'area circoscritta o raccogliere i dati di una rete di sensori sparsi sul territorio, per esempio i sensori che sorvegliano frane e livelli dei fiumi, portando la loro informazione dove altrimenti non arriverebbe.

La geometria della copertura e i suoi limiti onesti

Va detto con franchezza, però, quale copertura un velivolo a bassa quota possa davvero offrire, per non alimentare aspettative che la fisica smentisce. La superficie coperta da un ripetitore volante dipende dalla quota, perché più in alto sta il mezzo più lontano arriva la sua vista radio, e proprio qui sta la differenza fra il nostro velivolo e le piattaforme stratosferiche che il bando immaginava. Una piattaforma a 20 chilometri di quota vede un raggio di un centinaio di chilometri e copre una vasta area, mentre il nostro velivolo, che vola a poche centinaia di metri o a qualche chilometro sul terreno per le ragioni tecniche già viste, offre una copertura molto più locale, dell'ordine della singola valle o del singolo borgo, non della regione. Questo non è un difetto ma la definizione onesta del prodotto, perché la missione delle aree interne non è coprire una regione dall'alto ma portare connessione dove serve e quando serve, in una valle isolata durante un'emergenza, in un cantiere di soccorso, in un'area colpita da un evento che ha messo fuori uso le reti terrestri. È una copertura tattica e locale, mobile e riposizionabile, che vale proprio per la sua capacità di andare dove il bisogno si presenta, non per l'ampiezza dell'area servita. C'è inoltre un limite di banda da riconoscere, perché le radio a lunga portata e bassa frequenza, ottime per raggiungere lontano e penetrare gli ostacoli, trasportano poca informazione, mentre le bande larghe che servono al video e ai dati veloci hanno portata più corta ed è per questo che elaborare i dati a bordo e trasmettere solo l'essenziale, come la sezione sull'autonomia ha mostrato, è tanto importante [6].

La questione della sovranità, qui solo annunciata

Portare connessione dove manca solleva immediatamente la domanda di come farlo, e la tentazione più ovvia sarebbe appoggiarsi alle grandi costellazioni satellitari commerciali, che offrono banda larga a bassa latenza da tutto il mondo. Qui il progetto incontra un nodo che non è tecnico ma strategico e che il cliente ha posto con forza, perché appoggiarsi a un servizio satellitare straniero significa dipendere da un operatore che può spegnere il servizio a proprio piacimento e attraverso il quale i dati raccolti transitano finendo in mani e giurisdizioni non controllabili. La connettività portata dal velivolo, se non governata, rischia di trasformarsi da strumento di autonomia del territorio in una nuova forma di dipendenza. Questa sezione si limita ad annunciare il problema, perché la sua trattazione piena, con le alternative sovrane e nazionali, la conservazione dei dati a norma e in ambito nazionale e le implicazioni per le cooperative e per l'amministrazione che lo finanzia, è il tema del capitolo dedicato ai dati e alla sovranità digitale, dove trova il suo spazio proprio. Basti qui aver mostrato che la capacità tecnica di fare da ripetitore esiste ed è matura, ma che il suo valore per le aree interne dipende da come la si governa.

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> Le comunicazioni di riferimento che escono da questa sezione sono un collegamento di comando e controllo ridondato, con un primario terrestre a maglia e una riserva satellitare, sulle bande libere europee e con un percorso per gradi che aggiunge autorizzazioni e garanzie solo quando servono, l'identificazione remota obbligatoria e una gestione prevedibile della perdita del collegamento, e un carico utile di connettività che fa del velivolo un ripetitore tattico e locale capace di portare rete dove manca, standardizzato e maturo ma da governare con attenzione alla sovranità dei dati. Le verifiche aperte sono precise. Le portate reali degli apparati radio scelti e il confine fra i gradi

> del percorso vanno stabiliti con un calcolo di collegamento sul territorio specifico, perché alcune cifre dei costruttori vanno confermate sui documenti. La copertura reale del ripetitore alle quote di lavoro va calcolata e provata sul campo, per dimensionare onestamente il servizio. E la scelta di come portare la connettività a terra in modo sovrano, che è la questione decisiva, va sviluppata nel capitolo sui dati. Sono verifiche che non mettono in discussione la fattibilità tecnica delle comunicazioni, ormai solida, ma che ne fisseranno le prestazioni e, soprattutto, il modo di governarle a tutela del territorio.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio di telemetria, collegamento di comando e controllo e stazione di terra, bande europee, ridondanza terrestre e satellitare, percorso per gradi, identificazione remota e perdita del collegamento, `proj_fase-b-telemetria-data-link-e-stazione-di-terra-gcs`
2. Studio di telemetria, obbligo di usare la variante europea delle radio e illegalità della banda dei 915 megahertz in Europa, `proj_fase-b-telemetria-data-link-e-stazione-di-terra-gcs`
3. Scheda di una radio di telemetria a lunga portata, oltre 40 chilometri in vista diretta con un watt e banda fino a cinquecento chilobit al secondo, `tec_ed4fc4e1456f`
4. Panoramica sulle reti non terrestri e sulla loro integrazione con la telefonia mobile, modalità trasparente e rigenerativa del ripetitore, `tec_316fd165c909`
5. Rassegna sulle reti non terrestri per la connettività oltre l'orizzonte e sull'abilitazione del volo oltre la vista, `mar_e06534cf819d`
6. Studio sulle esigenze di comunicazione dei velivoli senza pilota, distinzione fra la banda modesta del comando e quella larga del payload video, `tec_1629e6380564`

5.16 I payload, la strumentazione e la modularità

Fin qui si è descritto il velivolo come mezzo di volo, ma un velivolo di questo tipo non ha valore per ciò che vola, bensì per ciò che porta, perché è il carico utile, cioè lo strumento montato nel vano di missione, a decidere che cosa il mezzo sappia fare, se veda un incendio nascente, misuri lo stato di un campo, ispezioni una linea elettrica, sorvegli un tratto di mare o porti connessione in una valle. Questa sezione presenta il catalogo dei carichi utili che la piattaforma può imbarcare, e lo fa nel modo che il cliente ha chiesto, dicendo per ciascuno che cosa fa, quanto pesa, quanta potenza assorbe e quanto costa in ordine di grandezza, perché sono queste tre grandezze, insieme, a determinare se uno strumento sta dentro i limiti del velivolo e a quale prezzo. Il filo che tiene insieme tutto è la modularità, cioè la capacità di cambiare missione sostituendo il carico utile sulla stessa piattaforma, ed è questa modularità a fondare il modello di servizio del progetto e il suo valore per le cooperative del territorio.

Il vano di missione e il carico di progetto

Il velivolo ospita un vano di missione modulare pensato per un carico utile di progetto di 4 chilogrammi, un valore che merita una spiegazione perché nasce da un'analisi puntuale e non da un numero tondo scelto a caso [1]. Il censimento di tutti i sensori realmente contemplati per le missioni del progetto mostra che la stragrande maggioranza pesa meno di 2 chilogrammi,

che i più pesanti in assoluto, i sensori laser di rilievo di fascia alta e i radar di immagine, arrivano a 3,5 kg o cinque, e che la combinazione realistica più impegnativa di 2 sensori insieme, tipica della sorveglianza marittima, sta intorno ai 4 chili e mezzo [1][2]. Quattro chilogrammi coprono quindi quasi tutte le missioni previste, e la scelta di tararvi il progetto, invece che sui 6 chili di un velivolo più grande usato come termine di paragone, libera circa 2 chilogrammi che sono decisivi per chiudere il bilancio di massa sotto i venticinque con margine [1]. La chiave di questa scelta è un principio semplice, la modularità significa sostituire il carico, non sommarlo, perché il velivolo non è un contenitore infinito e non deve portare tutti i sensori insieme ma quello giusto per la missione del momento, cambiandolo quando la missione cambia [1].

Gli occhi del velivolo, ottico e infrarosso termico

Il carico utile più versatile e più usato è la torretta ottica e a infrarosso termico stabilizzata, un dispositivo che riunisce una telecamera a luce visibile con forte ingrandimento e una a infrarossi che vede il calore, montate su un supporto stabilizzato che tiene ferma l'immagine nonostante i movimenti del velivolo. È lo strumento delle missioni sugli incendi e sul dissesto, perché l'infrarosso individua un principio di incendio o un punto caldo anche di notte e attraverso il fumo, mentre l'ottico riconosce e segue ciò che si vede. Il mercato ne offre in abbondanza e in classe adatta, con modelli leggerissimi intorno ai 0,2 kg e pochi watt di consumo per poche decine di migliaia di euro, modelli più capaci sui 0,6 kg o su uno o 2 chilogrammi con decine di watt e costi dalle decine di migliaia in su, fino alle torrette a più sensori con infrarosso raffreddato che si avvicinano ai 3 chilogrammi [2]. A questo si affianca quasi sempre un piccolo calcolatore di intelligenza artificiale di bordo, leggerissimo, un etto o due, ma affamato di potenza fino a qualche decina di watt, che come si è visto elabora le immagini sul velivolo riconoscendo automaticamente un fuoco, una persona o un veicolo e trasmettendo a terra solo il risultato [2]. Una configurazione tipica di questa missione, torretta più calcolatore, pesa circa 1,5 kg e sta comodamente nel budget, ed è la spina dorsale delle applicazioni di sorveglianza e sicurezza del territorio.

I sensori dell'agricoltura e dell'ambiente

Per l'agricoltura, l'allevamento e il monitoraggio ambientale, che sono fra i bisogni più sentiti delle aree interne, il carico utile è un sensore multispettrale o iperspettrale, cioè una telecamera che vede non solo i colori dell'occhio umano ma anche bande di luce invisibili che rivelano lo stato di salute delle piante, lo stress idrico, la presenza di malattie o la vigoria di un pascolo. Sono strumenti leggeri e poco assetati, da 0,3 kg a 1,5 kg, con costi che vanno da alcune migliaia di euro per un multispettrale di base a diverse decine di migliaia per un iperspettrale avanzato, ed è l'applicazione meno vincolata dal peso, tanto che lascia spazio per imbarcare insieme una telecamera a colori ad alta risoluzione [3]. Per una cooperativa agricola dell'entroterra questo significa poter mappare i campi e i pascoli con regolarità, individuare i problemi prima che siano visibili a occhio e dosare con precisione acqua e trattamenti, trasformando il volo in un servizio concreto e ricorrente.

Il rilievo del terreno e l'ispezione delle infrastrutture

Per l'ispezione delle infrastrutture lineari, le linee elettriche, le ferrovie, le condotte, e per il rilievo del terreno utile a studiare frane e dissesto, il carico utile è il sensore laser tridimensionale, che spazza il terreno con un raggio laser e ne ricostruisce la forma con precisione centimetrica, vedendo anche attraverso la vegetazione fino al suolo. Il mercato ne offre di

europei e in classe adatta, da poco più di un chilogrammo per un sensore integrato di buona qualità fino a 3 chilogrammi e mezzo per un sensore di rilievo a lungo raggio, con costi che partono da alcune decine di migliaia di euro e salgono oltre il centinaio di migliaia per i modelli professionali, ed è quindi uno dei carichi più costosi ma anche più preziosi [2]. Per le missioni in cui basta la superficie, come controllare lo stato di un ponte o di un traliccio, è spesso sufficiente una combinazione più leggera ed economica di telecamera a colori e termografica, che pesa meno di mezzo chilogrammo e costa pochi migliaia di euro, individuando per esempio un giunto surriscaldato o una crepa [2]. La scelta fra il laser di rilievo e la coppia ottico termica dipende dalla missione, e la modularità permette di montare l'uno o l'altra secondo il bisogno.

La sorveglianza marittima e il suo limite di classe

Le missioni marittime e istituzionale, importanti come gamba di finanziamento del progetto, pongono un limite tecnico onesto che va detto. La sorveglianza del mare richiede idealmente un radar capace di formare immagini, che vede di notte e attraverso le nuvole, ma i veri radar di immagine pesano da dieci a oltre 20 chilogrammi e non stanno in un velivolo di classe compatta, che dovrebbe cedere il passo a una piattaforma più grande [2]. Dentro i 4 chilogrammi restano possibili soluzioni più leggere ma diverse, un radar a schiera elettronica leggero, di poco più di un chilogrammo e una cinquantina di watt, che rileva e segue i bersagli senza formarne l'immagine, affiancato da un ricevitore per l'identificazione automatica delle navi, che pesa pochi grammi e consuma pochissimo, e dalla stessa torretta ottica e termica delle altre missioni [2]. È una capacità di rilevamento e tracciamento, non di immagine radar, ed è giusto posizionarla per ciò che è, perché promettere l'immagine radar in classe compatta sarebbe disonesto. Va notato che il radar è anche il carico più affamato di potenza, con consumi che nei modelli di immagine arrivano a centinaia di watt, e questo introduce un punto importante, cioè che per alcuni carichi il vincolo non è il peso ma l'energia, e il bilancio di potenza del carico utile va sommato a quello del velivolo con attenzione [2].

Il ripetitore, il magnetometro e il trasporto

Restano alcuni carichi utili che completano il ventaglio. Il carico di connettività, già descritto nella sezione sulle comunicazioni, è una radio a maglia con un varco per le reti a lungo raggio dei sensori, leggerissimo, meno di un chilogrammo, che trasforma il velivolo nel ripetitore di connettività per le valli isolate ed è quindi centrale per la missione fondamentale del progetto [2]. Il magnetometro, un sensore che misura le anomalie del campo magnetico ed è utile nel dominio subacqueo istituzionale per individuare oggetti metallici sul fondale, pesa circa 1,5 kg ed è disponibile commercialmente [2]. E per la missione di trasporto, che il cliente ha indicato pensando alla consegna di farmaci e materiale sanitario nei borghi isolati e alla telemedicina, il carico utile non è un sensore ma un modulo di carico, un piccolo vano capace di portare in sicurezza qualche chilogrammo di materiale, sfruttando la stessa capacità di 4 chilogrammi altrimenti destinata ai sensori. È una missione che il velivolo può servire proprio grazie alla sua modularità, dedicando alla consegna il carico utile invece che all'osservazione.

La tabella che segue riassume il ventaglio dei carichi utili con le loro grandezze essenziali, tenendo presente che i valori sono ordini di grandezza da confermare con richieste d'offerta ai fornitori.

Carico utile	Missione principale	Peso di progetto	Potenza	Costo indicativo
Ripetitore di connettività	Connettività d'emergenza, gateway	meno di 1 kg	pochi watt	migliaia di euro
Modulo di carico	Trasporto di farmaci e materiali	fino a 4 kg	trascurabile	contenuto
Torretta ottica e infrarossa	Incendi, rischi, sicurezza	circa 1,5 kg	decine di watt	decine di migliaia di euro
Sensore multispettrale o iperspettrale	Agricoltura, allevamento, ambiente	da 0,3 a 1,5 kg	pochi watt	da migliaia a decine di migliaia
Sensore laser tridimensionale	Ispezione lineare, rilievo del terreno	da 1,1 a 3,5 kg	decine di watt	da decine a oltre 100.000 euro
Telecamera a colori e termografica	Ispezione di superficie	meno di 0,5 kg	pochi watt	pochi migliaia di euro
Calcolatore di intelligenza artificiale	Trasversale, analisi a bordo	circa 0,15 kg	fino a qualche decina di watt	qualche centinaio di euro
Radar leggero a schiera più identificazione navi	Sorveglianza marittima	circa 1,4 kg	decine di watt	decine di migliaia
Magnetometro	Dominio subacqueo istituzionale	circa 1,5 kg	pochi watt	decine di migliaia

Le criticità delle aree interne, missione per missione

Poiché il progetto nasce per le aree interne della Liguria, conviene mostrare esplicitamente come il ventaglio dei carichi utili risponda alle criticità concrete di quel territorio, seguendo l'ordine di priorità che il bando impone, perché è in questa corrispondenza che la tecnica si fa servizio. Alla criticità più caratterizzante, l'isolamento digitale delle valli e la caduta delle reti proprio quando un'emergenza le rende vitali, risponde per prima la missione fondamentale del progetto, il ripetitore di connettività, che porta a terra i dati dei sensori e ripristina telefonia e internet dove un evento ha messo fuori uso i collegamenti o dove non arrivano affatto. Alla difficoltà dei trasporti e all'accesso alle cure, con la consegna di farmaci e materiale sanitario e il sostegno alla telemedicina nei borghi isolati, risponde il modulo di carico, che porta il materiale dove la strada è lunga o interrotta ed è la seconda missione per rilevanza territoriale. Vengono poi le missioni di osservazione e monitoraggio, che costituiscono il grosso del lavoro civile. Al rischio degli incendi boschivi, che d'estate minacciano borghi e boschi, risponde la torretta a infrarossi con il calcolatore di bordo, che individua un principio di fuoco anche di notte e ne segnala la posizione prima che divampi. Alla difficoltà dell'agricoltura e dell'allevamento su versanti ripidi e frammentati risponde il sensore multispettrale, che sorvola i campi e i pascoli e restituisce mappe dello stato delle colture e del foraggio, permettendo a una cooperativa agricola di intervenire in modo mirato dove serve. Al dissesto idrogeologico, alle frane e alle piene che isolano le comunità, risponde il sensore laser tridimensionale, che misura con precisione i movimenti del terreno e lo stato dei versanti. All'ispezione delle infrastrutture lineari che attraversano il territorio, le linee elettriche, le ferrovie, gli acquedotti, rispondono il laser e la coppia ottico termica, che ne verificano lo stato senza il costo e il rischio di squadre a terra su terreni impervi. E alle emergenze e alla ricerca di persone disperse risponde di nuovo la torretta ottica e termica, che con la sua persistenza sorvola a lungo aree ampie e difficili. Soltanto in fondo a questo elenco di missioni civili si colloca, come gamba di finanziamento e non come fine, la sorveglianza marittima e il dominio subacqueo

istituzionale, con il radar leggero, il ricevitore navale e il magnetometro, che aprono i canali di finanziamento istituzionale senza i quali lo sviluppo del velivolo proprietario non starebbe in piedi. È lo stesso velivolo, con lo stesso vano modulare, a servire tutte queste missioni cambiando soltanto ciò che porta.

L'interfaccia del vano e la calibrazione dei sensori

Perché la modularità sia reale e non teorica, il vano di missione deve avere un'interfaccia ben progettata, meccanica ed elettrica insieme, e questo è uno degli elementi tecnici più caratterizzanti del velivolo. Sul piano meccanico l'interfaccia deve reggere il peso e le sollecitazioni del carico utile trasmettendole alla struttura senza gioco, e deve consentire di montare e smontare il sensore in fretta e in sicurezza sul campo, senza attrezzi speciali. Sul piano elettrico deve portare al carico utile l'alimentazione dal bus e scambiare con l'avionica i dati e i comandi attraverso connettori affidabili e standardizzati, così che sensori diversi si colleghino allo stesso attacco. Definire l'involucro del vano, cioè lo spazio, gli agganci e i connettori, sul carico dimensionante più impegnativo, permette poi a tutti i carichi più piccoli di entrarvi con margine. A valle dell'interfaccia c'è un lavoro spesso sottovalutato ma essenziale, la calibrazione e l'integrazione del sensore, perché un sensore non basta montarlo, va allineato con precisione all'assetto del velivolo e alla posizione fornita dalla navigazione, altrimenti i dati che produce sono georeferenziati male e valgono poco. Per i sensori di rilievo, come il laser tridimensionale, questa calibrazione è particolarmente delicata, e può richiedere una correzione fatta dopo il volo. Progettare bene l'interfaccia e curare la calibrazione è ciò che rende il velivolo davvero versatile, capace di cambiare missione in poco tempo producendo dati subito utilizzabili, ed è per questo che il progetto tratta il vano modulare con la stessa attenzione riservata al modulo di decollo verticale, come una delle sue interfacce critiche da prototipare e provare.

La sovranità comincia dal sensore

Un tema che la scelta dei carichi utili solleva, e che il capitolo sui dati approfondirà, è la provenienza dei sensori, perché la sovranità tecnologica del progetto comincia proprio da qui. Il mercato offre una buona disponibilità di carichi utili di origine europea, torrette lettoni e svedesi, sensori laser austriaci e francesi, termocamere ceche, sensori iperspettrali e radar tedeschi, ricevitori navali britannici, ed è verso questi che il progetto orienta la scelta, sia per ridurre le dipendenze sia perché alcuni carichi di origine statunitense o di altre provenienze portano attriti di esportazione o cautele di approvvigionamento pubblico non trascurabili [2]. Preferire il sensore europeo, dove esiste e a parità di prestazione, non è un vezzo ma una scelta coerente con la missione del progetto, che vuole offrire alle cooperative e alle istituzioni del territorio uno strumento di cui controllino davvero la catena, dal velivolo al dato.

Dal sensore al prodotto, la catena del dato

Il carico utile non è fine a se stesso ma il primo anello di una catena che porta dal fenomeno osservato al prodotto consegnato al cliente, e che questa catena è ciò che il progetto vende. Il sensore raccoglie il dato grezzo, il calcolatore di bordo lo elabora almeno in parte riducendone la mole e riconoscendo ciò che conta, il collegamento lo porta a terra, e a terra il dato viene ulteriormente elaborato, archiviato e trasformato in un'informazione utile, una mappa, un allarme, un rapporto. Ogni anello di questa catena ha implicazioni che i capitoli seguenti svilupperanno, dalla scelta di elaborare a bordo per proteggere il dato e alleggerire il collegamento, alla conservazione a terra in modo sovrano e a norma, che è il cuore del

capitolo sui dati e la sovranità digitale. Qui basti riconoscere che il valore per il cliente non sta nel sensore in sé ma nella qualità e nell'affidabilità del prodotto finale, e che la scelta del carico utile va fatta pensando all'intera catena e non solo alle prestazioni del sensore isolato. È questa visione del dato come prodotto, e non del velivolo come oggetto, a definire la natura del progetto e a distinguerlo da un semplice costruttore di droni.

La modularità come fondamento del modello di servizio

Tutto quanto precede converge su un'idea che è insieme tecnica e commerciale, la modularità. Un unico velivolo, cambiando il carico utile, serve missioni completamente diverse, la mappatura di un vigneto in primavera, la vigilanza antincendio in estate, l'ispezione di una linea elettrica in autunno, il monitoraggio di un versante franoso dopo una pioggia, la consegna di un farmaco a un borgo isolato, la sorveglianza di un tratto di costa. Questa versatilità è ciò che rende sostenibile il modello di business del progetto, che non vende il velivolo come prodotto ma offre un servizio, cioè la raccolta e l'elaborazione dei dati di cui il cliente ha bisogno, scegliendo di volta in volta il carico utile giusto senza che il cliente debba possedere e mantenere una flotta di mezzi diversi. Per Firmamento Technologies, la cooperativa che opera il servizio, e per le cooperative del territorio che ne sono beneficiarie, la modularità significa poter offrire molti servizi con un solo mezzo, distribuendo il costo del velivolo su più attività lungo l'anno e rendendo economicamente sensato un investimento che per una singola missione non lo sarebbe. È qui che la scelta tecnica del vano modulare e del carico intercambiabile diventa la chiave del valore economico e sociale del progetto, e non a caso l'interfaccia meccanica ed elettrica del vano, che deve permettere di cambiare carico in fretta e in sicurezza, è uno degli elementi che la fase di sviluppo dovrà curare con più attenzione, esattamente come per il modulo del decollo verticale.

Che cosa ne consegue per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> Il ventaglio di carichi utili che esce da questa sezione conferma che la piattaforma, con il suo vano modulare da 4 chilogrammi, copre quasi tutte le missioni contemplate con strumenti disponibili sul mercato e in buona parte europei, dall'osservazione ottica e termica al rilievo laser, dai sensori agricoli al radar leggero marittimo, dal ripetitore di connettività al modulo di trasporto, con la sola eccezione della sorveglianza marittima a immagine radar piena, che eccede la classe e va a una piattaforma maggiore. La modularità, che consiste nel sostituire il carico e non nel sommarlo, è insieme la caratteristica tecnica distintiva del velivolo e il fondamento del suo modello di servizio a beneficio delle cooperative. Restano verifiche che appartengono alla fase successiva. I pesi, i consumi e i prezzi qui riportati sono ordini di grandezza da confermare con richieste d'offerta ai fornitori, perché molti sono soggetti a quotazione. Il bilancio di potenza dei carichi utili più assetati, il radar e il calcolatore di intelligenza artificiale, va sommato con cura a quello del velivolo, perché per essi il vincolo può essere l'energia e non il peso. L'interfaccia del vano modulare va progettata e provata sul carico dimensionante. E la classificazione di esportazione dei carichi utili sensibili va verificata. Sono verifiche circoscritte, che non mettono in discussione la ricchezza e la fattibilità del parco carichi, ormai dimostrata, ma che ne fisseranno i valori e le interfacce prima della piena operatività.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio dei pesi dei carichi utili per gli applicativi contemplati, carico di progetto di 4 chilogrammi, modularità come sostituzione e non somma, `proj_fase-b-studio-pesi-payload-applicativi-contemplati`
2. Studio di mercato dei componenti di carico utile per applicazione, pesi, potenze, prezzi indicativi e provenienza europea o attriti di esportazione dei sensori ottici, laser, agricoli, radar e di connettività, `proj_fase-b-componenti-di-payload-per-applicazione-studio-di`
3. Sintesi tecnica trasversale dei domini dei carichi utili ottici, laser, radar e di comunicazione, `ANALISI.md`

5.17 Il bilancio di massa, l'affidabilità, la produzione e la maturità tecnologica

Le sezioni precedenti hanno smontato il velivolo nei suoi sistemi, l'ala, la struttura, la propulsione, il decollo verticale, l'avionica, l'autonomia, le comunicazioni e i carichi utili, e per ciascuno hanno mostrato scelte e numeri. Resta ora da rimettere insieme i pezzi e verificare che il tutto stia davvero dentro i limiti della classe, che sia affidabile e sicuro, che sia costruibile con tecnologie disponibili e che il suo grado di maturità sia noto e gestibile. È il compito di questa sezione conclusiva, che chiude il bilancio fra massa ed energia, verifica il doppio vincolo della classe compatta, affronta l'affidabilità e la sicurezza, descrive la via della produzione e della prova, mappa la maturità dei sottosistemi con una rotta dal dimostratore al prodotto, e infine raccoglie in un unico luogo tutte le verifiche che il calcolo di fattibilità ha lasciato aperte, perché uno studio onesto non nasconde ciò che resta da confermare ma lo dichiara.

Il bilancio di massa, dal desiderio al numero

Il vincolo che governa tutto è restare sotto i 25 chilogrammi al decollo, e il modo corretto di verificarlo è il bilancio di massa, che somma i pesi di tutti i sistemi e li confronta con il limite. Il risultato più istruttivo di questo bilancio è che l'ambizione piena non sta nel limite. Se si volesse tutto insieme, la giornata intera di volo con il pieno di carburante, il carico utile massimo di 6 chilogrammi, i pannelli solari sull'ala e il modulo di decollo verticale sempre montato, il peso salirebbe intorno ai 33 chilogrammi, sfondando abbondantemente la classe [1]. Questo non è un fallimento del progetto ma la scoperta, tipica di ogni studio serio, che i desideri non stanno tutti insieme e vanno scelti. Per rientrare sotto i 25 chilogrammi con un margine di sicurezza del 5 per cento, cioè sotto i 23,75 chilogrammi, il progetto compie quattro rinunce misurate e motivate [1]. Toglie i pannelli solari dalla configurazione di base, perché come si è visto alle latitudini liguri aggiungono più peso di quanta energia liberino. Porta il carico utile di progetto da 6 a 4 chilogrammi, un valore che il censimento dei sensori ha dimostrato coprire quasi tutte le missioni, liberando circa 2 chilogrammi. Rende rimovibile il modulo di decollo verticale, così da portarne il peso solo sulle missioni che lo richiedono. E ricalibra la quantità di carburante, ed è proprio questa ricalibrazione a portare l'autonomia dalla giornata piena aspirazionale a un valore realistico intorno alle 20 o 22 ore. Ognuna di

queste rinunce trasforma un desiderio in un numero difendibile, ed è la somma di queste scelte a far chiudere il bilancio con margine.

Va detto subito, perché è la condizione che governa la lettura di ogni cifra di autonomia in questo studio, che le 20 o 22 ore si riferiscono alla configurazione priva del modulo di decollo verticale, quella che parte con lancio assistito. Montando i quattro rotori, come la sezione 5.9 quantifica, la stessa cellula scende fra le 10 e le 13 ore, perché porta in crociera per tutta la missione la massa e la resistenza dei rotori e dei bracci [7]. Il progetto ha dunque due configurazioni di volo e due autonomie, e la tabella che segue le dichiara insieme perché nessuna delle due da sola descrive il velivolo.

Configurazione	Massa al decollo	Autonomia	Modo di partenza	Missioni tipiche
Persistenza, senza modulo di decollo verticale	20,5-21,3 kg	20-22 h	lancio assistito da catapulta o da verricello, recupero attrezzato	sorveglianza costiera prolungata, monitoraggio esteso di versante da base attrezzata
Capillare, con modulo di decollo verticale	23,3-23,75 kg	10-13 h	verticale da area di 5 m per 5 m, anche da nave	partenza da radura di fondovalle, da piazzale di paese, da ponte di nave

La conseguenza operativa va enunciata senza attenuazioni, perché è il compromesso reale del progetto e non un dettaglio. Nelle valli dell'entroterra ligure, dove lo spazio per il lancio assistito raramente esiste, il velivolo opera nella configurazione capillare e quindi con circa metà dell'autonomia di punta, che resta comunque una mezza giornata di volo continuo, cioè un ordine di grandezza superiore a quello dei multirotori con cui il monitoraggio si fa oggi. L'autonomia piena si ottiene dalle basi attrezzate, tipicamente costiere, da cui partono le missioni marittime e i monitoraggi di lunga tratta. Il piano di impiego, e con esso il calcolo delle ore vendibili del capitolo economico, va costruito su questa doppia natura e non sul solo valore migliore, ed è la ragione per cui il concetto operativo prevede una base attrezzata sul litorale accanto ai punti di partenza distribuiti nell'entroterra.

Sul piano del gruppo propulsivo, che è il cuore pesante del velivolo, il confronto fra la trasmissione diretta e il generatore in serie mostra quanto le due varianti siano vicine in peso, come la tabella seguente riassume [1][2].

Voce di massa del gruppo propulsivo	Variante a trasmissione diretta	Variante a generatore in serie
Motore termico	circa 1,0-1,5 kg	circa 1,0-1,5 kg
Alternatore o generatore	piccolo, circa 0,3-0,6 kg	grande, circa 1,0-1,8 kg
Motore elettrico di crociera	assente, elica sul termico	circa 0,4-0,8 kg con elettronica
Quattro rotori di sollevamento con bracci	circa 2,5-4 kg	circa 2,5-4 kg
Batteria tampone	circa 2,5-3,3 kg	circa 2,2-3,0 kg
Carburante per una giornata ritarata	circa 3,7-4,5 kg	circa 4,0-5,0 kg

I due bilanci si equivalgono quasi, perché la variante a generatore spende un poco più in carburante e in alternatore ma restituisce la ridondanza, la modalità silenziosa e la semplicità di alimentare i rotori, il che conferma che la scelta del generatore in serie è operativa e non di sola massa [1][2].

Il sotto bilancio propulsivo, però, non basta a dimostrare che il velivolo sta nella classe, e uno studio di fattibilità che si fermasse lì chiederebbe al lettore di credergli sulla parola proprio sul vincolo da cui tutto dipende. La tabella che segue porta quindi il bilancio a chiusura, riga per riga e per l'intera cellula, in tre colonne che dichiarano l'intervallo entro cui ciascuna voce può cadere e il valore su cui il progetto lavora. Le masse sono stime parametriche costruite su componenti disponibili in commercio e su frazioni strutturali tipiche della taglia, e vanno confermate dalla pesatura del primo esemplare [1].

Voce di massa	Caso favorevole	Valore di progetto	Caso sfavorevole
Struttura primaria e secondaria, ala, fusoliera, impennaggi e carrello	4,6 kg	5,2 kg	6,2 kg
Cablaggi, connettori e interfaccia meccanica del vano modulare	0,4 kg	0,5 kg	0,6 kg
Motore termico	1,0 kg	1,2 kg	1,5 kg
Generatore	1,0 kg	1,3 kg	1,8 kg
Motore elettrico di crociera con la sua elettronica	0,4 kg	0,6 kg	0,8 kg
Batteria tampone	2,2 kg	2,4 kg	3,0 kg
Carburante, voce di chiusura del bilancio	4,6 kg	4,6 kg	4,6 kg
Avionica, sensori di volo e apparati di comunicazione	1,0 kg	1,1 kg	1,5 kg
Carico utile di progetto	4,0 kg	4,0 kg	4,0 kg
Totale in configurazione di persistenza	19,2 kg	20,9 kg	24,0 kg
Modulo di decollo verticale, quattro rotori con bracci e regolatori	2,5 kg	2,8 kg	4,0 kg
Totale in configurazione capillare	21,7 kg	23,7 kg	28,0 kg

La tabella dice tre cose che vanno lette insieme e senza addolcirle. La prima è che nel valore di progetto il bilancio chiude a 23,7 chilogrammi con il modulo montato, cioè sotto il limite dei 25 con il margine del 5 per cento voluto, e che la frazione strutturale che ne discende, poco meno del 25 per cento della massa al decollo, è coerente con quanto una cellula in fibra di carbonio di questa taglia pesa realmente. La seconda è che il caso sfavorevole sfonda la classe di 3 chilogrammi, e non di poco. La terza, che discende dalle prime due, è la più importante, cioè che il rispetto del vincolo non è un esito acquisito dal calcolo ma un requisito di progetto da presidiare voce per voce, perché richiede che ciascuna riga cada nella metà favorevole del proprio intervallo. Ne segue che il controllo della massa va istituito come disciplina formale fin dall'inizio dello sviluppo, con un bilancio aggiornato a ogni scelta di componente e un margine allocato esplicitamente anziché consumato in silenzio, che è la pratica ordinaria dei programmi aeronautici e la sola difesa contro la deriva dei pesi. La voce del carburante è tenuta ferma nelle tre colonne perché è la variabile di chiusura, quella che assorbe lo scostamento delle altre, e questo significa che uno sfondamento sui componenti non si paga sulla classe ma sull'autonomia, riducendola in proporzione diretta.

Il doppio vincolo della classe compatta

Va sottolineato che il progetto impone al velivolo due limiti insieme, non uno solo, il peso sotto i 25 chilogrammi e la dimensione massima della cellula sotto i 3 metri, che il quadro europeo pone entrambi fra i requisiti della marcatura di classe e che ritrova, il secondo, anche nella tabella con cui si calcola il rischio a terra e nei tetti delle procedure autorizzative semplificate, e che il velivolo deve rispettarli entrambi [3]. Il vincolo di peso è quello su cui si è concentrato il bilancio, ma il vincolo di apertura è altrettanto stringente, perché come si è visto nella sezione aerodinamica un'ala lunga vola meglio, e la tentazione di allungarla oltre

i 3 metri per guadagnare persistenza è forte. Restare sotto i 3 metri è quindi una disciplina che costa un poco di prestazione ma che vale il vantaggio autorizzativo e di posizionamento della classe compatta. È qui che la configurazione ad ala scatolata sembrerebbe offrire un pregio, perché la sua geometria chiusa promette, secondo le prime simulazioni interne del gruppo di lavoro, efficienza e rigidità con un'apertura più compatta [4]. Su questa promessa occorre però una cautela che il bilancio appena chiuso rende obbligatoria, perché la letteratura di riferimento sull'ala scatolata, quella da cui provengono le cifre di efficienza citate altrove nello studio, dichiara nello stesso lavoro che l'ala risulta all'incirca il doppio più pesante di quella del velivolo di riferimento [8]. Applicata alla tabella precedente, una penalità anche solo della metà di quella entità aggiungerebbe fra 2,3 e 2,6 chilogrammi alla riga della struttura e porterebbe il valore di progetto oltre i 26 chilogrammi, cioè fuori classe. Sotto un vincolo di massa rigido il peso dell'ala non è una penalità fra le altre, è la variabile che decide se la configurazione esiste, e va perciò misurata prima e non dopo il vantaggio aerodinamico. Il rispetto simultaneo dei due limiti resta il vero banco di prova del dimensionamento, e il progetto lo affronta scegliendo la massima apertura compatibile con i 3 metri e la massima leggerezza compatibile con la resistenza, dentro un margine che la fase di dettaglio dovrà confermare.

I due limiti non hanno però lo stesso prezzo regolatorio, e portare questa asimmetria dentro il bilancio di massa cambia il modo di spendere i margini. Il capitolo normativo mostra che la tabella con cui si calcola il rischio intrinseco a terra incrocia la dimensione caratteristica e la velocità con la densità di popolazione e non prende in alcun modo la massa fra i propri ingressi, cosicché salire di qualche chilogrammo non peggiora affatto il livello di severità dell'operazione né allunga la lista degli obiettivi di sicurezza, mentre superare i 3 metri fa scivolare il velivolo nella colonna successiva con un punto di rischio in più e fa cadere insieme le marcature di classe e le procedure autorizzative semplificate. Sul piano aerodinamico vale precisamente il contrario, perché l'apertura compra efficienza attraverso l'allungamento mentre la massa la consuma attraverso il carico alare, e le due gerarchie sono quindi opposte. La conseguenza pratica per questo bilancio è che il margine di massa va speso prima del margine di apertura ogni volta che le due strade siano alternative, e che l'apertura va difesa come la risorsa più cara delle due. È anche la ragione per cui l'ala scatolata torna interessante al di là della sua estetica, perché offre allungamento efficace senza spendere dimensione caratteristica, cioè compra prestazione nella valuta che il regolamento non tassa, sempre che la penalità di peso appena discussa resti entro limiti sostenibili. Alla verifica di massa e di apertura si aggiungono per la stessa ragione due tetti di velocità, i 50 metri al secondo che la marcatura di classe impone in volo livellato e i 34 chilojoule di energia cinetica oltre i quali si perdono le procedure semplificate, che alla massa di progetto corrispondono a poco meno di 50 metri al secondo e che la crociera prevista, compresa fra i 25 e i 30, rispetta con margine ampio.

L'affidabilità e la sicurezza

Un velivolo che vola oltre l'orizzonte sopra un territorio abitato deve essere affidabile e sicuro, e la sicurezza non si aggiunge alla fine ma si progetta dall'inizio attraverso la ridondanza e la gestione dei guasti. Le sezioni precedenti hanno già mostrato i pilastri di questa sicurezza, la tripla misura dell'assetto e il doppio ricevitore di posizione e di alimentazione dell'avionica, la ridondanza del comando che permette al decollo verticale di reggere il guasto di un rotore, la riserva di batteria che consente il rientro a motore spento, il collegamento ridondato che riduce la perdita del comando, e il sistema indipendente di terminazione del

volo che fa scendere il mezzo in sicurezza quando tutto il resto fallisce. A questi si aggiunge il metodo con cui si individuano in anticipo i modi di guasto, cioè l'analisi sistematica di che cosa può rompersi, con quali conseguenze e con quale probabilità, che guida il progetto a eliminare i punti singoli di guasto, come si è fatto scegliendo quattro regolatori separati per i rotori invece di uno solo. Va infine riconosciuto, con l'onestà che uno studio di fattibilità richiede, che i velivoli senza pilota hanno tassi di perdita più alti dei velivoli con equipaggio, e che quindi il modello di servizio deve prevedere una flotta un poco sovradimensionata, dell'ordine di un quinto in più, e una scorta di ricambi, perché mettere in conto qualche perdita è più realistico che pretendere l'infallibilità [5]. Questa prudenza, lungi dall'indebolire il progetto, ne rafforza la credibilità economica.

La produzione, l'integrazione e la prova

La costruzione del velivolo segue la strategia dei materiali già descritta, con la fibra di carbonio continua per la struttura primaria e la stampa tridimensionale per le parti secondarie, un approccio adatto a produrre pochi esemplari di alta qualità con budget contenuti più che grandi serie. La via che porta dal progetto al prodotto passa per un dimostratore, cioè un primo velivolo costruito per provare che l'architettura funziona, equipaggiato con l'elettronica a codice aperto economica e rapida, su cui si collaudano il volo, la transizione del decollo verticale, la catena propulsiva e i carichi utili, prima di impegnarsi nell'avionica certificata e costosa del prodotto operativo. La campagna di prova è articolata, perché comprende le simulazioni fluidodinamiche e le prove in galleria del vento per l'aerodinamica, le prove statiche e a fatica per la struttura, le misure al banco per la propulsione, e infine le prove di volo che mettono tutto insieme. È attraverso questa campagna che i numeri di primo livello di questo studio diventano misure reali, ed è per questo che le verifiche aperte, raccolte più avanti, sono il ponte fra la fattibilità qui dimostrata e il progetto di dettaglio che seguirà.

Il metodo dei sistemi e il programma dimostratore

Lo sviluppo di un velivolo come questo non procede a caso ma segue il metodo dei sistemi, che scompone il progetto in fasi ordinate, dalla definizione dei requisiti al concetto, allo sviluppo preliminare, al progetto di dettaglio, alla costruzione, all'integrazione e alla prova, e che a ogni fase associa il grado di maturità raggiunto [6]. Questo metodo, adottato dalle grandi organizzazioni aerospaziali, ha il pregio di rendere visibile il rischio e di non far passare alla fase successiva ciò che non è maturo, ed è il filo che tiene insieme la rotta dal concetto al prodotto. Il primo traguardo concreto di questa rotta è il dimostratore, un velivolo costruito non per essere venduto ma per provare che l'architettura funziona, sul quale si collaudano il volo, la transizione del decollo verticale, la catena propulsiva e i carichi utili con l'elettronica economica a codice aperto. La campagna di prova che accompagna il dimostratore è articolata e va pianificata, perché comprende le prove al banco della propulsione, le prove statiche e a fatica della struttura, le simulazioni e la galleria del vento per l'aerodinamica, e infine le prove di volo che mettono tutto insieme e che sole possono confermare i numeri di primo livello di questo studio. È attraverso questa campagna, condotta con il metodo dei sistemi, che le stime diventano misure e che il velivolo passa dalla carta al cielo, ed è per questo che le verifiche aperte raccolte più avanti non sono una debolezza dello studio ma la mappa ordinata del lavoro che il dimostratore dovrà svolgere.

La maturità dei sottosistemi e la rotta verso il prodotto

Il grado di maturità di una tecnologia si misura con una scala convenzionale che va dalla semplice idea fino al sistema provato in servizio, ed è utile applicarla ai sottosistemi del velivolo per capire dove si concentra il rischio [6]. La cellula ad ala fissa convenzionale è a maturità altissima, perché esistono prodotti commerciali di successo che la incarnano, e altrettanto vale per il decollo verticale a rotori e per il lancio assistito. L'avionica per il volo oltre l'orizzonte è a maturità medio alta, disponibile in commercio ma da certificare. La propulsione ibrida a generatore per un piccolo velivolo è a maturità media, con i componenti disponibili ma l'integrazione, il peso, le vibrazioni e lo smaltimento del calore da mettere a punto. L'assistenza solare è a maturità più bassa, e l'ala scatolata è la meno matura di tutte, perché nessun prodotto commerciale di questa classe esiste e i suoi benefici, per quanto promettenti nelle prime simulazioni interne, vanno validati con la fluidodinamica, la galleria del vento e un dimostratore in scala [4][6]. Su di essa la validazione va condotta su due fronti e non su uno solo, perché alla prova aerodinamica va affiancata la pesatura effettiva dell'ala, e perché la letteratura disponibile sui piccoli velivoli senza pilota colloca il vantaggio dell'ala scatolata nel regime di alta velocità e di elevata richiesta di portanza e la maggiore tolleranza alle raffiche alla condizione di basso allungamento, mentre ad alto allungamento, che è il caso di questo progetto, non registra differenze sostanziali e segnala anzi una maggiore resistenza d'attrito dovuta alle superfici verticali [9]. Il beneficio atteso, in altre parole, non è documentato nel regime in cui il velivolo vola, e questo abbassa ulteriormente la probabilità che la validazione dia esito favorevole. Ne emerge una regola chiara, il rischio e il tempo crescono esattamente nell'ordine degli elementi più innovativi e vistosi, ed è proprio questo tipo di rischio tecnologico che i bandi di ricerca istituzionale esistono per finanziare.

Da questa mappa discende la rotta che il progetto propone, un doppio binario che concilia la prudenza con l'ambizione [5]. Sul primo binario, quello che genera subito valore, si integra e si opera una piattaforma commerciale ad ala fissa già matura, per servire da subito i clienti e generare ricavi con rischio minimo, in tempi di mesi. Sul secondo binario, in parallelo, si conduce la ricerca e lo sviluppo del velivolo proprietario, la variante ad ala scatolata modulare, finanziata dai programmi di ricerca e innovazione che esistono proprio per pagare il rischio tecnologico, con un dimostratore ad ala convenzionale raggiungibile in un anno e mezzo o due e un prodotto operativo in 3 o 4 anni [5]. È la traduzione, sul piano della maturità e dei tempi, della strategia che l'intero studio persegue, in cui ciò che è maturo genera trazione e ciò che è innovativo, finanziato, costruisce la differenziazione. Il dettaglio dei costi e dei tempi di questa rotta appartiene al capitolo economico, che vi tornerà con i numeri.

Le operazioni, la manutenzione e la logistica

Un velivolo non vive solo del suo progetto ma del modo in cui lo si opera e lo si mantiene, e per un mezzo destinato a essere usato da cooperative con risorse contenute questo conta quanto la tecnica. Le operazioni quotidiane comprendono la preparazione del velivolo, il montaggio del carico utile e, quando serve, del modulo di decollo verticale, il rifornimento di carburante, i controlli prima del volo e la conduzione della missione dalla stazione di terra, e tutte queste attività vanno rese semplici e rapide, perché un mezzo complicato da preparare costa troppo da operare e scoraggia proprio l'operatore locale che il progetto vuole servire. La manutenzione, a sua volta, segue la logica di un mezzo a combustione, con la revisione periodica del motore, il controllo della struttura e dei rotori, la sostituzione della batteria al termine della sua vita utile e la verifica dell'avionica, e va pianificata perché il velivolo sia disponibile quando serve, senza fermi imprevisti che nelle emergenze sarebbero inaccettabili.

La logistica, infine, comprende la scorta di ricambi, di carichi utili e di velivoli, che come si è detto va tenuta con un margine per assorbire le perdite, e la catena di approvvigionamento dei componenti, che il progetto vuole il più possibile europea per ragioni insieme di sovranità e di continuità, perché un componente che arriva solo da un fornitore lontano e incontrollabile è un rischio operativo oltre che strategico. Progettare fin dall'inizio per operazioni semplici, manutenzione prevedibile e logistica sobria è ciò che rende il servizio sostenibile per una cooperativa, e collega l'architettura tecnica al modello organizzativo che i capitoli successivi svilupperanno. Non è un'appendice a valle del progetto ma un requisito che il progetto deve incorporare, perché un velivolo che vola benissimo ma è impossibile o costoso da mantenere non serve al territorio.

Che cosa ne consegue per il progetto

L'architettura che esce dall'intero capitolo è precisa, coerente e costruibile. Si tratta di una cellula ad ala fissa ad alto allungamento in materiali compositi, con una catena propulsiva ibrida a generatore in serie in cui un piccolo motore termico a regime costante alimenta attraverso un generatore e un bus elettrico con batteria tampone il motore di crociera e i quattro rotori di un modulo di decollo verticale rimovibile, con un'avionica europea certificabile e ridondata, con l'autonomia di navigazione e la capacità di percepire ed evitare necessarie al volo oltre l'orizzonte, con comunicazioni ridondate e un carico utile di connettività che ne fa un ripetitore per le valli, e con un vano modulare da 4 chilogrammi che, cambiando carico utile, serve missioni diverse dall'osservazione all'ispezione all'agricoltura al trasporto. Il tutto sta sotto i 25 chilogrammi e i 3 metri con il margine dichiarato, purché il controllo della massa sia tenuto con disciplina, e vola per 20 o 22 ore nella configurazione di persistenza e per 10 o 13 ore in quella capillare con il modulo di decollo verticale montato. Poggia su una base tecnologica in gran parte matura, con gli elementi più innovativi chiaramente riconosciuti come i più rischiosi e destinati al binario finanziato dai fondi di ricerca. È l'oggetto tecnico su cui i capitoli successivi costruiranno il percorso normativo, l'architettura dei dati sovrana, il modello cooperativo e l'analisi economica.

Le verifiche aperte, raccolte

LE VERIFICHE APERTE

Poiché questo è un capitolo di fattibilità e non un progetto di dettaglio, è doveroso raccogliere in un unico luogo le verifiche che restano aperte, perché il calcolo qui svolto è di primo livello e usa in molti punti rendimenti, densità e pesi tipici della letteratura anziché misure sul sistema reale, che ancora non esiste. Sul fronte propulsivo vanno misurati al banco i rendimenti effettivi della catena a generatore e il consumo specifico del motore prescelto al suo punto di lavoro, perché toccano direttamente l'autonomia, e va caratterizzato il livello di vibrazione per dimensionare l'isolamento che protegge il sensore. Sul fronte aerodinamico e strutturale vanno confermati in galleria del vento e con prove statiche e a fatica l'efficienza reale dell'ala, la potenza di crociera, il beneficio dell'ala scatolata e il comportamento aeroelastico dell'ala lunga, e va pesato l'esemplare strutturale prima di ogni altra conclusione, perché la riga della struttura è quella su cui il bilancio di massa ha il margine più stretto e quella su cui la variante scatolata porta il rischio maggiore. Sul fronte dell'autonomia va validata la navigazione senza satellite sullo specifico terreno appenninico, che nessuno studio ha ancora provato, e va sviluppata e certificata la capacità di percepire ed evitare. Sul fronte dell'avionica va verificato il contenuto reale del pacchetto di garanzia dei fornitori. Sul fronte dei carichi utili vanno raccolti dai fornitori i pesi, i consumi e i prezzi reali, va sommato con cura il

> bilancio di potenza dei carichi più assetati e va progettata l'interfaccia del vano modulare, come quella del modulo di decollo verticale. E sul fronte delle comunicazioni vanno calcolate le portate reali e la copertura effettiva del ripetitore. Sono verifiche numerose ma circoscritte, e nessuna di esse mette in discussione l'architettura di fondo, ormai solida sul piano fisico e coerente in tutte le sue parti, ma tutte insieme costituiscono il lavoro che separa questo studio di fattibilità dal progetto costruttivo, ed è giusto che uno studio onesto le consegni scritte a chi verrà dopo.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Bilancio preliminare di massa ed energia, sfondamento del peso a configurazione piena intorno ai 33 chilogrammi e rientro sotto i 23,75 chilogrammi con le rinunce, autonomia realistica di 20 o 22 ore, `proj_fase-b-bilancio-di-massa-ed-energia-preliminare`
2. Trade dettagliato sulla propulsione, sotto bilancio del gruppo propulsivo nelle due varianti, `proj_fase-b-trade-propulsione-dettagliato-powertrain-ibrido`
3. Trade study delle architetture, doppio vincolo di massa sotto i 25 chilogrammi e di dimensione caratteristica sotto i 3 metri, `proj_fase-b-trade-study-architetture`
4. Studio su costi, maturità e scelta fra costruire e acquistare, potenziale dell'ala scatolata su efficienza, rigidità e compattezza dalle simulazioni interne, ancora da validare, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
5. Studio su costi, maturità e scelta fra costruire e acquistare, doppio binario acquisto e sviluppo, tassi di perdita e sovradimensionamento della flotta, tempi del dimostratore e del prodotto, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
6. Studio su costi, maturità e scelta fra costruire e acquistare, livelli di maturità dei sottosistemi dalla cellula matura all'ala scatolata a maturità bassa, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
7. Studio di Fattibilità, sezione 5.9 di questo capitolo, perdita di autonomia dovuta al modulo di decollo verticale, da 10 a 13 ore con i quattro rotori montati contro oltre 18 ore senza, e trade study delle architetture, `proj_fase-b-trade-study-architetture`
8. Fondamenti dell'ala scatolata nella prospettiva del progetto di velivolo, risparmio di carburante del 9 per cento e rapporto di planata di 20,4 su un riferimento di classe A320, con ala circa il doppio più pesante di quella di riferimento, `tec_3fd2c462335c`
9. Indagine sulle condizioni di volo in cui l'ala scatolata supera la monoplana nei piccoli velivoli senza pilota, vantaggio ad alta velocità e ad alta richiesta di portanza, migliore tolleranza alle raffiche solo a basso allungamento e assenza di differenze sostanziali ad alto allungamento, maggiore resistenza d'attrito dovuta alle superfici verticali, `tec_dca9e7a78ee1`

CAPITOLO 6

Il segmento di terra e il modello di servizio

IN BREVE

Disegna il segmento di terra e il modello di servizio: il progetto non vende un mezzo ma un dato, pagato a ore di volo o a risultato, con contratti quadro ricorrenti e infrastruttura sotto controllo europeo.

Dato	Contratti quadro	A bordo
COME SERVIZIO, NON IL MEZZO	RICORRENTI E PUBBLICI	L'ELABORAZIONE DEI DATI

NEL CAPITOLO

6.1 La stazione di terra . . . 232
6.2 La gestione della flotta e la sicurezza dei collegamenti . . . 233
6.3 Dalla raccolta al prodotto, la piattaforma dei dati . . . 233
6.4 Il modello di servizio, vendere il dato e non il mezzo . . . 234
6.5 La manutenzione, la formazione degli equipaggi e l'assistenza . . . 234
6.6 La cooperativa che opera il servizio . . . 236
6.7 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte . . . 236

Il capitolo precedente ha descritto il velivolo, ma un velivolo da solo non è un sistema e ancor meno un'impresa. Perché quel mezzo produca valore occorre ciò che sta a terra, la stazione da cui lo si comanda, l'infrastruttura che raccoglie ed elabora i dati che porta, e soprattutto l'organizzazione che trasforma le sue ore di volo in un servizio venduto a un cliente. È di questo che si occupa il presente capitolo, e non è un'appendice, perché in un progetto che vende il dato e non il mezzo è proprio qui, a terra, che si crea gran parte del valore. Il capitolo descrive prima la stazione di terra e la sua evoluzione dal dimostratore al prodotto, poi l'infrastruttura che gestisce la flotta e protegge i collegamenti, quindi la catena che porta dal dato grezzo al prodotto consegnato, poi il modello di servizio, quindi la manutenzione, la formazione degli equipaggi e l'assistenza, e infine il ruolo di Firmamento Technologies, la cooperativa che lo opera, rimandando al capitolo dedicato la questione della sovranità dei dati che questo modello solleva con forza.

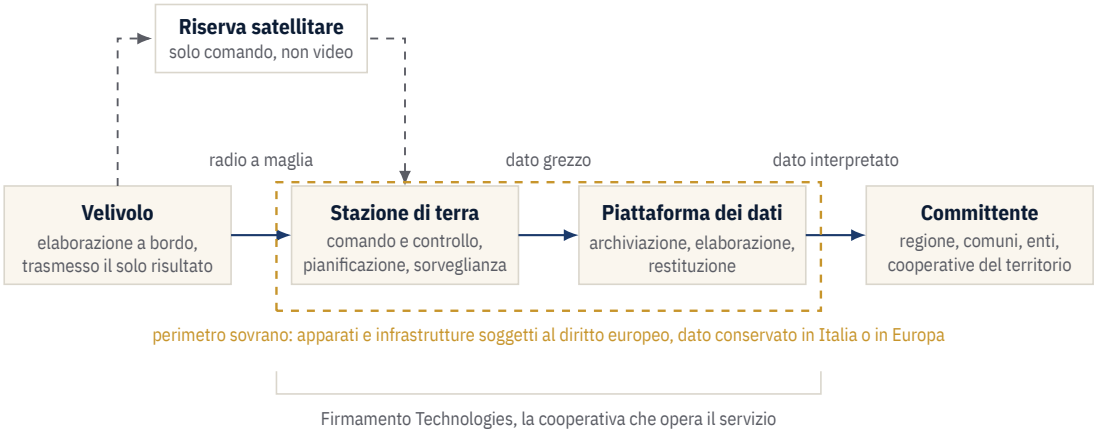


Figura 6.1. Il segmento di terra come catena che porta dal volo al dato consegnato. Il valore del progetto non sta nel primo blocco ma nei due centrali, che l'impresa controlla direttamente e che restano dentro il perimetro sovrano.

6.1 La stazione di terra

La stazione di terra è l'insieme di computer, software, radio e antenne con cui una o più persone pilotano e sorvegliano il velivolo, e non va confusa con un semplice telecomando, perché nel volo oltre l'orizzonte visivo è un sistema complesso che l'autorità considera parte integrante del mezzo aereo ai fini della sicurezza. La sua architettura fisica comprende un'unità di controllo robusta, tipicamente un computer o un tablet irrobustito capace di resistere alle intemperie sul campo, il terminale radio a terra che dialoga con il velivolo, un'antenna direzionale, meglio se su un supporto che insegue automaticamente il mezzo o su un palo che ne estende la vista scavalcando gli ostacoli, e un radiocomando manuale separato per il decollo e l'atterraggio e per riprendere il controllo a mano nelle fasi delicate, spesso richiesto dalle procedure di sicurezza [1]. A questi si aggiunge la ridondanza del collegamento, con il primario terrestre a maglia affiancato dalla riserva satellitare, che come si è visto nel capitolo precedente è ciò che sostiene la continuità del comando richiesta dalle autorizzazioni.

Anche il software della stazione segue la logica a due tempi già incontrata per l'avionica, perché per il dimostratore bastano i programmi di controllo a codice aperto, diffusi, gratuiti e perfettamente adeguati alla ricerca e ai primi voli, mentre per il prodotto operativo destinato al volo oltre l'orizzonte ai livelli di rischio più alti serve uno stack software certificabile, dotato

del pacchetto di garanzia che l'autorità richiede, per il quale il mercato offre soluzioni europee coerenti con la scelta dell'autopilota [1]. La migrazione dal software libero del dimostratore a quello certificato del prodotto è naturale e pianificata, e non comporta rifare il lavoro ma aggiungere le evidenze di garanzia. Il punto importante è riconoscere fin d'ora che la stazione di terra, con la sua affidabilità, la sua interfaccia e la sua gestione della perdita del collegamento, è valutata dall'autorità come parte del sistema, e va perciò progettata con la stessa serietà del velivolo e non trattata come un accessorio.

6.2 La gestione della flotta e la sicurezza dei collegamenti

Un servizio che voglia essere sostenibile non opera un velivolo alla volta con un pilota dedicato a ciascuno, perché sarebbe troppo costoso, ma tende a far sorvegliare più mezzi da un numero ridotto di operatori, sfruttando l'autonomia di bordo descritta nel capitolo precedente. Questo richiede un'infrastruttura di gestione della flotta capace di seguire più velivoli, di assegnare loro le missioni, di sorvegliarne lo stato e di intervenire solo quando serve, ed è uno dei modi concreti in cui l'autonomia si traduce in risparmio operativo. Perché mezzi e stazioni di produttori diversi possano dialogare, esistono standard di interoperabilità collaudati, in particolare uno standard di riferimento del mondo atlantico che definisce come i sistemi di controllo dei velivoli senza pilota si interfacciano fra loro su una scala di livelli crescenti di integrazione, dal semplice ricevere i dati fino al controllo completo del lancio e del recupero, e che facilita proprio le operazioni congiunte fra ambito civile e istituzionale a cui il progetto guarda [2].

La sicurezza dei collegamenti a terra merita attenzione perché il protocollo di telemetria più diffuso, nella sua versione datata, non prevedeva autenticazione ed era quindi vulnerabile a intercettazioni e a manomissioni, mentre la sua versione aggiornata introduce la firma dei pacchetti con una funzione crittografica robusta, che permette di verificare che ogni messaggio provenga davvero dalla stazione autorizzata e non sia stato alterato [3]. Adottare la versione sicura del protocollo è quindi un requisito, non un'opzione, per un sistema che opera in contesti sensibili, e si salda con le difese informatiche di bordo descritte nel capitolo precedente, la cifratura del collegamento, l'autenticazione del segnale satellitare e la protezione dei dati, in un'unica postura di sicurezza che copre il velivolo, il collegamento e la stazione. A questa si aggiunge la delimitazione geografica del volo, cioè la definizione di confini virtuali oltre i quali il velivolo non deve andare, che tiene il mezzo dentro il volume autorizzato ed è uno strumento chiave del contenimento del rischio a terra, per la quale esistono soluzioni software mature sviluppate anche in progetti europei di ricerca [4].

6.3 Dalla raccolta al prodotto, la piattaforma dei dati

Il cuore economico del progetto non è il volo ma il dato che il volo produce, e per questo la piattaforma che raccoglie, elabora e consegna i dati è un elemento centrale del sistema quanto il velivolo stesso. Il flusso di lavoro segue tre fasi che conviene distinguere con chiarezza. Nella prima si pianifica la missione e si raccoglie il dato grezzo con i sensori di bordo, ed è la fase del volo. Nella seconda il dato viene elaborato, gestito e analizzato, in parte già a bordo grazie al calcolatore che riconosce ciò che conta e riduce la mole da trasmettere, e in parte a terra dove si ricostruiscono le mappe, si estraggono le informazioni e si producono i risultati. Nella terza il prodotto finito viene consegnato e condiviso con il cliente, in formati standard che vanno dalle immagini georeferenziate ai modelli tridimensionali del terreno [5]. È in questa catena che il

dato grezzo diventa un'informazione utile, una mappa di un versante franoso, un allarme di incendio, un rilievo di una linea elettrica, un conteggio di capi di bestiame, e il valore per il cliente sta nella qualità e nell'affidabilità di questo prodotto finale, non nel sensore che lo ha originato.

La scelta di elaborare quanto più possibile a bordo, già discussa nel capitolo precedente, ha qui la sua ragione economica e strategica piena. Elaborare a bordo riduce la quantità di dati da trasmettere, alleggerendo il collegamento e i suoi costi, e trasmettere solo il risultato anziché il flusso grezzo è anche una scelta a favore della protezione del dato, perché meno informazione viaggia in reti esterne e minore è il rischio di perderne il controllo. La piattaforma a terra, a sua volta, è il luogo dove il dato viene conservato, ed è qui che si pone con forza la questione della sovranità, cioè di dove e sotto quale giurisdizione risieda l'informazione raccolta sul territorio, una questione che questo capitolo si limita a segnalare e che il capitolo sui dati e la sovranità digitale svilupperà, perché è una delle poste in gioco più alte dell'intero progetto.

6.4 Il modello di servizio, vendere il dato e non il mezzo

Tutto quanto descritto converge sul modello di business, che il progetto ha scelto con chiarezza, offrire un servizio di raccolta ed elaborazione di dati piuttosto che vendere il velivolo come prodotto. Questa scelta non è ideologica ma discende dalla struttura del mercato analizzata nella prima parte dello studio, dove si è visto che l'hardware dei droni è ormai una merce a basso margine, dominata da pochi grandi produttori, mentre il valore difendibile si concentra nel servizio, nell'integrazione operativa, nella persistenza in volo e nella qualità del dato, e che i servizi valgono già la larga maggioranza del mercato mentre l'hardware ne è una frazione modesta [6]. Vendere il dato come servizio significa che il cliente non compra un mezzo che dovrebbe poi imparare a operare e mantenere, ma riceve l'informazione di cui ha bisogno, pagando per le ore di volo o per i risultati contrattualizzati, secondo un modello che il settore chiama dato come servizio e che trova un riferimento concreto nel modo in cui alcune agenzie pubbliche europee già acquistano sorveglianza, comprando il dato e non il velivolo, con contratti quadro ricorrenti [6].

Questo modello si sposa con la strategia a doppio binario che lo studio ha maturato sul piano tecnico ed economico, e che qui va richiamata perché ne è il fondamento operativo. Nel primo binario, quello che genera subito ricavi, l'impresa integra e opera una piattaforma commerciale già matura, offrendo da subito il servizio ai clienti con rischio minimo e generando la cassa e le evidenze operative che servono. Nel secondo binario, in parallelo, si sviluppa il velivolo proprietario descritto nel capitolo precedente, finanziato dai fondi dedicati al rischio tecnologico, come traccia di differenziazione a lungo termine [7]. Il modello di servizio è ciò che tiene insieme i due binari, perché è il servizio a generare la trazione con il mezzo comprato e a giustificare lo sviluppo del mezzo costruito, ed è coerente con la natura modulare del velivolo, che cambiando carico utile serve molte missioni e distribuisce così il costo su più attività lungo l'anno.

6.5 La manutenzione, la formazione degli equipaggi e l'assistenza

Un servizio di volo continuativo non si regge sulla macchina ma sull'organizzazione che la tiene in efficienza e sulle persone abilitate a condurla, e questa sezione fissa entrambe perché sono voci di costo, di tempo e di rischio che il piano economico assume e che vanno quindi dichiarate.

La formazione degli equipaggi si articola su tre livelli distinti, e conviene tenerli separati perché hanno costi e durate diverse. Il primo è l'abilitazione di legge, cioè l'attestato di pilota per la categoria specifica, che si consegue con un corso e un esame presso un soggetto riconosciuto e che è il presupposto per qualunque operazione. Il secondo è l'addestramento specifico sul tipo, che l'operatore conduce internamente sulla propria piattaforma e sulle proprie procedure, e che comprende la conduzione della stazione di terra, la gestione della transizione fra volo verticale e volo dell'ala, le procedure di emergenza e in particolare il comportamento alla perdita del collegamento, e il recupero manuale nelle fasi delicate. Il terzo è l'abilitazione al volo oltre la linea di vista, che non è un titolo separato ma un insieme di competenze e di esperienza documentata che confluisce nel manuale delle operazioni e nella valutazione del rischio, e che l'autorità esamina come parte dell'istanza. La conseguenza organizzativa è che la formazione non è un evento iniziale ma un processo ricorrente, con un addestramento periodico di mantenimento e un registro delle abilitazioni per ciascun operatore, e che il piano deve prevedere almeno due persone abilitate per ogni ruolo critico, perché un servizio contrattualizzato non può fermarsi per l'assenza di una singola persona.

La manutenzione segue la logica di un mezzo a combustione e non di un multirotore elettrico, ed è più impegnativa di quanto l'esperienza dei droni leggeri suggerisca. Si articola su tre orizzonti. Prima di ogni volo si conducono l'ispezione visiva e tattile della cellula e delle superfici mobili, la verifica dei serraggi dei bracci del modulo di decollo verticale, il controllo dei livelli e delle connessioni, e la prova funzionale dei comandi e del collegamento, il tutto secondo una lista di controllo scritta e firmata, che è anche l'evidenza che l'autorità chiede in caso di evento. A cadenza periodica, misurata in ore di volo, si intervengono la revisione del motore termico secondo il piano del costruttore, il controllo dello stato delle eliche e dei rotori, la verifica della batteria con misura della capacità residua, e la taratura dei sensori del carico utile. A cadenza pluriennale si collocano la sostituzione della batteria, di cui il capitolo economico porta il costo, e l'ispezione strutturale approfondita della cellula.

Il presidio dei ricambi merita una nota perché è il punto in cui un servizio si interrompe più spesso. La scorta minima da tenere a magazzino comprende un set completo di eliche e di rotori, una batteria di riserva, i componenti dell'avionica a più alta probabilità di guasto e le parti soggette a usura del gruppo propulsivo, ed è dimensionata sul tempo di riapprovvigionamento del fornitore, che per una piattaforma acquistata all'estero può essere di settimane. È la ragione per cui il capitolo economico iscrive fra i rischi la dipendenza da un unico fornitore e chiede che il contratto di acquisto garantisca tempi di consegna dei ricambi e disponibilità dell'assistenza, e non solo il prezzo del mezzo.

Resta da definire il rapporto di assistenza verso l'esterno, che ha due facce. Verso il fornitore della piattaforma commerciale, l'impresa è cliente e deve negoziare un contratto di manutenzione e supporto con tempi di risposta dichiarati, perché nella fase del binario dell'acquistare la continuità del servizio dipende da un terzo. Verso le cooperative del territorio e i committenti pubblici, l'impresa è invece fornitrice, e il servizio che vende non finisce con la consegna del dato ma comprende la disponibilità a rispondere, l'affiancamento nell'interpretazione dei prodotti cartografici e la reperibilità concordata nelle stagioni critiche, tipicamente quella antincendio. Sono impegni che vanno scritti nel contratto di servizio con livelli dichiarati, perché è su di essi che si costruisce il rinnovo della commessa, che in un modello a ricavo ricorrente vale più dell'acquisizione iniziale.

6.6 La cooperativa che opera il servizio

Operare il servizio richiede competenze che vanno costruite, la conduzione delle missioni dalla stazione di terra, la manutenzione del velivolo, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati e la relazione con i clienti pubblici, e la costruzione di queste competenze dentro Firmamento e la loro condivisione con la rete cooperativa del territorio è una delle ricadute sociali più preziose del progetto, perché crea lavoro qualificato dove il lavoro qualificato scarseggia. La modularità del velivolo aiuta anche qui, perché permette a Firmamento di offrire con un solo mezzo servizi diversi lungo l'anno, il monitoraggio agricolo in una stagione, la vigilanza antincendio in un'altra, l'ispezione delle infrastrutture in un'altra ancora, rendendo economicamente sensato un investimento che per una singola missione non lo sarebbe.

Vale la pena sottolineare che questa scelta organizzativa non è separabile da quella tecnica, perché molte decisioni del capitolo precedente, l'autonomia che riduce il personale necessario, la facilità di manutenzione, la preferenza per componenti europei controllabili, la protezione del dato, hanno senso proprio in funzione di un operatore che è una cooperativa con risorse contenute e con l'esigenza di controllare la propria attività senza dipendere da fornitori esterni incontrollabili. Il capitolo sul modello cooperativo e la governance svilupperà in dettaglio la forma giuridica di Firmamento, il ruolo di Legacoop Liguria e di Coopfond, gli strumenti di co-progettazione con il pubblico e le ricadute territoriali, ma è importante riconoscere fin d'ora che il segmento di terra e il modello di servizio descritti in questo capitolo sono pensati per essere operati da Firmamento Technologies a beneficio della rete cooperativa e del territorio, e che è questa la ragione ultima di molte scelte tecniche.

6.7 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte

LE VERIFICHE APERTE

Il segmento di terra e il modello di servizio che escono da questo capitolo completano il quadro tecnico con la loro metà a terra, una stazione di controllo ridondata e certificabile, un'infrastruttura di gestione della flotta interoperabile e sicura, una piattaforma dei dati che trasforma la raccolta in prodotto proteggendo l'informazione, e un modello che vende il dato come servizio ed è operato da Firmamento Technologies secondo la strategia a doppio binario. È un quadro coerente con le scelte del velivolo e con la natura del progetto, ma porta con sé verifiche che appartengono alle fasi successive. L'architettura di dettaglio della piattaforma dei dati, con le sue scelte di elaborazione a bordo e a terra e di conservazione sovrana, va progettata insieme al capitolo sui dati e la sovranità, perché è lì che si decide il cuore del valore e del rischio. Il modello economico del servizio, con le tariffe, i costi operativi e i contratti plausibili, va costruito con i numeri nel capitolo economico, perché qui se ne è descritta solo la logica. E le competenze necessarie a operare il servizio vanno mappate e formate sul territorio, un lavoro che il capitolo cooperativo affronterà. Sono verifiche che non mettono in discussione la solidità del modello, ormai chiara, ma che ne definiranno l'attuazione prima dell'avvio del servizio.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio di telemetria, collegamento e stazione di terra, architettura della stazione, software dal dimostratore al prodotto certificabile e ruolo normativo della stazione, `proj_fase-b-telemetria-data-link-e-stazione-di-terra-gcs`
2. Standard di interoperabilità dei sistemi di controllo dei velivoli senza pilota, livelli crescenti di integrazione, `tec_f110ff7ef26a`
3. Studio sulla sicurezza del protocollo di telemetria, firma dei pacchetti nella versione aggiornata contro intercettazioni e manomissioni, `tec_7a4fcfd85e98`
4. Sistema software di delimitazione geografica del volo sviluppato in un progetto europeo di ricerca, `tec_fd947818f003`
5. Guida alla gestione dei dati raccolti dai droni, flusso in tre fasi dalla raccolta al prodotto e formati di consegna, `tec_a314b396508d`
6. Analisi di mercato consolidata della ricerca preliminare di mercato, prevalenza dei servizi sul mercato dei droni, modello del dato come servizio e riferimento dei contratti quadro pubblici, `proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato`
7. Studio su costi, maturità e scelta fra costruire e acquistare, strategia a doppio binario acquisto e sviluppo, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`

CAPITOLO 7

Il quadro normativo e autorizzativo

IN BREVE

Mostra la strada autorizzativa sulla lettura diretta dei regolamenti: la marcatura di classe preclusa all'ibrido, il collaudo gratuito in categoria aperta, le valutazioni di rischio predefinite come strada vera e la persistenza da monetizzare in attesa prolungata anziché in raggio esteso.

C6	A3	PDRA
L'UNICA CLASSE APERTA ALL'IBRIDO	IL BANCO PROVA SENZA PERMESSI	LA VIA CHE NON CHIEDE MARCATURE

NEL CAPITOLO

7.1 Il quadro europeo e le tre categorie di volo . . . 241
7.2 La marcatura di classe, il limite dei 3 metri e le vie che restano aperte . . . 242
7.3 Il metodo di analisi del rischio, la SORA . . . 245
7.4 Gli obiettivi di sicurezza e le dotazioni del velivolo . . . 248
7.5 Il quadro nazionale, l'autorità italiana e il portale dei voli . . . 250
7.6 Lo spazio aereo dei droni, lo U-space . . . 252
7.7 Lo spettro delle frequenze e i collegamenti . . . 253
7.8 Il pilota, l'operatore e l'assicurazione . . . 255
7.9 La sicurezza informatica e la responsabilità da prodotto . . . 257
7.10 Le zone geografiche e i vincoli territoriali del sito pilota . . . 258
7.11 La strategia autorizzativa, dal collaudo gratuito ai primi ricavi . . . 260
7.12 I tempi, i costi e gli ostacoli reali . . . 262
7.13 Le lezioni dei precedenti italiani . . . 264
7.14 Crescere dopo l'autorizzazione, il prezzo della massa e quello dell'apertura . . . 266
7.15 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte . . . 269

Costruire il velivolo, per quanto impegnativo, è in un certo senso la parte facile, perché il vero collo di bottiglia di un'impresa come questa non è la meccanica ma il permesso di volare oltre l'orizzonte visivo del pilota, che in Italia non si compra insieme al drone ma si conquista superando un'analisi del rischio condotta secondo un metodo europeo e concessa dall'autorità nazionale. Molte imprese italiane hanno il drone ma non il permesso, e la ragione è che il permesso richiede di dimostrare la sicurezza dell'intera operazione come sistema, i rischi per le persone a terra e per gli altri velivoli in aria, l'affidabilità del collegamento, le procedure, lo spazio aereo e persino i permessi locali, un problema di regole e di organizzazione più che di ingegneria. È per questo che lo studio dedica al quadro normativo un capitolo esteso e non una nota di margine, perché sottovalutare questa dimensione è l'errore che manda fuori strada la maggior parte dei progetti di drone in Italia, che si concentrano sulla macchina e scoprono tardi che senza l'autorizzazione la macchina non vola e non genera ricavi.

Il capitolo affronta il percorso per gradi, muovendo dal quadro europeo e dalle sue tre categorie di rischio verso il metodo di analisi che governa la categoria in cui il progetto ricade, per poi scendere nei suoi ingranaggi, il rischio a terra e il rischio in aria, gli obiettivi di sicurezza da dimostrare, le dotazioni che li soddisfano. Prosegue con il recepimento italiano, l'autorità nazionale, il portale su cui si depositano i piani, le zone geografiche, l'identificazione a distanza, e con il nuovo spazio aereo dei droni che l'Europa sta costruendo. Dedica attenzione a tre materie che una lettura superficiale trascura ma che sono decisive per un operatore reale, cioè lo spettro delle frequenze su cui viaggia il collegamento, gli obblighi che gravano sul pilota e sull'operatore compresa l'assicurazione, e i nuovi vincoli di sicurezza informatica e di responsabilità da prodotto che l'Unione ha introdotto negli ultimi 2 anni. Affronta poi i vincoli territoriali specifici del sito pilota, le aree protette e i parchi, che nell'entroterra ligure non sono un'ipotesi ma la regola. Prosegue con la strategia autorizzativa che tiene insieme tutto questo, i tempi e i costi reali con l'onestà che le fonti impongono, gli ostacoli che restano aperti e le lezioni dei precedenti italiani che al volo oltre la vista sono già arrivati. E chiude, prima delle implicazioni, con l'esame del prezzo regolatorio delle due direzioni di crescita che il progetto si è dato, salire di massa e allargare l'ala, che si rivelano costare cifre molto diverse.

Il filo che attraversa il capitolo è che la scelta di un velivolo compatto sotto i 25 chilogrammi e i 3 metri, maturata per ragioni tecniche e di mercato nei capitoli precedenti, si rivela anche la scelta autorizzativa più intelligente, perché conserva le scorciatoie che i velivoli più grandi perdono e tiene il livello di rischio nella fascia dove il permesso è ottenibile con tempi e costi ragionevoli. Il capitolo corregge però, sulla lettura diretta dei testi consolidati, la classe sotto cui quella scelta si consegue, perché la marcatura C3 che i documenti preparatori attribuivano al velivolo ibrido è riservata dal regolamento ai soli mezzi ad alimentazione esclusivamente elettrica, e la propulsione raccomandata dallo studio impone quindi di guardare a un'altra classe e soprattutto a un'altra strada. Il secondo filo è che il quadro è in movimento, perché l'Europa e l'Italia stanno costruendo proprio in questi anni lo spazio aereo dei droni, le regole sulla sicurezza informatica e le zone geografiche, e questo impone all'operatore non di attendere che il quadro si stabilizzi, cosa che non accadrà a breve, ma di muoversi dentro il quadro esistente cominciando dalle operazioni più semplici e salendo per gradi man mano che le autorizzazioni e l'esperienza maturano. È questa, tradotta in linguaggio autorizzativo, la stessa strategia a doppio binario che governa l'intero studio, ed è la ragione per cui il capitolo, pur descrivendo un percorso impegnativo, conclude che la fattibilità autorizzativa del progetto è dimostrata e non soltanto auspicata.

7.1 Il quadro europeo e le tre categorie di volo

Il punto di partenza obbligato è che le regole del volo dei droni in Italia non sono italiane ma europee, perché l'Unione ha costruito uno dei quadri normativi più completi al mondo, armonizzato fra tutti gli Stati membri, e l'Italia lo recepisce e lo integra ma non lo riscrive. Alla base sta il regolamento europeo del 2018 che istituisce l'agenzia europea per la sicurezza aerea e le affida i droni, e su quella base poggiano due regolamenti gemelli applicati in tutti gli Stati membri dalla fine del 2020, uno che detta le regole di come si vola e uno che detta i requisiti di come è fatto il drone [1][2]. Capire questa architettura è il primo passo, perché stabilisce che chi progetta un velivolo e un servizio in Italia lavora dentro un mercato di regole continentale, il che è una buona notizia, perché un'autorizzazione costruita bene ha valore oltre confine e perché i precedenti maturati in un Paese informano quelli degli altri.

Il principio che governa tutto il sistema è la proporzionalità al rischio, cioè l'idea che le regole debbano essere leggere dove il rischio è basso e severe dove è alto, e da questo principio discende la ripartizione di ogni volo in una di tre categorie [1][3]. La prima è la categoria aperta, che raccoglie le operazioni a basso rischio, con velivoli sotto i 25 chilogrammi che volano soltanto a vista del pilota, entro i 120 metri dal suolo e lontano dalle persone, e che non richiede alcuna autorizzazione preventiva ma soltanto la registrazione dell'operatore e un attestato di pilotaggio commisurato al tipo di volo [3]. La seconda è la categoria specifica, che raccoglie le operazioni a rischio medio, e vi rientra automaticamente qualunque volo condotto oltre la vista del pilota, a prescindere dal peso del mezzo, il che significa che appena il velivolo supera l'orizzonte visivo, come le missioni sulle valli interne richiedono, si è nella categoria specifica e serve un'autorizzazione dell'autorità nazionale ottenuta superando l'analisi del rischio [1][3]. La terza è la categoria certificata, che raccoglie le operazioni a rischio alto, trattate con lo stesso rigore dell'aviazione di linea, con certificato di tipo del velivolo, certificato di aeronavigabilità, licenza del pilota e approvazione dell'operatore, e che riguarda il trasporto di persone o il volo sopra folle e non tocca il progetto [1].

La conseguenza dirimente, che vale la pena fissare subito perché orienta tutto il resto, è che la categoria aperta è soltanto per il volo a vista, e che il progetto vive quasi interamente nella categoria specifica, perché il valore delle sue missioni sta proprio nel raggiungere valli remote e punti nascosti dietro i crinali, cioè nel volo oltre l'orizzonte. Non c'è scorciatoia che eviti la categoria specifica per le missioni di lungo raggio, e chi promette il contrario o non ha capito le regole o intende volare a vista, con un valore molto più limitato. Ne discende che la partita autorizzativa del progetto si gioca tutta sul terreno della categoria specifica e del metodo di analisi del rischio che la governa, ed è a quel terreno che le sezioni seguenti dedicano l'attenzione maggiore.

Vale la pena aggiungere che il quadro europeo, oltre alle tre categorie, prevede alcuni percorsi semplificati dentro la categoria specifica, pensati per le operazioni tipiche e ripetute, che alleggeriscono la pratica evitando di rifare ogni volta l'intera analisi del rischio. Sono gli scenari standard e le valutazioni di rischio predefinite, che una sezione dedicata descriverà, e la cui disponibilità dipende in modo stretto dalla classe del velivolo, il che è una delle ragioni per cui la scelta della classe compatta ha un peso autorizzativo oltre che tecnico. Il sistema, insomma, non è un muro unico ma una scala di gradini, e la maestria dell'operatore consiste nel salire dal gradino più basso, il volo a vista in categoria aperta, ai gradini intermedi degli scenari standard, fino al volo oltre la vista in categoria specifica con autorizzazione piena, senza saltare passaggi e usando ogni gradino per costruire le evidenze che aprono il successivo. È l'esatta traduzione normativa della prudenza per gradi che governa l'intero progetto.

Un ultimo elemento di cornice riguarda le dimensioni reali di questo mercato regolato, utili a non sopravvalutare né sottovalutare il contesto. Il settore professionale dei droni in Italia valeva 160 milioni di euro nel 2024, saliti a 168 milioni nel 2025, con circa 185.000 operatori registrati, dentro un mercato europeo dei droni commerciali stimato in 7,63 miliardi di dollari nel 2024 e in crescita a ritmo annuo robusto [4][5]. Sono numeri che dicono due cose insieme, che il quadro regolatorio è ormai operativo e usato da una platea vasta, e quindi percorribile, e che il mercato resta piccolo e in consolidamento, e quindi esige di occupare una nicchia difendibile anziché competere come fornitore generico, come l'analisi di mercato ha già mostrato. Il quadro normativo, in questa luce, non è soltanto un vincolo da superare ma anche una barriera che protegge chi lo supera, perché l'autorizzazione al volo oltre la vista è difficile da ottenere e proprio per questo è un fossato competitivo per chi la conquista.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi europei e nazionali e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Regolamento di base dell'agenzia europea per la sicurezza aerea e quadro generale dei droni, sintesi del dominio regolatorio europeo, `reg-easa` e `leg_a99b5c963ebd`
2. Regolamento delegato europeo sui requisiti tecnici e le classi dei droni, `leg_b3b70cf4b053` e `leg_9d0a84bb6fac`
3. Regolamento di esecuzione europeo sulle operazioni e le tre categorie di volo, testo consolidato, `leg_5217c2991d39` e `leg_bf71102f1697`
4. Dati del settore droni in Italia, valore e operatori registrati nel 2024, `leg_d18129eca1ee`
5. Dati del mercato europeo dei droni commerciali, Grand View Research, da 7,63 miliardi di dollari nel 2024 a circa 12,96 miliardi nel 2030, ripresi dalla sezione `02_01_quadro-del-mercato` di questo studio, e Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata del Politecnico di Milano, rilevazione 2025, `mar_5e6c3714440d`

7.2 La marcatura di classe, il limite dei 3 metri e le vie che restano aperte

La marcatura di classe è un istituto di immissione sul mercato prima che di volo, e capirlo cambia il modo in cui il progetto la insegue. Il regolamento delegato europeo che la disciplina si applica ai mezzi aerei senza pilota destinati a essere venduti per operare in categoria aperta o in dichiarazione, e ne esclude espressamente gli aeromobili autocostruiti, cioè quelli assemblati per uso proprio del costruttore [1]. Governa quindi ciò che un fabbricante può mettere in commercio, non ciò che un operatore può fare con il proprio mezzo. Per un'impresa che vende il servizio e non il velivolo, come è il caso di questo progetto nella sua linea principale, la marcatura vale esattamente per quello che apre, cioè l'accesso alla categoria aperta per chi acquista il mezzo e l'accesso agli scenari standard dichiarativi, e non un grammo di più.

Su questa premessa va portata una correzione che riguarda una delle affermazioni ricorrenti del materiale di progetto e delle prime stesure di questo studio, e va portata senza attenuazioni perché è un errore di merito e non di forma. La classe C3 non richiede una condizione sola ma tre insieme. Il testo consolidato del regolamento chiede al punto primo della parte dedicata a quella classe una massa massima al decollo inferiore ai 25 chilogrammi carico utile incluso e una dimensione caratteristica massima inferiore ai 3 metri, e chiede al settimo punto che il mezzo sia alimentato esclusivamente a elettricità [1]. Un velivolo a propulsione ibrida, che è la configurazione raccomandata da questo studio, non potrà mai

portare la marcatura C3, e la formula piattaforma C3 ibrida, che compare nei documenti preparatori, è una contraddizione nei termini. La correzione non tocca i numeri del progetto, che restano i 25 chilogrammi e i 3 metri, ma cambia l'etichetta e soprattutto cambia la strada.

La via d'uscita esiste ed è la classe C6, che il regolamento definisce per differenza rispetto alla C3 stabilendo che un mezzo di quella classe rispetti i requisiti della parte quarta salvo i punti secondo, settimo e decimo [2]. Cade proprio il punto che impone l'alimentazione elettrica. La C6 è quindi l'unica classe europea che ammetta insieme un'ala fissa e una propulsione non elettrica, ed è per costruzione la classe pensata per il volo oltre la vista in ambiente scarsamente popolato, cioè per la missione stessa del progetto. Eredita per intero il primo punto della parte quarta, e con esso i 25 chilogrammi e i 3 metri, cosicché la disciplina dimensionale che il progetto si è dato non si allenta affatto, cambia soltanto il numero della classe sotto cui si colloca.

Va chiusa nello stesso movimento un'altra porta che i documenti preparatori lasciavano aperta. La classe C5 rinvia anch'essa alla parte quarta ma ne esclude soltanto i punti secondo e decimo, cosicché l'obbligo di alimentazione elettrica resta in piedi, e in aggiunta impone che il mezzo sia un aeromobile diverso da un ala fissa a meno che non sia vincolato a terra da un cavo [3]. Ogni ala fissa non vincolata è dunque esclusa dalla C5, e con essa è esclusa dal primo scenario standard europeo, che quella classe richiede. Il progetto non deve considerare quello scenario fra le proprie opzioni, e ogni riferimento in tal senso va tolto dal materiale interno.

Da qui discende una conseguenza di struttura che riguarda l'intero impianto industriale del progetto e che il capitolo delle conclusioni riprende. I due velivoli previsti dalla famiglia, quello a sole batterie e quello ibrido, non sono due tappe della stessa scala ma due oggetti con funzioni regolatorie diverse. Il velivolo elettrico è l'unico dei due che possa portare una marcatura C3 piena e quindi finire nelle mani di una cooperativa, di un ente locale o di un gruppo di protezione civile che lo faccia volare in categoria aperta senza alcuna pratica, ed è quindi il prodotto vendibile. Il velivolo ibrido è quello che regge la persistenza e giustifica un'organizzazione di servizio con autorizzazioni proprie, ed è quindi l'asset operativo. Si vende l'elettrico e si opera l'ibrido, e le due linee di ricavo convivono sulla stessa cellula invece di succedersi nel tempo.

La scelta della C6 per il velivolo ibrido porta con sé requisiti tecnici che vanno messi nella specifica adesso e non scoperti in istruttoria. Il regolamento chiede una velocità massima al suolo in volo livellato non superiore ai 50 metri al secondo, una funzione di contenimento geografico che impedisca lo sforamento dei limiti orizzontali e verticali di un volume operativo programmabile, e soprattutto un sistema di terminazione del volo affidabile e prevedibile, indipendente sia dal pilota automatico sia dal contenimento geografico, che forzi la discesa del mezzo e ne impedisca lo spostamento orizzontale motorizzato [2]. Per un'ala fissa quest'ultima prescrizione non si soddisfa spegnendo il motore, perché un'ala continua a planare e a percorrere distanza, e implica quindi un paracadute, che è per fortuna la stessa dotazione che la valutazione del rischio premia sul versante del rischio a terra. Il regolamento chiede infine di dichiarare la distanza percorsa dopo l'attivazione del sistema di terminazione, dato che l'operatore userà poi per dimensionare la fascia di sicurezza a terra.

Il limite dei 3 metri merita a questo punto una precisazione, perché lo studio lo attribuiva in precedenza alla sola valutazione del rischio mentre in realtà lo si incontra tre volte. Sta nel primo punto della classe, e quindi decide se il velivolo elettrico sarà vendibile; sta nella colonna della tabella con cui si calcola il rischio intrinseco a terra, come la sezione seguente mostra; e sta nel tetto dimensionale di quasi tutte le procedure semplificate. C'è per di più un'asimmetria che va sfruttata in sede di dimensionamento, perché la classe è scritta come dimensione inferiore a 3 metri mentre la soglia che porta verso la categoria certificata è scritta

come dimensione pari o superiore a 3 metri, cosicché 3 metri esatti sono già fuori dalla classe. Il bersaglio di progetto va fissato attorno ai 2,8 metri con un margine di tolleranza costruttiva, e va misurato sulla dimensione massima della cellula e non sulla sola apertura alare, il che per una configurazione ad ala scatolata significa il maggiore fra apertura e lunghezza. Va aggiunto, contro una semplificazione diffusa, che superare i 3 metri non spinge affatto in categoria certificata, perché quella soglia scatta solo se la dimensione è pari o superiore ai 3 metri e insieme il velivolo è progettato per operare sopra assembramenti di persone [4], condizione che il concetto operativo di questo progetto esclude in ogni caso.

Restano da esaminare le procedure semplificate, e il loro esame produce un esito controintuitivo. Il secondo scenario standard europeo, quello del volo oltre la vista in area a terra controllata e ambiente scarsamente popolato, è tecnicamente aperto al progetto perché ammette la classe C6 e quindi l'ala fissa ibrida, ma è inutile a valorizzare la persistenza. Il regolamento lo limita a un chilometro dal pilota se non si impiegano osservatori dello spazio aereo, e a 2 chilometri se se ne impiegano, con il velivolo che non deve comunque allontanarsi oltre un chilometro dall'osservatore più vicino [5]. Un mezzo progettato per venti ore di volo dentro un raggio di 2 chilometri è un non senso economico, perché si paga il costo della catena ibrida e non se ne usa la ragione. Vi si aggiunge un ostacolo pratico non minore, cioè che lo scenario esige un'area a terra controllata, definita come l'area entro la quale l'operatore può garantire la presenza dei soli soggetti coinvolti, condizione che su una valle appenninica attraversata da strade, sentieri e case sparse non è ottenibile.

La strada vera sono le valutazioni di rischio predefinite, e lo sono per un motivo che conviene mettere in evidenza perché ribalta il ragionamento seguito finora, cioè che non richiedono la marcatura di classe [6]. Sono dunque aperte al velivolo ibrido senza passare dalla C6, e sono l'unica famiglia in cui la scelta della propulsione non paga dazio. Fra quelle disponibili, due sole valorizzano davvero un velivolo a lunga persistenza. La prima è quella del volo oltre la vista in spazio aereo riservato o pericoloso, che non pone un tetto di quota ed è la procedura con cui in Italia si è già volato dentro una zona segregata. La seconda è la corrispondente procedura nazionale del volo oltre la vista su area non popolata con avviso ai naviganti. Tutte le altre limitano la distanza dal pilota o la quota a valori entro i quali venti ore di autonomia non producono un solo euro di ricavo aggiuntivo, e una di esse, quella del volo a bassissima quota vicino agli ostacoli, è precisamente quella con cui un comando di polizia locale ha ottenuto nel 2025 il primo permesso italiano del suo genere [7], utile come precedente ma non come modello di servizio.

Ne discende una riformulazione del modo in cui il progetto intende monetizzare l'autonomia, ed è forse la conseguenza più importante di questa sezione. La persistenza non si vende volando lontano, perché ogni procedura semplificata che consenta la distanza la limita a pochi chilometri, ma si vende restando sopra lo stesso punto per un turno intero, dentro un volume segregato o coperto da un avviso ai naviganti. È una differenza sostanziale rispetto all'idea di capillarità che il materiale preparatorio associava al volo oltre la vista, ed è per giunta una buona notizia, perché il volo in attesa prolungata su un'area circoscritta è compatibile con un livello di severità basso mentre il raggio esteso non lo è. Il capitolo economico e il concetto operativo vanno letti con questa chiave, e le missioni di presidio continuo di un versante o di un'area a rischio, che sono le più remunerative fra quelle individuate, sono anche le più facili da autorizzare.

Va detto per onestà, e la sezione conclusiva del capitolo lo riprende fra le verifiche aperte, che le affermazioni di questa sezione hanno due gradi di solidità diversi. Quanto riguarda le classi, la categoria aperta e gli scenari standard è verificato sul testo consolidato dei regolamenti europei e si può usare senza riserve. Quanto riguarda i limiti puntuali delle valutazioni

di rischio predefinite, i loro tetti di massa, di quota e di energia, poggia su fonti secondarie e sulla documentazione divulgativa delle autorità, ed è sufficiente a orientare una decisione di indirizzo ma non a redigere il fascicolo autorizzativo, per il quale i documenti originali vanno letti uno per uno.

Note e riferimenti

Le fonti sono i testi consolidati dei regolamenti europei, letti direttamente, e la documentazione dell'autorità nazionale. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Regolamento delegato europeo sui requisiti di progetto e sulla marcatura di classe, testo consolidato. Articolo secondo sull'ambito di applicazione, che esclude gli aeromobili autocostruiti, e Allegato Parte 4, punto primo, che impone alla classe C3 una massa al decollo inferiore ai 25 chilogrammi e una dimensione caratteristica inferiore ai 3 metri, e punto settimo, che impone l'alimentazione esclusivamente elettrica, `leg_9d0a84bb6fac`
2. Regolamento delegato europeo, Allegato Parte 17, che definisce la classe C6 per rinvio alla Parte 4 con esclusione dei punti secondo, settimo e decimo, e ne fissa i requisiti aggiuntivi di velocità, contenimento geografico e terminazione del volo, `leg_9d0a84bb6fac`
3. Regolamento delegato europeo, Allegato Parte 16, che definisce la classe C5 per rinvio alla Parte 4 con esclusione dei soli punti secondo e decimo e ne esclude gli aeromobili ad ala fissa non vincolati, `leg_9d0a84bb6fac`
4. Regolamento delegato europeo, articolo 40, che impone la certificazione di progetto solo per i mezzi di dimensione pari o superiore ai 3 metri progettati per operare sopra assembramenti di persone, `leg_9d0a84bb6fac`
5. Regolamento di esecuzione europeo sulle operazioni con aeromobili senza equipaggio, testo consolidato, disposizioni del secondo scenario standard sulle distanze massime dal pilota e dagli osservatori dello spazio aereo, `leg_bf71102f1697`
6. Autorità nazionale, indicazioni su come operare in categoria specifica attraverso scenari standard, valutazioni di rischio predefinite e analisi del rischio completa, `leg_d9e0d5c69bca` e `leg_a3f4fa532cb2`
7. Primo permesso italiano per il volo oltre la vista ottenuto con la valutazione di rischio predefinita del volo a bassissima quota, rilasciato a un comando di polizia locale nel 2025, `leg_201bf75c60f1`

7.3 Il metodo di analisi del rischio, la SORA

Il cuore della categoria specifica è il metodo con cui si dimostra all'autorità che l'operazione è sicura, un metodo europeo che ha un nome tecnico, l'analisi del rischio delle operazioni specifiche, e che funziona come un esame a tappe al termine del quale l'operazione riceve un punteggio di severità e una lista di obiettivi di sicurezza da soddisfare. Conviene descriverlo con una certa cura, perché è qui che si decide la fattibilità autorizzativa concreta, e perché è il punto in cui la maggior parte delle valutazioni superficiali sbaglia, immaginando che basti un buon velivolo mentre serve dimostrare la sicurezza dell'intero sistema operativo. Il metodo è il mezzo di conformità accettato dall'articolo del regolamento europeo che disciplina la categoria specifica, e la sua versione corrente, pubblicata a metà del 2024, ha introdotto un approccio quantitativo alla valutazione del rischio a terra e una struttura a due fasi che prima deriva i requisiti e poi ne verifica la conformità [1][2].

Il metodo si articola in una sequenza di passi che conviene percorrere nell'ordine. Si parte dalla descrizione dell'operazione, cioè da che cosa fa il velivolo, dove, a quale quota, su quale zona e con quale volume di spazio aereo, perché è da questa descrizione che discende tutto il resto e perché la stessa macchina genera livelli di rischio diversi a seconda di dove e come vola. Si valuta poi il rischio per le persone a terra, che il metodo chiama rischio di terra e misura attraverso una classe intrinseca calcolata in funzione della dimensione del velivolo, in particolare della sua apertura, e della densità di popolazione sotto la rotta [1][3]. La versione corrente del metodo lega ciascuna classe di rischio a terra a un valore di densità di popolazione e a un'area critica, e calcola la classe intrinseca su una griglia di cinque colonne dimensionali, che vanno da 1 metro a 3, 8, 20 e 40 metri di dimensione caratteristica, incrociate con lo scenario operativo e con la densità di popolazione sorvolata [3]. Un velivolo compatto sotto i 3 metri di apertura ricade nella seconda colonna, la più favorevole tra quelle compatibili con una piattaforma di lunga persistenza, e questo colloca il progetto in una fascia di rischio a terra maneggevole, tanto più bassa quanto più rada è la popolazione sorvolata, il che spiega di nuovo perché le aree interne, con la loro bassissima densità, siano il terreno naturale del velivolo anche sul piano autorizzativo.

Favorevole non significa però basso, e qui va corretta un'aspettativa che il materiale preparatorio del progetto lasciava crescere. Anche stando nella colonna dei 3 metri e anche con una densità di popolazione ampiamente sotto le 500 persone per chilometro quadrato, che è la soglia con cui il metodo qualifica un ambiente come scarsamente popolato, la classe intrinseca di rischio a terra si colloca attorno al quinto gradino dei dieci previsti, e non al primo o al secondo [3]. Combinata con una classe di rischio in aria ordinaria, quella cifra porta il livello di severità dell'operazione al quarto gradino e non al secondo, cioè in una fascia in cui gli obiettivi di progetto vanno dimostrati con un rapporto di verifica rilasciato dall'agenzia europea anziché con una dichiarazione dell'operatore. Il metodo consente di scendere, ma bisogna guadagnarsi la discesa con circa due punti di riduzione, che si ottengono combinando le restrizioni operative e l'osservazione dell'area con il sistema di arresto del volo. Il piano autorizzativo del progetto va quindi scritto sull'ipotesi di un livello di severità secondo o terzo raggiunto attraverso mitigazioni dichiarate e documentate, non sull'ipotesi di un livello basso concesso dalla sola geografia. La differenza fra le due letture non è accademica, perché si traduce in mesi di istruttoria e in decine di migliaia di euro di consulenza e di dotazioni, e sposta il costo autorizzativo che il capitolo economico mette a bilancio. Va aggiunto che i valori puntuali della tabella e della matrice che li combina provengono, in questo studio, dalla documentazione metodologica e da fonti divulgative e non da una simulazione condotta con lo strumento ufficiale dell'agenzia, e vanno perciò ricalcolati con quello strumento e con il dato di densità europeo prima di redigere il fascicolo, come le verifiche aperte del capitolo registrano.

Sul rischio a terra il metodo consente riduzioni attraverso mitigazioni codificate, ed è importante capirle perché sono le leve concrete su cui l'operatore agisce. La prima famiglia di mitigazioni riduce il numero di persone realmente esposte, per esempio scegliendo di volare su zone poco abitate, in orari e condizioni che riducono la presenza di persone, oppure osservando l'area, e la versione corrente del metodo richiede una riduzione di un ordine di grandezza della popolazione a rischio per concedere un punto di credito [4]. La seconda famiglia riduce l'energia e le conseguenze di un eventuale impatto, tipicamente con un sistema che arresti il volo in sicurezza come un paracadute, e può concedere fino a tre punti di riduzione se dimostra una riduzione molto elevata del rischio per le persone non coinvolte, con un livello di robustezza alto [4]. Sono proprio le dotazioni che il capitolo tecnico ha previsto sul

velivolo, il che mostra come la progettazione della macchina e la strategia autorizzativa siano state pensate insieme e non in sequenza.

Si valuta quindi il rischio di collisione in aria, che il metodo chiama rischio d'aria e misura attraverso una classe che dipende dalla quota, dal tipo di spazio aereo e dalla probabilità di incontrare altri velivoli [5]. Il volo oltre la vista innalza questo rischio, perché il pilota non può più schivare gli ostacoli a occhio, e il metodo consente di abbassarlo con mitigazioni strategiche, cioè scegliendo spazi aerei tranquilli o riservati e adottando restrizioni operative e strutture comuni, oppure con mitigazioni tattiche, cioè dotando il velivolo della capacità di percepire ed evitare gli altri mezzi [5]. Come si vedrà, la capacità di percepire ed evitare non è ancora matura ed economica a questa scala, e la soluzione pratica che quasi tutti adottano è la segregazione dello spazio, cioè volare dove non c'è altro traffico, il che riconduce il rischio d'aria a un livello basso per costruzione.

È utile capovolgere a questo punto un'idea che percorre il materiale preparatorio, secondo cui le aree interne sarebbero facili da autorizzare perché ci vive poca gente. Dal lato del rischio a terra l'affermazione è vera e il vantaggio è reale. Dal lato del rischio in aria le stesse aree sono fra le più impegnative d'Italia, perché sotto i 150 metri l'Appennino ligure è percorso da traffico elicotteristico che vola basso e per definizione non annuncia sé stesso, cioè l'elisoccorso, i mezzi antincendio, il servizio forestale e il lavoro aereo. È traffico non cooperativo, che non compare sui ricevitori di posizione automatica e che un sensore leggero di bordo non intercetta in tempo utile. Il collo di bottiglia autorizzativo del progetto non è quindi la densità di popolazione ma la convivenza con questi mezzi, e le due sole mitigazioni che nella prassi italiana hanno funzionato sono la segregazione dello spazio aereo e l'avviso ai naviganti. Sono anche, non per caso, le due condizioni sotto cui il volo in attesa prolungata su un'area circoscritta rende al meglio, il che salda la strategia autorizzativa a quella commerciale invece di opporle.

Dalla combinazione del rischio a terra e del rischio in aria esce il livello di severità dell'operazione, che il metodo esprime su una scala di sei gradini crescenti, e a ciascun gradino corrisponde una lista di obiettivi di sicurezza da dimostrare, che si allunga e si irrigidisce man mano che il livello sale [1][6]. È una gerarchia che ha conseguenze pesanti sui costi e sui tempi, perché ai gradini più bassi basta la marcatura di conformità o una dichiarazione, ai gradini intermedi può servire un rapporto di verifica del progetto rilasciato dall'agenzia europea, e ai gradini più alti diventa obbligatorio un certificato di tipo del velivolo con un rigore quasi da aeromobile tradizionale [6]. La maestria dell'operatore consiste perciò nel progettare missioni e scegliere aree che tengano il livello di severità basso, perché più persone sotto la rotta, più traffico in aria e un mezzo più grande significano un livello più alto, più obiettivi da dimostrare, più tempo e più costi. Un tipico volo oltre la vista di un velivolo di 25 chilogrammi su zona poco abitata si colloca, prima delle mitigazioni, sul quarto gradino, e scende al secondo o al terzo quando le mitigazioni sono dichiarate e dimostrate. È quest'ultima fascia il bersaglio del progetto, ed è raggiungibile con dotazioni proporzionate e senza il salto al regime della certificazione piena, ma va conquistata con il fascicolo e non data per acquisita.

La versione corrente del metodo ha aggiunto un elemento che vale la pena segnalare, la definizione di servizi di sicurezza affidati a fornitori esterni, uno per il rischio a terra, uno per il rischio in aria e uno per la conformità, che suddividono le responsabilità fra l'operatore e i fornitori di servizi e che si intrecciano con lo spazio aereo dei droni di cui una sezione dedicata dirà [7]. Ne discende che l'analisi del rischio non è più soltanto un documento che l'operatore redige una volta, ma un sistema di responsabilità distribuite fra chi opera il velivolo, chi fornisce i servizi dello spazio aereo e chi verifica la conformità, e che la sua compilazione, articolata in molti passi e allegati tecnici, è un lavoro specialistico che richiede

competenza dedicata o consulenza esterna. È una delle voci di costo reali della certificazione, spesso dimenticata da chi guarda solo alla tariffa dell'autorità, e una di quelle che il capitolo economico mette a bilancio.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi e metodologici europei e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Panoramica ufficiale del metodo di analisi del rischio delle operazioni specifiche e collocazione nel regolamento europeo, `leg_660fba61b4d2`
2. Documento principale e nota esplicativa della versione corrente del metodo, approccio quantitativo e struttura a due fasi, `leg_7e1f7d04b8e9` e `leg_ec2b4f7b0dbd`
3. Base teorica del rischio a terra, classe intrinseca per apertura alare e densità di popolazione, `leg_f8ef9a27ddb9` e `tec_3feaa4bcfc91`
4. Allegato sulle mitigazioni del rischio a terra e crediti di riduzione, versione corrente e sintesi delle variazioni, `leg_121ddbe8ea26` e `leg_2c4561c802aa`
5. Allegato sulla mitigazione strategica del rischio in aria e classi di rischio d'aria, `leg_69615ccdcd35`
6. Livelli di severità dell'operazione e requisiti di progetto crescenti, rapporto di verifica e certificato di tipo, `tec_c29f1223c676`
7. Allegato sui servizi di sicurezza per il rischio a terra, il rischio in aria e la conformità, `leg_afe28e4df810`

7.4 Gli obiettivi di sicurezza e le dotazioni del velivolo

Una volta stabilito il livello di severità dell'operazione, il metodo di analisi consegna all'operatore una lista di obiettivi di sicurezza da dimostrare, e conviene capire che cosa siano perché è qui che la carta diventa ferro, cioè che le richieste normative si traducono in dotazioni fisiche da montare sul velivolo e in procedure da scrivere e rispettare. Gli obiettivi coprono l'intero sistema, dalla qualità della progettazione e della costruzione del velivolo all'affidabilità del collegamento di comando, dalla competenza del pilota alla robustezza delle procedure di emergenza, dalla protezione contro le manomissioni alla capacità di contenere il volo dentro il volume autorizzato, e il loro numero e la loro robustezza crescono con il livello di severità [1]. Il principio operativo che ne discende è che le dotazioni vanno previste fin dalla costruzione del velivolo, perché aggiungerle dopo costa molto di più e talvolta è impossibile senza rifare la macchina, ed è per questo che il capitolo tecnico ha descritto queste dotazioni come parte integrante dell'architettura e non come accessori.

Le dotazioni principali che gli obiettivi impongono sono già state introdotte nei capitoli tecnici, e qui vanno rilette in chiave autorizzativa. Il sistema che arresta il volo in sicurezza, tipicamente un paracadute a comando automatico, è ciò che concede i crediti di riduzione del rischio a terra e va dimensionato e provato per garantire la robustezza che il metodo richiede. Il doppio collegamento di comando ridondato, con un canale primario terrestre e una riserva satellitare, è ciò che soddisfa gli obiettivi sull'affidabilità e la continuità del comando, cruciali nel volo oltre la vista. La capacità di percepire ed evitare gli altri velivoli, oppure in sua assenza la scelta di volare in uno spazio riservato, è ciò che risponde agli obiettivi sul rischio in aria. La delimitazione geografica del volo, cioè la definizione di confini virtuali oltre i quali il velivolo non deve andare, è lo strumento chiave del contenimento e va dimostrata affidabile.

L'identificazione a distanza, che trasmette in tempo reale l'identità e la posizione del mezzo, è obbligatoria per la categoria specifica e per le classi rilevanti della categoria aperta dal primo gennaio del 2024 [2]. A queste si aggiungono un pilota con formazione avanzata, un manuale operativo che descriva le procedure normali e di emergenza, e un piano di volo depositato per ogni operazione, che completano il quadro delle dimostrazioni richieste [1][3].

Un aspetto tecnico che conviene chiarire riguarda il modo in cui si dimostra la qualità del progetto ai livelli di severità intermedi, perché è la soglia su cui il progetto si colloca. Ai gradini intermedi della scala di severità l'agenzia europea prevede un percorso di verifica del progetto, con cui un organismo qualificato controlla che il velivolo soddisfi una base di aeronavigabilità proporzionata, definita da una condizione speciale pensata proprio per i droni a rischio medio, che copre mezzi fino a una massa molto superiore a quella del progetto e stabilisce i requisiti di robustezza del sistema, della propulsione e delle mitigazioni [4][5]. Questo percorso è meno oneroso del certificato di tipo pieno richiesto ai gradini più alti, ma è comunque un lavoro di ingegneria e di documentazione significativo, e la sua entità dipende dal livello di severità che l'operazione raggiunge, il che chiude il cerchio con la strategia di tenere basso quel livello scegliendo bene missioni e aree. Restare sul gradino intermedio anziché salire a quello superiore può fare la differenza fra una verifica di progetto gestibile e un certificato di tipo che moltiplica costi e tempi.

I mezzi con cui si dimostra la conformità a molti di questi obiettivi si appoggiano a norme tecniche riconosciute, in parte europee e in parte di derivazione internazionale, che progetti di ricerca europei hanno mappato e valutato proprio per fornire agli operatori un catalogo di riferimenti accettabili [6]. Per l'operatore concreto questo significa che non deve inventare da zero come provare l'affidabilità di un sottosistema, ma può appoggiarsi a norme esistenti che l'autorità accetta, il che riduce l'incertezza ma richiede comunque di conoscere quel corpo di norme e di applicarlo con competenza. È una delle ragioni per cui la consulenza specializzata, che il capitolo economico mette a bilancio, non è un lusso ma una necessità, perché la conoscenza fine di quali norme soddisfino quali obiettivi a quale livello di robustezza è un mestiere in sé, e commetterla a chi la esercita di professione è quasi sempre più rapido ed economico che costruirla internamente per un solo progetto.

Ne discende una raccomandazione operativa che attraversa tutto il capitolo, cioè che la lista degli obiettivi di sicurezza vada trattata fin dalle prime fasi di progetto come una specifica di requisiti al pari di quelli tecnici, tracciando per ciascun obiettivo la dotazione o la procedura che lo soddisfa e il mezzo con cui lo si dimostra. Questa tracciabilità, che il metodo dei sistemi descritto nel capitolo tecnico rende naturale, è ciò che trasforma la certificazione da ostacolo imprevedibile in percorso gestibile, perché permette di sapere in ogni momento a che punto è la dimostrazione, che cosa manca e quanto costa completarla. È l'opposto dell'approccio che costruisce prima il velivolo e affronta poi la certificazione come un problema separato, approccio che è la causa più frequente dei ritardi e dei costi imprevisti che affliggono i progetti di drone, e che il progetto intende evitare proprio integrando la dimensione autorizzativa dentro la progettazione fin dal primo giorno.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi e metodologici europei e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Allegato sugli obiettivi di sicurezza operativa e loro robustezza per livello di severità, `leg_cbd885cbfe04`

2. Obbligo di identificazione a distanza per la categoria specifica e per le classi rilevanti dal primo gennaio duemilaventiquattro, `leg_a8f479c44243`
3. Guida alle tecnologie e ai costi per superare gli obiettivi di sicurezza del volo oltre la vista, `proj_guida-tecnologie-e-costi-per-la-certificazione-bvlos-su`
4. Condizione speciale dell'agenzia europea per i droni a rischio medio e base di aeronavigabilità, `leg_3cd78c164cd2`
5. Processo di verifica del progetto ai livelli intermedi e certificato di tipo ai livelli alti, `tec_c29f1223c676`
6. Progetti europei di ricerca sulla mappatura delle norme tecniche come mezzi di conformità, `leg_c2a093ca95bf` e `tec_3f3cc04621d3`

7.5 Il quadro nazionale, l'autorità italiana e il portale dei voli

Il quadro europeo descritto finora vive in Italia attraverso il recepimento dell'autorità nazionale dell'aviazione civile, che ne integra le disposizioni con un regolamento nazionale e con le procedure operative concrete su cui l'operatore lavora ogni giorno. Il regolamento nazionale dei mezzi a pilotaggio remoto, nella sua prima edizione del 2021 e in una bozza di aggiornamento posta in consultazione a fine duemilaventiquattro, allinea la disciplina italiana ai regolamenti europei e detta le regole di dettaglio, dalla registrazione alle zone geografiche alle procedure di autorizzazione [1][2]. Conoscere questo livello nazionale è indispensabile, perché è a questa autorità che si presentano le domande, è su questo portale che si depositano i piani di volo, ed è dentro queste zone geografiche che si vola, e sono proprio i passaggi nazionali, più che i principi europei, a determinare i tempi e la fattibilità pratica di un'operazione.

Il primo adempimento è la registrazione dell'operatore sul portale nazionale dei droni, con l'apposizione di un codice identificativo sul velivolo, adempimento leggero e ormai di massa, dato che gli operatori registrati in Italia sono circa centocinquantamila [3]. Il portale nazionale non è però soltanto un registro, ma l'infrastruttura digitale attraverso cui passa l'intera vita operativa del volo dei droni, perché vi si consultano le zone geografiche, vi si deposita il piano di volo per le operazioni oltre la vista, e vi transiteranno i servizi del nuovo spazio aereo dei droni. Le zone geografiche, cioè le porzioni di territorio in cui il volo è vietato, ristretto o soggetto ad autorizzazione, sono pubblicate dall'autorità in un formato digitale standard e costantemente aggiornate, e comprendono le fasce attorno agli aeroporti, definite da una circolare che stabilisce una zona rossa di divieto totale entro 6 chilometri dal riferimento aeroportuale, una zona arancione con limitazioni fra 6 e 10 chilometri e una zona gialla con limitazioni fra 10 e 15 chilometri, oltre alle aree protette e ad altri vincoli [4][5]. Per l'operatore questo significa che la pianificazione di ogni missione comincia dalla consultazione della mappa delle zone, perché volare in una zona vietata senza autorizzazione è un illecito e perché molte aree dell'entroterra, come si vedrà, ricadono in vincoli ambientali che vanno gestiti prima del volo.

L'autorizzazione operativa in categoria specifica, quella che serve per il volo oltre la vista fuori dagli scenari standard, si richiede all'autorità nazionale con una domanda corredata dal manuale operativo e dall'analisi del rischio, e comporta il pagamento di una tariffa dell'ordine di alcune centinaia di euro, mentre per le operazioni oltre la vista si aggiunge la pianificazione sul portale nazionale [6]. È importante sfatare subito un equivoco che una lettura affrettata dei costi induce, cioè che questa tariffa rappresenti il costo della certificazione. Non è così, perché la tariffa ufficiale è quasi una marca da bollo, mentre il costo vero sta altrove, nelle dotazioni

di sicurezza da montare, nella consulenza specializzata, nella documentazione tecnica e nelle prove di volo, come la sezione sui costi chiarirà. Confondere la tariffa con il costo reale è l'errore da cui mette in guardia la fonte stessa, ed è la voce che una valutazione superficiale sottostima di più.

Un elemento del quadro nazionale che conviene mettere in luce, perché è il traguardo più ambizioso e prezioso per un operatore, è il certificato di operatore leggero, uno strumento con cui l'autorità riconosce all'operatore un sistema di gestione della sicurezza strutturato e gli concede il privilegio di autorizzare da sé le proprie operazioni entro un perimetro definito, senza dover chiedere un'autorizzazione separata per ogni missione [7]. È la posizione più forte a cui un operatore del volo oltre la vista possa aspirare, perché trasforma l'autorizzazione da un permesso concesso volta per volta in una capacità interna, riducendo drasticamente i tempi e i costi ricorrenti e diventando essa stessa un fossato competitivo. Non è un punto di partenza ma un traguardo, che si raggiunge dopo aver costruito una storia operativa e un sistema di gestione credibili, ed è coerente con la strategia del progetto di cominciare in piccolo e salire per gradi, perché la storia operativa maturata volando a vista e poi oltre la vista in spazi riservati è esattamente ciò che costruisce le credenziali per ottenerlo. Uno dei precedenti italiani più istruttivi, come si vedrà, è proprio quello di un operatore che ha conquistato questa posizione di auto-autorizzazione, e il progetto la assume come obiettivo di medio termine del proprio percorso autorizzativo.

Resta da segnalare che il quadro nazionale è in evoluzione, con la bozza di aggiornamento del regolamento nazionale e una bozza dedicata alle zone geografiche entrambe in consultazione, il che comporta per l'operatore l'onere di seguire l'iter e di adeguarsi, ma anche l'opportunità di partecipare alle consultazioni facendo valere le esigenze di un operatore delle aree interne [2][8]. Questa dinamicità non è un difetto contingente ma una caratteristica strutturale di un settore giovane, in cui le regole si stanno assestando proprio mentre gli operatori le usano, e la lezione per il progetto è che il presidio del quadro normativo non è un'attività una tantum da svolgere all'avvio ma una funzione permanente dell'impresa, da affidare a una competenza interna o a una consulenza stabile, perché le regole cambiano e chi le segue da vicino coglie prima le opportunità e evita prima gli ostacoli.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi nazionali e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Regolamento nazionale dei mezzi a pilotaggio remoto, prima edizione, e disposizioni nazionali di attuazione, `leg_f7707435b2d5` e `leg_08a173025f1c`
2. Bozza di aggiornamento del regolamento nazionale posta in consultazione a fine duemilaventiquattro, `leg_67111584eb98`
3. Dati degli operatori registrati in Italia e ruolo del portale nazionale, `leg_d18129eca1ee`
4. Circolare sulle zone geografiche aeroportuali e relative fasce di divieto e limitazione, `leg_74a7acf35dfe`
5. Pubblicazione delle zone geografiche in formato digitale standard sul portale nazionale, `leg_71335a7818cd` e `leg_9947af3035a1`
6. Autorizzazione operativa in categoria specifica, documentazione e tariffa, `leg_8827d7345918`
7. Certificato di operatore leggero e privilegio di auto-autorizzazione, `leg_f61fd922a5e1`
8. Bozza di regolamento sulle zone geografiche in consultazione pubblica, `leg_015a94aae9bb`

7.6 Lo spazio aereo dei droni, lo U-space

Uno dei fatti più importanti da comprendere, e insieme uno dei più fraintesi, è che l'Europa sta costruendo proprio in questi anni uno spazio aereo dedicato ai droni, un sistema di regole e di servizi digitali che permetterà a molti mezzi senza pilota di volare in sicurezza nello stesso cielo coordinandosi fra loro e con l'aviazione tradizionale. Questo spazio ha un nome, lo U-space, ed è disciplinato da tre regolamenti europei applicabili dall'inizio del duemilaventitré, uno che ne definisce il quadro e i servizi, uno che detta i requisiti per i fornitori dei servizi di gestione del traffico e uno che impone agli aeromobili con pilota a bordo che entrano in questi volumi di rendersi elettronicamente riconoscibili [1][2]. Il quadro prevede quattro servizi obbligatori, l'identificazione di rete che dice chi è ciascun mezzo, la geo-consapevolezza che informa sui vincoli dello spazio, l'autorizzazione al volo che concede o nega il permesso di operare in un volume e in un tempo, e l'informazione sul traffico che avverte della presenza di altri mezzi, ai quali gli Stati possono aggiungere servizi opzionali come le informazioni meteorologiche [1].

Per il progetto questo quadro ha implicazioni pratiche di primo piano, perché è nello spazio aereo dei droni che il volo oltre la vista di routine potrà svolgersi in sicurezza senza la segregazione fisica dello spazio, ed è quindi il presupposto di lungo termine per operazioni su scala. Va però detto con franchezza a che punto sia la sua attuazione, per non costruire il piano su un'infrastruttura che ancora non c'è. Alla metà del 2024 in Italia non era stata attivata alcuna porzione operativa di spazio aereo dei droni, il che significa che il servizio non è ancora disponibile per le operazioni correnti [3]. Al tempo stesso, i segnali di un'attivazione vicina sono concreti, perché il gestore nazionale del traffico dei droni è stato il primo in Europa a ottenere dall'autorità la doppia certificazione come fornitore dei servizi dello spazio aereo dei droni e come fornitore dei servizi comuni di informazione, fra la fine del 2024 e l'inizio del 2025, e perché progetti europei di sperimentazione hanno già validato i servizi in numerosi siti italiani con centinaia di voli, molti dei quali oltre la vista, raggiungendo un livello di maturità elevato [3][4].

La lezione operativa che ne discende per il progetto è di natura temporale, e conviene renderla esplicita. Nel breve termine, cioè nella fase in cui il servizio a vista genera i primi ricavi e il volo oltre la vista comincia in spazi riservati, lo spazio aereo dei droni non è ancora disponibile e non va dato per scontato nella pianificazione, e la sicurezza in aria si ottiene con la segregazione fisica dello spazio, come i precedenti italiani insegnano. Nel medio termine, man mano che le porzioni operative si attivano sul territorio, il progetto dovrà integrare i propri sistemi con i servizi obbligatori dello spazio aereo dei droni, l'identificazione di rete, la geo-consapevolezza, l'autorizzazione al volo e l'informazione sul traffico, che diventeranno il canale attraverso cui si ottiene il permesso di operare in un volume, e questa integrazione va prevista fin d'ora nell'architettura di bordo e di terra per non doverla aggiungere in seguito. È lo stesso principio di anticipazione che governa le altre scelte del progetto, prevedere per tempo ciò che sarà obbligatorio anziché rincorrerlo.

Esiste inoltre in Italia un'infrastruttura di sperimentazione già operativa che il progetto può considerare per le proprie prove, un banco di prova aeroportuale con un investimento pubblico dell'ordine di 11 milioni di euro, un'area di controllo di alcuni chilometri quadrati e uno spazio aereo di prova di centinaia di chilometri quadrati, dove i servizi dello spazio aereo dei droni e le operazioni oltre la vista sono state validate [5]. La disponibilità di ambienti di prova di questa natura è preziosa, perché consente di maturare l'esperienza operativa e le evidenze di affidabilità in un contesto controllato e riconosciuto dall'autorità, prima di portarle sul territorio ligure, e perché il ricorso a un ambiente di prova certificato è uno dei

modi con cui i precedenti italiani hanno abbreviato il percorso verso il volo oltre la vista. Il progetto valuterà se appoggiarsi a un'infrastruttura esistente per le prime prove oltre la vista, oppure se istruire con l'autorità la creazione di un corridoio riservato sul territorio ligure, e questa è una delle verifiche operative che il capitolo consegna alle fasi successive.

Va infine collocata in questo quadro la questione delle frequenze e dell'identificazione a distanza, che si intreccia con lo spazio aereo dei droni ma merita una trattazione propria per la sua rilevanza pratica, e che la sezione seguente affronta. Qui basti riconoscere che lo spazio aereo dei droni è la cornice di lungo periodo entro cui tutte le operazioni oltre la vista del progetto troveranno la loro collocazione ordinaria, che questa cornice è in costruzione e non ancora operativa, e che la strategia intelligente non è attenderne il completamento ma muoversi dentro il quadro attuale con la segregazione dello spazio, predisponendo però fin d'ora i sistemi all'integrazione futura. È un esempio limpido di come il progetto debba tenere insieme due orizzonti temporali, l'operatività immediata con gli strumenti di oggi e la predisposizione all'infrastruttura di domani, senza sacrificare l'una all'altra.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi europei, documenti di sperimentazione e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Regolamento europeo che istituisce lo spazio aereo dei droni e i suoi quattro servizi obbligatori, `leg_962993e383fb` e `leg_6b0bdf5b5e67`
2. Regolamenti europei sui fornitori dei servizi di gestione del traffico e sulla riconoscibilità elettronica degli aeromobili con pilota, `leg_0142caca3ed4` e `leg_091ea7c9e358`
3. Stato di attivazione dello spazio aereo dei droni in Italia e doppia certificazione del gestore nazionale, `leg_6a866c552f41` e `leg_1c7f53e10c15`
4. Progetti europei di sperimentazione dei servizi dello spazio aereo dei droni in Italia e livello di maturità raggiunto, `leg_7e024fef97ad` e `leg_f956fc930e3c`
5. Banco di prova aeroportuale per lo spazio aereo dei droni e le operazioni oltre la vista, investimento e dimensioni, `leg_379f7ce256b2`

7.7 Lo spettro delle frequenze e i collegamenti

Un aspetto che le valutazioni superficiali trascurano quasi sempre, salvo poi scoprirlo come ostacolo all'ultimo momento, è che il collegamento radio con cui si comanda il velivolo e si ricevono i suoi dati non viaggia in un etere libero ma su bande di frequenza regolate, con potenze autorizzate e sanzioni per chi le usa in modo improprio. Governare lo spettro è quindi un requisito autorizzativo a pieno titolo, e conviene descriverlo perché tocca due funzioni vitali del sistema, il comando del velivolo e la trasmissione del carico utile, e perché la scelta delle bande ha ricadute sulla portata, sulla resistenza alle interferenze e sulla legalità dell'operazione. La gestione dello spettro in Italia è condivisa fra il ministero competente e l'autorità delle comunicazioni, sulla base del piano nazionale di ripartizione delle frequenze, ed è dentro questo quadro che l'operatore deve collocare i propri collegamenti [1].

Per le operazioni ordinarie il progetto si appoggia alle bande di uso libero entro i limiti europei, in particolare le bande attorno ai due virgola quattro e ai cinque virgola 8 gigahertz, che sono utilizzabili senza una licenza individuale per l'apparato ma con precisi limiti di potenza, dell'ordine di un decimo di watt sulla prima banda e ancora meno sulla seconda

secondo le norme tecniche applicabili [2]. Questi limiti di potenza determinano la portata del collegamento a vista e a corto raggio, e sono adeguati alle prime fasi operative, ma diventano stringenti quando la missione richiede di raggiungere il velivolo a distanze maggiori o attraverso ostacoli, ed è qui che entra in gioco il percorso per gradi già descritto nel capitolo sulle comunicazioni. Quando servono potenze o bande superiori a quelle di uso libero, occorre un'autorizzazione individuale del ministero competente, che regola anche le autorizzazioni temporanee per usi sperimentali, valide per periodi inferiori all'anno e da richiedere con un anticipo di almeno 2 settimane, mentre l'uso di frequenze senza autorizzazione espone a sanzioni amministrative dell'ordine delle migliaia di euro e, nei casi di danneggiamento da interferenza, a conseguenze penali [3][4].

Una novità regolatoria favorevole al progetto è l'armonizzazione europea di una banda dedicata al comando e controllo dei droni, attorno ai cinque virgola 2 gigahertz, la cui entrata in vigore è collocata fra il duemilaventiquattro e il duemilaventisei e che è pensata proprio per migliorare l'affidabilità del collegamento nelle operazioni oltre la vista, riducendo il rischio di interferenza con altri servizi [5]. È una finestra regolatoria che il progetto dovrà seguire e sfruttare quando sarà pienamente disponibile, perché una banda dedicata al comando è più sicura di una banda condivisa con la moltitudine degli usi domestici, e perché la sua adozione anticipata è coerente con la postura di sicurezza e di affidabilità che il progetto assume. Va però osservato che la stessa decisione europea limita l'uso di questa banda a un impiego all'aperto circoscritto, il che potrebbe introdurre restrizioni operative da verificare per le missioni oltre la vista più estese, ed è un dettaglio che la consulenza specializzata dovrà chiarire prima di farvi affidamento.

Il collegamento satellitare, che il capitolo sulle comunicazioni ha indicato come riserva del comando oltre l'orizzonte, ha una collocazione regolatoria diversa e per certi versi più semplice, perché è coperto dalla licenza del fornitore del servizio e non richiede all'operatore una licenza propria sullo spettro [6]. Questo alleggerisce l'onere autorizzativo del canale satellitare, ma non ne cancella la questione più delicata, che non è di spettro ma di sovranità, perché appoggiarsi a una costellazione satellitare straniera per il comando o per i dati introduce una dipendenza da un soggetto estero che qualcun altro controlla, tema che il capitolo sui dati e la sovranità digitale affronta per esteso e che qui basta richiamare. La regola sullo spettro è soddisfatta dalla licenza del fornitore, ma la scelta del fornitore non è neutra rispetto agli obiettivi del progetto, e il fatto che una costellazione come Starlink risolva il problema tecnico del collegamento non significa che risolva anche il problema strategico del controllo, anzi lo aggrava, come si vedrà.

Ne discende una strategia dello spettro coerente con il resto del progetto, che adotta il livello minimo sufficiente e sale solo quando la missione lo impone, restando sempre dentro la legalità italiana ed europea. Nelle prime fasi si opera sulle bande di uso libero entro i limiti di potenza, il che copre il volo a vista e a corto raggio senza oneri di licenza. Quando le missioni oltre la vista richiedono maggiore portata o affidabilità, si attivano le autorizzazioni individuali e, quando disponibile, la banda dedicata al comando dei droni, mettendo a bilancio i tempi e i modi di queste autorizzazioni. E per il comando oltre l'orizzonte si privilegia, dove possibile, una soluzione che non consegni a un fornitore straniero il controllo del canale, coerentemente con la scelta di sovranità del progetto. È una gestione dello spettro che, come le altre scelte autorizzative, non insegue la massima potenza ma la massima adeguatezza alla missione e alla strategia, e che tiene insieme la legalità, l'affidabilità e la sovranità in un'unica postura.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi nazionali ed europei e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Piano nazionale di ripartizione delle frequenze e gestione condivisa dello spettro, `leg_21a3122189eb` e `leg_6ba760f5db24`
2. Bande di uso libero attorno ai due virgola quattro e ai cinque virgola 8 gigahertz e relativi limiti di potenza, `leg_0faf704baf9d` e `leg_6aa74bfb4e44`
3. Autorizzazioni individuali e temporanee del ministero competente per l'uso delle frequenze, `leg_8ecb7e0676e4`
4. Sanzioni amministrative e penali per l'uso non autorizzato delle frequenze, `leg_9041d05eb4a2`
5. Armonizzazione europea della banda dedicata al comando e controllo dei droni, `leg_96afd0d8d4f3` e `leg_04d6549ff58e`
6. Copertura del collegamento satellitare tramite licenza del fornitore del servizio, `proj_fase-b-telemetria-data-link-e-stazione-di-terra-gcs`

7.8 Il pilota, l'operatore e l'assicurazione

Dietro ogni volo c'è una persona abilitata e un'impresa registrata, e le regole che governano la loro qualificazione e la loro responsabilità sono parte integrante del quadro autorizzativo, spesso sottovalutata da chi guarda solo al velivolo ma decisiva per la sostenibilità operativa del servizio. Il pilota di un drone in Europa deve possedere un attestato commisurato al tipo di operazione, che per le operazioni più semplici della categoria aperta si ottiene con una formazione e un esame in linea, mentre per le operazioni oltre la vista e per gli scenari standard richiede una qualificazione più avanzata, con moduli teorici e pratici [1][2]. Gli attestati hanno validità quinquennale in tutta l'Unione e vanno rinnovati, il che impone al progetto di prevedere un piano di formazione e aggiornamento continuo del personale, perché la competenza dei piloti non è un costo una tantum ma una funzione permanente dell'impresa, tanto più che l'operatività su più mezzi e su missioni diverse richiede piloti versatili e sempre in regola.

Il costo diretto della qualificazione dei piloti è contenuto, dell'ordine di poche decine di euro per gli esami delle categorie più semplici, ma sarebbe un errore dedurne che la formazione sia una voce trascurabile, perché il costo vero sta nella formazione pratica avanzata necessaria al volo oltre la vista e nella costruzione di una squadra di piloti esperti, che è una risorsa scarsa e preziosa [2][3]. Per un operatore che voglia far sorvegliare più mezzi da un numero ridotto di persone, come la sostenibilità economica richiede, la qualità e la versatilità dei piloti sono un fattore competitivo, e la loro formazione sul territorio, dentro la cooperativa che opera il servizio, è al tempo stesso un costo da mettere a bilancio e una delle ricadute sociali più preziose del progetto, perché crea lavoro qualificato dove scarseggia, come i capitoli sul modello cooperativo argomentano.

Sul piano dell'impresa, la distinzione cruciale è fra l'operatore che chiede l'autorizzazione volta per volta e l'operatore che ha conquistato il certificato che gli consente di autorizzarsi da sé, già descritto nella sezione sul quadro nazionale. È una distinzione che ha conseguenze economiche di primo piano, perché l'operatore che deve chiedere ogni autorizzazione paga in tempo e in incertezza a ogni nuova missione oltre la vista, mentre l'operatore autonomo trasforma quella capacità in un asset interno e in un vantaggio competitivo difficilmente re-

plicabile. Il progetto assume perciò come traguardo di medio termine la costruzione di un sistema di gestione della sicurezza e di una storia operativa che gli consentano di ottenere quel certificato, e ne fa un obiettivo esplicito del proprio percorso, perché è la chiave che trasforma il servizio da una successione di autorizzazioni negoziate in una capacità stabile e scalabile.

L'assicurazione è l'altro obbligo che grava sull'operatore, e va trattata con precisione perché è insieme un requisito di legge e una voce di costo ricorrente. In Italia la copertura di responsabilità civile verso terzi è obbligatoria per tutte le operazioni con drone, indipendentemente dal peso, il che va sottolineato perché la norma europea esenterebbe i mezzi più leggeri ma la disciplina nazionale non concede quell'esenzione [4][5]. La norma europea fissa inoltre massimali minimi per gli operatori aerei, che per i mezzi sotto una certa soglia si aggirano intorno a un valore dell'ordine delle centinaia di migliaia di euro, e per le operazioni commerciali o istituzionale conviene verificare l'estensione della copertura anche ai rischi particolari [5][6]. Per il progetto questo significa che ogni configurazione operativa va accompagnata da una polizza adeguata alla categoria e al tipo di missione, e che il costo assicurativo, pur non elevato per singolo mezzo, va moltiplicato per la flotta e messo a bilancio fra i costi di esercizio, come il capitolo economico fa.

Ne discende un quadro delle responsabilità dell'impresa che conviene tenere presente nel suo insieme, perché la sostenibilità del servizio dipende dal governarlo bene. L'operatore deve mantenere una squadra di piloti qualificati e aggiornati, deve costruire e mantenere un sistema di gestione della sicurezza che punti al privilegio dell'auto-autorizzazione, deve assicurare ogni operazione con coperture adeguate, e deve tenere questi tre elementi coordinati con l'evoluzione delle regole. Sono funzioni permanenti, non adempimenti iniziali, e la loro gestione ordinata è ciò che distingue un operatore professionale destinato a durare da un'iniziativa che ottiene il primo permesso e poi si arena sui costi ricorrenti e sulla complessità della conformità. Il progetto assume questa dimensione organizzativa con la stessa serietà con cui assume la tecnica, perché ha imparato dai precedenti italiani che al volo oltre la vista arriva chi tratta l'impresa, e non solo la macchina, come un sistema da progettare.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi europei e nazionali e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Categorie di attestato del pilota e qualificazioni per le operazioni oltre la vista e per gli scenari standard, `leg_78ccab301561`
2. Requisiti ed esami degli attestati di pilotaggio in Italia, validità quinquennale e costi, `leg_d66896ec750b` e `leg_c46c117b3cc5`
3. Formazione avanzata per gli scenari standard e per il volo oltre la vista, `leg_a3f4fa532cb2`
4. Obbligo di assicurazione di responsabilità civile verso terzi per tutte le operazioni in Italia, `leg_a1a251d19b90` e `leg_94e50edcdab2`
5. Norma europea sui massimali minimi degli operatori aerei e soglie di esenzione, `leg_f467f53f9b34` e `leg_24c147b5f1d5`
6. Coperture per rischi particolari nelle operazioni commerciali o istituzionale, `leg_e54265886d68`

7.9 La sicurezza informatica e la responsabilità da prodotto

Negli ultimi 2 anni l'Unione europea ha aggiunto al quadro dei droni un insieme di obblighi nuovi che nascono fuori dal diritto dell'aviazione, nel diritto della sicurezza informatica e della responsabilità da prodotto, e che è essenziale conoscere perché toccano proprio le caratteristiche distintive del progetto, cioè un velivolo pieno di elettronica e di software che raccoglie ed elabora dati sensibili sul territorio. Ignorare questi obblighi sarebbe un errore, perché diventano vincolanti a scadenze ormai vicine e perché la loro logica, la sicurezza e la responsabilità sin dalla progettazione, coincide con la postura che il progetto ha già scelto per ragioni di sovranità, il che li trasforma da onere aggiuntivo in rafforzamento di una linea coerente.

Il primo pilastro nuovo è il regolamento europeo sulla resilienza informatica, che introduce requisiti obbligatori di sicurezza informatica per tutti i prodotti con elementi digitali, e quindi anche per un drone e per la sua stazione di terra, lungo l'intero ciclo di vita del prodotto, dalla progettazione agli aggiornamenti [1]. Questo significa che la sicurezza informatica del sistema non è più una buona pratica facoltativa ma un requisito di legge, che impone di progettare il velivolo e il segmento di terra proteggendoli dalle manomissioni, gestendo le vulnerabilità note e mantenendo aggiornato il software per tutta la vita operativa. Si salda con le difese di bordo descritte nel capitolo tecnico, la cifratura del collegamento, l'autenticazione del segnale di navigazione, la firma dei messaggi di telemetria e la protezione dei dati, che da accorgimenti prudenti diventano adempimenti dovuti, e conferma che la scelta di trattare la sicurezza informatica come parte dell'architettura, e non come un'aggiunta, era la scelta giusta anche sul piano normativo.

Il secondo pilastro è la direttiva europea sulla sicurezza delle reti e dei sistemi informativi, recepita in Italia, che estende gli obblighi di sicurezza informatica a un ampio insieme di settori critici, fra cui i trasporti e le infrastrutture digitali, e il regolamento sulla gestione dei rischi informatici per la sicurezza aerea, applicabile dal 2026 [2][3]. Per un operatore che offra servizi a clienti pubblici e che tocchi infrastrutture critiche, come le linee elettriche, gli acquedotti o le reti di comunicazione, questi obblighi possono attivarsi, e comportano la registrazione presso l'autorità nazionale competente e l'adozione di misure di gestione del rischio informatico. È un'area in cui il progetto dovrà verificare con precisione la propria collocazione man mano che i servizi si definiscono, perché la soglia di applicabilità dipende dalla natura del cliente e dell'infrastruttura toccata, ma è anche un'area in cui la postura di sicurezza già scelta mette il progetto in una posizione favorevole rispetto a un operatore che dovesse adeguarsi partendo da zero.

Il terzo pilastro è la nuova direttiva europea sulla responsabilità da prodotto difettoso, che estende la responsabilità oggettiva anche al software e ai sistemi di intelligenza artificiale, considerandoli esplicitamente prodotti [4]. Questo ha una conseguenza diretta per un velivolo che elabora dati a bordo con algoritmi di riconoscimento, perché un difetto del software che causi un danno può generare una responsabilità oggettiva del produttore, e impone quindi di documentare con cura la conformità del software, di tracciarne le versioni e di prevedere coperture assicurative adeguate a questo rischio. Va notato, per completezza, che il software libero sviluppato al di fuori di un'attività commerciale è escluso da questa responsabilità, il che ha una ricaduta sulla scelta, già discussa nei capitoli tecnici, fra software a codice aperto per il dimostratore e software certificato per il prodotto operativo, perché il passaggio dall'uno all'altro cambia anche il profilo di responsabilità che l'impresa assume.

Ne discende un principio che attraversa tutto il progetto e che conviene enunciare, cioè che la sicurezza informatica e la sovranità dei dati non sono due temi separati ma due facce della

stessa medaglia, entrambe radicate nell'idea che il controllo del sistema e dell'informazione debba restare in mani nazionali ed europee e protetto da ogni intrusione. Il capitolo sui dati e la sovranità digitale svilupperà questa idea sul versante della protezione dei dati personali e della dipendenza dalle infrastrutture straniere, ma è importante riconoscere fin d'ora che il diritto europeo più recente spinge nella stessa direzione, imponendo la sicurezza informatica sin dalla progettazione e la responsabilità per il software, e che il progetto, avendo scelto quella direzione per convinzione strategica, si trova ad anticipare adempimenti che presto saranno obbligatori per tutti. È un vantaggio competitivo oltre che una conformità, perché arrivare pronti a una scadenza normativa mentre i concorrenti si affannano ad adeguarsi è uno dei modi in cui un quadro regolatorio severo premia chi lo ha preso sul serio per tempo.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi europei e nazionali e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Regolamento europeo sulla resilienza informatica e requisiti di sicurezza per i prodotti con elementi digitali, `leg_3df5f38fa0eb`
2. Direttiva europea sulla sicurezza delle reti e dei sistemi informativi e suo recepimento italiano, `leg_d9ea4782487c` e `leg_01104585ebfa`
3. Regolamento europeo sulla gestione dei rischi informatici per la sicurezza aerea, `leg_76c665f50868`
4. Direttiva europea sulla responsabilità da prodotto difettoso estesa al software e all'intelligenza artificiale, `leg_59a8169dfb57`

7.10 Le zone geografiche e i vincoli territoriali del sito pilota

Il quadro normativo dei droni non vive nell'astratto ma sul territorio, e per un progetto ancorato all'entroterra ligure e al sito pilota dell'Antola è indispensabile calare le regole generali nella geografia concreta dove il velivolo dovrà volare, perché è lì che i vincoli si fanno stringenti in un modo che il resto del capitolo non lascia intuire. La ragione è che l'entroterra ligure, proprio per la sua natura di territorio montano e poco antropizzato, è ricco di aree protette, parchi e siti della rete europea di conservazione della natura, e queste aree sono soggette a vincoli di sorvolo che si sommano a quelli aeronautici e che vanno gestiti prima di ogni missione. Trascurare questo livello sarebbe un errore grave, perché molte delle missioni ambientali e di monitoraggio che danno senso al progetto si svolgono esattamente sopra le aree protette, e perché il sito pilota stesso è un parco.

Il primo vincolo territoriale è quello delle zone geografiche pubblicate dall'autorità sul portale nazionale, che comprendono le fasce attorno agli aeroporti e le aree con restrizioni, e che l'operatore deve consultare per ogni volo, come la sezione sul quadro nazionale ha già indicato [1]. A queste si aggiunge il vincolo specifico delle aree protette, perché la legge quadro nazionale sulle aree protette vieta il sorvolo non autorizzato dei parchi e delle riserve, e le regioni pubblicano le relative zone di divieto sul portale nazionale, con l'obbligo, per il volo nei siti della rete europea di conservazione, di una valutazione di incidenza ambientale che accerti che l'attività non danneggi gli habitat e le specie protette [2][3]. Il sito pilota dell'Antola è un parco regionale e comprende siti della rete europea, il che significa che il volo per il monitoraggio ambientale, lungi dall'essere libero, richiede l'autorizzazione dell'ente di

gestione del parco e, quando pertinente, la valutazione di incidenza, e che questi passaggi vanno previsti nella pianificazione delle missioni e nei tempi del servizio.

Va colto il paradosso apparente e risolto, perché è istruttivo. Le stesse aree protette che impongono i vincoli di sorvolo più stringenti sono anche quelle in cui il monitoraggio da drone offre il valore ambientale più alto, perché sono territori fragili, difficili da presidiare a terra e bisognosi proprio di quella sorveglianza ambientale che il velivolo può dare. Il vincolo e l'opportunità coincidono, e la soluzione non è aggirare il vincolo ma trasformarlo in un rapporto di collaborazione con l'ente di gestione del parco, che diventa così non un ostacolo burocratico ma un cliente e un partner naturale del servizio. È esattamente la logica che il capitolo sull'area di riferimento ha indicato individuando l'ente del parco dell'Antola fra gli attori da coinvolgere, e qui trova la sua ragione normativa, perché è collaborando con chi gestisce il vincolo che si ottiene il permesso di volare dove il volo serve di più, e perché un'autorizzazione costruita insieme all'ente gestore è più solida e più rapida di una strappata contro di esso.

Esiste inoltre un potere generale dell'autorità di vietare il sorvolo su porzioni del territorio nazionale per motivi di sicurezza, ordine pubblico o protezione della fauna, che si aggiunge ai vincoli delle aree protette e che va tenuto presente perché può interessare aree sensibili anche fuori dai parchi [4]. E vanno considerati i vincoli non aeronautici che gravano sulle basi di decollo e su certi trasporti, perché anche con il permesso di volo una piazzola stabile può richiedere permessi edilizi comunali e certi carichi, come il trasporto di sangue o di materiali sensibili, attivano regole specifiche sulle merci, come la sezione sugli ostacoli reali approfondisce. Il quadro territoriale, insomma, è più fitto di quanto la sola normativa aeronautica lasci pensare, ed è fatto di una stratificazione di competenze, aeronautica, ambientale, edilizia e settoriale, che l'operatore deve saper comporre missione per missione.

Ne discende una raccomandazione operativa precisa per il progetto, cioè che la mappatura dei vincoli territoriali del sito pilota e delle aree di interesse vada svolta per tempo e con cura, costruendo per ciascuna missione tipo l'elenco dei permessi necessari e degli enti da coinvolgere, e che questa mappatura diventi parte del manuale operativo e del rapporto con il territorio. È un lavoro che il capitolo sull'area di riferimento ha impostato individuando gli attori pubblici da coinvolgere e che qui riceve la sua giustificazione normativa, perché la fattibilità operativa nelle aree interne dipende non solo dal permesso di volo generale ma dalla capacità di gestire la stratificazione dei vincoli locali, e perché costruire per tempo le relazioni con l'ente del parco, con i comuni e con la regione è il modo per trasformare quei vincoli da barriere in condizioni gestibili. È l'ennesima conferma che la fattibilità del progetto si gioca tanto sul territorio e sulle relazioni quanto sulla tecnica, e che l'ancoraggio cooperativo e istituzionale del progetto, lungi dall'essere una cornice retorica, è la leva concreta con cui i vincoli territoriali si affrontano.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi nazionali e regionali e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Zone geografiche pubblicate sul portale nazionale, fasce aeroportuali e aree con restrizioni, `leg_74a7acf35dfe` e `leg_71335a7818cd`
2. Legge quadro nazionale sulle aree protette e divieto di sorvolo non autorizzato, `leg_68dc07c673e3`

3. Zone di divieto nelle aree protette e valutazione di incidenza per i siti della rete europea di conservazione, `leg_cc1ae8e90afb` e `leg_d2ea34a96882`
4. Potere dell'autorità di vietare il sorvolo per sicurezza, ordine pubblico o protezione della fauna, `leg_7700e06377b9`

7.11 La strategia autorizzativa, dal collaudo gratuito ai primi ricavi

Tutto ciò che le sezioni precedenti hanno descritto converge in una domanda pratica, come si fa a cominciare, e la risposta che il progetto adotta, confermata dai precedenti italiani, è una strategia per gradi che si può riassumere nella formula prima a vista e prima i ricavi. Il principio è semplice e potente, cioè non attendere il permesso difficile del volo oltre la vista prima di cominciare a lavorare, ma partire subito con i servizi a vista, che non richiedono quel permesso, e preparare in parallelo l'autorizzazione per il volo oltre l'orizzonte usando proprio l'esperienza e i dati raccolti volando a vista come prova a sostegno della domanda [1]. È la traduzione autorizzativa esatta della strategia a doppio binario che governa l'intero studio, e la sua forza sta nel rovesciare l'ordine sbagliato in cui molti progetti procedono, che investono tutto nel permesso difficile prima di aver generato un solo euro e si arenano quando i tempi e i costi della certificazione si rivelano più alti del previsto.

Prima ancora del gradino commerciale ne esiste però uno che il materiale preparatorio non aveva individuato e che vale la pena mettere per iscritto, perché è il modo di collaudare il velivolo proprietario senza chiedere nulla a nessuno. Il regolamento europeo sulle operazioni ammette in categoria aperta, oltre ai mezzi che portano una marcatura di classe, anche gli aeromobili autocostruiti, e nella sottocategoria che interessa il progetto chiede loro una condizione sola, la massa al decollo sotto i 25 chilogrammi carico utile compreso [2]. L'obbligo di alimentazione elettrica che chiude la classe C3 alle motorizzazioni ibride sta nell'altro regolamento, quello di prodotto, che si applica ai mezzi immessi sul mercato e ne esclude espressamente gli autocostruiti [3]. Ne segue una conclusione che cambia il calendario del progetto, cioè che il prototipo ibrido può volare legalmente oggi, in categoria aperta, senza alcuna autorizzazione dell'autorità, purché sia costruito per uso proprio, resti sotto i 25 chilogrammi con il carburante e il carico a bordo, e rispetti le condizioni operative di quella sottocategoria.

Quelle condizioni sono restrittive ma compatibili con l'entroterra ligure. Occorre volare dove il pilota possa ragionevolmente attendersi che nessun terzo estraneo all'operazione sia messo in pericolo, tenersi ad almeno 150 metri in orizzontale da aree residenziali, commerciali, industriali o ricreative, e restare entro 120 metri dal punto più vicino della superficie terrestre, misura che il regolamento chiede espressamente di adattare alle caratteristiche geografiche del terreno, pianure, colline o montagne [2]. Quest'ultimo dettaglio è prezioso in Appennino, perché significa che il limite segue il profilo del suolo invece di appiattirsi su una quota fissa, e consente un collaudo in quota su crinali e valli disabitate. Il volo va condotto a vista costante, con la possibilità di affiancare al pilota un osservatore del velivolo, e a questo proposito conviene sgombrare un equivoco frequente, perché il regolamento non vieta affatto il volo automatico su una traiettoria programmata. Ciò che vieta in categoria aperta è l'operazione autonoma, definita come quella durante la quale il pilota non è in grado di intervenire [2]. Un piano di punti di passaggio eseguito dal pilota automatico, con il pilota che guarda il mezzo e può riprenderne il comando in qualunque momento, non rientra in quella definizione, cosicché la campagna di prove può validare la navigazione automatica e non solo il comportamento in volo manuale.

Quello che questo gradino consente di validare è esattamente ciò che poi si spende nel fascicolo autorizzativo, cioè la cellula, l'aerodinamica, la catena propulsiva, il pilota automatico, il contenimento geografico, il sistema di arresto del volo e le procedure di equipaggio, insieme alle ore e ai dati di affidabilità che gli obiettivi di sicurezza chiedono di dimostrare. Ciò che non consente è di fatturare il servizio a regime, perché non dà il volo oltre la vista, non dà la quota sopra i 120 metri e non dà il sorvolo dei centri abitati. Resta un punto da chiudere con l'autorità prima di contarci per intero, cioè se un prototipo aziendale usato in proprio ricada nella definizione di aeromobile costruito per uso del costruttore, che la lettura corrente ammette ma che vale la pena farsi confermare per iscritto, dato che su questa qualificazione poggia l'intera campagna di prove a costo autorizzativo nullo. Il regolamento offre comunque un ripiego già previsto, perché esclude dalla certificazione i mezzi progettati o modificati per scopi di ricerca, sperimentazione o studio e destinati a essere prodotti in numero molto limitato, che operano con un permesso di volo [3], via più costosa della precedente ma disponibile.

Il gradino successivo è il servizio a vista, che con un attestato di pilotaggio adeguato, la registrazione dell'operatore, una polizza e un manuale operativo consente di offrire da subito l'ispezione, la sorveglianza e il monitoraggio a corto raggio, generando cassa ed evidenze operative con il rischio minimo. È un gradino spesso sottovalutato da chi insegue subito il volo oltre la vista, ma è quello che i precedenti italiani mostrano essere la base di tutto, perché tutti gli operatori che sono arrivati al volo oltre la vista avevano prima costruito ricavi e affidabilità volando a vista, e perché è volando a vista che si accumulano le ore, i dati e la reputazione che rendono credibile la domanda successiva. Per il progetto questo significa che il servizio può partire in pochi mesi, molto prima che il velivolo proprietario sia pronto, operando una piattaforma commerciale matura a vista, come il capitolo economico dettaglia, e che questi primi ricavi finanziano e legittimano i passi successivi.

Il terzo gradino è il primo volo oltre la vista, e la sezione sulle classi ha mostrato che conviene affrontarlo appoggiandosi a una valutazione di rischio predefinita anziché a un'analisi costruita da zero, perché quelle valutazioni non richiedono la marcatura di classe e sono quindi aperte al velivolo ibrido senza passare dalla C6. Fra quelle disponibili il progetto punta alle due che valorizzano la persistenza, cioè il volo oltre la vista in spazio aereo riservato, che non pone tetto di quota, e il volo oltre la vista su area non popolata coperto da un avviso ai naviganti. In entrambi i casi il rischio in aria si risolve segregando lo spazio o annunciandolo, che è la sola strada praticabile fino a quando la capacità di percepire ed evitare non sarà matura ed economica a questa scala, ed è la strada che tutti i precedenti italiani hanno seguito. Il progetto individuerà, con l'autorità e con gli enti del territorio, i volumi disponibili sull'entroterra ligure oppure si appoggerà a un'infrastruttura di prova esistente, e userà questa fase per costruire la storia operativa e le evidenze di affidabilità che servono al gradino successivo.

Il quarto gradino è il volo oltre la vista su scala, che si raggiunge quando le autorizzazioni piene sono maturate e, nel medio termine, quando lo spazio aereo dei droni si attiva sul territorio consentendo di volare oltre la vista senza la segregazione fisica dello spazio. È il gradino su cui il servizio dispiega il suo pieno valore, coprendo valli e tratte lunghe con la persistenza del velivolo proprietario, ed è anche il gradino a cui si associa il traguardo del certificato che consente all'operatore di autorizzarsi da sé, trasformando la capacità del volo oltre la vista in un asset interno e in un vantaggio competitivo stabile. In parallelo, e su un binario del tutto distinto, matura la marcatura di classe del velivolo elettrico, che non serve a operare ma a vendere, e che è l'unico modo di mettere il mezzo nelle mani di un cliente senza consegnargli anche una pratica autorizzativa. Il progetto assume entrambi i traguardi come obiettivi di medio termine, consapevole che vi si arriva non con un salto ma con la costruzione

paziente di una storia operativa e di un sistema di gestione della sicurezza, esattamente ciò che i gradini precedenti producono.

La coerenza fra questa scala autorizzativa e la strategia complessiva del progetto è totale, ed è questa coerenza a dare solidità alla raccomandazione. Il primo binario della strategia, quello che genera subito ricavi operando una piattaforma commerciale matura, corrisponde al gradino del servizio a vista. Il secondo binario, quello che sviluppa il velivolo proprietario finanziandone il rischio con i fondi dedicati, trova nel banco prova della categoria aperta il modo di avanzare senza attendere alcun permesso, e nei due gradini successivi la sua strada verso l'operatività oltre la vista. E i punti di decisione che scandiscono la strategia economica, prima di impegnare risorse ingenti nello sviluppo, coincidono con le verifiche autorizzative, aver accertato i tempi e i costi reali della certificazione e aver individuato i volumi per il volo oltre la vista. Non c'è, in altre parole, una strategia tecnica, una economica e una autorizzativa separate, ma un'unica strategia letta da tre angolazioni, e la formula prima a vista e prima i ricavi ne è la sintesi operativa, quella che permette di cominciare a lavorare oggi con gli strumenti di oggi mentre si costruisce la capacità di domani.

Note e riferimenti

Le fonti sono i testi consolidati dei regolamenti europei, letti direttamente, e i documenti di progetto. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Guida alla certificazione dell'autorità per il volo oltre la vista, strategia di avvio a vista e maturazione parallela dell'autorizzazione, `proj_guida-certificazione-enac-sora-per-il-volo-bvlos`
2. Regolamento di esecuzione europeo sulle operazioni con aeromobili senza equipaggio, testo consolidato. Articolo quarto, che ammette in categoria aperta gli aeromobili autocostruiti; definizione di operazione autonoma come quella in cui il pilota non può intervenire; disposizioni della sottocategoria A3 sulla massa inferiore ai 25 chilogrammi per l'autocostruito, sulla distanza minima di 150 metri dalle aree abitate e sui 120 metri dal punto più vicino della superficie terrestre adattati alla morfologia del terreno, `leg_bf71102f1697`
3. Regolamento delegato europeo sui requisiti di progetto, testo consolidato. Articolo secondo, che esclude dall'ambito di applicazione gli aeromobili autocostruiti, e articolo 40, che esenta dalla certificazione i mezzi destinati a ricerca e sperimentazione prodotti in numero molto limitato, operabili con permesso di volo, `leg_9d0a84bb6fac`

7.12 I tempi, i costi e gli ostacoli reali

Sui tempi e sui costi della certificazione occorre l'onestà che le fonti stesse raccomandano, perché è proprio qui che si annidano gli errori di valutazione più costosi, e perché uno studio di fattibilità serve a informare una decisione e non a rassicurarla. Il primo dato da fissare è che le autorità italiane non pubblicano i tempi delle singole autorizzazioni e le imprese non rendono pubblici i costi reali, il che significa che ogni cifra va trattata come una stima direzionale da confermare con una consulenza specializzata e non come un dato certo [1]. Questa cautela non è un vezzo metodologico ma la premessa per non costruire il piano economico su numeri fragili, ed è coerente con la disciplina che l'intero studio adotta di distinguere sempre il dato verificato dalla stima.

Come riferimento europeo, un permesso per il volo oltre la vista richiede in genere fra i sette e i 18 mesi di istruttoria, con tempi maggiori quando il livello di severità dell'operazione

è alto, e il ritardo più frequente non nasce dalla lentezza dell'autorità ma dalle domande incomplete, che fanno ripartire il conteggio e allungano l'attesa [1]. Ne discende una raccomandazione pratica, cioè che la qualità e la completezza della domanda sono la principale leva sui tempi che l'operatore controlla, e che investire in una preparazione accurata della pratica, con la consulenza giusta, è quasi sempre più economico che subire i ritardi di una domanda respinta o rimandata. Per il progetto questo colloca la maturazione del permesso per il volo oltre la vista in un orizzonte dell'ordine dell'anno o poco più dall'avvio della pratica, orizzonte che va sincronizzato con lo sviluppo del velivolo e con il percorso a gradi descritto, in modo che il permesso arrivi quando serve e non prima che il velivolo sia pronto né dopo che il mercato si sia raffreddato.

Sul costo va sfatato l'equivoco più diffuso, quello che confonde la tariffa dell'autorità con il costo della certificazione. La tariffa ufficiale è dell'ordine di alcune centinaia di euro, quasi una marca da bollo, dell'ordine dei 309 o 355 euro a seconda della pratica secondo le tabelle ENAC citate dal capitolo economico, che andranno riverificate sul provvedimento vigente al momento dell'istanza, mentre il costo vero sta altrove ed è fatto di quattro voci principali, le dotazioni di sicurezza da montare sul velivolo, la consulenza specializzata che prepara la pratica e l'analisi del rischio, la documentazione tecnica e le prove di volo che dimostrano gli obiettivi di sicurezza [1][2]. Nessuna impresa italiana ha reso pubblico l'ammontare complessivo di queste voci, che dipende fortemente dal livello di severità dell'operazione e dalla configurazione del velivolo, ma è certo che il conto vero è di uno o due ordini di grandezza superiore alla tariffa, e che una valutazione superficiale che guardi solo alla tariffa sottostima drammaticamente il costo reale. Il capitolo economico mette a bilancio queste voci come stime da confermare, e la loro conferma tramite una consulenza specializzata è uno dei punti di decisione che precedono l'impegno di risorse ingenti, perché il costo e il tempo reali della certificazione sono fra le incognite che più incidono sulla sostenibilità del progetto.

Vale la pena elencare gli ostacoli reali che restano aperti, perché spiegano perché costruire il velivolo sia la parte relativamente facile e ottenere il permesso la parte difficile [1]. Il primo è che la capacità di percepire ed evitare gli altri velivoli, indispensabile al volo oltre la vista senza segregazione, non esiste ancora matura ed economica a questa scala, e la soluzione pratica che tutti adottano è volare in spazi riservati dove non c'è altro traffico, aggirando il problema anziché risolverlo. Il secondo è che l'autorità considera il volo oltre la vista ancora in gran parte come una frontiera, con poche aree di prova attive e una prudenza che allunga le istruttorie. Il terzo è che i livelli di severità alti richiedono prove di progetto quasi da aeromobile, care e lunghe, il che rende decisiva la strategia di tenere basso il livello scegliendo bene missioni e aree. Il quarto è che lo spazio aereo dei droni è ancora in costruzione e non è chiaro chi ne pagherà i costi di accesso quando sarà operativo.

Il quinto ostacolo, spesso dimenticato, è fatto di vincoli non aeronautici, e merita attenzione perché è quello che sorprende chi si concentra solo sul permesso di volo. Anche con l'autorizzazione al volo, una base di decollo stabile può richiedere permessi edilizi comunali, il sorvolo delle aree protette richiede l'autorizzazione ambientale e la valutazione di incidenza come si è visto, e certi trasporti attivano regole settoriali, perché il trasporto di sangue e di materiali biologici o pericolosi è disciplinato da norme proprie sulle merci che si sommano a quelle aeronautiche. Il messaggio che ne discende è chiaro e attraversa tutto il capitolo, cioè che il permesso per il volo oltre la vista richiede di dimostrare la sicurezza e la legalità dell'intera operazione come sistema, non la sola bontà della macchina, ed è un problema di regole, di organizzazione e di relazioni territoriali che il progetto deve affrontare con la stessa serietà con cui affronta la tecnica. È precisamente questa consapevolezza, assente in molti progetti che si arenano, a distinguere una fattibilità autorizzativa dichiarata da una fattibilità autorizzativa

costruita, ed è la ragione per cui lo studio dedica al quadro normativo un capitolo esteso e non una nota di margine.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Guida alla certificazione dell'autorità per il volo oltre la vista, tempi, costi reali e ostacoli aperti, `proj_guida-certificazione-enac-sora-per-il-volo-bvlos`
2. Guida alle tecnologie e ai costi per superare gli obiettivi di sicurezza del volo oltre la vista, `proj_guida-tecnologie-e-costi-per-la-certificazione-bvlos-su`

7.13 Le lezioni dei precedenti italiani

Il modo migliore per capire che cosa sia davvero possibile è guardare chi in Italia al volo oltre la vista è già arrivato, perché i precedenti offrono lezioni concrete che nessuna lettura della norma può dare, e perché mostrano che la fattibilità autorizzativa del progetto non è un auspicio ma un percorso già battuto da altri in condizioni analoghe. Chi ha ottenuto il volo oltre la vista in Italia è per lo più costituito da grandi utility, grandi gruppi aerospaziali e poche imprese specializzate ben assistite, quasi sempre con una consulenza dedicata e spesso operando entro corridoi o spazi riservati, il che conferma sia la difficoltà del traguardo sia la via concreta per raggiungerlo [1][2].

Il primo insegnamento viene dalle grandi utility. Una grande società di distribuzione elettrica ha ottenuto nel 2022 una delle prime autorizzazioni al volo oltre la vista non confinato a una singola area per ispezionare le proprie linee, ma vi è arrivata soltanto dopo aver generato ricavi consistenti volando a vista con una vasta squadra di piloti, cosicché il volo oltre la vista è stato per lei un miglioramento di ricavi che già esistevano e non un salto nel vuoto [1]. È la conferma più autorevole della strategia prima a vista e prima i ricavi, perché mostra che perfino un grande operatore con risorse abbondanti ha costruito la capacità del volo oltre la vista sopra una base di operatività a vista già redditizia, e non il contrario.

Il secondo insegnamento viene dai grandi gruppi e dalle piattaforme di servizio. Un grande gruppo aerospaziale ha ottenuto all'inizio del 2024 un'autorizzazione al volo oltre la vista come operatore sulla propria piattaforma di servizi, appoggiandosi a una valutazione di rischio predefinita e a un sistema integrato di gestione delle missioni, per servizi che spaziano dal monitoraggio ambientale all'agricoltura di precisione fino alla consegna biomedicale [1][3]. È istruttivo perché mostra il modello del dato come servizio in azione, con un operatore che vende il servizio e non il mezzo e che costruisce l'autorizzazione attorno a una piattaforma capace di servire missioni diverse, esattamente la logica del progetto. Nello stesso periodo un'impresa attiva nel trasporto in montagna ha ottenuto una delle prime posizioni di operatore autonomo d'Italia, cioè il privilegio di autorizzarsi da sé le proprie operazioni, che è la posizione più forte perché trasforma l'autorizzazione in una capacità interna, e che il progetto assume come traguardo di medio termine.

Il terzo insegnamento viene dalle applicazioni civili più vicine ai bisogni delle aree interne. Un operatore specializzato ha aperto una delle prime rotte oltre la vista per il trasporto sanitario in un contesto insulare, collegando isole con una rotta dell'ordine di alcune decine di chilometri per la consegna di materiale medico, operando in un'area a bassa densità e con la segregazione dello spazio [4]. È il precedente più prossimo alla missione di consegna

sanitaria del progetto, e mostra che la telemedicina e la consegna di farmaci oltre la vista, pur con il business case ancora fragile che l'analisi di mercato ha riconosciuto, sono operativamente possibili nelle condizioni di bassa densità tipiche delle aree interne e delle isole. Vanno ricordati anche i primi voli oltre la vista di istituzioni pubbliche e delle forze di polizia, autorizzati con valutazioni di rischio predefinite, che aprono la strada alla domanda pubblica ricorrente su cui il progetto punta [5][6].

Ma la lezione più utile per il progetto viene dal caso tecnicamente più simile al suo, quello di un'impresa che opera proprio un velivolo ad ala fissa con decollo verticale, cioè la stessa architettura del progetto, e che ha ottenuto il volo oltre la vista soltanto dentro uno spazio aereo riservato, risolvendo il rischio di collisione con la segregazione dello spazio e non con la capacità di percepire ed evitare [2]. Questo precedente vale più di ogni analisi teorica, perché dimostra che l'architettura scelta dal progetto è autorizzabile al volo oltre la vista in Italia, e insieme indica la condizione a cui lo è oggi, cioè lo spazio riservato. Non è un limite che il progetto subisce di sorpresa ma una via che assume consapevolmente per la fase iniziale, in attesa che lo spazio aereo dei droni maturi e consenta il volo oltre la vista senza segregazione.

Tre insegnamenti attraversano dunque tutti questi casi e vanno fissati perché guidano la strategia del progetto. Il primo è che all'inizio conviene puntare su corridoi o spazi riservati e non sul volo libero, aggirando il problema irrisolto del percepire ed evitare. Il secondo è che tutti hanno cominciato generando ricavi a vista o con progetti dimostrativi prima di avere il volo oltre la vista a pieno regime, il che conferma la strategia a gradi. Il terzo è che nessuno ha reso pubblici tempi e costi, che vanno quindi chiesti presto a una consulenza specializzata e messi a bilancio come stime da confermare. Sono le stesse conclusioni che il resto del capitolo ha raggiunto per via normativa, e trovano nei precedenti la loro verifica sul campo, il che dà alla raccomandazione autorizzativa del progetto una solidità che non poggia soltanto sulla lettura delle regole ma sull'esperienza di chi quelle regole ha già saputo attraversare.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto, notizie di settore e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Nota strategica sul posizionamento e sui precedenti italiani del volo oltre la vista, grandi utility e piattaforme di servizio, `proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid`
2. Caso del velivolo ad ala fissa a decollo verticale autorizzato al volo oltre la vista in spazio riservato, `proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid`
3. Autorizzazione al volo oltre la vista di un grande gruppo su piattaforma di servizi con valutazione di rischio predefinita, `leg_4a46e768a4ad`
4. Rotta oltre la vista per il trasporto sanitario in contesto insulare, `leg_b84cd721cd5b` e `leg_1725d2522868`
5. Voli oltre la vista di istituzioni pubbliche e forze di polizia con valutazioni di rischio predefinite, `leg_13f553e254e8` e `leg_201bf75c60f1`
6. Primi voli sperimentali oltre la vista a livello di severità intermedio in Italia, `leg_00e7ed73c60c` e `leg_072dfd4aebc3`

7.14 Crescere dopo l'autorizzazione, il prezzo della massa e quello dell'apertura

Il materiale preparatorio del progetto prevede due direzioni di crescita una volta ottenuta l'autorizzazione, salire di massa per portare più carico e più carburante, indicativamente dai 25 ai 30 chilogrammi, e in un secondo tempo superare i 3 metri di apertura per guadagnare efficienza aerodinamica. Vale la pena esaminarle insieme, perché la conclusione che ne esce è che costano cifre profondamente diverse e che le due leve non sono affatto simmetriche, il che ha conseguenze immediate sulle scelte di dimensionamento da compiere adesso e non fra tre anni.

Cominciando dalla massa, va sgombrato l'equivoco che la definisce un salto di categoria. Chi vola oltre la vista è già in categoria specifica a 24 chilogrammi come a 30, e quella categoria non ha un tetto di massa, perché nel regolamento europeo non compare un limite superiore e l'autorità nazionale valuta caso per caso. I 25 chilogrammi sono il tetto della categoria aperta e il tetto di tutte le marcature di classe [1][2], non una soglia oltre la quale il rischio venga riconosciuto come maggiore. Questo si vede con chiarezza nella tabella con cui si calcola la classe intrinseca di rischio a terra, che incrocia la dimensione caratteristica e la velocità del mezzo con la densità di popolazione sorvolata e non prende la massa fra i propri ingressi [3]. A parità di apertura sotto i 3 metri e a parità di velocità, un velivolo da 30 chilogrammi cade nella stessa casella di uno da 25, con la stessa classe di rischio, lo stesso livello di severità e la stessa lista di obiettivi di sicurezza. Neppure l'obbligo assicurativo cambia, perché la prima fascia di massimale del regolamento europeo copre tutto ciò che sta sotto le 500 chilogrammi [4], e non cambiano la registrazione dell'operatore né l'identificazione a distanza, che non conoscono soglie a quel valore.

Il punto da portare in sede di decisione è dunque che i 5 chilogrammi in più non costano nulla in termini di rischio riconosciuto. Costano invece, tutte insieme e in un colpo solo, le procedure semplificate. Sopra i 25 chilogrammi muoiono la categoria aperta e con essa il banco prova gratuito descritto nella sezione sulla strategia, muoiono tutte le marcature di classe e quindi la possibilità stessa di vendere il velivolo a un cliente che voglia farlo volare senza pratiche, muore il secondo scenario standard che quella marcatura richiede, e muoiono le valutazioni di rischio predefinite che pongono un tetto esplicito di massa. È una scelta di modello di business, non di sicurezza, ed è bene che venga presa come tale.

Un secondo tetto va verificato prima di darsi per tranquilli, quello dell'energia cinetica che alcune valutazioni predefinite fissano a 34 chilojoule. Il calcolo è elementare, essendo l'energia cinetica pari a metà del prodotto della massa per il quadrato della velocità, e il suo esito è rassicurante alle velocità di progetto.

Massa	a 35 metri al secondo	a 47 metri al secondo	a 50 metri al secondo
25 chilogrammi	15,3 chilojoule	27,6 chilojoule	31,3 chilojoule
30 chilogrammi	18,4 chilojoule	33,1 chilojoule	37,5 chilojoule

La velocità massima compatibile con il tetto è di 52,2 metri al secondo a 25 chilogrammi e di 47,6 a 30, e poiché la crociera di progetto si colloca fra i 25 e i 30 metri al secondo il margine resta largo anche nella configurazione più pesante. Il tetto morderebbe soltanto se al velivolo si volesse aggiungere una velocità di punta elevata, il che non appartiene al concetto operativo. Resta da leggere sul documento originale come venga definita l'energia cinetica

tipica, se sulla crociera o sulla velocità da non superare, perché da quella definizione dipende se il margine sia quello calcolato o uno più stretto.

Il modo di rendere la crescita immediata non consiste nel crescere dopo ma nel dichiararla prima, e discende da una particolarità della definizione regolamentare. La massa massima al decollo è un dato dichiarato e non misurato, perché il regolamento la definisce come la massa massima stabilita dal fabbricante o dal costruttore alla quale il mezzo può essere operato [2]. Si possono quindi tenere due configurazioni dichiarate sulla stessa cellula, una sotto i 25 chilogrammi per la categoria aperta e per la marcatura di classe del velivolo elettrico, e una a 30 chilogrammi per la categoria specifica, con manuali e dichiarazioni distinti, come in aviazione si fa da sempre con le varianti di massa massima. Poiché l'analisi del rischio si istruisce sulla configurazione massima, la mossa corretta è istruirla a 30 chilogrammi dal primo giorno e operare inizialmente a masse inferiori, cosicché quando si salirà non ci sarà nulla da riaprire. Crescere dopo è possibile ma non automatico, perché un cambiamento significativo dell'operazione richiede la domanda di aggiornamento dell'autorizzazione, e sebbene a parità di apertura e di velocità si tratti di un emendamento e non di una pratica nuova, i tempi vanno verificati con l'autorità.

La voce di costo vera dei 30 chilogrammi è però un'altra e riguarda le prove, perché un velivolo che nasca a quella massa non può più volare in categoria aperta e perde quindi il banco prova gratuito. Va prevista fin dal dimensionamento strutturale una configurazione di collaudo sotto i 25 chilogrammi, ottenuta con serbatoio parziale, carico utile rimosso e accumulatore ridotto, oppure va messo a bilancio il collaudo sotto permesso di volo. È una decisione da prendere ora e non a struttura congelata, e riguarda soltanto il velivolo ibrido, perché quello elettrico deve restare sotto i 25 chilogrammi e sotto i 3 metri per definizione, essendo quello destinato a essere marcato e venduto.

L'apertura alare è un'altra faccenda ed è il salto più caro dei due. Superare i 3 metri fa cadere tutte le marcature di classe, che quel limite lo portano al primo punto dei loro requisiti, e con esse ogni scenario standard e ogni valutazione di rischio predefinita, che sono tutte cappate alla stessa soglia, lasciando come unica strada l'analisi del rischio costruita su misura. Fa inoltre scivolare il velivolo nella colonna dimensionale successiva della tabella del rischio a terra, con un punto di classe intrinseca in più anche per uno sforamento di dieci centimetri [3]. È un punto pesante, perché la scala con cui si dimostrano gli obiettivi di progetto in funzione del livello di severità è ripida, passando dalla dichiarazione dell'operatore ai livelli bassi, ai mezzi di conformità dell'agenzia al terzo, al rapporto di verifica del progetto al quarto e al certificato di tipo al quinto e al sesto [5]. Con una classe intrinseca di sei e un rischio in aria ordinario ci si avvicina alla soglia del certificato di tipo, che per un'impresa di questa dimensione è fuori portata, e anche recuperando due punti con le mitigazioni si arriva al terzo livello partendo però con il budget di mitigazione già consumato e senza margine per un concetto operativo più ambizioso.

Due cose invece non si perdono, e su questo il materiale preparatorio andava corretto. La prima è il banco prova in categoria aperta, perché la sottocategoria che il progetto userebbe impone all'autocostruito la sola massa sotto i 25 chilogrammi e nessun limite di dimensione [1], cosicché un'ala da 4 metri costruita per uso proprio e sufficientemente leggera vi vola senza alcuna autorizzazione. L'affermazione secondo cui oltre i 3 metri servirebbe un permesso persino per volare a vista è vera per un velivolo immesso sul mercato, che per essere fatto volare da un cliente in categoria aperta ha bisogno della marcatura, e falsa per un prototipo che si collauda in proprio. La seconda è che non si finisce in categoria certificata, perché quella soglia richiede insieme la dimensione pari o superiore ai 3 metri e la progettazione per il volo sopra assembramenti di persone [2], condizione che il concetto operativo esclude.

Esiste inoltre un'uscita documentata, ed è l'argomento su cui questo velivolo è più forte di quanto la tabella suggerisca. Il metodo non obbliga a usare il valore predefinito della colonna dimensionale, e consente all'operatore di calcolare l'area critica reale del proprio mezzo e di reclamare su quella base una classe di rischio a terra inferiore [3]. L'area critica dipende dalla massa, dalla velocità, dall'angolo di impatto e dallo scivolamento successivo, non dalla sola apertura, e un'ala fissa leggera, a basso carico alare e lenta produce un'area critica assai minore di quella di un multirotore pesante di pari dimensione caratteristica, che è il caso su cui la colonna superiore è tarata. Un velivolo di poco più di 3 metri, sotto i 30 chilogrammi e con una crociera attorno ai 30 metri al secondo, è esattamente il profilo che può vincere questo argomento. Il rovescio è che si tratta di un argomento da istruire con dati propri, simulazioni fluidodinamiche, prove di caduta e modello di impatto, davanti a un'autorità disposta ad accettarlo, e che recupera soltanto la classe di rischio, senza restituire né le marcature né le procedure semplificate, che restano tetti secchi.

Ne esce una gerarchia che il confronto fra le architetture e il bilancio di massa devono mettere sullo stesso foglio. Sul piano certificativo la massa costa molto meno dell'apertura, perché 5 chilogrammi in più non toccano la classe di rischio mentre mezzo metro in più la fa salire di un punto e cancella insieme le marcature e le procedure semplificate. Sul piano aerodinamico vale esattamente il contrario, perché l'apertura compra efficienza attraverso l'allungamento e quindi ore di volo, mentre la massa la consuma attraverso il carico alare e la potenza richiesta. Le due gerarchie sono opposte, e ottimizzarne una sola porta fuori strada. È qui che la configurazione ad ala scatolata riacquista un valore concreto e non soltanto estetico, perché offre un allungamento efficace senza spendere dimensione caratteristica, cioè compra prestazione nella valuta che il regolamento non tassa.

Da tutto questo discendono tre decisioni che vanno prese adesso, perché prese a posteriori costano una pratica nuova. La prima riguarda la massa massima dichiarata del velivolo ibrido, che se si vuole la crescita a 30 chilogrammi senza riaprire nulla va istruita a quel valore dal primo giorno, prevedendo insieme la configurazione di collaudo alleggerita. La seconda riguarda il bersaglio dimensionale, da fissare attorno ai 2,8 metri con margine su entrambi i velivoli e da misurare sulla dimensione massima della cellula, tenendo un eventuale superamento dei 3 metri per un modello successivo anziché ottenerlo modificando questo, perché una modifica dopo l'autorizzazione cambia la colonna della tabella e comporta un'analisi del rischio nuova oltre a far decadere la marcatura. La terza riguarda la velocità massima di progetto, che i due tetti dei 34 chilojoule e dei 50 metri al secondo rendono un requisito da fissare in specifica e non un esito da scoprire in prova.

Note e riferimenti

Le fonti sono i testi consolidati dei regolamenti europei, la documentazione metodologica della valutazione del rischio e la documentazione dell'agenzia europea. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Regolamento di esecuzione europeo sulle operazioni con aeromobili senza equipaggio, testo consolidato. Articolo quarto, che fissa a 25 chilogrammi il tetto della categoria aperta, e disposizioni della sottocategoria A3, che all'aeromobile autocostruito impongono la sola massa e nessun limite di dimensione, `leg_bf71102f1697`
2. Regolamento delegato europeo sui requisiti di progetto, testo consolidato. Definizione della massa massima al decollo come valore dichiarato dal fabbricante o dal costruttore, Al-

legato Parte 4 punto primo per i limiti di massa e di dimensione della classe, e articolo 40 per la soglia della categoria certificata, `leg_9d0a84bb6fac`

3. Allegato metodologico sulla base teorica del rischio a terra e dell'area critica, che costruisce la tabella della classe intrinseca su dimensione caratteristica e velocità e ammette il calcolo dell'area critica reale in alternativa al valore predefinito della colonna, `leg_f8ef9a27ddb9`
4. Regolamento europeo sui requisiti assicurativi degli operatori aerei, che colloca in un'unica prima fascia di massimale tutti gli aeromobili sotto le 500 chilogrammi, `leg_e54265886d68`
5. Scala con cui gli obiettivi di progetto si dimostrano al crescere del livello di severità, dalla dichiarazione al rapporto di verifica del progetto fino al certificato di tipo, `leg_660fba61b4d2` e `tec_c29f1223c676`

7.15 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte

LE VERIFICHE APERTE

Il quadro normativo che esce da questo capitolo definisce un percorso impegnativo ma tracciato, e conferma diverse scelte del progetto rafforzandole con ragioni autorizzative che si aggiungono a quelle tecniche e di mercato, a patto di correggere due convinzioni che il materiale preparatorio portava con sé. La compattezza sotto i 25 chilogrammi e i 3 metri resta la via autorizzativa più rapida, perché conserva le valutazioni di rischio predefinite che il velivolo più grande perde e perché colloca il rischio a terra nella colonna dimensionale più favorevole fra quelle compatibili con la persistenza, ma il numero di classe sotto cui la si consegue non è quello che il progetto credeva, perché la marcatura C3 esige un'alimentazione esclusivamente elettrica e resta quindi preclusa al velivolo ibrido, che potrà al più fregiarsi della C6. E la bassa densità di popolazione delle aree interne, che è un vantaggio reale sul rischio a terra, non produce da sola un livello di severità basso, che va invece guadagnato con le mitigazioni e con un rischio in aria risolto per segregazione. Le dotazioni di sicurezza previste dai capitoli tecnici, il sistema di arresto del volo, il doppio collegamento ridondato, la delimitazione geografica e l'identificazione a distanza, sono esattamente ciò che gli obiettivi di sicurezza del metodo di analisi richiedono, e coincidono per giunta con i requisiti aggiuntivi della classe C6, il che dimostra che la macchina e il suo percorso autorizzativo sono stati pensati insieme. E la strategia a doppio binario trova nella regola del prima a vista e prima i ricavi la sua attuazione autorizzativa, con il servizio a vista che genera cassa mentre matura il permesso per il volo oltre la vista [1], preceduta però da un gradino che il capitolo ha riconosciuto e che non costa nulla, cioè il collaudo del prototipo in categoria aperta come aeromobile autocostruito, e seguita dal volo oltre la vista dapprima in spazi riservati sull'esempio del precedente più simile e poi su scala man mano che lo spazio aereo dei droni si attiva.

Il capitolo conferma anche che la fattibilità autorizzativa del progetto è dimostrata e non soltanto auspicata, perché i precedenti italiani mostrano che ogni pezzo del percorso è già stato compiuto da altri, il volo oltre la vista di una piattaforma di servizi, la posizione di operatore autonomo, la rotta sanitaria oltre la vista in area a bassa densità, e soprattutto l'autorizzazione al volo oltre la vista di un velivolo ad ala fissa a decollo verticale in spazio riservato [2], che è l'architettura stessa del progetto. Non c'è, in altre parole, un ostacolo autorizzativo di principio, ma un percorso di ostacoli concreti da attraversare con metodo, e la differenza fra un progetto che ci riesce e uno che si arena non sta nella tecnica ma nella serietà con cui affronta questa dimensione, integrandola nella progettazione e nell'organizzazione dell'impresa fin dal primo giorno.

Restano però verifiche che appartengono alle fasi successive e che vanno dichiarate con onestà, perché è precisamente su di esse che si giocano i tempi, i costi e le condizioni dell'operatività. La prima [1] è l'accertamento dei tempi e dei costi reali della certificazione, oggi stime direzionali,

che va compiuto presto con una consulenza specializzata, la quale è essa stessa una voce di costo da mettere a bilancio e uno dei punti di decisione [3] che precedono l'impegno di risorse ingenti nello sviluppo del velivolo proprietario. La seconda è la scelta e l'istruttoria dello spazio riservato per i primi voli oltre la vista, che va condotta con l'autorità individuando i corridoi disponibili sull'entroterra ligure oppure appoggiandosi a un'infrastruttura di prova esistente e riconosciuta. La terza è la mappatura dei vincoli non aeronautici missione per missione, dai permessi edilizi delle basi alle autorizzazioni ambientali dei parchi fino alle regole sui trasporti sensibili, che nell'entroterra ligure ricco di aree protette non è un dettaglio ma una condizione operativa. La quarta è il presidio permanente dell'evoluzione del quadro, dallo spazio aereo dei droni in costruzione alle nuove regole sulla sicurezza informatica e sulle zone geografiche, che impone di trattare la funzione normativa non come un adempimento iniziale ma come una competenza stabile dell'impresa.

A queste se ne aggiungono cinque nate dalla verifica sulle classi e sulla crescita, e conviene elencarle in ordine di importanza perché sono quelle che decidono i numeri delle sezioni precedenti. La prima è il ricalcolo della classe intrinseca di rischio a terra e della matrice che la combina con il rischio in aria, condotto con lo strumento digitale dell'agenzia europea e con il dato ufficiale di densità di popolazione anziché con la documentazione divulgativa su cui questo studio si è dovuto appoggiare, perché da quei due numeri dipendono il livello di severità atteso, il costo delle mitigazioni e quindi la voce autorizzativa del piano economico. La seconda è la lettura dei documenti originali delle valutazioni di rischio predefinite nazionali, uno per uno, per accertarne i tetti di massa, di dimensione, di quota e di energia cinetica, perché sono la strada operativa reale del progetto e i loro limiti decidono se la crescita a 30 chilogrammi sia compatibile con esse. La terza è la definizione esatta di energia cinetica tipica adottata dai documenti attuativi, se riferita alla crociera o alla velocità da non superare, da cui dipende il margine rispetto al tetto dei 34 chilojoule. La quarta è un insieme di conferme da chiedere all'autorità, cioè la scadenza della finestra di transizione fra le due versioni del metodo di analisi, l'inquadramento del prototipo aziendale come aeromobile costruito per uso proprio, sul quale poggia l'intero banco prova a costo autorizzativo nullo, e l'ammissibilità di due configurazioni di massa massima dichiarate sulla stessa cellula. La quinta è la verifica dell'esistenza di norme armonizzate pubblicate per la classe C6, dalla quale dipende se la conformità possa essere autocertificata dal fabbricante oppure richieda un organismo notificato, con il divario di costo e di tempo che ne consegue per la linea di prodotto del velivolo elettrico.

A queste si aggiunge una verifica di natura più strategica, che lega il capitolo normativo al resto dello studio, cioè la costruzione del rapporto con gli attori istituzionali e cooperativi del territorio come leva autorizzativa e non solo commerciale. Il coinvolgimento della Regione Liguria, dei comuni delle aree interne, dell'ente di gestione del parco dell'Antola e, sul piano cooperativo, il sostegno di Legacoop Liguria e di Coopfond, non serve soltanto a costruire la domanda del servizio ma anche a gestire i vincoli territoriali e a legittimare le operazioni, perché un'autorizzazione costruita insieme agli enti che governano il territorio è più solida e più rapida di una ottenuta contro di essi. È un punto che salda il capitolo normativo a quelli sul modello cooperativo e sugli attori del territorio, e che conferma come la fattibilità del progetto si giochi tanto sulle relazioni quanto sulle regole.

Sono verifiche che non mettono in discussione la fattibilità autorizzativa, ormai dimostrata dai precedenti e dalla coerenza delle scelte del progetto, ma che ne definiranno i tempi, i costi e le condizioni prima dell'avvio operativo, e che vanno affrontate con lo stesso metodo che l'intero capitolo raccomanda, cioè per gradi, integrando la dimensione autorizzativa nella progettazione e nell'organizzazione, e distinguendo sempre ciò che è verificato da ciò che resta stima da confermare.

> È con questa disciplina che il progetto trasforma il quadro normativo, che per molti è il muro contro cui l'ambizione si infrange, nel percorso ordinato lungo il quale l'ambizione si realizza.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Guida alla certificazione dell'autorità per il volo oltre la vista, sintesi del percorso, dei tempi e dei costi, `proj_guida-certificazione-enac-sora-per-il-volo-bvlos`
2. Nota strategica sul posizionamento e sui precedenti italiani del volo oltre la vista, `proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid`
3. Studio su costi, maturità e scelta fra costruire e acquistare, punti di decisione, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`

CAPITOLO 8

I dati, la privacy e la sovranità digitale

IN BREVE

Costruisce il tratto distintivo del progetto: i dati del territorio restano sotto diritto europeo, elaborati a bordo e minimizzati per progetto, senza dipendere da infrastrutture che altri possono spegnere o leggere.

GDPR e DPIA	Elaborazione a bordo	In UE
CONFORMITÀ PER PROGETTO	MINIMIZZAZIONE DEL DATO	ARCHIVIAZIONE SOVRANA

NEL CAPITOLO

8.1 La trappola di Starlink . . . 274
8.2 Il conflitto fra le norme, protezione europea e accesso statunitense . . . 276
8.3 La dipendenza dal cloud straniero . . . 277
8.4 Le alternative sovrane sul fronte satellitare . . . 279
8.5 Le alternative sovrane sul fronte dei dati . . . 280
8.6 La privacy dei dati raccolti in volo, valutazione d'impatto e base giuridica . . . 282
8.7 La protezione fin dalla progettazione e la lezione del caso Treviso . . . 283
8.8 L'intelligenza artificiale di bordo e le sue regole . . . 285
8.9 La componente di sicurezza e gli obblighi di conformità che ne discendono . . . 286
8.10 La sovranità come principio di progetto e come vantaggio competitivo . . . 288
8.11 Il territorio, le cooperative e il controllo [3] del dato . . . 289
8.12 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte . . . 291

La connettività è la promessa fondativa da cui il bando prende le mosse, il bisogno delle valli isolate a cui il velivolo vuole rispondere, ma proprio da quella promessa nasce un rischio che sarebbe imprudente non guardare in faccia, perché la soluzione più facile al problema della connessione, appoggiarsi alle grandi costellazioni satellitari straniere e in particolare a Starlink, è anche una trappola che scambia una dipendenza con un'altra. E c'è un secondo rischio, meno appariscente ma altrettanto serio, perché ogni volo raccoglie dati, spesso dati personali delle persone e delle comunità sorvolate, e chi li raccoglie ne risponde davanti alla legge e davanti a quelle comunità.

Il capitolo affronta insieme i due temi, la sovranità e la privacy, perché nascono dalla stessa radice, cioè dalla domanda di chi controlli davvero l'informazione raccolta sul territorio, e sostiene una tesi precisa che ne attraversa ogni sezione, che entrambi i rischi vanno trasformati in un principio di progettazione, la sovranità e la protezione dei dati costruite fin dall'inizio dentro l'architettura del sistema e non aggiunte dopo come una toppa. È questa scelta a distinguere il progetto da un semplice servizio di droni e a renderlo davvero utile e affidabile per Firmamento Technologies che lo opera, per le cooperative del territorio che ne beneficiano e per i clienti pubblici che lo commissionano, ed è la ragione per cui lo studio la tratta non come un adempimento ma come una proposta di valore.

Il percorso del capitolo muove dal rischio più concreto e discusso, la dipendenza da Starlink per la connettività e il precedente del suo spegnimento unilaterale, per allargarsi poi al conflitto strutturale fra la protezione europea dei dati e l'accesso extraterritoriale statunitense, e alla dipendenza analoga che si annida nel cloud, dominato da poche aziende americane. Passa quindi alle alternative sovrane, sul fronte satellitare con la costellazione europea in costruzione e sul fronte del trattamento dei dati con le infrastrutture nazionali ed europee disponibili, distinguendo con onestà ciò che è già utilizzabile da ciò che resta una prospettiva. Affronta poi la privacy dei dati raccolti in volo, con l'obbligo di valutazione d'impatto, la scelta della base giuridica e la protezione fin dalla progettazione illustrata anche attraverso una sanzione italiana recente, e l'intelligenza artificiale di bordo con le regole che la nuova legge europea le impone quando tocca le infrastrutture critiche. Dedica una sezione alla componente di sicurezza del modello di ricavo e agli obblighi di conformità e di controllo delle esportazioni che ne discendono, che per un velivolo che guarda anche a quel mercato non sono un dettaglio, e chiude collegando la sovranità del dato al territorio e al mondo cooperativo, con Legacoop Liguria e Coopfond a sostegno, prima di tirare le fila con le implicazioni e le verifiche aperte.

Il filo che tiene insieme tutto questo è che la sovranità non è un'astrazione ideologica ma una scelta concreta di infrastrutture e di architettura, che si esprime nel dove e sotto quale giurisdizione risiedono i dati, nel chi controlla i sistemi che li comandano, e nel come il velivolo tratta l'informazione fin dal sensore. Il secondo filo è che questa scelta, lungi dall'essere un costo che riduce la competitività, è precisamente ciò che la costruisce, perché in un mercato in cui l'hardware dei droni è una merce indifferenziata la capacità di garantire il controllo nazionale e sovrano del dato è un valore raro che i clienti pubblici cercano e pagano. È con questa convinzione, e con l'onestà di dichiarare ciò che è già possibile e ciò che resta da verificare, che il capitolo affronta il nodo che il cliente ha posto al cuore del progetto.

8.1 La trappola di Starlink

Il problema della sovranità si pone nel modo più concreto quando si cerca come portare a terra i dati raccolti in volo o come fare da ponte di connessione nelle valli isolate, perché la

risposta tecnicamente più facile ed efficiente sarebbe affidarsi a Starlink, la costellazione di satelliti in orbita bassa dell'azienda statunitense SpaceX, che offre banda larga a bassa latenza praticamente ovunque, comprese le zone dove nessuna rete terrestre arriva. È una soluzione seducente proprio perché risolve alla radice il problema fisico che il capitolo sull'area di riferimento ha descritto, la difficoltà del segnale terrestre a raggiungere valli strette e versanti in ombra, e per questo va nominata direttamente e discussa apertamente, perché è la tentazione più forte e il rischio più grande che il progetto deve saper riconoscere ed evitare.

Che la tentazione sia reale e attuale lo dimostra il fatto che l'Italia stessa ha valutato e in parte imboccato questa strada, con una trattativa per un accordo quinquennale dell'ordine di un miliardo e mezzo di euro fra il governo italiano e SpaceX per i servizi di Starlink, riportata dalla stampa nel 2025 e mai confermata né perfezionata, ma diventata ugualmente il caso emblematico delle tensioni fra efficienza tecnologica e sovranità nazionale [1]. Discuterne apertamente serve al progetto non per prendere posizione politica ma per trarne la lezione operativa, perché se persino lo Stato ha considerato di appoggiarsi a Starlink per le proprie comunicazioni, a maggior ragione un operatore che porta connettività nelle aree interne ne subisce l'attrazione, e proprio per questo deve avere chiari i due rischi che quella scelta comporta e che il cliente ha indicato con nettezza.

Il primo rischio è la dipendenza da decisioni unilaterali di un'azienda privata straniera, che può spegnere, degradare o condizionare il servizio a proprio piacimento, senza che l'utente possa opporsi. Non è un timore teorico, perché esiste un precedente clamoroso e documentato, quello dello spegnimento di Starlink in un teatro di guerra, quando la connettività è stata negata in un momento operativamente critico per decisione della sola azienda, dimostrando che il controllo di quell'infrastruttura resta in mani che non sono quelle di chi la usa [1]. Per un servizio che porta connessione nelle emergenze delle valli isolate, cioè proprio quando la connettività è più vitale, dipendere da un'infrastruttura che qualcun altro può spegnere è una fragilità inaccettabile, perché vanifica la promessa stessa del progetto, che è dare al territorio uno strumento autonomo e affidabile e non una comodità revocabile a discrezione altrui.

Il secondo rischio riguarda l'accesso ai dati, perché le informazioni che transitano per l'infrastruttura di un fornitore statunitense come SpaceX ricadono sotto una giurisdizione straniera che ne può autorizzare l'accesso, per effetto del conflitto fra gli ordinamenti che la sezione seguente descrive in dettaglio. Portare connessione dove manca è un atto di autonomia del territorio, ma se lo si fa attraverso Starlink, che è un'infrastruttura che qualcun altro può spegnere e i cui dati qualcun altro può leggere, quell'autonomia è illusoria e si sostituisce una dipendenza a un'altra, per giunta una dipendenza da un soggetto sottratto al controllo nazionale ed europeo. È il paradosso che il progetto deve evitare, quello di colmare il divario digitale delle aree interne consegnando però il controllo del nuovo canale a un'azienda straniera, il che tradirebbe lo spirito stesso del bando, che vuole restituire al territorio il governo dei propri strumenti e non spostarne la dipendenza da un monopolio all'altro.

Ne discende la posizione che il progetto assume e che il resto del capitolo argomenta e rende concreta, cioè che Starlink va trattato come una soluzione di ultima istanza e temporanea, ammissibile solo dove nessuna alternativa esista e per il tempo strettamente necessario, e mai come l'infrastruttura di riferimento del servizio. Questo non significa negare che Starlink funzioni, perché tecnicamente funziona ed è anzi superiore a molte alternative sul terreno della copertura pura, ma riconoscere che la superiorità tecnica non è l'unico criterio, e che per un progetto che fa della sovranità del dato la propria ragione d'essere il controllo conta quanto la prestazione. La sezione sulle alternative sovrane mostrerà che rinunciare a Starlink non significa rinunciare alla connettività, ma sceglierne con cura le infrastrutture, privilegiando quelle europee e nazionali che restituiscono al territorio il controllo che Starlink gli

toglierebbe, e che questa scelta, apparentemente più difficile, è in realtà l'unica coerente con la missione del progetto e con la preoccupazione che il cliente ha posto al suo centro.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti strategici e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Analisi del dilemma di Starlink per l'Italia, trattativa quinquennale con SpaceX riportata dalla stampa e mai perfezionata, rischio di decisioni unilaterali e precedente dello spegnimento in teatro di guerra, `law-ai-act-sovranita` con fonti `leg_4ba64930f17d` e `leg_acbd11fec3d9`

8.2 Il conflitto fra le norme, protezione europea e accesso statunitense

Alla radice del rischio sui dati c'è un conflitto strutturale fra due ordinamenti giuridici che vale la pena spiegare in modo piano, perché è la ragione tecnica per cui affidarsi a un fornitore statunitense, che sia SpaceX per la connettività o un gestore americano di cloud per l'elaborazione, non è una scelta neutra ma una scelta di campo sulla sovranità dei dati. Da un lato c'è l'ordinamento europeo, con il regolamento generale sulla protezione dei dati personali, che vieta di trasferire quei dati verso paesi che non offrono una protezione equivalente a quella europea, e dall'altro c'è l'ordinamento statunitense, con una legge sull'accesso ai dati che autorizza le proprie autorità ad accedere alle informazioni detenute dai fornitori americani ovunque quelle informazioni siano fisicamente conservate, anche su server situati in Europa [1]. I due ordinamenti si contraddicono, perché ciò che l'uno vieta l'altro impone, e questa contraddizione non è sanabile con i soli strumenti contrattuali, il che colloca qualunque sistema che affidi dati personali a un fornitore americano in una posizione di conflitto giuridico permanente.

Il conflitto si è aggravato nel 2020 con una sentenza fondamentale della corte di giustizia europea, che ha invalidato l'accordo che fino ad allora facilitava i trasferimenti di dati verso gli Stati Uniti, giudicandolo inadeguato a garantire la protezione richiesta dal diritto europeo, e ha imposto che ogni trasferimento sia accompagnato da garanzie sostanzialmente equivalenti a quelle europee, garanzie che di fatto sono difficili da assicurare proprio a causa della legge statunitense sull'accesso ai dati [2][3]. Questa sentenza ha reso ancora più stretto lo spazio per appoggiarsi ai fornitori americani senza violare il diritto europeo, e ha spostato l'onere sull'operatore, che deve dimostrare caso per caso l'adeguatezza delle garanzie, un onere gravoso e dall'esito incerto che il progetto ha ogni interesse a evitare alla radice scegliendo fornitori non soggetti alla giurisdizione statunitense.

Per capire la portata concreta del problema conviene tradurlo nel caso del progetto. Un velivolo che sorvola una valle raccoglie immagini che possono contenere volti, targhe, abitazioni, cioè dati personali, e questi dati vanno elaborati e conservati da qualche parte. Se quel qualche parte è un servizio di cloud di un fornitore statunitense, anche con i server collocati in Europa, i dati ricadono potenzialmente sotto la legge americana sull'accesso, e l'operatore si trova nella posizione contraddittoria di violare il diritto europeo che lo obbliga a proteggerli oppure il contratto con un cliente pubblico che gli chiede di custodirli in ambito nazionale. Non è un cavillo per giuristi ma una questione dirimente, perché sceglie di fatto sotto quale sovranità ricadono le informazioni sensibili delle comunità servite, e perché un

cliente pubblico attento, tenuto esso stesso al rispetto delle norme, può escludere dalla gara un operatore che non gli garantisca il controllo nazionale del dato.

Va colto un aspetto che rende il problema più insidioso di quanto appaia, cioè che il conflitto non riguarda soltanto la conservazione dei dati ma l'intero percorso che essi compiono, dal momento in cui il sensore li cattura al momento in cui il cliente li riceve. Se anche i dati fossero conservati in Italia, ma transitassero per il collegamento satellitare di Starlink, o fossero elaborati da un servizio americano, o dipendessero da un software che risponde a comandi stranieri, la loro sovranità sarebbe compromessa in uno di questi passaggi. È per questo che la risposta non può essere puntuale, cioè limitarsi a scegliere un archivio nazionale, ma deve essere architetturale, cioè ripensare l'intero percorso del dato in modo che in nessun suo punto il controllo esca dal perimetro nazionale ed europeo, come le sezioni sulle alternative sovrane e sul principio di progetto argomentano.

Ne discende una conclusione che orienta tutte le scelte del capitolo, cioè che la conformità al diritto europeo sulla protezione dei dati e la sovranità nazionale del dato non sono due obiettivi distinti ma lo stesso obiettivo visto da due lati, e che entrambi si raggiungono con la stessa scelta di fondo, sottrarre l'intero ciclo dei dati alla giurisdizione statunitense scegliendo infrastrutture europee e nazionali. Questa scelta non nasce da un pregiudizio verso la tecnologia americana, che è spesso eccellente, ma dalla constatazione giuridica che affidarle dati personali raccolti sul territorio italiano espone a un conflitto di norme insanabile e a un rischio di sanzioni pesanti, e dalla constatazione strategica che un progetto nato per restituire al territorio il controllo dei propri strumenti non può fondarsi su infrastrutture che quel controllo lo negano. È la traduzione giuridica della stessa preoccupazione che il cliente ha posto sul piano strategico, e le due si rafforzano a vicenda.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Conflitto fra la protezione europea dei dati e l'accesso extraterritoriale statunitense ai dati detenuti dai fornitori americani, `law-ai-act-sovranita` con fonti `leg_6d2f2fdf4368` e `leg_ea8e1b1c801d`
2. Sentenza europea del 2020 che ha invalidato l'accordo sui trasferimenti transatlantici e richiesto garanzie sostanzialmente equivalenti, `leg_d4b3fd688f18` e `leg_db7f8800bfb1`
3. Sintesi del dominio sulla protezione dei dati personali e sui trasferimenti internazionali, `law-gdpr`

8.3 La dipendenza dal cloud straniero

Se Starlink è il volto più visibile della dipendenza straniera, ce n'è uno meno appariscente ma altrettanto insidioso, che si annida nel luogo dove i dati raccolti dal velivolo vengono elaborati e conservati, cioè nel cloud, l'insieme dei centri dati remoti su cui poggia gran parte dell'informatica contemporanea. È un punto che va reso esplicito, perché è facile concentrarsi sul canale di trasmissione e trascurare che il vero valore del progetto, l'elaborazione del dato in prodotto, avviene a terra su un'infrastruttura di calcolo, e che se quell'infrastruttura è straniera la sovranità è compromessa anche quando il collegamento è nazionale. La sezione precedente ha mostrato il conflitto giuridico che ne deriva, questa mostra la dimensione del problema e perché sia difficile da evitare senza una scelta deliberata.

La difficoltà nasce dal fatto che il mercato del cloud europeo è dominato in misura schiacciante da poche aziende statunitensi, tanto che tre sole di esse, i grandi fornitori americani di servizi cloud, controllano oltre due terzi del mercato europeo, mentre i fornitori europei occupano una quota marginale [1]. Questo dominio non è casuale ma il frutto di un vantaggio di scala e di anni di investimenti, e ha come conseguenza che la scelta apparentemente ovvia e comoda, appoggiarsi a uno di questi grandi fornitori per elaborare le immagini e i dati raccolti in volo, è anche la scelta che consegna quei dati alla giurisdizione statunitense e al conflitto di norme già descritto. La comodità e l'economicità del cloud straniero sono reali, ma sono precisamente ciò che rende la dipendenza così diffusa e così difficile da spezzare, perché scegliere un'alternativa sovrana richiede uno sforzo consapevole contro la corrente del mercato.

L'Unione europea ha preso atto di questa dipendenza come di un problema strategico, non solo per i droni ma per l'intera economia digitale, e ha avviato iniziative per ridurla. La più rilevante è una proposta legislativa che punta a triplicare in pochi anni la capacità dei centri dati europei, contrastando il dominio dei tre grandi fornitori americani e costruendo una capacità di calcolo sovrana su suolo europeo [1]. È un segnale importante, perché colloca la scelta del progetto di privilegiare infrastrutture europee non come un vezzo isolato ma dentro una direzione di marcia dell'intera Unione, e perché lascia prevedere che nei prossimi anni l'offerta di cloud sovrano europeo crescerà, rendendo la scelta sovrana progressivamente più facile ed economica di quanto sia oggi. Il progetto, scegliendo fin dall'inizio questa direzione, si colloca dalla parte giusta di una tendenza che l'Europa sta consolidando, anziché doversi adeguare in seguito.

Va però evitata una lettura ingenua, perché la sovranità del cloud non si esaurisce nel collocare fisicamente i server in Europa. Un dato ospitato su un centro dati in Italia ma gestito da un sistema di controllo che risponde a comandi di una casa madre straniera, o che dipende da software e chiavi crittografiche controllate all'estero, non è davvero sovrano, perché il controllo operativo e decisionale resta fuori dal perimetro nazionale. È la distinzione, che la letteratura più recente ha messo a fuoco, fra la semplice collocazione geografica dei dati e il controllo del piano di comando del servizio, cioè dei meccanismi che decidono chi può accedere ai dati, come vengono elaborati e chi può interrompere il servizio [2]. La vera sovranità, in questa lettura più matura, è il controllo del piano di comando e della governance, non la sola localizzazione fisica, e un progetto che voglia essere davvero sovrano deve guardare a questo livello più profondo e non accontentarsi della rassicurazione superficiale che i server sono in Europa.

Ne discende per il progetto una scelta architetturale precisa, che le sezioni sulle alternative sovrane e sul principio di progetto rendono concreta, cioè privilegiare per l'elaborazione e la conservazione dei dati infrastrutture non solo collocate in Italia o in Europa ma effettivamente controllate da soggetti nazionali o europei, e progettare il sistema in modo da mantenere il controllo del piano di comando, delle chiavi e della governance. Questo può significare appoggiarsi a infrastrutture pubbliche nazionali, oppure a fornitori europei che garantiscano il controllo del piano di comando, oppure ancora elaborare quanto più possibile a bordo e a terra su risorse proprie, riducendo la quantità di dati che deve viaggiare verso un cloud esterno. È una scelta più impegnativa di quella di default, ma è l'unica coerente con la missione del progetto, e le sezioni seguenti mostrano che le alternative concrete per compierla, pur con i loro limiti, esistono già e sono utilizzabili.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi e strategici e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Dominio del cloud europeo da parte di tre grandi fornitori statunitensi e proposta legislativa europea per triplicare la capacità dei centri dati, `law-ai-act-sovranita` con fonti `leg_7bd4e61a241b` e `leg_1a38d2f4aa2b`
2. Distinzione fra localizzazione dei dati e controllo del piano di comando del servizio, sovranità come controllo operativo e decisionale, `leg_0cf8a384973b`

8.4 Le alternative sovrane sul fronte satellitare

Riconosciuta la trappola di Starlink, la domanda diventa pratica, con che cosa lo si sostituisce, perché il bisogno di connettività resta e non basta rifiutare la soluzione straniera se non se ne offre una alternativa. La risposta va data con onestà, distinguendo ciò che è già disponibile da ciò che è una prospettiva, perché su questo fronte la sovranità europea è in costruzione ma non ancora pienamente operativa, e un progetto serio non può fondarsi su un'infrastruttura che non c'è ancora fingendo che ci sia.

L'alternativa europea di riferimento a Starlink si chiama costellazione europea, un sistema satellitare multi-orbita pubblico che l'Unione sta costruendo proprio per garantire una connettività resiliente e sovrana alle applicazioni governative e critiche, sottraendole alla dipendenza dagli operatori privati stranieri [1]. È la risposta strategica europea diretta al problema che Starlink incarna, e la sua esistenza conferma che l'Unione ha riconosciuto la dipendenza satellitare come un rischio di sovranità da colmare con un'infrastruttura propria. Va però detto con franchezza che questa costellazione ha due limiti che ne fanno per ora una prospettiva più che una soluzione immediata, il primo è che la sua piena operatività non è prevista prima della fine del decennio, intorno al 2030, e il secondo è che il suo costo è ingente, dell'ordine di 10 miliardi e mezzo di euro, il che ne fa un'impresa di lungo respiro e non un servizio attivabile domani [1][2]. Per il progetto questo significa che nell'orizzonte dei primi anni la costellazione europea non sarà disponibile, e che la sovranità del collegamento va perseguita nel frattempo con altri mezzi.

Quali siano questi altri mezzi dipende dalla missione e dall'orizzonte temporale, e conviene ragionarci con concretezza invece di rifugiarsi in una risposta di principio. Per il collegamento di comando e controllo del velivolo, la sezione tecnica sulle comunicazioni ha già indicato che il canale primario è terrestre, una rete radio a maglia sul territorio, e che il satellite interviene come riserva per il volo oltre l'orizzonte, il che riduce la dipendenza satellitare a una funzione di sicurezza e non di normale operatività. Per questa funzione di riserva si possono privilegiare, dove disponibili, operatori satellitari europei anziché Starlink, accettando prestazioni magari inferiori in cambio del controllo sovrano, oppure si può limitare il ricorso al satellite ai casi in cui è davvero indispensabile, riducendone il peso complessivo. La scelta di far viaggiare sul collegamento solo il risultato elaborato a bordo e non il flusso grezzo, già discussa nei capitoli tecnici, aiuta anche qui, perché riduce la banda necessaria e quindi rende praticabili alternative satellitari meno capaci ma sovrane.

Per la missione di connettività d'emergenza alle valli, cioè quando il velivolo fa da ponte per portare rete dove le antenne terrestri non arrivano, il ragionamento è analogo ma più delicato, perché è proprio la funzione in cui la tentazione di appoggiarsi a Starlink è più forte, dato che serve una capacità di collegamento verso l'esterno che le reti terrestri non

offrono. Anche qui la risposta sovrana esiste ma richiede scelte consapevoli, privilegiare il collegamento del ponte verso reti terrestri nazionali dove raggiungibili, ricorrere a operatori satellitari europei per il tratto verso l'esterno, e in ogni caso trattare l'eventuale ricorso a Starlink come una soluzione di ultima istanza e temporanea, limitata alle emergenze in cui nessuna alternativa esista e per il tempo strettamente necessario, come la sezione sulla trappola ha stabilito. Non è una risposta comoda, ma è coerente, e riflette la natura reale del problema, che non ammette una soluzione unica e perfetta ma richiede di comporre caso per caso la migliore combinazione disponibile fra prestazione e sovranità.

Ne discende una posizione articolata e onesta, che il progetto assume e che conviene enunciare con chiarezza per non cadere né nell'ingenuità né nell'ipocrisia. La sovranità piena del collegamento satellitare non è pienamente raggiungibile oggi, perché la costellazione europea non è ancora operativa, e fingere il contrario sarebbe disonesto. Ma la dipendenza da Starlink può e deve essere ridotta al minimo indispensabile, appoggiando l'operatività normale su reti terrestri sovrane, limitando il satellite a funzioni di riserva e di emergenza, privilegiando gli operatori europei dove disponibili, riducendo la banda necessaria con l'elaborazione a bordo, e preparandosi ad adottare la costellazione europea appena sarà operativa. È una strategia di transizione, che accetta la realtà attuale senza rassegnarvisi, e che tiene la rotta verso la sovranità piena mentre naviga nelle acque imperfette del presente, ed è il modo maturo di affrontare un problema che non ha una soluzione immediata ma ha una direzione chiara.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti strategici e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Costellazione satellitare europea multi-orbita pubblica per la connettività sovrana, orizzonte di operatività e costo, `law-ai-act-sovranita` con fonti `leg_73d77bc4d6a8` e `leg_e7926b339be5`
2. Confronto fra la sovranità spaziale europea e la dipendenza da Starlink, `leg_73d77bc4d6a8`

8.5 Le alternative sovrane sul fronte dei dati

Se sul fronte satellitare la sovranità piena è ancora una prospettiva, sul fronte dell'elaborazione e della conservazione dei dati la situazione è migliore, perché esistono già soluzioni sovrane utilizzabili, ed è una buona notizia per il progetto, dato che è proprio a terra, nell'elaborazione del dato in prodotto, che si concentra gran parte del suo valore. La sezione mostra che rinunciare ai grandi fornitori americani di cloud non significa rinunciare a elaborare e conservare i dati, ma sceglierne con cura le infrastrutture fra le opzioni nazionali ed europee disponibili, alcune delle quali sono già operative e altre in rapido consolidamento.

La prima opzione è l'infrastruttura pubblica nazionale che l'Italia ha costituito per ospitare i dati critici della pubblica amministrazione, un polo strategico pensato proprio per garantire che le informazioni sensibili dello Stato risiedano su suolo nazionale e sotto controllo nazionale, sottratte alla giurisdizione straniera [1]. Per un progetto che serve clienti pubblici e raccoglie dati sul territorio, la possibilità di appoggiarsi a un'infrastruttura di questa natura, o di adottarne i criteri, è preziosa, perché offre una collocazione sovrana dei dati coerente con gli obblighi degli stessi clienti pubblici, che sono tenuti a custodire in ambito nazionale le proprie informazioni critiche. Va però mantenuta l'onestà che tutto il capitolo adotta, riconoscendo che le iniziative nazionali di cloud sovrano hanno dato finora risultati contrastanti, e che la

scelta concreta dell'infrastruttura va istruita valutandone la maturità, il costo e le garanzie reali, come la sezione sulle verifiche aperte ribadisce.

La seconda opzione si muove a livello europeo, dove sono attive iniziative per costruire un ecosistema di dati federato e sovrano, che consenta ai dati di circolare fra soggetti europei sotto regole europee senza uscire dal perimetro giuridico dell'Unione, e la già citata proposta legislativa per triplicare la capacità dei centri dati europei, che punta a costruire l'infrastruttura di calcolo su cui quella sovranità possa poggiare [2]. Sono iniziative in costruzione, con la stessa cautela che vale per la costellazione satellitare, ma indicano una direzione europea consolidata verso la quale il progetto può orientarsi, e la cui maturazione nei prossimi anni renderà la scelta sovrana progressivamente più facile ed economica. Il progetto, adottando fin dall'inizio i criteri della sovranità, si mette nella condizione di sfruttare queste infrastrutture man mano che diventano disponibili, senza doversi riconvertire in seguito.

La terza opzione, e per certi versi la più immediata e sotto il controllo diretto del progetto, è ridurre alla fonte la quantità di dati che deve essere affidata a un'infrastruttura esterna, elaborando quanto più possibile a bordo del velivolo e a terra su risorse proprie. È la scelta, già discussa nei capitoli tecnici per le sue ragioni di banda e di protezione, che qui rivela la sua piena valenza di sovranità, perché un dato elaborato a bordo, ridotto al solo risultato utile e conservato su risorse controllate dall'operatore, non ha bisogno di viaggiare verso un cloud straniero e sfugge per costruzione al conflitto di norme. Meno informazione lascia il circuito controllato, minore è la superficie di rischio, e questo principio di minimizzazione, che la normativa sulla protezione dei dati impone e che la sovranità premia, è una leva che il progetto controlla interamente, indipendentemente dalla maturazione delle infrastrutture nazionali ed europee.

Ne discende una strategia dei dati a tre livelli che compone le opzioni invece di sceglierne una sola, e che conviene enunciare perché è la traduzione concreta della sovranità sul fronte dei dati. Al primo livello si minimizza, elaborando a bordo e a terra su risorse proprie e riducendo il dato al risultato utile, così che gran parte dell'informazione non lasci mai il perimetro controllato. Al secondo livello, per ciò che deve essere conservato ed elaborato su infrastruttura esterna, si sceglie un'infrastruttura sovrana, nazionale o europea, controllata da soggetti nazionali o europei e non solo collocata su suolo europeo, curando in particolare il controllo del piano di comando e delle chiavi. Al terzo livello si segue e si adotta l'evoluzione delle infrastrutture sovrane europee man mano che maturano, migliorando nel tempo la solidità della soluzione. È una strategia che, a differenza di quella satellitare, è già pienamente praticabile oggi, perché il livello della minimizzazione è interamente sotto il controllo del progetto e i livelli superiori dispongono di opzioni utilizzabili, e che dà alla sovranità del dato una concretezza operativa che va oltre la dichiarazione di principio.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti strategici e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Polo strategico nazionale per i dati critici della pubblica amministrazione e iniziative italiane di cloud sovrano dai risultati contrastanti, `law-ai-act-sovranita` con fonti `leg_84eb6eec5908` e `leg_4375b35b16ae`
2. Ecosistema europeo di dati federato e proposta legislativa per la capacità dei centri dati europei, `law-ai-act-sovranita` con fonti `leg_7bd4e61a241b` e `leg_1a38d2f4aa2b`

8.6 La privacy dei dati raccolti in volo, valutazione d'impatto e base giuridica

Accanto alla sovranità c'è la privacy, che nasce dalla stessa radice ma pone problemi propri, perché un velivolo che sorvola il territorio con sensori ottici e termici raccoglie immagini, e le immagini di persone, di veicoli, di abitazioni sono dati personali a tutti gli effetti, il cui trattamento è disciplinato dalla legge europea sulla protezione dei dati personali con obblighi stringenti che l'operatore deve rispettare fin dal primo volo [1]. È un terreno su cui è facile sbagliare e su cui le sanzioni sono pesanti, come una sezione mostrerà attraverso un caso italiano recente, e per questo il progetto lo affronta con la stessa serietà della tecnica, trattando la conformità non come un adempimento successivo ma come un requisito di progetto al pari degli altri.

Il primo obbligo, non negoziabile, è la valutazione d'impatto sulla protezione dei dati, un'analisi preventiva del rischio per i diritti e le libertà delle persone che va condotta prima di iniziare le operazioni ogni volta che il trattamento comporta un rischio elevato [2]. Per i droni questa condizione si verifica facilmente, perché il rischio elevato ricorre nelle valutazioni sistematiche su larga scala, nella raccolta di dati sensibili in quantità significativa e nel monitoraggio sistematico di spazi accessibili al pubblico su larga scala, tutte situazioni tipiche del sorvolo del territorio, e l'autorità italiana ha precisato che il ricorrere di due soli criteri su una lista di nove rende la valutazione obbligatoria [2][3]. Questo significa che per la gran parte delle missioni del progetto la valutazione d'impatto è dovuta, e va condotta prima del volo con l'assistenza di competenze legali specializzate, il che ne fa una voce di costo e di tempo da mettere a bilancio e a calendario fin dall'inizio, come il capitolo economico riconosce. Trattarla come un adempimento da rimandare sarebbe un errore, perché è un requisito preliminare la cui assenza rende illecito il trattamento a prescindere dalla bontà delle intenzioni.

Il secondo nodo è la base giuridica del trattamento, cioè la ragione di diritto che legittima la raccolta e l'uso dei dati, ed è un nodo più sottile di quanto appaia. La base più intuitiva, il consenso delle persone riprese, è quasi sempre impraticabile con i droni, perché è impossibile ottenere un consenso libero e informato da tutte le persone che si trovano sotto la rotta di sorvolo di un velivolo che copre valli e territori ampi [4]. Il progetto dovrà quindi appoggiarsi ad altre basi giuridiche, e le due più pertinenti sono il legittimo interesse del titolare, valido per esempio nella sorveglianza di un fondo o di un'infrastruttura ma da bilanciare sempre con i diritti delle persone, e l'esecuzione di un compito di interesse pubblico, particolarmente adatto alle missioni svolte per conto di clienti pubblici come il monitoraggio dei rischi naturali o la protezione civile [4]. La scelta della base giuridica va documentata per ogni tipo di missione, con il bilanciamento fra la finalità perseguita e i diritti delle persone riprese, e diventa parte integrante della valutazione d'impatto e del manuale operativo, perché è ciò che rende difendibile il trattamento davanti all'autorità e alle comunità.

Va colto un aspetto che rende la questione della base giuridica particolarmente favorevole al progetto, cioè che molte delle sue missioni civili hanno una finalità di interesse pubblico chiara e documentabile, il monitoraggio del dissesto, la prevenzione degli incendi, il soccorso, la protezione delle infrastrutture, che offre una base giuridica solida e coerente con la natura del servizio. Un velivolo che sorvola un versante per individuare una frana incipiente o un principio d'incendio persegue una finalità di sicurezza collettiva che regge il bilanciamento con i diritti individuali assai meglio di una sorveglianza generica, e questo colloca il progetto in una posizione di conformità più agevole rispetto a un uso indiscriminato dei droni. La chiave è che la finalità sia specifica, documentata e proporzionata, e che la raccolta dei dati

sia limitata a quanto serve per quella finalità, principio di minimizzazione che la sezione seguente traduce in misure tecniche concrete.

Ne discende un metodo di lavoro che il progetto adotta per la conformità alla protezione dei dati, e che conviene enunciare perché ne mostra il carattere sistematico e non improvvisato. Per ogni tipo di missione si conduce prima del volo la valutazione d'impatto, si individua e si documenta la base giuridica appropriata, di norma il legittimo interesse o l'interesse pubblico e non il consenso, si definiscono le misure tecniche di minimizzazione e di protezione che la sezione seguente descrive, e si predispone la trasparenza verso le persone potenzialmente sorvolate. Questo metodo, ripetuto per ogni categoria di missione e consolidato nel manuale operativo, trasforma la conformità da un rischio imprevedibile in un processo governato, ed è ciò che distingue un operatore professionale, destinato a reggere il confronto con l'autorità e con i clienti pubblici, da un operatore improvvisato che tratta la privacy come un dettaglio e si espone a sanzioni che, come si vedrà, possono essere pesantissime.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Sintesi del dominio sulla protezione dei dati personali nelle operazioni con droni e applicazione della legge europea, `law-gdpr`
2. Obbligo di valutazione d'impatto sulla protezione dei dati per i trattamenti a rischio elevato e scenari tipici dei droni, `leg_b2c149d54ee0`
3. Criterio dell'autorità italiana per cui il ricorrere di due criteri su nove rende obbligatoria la valutazione d'impatto, `leg_6c7b93b685d7`
4. Inadeguatezza del consenso come base giuridica per i droni e ricorso al legittimo interesse o all'interesse pubblico, `leg_a6ae7495b6f9`

8.7 La protezione fin dalla progettazione e la lezione del caso Treviso

Che gli obblighi sulla protezione dei dati siano concreti e non teorici, e che le sanzioni per chi li ignora siano pesanti, lo dimostra un caso italiano recente che vale la pena raccontare perché è la lezione più istruttiva di tutto il capitolo sul versante della privacy. Un comune del Veneto è stato sanzionato dall'autorità garante per la protezione dei dati per aver impiegato droni dotati di termocamere in operazioni di polizia notturna senza rispettare le norme sulla protezione dei dati personali, mancando la base giuridica adeguata e le garanzie richieste [1]. È un precedente che segnala due cose insieme, quanto sia facile sbagliare anche in buona fede, perché il comune usava i droni per una finalità di sicurezza apparentemente legittima, e quanto sia rischioso farlo senza il metodo corretto, perché le sanzioni previste dalla legge europea possono arrivare fino a 20 milioni di euro o al 4 per cento del fatturato annuo, cifre che per un piccolo operatore sarebbero rovinose [2]. La lezione per il progetto è netta, la conformità non è un optional che si può rimandare, ma una condizione di sopravvivenza dell'impresa, e va costruita nel modo giusto fin dall'inizio.

Il modo giusto ha un nome tecnico, la protezione dei dati fin dalla progettazione e per impostazione predefinita, e significa incorporare le misure di tutela dentro l'architettura del sistema e nelle procedure operative, anziché aggiungerle dopo come correttivi. È lo stesso principio che governa la sovranità, e non a caso, perché entrambi nascono dall'idea che il controllo e la tutela dell'informazione vadano progettati e non rattoppati. Le raccomandazioni

delle autorità europee indicano un insieme di misure tecniche concrete che il progetto adotta, e conviene descriverle perché mostrano come un principio astratto diventi ingegneria [3]. La prima è la delimitazione geografica del volo, che limita le aree effettivamente sorvolate a quelle necessarie alla missione, riducendo la raccolta di immagini di zone e persone estranee. La seconda è l'oscuramento automatico degli elementi identificativi, cioè la sfocatura dei volti e delle targhe direttamente a bordo o nella prima elaborazione, così che i dati personali non necessari non vengano nemmeno conservati. La terza è la limitazione della risoluzione e della durata delle registrazioni a quanto serve per la finalità, evitando di raccogliere più dettaglio e più tempo del necessario.

A queste misure di minimizzazione si aggiungono politiche chiare di conservazione e di cancellazione, perché la legge non consente di conservare le immagini a tempo indeterminato, ma impone di cancellarle dopo un periodo breve e giustificato, dell'ordine di pochi giorni salvo esigenze specifiche come la prova in un contenzioso [4]. Il progetto adotta quindi per ogni tipo di dato una regola di conservazione definita, con la cancellazione automatica allo scadere del termine, e la documenta nel registro dei trattamenti. Si aggiunge inoltre l'obbligo di trasparenza verso le persone potenzialmente sorvolate, che vanno informate della presenza del velivolo, del titolare del trattamento e delle finalità della raccolta, tipicamente attraverso cartelli posizionati ai confini dell'area operativa prima del raggio di azione dei sensori [4]. Sono misure che possono sembrare minute ma che sono esattamente ciò che distingue un trattamento conforme da uno sanzionabile, come il caso del comune veneto dimostra, e la loro adozione sistematica è parte integrante del manuale operativo del progetto.

Va sottolineato un punto in cui una scelta tecnica del progetto serve direttamente la protezione dei dati, cioè la decisione, già discussa nei capitoli tecnici per le sue ragioni di banda e di sovranità, di elaborare i dati a bordo e di trasmettere e conservare solo il risultato utile anziché il flusso grezzo di immagini. Questa scelta è una misura di protezione dei dati di prim'ordine, perché meno dati personali vengono trasmessi e conservati, minore è il rischio per la privacy e più semplice la conformità, e perché un sistema che riconosce a bordo ciò che conta, un principio d'incendio, un movimento del terreno, un capo di bestiame, e trasmette a terra solo quell'informazione, non ha bisogno di conservare l'immagine dei volti delle persone che si trovavano nel campo visivo. È un esempio limpido di come le tre esigenze del progetto, l'efficienza tecnica, la sovranità e la protezione dei dati, convergano sulla stessa soluzione architetturale, l'elaborazione a bordo e la minimizzazione, il che conferma che le scelte del progetto sono state pensate come un sistema coerente e non come una somma di risposte separate.

Ne discende una conclusione che collega questa sezione al resto del capitolo, cioè che la protezione dei dati fin dalla progettazione non è un vincolo che riduce il valore del servizio ma una componente di quel valore, perché un operatore che garantisce ai clienti pubblici la piena conformità alla protezione dei dati, con le sue misure tecniche e le sue procedure documentate, offre una tranquillità che i clienti stessi, tenuti a rispondere del trattamento, cercano e apprezzano. Il caso del comune veneto lo dimostra a contrario, mostrando quanto costa sbagliare, e il progetto ne trae la lezione trasformando la conformità in un elemento della propria proposta di valore, esattamente come fa con la sovranità. La privacy e la sovranità, in questo senso, non sono due fardelli ma due facce dello stesso vantaggio competitivo, il controllo affidabile e conforme dell'informazione raccolta sul territorio, che è ciò che il progetto offre e che pochi concorrenti possono offrire con la stessa credibilità.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Sanzione dell'autorità garante a un comune veneto per l'uso di droni con termocamere in operazioni di polizia notturna, `leg_5f5aa8097f91`
2. Entità delle sanzioni previste dalla legge europea sulla protezione dei dati, fino a 20 milioni di euro o al 4 per cento del fatturato, `leg_b9458f7f962e`
3. Raccomandazioni delle autorità europee sulle misure tecniche di protezione fin dalla progettazione, delimitazione geografica, oscuramento, minimizzazione, `leg_27fa6f4fe500` e `leg_d17fdceb6d28`
4. Politiche di conservazione e cancellazione delle immagini e obbligo di trasparenza verso le persone sorvolate, `leg_5699279990a1` e `leg_4a091126c40b`

8.8 L'intelligenza artificiale di bordo e le sue regole

Una tessera importante del quadro riguarda l'intelligenza artificiale che il velivolo porta a bordo per riconoscere ciò che osserva, perché è uno dei punti di forza del progetto ma è anche soggetta a un quadro normativo europeo nuovo e in via di assestamento, che il progetto deve conoscere e anticipare. Il calcolatore di bordo che riconosce un principio d'incendio, un movimento del terreno o un capo di bestiame, e che consente di elaborare a bordo trasmettendo solo il risultato, è un sistema di intelligenza artificiale, e la nuova legge europea sull'intelligenza artificiale, entrata nel suo percorso di applicazione, ne disciplina l'uso con obblighi crescenti secondo il rischio, in una logica proporzionale simile a quella che governa il volo dei droni.

Il punto rilevante per il progetto è che la legge europea classifica come ad alto rischio i sistemi di intelligenza artificiale impiegati come componenti di sicurezza nella gestione e nel funzionamento delle infrastrutture critiche, come le reti elettriche, i trasporti o le opere idrauliche [1]. Poiché alcune missioni del progetto riguardano proprio il monitoraggio e l'ispezione di queste infrastrutture, il sistema di riconoscimento automatico di bordo potrebbe ricadere in questa categoria ad alto rischio quando è usato per quelle finalità, con l'obbligo di dotarsi fin dall'inizio di un quadro di responsabilità strutturato che quantifichi i rischi, documenti il funzionamento del sistema e chiarisca chi risponde di che cosa lungo il ciclo di vita del servizio [1][2]. È un ambito che il progetto deve seguire con attenzione, distinguendo missione per missione dove l'uso tocca le infrastrutture critiche e fa scattare gli obblighi più severi, da dove invece l'uso resta a rischio più contenuto, perché non tutte le applicazioni ricadono nella categoria ad alto rischio e un'applicazione della stessa tecnologia può avere obblighi diversi secondo la finalità.

Va riconosciuto con onestà che questo è un terreno ancora in movimento, con vuoti normativi da colmare, perché la legge europea sull'intelligenza artificiale detta principi generali ma non fornisce ancora regole specifiche per settori come l'energia, e la sua interazione con le norme tecniche di sicurezza esistenti è in via di definizione, tanto che alcune di quelle norme tradizionali di fatto limitano l'uso dell'intelligenza artificiale per certi livelli di sicurezza [2]. Questa incertezza non va nascosta ma gestita, e il modo di gestirla è duplice, da un lato seguire da vicino l'evoluzione del quadro come si segue quella normativa aeronautica, dall'altro progettare fin d'ora il sistema di bordo in modo da poter soddisfare gli obblighi più severi qualora si applichino, con la tracciabilità del funzionamento, la documentazione dei dati di

addestramento e la supervisione umana, così da non trovarsi impreparati quando le regole si assesteranno. È lo stesso principio di anticipazione che governa le altre scelte del progetto, prevedere per tempo ciò che sarà richiesto anziché rincorrerlo.

La coerenza con il resto delle scelte del progetto è comunque forte, e va messa in luce perché mostra ancora una volta l'unità del disegno. Un'intelligenza artificiale che elabora a bordo, sotto il controllo dell'operatore e con dati che non lasciano il circuito nazionale ed europeo, è molto più facile da rendere conforme e da governare di una che deleghi l'elaborazione a servizi stranieri opachi, di cui non si controllano né i dati né gli algoritmi. La scelta di elaborare a bordo, compiuta per ragioni tecniche e di sovranità, si rivela quindi favorevole anche sul piano della conformità alla legge sull'intelligenza artificiale, perché mantenere il sistema e i suoi dati dentro il perimetro controllato dell'operatore rende possibile quella tracciabilità e quella supervisione che la legge richiede, mentre affidarli a un servizio esterno le renderebbe assai più difficili. È l'ennesima conferma che sovranità, protezione dei dati e conformità all'intelligenza artificiale convergono sulla stessa architettura, e che le scelte del progetto, pensate come sistema, si sostengono a vicenda su piani diversi.

Ne discende una raccomandazione operativa che il progetto adotta e che chiude questa sezione, cioè trattare la conformità dell'intelligenza artificiale di bordo con lo stesso metodo sistematico usato per la protezione dei dati, mappando per ogni tipo di missione il livello di rischio del sistema secondo la legge europea, predisponendo per le missioni ad alto rischio la documentazione e le garanzie richieste, e seguendo l'evoluzione del quadro per adeguarsi tempestivamente. Questo metodo, integrato con quello della valutazione d'impatto sulla protezione dei dati, compone un unico sistema di conformità che copre insieme la privacy e l'intelligenza artificiale, i due versanti normativi che toccano il trattamento dei dati a bordo, e che il progetto governa come una funzione permanente dell'impresa e non come un adempimento occasionale, con la consapevolezza che in un settore giovane la capacità di stare al passo con regole in evoluzione è essa stessa un vantaggio competitivo.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti normativi e di ricerca e letteratura di settore e fonti primarie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Classificazione ad alto rischio dei sistemi di intelligenza artificiale usati come componenti di sicurezza nelle infrastrutture critiche, `law-ai-act-sovranita` con fonte `leg_2aa5005bbfc6`
2. Vuoti normativi della legge europea sull'intelligenza artificiale per settori specifici e interazione con le norme tecniche di sicurezza, `leg_dd10b1d7bd77` e `leg_2aa5005bbfc6`

8.9 La componente di sicurezza e gli obblighi di conformità che ne discendono

Il modello di ricavo di questo studio prevede, accanto alle commesse civili del monitoraggio territoriale, una quota di accesso alla committenza della sicurezza, sia attraverso il subappalto o il consorzio su contratti quadro di sorveglianza marittima, sia attraverso i programmi di finanziamento che gravitano intorno al polo subacqueo nazionale. È una scelta consapevole e argomentata nel capitolo di mercato, dove si mostra che la domanda pubblica ricorrente meno sensibile al prezzo è oggi la più solida a disposizione di un nuovo entrante. Proprio perché è consapevole, però, va accompagnata dalla trattazione degli obblighi che

comporta, che sono di natura giuridica e organizzativa e vanno affrontati prima della prima commessa e non dopo. Tacerli renderebbe il piano più semplice da leggere e l'impresa più esposta, ed è il tipo di silenzio che uno studio di fattibilità non può permettersi.

Il primo obbligo nasce dalla classificazione del prodotto. La lista comune militare dell'Unione europea colloca alla categoria ML10 i velivoli senza pilota progettati o modificati per impieghi militari, e il regolamento 2021/821 disciplina invece i beni a duplice uso, cioè quelli concepiti per usi civili ma suscettibili di impiego militare, imponendo agli esportatori l'autorizzazione preventiva e la dotazione di un programma di conformità interna [1]. Il velivolo del progetto, nella sua configurazione civile, non è un bene della categoria ML10, ma alcuni dei suoi carichi utili e alcune delle sue prestazioni, in particolare la sensoristica a infrarossi ad alta risoluzione, i collegamenti cifrati e l'autonomia di navigazione in assenza di segnale satellitare, ricadono con ogni probabilità nelle liste dei beni a duplice uso. La conseguenza pratica è che la classificazione doganale di ciascun sottosistema va accertata prima di qualunque cessione all'estero, anche a un partner di ricerca, e che una fornitura verso un committente della sicurezza può modificare la qualificazione dell'intero sistema.

Il secondo obbligo nasce dal recepimento nazionale di quel quadro. Il decreto legislativo 221 del 2017 disciplina in Italia il controllo delle esportazioni di beni a duplice uso, mentre la legge 185 del 1990 regola i materiali d'armamento e vieta le esportazioni verso paesi in conflitto armato o soggetti a embargo delle Nazioni Unite, dell'Unione europea o dell'Organizzazione per la sicurezza e la cooperazione in Europa [1]. Per un'impresa che intenda operare su questo terreno la conseguenza organizzativa è netta, perché serve una funzione interna di conformità, per quanto piccola, che tenga il registro delle classificazioni, valuti le destinazioni e conservi la documentazione, e serve che questa funzione esista prima che si presenti l'occasione commerciale, poiché costruirla sotto la pressione di una scadenza di gara è il modo più sicuro per sbagliarla. Il costo di questa struttura è modesto in assoluto, dell'ordine di alcune migliaia di euro l'anno fra consulenza specializzata e tempo interno, ma va messo a bilancio come voce ricorrente e non come spesa una tantum.

Il terzo profilo non è giuridico ma societario, e riguarda la coerenza fra questa componente di ricavo e la natura cooperativa dell'impresa. Una cooperativa aderente a una centrale del movimento e finanziata da un fondo mutualistico opera dentro un sistema di valori che i suoi soci e i suoi partner hanno il diritto di veder rispettato, e la questione non si risolve dichiarando che la tecnologia è neutra. Il progetto affronta il punto con tre scelte esplicite. La prima è di limitare l'esposizione alle applicazioni di sorveglianza ambientale, marittima e di protezione delle infrastrutture, escludendo per statuto ogni impiego armato o di supporto diretto a operazioni di combattimento. La seconda è di mantenere il controllo umano su ogni decisione che produca effetti su persone, coerentemente con quanto la sezione sull'intelligenza artificiale di bordo argomenta. La terza è di portare la questione davanti agli organi sociali e ai partner cooperativi in forma esplicita, iscrivendo il perimetro ammesso nello statuto o in un codice etico deliberato, anziché lasciarla implicita nelle scelte commerciali. È una scelta che costa qualche opportunità e che compra, in cambio, la coerenza fra ciò che l'impresa dice di essere e ciò che fa, che per un'iniziativa cooperativa non è un dettaglio reputazionale ma la sua stessa ragione sociale.

Ne discende, per chiudere, che la componente di sicurezza del modello di ricavo non è né da nascondere né da abbracciare senza condizioni, ma da governare, e che governarla significa tre cose concrete e verificabili, cioè classificare i sottosistemi prima di esportarli, dotarsi di un programma di conformità interna prima della prima commessa, e definire in sede sociale il perimetro degli impieghi ammessi prima che sia una trattativa a definirlo di fatto.

Note e riferimenti

Le fonti sono la normativa europea e nazionale sul controllo delle esportazioni e la sintesi del dominio che la raccoglie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Sintesi del dominio sul duplice uso, categoria ML10 della lista comune militare dell'Unione europea, Regolamento (UE) 2021/821 sui beni a duplice uso con obbligo di programma di conformità interna, decreto legislativo 221 del 2017 di recepimento nazionale e legge 185 del 1990 sui materiali d'armamento con il divieto di esportazione verso paesi in conflitto o soggetti a embargo, `law-dualuse`

8.10 La sovranità come principio di progetto e come vantaggio competitivo

Mettendo insieme i fili che le sezioni precedenti hanno teso, emerge il principio che dà unità a tutto il capitolo e che il progetto assume come uno dei suoi pilastri, la sovranità e la protezione dei dati costruite per progetto e non aggiunte dopo. Concretamente questo principio si traduce in un'architettura del sistema in cui il velivolo elabora quanto più possibile a bordo, trasmette solo l'essenziale attraverso collegamenti cifrati e autenticati, conserva ed elabora i dati presso infrastrutture nazionali o europee effettivamente controllate da soggetti nazionali o europei, mantiene sotto il proprio controllo il piano di comando e la governance del servizio, riduce al minimo indispensabile il ricorso a Starlink e agli altri fornitori stranieri, e rispetta fin dalla progettazione le regole sulla protezione dei dati personali e sull'intelligenza artificiale. È un insieme di scelte che non nasce dall'ideologia ma dalla constatazione, argomentata sezione per sezione, che è l'unico modo per rispondere insieme al conflitto delle norme, al rischio della dipendenza e alla preoccupazione del cliente.

Il punto che merita di essere enunciato con forza, perché rovescia una lettura superficiale, è che questo insieme di scelte non va visto come un fardello di adempimenti che appesantisce il progetto, ma come il suo vero elemento distintivo e come un vantaggio competitivo. La ragione è di mercato, e discende dall'analisi già svolta nei capitoli precedenti. In un settore in cui l'hardware [2] dei droni è ormai una merce indifferenziata, prodotta a basso margine da pochi grandi costruttori, il valore difendibile non sta nel mezzo ma nel servizio e nella capacità di garantire qualcosa che pochi possono garantire, e la sovranità e la conformità del trattamento dei dati sono precisamente uno di questi valori rari. Un cliente pubblico, tenuto esso stesso al rispetto delle norme sulla protezione dei dati e sulla custodia nazionale delle informazioni critiche, e sempre più consapevole dei rischi di dipendenza dalle infrastrutture straniere, cerca e apprezza un fornitore che gli garantisca il controllo nazionale e sovrano del dato, e può escludere dalle proprie gare chi non glielo offre. La sovranità, in questa luce, non è un costo che riduce la competitività ma un requisito che la costruisce, un fossato che protegge chi lo scava.

Questo vantaggio è tanto più solido quanto più il quadro normativo e strategico si muove nella stessa direzione, come le sezioni sulle alternative sovrane hanno mostrato. L'Unione europea sta costruendo la propria costellazione satellitare, sta finanziando la capacità di calcolo europea per ridurre la dipendenza dai grandi fornitori americani, sta imponendo la sicurezza informatica sin dalla progettazione e la responsabilità per il software, e sta orientando i fondi istituzionale verso l'autonomia strategica [1]. Un progetto che sceglie la sovranità fin dall'origine non nuota controcorrente ma cavalca una tendenza che l'Europa sta consolidando, e si

trova pronto ad adottare le infrastrutture sovrane man mano che maturano e a soddisfare gli obblighi nuovi man mano che diventano vincolanti, mentre i concorrenti che hanno costruito sulla dipendenza straniera dovranno riconvertirsi a costi e tempi maggiori. Arrivare pronti a una direzione di marcia dell'intera Unione è uno dei modi più efficaci in cui una scelta strategica lungimirante si trasforma in un vantaggio concreto.

Va colto anche il legame fra la sovranità del dato e la missione civile del progetto, perché è ciò che le dà un significato che va oltre il calcolo competitivo. Il progetto nasce per restituire alle aree interne il controllo di uno strumento e per colmare un divario, e sarebbe una contraddizione profonda colmare il divario digitale consegnando però il controllo del nuovo strumento a un'azienda straniera. La sovranità del dato è la garanzia che il progetto mantenga la sua promessa fino in fondo, dando al territorio non una connettività e un'informazione revocabili e sorvegliate da altri, ma uno strumento che il territorio e i suoi attori controllano davvero. È in questo senso che la sovranità è insieme una scelta di mercato e una scelta di missione, e che le due si rafforzano invece di contraddirsi, perché ciò che rende il progetto prezioso per il territorio è la stessa cosa che lo rende competitivo sul mercato, il controllo affidabile e sovrano dell'informazione.

Ne discende la tesi che chiude questa sezione e che riassume l'intero capitolo, cioè che la sovranità dei dati non è per il progetto una sicurezza passiva contro un rischio ma una proposta di valore attiva, forse la più matura che il progetto dà al bisogno di connettività e di controllo delle aree interne. È la risposta alla preoccupazione da cui il capitolo è partito, quella del cliente sul controllo dei dati e sulla dipendenza straniera, e la trasforma da timore in opportunità, mostrando che affrontare quel timore con serietà non solo mette al riparo dal rischio ma costruisce il tratto più distintivo e difendibile dell'intero progetto. È per questo che lo studio colloca la sovranità del dato, insieme alla modularità del velivolo, fra i due pilastri su cui l'intera raccomandazione poggia, e la tratta non come un capitolo fra gli altri ma come una delle ragioni di fondo per cui il progetto ha senso e vale la pena di essere realizzato.

Note e riferimenti

Le fonti sono letteratura di settore e sezioni precedenti di questo capitolo. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Sintesi del dominio sulla sovranità digitale, direzione strategica europea e vantaggio della scelta sovrana, `law-ai-act-sovranita`
2. Prevalenza dei servizi e del valore difendibile nella nicchia rispetto all'hardware indifferenziato, analisi di mercato della prima parte dello studio, `proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato`

8.11 Il territorio, le cooperative e il controllo [3] del dato

La sovranità dei dati, che le sezioni precedenti hanno trattato sul piano giuridico, tecnico e strategico, ha una dimensione ulteriore che è propria di questo progetto e che lo distingue da qualunque altro operatore di droni, cioè il suo radicamento nel mondo cooperativo e nel territorio, che dà al controllo del dato un significato non solo tecnico ma sociale e politico. Vale la pena dedicarvi una sezione, perché è qui che la sovranità digitale, che potrebbe sembrare un tema astratto da specialisti, si salda con la missione concreta del progetto e con i suoi attori, e diventa una delle ragioni per cui l'ancoraggio cooperativo non è una cornice retorica ma il cuore della proposta.

Il punto di partenza è che chi controlla il dato è Firmamento Technologies, la cooperativa che opera il servizio, e non un soggetto qualunque, e che questa natura cooperativa dell'operatore cambia il senso stesso del controllo del dato. Un operatore commerciale che garantisse la sovranità dei dati lo farebbe come un servizio venduto, ma resterebbe pur sempre un soggetto privato che detiene le informazioni sul territorio e ne dispone secondo il proprio interesse. Firmamento, essendo una cooperativa radicata nel territorio e senza scopo speculativo, detiene invece il dato con un interesse che coincide con quello delle comunità servite, e lo mette al servizio del territorio anziché estrarne valore da portare altrove. È una differenza sostanziale, perché la sovranità del dato non si esaurisce nel sottrarlo alla giurisdizione straniera ma si compie nel collocarlo sotto un controllo che sia davvero al servizio del territorio, e la forma cooperativa dell'operatore è ciò che dà a questo controllo la sua qualità.

Attorno a Firmamento si dispongono i partner che rendono possibile e solida questa configurazione, e vanno nominati perché il loro ruolo nella sovranità del dato è tutt'altro che formale. Legacoop Liguria e Coopfond [1], che come i capitoli sul territorio e sul modello cooperativo argomentano sono i partner fondamentali del progetto e ne finanziano lo studio, danno alla sovranità del dato un ancoraggio istituzionale e un orizzonte di sistema, perché collocano Firmamento dentro una rete cooperativa nazionale e regionale che condivide la stessa cultura del controllo collettivo degli strumenti e che può sostenere l'operatore nel dotarsi delle infrastrutture sovrane necessarie. La rete delle cooperative [2] del territorio, dal canto suo, è il beneficiario e il cliente di prossimità del dato, e ha un interesse diretto a che quel dato resti sotto controllo locale e sovrano, perché è il dato che le serve per il proprio lavoro, il monitoraggio dei campi, la sorveglianza dei versanti, la connettività nelle emergenze, e non vuole certo che finisca in mani straniere o che dipenda da infrastrutture che qualcun altro può spegnere. La sovranità del dato, in questa configurazione, non è imposta dall'alto ma corrisponde all'interesse convergente di tutti gli attori, l'operatore cooperativo, i partner del sistema cooperativo e la rete territoriale.

Questa dimensione cooperativa della sovranità ha una ricaduta concreta che il capitolo sul modello cooperativo sviluppa e che qui va richiamata, cioè il controllo locale di uno strumento strategico come una delle ricadute sociali più preziose del progetto. In un'epoca in cui i dati sul territorio sono raccolti sempre più spesso da grandi piattaforme straniere che li accentrano e li sfruttano lontano dai luoghi che li hanno generati, un progetto che raccoglie i dati delle aree interne liguri e li mantiene sotto il controllo di una cooperativa del territorio, sostenuta dal sistema Legacoop, restituisce a quel territorio il governo di una risorsa che altrimenti gli sfuggirebbe. È una forma di sovranità che va oltre quella giuridica e tecnica, ed è una forma di autonomia territoriale, che dà alle comunità delle aree interne non solo una connettività e un'informazione ma il controllo di come quella connettività e quell'informazione sono prodotte e usate. È precisamente ciò che il bando chiede quando parla di colmare i divari con strumenti che il territorio controlli, ed è la ragione per cui la sovranità del dato e l'ancoraggio cooperativo sono due facce della stessa medaglia.

Ne discende una conclusione che collega questo capitolo a quelli sul modello cooperativo e sul territorio, e che conviene enunciare perché mostra l'unità profonda del progetto. La sovranità del dato non è un tema tecnico separato dalla missione sociale del progetto, ma ne è una componente essenziale, perché il controllo collettivo e territoriale dell'informazione è la forma matura di quel controllo degli strumenti che le cooperative di comunità perseguono per loro natura. Firmamento Technologies, operando il servizio come cooperativa e mantenendo sotto controllo sovrano il dato, con il sostegno di Legacoop Liguria e di Coopfond e a beneficio della rete cooperativa del territorio, realizza una sintesi fra l'innovazione tecnologica e la coesione territoriale che è il tratto più originale dell'intero progetto, e che fa della sovranità del dato

non solo un vantaggio competitivo ma un atto di restituzione al territorio del controllo su una risorsa che gli appartiene. È in questa sintesi che il capitolo sui dati e la sovranità digitale trova il suo senso ultimo, e che si salda con la ragione d'essere cooperativa e territoriale del progetto.

Note e riferimenti

Le fonti sono letteratura di settore e capitoli sul territorio e sul modello cooperativo di questo studio. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Ruolo di Legacoop Liguria e di Coopfond come partner fondamentali del progetto e finanziatori dello studio, `proj_reg-uff-coopfond-2025u0001593-24-10-2025-progettohale-c` e `mkt-coop-liguria`
2. Rete delle cooperative del territorio come beneficiaria e cliente di prossimità del dato, `proj_elenco-cooperative`
3. Controllo locale e sovrano di uno strumento strategico come ricaduta sociale del progetto, `law-ai-act-sovranita` con fonte `leg_0cf8a384973b`

8.12 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte

LE VERIFICHE APERTE

Il capitolo consegna al progetto un principio chiaro e un insieme di scelte concrete che ne discendono, e conviene raccoglierle prima di indicare le verifiche che restano aperte. Il principio è la sovranità e la protezione dei dati costruite fin dalla progettazione [1] e non aggiunte dopo, e le scelte che ne derivano sono l'elaborazione a bordo del velivolo con la trasmissione del solo risultato utile, la riduzione al minimo indispensabile del ricorso a Starlink e agli altri fornitori stranieri, la conservazione e l'elaborazione dei dati presso infrastrutture nazionali o europee effettivamente controllate da soggetti nazionali o europei, il controllo del piano di comando e della governance del servizio, il pieno rispetto delle regole sulla protezione dei dati personali con la valutazione d'impatto, la minimizzazione, la trasparenza e la conservazione a norma, e l'attenzione alla conformità dell'intelligenza artificiale di bordo e ai controlli sulle esportazioni di beni a duplice uso. Sono scelte coerenti fra loro e con il resto dello studio, e che fanno della sovranità del dato uno dei due pilastri del progetto insieme alla modularità del velivolo.

Restano però verifiche impegnative che appartengono alle fasi successive e che vanno dichiarate con l'onestà che tutto lo studio adotta, perché è su di esse che si misura la distanza fra il principio e la sua attuazione. La prima è la valutazione d'impatto sulla protezione dei dati [2], che va condotta prima di ogni operazione che raccolga dati personali, con l'assistenza di competenze legali specializzate, e che è una voce di costo e di tempo ricorrente da mettere a bilancio e a calendario, non un adempimento una tantum. La seconda è la scelta concreta dell'infrastruttura sovrana di conservazione ed elaborazione, fra le opzioni nazionali ed europee disponibili, che va istruita valutandone la maturità, il costo e le garanzie reali, con la consapevolezza, dichiarata nella sezione dedicata, che alcune iniziative nazionali di cloud sovrano hanno dato risultati contrastanti e che la costellazione satellitare europea non sarà operativa per anni, il che impone soluzioni di transizione realistiche e non ideali.

La terza verifica riguarda la gestione della connettività satellitare nel periodo in cui la costellazione europea non è ancora disponibile, che va affrontata con la strategia articolata descritta, appoggiando l'operatività normale su reti terrestri sovrane, limitando il satellite a funzioni di riserva e di

emergenza, privilegiando gli operatori europei dove disponibili, e trattando l'eventuale ricorso a Starlink come una soluzione di ultima istanza e temporanea, il che richiede di verificare caso per caso le alternative satellitari sovrane realmente accessibili. La quarta è la conformità alla legge europea sull'intelligenza artificiale, che va verificata missione per missione distinguendo dove il monitoraggio delle infrastrutture critiche fa scattare gli obblighi più severi, in un quadro ancora in assestamento che va seguito da vicino. La quinta è la gestione della componente di sicurezza del modello di ricavo, che la sezione 8.9 tratta per esteso e che richiede tre atti da compiere prima della prima commessa, cioè la classificazione doganale dei sottosistemi rispetto alle liste dei beni a duplice uso, la dotazione di un programma di conformità interna, e la delibera in sede sociale del perimetro degli impieghi ammessi.

A queste verifiche tecniche e giuridiche si aggiunge una verifica di natura più strategica, che lega il capitolo al resto dello studio, cioè la costruzione della configurazione cooperativa e istituzionale che dà alla sovranità del dato il suo ancoraggio. Il ruolo di Legacoop Liguria e di Coopfond [3] come partner del sistema cooperativo, il coinvolgimento della rete delle cooperative del territorio come beneficiaria e cliente, e il rapporto con i clienti pubblici tenuti essi stessi alla custodia sovrana dei dati, sono elementi che vanno costruiti concretamente perché la sovranità del dato non resti una scelta tecnica isolata ma diventi un sistema di controllo territoriale condiviso, come la sezione sul territorio e le cooperative ha argomentato. È una verifica che appartiene tanto a questo capitolo quanto a quelli sul modello cooperativo e sugli attori del territorio, e che conferma l'unità del disegno del progetto.

Sono verifiche impegnative, ma che non indeboliscono la scelta di fondo, ormai chiara e argomentata in ogni sua parte, di fare della sovranità e della protezione dei dati non un vincolo subìto ma un principio scelto e un vantaggio costruito. È la risposta del progetto alla preoccupazione da cui il capitolo è partito, quella del cliente sul controllo dei dati e sulla dipendenza straniera, e la sua forza sta nel non averla elusa né minimizzata ma affrontata in tutte le sue dimensioni, giuridica, tecnica, strategica, istituzionale e cooperativa, trasformando un timore in una proposta di valore. Che restino verifiche da compiere non toglie nulla alla solidità della direzione, perché uno studio di fattibilità serve proprio a indicare la rotta e a segnalare onestamente i punti in cui la rotta va confermata con i fatti, e su questo tema più che su ogni altro il progetto ha una rotta chiara, quella della sovranità del dato come pilastro e come promessa mantenuta al territorio.

Note e riferimenti

Le fonti sono letteratura di settore e sezioni precedenti di questo capitolo. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Sintesi del dominio sulla sovranità digitale, alternative sovrane e loro maturità, `law-ai-act-sovranita`
2. Sintesi del dominio sulla protezione dei dati personali nelle operazioni con droni e obblighi preliminari, `law-gdpr`
3. Ruolo dei partner cooperativi e istituzionali nella configurazione della sovranità del dato, `proj_reg-uff-coopfond-2025u0001593-24-10-2025-progettohale-c` e `proj_elenco-cooperative`

CAPITOLO 9

Il modello cooperativo, la governance e la sostenibilità sociale

IN BREVE

Definisce la forma cooperativa dell'impresa e la sua governance: Firmamento Technologies con i partner Legacoop Liguria e Coopfond, a beneficio della rete delle cooperative del territorio.

Cooperativa
LA FORMA DELL'IMPRESA

Legacoop + Coopfond
I PARTNER FONDAMENTALI

Rete territoriale
BENEFICIARIA E COMMITTENTE

NEL CAPITOLO

9.1 Firmamento Technologies, la cooperativa che offre il servizio . . . 294
9.2 Legacoop Liguria e Coopfond, i partner fondamentali . . . 294
9.3 La rete delle cooperative del territorio . . . 295
9.4 Come la rete partecipa, la governance in concreto . . . 296
9.5 La forma giuridica e la scelta cooperativa . . . 296
9.6 La co-progettazione con il pubblico . . . 297
9.7 La sostenibilità sociale e le ricadute territoriali . . . 298
9.8 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte . . . 298

Il progetto nasce nel mondo cooperativo e ne condivide la natura, ma è importante chiarire fin dall'inizio, con precisione, chi fa che cosa, perché è dalla corretta distribuzione dei ruoli che dipende la coerenza dell'intero modello. Il soggetto che sviluppa la piattaforma e offre il servizio è Firmamento Technologies, che è essa stessa una cooperativa, e questa sua natura cooperativa è il cuore della dimensione sociale del progetto. Attorno a Firmamento si dispongono due cerchi di partner. Il primo, decisivo, è quello del movimento cooperativo che sostiene e rende possibile l'iniziativa, cioè Legacoop Liguria e il suo fondo mutualistico Coopfond, che sono partner fondamentali dello studio e della sua fattibilità concreta. Il secondo è quello della rete di cooperative del territorio che appoggiano il progetto, ne condividono le finalità e ne sono radici locali, potenziali clienti e beneficiarie. Questo capitolo descrive la natura cooperativa di Firmamento come operatore del servizio, il ruolo dei partner del movimento cooperativo, la rete territoriale, gli strumenti giuridici e di finanziamento, e le ricadute sociali, mostrando che la scelta cooperativa non è una cornice imposta dal bando ma la forma più coerente con la missione del progetto.

9.1 Firmamento Technologies, la cooperativa che offre il servizio

Il soggetto che opera il servizio è Firmamento Technologies, e la sua natura di cooperativa è la prima e più importante affermazione di questo capitolo, perché è essa a fondare la dimensione sociale dell'intero progetto senza bisogno di delegarla ad altri. Firmamento sviluppa la piattaforma aerea, la opera e offre ai clienti il servizio di raccolta ed elaborazione dei dati descritto nei capitoli precedenti, ed è quindi il fornitore del servizio a tutti gli effetti, il soggetto che vende il dato come servizio, gestisce le missioni, elabora e consegna l'informazione, e risponde ai clienti pubblici e privati. Che questo soggetto sia una cooperativa, e non una società di capitali orientata al solo profitto, cambia la natura dell'impresa, perché una cooperativa persegue statutariamente una finalità mutualistica e di interesse dei propri soci e della comunità, distribuisce il valore in modo diverso e ha un orizzonte di lungo periodo legato al territorio più che al rendimento immediato del capitale. La forma cooperativa si adatta particolarmente bene a un'impresa ad alta intensità di conoscenza e di finalità sociale come questa, in cui il valore si costruisce nelle competenze delle persone e nel servizio reso al territorio, e in cui la stabilità e il radicamento contano più della massimizzazione del rendimento, tanto più che le cooperative hanno storicamente mostrato un comportamento anticiclico, reggendo le crisi meglio delle società di capitali [1]. È Firmamento, dunque, l'operatore del servizio, ed è la sua natura cooperativa a rendere il progetto, di per sé, un'iniziativa dell'economia sociale.

9.2 Legacoop Liguria e Coopfond, i partner fondamentali

Se Firmamento è l'operatore, il progetto non esisterebbe senza il sostegno del movimento cooperativo che lo accompagna, e in particolare senza due partner che vanno riconosciuti come fondamentali per la fattibilità stessa dell'iniziativa, Legacoop Liguria e Coopfond. Coopfond è il fondo mutualistico di Legacoop, alimentato dalle stesse cooperative aderenti che vi versano una quota dei propri utili, e ha lo scopo di promuovere la nascita e lo sviluppo di nuove cooperative e di progetti innovativi del mondo cooperativo. È Coopfond, nell'ambito del programma che dà il nome al bando, a finanziare questo studio di fattibilità, un sostegno concreto che non è solo economico ma anche di legittimazione, perché testimonia che il movimento cooperativo crede nell'iniziativa e vi investe le proprie risorse mutualistiche [2]. Legacoop Liguria, la struttura regionale della centrale cooperativa, è a sua volta un partner

decisivo, perché porta al progetto il radicamento nel territorio ligure, la rete di relazioni con le altre cooperative e con le istituzioni regionali, e l'esperienza consolidata nello sviluppo delle cooperative di comunità delle aree interne, un ambito in cui Legacoop Liguria è attiva anche in collaborazione con altre realtà del territorio [3]. Questi due partner, Coopfond che finanzia e Legacoop Liguria che radica e accompagna, sono la spina dorsale su cui l'iniziativa di Firmamento poggia, e vanno riconosciuti in ogni fase del progetto come i partner fondamentali che ne rendono possibile la realizzazione, dallo studio di fattibilità fino all'avvio operativo. Il loro coinvolgimento riduce sensibilmente il rischio del progetto, perché lo dota di un capitale relazionale, reputazionale e finanziario che una start-up isolata non avrebbe, e lo colloca dentro un ecosistema cooperativo attivo e orientato proprio allo sviluppo delle aree interne.

9.3 La rete delle cooperative del territorio

Attorno a Firmamento e ai partner del movimento cooperativo si dispone un secondo cerchio, quello della rete di cooperative del territorio che appoggiano il progetto, e il cui ruolo va precisato con cura per non confonderlo con quello dell'operatore. Queste cooperative non operano il servizio, che è compito di Firmamento, ma lo sostengono e lo radicano, e sono al tempo stesso potenziali clienti e beneficiarie. Si tratta di un tessuto concreto e già mobilitato, che comprende cooperative di comunità radicate nelle valli come quella della Val Pentemina nell'entroterra genovese o quella delle Terre del Magra nello spezzino, cooperative agricole legate all'olivicoltura e alla gestione dei fondi di montagna, una comunità energetica cooperativa, cooperative sociali e imprese sociali portatrici della vocazione ai servizi alla persona, tenute insieme anche da un consorzio [4]. Il ruolo di questa rete è prezioso per il progetto per tre ragioni. La prima è la conoscenza del territorio, perché sono queste cooperative a sapere dove sono i bisogni, quali versanti sorvegliare, quali borghi servire, quali colture monitorare, e questa conoscenza guida il servizio di Firmamento verso ciò che serve davvero. La seconda è il radicamento sociale, perché l'appoggio di una rete di cooperative locali dà al progetto la legittimazione e l'accettazione che un operatore esterno non avrebbe. La terza è la funzione di domanda e di canale, perché queste cooperative, e le comunità che rappresentano, sono fra i primi destinatari dei servizi di Firmamento e possono farsi tramite verso i comuni e gli enti del territorio. La rete territoriale, dunque, è partner e non operatore, e questa distinzione è essenziale perché il servizio ha bisogno di un operatore unico e specializzato, Firmamento, ma anche di un tessuto locale che lo sostenga e lo indirizzi, e il progetto ha entrambi.

Va detto con chiarezza, perché il bando da cui il progetto nasce parlava di una rete di circa dieci cooperative e un lettore attento se ne accorgerebbe, che questa impostazione ridimensiona il ruolo che quella formulazione lasciava immaginare. Le cooperative del territorio non diventano contitolari dell'operazione aerea, e non lo diventano per una ragione tecnica prima che organizzativa, cioè che un'autorizzazione al volo oltre la linea di vista è rilasciata a un operatore unico, con un manuale delle operazioni, un sistema di gestione della sicurezza e una catena di responsabilità che non sono distribuibili fra soggetti diversi senza perderne il controllo. Sarebbe stato possibile immaginare un consorzio di cooperative titolare del servizio, ma quel disegno avrebbe moltiplicato i costi di conformità senza aggiungere capacità, e avrebbe reso più fragile proprio la parte del progetto in cui l'errore si paga di più. La rete resta quindi partner e non operatore, e la questione che ne discende è come farne un partner reale e non nominale, che è ciò di cui si occupa la sezione seguente.

9.4 Come la rete partecipa, la governance in concreto

Dire che la rete territoriale è partner non basta, perché un partner senza diritti né ricavi è un endorsement e non un socio. La configurazione che il progetto propone, e che va formalizzata nella fase attuativa, articola la partecipazione su tre piani distinti, ciascuno con il proprio strumento giuridico.

Il primo piano è quello societario. Firmamento adotta una struttura a più categorie di soci, come lo statuto cooperativo consente, distinguendo i soci lavoratori, che sono le persone che operano il servizio e ne costituiscono il nucleo mutualistico, dai soci sovventori o finanziatori, categoria in cui possono entrare Coopfond e gli strumenti finanziari del movimento, e dai soci fruitori, categoria aperta alle cooperative del territorio che utilizzano il servizio. Questa terza categoria è la chiave, perché trasforma le cooperative da clienti in soci con diritto di voto in assemblea, senza attribuire loro responsabilità operative che non possono assumere. Il peso di quel voto va calibrato in statuto in modo che la rete abbia voce reale sulle scelte che la riguardano, tipicamente le priorità di missione e le condizioni economiche del servizio, senza poter bloccare le decisioni tecniche e di sicurezza che competono all'operatore.

Il secondo piano è quello economico, e riguarda che cosa la rete riceve. Lo strumento proprio della cooperativa è il ristorno, cioè la restituzione ai soci di una quota del vantaggio mutualistico generato, che per i soci fruitori prende la forma di una riduzione della tariffa proporzionale al servizio utilizzato. Il piano prevede di destinare a questa finalità una quota dell'utile, deliberata annualmente, che riduce il costo del servizio per le cooperative aderenti e rende concreto il vantaggio dell'adesione. Accanto al ristorno va prevista una condizione di accesso agevolata per i servizi di base, tipicamente il monitoraggio stagionale dei versanti e la mappatura dei fondi, che sono quelli di cui le cooperative agricole e di comunità hanno bisogno e che difficilmente potrebbero pagare a tariffa piena.

Il terzo piano è quello dei dati, ed è forse il più importante perché è quello in cui il principio di sovranità enunciato nel capitolo precedente diventa un fatto verificabile. I dati raccolti sul territorio di una cooperativa aderente tornano a quella cooperativa in forma utilizzabile, senza costi aggiuntivi e senza vincoli di esclusiva, e le decisioni sul loro riuso da parte di terzi sono sottoposte al consenso del soggetto territoriale che li ha generati. È una regola semplice da enunciare e impegnativa da rispettare, e va scritta nel regolamento del servizio e non lasciata alla buona volontà, perché è precisamente ciò che distingue una piattaforma cooperativa da una piattaforma qualsiasi che opera su un territorio.

Sul piano dell'occupazione, che è la ricaduta sociale che il capitolo economico monetizza e che qui va quantificata, il piano di base porta l'organico a un valore compreso fra 12 e 15 addetti al quinto anno, fra piloti, manutentori, analisti dei dati e struttura amministrativa e commerciale. Sono figure con qualifiche aeronautiche e informatiche, cioè esattamente quelle che oggi lasciano le aree interne perché non vi trovano impiego, e la forma cooperativa impone che la maggioranza di esse sia socia lavoratrice, il che è anche la condizione da cui dipende la mutualità prevalente e con essa il regime fiscale agevolato su cui il conto economico è costruito. È un vincolo e insieme una garanzia, perché lega il beneficio fiscale alla sostanza del rapporto di lavoro e non a una qualificazione formale.

9.5 La forma giuridica e la scelta cooperativa

La forma cooperativa di Firmamento va inquadrata nel ricco panorama giuridico che l'ordinamento italiano offre all'economia sociale, perché la scelta precisa della veste incide sugli strumenti e sui finanziamenti accessibili. La riforma del Terzo settore ha ridisegnato questo

panorama definendo un ampio elenco di attività di interesse generale, ventisei in tutto, fra cui rientrano interventi ambientali, di protezione civile, sanitari ed educativi, tutti serviti dal velivolo del progetto, e istituendo un registro unico degli enti [5]. Firmamento può collocarsi in questo quadro come cooperativa, eventualmente come impresa sociale, che è la qualifica pensata per le imprese che perseguono finalità di interesse generale con obblighi di trasparenza e di coinvolgimento, e che offre agevolazioni fiscali per attrarre investimenti [5]. La Liguria, del resto, è stata la prima regione del nord Italia a riconoscere e sostenere le cooperative di comunità con una legge regionale del 2015, il che testimonia un contesto normativo regionale maturo e favorevole all'impresa cooperativa nelle aree interne [3]. La scelta della veste precisa, fra cooperativa, impresa sociale e le loro combinazioni, va compiuta in fase attuativa valutando quale apra gli strumenti più favorevoli e sia più aderente alla natura di Firmamento, ma il principio è fermo, Firmamento è e resta una cooperativa, e questa è la forma che meglio esprime la sua missione di mettere una tecnologia avanzata al servizio del territorio.

9.6 La co-progettazione con il pubblico

Fra gli strumenti che l'ordinamento riserva ai rapporti fra la pubblica amministrazione e gli enti dell'economia sociale ve n'è uno che, se accessibile, semplificherebbe sensibilmente la via verso i clienti pubblici, ed è la co-progettazione. Va però trattato per quello che è, cioè un'opportunità condizionata e non un vantaggio acquisito, perché la sua accessibilità dipende da due condizioni che il progetto non ha ancora soddisfatto. Una sentenza fondamentale della Corte Costituzionale ha riconosciuto il modello dell'amministrazione condivisa fra il pubblico e gli enti del Terzo settore come attuazione del principio costituzionale di sussidiarietà, e da essa discendono strumenti concreti, la co-programmazione con cui pubblico e privato sociale definiscono insieme i bisogni, la co-progettazione con cui disegnano insieme i servizi, e il partenariato con cui li realizzano [6]. La prima condizione è soggettiva. Quegli strumenti sono riservati agli enti del Terzo settore, e una cooperativa di produzione e lavoro non lo è per il solo fatto di essere cooperativa, dovendo semmai acquisire la qualifica di impresa sociale con gli obblighi che comporta, dal limite alla distribuzione degli utili agli obblighi di trasparenza e di coinvolgimento dei lavoratori e dei destinatari. È una scelta che questo capitolo, quattro paragrafi più sopra, rimanda alla fase attuativa, ed è quindi scorretto contare fin d'ora sul canale che ne dipende. La seconda condizione è oggettiva e più stringente. La co-progettazione presuppone che la prestazione sia resa senza scopo di lucro, con il rimborso dei soli costi sostenuti, e mal si concilia con un servizio venduto a 700 euro per ora di volo e con un margine operativo del 26,8 per cento. Il canale, se percorso, andrebbe quindi riservato a una parte circoscritta dell'attività, tipicamente i servizi resi alle comunità in convenzione e a copertura di costo, tenendola contabilmente separata dall'attività di mercato. Che il canale esista e sia praticato in Liguria è documentato dagli avvisi di co-progettazione già pubblicati dalla Regione con impegni economici significativi [6], ma il progetto lo assume come ipotesi da istruire con un parere legale prima della prima convenzione, e non come una via già aperta. La via ordinaria verso la domanda pubblica resta l'appalto, e il piano economico è costruito su quella. Nella co-progettazione, la rete delle cooperative del territorio e le comunità che rappresentano possono affiancare Firmamento portando la voce dei bisogni locali, in un modello in cui l'operatore specializzato e il tessuto territoriale collaborano con il pubblico, ciascuno nel proprio ruolo.

9.7 La sostenibilità sociale e le ricadute territoriali

Il valore del progetto per le aree interne non si misura solo nei servizi che Firmamento eroga ma nelle ricadute che genera sul territorio, e sono queste a fare della natura cooperativa una scelta di sostenibilità sociale. La prima ricaduta è il lavoro qualificato, perché Firmamento, per operare il servizio, costruisce competenze avanzate, la conduzione delle missioni, l'elaborazione dei dati, la manutenzione, l'ingegneria, e in quanto cooperativa radicata sul territorio tende a creare e trattenere questo lavoro qualificato proprio dove esso scarseggia e dove lo spopolamento è alimentato dalla mancanza di prospettive. La seconda ricaduta è il controllo locale e sovrano di uno strumento strategico, perché Firmamento e la rete cooperativa che la sostiene controllano il servizio e i dati del territorio, senza dipendere da fornitori esterni incontrollabili, in coerenza con il principio di sovranità del capitolo sui dati. La terza ricaduta è la risposta a bisogni concreti altrimenti scoperti, il monitoraggio dei rischi, il sostegno all'agricoltura, la connettività nelle emergenze, la consegna sanitaria. È in questa somma di ricadute, il lavoro, il controllo, i servizi, tutte amplificate dal fatto che l'operatore è una cooperativa e non un'impresa che porta altrove i propri profitti, che si realizza la sostenibilità sociale del progetto, coerente con la lezione, richiamata nell'analisi del territorio, che le aree interne hanno bisogno di valore economico sostenibile e non di assistenza.

9.8 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte

LE VERIFICHE APERTE

Il modello che esce da questo capitolo è chiaro nella distribuzione dei ruoli, Firmamento Technologies come cooperativa che sviluppa la piattaforma e offre il servizio, Legacoop Liguria e Coopfond come partner fondamentali che finanziano, radicano e accompagnano, e la rete delle cooperative del territorio come tessuto di sostegno, di conoscenza e di domanda, il tutto collegato al pubblico attraverso gli strumenti della co-progettazione e sostenuto dai canali di finanziamento cooperativi, sociali ed europei. Restano scelte e verifiche che appartengono alla fase attuativa. La forma giuridica precisa di Firmamento, fra cooperativa e impresa sociale, va scelta valutando gli strumenti e i finanziamenti che apre, e la scelta va compiuta presto perché da essa dipende l'accessibilità della co-progettazione, che il piano non dà per acquisita. Lo statuto va scritto dando corpo alle tre categorie di soci descritte, con il peso di voto dei soci fruitori calibrato esplicitamente, e il regolamento del servizio va redatto insieme allo statuto perché è lì che vivono la regola sul ritorno dei dati al territorio e il meccanismo del ristorno. La verifica della mutualità prevalente, da cui dipende il regime fiscale su cui il conto economico è costruito, va impostata fin dalle prime assunzioni e non accertata a posteriori. Gli accordi con Legacoop Liguria e Coopfond vanno formalizzati e portati oltre lo studio, verso il sostegno all'avvio operativo. I rapporti con la rete territoriale vanno strutturati, distinguendo il ruolo di sostegno da quello di domanda. Gli strumenti di co-progettazione con la Regione e i comuni vanno attivati concretamente. Il cumulo degli aiuti va pianificato. E il governo della dimensione istituzionale va iscritto nella governance. Sono scelte attuative che non mettono in discussione la solidità del modello, ma che ne definiranno la forma concreta, e che il capitolo economico completa con i numeri del piano finanziario.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e letteratura di settore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studi sull'economia cooperativa e sul comportamento anticiclico delle cooperative, `mar_629096f59205` e `mar_e3774be9288e`
2. Documento del fondo mutualistico Coopfond sul contributo allo studio di fattibilità del progetto, ruolo di Coopfond nello sviluppo delle cooperative, `proj_reg-uff-coopfond-2025u0001593-24-10-2025-progettohale-c`
3. Legge regionale della Liguria sulle cooperative di comunità e ruolo di Legacoop Liguria, anche in collaborazione con associazioni del territorio, `mar_98703fc88edc`, `mar_1fc274b29766` e `mar_66c84873152a`
4. Rete delle cooperative del territorio a supporto del progetto e cooperativa di comunità della Val Pentemina, `proj_elenco-cooperative` e `mar_57450b8214a3`
5. Sintesi del dominio sul diritto del Terzo settore, attività di interesse generale, impresa sociale, aiuti di piccola entità e agevolazioni, `law-thirdsector`
6. Sentenza della Corte Costituzionale sull'amministrazione condivisa e avviso della Regione Liguria di co-progettazione, `leg_188896c73aa0` e `leg_94a99d41b6b9`

CAPITOLO 10

L’analisi economico-finanziaria

IN BREVE

Rende il piano ricalcolabile: i costi, la tariffa, il conto pluriennale e gli indicatori di convenienza, costruiti parametro per parametro con le fonti dichiarate e lo scenario prudente accanto a quello di base.

385.000 €	1,91 M€	17,2%
INVESTIMENTO DI AVVIO	RICAVI AL QUINTO ANNO	TASSO INTERNO DI RENDIMENTO

NEL CAPITOLO

10.1 Il metodo di stima, le classi di accuratezza, il tasso di sconto e il regime fiscale . . . 303
10.2 Il costo dello studio di fattibilità . . . 305
10.3 I costi di sviluppo del velivolo proprietario . . . 307
10.4 La strada dell’acquistare e il costo di avvio del servizio . . . 309
10.5 I costi di esercizio . . . 312
10.6 La metrica decisiva, il costo pieno per ora di volo . . . 315
10.7 Il modello di ricavo, la tariffa e il mercato aggredibile . . . 317
10.8 Gli scenari di ricavo . . . 320
10.9 Il piano di finanziamento, fonti e impieghi . . . 322
10.10 Il conto pluriennale e gli indicatori di convenienza . . . 325
10.11 L’analisi di sensitività e le soglie di rottura . . . 329
10.12 I benefici sociali e l’analisi costi-benefici collettiva . . . 333
10.13 Le decisioni economiche che il capitolo consegna . . . 336

Uno studio di fattibilità che non affronti i numeri economici resta incompiuto, perché la domanda ultima non è se il velivolo sia costruibile o se il servizio sia utile, ma se l’insieme stia in piedi finanziariamente e regga il confronto fra ciò che costa e ciò che rende. Questo capitolo risponde a quella domanda costruendo un modello economico completo e verificabile, che parte dal costo dello studio, attraversa il costo di sviluppo del velivolo, il costo di acquisizione della piattaforma commerciale, il costo di esercizio e la metrica del costo per ora di volo, arriva al modello di ricavo e agli scenari, e si chiude con il conto pluriennale, gli indicatori di convenienza, l’analisi di sensitività e la valutazione dei benefici sociali. Ogni cifra è accompagnata dalla sua base di calcolo, così che il lettore possa rifare i conti e, se non condivide un’ipotesi, sostituirla e vedere come cambia il risultato.

Il capitolo adotta una convenzione che vale per tutte le sue pagine. I valori sono espressi in euro correnti del 2026 e al netto dell’imposta sul valore aggiunto, e ogni voce è accompagnata dall’indicazione della sua natura, cioè se si tratta di un dato contrattuale certo, di un prezzo di mercato osservato o di una stima parametrica costruita dall’autore. Il modello poggia su un caso base esplicito, affiancato da uno scenario prudente e da uno favorevole, e la sezione sulla sensitività mostra di quanto ciascuna variabile debba muoversi perché il risultato cambi segno. È questa la forma in cui una fattibilità economica diventa utilizzabile per decidere, e non un semplice elenco di ordini di grandezza.

Il risultato si può anticipare in poche righe, perché è la conclusione operativa che orienta la lettura di tutto ciò che segue. L’attività di servizio, costruita sull’acquisto e sull’esercizio di una piattaforma commerciale, richiede un investimento iniziale di 385.000 euro fra sistema di volo e percorso autorizzativo, raggiunge il pareggio operativo nel secondo anno, produce nel quinto anno ricavi per 1,91 milioni di euro con un risultato operativo di 512.000 euro, e presenta un valore attuale netto di circa 286.000 euro attualizzato al 4 per cento reale, una volta incluso il capitale circolante, un tasso interno di rendimento del 17,2 per cento e un tempo di ritorno attualizzato di 4 anni e 7 mesi [1]. Il margine di sicurezza non è ampio, ed è precisamente questo il dato che serve conoscere prima di decidere, perché il valore attuale netto si annulla se la tariffa media scende sotto i 635 euro per ora di volo, se le ore volate per sistema scendono sotto le 530 l’anno, oppure se il costo di acquisizione della piattaforma supera del 26 per cento la stima. Con una copertura pubblica del 40 per cento sugli investimenti in beni strumentali, che gli strumenti nazionali disponibili rendono realistica, il valore attuale netto sale a circa 736.000 euro e il rendimento sul capitale proprio residuo oltre il 50 per cento.

Lo sviluppo del velivolo proprietario corre su un binario finanziario separato e non grava sul conto dell’impresa. Costa fra 1,85 e 3,05 milioni di euro di stima puntuale fino al dimostratore volante nella configurazione ad ala fissa, portati a un inviluppo di pianificazione di 2,4-4,6 milioni dalla contingenza della classe di accuratezza, con una fase intermedia di progettazione e riduzione del rischio compresa fra 400.000 e 800.000 euro che precede l’impegno maggiore, ed è coperto prevalentemente dai programmi che finanziano esattamente questo tipo di rischio tecnologico, con una quota di cofinanziamento d’impresa fra 0,6 e 1,2 milioni, a partire da Horizon Europe, dotato di 95,5 miliardi di euro per il periodo 2021-2027, e dalla linea del Piano nazionale di ripresa e resilienza dedicata alle tecnologie satellitari e all’economia dello spazio, che vale circa 1,49 miliardi di euro [2]. La distinzione fra i due binari non è un artificio contabile ma la scelta strutturale che rende il progetto ambizioso sul piano tecnologico e prudente su quello finanziario, e il capitolo la tiene ferma in ogni conto che presenta.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto, atti di finanziamento e letteratura metodologica. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Modello economico-finanziario dello studio, elaborazione dell'autore sulle ipotesi e sui parametri esposti nelle sezioni 10.4, 10.5, 10.6 e 10.10 di questo capitolo.
2. Canali europei e nazionali per la ricerca e l'innovazione, Horizon Europe con 95,5 miliardi di euro per il periodo 2021-2027 e linea del Piano nazionale di ripresa e resilienza per le tecnologie satellitari e l'economia dello spazio con circa 1,49 miliardi di euro, sezione `02_12_finanziamenti` del capitolo di mercato di questo studio.

10.1 Il metodo di stima, le classi di accuratezza, il tasso di sconto e il regime fiscale

Prima dei numeri conviene fissare il metodo con cui si producono e si leggono, perché in una fase di fattibilità il modo di stimare conta quanto le cifre stimate. Il primo principio è che le stime di costo non si danno come valori puntuali ma come classi di accuratezza, con un intervallo dichiarato che riflette lo stadio di maturità del progetto. È una prassi consolidata nell'ingegneria di sistema e nelle grandi opere, dove le stime si ordinano in classi il cui intervallo si restringe man mano che il progetto matura e i dati si consolidano [1].

Classe di stima	Stadio del progetto	Intervallo dichiarato	Voci di questo capitolo che vi appartengono
Concettuale	idea e fattibilità iniziale	da meno 30 a più 50 per cento	costo di sviluppo del velivolo proprietario, costo di industrializzazione
Preliminare	requisiti e architettura definiti	da meno 20 a più 30 per cento	costo di acquisizione del sistema commerciale, costi di esercizio, costo per ora di volo
Di dettaglio	progetto esecutivo	da meno 10 a più 15 per cento	costo dello studio di fattibilità, tariffe amministrative, premi assicurativi

La collocazione delle voci nelle tre classi non è formale ma sostanziale, e serve a leggere correttamente ciò che segue. Il costo dello studio è di classe esecutiva perché è deliberato e contrattualizzato. I costi di esercizio e il costo per ora di volo sono di classe preliminare perché costruiti sommando voci di cui si conosce il prezzo di mercato, dal costo aziendale del personale al premio assicurativo alle tariffe pubbliche, e restano da confermare con le prime richieste d'offerta. Il costo di sviluppo del velivolo proprietario resta di classe concettuale, con l'intervallo asimmetrico tipico dei progetti tecnologici, più largo verso l'alto che verso il basso perché in questo campo i costi superano le previsioni più spesso di quanto le battano.

Il secondo principio riguarda il confronto fra costi e benefici distribuiti negli anni, che non si sommano ingenuamente ma si riportano al presente attraverso un tasso di sconto. Il riferimento europeo distingue due prospettive e il capitolo le tiene separate. Nella prospettiva finanziaria, cioè quella dell'impresa che investe, la Commissione europea indica il 4 per cento reale come parametro di riferimento del costo opportunità del capitale nel lungo periodo, va-

lore che EUROCONTROL adotta con la stessa motivazione [2]. Nella prospettiva sociale, cioè quando si valutano costi e benefici per la collettività, la maggior parte degli Stati membri che adotta esplicitamente questa impostazione applica il 3 per cento, entro una forbice generale compresa fra il 3 e il 6 per cento [2]. Il capitolo attualizza quindi al 4 per cento reale i flussi dell'attività di servizio, quando calcola gli indicatori di convenienza per l'impresa, e al 3 per cento reale i benefici collettivi, quando svolge la valutazione sociale, e verifica la robustezza del risultato facendo variare il tasso entro l'intervallo, perché un tasso più alto penalizza i benefici lontani nel tempo e uno più basso li valorizza.

Il terzo principio riguarda la proporzionalità dell'analisi alla dimensione del progetto. L'analisi costi-benefici completa è obbligatoria per i grandi progetti sopra i 50 milioni di euro finanziati dalla politica di coesione europea [3], mentre le linee guida nazionali classificano le opere in quattro categorie e collocano a 10 milioni di euro il discrimine fra le opere minori e quelle maggiori prive di introiti tariffari, con un'istruttoria proporzionalmente più impegnativa al di sopra di quella soglia [4]. Il progetto, che nella sua fase iniziale si muove ben sotto la soglia nazionale, con lo studio da 50.000 euro e l'avvio del servizio da 385.000, adotta un'analisi proporzionata, quantitativa dove i dati lo consentono, e riserva l'analisi costi-benefici sociale completa al momento in cui si impegneranno le risorse dello sviluppo del velivolo proprietario. Va segnalato che per i progetti a carattere duale civile e sicurezza alcune guide europee non richiedono l'analisi costi-benefici, previsione che semplifica la valutazione sul canale della sicurezza civile ma che va verificata caso per caso rispetto alle regole nazionali [3].

Il quarto principio, che nei piani economici viene spesso trascurato con conseguenze rilevanti sul risultato, riguarda il regime fiscale della forma giuridica prescelta. Per una cooperativa di produzione e lavoro a mutualità prevalente, il 40 per cento dell'utile netto è comunque assoggettato all'imposta sul reddito delle società con aliquota ordinaria del 24 per cento, mentre il restante 60 per cento è esente a condizione che sia destinato a riserva indivisibile, e a questo si aggiunge l'esenzione prevista dall'articolo 12 della Legge 904 del 1977 per la quota di utili destinata a riserva legale, pari al 30 per cento [5]. Il capitolo assume perciò un'aliquota effettiva del 14 per cento sul risultato operativo, comprensiva della componente regionale sulle attività produttive, valore sensibilmente inferiore al 27,9 per cento che graverebbe su una società di capitali ordinaria. È una differenza che vale, sul solo quinto anno del piano, circa 71.000 euro di imposte contro i 143.000 di una società ordinaria, e che va attribuita correttamente alla scelta della forma cooperativa e non a un merito industriale del progetto.

Il quinto e ultimo principio è quello della tracciabilità delle ipotesi. Ogni parametro del modello è dichiarato una sola volta, nel punto in cui viene introdotto, e da lì in avanti è richiamato senza essere modificato, così che le tabelle delle sezioni successive siano ricalcolabili a partire dagli stessi valori. Dove un parametro è una stima dell'autore e non un dato di fonte, il testo lo dice esplicitamente nel punto in cui lo introduce. Questa disciplina è ciò che consente all'analisi di sensitività della sezione 10.11 di essere un vero strumento di decisione, perché permette di sostituire una singola ipotesi e di osservarne l'effetto sul risultato senza dover rifare l'intero modello.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti metodologici europei e nazionali e letteratura di settore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Metodo delle classi di accuratezza delle stime di costo nell'ingegneria di sistema e nelle grandi opere, `feas-syseng` e `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
2. Tassi di sconto di riferimento nella valutazione economica europea. Il 4 per cento reale è il parametro indicato dalla Commissione europea come costo opportunità del capitale nel lungo periodo ed è adottato da EUROCONTROL per le analisi del settore; nella prospettiva sociale la maggior parte degli Stati membri applica il 3 per cento, entro una forbice generale fra il 3 e il 6 per cento (met_1204b3a09641, met_de11cba7f0c7).
3. Guida della Commissione europea all'analisi costi-benefici dei progetti di investimento, obbligo per i grandi progetti sopra i 50 milioni di euro e previsione di esenzione per i progetti a carattere duale (met_d51b9187aa74, met_4ce01d28e819).
4. Linee guida nazionali per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche, soglia dei 10 milioni di euro per l'analisi in forma piena (met_a243224c167c, met_791459ec32be).
5. Regime fiscale della società cooperativa. Aliquota IRES ordinaria del 24 per cento, imponibilità del 40 per cento dell'utile netto per le cooperative di produzione e lavoro, esenzione del restante 60 per cento se destinato a riserva indivisibile, esenzione dell'articolo 12 della Legge 904 del 1977 per la quota del 30 per cento destinata a riserva legale, trattamento agevolato dei ristorni ai soci (met_7b03029b4c24).

10.2 Il costo dello studio di fattibilità

Il primo costo da mettere a fuoco è quello dello studio stesso, ed è anche il più certo di tutto il capitolo perché è già deliberato e contrattualizzato. Il Consiglio di amministrazione di Coopfond, nella riunione del 20 ottobre 2025, ha approvato un contributo di 50.000 euro a valere sul Fondo Servizi Reali del Programma Cooding II per il progetto H.A.L.E., comunicandolo con lettera del 24 ottobre 2025 e subordinando l'erogazione alla rendicontazione documentata delle attività svolte [1]. È una cifra piccola rispetto a tutto ciò che il capitolo esamina dopo, ed è precisamente questo il punto: la fase che produce le evidenze per decidere costa il 13 per cento dell'investimento di avvio del servizio e meno del 2 per cento del costo del dimostratore, ed è interamente coperta da un partner del sistema cooperativo, cosicché l'esposizione diretta dell'impresa in questa fase è nulla.

La struttura di costo dello studio segue tre principi dichiarati nel piano economico, la centralità del lavoro qualificato, la riduzione delle spese non di personale a ciò che è strumentale e la prudenza gestionale con un fondo di contingenza [2]. La tabella seguente traduce quei principi in importi, applicando al contributo deliberato le quote indicate dal piano.

Voce	Quota	Importo	Contenuto
Personale qualificato	80 per cento	40.000 euro	undici ruoli specialistici, dalla direzione di progetto all'ingegneria di sistema aerospaziale, alle telecomunicazioni, alla modellazione e simulazione, all'osservazione della Terra, alla consulenza regolatoria, alla protezione dei dati e sicurezza informatica, all'architettura dei dati, alla facilitazione del co-design, all'analisi economico-finanziaria e alla redazione tecnica
Spese strumentali	8 per cento	4.000 euro	licenze software temporanee per simulazione e pianificazione, workshop di co-design con le cooperative, sopralluoghi nelle aree interne, editing e traduzioni
Spese legali e assicurative	5 per cento	2.500 euro	pre-verifica regolatoria e coperture
Spese generali	4 per cento	2.000 euro	segreteria, informatica, utenze
Contingenza	3 per cento	1.500 euro	fondo per le variazioni organizzative e tecniche
Totale	100 per cento	50.000 euro	

La lettura della tabella conferma che lo studio investe quattro quinti delle proprie risorse nel lavoro delle persone e destina la quota restante a licenze, workshop, sopralluoghi, editing, spese legali e assicurative, con un fondo di contingenza a garantire la robustezza gestionale [2]. Con un costo aziendale medio di 45.000 euro per addetto a tempo pieno, i 40.000 euro di personale corrispondono a circa 0,9 anni-persona, distribuiti su undici profili specialistici impegnati ciascuno per una frazione del proprio tempo: è la struttura tipica di un progetto ad alta intensità di conoscenza, in cui il valore si crea nella generazione di evidenze e nella riduzione dell'incertezza prima che nella produzione di oggetti.

Questa struttura non è solo una descrizione contabile ma un elemento che condiziona l'accesso ai finanziamenti successivi, perché è esattamente il profilo di spesa che i programmi di ricerca e di innovazione riconoscono come ammissibile e che premiano nelle valutazioni. Un progetto che spendesse la maggior parte del budget in attrezzature avrebbe un profilo da investimento produttivo e accederebbe a strumenti diversi e meno capienti; un progetto che spende oltre l'80 per cento in personale altamente specializzato ha il profilo di un'attività di ricerca industriale, ed è su quel profilo che si costruiscono le candidature ai bandi che finanzieranno lo sviluppo del velivolo.

Ogni voce del budget è inoltre collegata a un risultato misurabile, cioè i requisiti e il concetto operativo, l'architettura del sistema e del segmento di terra, le simulazioni di copertura e latenza, il pacchetto regolatorio preliminare con la valutazione del rischio operativo, la valutazione d'impatto sulla protezione dei dati e l'analisi dello spettro, il modello di servizio con il costo totale di possesso, il piano pilota con il sito e le metriche, e il pacchetto finale per

la decisione [2]. Il legame fra spesa e risultato non è un dettaglio contabile ma una condizione di rendicontabilità richiesta dal contributo stesso, che vincola l'erogazione all'invio della documentazione sull'avvenuta realizzazione [1], e costituisce il primo banco di prova della capacità dell'impresa di gestire un progetto finanziato con rigore, capacità che sarà essenziale quando le risorse in gioco saranno quelle, ben più capienti, della ricerca e dell'innovazione industriale.

Note e riferimenti

Le fonti sono atti di finanziamento e documenti di progetto. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Lettera di Coopfond S.p.A. del 24 ottobre 2025, contributo di 50.000 euro deliberato dal Consiglio di amministrazione del 20 ottobre 2025 a valere sul Fondo Servizi Reali del Programma Cooding II per il progetto H.A.L.E., con obbligo di rendicontazione documentata (proj_reg-uff-coopfond-2025u0001593-24-10-2025-progettohale-c).
2. Piano economico dello studio di fattibilità, ripartizione con oltre l'80 per cento del budget destinato a personale altamente specializzato su undici ruoli, spese non di personale ridotte e abilitanti, fondo di contingenza, tracciabilità di ogni voce rispetto ai risultati attesi (proj_piano-economico-prototype-cooding).

10.3 I costi di sviluppo del velivolo proprietario

Il costo più rilevante dell'intero progetto è quello dello sviluppo del velivolo proprietario, ed è qui che si concentra la preoccupazione che le cifre appaiano alte. La risposta dello studio non è nascondere la cifra ma scomporla, collocarla nella sua fonte di copertura e scandirla per fasi separate da punti di decisione, così che si veda con chiarezza quanto costa ciascun passo, chi lo paga e quando lo si impegna.

Il punto di partenza è la maturità tecnologica delle configurazioni, perché è essa a determinare quanto lavoro di sviluppo separi il progetto da un dimostratore volante. La configurazione ad ala fissa convenzionale è matura, la propulsione ibrido-elettrica lo è a un livello intermedio, mentre l'ala scatolata è la meno matura e richiede la validazione più estesa [1]. Questa scala si riflette sul costo del dimostratore, stimato fra 2 e 3 milioni di euro per la configurazione ad ala fissa e fra 3 e 5 milioni per la variante ad ala scatolata, proprio perché quest'ultima, non avendo precedenti commerciali, richiede più prove e più iterazioni [1].

Fase di sviluppo	Risultato atteso	Costo, ala fissa	Costo, ala scatolata	Copertura prevista	Durata
Studio di fattibilità	evidenze per la decisione di avanzamento	50.000 euro	50.000 euro	Coopfond, Programma Cooding II	6 mesi
Progettazione e riduzione del rischio	dai sottosistemi al progetto di dettaglio, prove a banco	400.000-800.000 euro	700.000-1.200.000 euro	programmi di ricerca e innovazione	12 mesi
Dimostratore, costruzione e prove in volo	prototipo volante provato in condizioni rappresentative	1.400.000-2.200.000 euro	2.300.000-3.800.000 euro	programmi di ricerca e innovazione	18-24 mesi

Fase di sviluppo	Risultato atteso	Costo, ala fissa	Costo, ala scatolata	Copertura prevista	Durata
Di cui maturazione della catena ibrida al banco	sottosistema propulsivo provato a vibrazioni, termica e durata	300.000-600.000 euro	300.000-600.000 euro	compresa nella riga precedente	dentro la fase dimostratore
Di cui secondo prototipo e attrition di sviluppo	margine per la perdita o la ricostruzione del primo prototipo	100.000-200.000 euro	100.000-200.000 euro	compresa nella riga precedente	dentro la fase dimostratore
Totale allo stato di dimostratore, stima puntuale	prototipo volante	1.850.000-3.050.000 euro	3.050.000-5.050.000 euro	prevalentemente fondi esterni	30-36 mesi
Inviluppo di pianificazione	stima puntuale con la contingenza della classe di accuratezza concettuale, meno 30 e più 50 per cento	2.400.000-4.600.000 euro	4.000.000-7.600.000 euro	prevalentemente fondi esterni	30-42 mesi

La tabella distingue con cura la stima puntuale dall'inviluppo di pianificazione, ed è una distinzione che il metodo delle classi di accuratezza impone. La stima fra 1,85 e 3,05 milioni di euro è il valore atteso allo stato delle conoscenze e si ottiene sommando le tre righe principali, lo studio, la progettazione e il dimostratore, mentre le due righe marcate come comprese non si sommano perché sono la scomposizione interna della riga del dimostratore e servono a dare un nome proprio alle sue voci più esposte. Una stima concettuale porta poi con sé un'incertezza dichiarata di meno 30 e più 50 per cento, e su questa il piano di finanziamento va costruito in modo deliberatamente asimmetrico, cioè assumendo come estremo inferiore il valore centrale della stima puntuale e come estremo superiore il suo massimo accresciuto del 50 per cento, il che porta all'inviluppo di 2,4-4,6 milioni di euro. La scelta va motivata perché non è aritmetica ma prudenziale. Applicando meccanicamente il meno 30 per cento si otterrebbe un estremo inferiore di 1,3 milioni, e costruire su quella cifra un piano di copertura significherebbe chiedere ai finanziatori meno di quanto la stima centrale già indica, esponendosi a doverne chiedere altri a metà programma, che è il modo più sicuro per fermarlo. L'inviluppo di pianificazione, in altre parole, non è la forbice dell'incertezza ma la fascia entro cui la copertura va negoziata. Le due voci nominate meritano attenzione perché sono quelle che l'esperienza dei programmi ibridi segna come più esposte, cioè la maturazione della catena propulsiva al banco, il sottosistema a maturità più bassa e il classico punto di slittamento, e il margine per la perdita o la ricostruzione del primo prototipo, che lo studio assume in esercizio con un tasso del 5 per cento annuo e non può fingere di ignorare in sviluppo. La tabella dice poi tre cose che rispondono alla preoccupazione sulle cifre. La prima è che la spesa è graduata, perché fra lo studio da 50.000 euro e il dimostratore completo si interpone una fase di progettazione e riduzione del rischio da 400.000 a 800.000 euro che consente di verificare la fattibilità tecnica prima di impegnare l'ordine di grandezza superiore della costruzione e delle prove. La seconda è che il differenziale fra le due configurazioni vale 1,2 milioni di euro all'estremo favorevole e 2 milioni a quello sfavorevole, cioè in entrambi i casi poco meno del 65 per cento in più per l'ala scatolata, ed è questa cifra, e non una preferenza estetica o

teorica, il costo reale dell'ambizione aerodinamica; il capitolo sul confronto delle architetture ha già argomentato perché quel sovrapprezzo non sia oggi giustificato dai guadagni attesi. La terza è che la copertura è prevista prevalentemente a carico di fondi esterni per la ricerca e l'innovazione e non della cassa dell'impresa.

Sul passaggio successivo, dal dimostratore a un prodotto industrializzato e certificabile per il volo oltre la linea di vista, occorre una franchezza particolare, perché è qui che una stima affrettata gonfia la cifra. L'ordine di grandezza plausibile del costo aggiuntivo si colloca fra 2 e 4 milioni di euro, e dipende in modo determinante dal livello di severità dell'operazione e quindi dal rigore della certificazione richiesta, come il capitolo normativo ha mostrato. La voce si scompone in tre blocchi, cioè l'ingegneria di industrializzazione e la qualifica dei componenti, che assorbe fra 800.000 e 1.600.000 euro, l'attrezzaggio produttivo e il collaudo di serie, fra 600.000 e 1.200.000 euro, e il pacchetto di conformità e certificazione con le relative prove, fra 600.000 e 1.200.000 euro. La cifra va confermata con una consulenza specializzata prima di impegnarla, ed è presentata come intervallo perché fissarla ora con falsa precisione sarebbe proprio l'errore che il metodo delle classi di accuratezza mette in guardia dal commettere.

Va infine sottolineato, perché è il cuore della risposta sulle cifre, che tutto questo riguarda la strada del costruire, mentre il progetto non è obbligato a percorrerla per prima né da solo. La strategia a doppio binario prevede che l'impresa cominci con la strada dell'acquistare, operando una piattaforma commerciale con un investimento di 385.000 euro, e generi da subito ricavi e presenza sul mercato mentre lo sviluppo del velivolo proprietario matura in parallelo a carico dei fondi del rischio. Il rapporto fra le due cifre, misurato sull'inviluppo di pianificazione, è fra uno a otto e uno a dieci, e la sequenza temporale le separa di almeno due anni, cosicché l'impresa non deve disporre di milioni per entrare nel mercato ma di poche centinaia di migliaia di euro, e i milioni dello sviluppo sono una spesa successiva, esterna e graduata, che si impegna solo quando le evidenze la giustificano e i fondi la coprono.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e capitoli di questo studio. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio su costi, maturità tecnologica e scelta fra costruire e acquistare, stima parametrica del costo del dimostratore per configurazione e scala di maturità dei sottosistemi, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`

10.4 La strada dell'acquistare e il costo di avvio del servizio

Se lo sviluppo del velivolo proprietario è la voce costosa e differita, l'avvio del servizio attraverso l'acquisto di una piattaforma commerciale è la voce contenuta e immediata, ed è da qui che il progetto parte. La strada dell'acquistare consiste nell'integrare e operare da subito una piattaforma di mercato già matura come fornitore di servizio, generando cassa ed evidenze operative con rischio tecnico minimo mentre lo sviluppo proprietario matura in parallelo [1]. La sua analisi economica determina l'esposizione reale dell'impresa nella fase di avvio e la rapidità con cui il servizio comincia a rendere, ed è quindi il punto di partenza dell'intero modello finanziario.

Voce di avvio	Importo assunto	Intervallo di mercato	Contenuto
Sistema di volo con stazione di terra e collegamento	250.000 euro	150.000-350.000 euro	piattaforma ad ala fissa a decollo verticale di fascia intermedia, due cellule, stazione di controllo, collegamento comando e controllo
Carichi utili iniziali	75.000 euro	30.000-120.000 euro	torretta ottica e infrarossa stabilizzata, ripetitore di connettività
Percorso autorizzativo per il volo oltre la linea di vista	60.000 euro	40.000-150.000 euro	valutazione del rischio operativo, manuale delle operazioni, dotazioni di mitigazione, formazione avanzata degli equipaggi, consulenza specializzata, tariffe amministrative
Investimento iniziale complessivo	385.000 euro	220.000-620.000 euro	configurazione operativa minima autorizzata

L'investimento di avvio è dunque di 385.000 euro nel caso base, con un intervallo che va da 220.000 a 620.000 euro secondo il posizionamento nella fascia di mercato. È una cifra alla portata di una combinazione di fondi regionali, aiuti di piccola entità e capitale proprio contenuto, e resta un ordine di grandezza sotto il costo del dimostratore proprietario. Va notato che dentro i 60.000 euro del percorso autorizzativo le tariffe pubbliche pesano per meno dell'uno per cento, essendo pari a 309 euro per la presentazione dell'istanza e 355 euro per il rilascio dell'autorizzazione operativa, cui si aggiungono le tariffe della piattaforma nazionale di registrazione aggiornate dal 15 gennaio 2026 [2]. È un dato che vale la pena isolare perché la confusione fra la tariffa amministrativa e il costo reale del permesso è l'errore più comune nella valutazione economica delle operazioni oltre la linea di vista: il costo vero sta nella valutazione del rischio, nelle dotazioni di mitigazione, nella documentazione e nella formazione, non nel bollettino da pagare.

Sulla scelta della piattaforma da acquistare va sciolta una tensione che attraversa tutto lo studio e che sarebbe scorretto lasciare implicita. Il progetto rivendica come proprio tratto distintivo la sovranità del dato e l'indipendenza da infrastrutture straniere, e comincia comprando un velivolo che, nella fascia e nelle prestazioni richieste, il mercato italiano oggi non offre. La tensione è reale e si scioglie distinguendo due piani che non vanno confusi. La sovranità che il progetto persegue riguarda il dato, cioè dove l'informazione è elaborata, dove è conservata e a quale giurisdizione risponde chi la custodisce, e su questo piano la nazionalità della cellula è ininfluente, perché il carico utile, l'elaborazione a bordo e l'infrastruttura di terra restano scelte del progetto anche su una piattaforma acquistata. Diverso è il piano della continuità operativa, dove la dipendenza da un fornitore estero è un rischio concreto, fatto di tempi di consegna dei ricambi, di aggiornamenti del firmware che possono modificare il comportamento del mezzo e di clausole d'uso che possono limitarne l'impiego. Ne discendono tre criteri vincolanti per la scelta del fornitore, che il progetto assume fin d'ora. Il primo è la preferenza per un costruttore europeo, a parità di prestazioni e anche a fronte di un sovrapprezzo contenuto, perché riduce insieme il rischio di continuità e quello giuridico. Il secondo è l'esclusione di piattaforme che impongano il transito dei dati di missione su infrastrutture del costruttore, condizione che va verificata sui contratti e non sulle brochure.

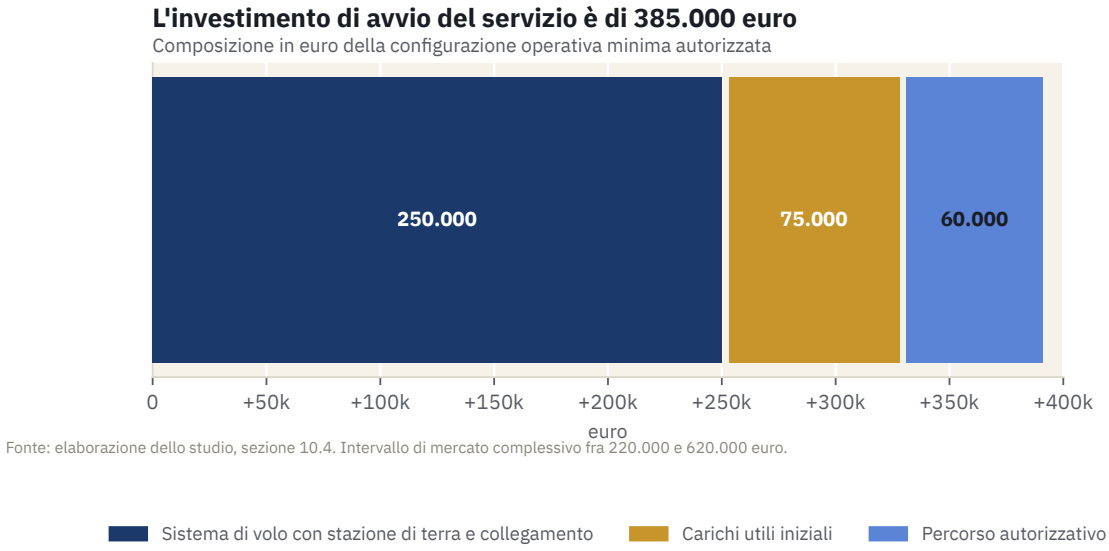


Figura 10.1. La composizione dell'investimento di avvio del servizio.

Il terzo è l'identificazione di una seconda fonte prima della firma, perché un fornitore unico su un bene che genera l'intero fatturato è un rischio che nessuna clausola compensa. Va detto infine che la strada dell'acquistare è per costruzione temporanea, ed è precisamente il velivolo proprietario del secondo binario a chiudere anche questa dipendenza, il che aggiunge alla motivazione tecnologica dello sviluppo una motivazione di autonomia industriale.

La scelta di partire con un solo sistema anziché con una flotta è deliberata e ha una conseguenza economica precisa. Legare la crescita del parco alla crescita effettiva dei ricavi, aggiungendo un sistema solo quando quelli in servizio superano una soglia di utilizzo, evita di immobilizzare capitale in capacità inutilizzata e trasforma un rischio di investimento in una decisione ripetuta e reversibile. Il piano pluriennale della sezione 10.10 applica questa regola, portando la flotta da uno a quattro sistemi fra il primo e il quinto anno con acquisti scaglionati.

Per completezza va data anche la struttura del costo unitario a regime, rilevante quando il velivolo proprietario entrerà in produzione ma già utile per l'acquisto commerciale, perché mostra come il carico utile domini il costo del sistema.

Configurazione	Costo unitario	Osservazione
Solo velivolo	40.000-110.000 euro	dipende dalla configurazione e dalla propulsione
Sistema completo con stazione di terra e collegamento	150.000-350.000 euro	configurazione operativa minima
Sistema con carichi utili pesanti	300.000-800.000 euro	i sensori radar di fascia alta dominano il costo

Il dato che la tabella mette in evidenza ha una conseguenza strategica di primo piano, perché passare da un sistema di base a uno con sensori radar di fascia alta più che raddoppia il costo [1]. Ne discende che la modularità del velivolo, oltre al suo valore operativo, ha un

valore economico diretto, perché permette di impiegare il sistema di base e i carichi utili separatamente, adattando il costo alla missione anziché caricare ogni operazione del costo dei sensori più cari. Un cliente che ha bisogno solo di sorveglianza ottica non paga il radar, e l'impresa può ammortizzare il sensore costoso su più clienti e più missioni, il che abbassa il costo effettivo per servizio e rende sostenibile un investimento in sensoristica che per una singola missione non lo sarebbe. In termini numerici, un radar da 250.000 euro impiegato su una sola commessa annuale da 400 ore inciderebbe per 125 euro su ogni ora di volo, mentre ripartito su tre commesse per complessive 1.200 ore scende a 42 euro l'ora, differenza che da sola può decidere l'esito di una gara.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e fonti regolatorie. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

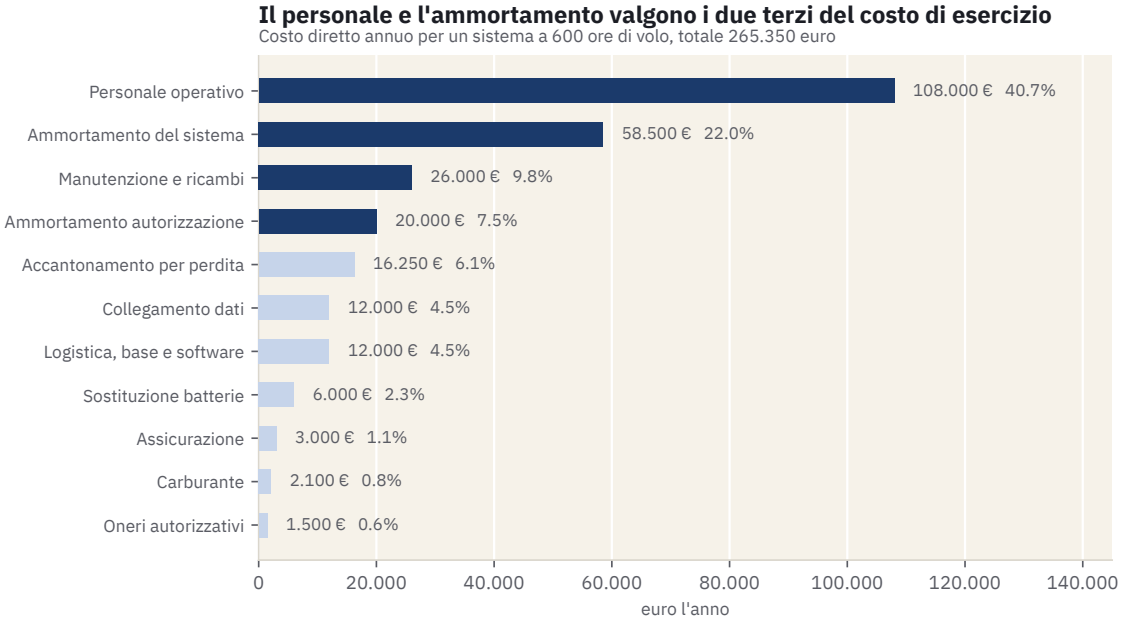
1. Studio su costi e scelta fra costruire e acquistare, avvio del servizio con piattaforma commerciale, costo unitario del sistema e prevalenza del carico utile sul costo complessivo, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
2. Tariffe ENAC per l'autorizzazione operativa in categoria specifica, 309 euro per la presentazione dell'istanza e 355 euro per il rilascio, oltre alle tariffe aggiornate della piattaforma nazionale d-flight in vigore dal 15 gennaio 2026 (leg_26b6ced84879).

10.5 I costi di esercizio

Una volta avviato il servizio, il conto che ne determina la sostenibilità non è più quello dell'investimento iniziale ma quello dei costi ricorrenti, cioè di ciò che l'impresa spende ogni anno per tenere il sistema in volo e produrre il dato. È il conto che decide se il servizio rende, perché un sistema poco costoso da comprare ma caro da esercire può risultare meno conveniente di uno più costoso ma economico da mantenere.

La tabella seguente ricostruisce il costo annuo di esercizio di un sistema in servizio, nell'ipotesi centrale di 600 ore di volo l'anno. Ogni voce riporta la base su cui è calcolata, così che il conto sia rifacibile sostituendo i parametri.

Voce di esercizio	Importo annuo	Base di calcolo
Personale operativo diretto	108.000 euro	2,4 addetti a tempo pieno fra piloti e manutentori, costo aziendale medio di 45.000 euro, valore ottimistico per figure aeronautiche specializzate: l'analisi di sensitività della sezione 10.11 misura l'effetto di un costo superiore del 10 per cento e la fase di dettaglio dovrà confermare il parametro con offerte di lavoro reali
Manutenzione e ricambi	26.000 euro	8 per cento del capitale investito in cellula e carichi utili, proporzionale alle ore
Sostituzione periodica delle batterie	1.800 euro	2 pacchi da 1.800 euro, uno per cellula, sostituiti ogni 2 anni
Collegamento dati e satellitare	12.000 euro	canone di connettività per operazioni oltre l'orizzonte



Fonte: elaborazione dello studio, sezione 10.5. Ogni voce riporta la propria base di calcolo nel testo.

Figura 10.2. La struttura del costo diretto annuo di esercizio di un sistema a 600 ore di volo.

Voce di esercizio	Importo annuo	Base di calcolo
Carburante	2.100 euro	1,8 litri l'ora di benzina a 1,95 euro al litro su 600 ore
Assicurazione di responsabilità civile	3.000 euro	estremo superiore della fascia professionale, coerente con operazioni oltre la linea di vista
Oneri autorizzativi ricorrenti	1.500 euro	rinnovi, registrazioni e tariffe della piattaforma nazionale
Logistica, base operativa e software	12.000 euro	trasporti, ricovero, licenze di pianificazione ed elaborazione
Ammortamento del sistema	58.500 euro	325.000 euro su 5 anni con valore residuo del 10 per cento
Accantonamento per perdita e sostituzione	16.250 euro	5 per cento annuo del capitale, a copertura del tasso di perdita dei mezzi senza pilota
Ammortamento del percorso autorizzativo	20.000 euro	60.000 euro ripartiti su 3 anni
Costo diretto annuo per sistema	261.150 euro	
Struttura e spese generali	65.288 euro	25 per cento del costo diretto, per amministrazione, funzione commerciale, sede, revisione
Costo pieno annuo per sistema	326.438 euro	

Il consumo di carburante merita una precisazione metodologica, perché la voce adotta 1,8 litri l'ora, che è il consumo dichiarato dalle piattaforme commerciali di riferimento nella fascia, ed è volutamente prudente: il bilancio energetico del capitolo tecnico stima per il velivolo di progetto un consumo di circa 0,3 litri l'ora, quasi 6 volte inferiore. La scelta di tenere nel conto

il dato più alto ha due giustificazioni, cioè che il primo binario della strategia opera una piattaforma commerciale e non il velivolo di progetto, e che l'effetto sulla convenienza è trascurabile, perché anche il consumo prudenziale pesa per 2.100 euro l'anno su un costo annuo di oltre 326.000; qualora il velivolo proprietario confermasse al banco il proprio dato di progetto, la voce si ridurrebbe a poche centinaia di euro senza cambiare alcuna conclusione. Il premio assicurativo merita una nota, perché è una voce obbligatoria e spesso sottostimata. L'impiego di un aeromobile senza pilota è vietato in assenza di una copertura di responsabilità civile verso terzi non inferiore alle soglie della tabella dell'articolo 7 del Regolamento europeo 785 del 2004, che per una massa massima al decollo inferiore a 500 chilogrammi fissa il minimo a 750.000 diritti speciali di prelievo, pari a circa 900.000 euro, mentre la pratica commerciale si attesta su una copertura di un milione di euro; il premio per l'impiego professionale si colloca fra 800 e 3.000 euro l'anno secondo l'attività svolta [1]. Il modello adotta l'estremo superiore dell'intervallo perché le operazioni oltre la linea di vista su area popolata sono quelle a premio più alto, e sottostimare questa voce produrrebbe un errore che si scoprirebbe solo alla firma della polizza.

Due altre voci meritano attenzione perché una valutazione superficiale le sottostima. La prima è la sostituzione periodica delle batterie, che nei sistemi elettrici e ibridi è un costo ricorrente e non un imprevisto, perché il pacco si degrada con i cicli e con il tempo e va sostituito dopo alcuni anni. In un ibrido in serie la batteria è di tampone e non di trazione, con capacità dell'ordine di 1,5-2 kWh per cellula, e a prezzi di mercato dei pacchi per uso aeronautico leggero il singolo pacco costa 1.800 euro circa; con due cellule per sistema e una sostituzione ogni 2 anni la voce vale 1.800 euro l'anno. Va detto perché è un errore ricorrente nei piani di questo tipo, dove la voce viene talvolta dimensionata sui pacchi di trazione dei veicoli stradali, che hanno capacità di due ordini di grandezza superiore e prezzi corrispondenti. La seconda è l'accantonamento per perdita, che traduce in denaro il fatto che i mezzi senza pilota si perdono più spesso di quelli con equipaggio; il 5 per cento annuo del capitale corrisponde ad assumere la perdita di un sistema ogni 20 anni-sistema di esercizio, ipotesi prudente ma non pessimistica, ed è ciò che consente al modello di reggere l'incidente senza andare in crisi di cassa.

Ne discende un principio di gestione che il progetto adotta e che conviene enunciare, cioè che la sostenibilità del servizio si costruisce tanto nella riduzione dei costi ricorrenti quanto nella crescita dei ricavi. Le tre voci maggiori del conto sono il personale con 108.000 euro, l'ammortamento del sistema con 58.500 e la manutenzione con 26.000, e insieme valgono il 74 per cento del costo diretto: sono esattamente le tre voci su cui agiscono le scelte tecniche compiute nei capitoli precedenti, perché l'autonomia di bordo riduce il numero di operatori necessari per mezzo in volo, la riparabilità di progetto abbassa la manutenzione e allunga la vita utile su cui si spalma l'ammortamento, e l'elaborazione a bordo riduce la banda e quindi il costo del collegamento. Il costo di esercizio, lungi dall'essere un dato subito, è in buona parte il risultato di decisioni progettuali prese con la sostenibilità in mente.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e fonti regolatorie e assicurative. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Obbligo assicurativo per gli aeromobili senza pilota e costo delle polizze in Italia. Massimale minimo di 750.000 diritti speciali di prelievo, pari a circa 900.000 euro, per massa massima al decollo inferiore a 500 chilogrammi ai sensi dell'articolo 7 del Regolamento

(CE) 785/2004 e del regolamento ENAC attuativo del 2025; copertura professionale di mercato comunemente a 1.000.000 di euro; premio annuo professionale fra 800 e 3.000 euro (leg_24396e0b8f2f).

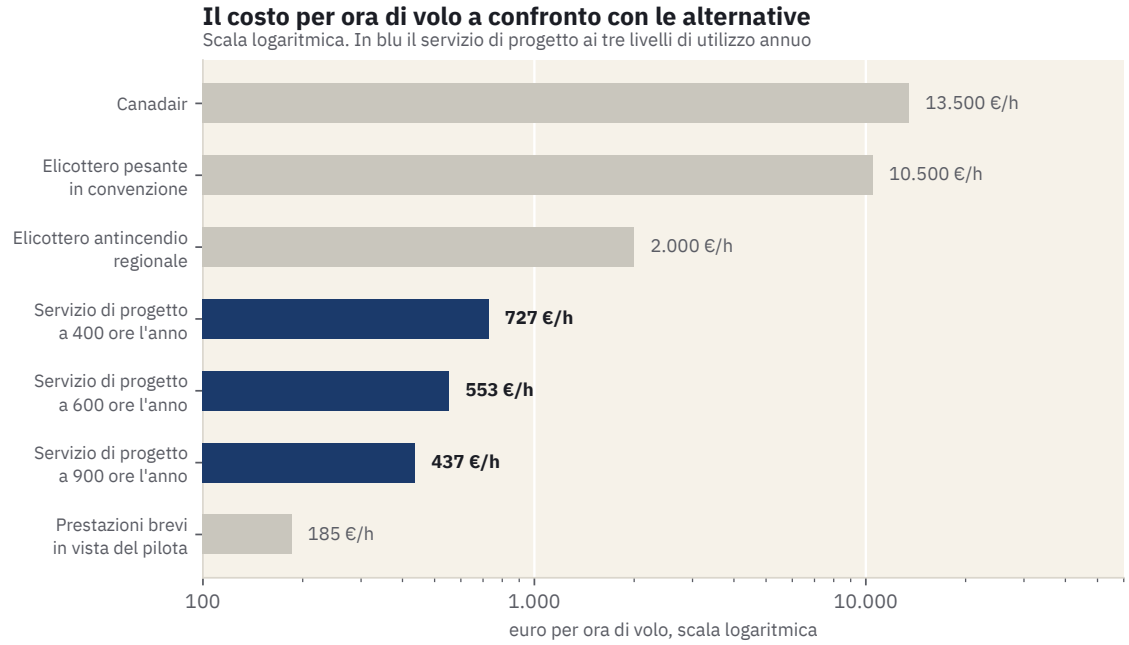
10.6 La metrica decisiva, il costo pieno per ora di volo

Confrontare i costi di sistemi diversi guardando al solo prezzo d'acquisto è fuorviante, e la metrica corretta è il costo del ciclo di vita per ora di volo, che somma acquisizione ed esercizio e li divide per le ore prodotte nella vita utile del mezzo [1]. È la metrica giusta perché mette sullo stesso piano un sistema costoso da comprare ma economico da esercire e uno economico da comprare ma caro da mantenere, e perché è quella su cui si costruiscono i contratti di servizio, che si pagano a ora di volo o a risultato e non a mezzo. Che la scelta della metrica non sia un tecnicismo lo mostra un dato di riferimento: per un sistema come l'RQ-4 il vantaggio di costo rispetto all'alternativa con equipaggio scende dal 38 al 17 per cento nel passaggio dal costo ricorrente al costo di ciclo di vita, il che significa che ragionare sul solo costo orario spicciolo sopravvaluta la convenienza di circa venti punti percentuali [1].

Il costo orario dipende in modo dominante dalla quantità di ore prodotte, perché la maggior parte delle voci del conto di esercizio è fissa. La tabella seguente calcola il costo pieno per ora di volo su tre livelli di utilizzo annuo, ricostruendo per ciascuno le voci variabili e mantenendo ferme quelle fisse.

Voce	400 ore l'anno	600 ore l'anno	900 ore l'anno
Personale operativo diretto	90.000 euro	108.000 euro	135.000 euro
Manutenzione e ricambi	18.000 euro	26.000 euro	39.000 euro
Sostituzione batterie	1.200 euro	1.800 euro	2.700 euro
Collegamento dati	10.000 euro	12.000 euro	15.000 euro
Carburante	1.400 euro	2.100 euro	3.200 euro
Assicurazione	3.000 euro	3.000 euro	3.000 euro
Oneri autorizzativi ricorrenti	1.500 euro	1.500 euro	1.500 euro
Logistica, base e software	10.000 euro	12.000 euro	14.000 euro
Ammortamento del sistema	58.500 euro	58.500 euro	58.500 euro
Accantonamento per perdita	16.250 euro	16.250 euro	16.250 euro
Ammortamento del percorso autorizzativo	20.000 euro	20.000 euro	20.000 euro
Costo diretto annuo	229.850 euro	261.150 euro	308.150 euro
Costo diretto per ora	575 euro	435 euro	342 euro
Costo pieno per ora, incluso il 25 per cento di struttura	718 euro	544 euro	428 euro

Il messaggio della tabella è netto. Passare da 400 a 900 ore di volo annue per sistema abbatte il costo pieno per ora da 718 a 428 euro, cioè del 40 per cento, senza che nulla cambi nella tecnologia impiegata. La leva economica più potente a disposizione del progetto non è la trattativa sul prezzo d'acquisto ma il riempimento del calendario di volo, ed è precisamente ciò che la modularità del carico utile e la lunga persistenza consentono, perché permettono di impiegare lo stesso mezzo sul monitoraggio dei versanti in una stagione, sulla vigilanza antincendio in un'altra e sull'ispezione delle reti in un'altra ancora. La versatilità del velivolo, argomentata nei capitoli tecnici per ragioni operative, si rivela qui una leva di costo misurabile in 290 euro per ora di volo.



Fonte: elaborazione dello studio sui parametri della sezione 10.6; costi dei mezzi con equipaggio da fonti di convenzione; tariffe degli operatori italiani da listini pubblici.

Figura 10.3. Il costo pieno per ora di volo del servizio a confronto con le alternative disponibili.

Il secondo fattore che determina il costo orario è il tasso di perdita, perché ogni mezzo perso è un capitale da ammortizzare su meno ore [1]. Il modello lo internalizza con l'accantonamento del 5 per cento annuo sul capitale, che pesa 27 euro per ora a 600 ore l'anno, e la flotta va dimensionata con un margine dell'ordine di un quinto rispetto al fabbisogno teorico affinché la perdita di un mezzo non interrompa il servizio contrattualizzato. È un realismo che protegge il modello economico dalle sorprese e che si paga in anticipo, con una capacità leggermente eccedente, anziché a posteriori con una penale contrattuale.

Il confronto con le alternative colloca questi valori nel loro contesto competitivo e definisce lo spazio di prezzo. Un elicottero antincendio regionale costa intorno ai 2.000 euro per ora di volo e un Canadair fra 12.000 e 15.000 [2], mentre nella letteratura sui programmi pubblici un sistema tattico come l'RQ-21A è stato misurato a 18.223 dollari per ora contro i 6.079 di un velivolo con equipaggio della stessa missione. All'estremo opposto, gli operatori italiani certificati praticano fra 70 e 300 euro per ora di volo per prestazioni brevi in vista del pilota con multirotori di piccola taglia [3]. Il servizio di progetto si colloca fra questi due mondi, con un costo pieno di 544 euro l'ora nella condizione centrale, cioè circa un quarto del costo di un elicottero regionale e circa il doppio del limite superiore delle prestazioni brevi, differenza quest'ultima interamente giustificata dalla persistenza, dall'autorizzazione oltre la linea di vista e dalla capacità di consegnare un dato elaborato anziché un filmato.

Ne discende la raccomandazione operativa che il capitolo assume e che la sezione sui ricavi traduce in tariffa. La variabile su cui concentrare lo sforzo gestionale è la massimizzazione delle ore utili prodotte da ciascun mezzo, perché è quella che spalma i costi fissi, e il valore soglia da tenere sotto controllo è 530 ore per sistema all'anno, sotto il quale, come mostra la sezione sulla sensitività, il conto pluriennale smette di essere conveniente. Ogni decisione

commerciale che aggiunge missioni al calendario di un mezzo già in servizio vale, sul piano economico, più di una decisione che aggiunge un mezzo al parco.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto, letteratura di settore e prezzi di mercato osservati. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio su costi, metrica del costo di ciclo di vita per ora di volo, riduzione del vantaggio di costo dal 38 al 17 per cento nel passaggio dal costo ricorrente a quello di ciclo di vita, driver della persistenza e del tasso di perdita, dimensionamento della flotta con margine, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
2. Costi orari dei mezzi aerei antincendio in Italia. Canadair fra 12.000 e 15.000 euro per ora di volo, elicottero pesante in convenzione fra 10.000 e 11.000 euro, elicottero antincendio regionale intorno ai 2.000 euro, oltre ai costi fissi di mobilitazione a ogni attivazione (mar_bcf2e2c567f5).
3. Listini pubblici degli operatori professionali italiani. Tariffa fra 70 e 300 euro per ora di volo secondo la qualificazione del pilota e la classe del velivolo, riferita a operazioni brevi in vista del pilota (mar_1cdb4822039f).

10.7 Il modello di ricavo, la tariffa e il mercato aggredibile

Sul fronte dei ricavi il modello è quello del servizio, cioè il dato venduto come prestazione a clienti pubblici ricorrenti, e il business si chiude sulle ore contrattualizzate moltiplicate per la tariffa meno il costo di ciclo di vita per ora [1]. È un modello che vende il risultato e non il mezzo, coerente con la struttura del mercato analizzata nella prima parte dello studio, dove l'hardware dei droni è una merce a basso margine mentre il valore difendibile sta nel servizio, e dove alcune agenzie pubbliche europee già comprano sorveglianza in questa forma, come mostra il contratto quadro da 30 milioni di euro che l'Agenzia europea per la sicurezza marittima ha aggiudicato nel dicembre 2025 per un servizio di volo completo di produzione e consegna del dato [2].

La determinazione della tariffa è la decisione commerciale più importante del piano, e va presa fissando quattro riferimenti. Il primo è il costo pieno di produzione, che nella condizione centrale di 600 ore l'anno è di 544 euro per ora di volo. Il secondo è il pavimento competitivo del mercato italiano, dove gli operatori certificati praticano fra 70 e 300 euro l'ora per prestazioni brevi in vista del pilota [3], valori riferiti a un servizio diverso e meno oneroso ma che definiscono l'aspettativa di prezzo di un cliente inesperto e vanno quindi affrontati in sede di offerta spiegando che cosa si compra in più. Il terzo è il costo dell'alternativa con equipaggio, cioè circa 2.000 euro l'ora per un elicottero antincendio regionale [4], che fissa il tetto oltre il quale il servizio perde ogni ragione economica. Il quarto è il prezzo implicito dei contratti istituzionali europei, ricostruibile per via indiretta in alcune migliaia di euro per ora di volo, che riguarda però sistemi tattici di classe superiore.

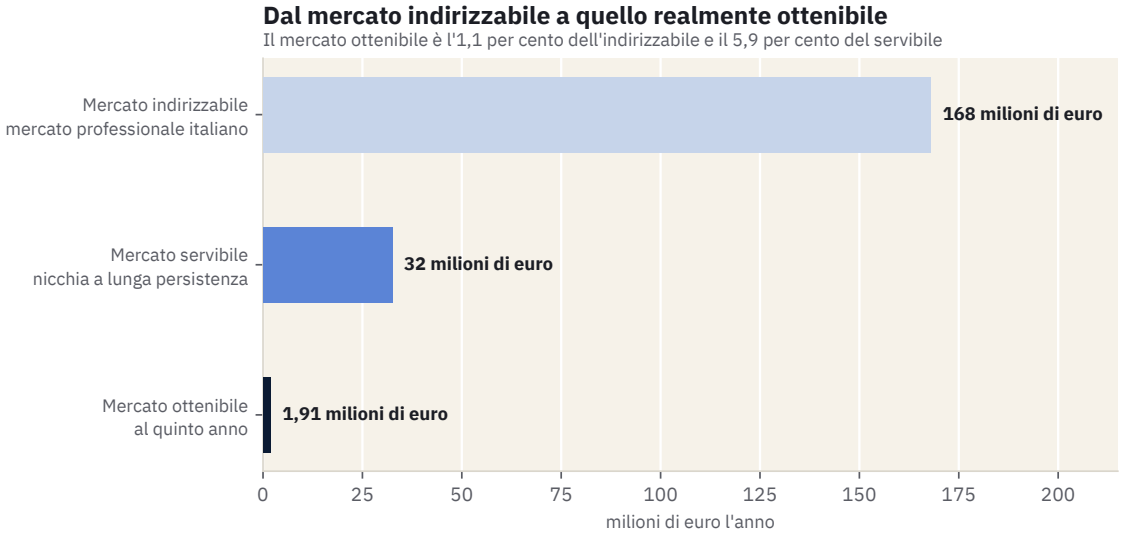
Prima di fissare la tariffa occorre però dichiarare la natura del terreno su cui la si fissa, perché è più incerto di quanto la presenza di quattro riferimenti lasci credere. Nessuno dei quattro misura il servizio in questione. Il pavimento riguarda prestazioni brevi e diverse, il tetto riguarda un mezzo con equipaggio, il prezzo istituzionale riguarda sistemi di classe superiore, e il costo di produzione è un costo e non un prezzo. La documentazione raccolta per questo studio, che pure copre con ampiezza il mercato italiano dei servizi con drone,

non contiene dati sui prezzi realmente spuntati per servizi di persistenza autorizzati oltre la linea di vista, né sulle ore di volo effettivamente fatturate per operatore e per anno, né sui margini medi del settore, e questa è una lacuna dichiarata delle fonti e non una svista di questo capitolo [6]. Ne discende che la tariffa e le ore annue, che sono le due variabili da cui la sezione sulla sensitività mostra dipendere l'intero risultato, sono stime dell'autore ancorate a riferimenti indiretti e non dati di mercato osservati, e che il primo esercizio va impostato come una campagna di misura di questi due parametri prima ancora che come una campagna commerciale. È la ragione per cui la sezione 10.10 fissa una revisione formale della strategia al terzo anno con soglie numeriche esplicite, e per cui la raccolta dei prezzi reali attraverso richieste di offerta e colloqui con i committenti è indicata fra le verifiche prioritarie della fase successiva.

Dentro questi riferimenti, e con questa cautela dichiarata, il piano adotta una tariffa media ponderata di 700 euro per ora di volo per il servizio persistente autorizzato oltre la linea di vista, e di 400 euro per ora per le prestazioni del primo anno svolte in vista del pilota. La tariffa di 700 euro corrisponde a un ricarico del 29 per cento sul costo pieno nella condizione centrale, si colloca a poco più di un terzo del costo dell'elicottero regionale e resta quindi difendibile in una gara pubblica in cui il confronto sia condotto correttamente. È una tariffa media ponderata, non un listino: nelle missioni istituzionali, meno sensibili al prezzo, il valore realizzabile è superiore, mentre nelle commesse civili di monitoraggio ordinario sarà inferiore, e il compito della funzione commerciale è comporre un portafoglio la cui media si mantenga sopra la soglia di 635 euro individuata dall'analisi di sensitività.

Accanto ai ricavi da volo il modello prevede una seconda linea, quella dei servizi di elaborazione e di reportistica, che comprende la restituzione cartografica, gli indici di vegetazione, i confronti multitemporali sui versanti e la produzione dei rapporti tecnici per le amministrazioni. È una linea a margine più alto perché impiega capitale intellettuale anziché capitale fisico, cresce con il numero di commesse attive e non con le ore di volo, ed è quella che dà al servizio la sua difendibilità nel tempo, perché il rapporto con il cliente si costruisce sul dato interpretato e non sul filmato consegnato. Il piano la dimensiona al 12 per cento circa dei ricavi complessivi a regime, facendola partire però già dal primo anno con 40.000 euro: sono i rapporti tecnici e le restituzioni cartografiche venduti sui rilievi a vista del primo esercizio, che non richiedono l'autorizzazione oltre la vista perché il valore sta nell'interpretazione e non nella persistenza del volo. È una quota elevata dei ricavi del primo anno, e proprio per questo va presidiata come indicatore precoce: se la reportistica trova mercato prima ancora del volo oltre l'orizzonte, la difendibilità del servizio si conferma sul campo.

Livello di mercato	Valore	Composizione
Mercato indirizzabile	168 milioni di euro nel 2025, in crescita del 5 per cento annuo	intero mercato professionale italiano dei droni e della mobilità aerea avanzata, con le operazioni aeree al 95 per cento del valore [5]
Mercato servibile	25-40 milioni di euro l'anno	nicchia a lunga persistenza e alta disponibilità a pagare, sommata all'accesso per subappalto al procurement istituzionale
Mercato ottenibile al quinto anno	1,9 milioni di euro	quota compresa fra il 5 e l'8 per cento del servibile, coerente con la traiettoria di un nuovo entrante radicato sul territorio



Fonte: elaborazione dello studio, sezione 10.7, su rilevazione dell'Osservatorio del Politecnico di Milano per il mercato indirizzabile.

Figura 10.4. Il passaggio dal mercato indirizzabile a quello realmente ottenibile.

La lettura della tabella impone realismo e insieme lo giustifica. Il mercato indirizzabile è piccolo e in decelerazione, con 675 imprese attive che si contendono 168 milioni di euro [5], il che conferma che non c'è spazio per un fornitore generico e che serve occupare una nicchia difendibile. Il mercato servibile, stimato fra 25 e 40 milioni di euro l'anno, si ottiene sommando la quota delle operazioni aeree compatibile con un servizio a lunga persistenza, dell'ordine del 15 per cento del mercato professionale, alla quota accessibile per subappalto sui contratti istituzionali. Il mercato ottenibile al quinto anno, pari a 1,9 milioni di euro, corrisponde a una penetrazione compresa fra il 5 per cento, se il servibile è di 40 milioni, e l'8 per cento, se è di 25, valore che per un nuovo entrante con radicamento territoriale e sostegno della rete cooperativa è ambizioso ma non irrealistico.

La composizione di quel mercato ottenibile va esplicitata contratto per contratto, perché è ciò che rende la stima difendibile invece che arbitraria. Al quinto anno il piano prevede una commessa pubblica ricorrente di monitoraggio del territorio con la Regione e gli enti di area vasta, dell'ordine di 500.000 euro l'anno, un presidio stagionale antincendio su convenzione, dell'ordine di 350.000 euro, un contratto di ispezione periodica di reti lineari con un gestore infrastrutturale, dell'ordine di 450.000 euro, un insieme di commesse minori di servizio alle cooperative e agli enti locali per circa 230.000 euro, una quota di accesso per subappalto o consorzio a un contratto quadro di sorveglianza istituzionale per circa 150.000 euro, per complessivi 1.680.000 euro di ricavi da volo, e i servizi di elaborazione dati per i restanti 230.000 euro, per un totale di 1.910.000 euro che chiude esattamente il conto pluriennale dello scenario di base. È una composizione fatta di molti contratti piccoli e medi più l'aggancio a una committenza maggiore, coerente con la natura di nicchia del progetto, e la sua concretezza è ciò che la distingue da una proiezione di crescita astratta.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto, sezioni del capitolo di mercato di questo studio e prezzi di mercato osservati. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che

rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell’appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio su costi e modello di servizio, chiusura del business sulle ore contrattualizzate al netto del costo di ciclo di vita, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
2. Contratto quadro EMSA-Airbus per il servizio Flexrotor, aggiudicato il 17 dicembre 2025 per 30 milioni di euro, con operazioni di volo, produzione di immagini elettro-ottiche, infrarosse e radar e consegna dei dati al centro dati dell’agenzia (mar_c7cfb4b2069f).
3. Listini pubblici degli operatori professionali italiani, tariffa fra 70 e 300 euro per ora di volo per prestazioni brevi in vista del pilota (mar_1cdb4822039f).
4. Costi orari dei mezzi aerei antincendio in Italia, elicottero antincendio regionale intorno ai 2.000 euro per ora di volo, Canadair fra 12.000 e 15.000 (mar_bcf2e2c567f5).
5. Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata del Politecnico di Milano, rilevazione 2025. Mercato professionale italiano a 168 milioni di euro con crescita del 5 per cento, 675 imprese attive, operazioni aeree al 95 per cento del valore (mar_5e6c3714440d).
6. Sintesi del dominio di mercato della documentazione di progetto, che dichiara fra le proprie lacune l’assenza di dati sulle ore di volo effettivamente fatturate per operatore e per anno, sui costi operativi e sui margini medi degli operatori italiani, e la conseguente difficoltà di modellare la sostenibilita’ economica di un nuovo entrante, `feas-market`

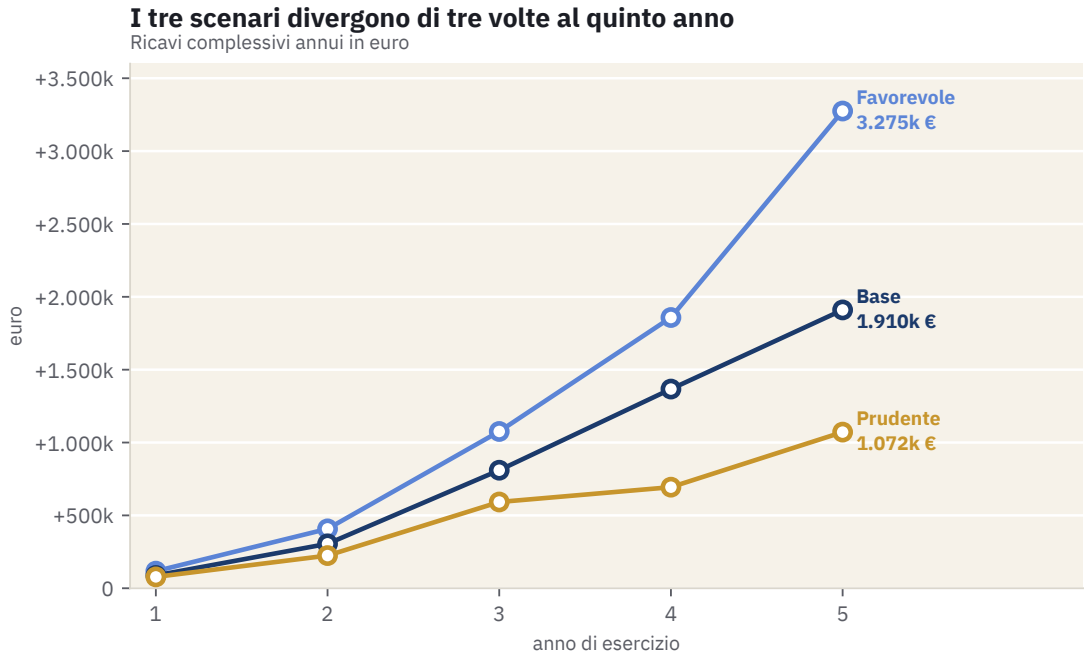
10.8 Gli scenari di ricavo

Poiché i ricavi di un nuovo entrante sono per definizione incerti, presentarli come un’unica proiezione sarebbe illusorio, e il metodo corretto è costruire tre scenari che delimitino l’intervallo plausibile. Gli scenari non sono previsioni ma ipotesi di lavoro, e il loro scopo è verificare come si comporti il progetto in ciascuno, perché un piano che sta in piedi solo nello scenario favorevole non è un piano ma una scommessa.

I tre scenari si differenziano per tre parametri soltanto, e questo li rende confrontabili. Il primo è il ritmo di crescita della flotta, il secondo è il numero di ore volate per sistema, il terzo è la tariffa media ponderata. Tutte le altre ipotesi, dal costo del personale al premio assicurativo alla struttura degli ammortamenti, restano identiche a quelle già dichiarate nelle sezioni precedenti.

Parametro	Prudente	Base	Favorevole
Sistemi in servizio, dal primo al quinto anno	1, 1, 2, 2, 3	1, 1, 2, 3, 4	1, 1, 2, 3, 5
Ore per sistema al quinto anno	480	600	750
Tariffa media ponderata oltre la linea di vista	635 euro l’ora	700 euro l’ora	780 euro l’ora
Quota dei servizi di elaborazione dati sui ricavi	14 per cento	12 per cento	11 per cento

La tabella seguente riporta i ricavi complessivi che ne discendono, sommando la linea del volo e quella dei servizi di elaborazione. Al quinto anno i 1.910.000 euro dello scenario di base si compongono di 1.680.000 euro di ricavi da volo, cioè 4 sistemi per 600 ore a 700 euro, e di 230.000 euro di elaborazione dati, mentre i 3.275.000 euro dello scenario favorevole si compongono di 2.925.000 euro di ricavi da volo, cioè 5 sistemi per 750 ore a 780 euro, e di 350.000 euro di elaborazione dati.



Fonte: elaborazione dello studio, sezione 10.8. Gli scenari differiscono per flotta, ore per sistema e tariffa media.

Figura 10.5. L'andamento dei ricavi complessivi nei tre scenari lungo il quinquennio.

Anno	Prudente	Base	Favorevole
Primo	78.000 euro	88.000 euro	117.500 euro
Secondo	224.200 euro	305.000 euro	407.600 euro
Terzo	592.000 euro	810.000 euro	1.076.000 euro
Quarto	693.680 euro	1.367.000 euro	1.858.000 euro
Quinto	1.071.600 euro	1.910.000 euro	3.275.000 euro

La distanza fra gli estremi è di tre volte al quinto anno, ed è ampia come è giusto che sia per un nuovo entrante, ma la sua lettura va fatta con attenzione perché quella distanza non nasce da un diverso ottimismo sul mercato bensì da tre decisioni operative. La prima è la velocità con cui si acquisiscono le commesse che riempiono il calendario di volo, che determina le ore per sistema. La seconda è la composizione del portafoglio fra missioni istituzionali, meno sensibili al prezzo, e commesse civili ordinarie, che determina la tariffa media. La terza è il ritmo con cui si aggiungono sistemi, che è una scelta dell'impresa e non un dato esterno. Ne discende che lo scenario che si realizzerà dipende in buona parte dall'azione dell'impresa e dei suoi partner, e che investire nella costruzione delle relazioni istituzionali con la Regione, i comuni e gli enti del territorio, come i capitoli sul territorio e sul modello cooperativo hanno indicato, significa in senso economico spostare il progetto dallo scenario prudente a quello di base.

Va sottolineato un aspetto che rende il confronto fra scenari più informativo di una semplice forbice, cioè che il costo pieno per ora di volo cambia insieme al volume, come la sezione 10.6 ha mostrato. Nello scenario prudente, con 480 ore per sistema, il costo pieno si colloca intorno ai 635 euro l'ora, cioè al livello della tariffa ipotizzata, e il margine unitario si annulla;

nello scenario di base, con 600 ore, il costo scende a 544 euro contro una tariffa di 700, con un margine di 156 euro l'ora; nello scenario favorevole, con 750 ore, il costo scende ancora a circa 490 euro contro una tariffa di 780, con un margine di 290 euro l'ora. Il volume agisce quindi due volte nello stesso verso, aumentando i ricavi e abbassando il costo unitario, ed è questa doppia leva a spiegare perché il risultato economico degli scenari diverga molto più di quanto divergano le loro ipotesi.

Ne discende la raccomandazione che il progetto assume, cioè pianificare la struttura dei costi sullo scenario prudente e la funzione commerciale su quello di base, verificando lo scostamento con cadenza trimestrale sulle ore contrattualizzate, che sono l'indicatore anticipatore di tutto il resto. È l'atteggiamento opposto a quello che dimensiona la struttura sullo scenario favorevole e si impegna in costi che solo quello scenario giustificherebbe, atteggiamento che è la causa più frequente della crisi delle imprese giovani [1]. La regola operativa che ne consegue è semplice e va scritta nel piano industriale, cioè che un nuovo sistema si acquista soltanto quando i sistemi già in servizio hanno superato per due trimestri consecutivi il 75 per cento dell'utilizzo obiettivo, il che lega la crescita del capitale investito ai ricavi conseguiti anziché a quelli attesi.

Note e riferimenti

Le fonti sono sezioni del capitolo di mercato di questo studio e la modellazione economica dell'autore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Analisi del mercato aggredibile e della strategia di ingresso, prudenza sui ricavi del nuovo entrante e bassa sopravvivenza delle imprese giovani, sezione `02_14_mercato-aggredibile-ingresso` del capitolo di mercato e `feas-market`

10.9 Il piano di finanziamento, fonti e impieghi

Il piano di finanziamento è il perno che tiene insieme il progetto, perché concilia il costo elevato dello sviluppo con la prudenza dei ricavi iniziali, e la sua logica è quella di far corrispondere a ciascuna fase la fonte adatta alla sua natura e al suo rischio. È questa corrispondenza, e non un generico ottimismo, a rendere il progetto finanziariamente sostenibile, perché una cifra alta pagata dalla fonte giusta e al momento giusto non grava sull'impresa come graverebbe un esborso indistinto e anticipato.

Fase	Fabbisogno	Fonte prevista	Natura del rischio coperto
Studio di fattibilità	50.000 euro	Coopfond, Fondo Servizi Reali del Programma Cooding II	generazione di conoscenza e riduzione dell'incertezza
Avvio del servizio, primo sistema e autorizzazione	385.000 euro	contributi regionali e delle aree interne, Nuova Sabatini, aiuti di piccola entità, capitale proprio	investimento produttivo a rischio tecnico minimo
Crescita della flotta, dal secondo al quarto sistema	975.000 euro sull'arco del piano	autofinanziamento dai ricavi, Nuova Sabatini, credito bancario garantito	investimento incrementale legato a ricavi conseguiti
Finanziamento del capitale circolante	linea fino a 550.000 euro, con picco al terzo anno	anticipo su fatture o su contratti, con garanzia del fondo per le piccole e medie imprese	sfasamento fra la maturazione del ricavo e il suo incasso

Fase	Fabbisogno	Fonte prevista	Natura del rischio coperto
Sviluppo del velivolo proprietario fino al dimostratore	1.850.000-3.050.000 euro	Horizon Europe, linea PNRR per le tecnologie satellitari e l'economia dello spazio, bandi regionali per l'innovazione, programmi dell'agenzia spaziale	rischio tecnologico di ricerca industriale
Industrializzazione e certificazione del prodotto	2.000.000-4.000.000 euro	strumenti nazionali per l'innovazione industriale, partner industriali di consorzio	rischio di prodotto e di conformità

La riga del circolante non finanzia un bene ma un intervallo di tempo, ed è la sola del prospetto che non produce alcun attivo. Va nondimeno messa in cima alle attenzioni, perché è quella che manda in crisi le imprese giovani che vendono al settore pubblico, dove il ricavo è certo ma lento, e perché lo strumento adatto non è nessuno di quelli elencati per gli investimenti. Serve una linea di anticipo su fatture o su contratti, che si attiva sui crediti già maturati e cresce con essi, e che va negoziata con la banca prima della prima commessa e non quando la cassa si stringe. La garanzia pubblica per le piccole e medie imprese ne abbatte il costo e ne facilita la concessione, e il sistema cooperativo dispone di propri strumenti di garanzia mutualistica che vanno esplorati in parallelo. Il costo di questa linea, dell'ordine di poche decine di migliaia di euro l'anno a regime, non è incluso nel conto economico della sezione 10.10 e va aggiunto in sede di modello finanziario di dettaglio.

La struttura degli impieghi mostra con chiarezza il punto centrale del piano, cioè che sull'arco quinquennale l'impresa mette a rischio proprio soltanto la quota di capitale non coperta da contributi sull'investimento di avvio e sulla crescita della flotta, mentre le due voci maggiori, quella dello sviluppo e quella dell'industrializzazione, che insieme valgono fra 3,85 e 7,05 milioni di euro, corrono su un binario finanziato dall'esterno e condizionato al superamento di punti di decisione. Il rapporto fra l'esposizione propria e il valore complessivo del programma è dell'ordine di uno a venti, ed è questo rapporto, più di ogni altra cifra, a definire il profilo di rischio dell'iniziativa.

Sul canale degli aiuti di piccola entità va fatta una precisazione che incide direttamente sulla capienza disponibile. Il Regolamento dell'Unione 2023/2831 ha portato a 300.000 euro il massimale de minimis generale concedibile a una medesima impresa nell'arco di 3 anni, mentre il Regolamento 2023/2832, dedicato alle compensazioni per la gestione di servizi di interesse economico generale, colloca il proprio massimale a 750.000 euro; entrambi si applicano dal primo gennaio 2024 fino al 31 dicembre 2030 e il triennio si calcola su base mobile, risalendo esattamente di 1.095 giorni dalla data di concessione [1]. La differenza fra i due massimali è di 450.000 euro, cioè più dell'intero investimento di avvio, e dipende interamente dalla qualificazione del servizio come servizio di interesse economico generale, qualificazione che va argomentata giuridicamente rispetto alla natura effettiva delle prestazioni prima di poggiarvi sopra il piano finanziario. È la singola decisione giuridica a maggior impatto economico dell'intero progetto, e va affrontata prima della sottoscrizione della prima convenzione con un ente pubblico, perché a quel punto la forma del rapporto sarà già determinata.

Sul canale nazionale ordinario operano due strumenti che il piano assume come pilastri della copertura dell'investimento di avvio e della crescita della flotta. La Nuova Sabatini, rifinanziata con oltre 600 milioni di euro, eroga un contributo in conto impianti a copertura degli interessi su finanziamenti bancari o su operazioni di locazione finanziaria destinati

all'acquisto di beni strumentali, hardware, software e tecnologie a basso impatto ambientale, ed è lo strumento naturale per il sistema di volo e la stazione di terra perché opera su beni strumentali materiali e immateriali e si combina con il credito bancario anziché sostituirlo; Smart&Start Italia, gestito da Invitalia con una dotazione dell'ordine di 200 milioni di euro, sostiene le startup innovative con finanziamenti a tasso zero e una componente di contributo a fondo perduto [2]. Entrambi operano in regime di aiuto e vanno conteggiati nel plafond de minimis quando concessi in quella forma, il che impone una verifica di cumulo prima di combinarli con i contributi regionali.

Il canale della ricerca e dell'innovazione merita di essere messo in evidenza perché è quello che rende sostenibile lo sviluppo del velivolo proprietario senza gravare sull'impresa. Horizon Europe, il programma quadro europeo per la ricerca e l'innovazione, dispone di 95,5 miliardi di euro per il periodo 2021-2027 e finanzia progetti collaborativi con un requisito minimo di due entità di due Stati membri, mentre sul piano nazionale la linea del Piano nazionale di ripresa e resilienza dedicata alle tecnologie satellitari e all'economia dello spazio vale circa 1,49 miliardi di euro e apre alle applicazioni che integrano il dato orbitale con quello aereo, che è esattamente il posizionamento del progetto [3]. A questi si affiancano i bandi regionali per l'innovazione, più piccoli ma meno affollati e più vicini al radicamento territoriale dell'impresa. C'è però una correzione di prospettiva che questa revisione introduce con franchezza, perché il racconto secondo cui lo sviluppo non grava sull'impresa vale solo per gli strumenti a copertura integrale. Gli strumenti davvero accessibili per un dimostratore a questo livello di maturità, come le azioni di innovazione europee e i bandi regionali sui fondi strutturali, coprono fra il 50 e il 70 per cento del costo ammissibile, e questo significa che su uno sviluppo da 2,4 a 4,6 milioni di euro di inviluppo una quota fra 0,6 e 1,2 milioni resta a carico dell'impresa come cofinanziamento, in cassa o in lavoro interno valorizzato. È una cifra che il piano precedente non esponeva e che invece va messa a bilancio di previsione fin da ora, perché decide la tempistica del binario del costruire. Ne discende la regola di attivazione che il capitolo delle conclusioni riporta fra i punti di decisione: lo sviluppo proprietario parte solo quando una copertura esterna di almeno il 70 per cento del suo inviluppo è aggiudicata, e fino a quel momento l'impresa resta sul binario dell'acquistare, che è redditizio da solo. La costruzione di un partenariato di ricerca richiede mesi e non settimane, e ne discende una conseguenza gestionale precisa: il presidio dei canali di finanziamento non è un'attività accessoria ma una funzione centrale dell'impresa, da avviare contestualmente all'avvio del servizio e non dopo. Il coinvolgimento di Legacoop Liguria e di Coopfond è prezioso anche qui, oltre che nel finanziamento dello studio, per le relazioni e la capacità di aggregazione che il sistema cooperativo mette a disposizione nella costruzione dei partenariati.

L'effetto della copertura pubblica sull'investimento produttivo va infine quantificato, perché è la leva finanziaria a maggior impatto sul risultato. Assumendo una copertura del 40 per cento sui 325.000 euro di ciascun sistema acquisito, cioè 130.000 euro per sistema, il valore attuale netto dell'attività di servizio nello scenario di base sale da circa 256.000 a circa 715.000 euro, con un incremento di 459.000 euro che eccede di quasi due volte il valore attuale netto di partenza. È la dimostrazione numerica del fatto che, per un'impresa di servizio ad alta intensità di capitale che opera su domanda pubblica, la capacità di intercettare il cofinanziamento sugli investimenti conta più della trattativa sul prezzo di acquisto, e giustifica di destinare una quota stabile del tempo direttivo al presidio dei bandi.

Note e riferimenti

Le fonti sono regolamenti europei, documenti di programma e sezioni del capitolo di mercato di questo studio. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

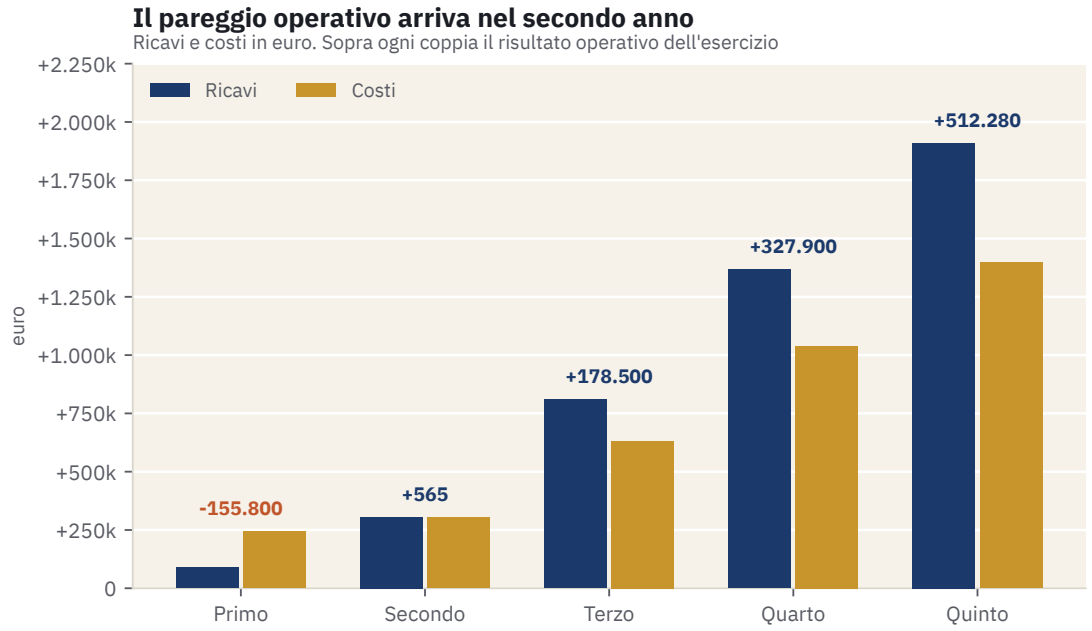
1. Regolamenti de minimis 2023/2831 e 2023/2832. Massimale generale di 300.000 euro e massimale per i servizi di interesse economico generale di 750.000 euro su 3 anni, applicazione dal 1 gennaio 2024 al 31 dicembre 2030, calcolo del triennio su base mobile risalendo 1.095 giorni dalla data di concessione (leg_104dc58aa50c).
2. Strumenti nazionali di sostegno agli investimenti. Nuova Sabatini rifinanziata con oltre 600 milioni di euro per il contributo in conto impianti su beni strumentali, hardware, software e tecnologie a basso impatto ambientale; Smart&Start Italia gestito da Invitalia con dotazione dell'ordine di 200 milioni di euro, finanziamenti a tasso zero e componente di contributo a fondo perduto (mar_c6ff0f03bc73).
3. Canali europei e nazionali per la ricerca e l'innovazione, Horizon Europe con 95,5 miliardi di euro per il periodo 2021-2027 e requisito minimo di due entità di due Stati membri, linea del Piano nazionale di ripresa e resilienza per le tecnologie satellitari e l'economia dello spazio con circa 1,49 miliardi di euro, sezione `02_12_finanziamenti` del capitolo di mercato di questo studio.

10.10 Il conto pluriennale e gli indicatori di convenienza

Messi insieme i costi e i ricavi, si può costruire il conto pluriennale dell'attività di servizio, cioè del primo binario della strategia, tenendolo distinto dallo sviluppo del velivolo proprietario che, essendo pagato da fondi esterni, non grava sul conto economico dell'impresa. Questa distinzione è essenziale per leggere correttamente la convenienza, perché mescolare il conto del servizio, che l'impresa deve far quadrare con i propri ricavi, con quello dello sviluppo, che i fondi pubblici coprono, produrrebbe un quadro falsamente negativo.

La tabella seguente riporta il conto economico dell'attività di servizio nello scenario di base, costruito applicando i parametri dichiarati nelle sezioni precedenti alla traiettoria di flotta e di utilizzo dello scenario di base. Perché la tabella sia ricalcolabile, la composizione dei costi operativi va dichiarata per esteso: essi sommano il costo diretto per sistema della sezione 10.5, ricalcolato sulle ore effettivamente prodotte nell'anno, il personale dedicato alla linea di elaborazione dati, che cresce con le commesse attive, e una contingenza del 5 per cento sulle voci variabili; la scomposizione analitica voce per voce è tra i prodotti del modello finanziario della fase successiva.

Voce	Primo anno	Secondo anno	Terzo anno	Quarto anno	Quinto anno
Sistemi in servizio	1	1	2	3	4
Ore di volo prodotte	120	350	1.000	1.710	2.400
Ricavi da servizi di volo	48.000	245.000	700.000	1.197.000	1.680.000
Ricavi da elaborazione dati	40.000	60.000	110.000	170.000	230.000
Ricavi complessivi	88.000	305.000	810.000	1.367.000	1.910.000
Costi operativi, contingenza inclusa	168.168	207.112	454.650	782.282	1.081.080
Ammortamenti	58.500	78.500	137.000	195.500	234.000
Accantonamento per perdita	16.250	16.250	32.500	48.750	65.000
Costi complessivi	242.918	301.862	624.150	1.026.532	1.380.080



Fonte: elaborazione dello studio, scenario di base, sezione 10.10.

Figura 10.6. Ricavi, costi e risultato operativo dell'attività di servizio nello scenario di base.

Voce	Primo anno	Secondo anno	Terzo anno	Quarto anno	Quinto anno
Risultato operativo	-154.918	3.138	185.850	340.468	529.920
Margine operativo	negativo	1,0 per cento	22,9 per cento	24,9 per cento	27,7 per cento

Il profilo che ne emerge è quello tipico di un'impresa di servizio che parte, con il primo anno in perdita per 154.918 euro, il pareggio operativo raggiunto già nel secondo anno. Il salto dipende da due effetti che si compongono e che conviene tenere distinti, perché hanno cause diverse: le ore prodotte passano da 120 a 350, cioè quasi triplicano, mentre l'ottenimento dell'autorizzazione oltre la linea di vista porta la tariffa da 400 a 700 euro l'ora, con un aumento del 75 per cento. Il prodotto dei due effetti moltiplica per 3,5 i ricavi, da 88.000 a 305.000 euro, ed è il volume, non il prezzo, a pesare di più, e una redditività che si stabilizza fra il 23 e il 28 per cento dal terzo anno in avanti. La perdita del primo anno è contenuta e prevedibile, e va coperta con la dotazione iniziale di capitale e con i contributi di avvio, non con il credito di esercizio, che va invece riservato al finanziamento dei crediti verso i committenti.

Dal conto economico si passa ai flussi di cassa, che sono ciò che determina la convenienza dell'investimento. La tabella seguente li ricostruisce sommando al risultato operativo gli ammortamenti e gli accantonamenti, che non comportano uscita di cassa, e sottraendo le imposte, gli investimenti e l'assorbimento di capitale circolante. Le imposte sono calcolate con l'aliquota effettiva del 14 per cento propria della cooperativa a mutualità prevalente, tenendo conto del riporto delle perdite dei primi esercizi. La costruzione di questa aliquota, che deriva dall'interazione fra la riserva indivisibile e la riserva legale tipiche della forma cooperativa, è difendibile ma va validata dal consulente fiscale prima della presentazione del piano, perché

un esito diverso della validazione sposterebbe le imposte del quinto anno in una forbice fra 57.000 e 106.000 euro senza alterare le conclusioni sulla convenienza.

Voce	Primo anno	Secondo anno	Terzo anno	Quarto anno	Quinto anno
Margine operativo lordo	-80.168	97.888	355.350	584.718	828.920
Imposte	0	0	4.770	47.666	74.189
Investimenti	385.000	0	325.000	325.000	325.000
Valore residuo degli attivi					130.000
Variazione del capitale circolante	21.700	53.500	124.500	137.400	133.900
Recupero del circolante a fine orizzonte					471.000
Flusso di cassa disponibile	-486.868	44.388	-98.920	74.652	896.831
Flusso cumulato	-486.868	-442.480	-541.400	-466.748	430.083

La riga del capitale circolante è quella che un piano economico dimentica più spesso e che più spesso manda in difficoltà un'impresa giovane, e va quindi spiegata. Il servizio vende quasi esclusivamente a committenti pubblici, e fra l'emissione della fattura e l'incasso passa un tempo che il modello assume in 90 giorni, coerente con i termini di legge e con la prassi corrente degli enti locali e regionali. Ne segue che in ogni momento una quota dei ricavi dell'anno è già maturata ma non ancora incassata, quota che cresce con il fatturato e che al quinto anno vale 471.000 euro, cioè più dell'intero investimento di avvio. Quel denaro non è perduto, e infatti la tabella lo recupera a fine orizzonte, ma va anticipato per tutta la durata del piano, e la sua crescita assorbe cassa esattamente negli anni in cui il servizio si espande. È la ragione per cui il flusso del terzo anno torna negativo pur essendo l'esercizio in utile, e per cui l'impresa deve disporre di una linea di credito commisurata ai crediti verso clienti e non solo del capitale per gli investimenti.

Il fabbisogno finanziario che ne discende va letto sul cumulato al netto del recupero finale, e raggiunge il proprio massimo di circa 541.000 euro alla fine del terzo anno, non del primo. Rispetto ai 465.000 euro che il solo investimento avrebbe richiesto, il fabbisogno di picco cresce quindi di circa 76.000 euro e si sposta in avanti di due esercizi, il che cambia sia l'ammontare sia il momento della copertura da mettere in sicurezza. Se i tempi di incasso si allungassero a 150 giorni, ipotesi non remota con alcuni enti, il circolante del quinto anno salirebbe a 785.000 euro e il fabbisogno di picco supererebbe i 700.000, ed è per questo che la sezione sul piano di finanziamento iscrive fra le fonti una linea di anticipo su fatture e non soltanto gli strumenti per l'investimento.

Gli indicatori di convenienza si calcolano su questi flussi attualizzati al 4 per cento reale, che è il tasso di riferimento indicato dalla Commissione europea per la prospettiva finanziaria [1].

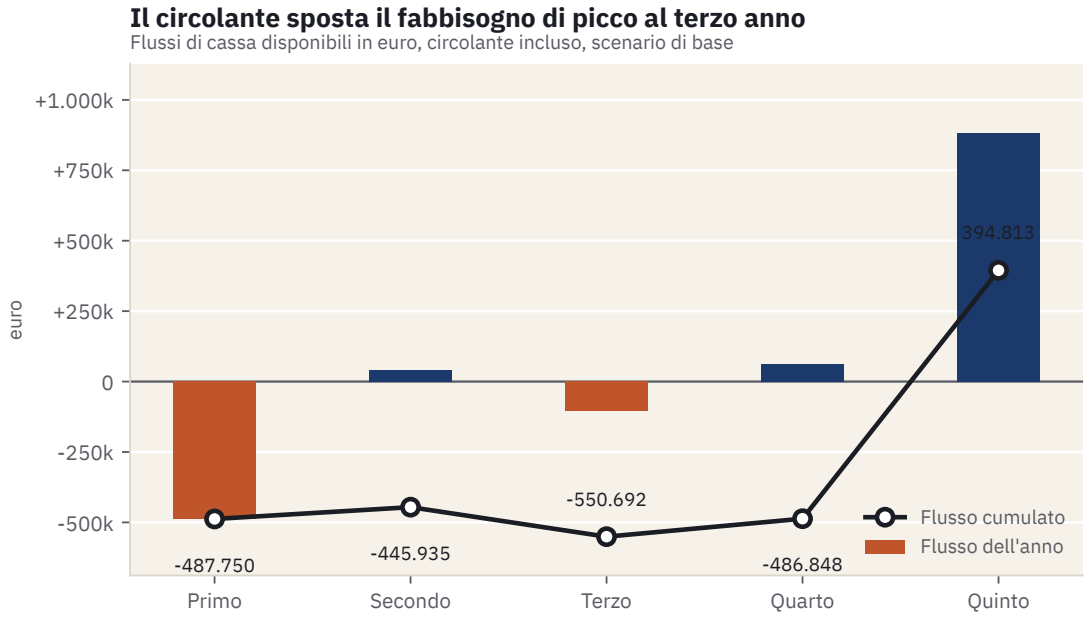
Indicatore	Scenario prudente	Scenario di base	Scenario favorevole
Valore attuale netto al 4 per cento, prima del circolante	-140.000 euro	307.000 euro	1.125.000 euro
Valore attuale netto al 4 per cento, circolante incluso	-166.000 euro	286.000 euro	1.071.000 euro
Tasso interno di rendimento sul quinquennio	non definito, flussi cumulati negativi	17,2 per cento	circa 42 per cento
Tempo di ritorno attualizzato	oltre il quinto anno	4 anni e 7 mesi	3 anni e 4 mesi

Indicatore	Scenario prudente	Scenario di base	Scenario favorevole
Flusso cumulato al quinto anno	-100.000 euro	430.083 euro	1.380.000 euro
Fabbisogno finanziario di picco	602.000 euro al quarto anno	541.000 euro al terzo anno	694.000 euro al terzo anno

La lettura di questa tabella è il risultato centrale del capitolo e va data senza attenuazioni. Nello scenario di base l'attività di servizio è conveniente, con un valore attuale netto positivo di 286.000 euro una volta incluso il capitale circolante e un tasso interno di rendimento del 17,2 per cento, valore inferiore a quello che la letteratura riporta per iniziative analoghe, dove uno studio su un servizio di noleggio di droni agricoli misura un tasso interno del 22,62 per cento e un tempo di ritorno di 2 anni e 10 mesi [2], differenza che si spiega con la maggiore intensità di capitale e con il ciclo di incasso pubblico di questo servizio. Va notato che il circolante toglie 21.000 euro al valore attuale netto e circa 5 punti al tasso interno, e che il secondo effetto è molto più severo del primo, perché il tasso interno è sensibile alla collocazione dei flussi nel tempo mentre il valore attuale ne risente meno; è un modo per dire che il circolante non distrugge valore ma ne ritarda la formazione, e che il costo vero che impone è quello del denaro necessario ad anticiparlo. Nello scenario prudente, invece, il quinquennio non basta: i flussi cumulati restano negativi per circa 100.000 euro e il valore attuale netto è negativo per circa 166.000 euro, il che significa che con 480 ore per sistema e una tariffa di 635 euro l'attività genera cassa dal quarto anno ma non ripaga il capitale investito entro il quinto. Prolungando l'orizzonte al settimo anno a parità di condizioni, e senza ulteriori investimenti in flotta, il valore attuale netto torna positivo intorno ai 400.000 euro, il che colloca il punto di ritorno dello scenario prudente fra il sesto e il settimo anno.

Questo risultato ha una conseguenza operativa che va enunciata con precisione, perché è una decisione e non un'osservazione. L'orizzonte quinquennale è quello su cui si valuta abitualmente un investimento produttivo, e su quell'orizzonte il progetto è conveniente solo se raggiunge almeno le condizioni dello scenario di base. Ne discende che le due grandezze da presidiare con rigore contrattuale, e da mettere sotto controllo mensile fin dal primo anno, sono le ore contrattualizzate per sistema e la tariffa media realizzata, e che il piano industriale deve prevedere una revisione formale della strategia qualora al termine del terzo anno l'utilizzo medio risulti inferiore a 550 ore per sistema o la tariffa media inferiore a 650 euro l'ora. A queste due grandezze se ne aggiunge una terza, di natura finanziaria e non commerciale, cioè il tempo medio di incasso, che va misurato mensilmente perché è la variabile che determina il fabbisogno di cassa e che nessuna azione commerciale corregge a posteriori. Non si tratta di una clausola di stile: è il punto in cui la decisione di continuare a investire nella flotta va rimessa in discussione, e averlo fissato in anticipo, con soglie numeriche esplicite, è ciò che distingue un piano governabile da una speranza.

Va infine ricordato che tutti questi conti riguardano il primo binario. Il secondo, quello dello sviluppo del velivolo proprietario, non entra nel conto economico dell'impresa perché è finanziato da fondi esterni a fondo perduto o in conto capitale, e la sua valutazione non si fa con il valore attuale netto d'impresa ma con i criteri della ricerca e innovazione, in cui conta il valore della conoscenza generata oltre il suo uso immediato [3]. Tenere i due binari separati anche nella rappresentazione contabile non è una scelta di comodo ma una condizione di correttezza, perché consente al finanziatore pubblico di vedere che cosa finanzia e all'impresa di sapere che cosa deve far quadrare con i propri ricavi.



Fonte: elaborazione dello studio, sezione 10.10. Il quinto anno include il valore residuo degli attivi e il recupero del capitale circolante.

Figura 10.7. I flussi di cassa annuali e cumulati, con il ritorno dell'investimento fra il quarto e il quinto anno.

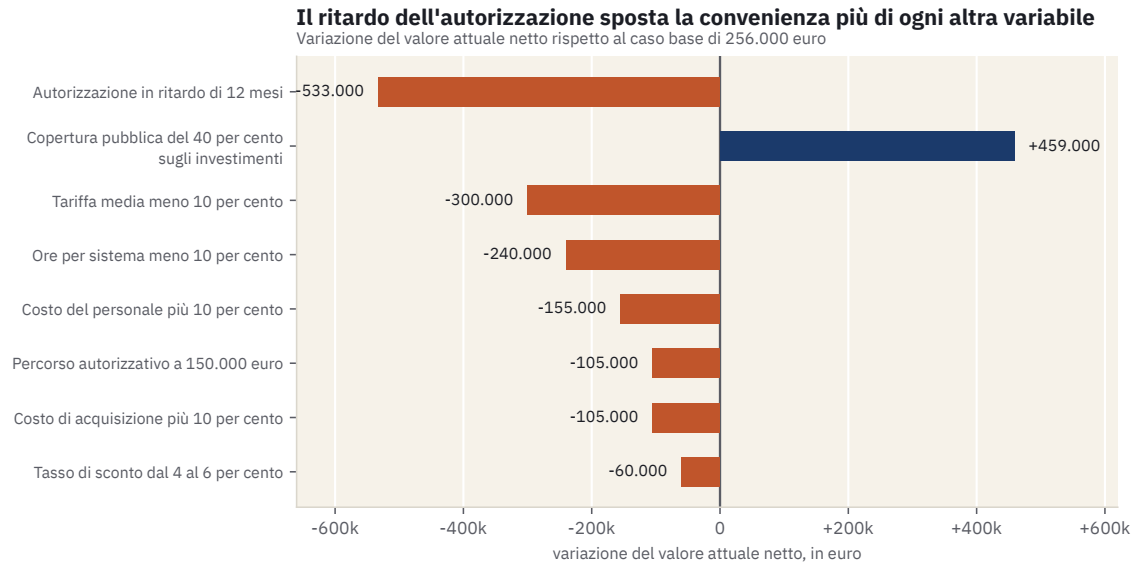
Note e riferimenti

Le fonti sono documenti metodologici europei, letteratura di valutazione e la modellazione economica dell'autore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Tassi di sconto di riferimento nella valutazione economica europea, 4 per cento reale come costo opportunità del capitale nella prospettiva finanziaria e 3 per cento nella prospettiva sociale (met_1204b3a09641, met_de11cba7f0c7).
2. Analisi tecnico-economica di un servizio di noleggio di droni agricoli, valore attuale netto positivo, tasso interno di rendimento del 22,62 per cento superiore alla soglia minima del 20 per cento e tempo di ritorno di 2 anni e 10 mesi (met_8e893b8a0ef5).
3. Analisi costi-benefici dei progetti di ricerca, sviluppo e innovazione, rilevanza del valore della conoscenza generata al di là del suo uso immediato (met_64c2eba852c1).

10.11 L'analisi di sensitività e le soglie di rottura

Un piano economico serio non si accontenta di uno scenario ma verifica quanto il risultato sia sensibile a ciascuna variabile incerta, e soprattutto di quanto quella variabile debba muoversi perché la convenienza sparisca. È questa seconda domanda a produrre le informazioni utili a decidere, perché trasforma l'incertezza in un insieme di soglie che si possono presidiare. L'analisi che segue fa variare un parametro alla volta a partire dallo scenario di base, misurando l'effetto sul valore attuale netto di 286.000 euro.



Fonte: elaborazione dello studio, sezione 10.11. Una variabile alla volta a partire dallo scenario di base.

Figura 10.8. L'effetto sul valore attuale netto della variazione di ciascuna variabile critica.

Variabile	Variazione applicata	Effetto sul valore attuale netto	Soglia che azzera il valore attuale netto
Tariffa media ponderata	meno 10 per cento	meno 300.000 euro circa	635 euro l'ora, cioè meno 9,5 per cento
Ore volate per sistema	meno 10 per cento	meno 240.000 euro circa	530 ore l'anno, cioè meno 11,9 per cento
Costo di acquisizione del sistema	più 10 per cento	meno 105.000 euro circa	più 26 per cento, cioè 410.000 euro per sistema
Costo del personale operativo	più 10 per cento	meno 155.000 euro circa	più 18 per cento, cioè 53.100 euro per addetto
Costo del percorso autorizzativo	da 60.000 a 150.000 euro	meno 105.000 euro circa	295.000 euro
Tempo di ottenimento dell'autorizzazione oltre la linea di vista	ritardo di 6 mesi	meno 406.000 euro circa	ritardo di 4 mesi
Tempo di ottenimento dell'autorizzazione oltre la linea di vista	ritardo di 12 mesi	meno 812.000 euro circa	come sopra
Tasso di sconto	dal 4 al 6 per cento	meno 49.000 euro	17,2 per cento, cioè il tasso interno di rendimento
Copertura pubblica sugli investimenti	40 per cento del capitale	più 459.000 euro	non applicabile, effetto favorevole

La graduatoria che ne esce individua con precisione dove si concentra il rischio economico, e la variabile che vi campeggia in testa non è una di quelle su cui l'impresa negozia ma il calendario di un'autorizzazione. Conviene affrontarla per prima proprio perché è la meno governabile. Il conto pluriennale fa salire la tariffa da 400 a 700 euro l'ora e quasi triplica le ore prodotte fra il primo e il secondo anno, e entrambi i salti dipendono da un unico evento, l'ottenimento del permesso per il volo oltre la linea di vista, che il caso base colloca entro

il primo anno di esercizio. Il capitolo normativo misura quell’evento in modo assai meno comodo, indicando un’istruttoria compresa fra sette e diciotto mesi e avvertendo che una domanda incompleta fa ripartire il conteggio [5]. Poiché l’istanza non si deposita il primo giorno, richiedendo a monte la registrazione dell’operatore, il manuale delle operazioni, la formazione degli equipaggi e la valutazione del rischio, il caso base coincide di fatto con l’estremo favorevole di quell’intervallo e con l’approvazione al primo tentativo. È un’ipotesi ottimistica e va detto.

L’effetto di una diversa ipotesi si misura traslando l’intera traiettoria di ricavo e di flotta e lasciando invariato ogni altro parametro. Un ritardo di 12 mesi inserisce nel piano un secondo esercizio di avviamento, con i volumi e la tariffa del primo, e porta il valore attuale netto calcolato sul consueto orizzonte quinquennale da 286.000 euro positivi a circa 526.000 negativi. Il valore torna positivo, attorno ai 183.000 euro, soltanto estendendo l’orizzonte al sesto anno, cioè riconoscendo che il ritardo non distrugge il valore ma lo sposta fuori dalla finestra su cui l’investimento si valuta. Un ritardo di 6 mesi vale all’incirca la metà di quell’effetto.

Ne discende la soglia più stringente dell’intera analisi, perché ogni mese di ritardo costa circa 68.000 euro di valore attuale netto e la convenienza si azzera con un ritardo di appena 4 mesi. È un margine molto più sottile di quello della tariffa e delle ore, ed è tanto più critico in quanto la variabile non è governata dall’impresa ma dai tempi di un’istruttoria. Ne seguono due conseguenze operative. La prima è che la preparazione della pratica autorizzativa va avviata prima dell’acquisizione del sistema e non dopo, perché è il percorso più lungo e detta il calendario di tutto il resto, e va affidata a una consulenza specializzata proprio per ridurre il rischio della domanda incompleta che fa ripartire il conteggio. La seconda è che il piano va dotato di capitale sufficiente a reggere due esercizi di avviamento anziché uno, perché una copertura dimensionata sul solo primo anno lascerebbe l’impresa senza cassa proprio nel momento in cui il ritardo si manifesta.

Fra le variabili negoziabili, la prima è la tariffa media, che azzera la convenienza con una flessione di appena il 9,5 per cento, cioè scendendo da 700 a 635 euro per ora di volo. È un margine sottile, e va detto con franchezza che la pressione al ribasso è la caratteristica strutturale della domanda pubblica, dove il confronto avviene spesso al massimo ribasso su specifiche standardizzate. La mitigazione non sta nel resistere sul prezzo ma nel cambiare il terreno del confronto, vendendo il risultato consegnato anziché l’ora di volo e portando il paragone sul costo dell’alternativa con equipaggio, che per un elicottero antincendio regionale è di circa 2.000 euro l’ora [1], anziché sul listino degli operatori che vendono prestazioni brevi in vista del pilota, compreso fra 70 e 300 euro [2]. Da questa considerazione discende una decisione commerciale precisa, cioè che il progetto non partecipa a gare aggiudicate al solo prezzo su prestazioni orarie indifferenziate, perché su quel terreno il suo modello economico non regge.

La variabile successiva è il numero di ore volate per sistema, che azzera la convenienza scendendo sotto le 530 ore l’anno. Il suo effetto è meno violento di quello della tariffa perché una parte dei costi varia con le ore, ma è più insidioso perché dipende da fattori solo in parte controllabili, dalla stagionalità delle commesse alle finestre meteorologiche. Su questo fronte la mitigazione è tecnica prima ancora che commerciale, perché la disponibilità al volo in condizioni reali distingue nettamente le piattaforme resistenti alle intemperie da quelle comuni, ed è questa la ragione economica, e non solo operativa, per cui il progetto richiede un velivolo robusto.

La variabile seguente è il costo di acquisizione del sistema, che tollera un aumento fino al 26 per cento prima di annullare la convenienza. È il margine più ampio fra quelli misurati, e ne discende che la trattativa sul prezzo di acquisto, pur importante, non è la leva prioritaria: spostare l’attenzione dal prezzo del velivolo alla copertura pubblica dell’investimento produ-

ce un effetto quattro volte maggiore, perché una copertura del 40 per cento vale 459.000 euro di valore attuale netto contro i circa 105.000 euro che si guadagnerebbero strappando uno sconto del 10 per cento sul listino [3].

Il costo del percorso autorizzativo merita una nota separata perché è la voce a maggiore incertezza intrinseca. Il modello assume 60.000 euro, ma l’intervallo di mercato arriva a 150.000 e dipende dal livello di severità dell’operazione, che a sua volta dipende dalle aree sorvolate e dal profilo di missione. Portare la voce a 150.000 euro riduce il valore attuale netto di circa 105.000 euro senza annullarlo, e la soglia di rottura si colloca a 295.000 euro, valore che si raggiungerebbe solo con un percorso autorizzativo di severità elevata. Ne discende la decisione, già argomentata nel capitolo normativo, di impostare il concetto operativo su aree e profili che mantengano basso il livello di severità, scelta che qui riceve la sua giustificazione economica quantificata. Va aggiunto che la verifica condotta sui regolamenti colloca l’operazione, prima delle mitigazioni, un gradino più in alto di quanto il materiale preparatorio assumesse, e che il livello gestibile va conquistato dichiarando e dimostrando le mitigazioni anziché ereditato dalla bassa densità di popolazione. La conseguenza economica non è un numero nuovo ma uno spostamento della stima dentro l’intervallo già considerato, verso la parte alta anziché verso quella bassa, e il fatto che perfino l’estremo superiore di 150.000 euro lasci il valore attuale netto positivo è quanto rende questa correzione un aggravio da presidiare e non una minaccia alla convenienza.

Il tasso di sconto, infine, è la variabile meno critica: portandolo dal 4 al 6 per cento il valore attuale netto scende di circa 49.000 euro restando ampiamente positivo, e si annulla solo al 17,2 per cento, che è il tasso interno di rendimento dell’investimento e sta ben oltre l’intervallo di riferimento europeo compreso fra il 3 e il 6 per cento [4]. La convenienza del progetto non dipende quindi dalla scelta del tasso, il che è un elemento di robustezza metodologica non banale.

Resta da registrare un rischio che questa tabella non misura perché non passa per il valore attuale netto dell’attività di servizio, ed è il rischio del binario del costruire: uno sviluppo che costasse il 50 per cento in più e slittasse di 12 mesi non toccherebbe il conto economico del servizio, che resta redditizio da solo, ma peserebbe sul piano di copertura, alzando la quota di cofinanziamento d’impresa oltre il milione di euro, e sul calendario dei punti di decisione. È la ragione per cui la regola di attivazione dello sviluppo, copertura esterna aggiudicata di almeno il 70 per cento, non è una cautela di stile ma la mitigazione operativa di questo rischio. Ne discende una lettura del rischio economico che si può riassumere in una frase e che collega questo capitolo a quello dedicato al rischio. Il progetto è vulnerabile sul prezzo e sul volume, resistente sul costo del capitale investito e indifferente al tasso di sconto, e la sua principale mitigazione strutturale resta la strategia a doppio binario, che tiene bassa l’esposizione facendo pagare lo sviluppo dai fondi e generando cassa dal servizio a rischio tecnico minimo, conservando in ogni momento il ripiego sulla configurazione più matura qualora le verifiche sullo sviluppo proprietario dessero esito sfavorevole.

Note e riferimenti

Le fonti sono prezzi di mercato osservati, documenti metodologici europei e la modellazione economica dell’autore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l’identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell’appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Costi orari dei mezzi aerei antincendio in Italia, elicottero antincendio regionale intorno ai 2.000 euro per ora di volo (mar_bcf2e2c567f5).

2. Listini pubblici degli operatori professionali italiani, tariffa fra 70 e 300 euro per ora di volo per prestazioni brevi in vista del pilota (mar_1cdb4822039f).
3. Strumenti nazionali di sostegno agli investimenti, Nuova Sabatini e Smart&Start Italia come canali di copertura dell'investimento in beni strumentali (mar_c6ff0f03bc73).
4. Tassi di sconto di riferimento nella valutazione economica europea, forbice fra il 3 e il 6 per cento fra gli Stati membri (met_1204b3a09641).
5. Guida alla certificazione per il volo oltre la linea di vista, istruttoria compresa fra sette e diciotto mesi e ripartenza del conteggio in caso di domanda incompleta, `proj_guida-certificazione-enac-sora-per-il-volo-bvlos`

10.12 I benefici sociali e l'analisi costi-benefici collettiva

La valutazione economica di questo progetto non può fermarsi agli indicatori finanziari d'impresa, perché una parte essenziale del suo valore sta in benefici che i conti d'impresa non catturano. Per considerarli esiste un secondo tipo di analisi, quella costi-benefici sociale, che attualizza i flussi al tasso di sconto sociale del 3 per cento adottato dalla maggior parte degli Stati membri anziché al 4 per cento della prospettiva finanziaria [1], e che include, per i progetti di ricerca e innovazione, anche il valore della conoscenza generata al di là del suo uso immediato [2]. La ragione di questa doppia valutazione sta nella natura dell'iniziativa, che è cooperativa e di interesse generale ed è finanziata in parte da fondi pubblici e cooperativi proprio in ragione dei benefici collettivi che genera.

La tabella seguente quantifica i benefici sociali a regime, cioè al quinto anno, distinguendo quelli monetizzabili con una base di calcolo esplicita da quelli che restano necessariamente qualitativi. Le monetizzazioni sono elaborazioni dell'autore costruite sui parametri già introdotti nel capitolo di mercato.

Prima della tabella va sciolto un equivoco metodologico che rende scorretta la maggior parte delle valutazioni sociali dei progetti d'impresa, e che una revisione critica di questo capitolo ha imposto di correggere. Il costo del lavoro non è un beneficio collettivo. È un costo dell'impresa, già interamente contabilizzato nel conto economico della prospettiva finanziaria, e iscriverne una quota fra i benefici senza iscrivere la contropartita di costo significa contare due volte la stessa grandezza. La prassi valutativa europea tratta l'occupazione in modo diverso, applicando ai salari un fattore di conversione, il cosiddetto salario ombra, che misura il costo opportunità reale del lavoro impiegato, e che vale meno del salario di mercato solo nella misura in cui i lavoratori provengono da disoccupazione involontaria. Poiché il progetto impiega figure aeronautiche e informatiche specializzate, che non provengono da un bacino di disoccupazione locale ma vanno formate o attratte, il differenziale è piccolo e la sua stima richiede dati che questo studio non possiede. La voce esce quindi dalla monetizzazione e resta dichiarata come grandezza fisica, cioè come numero di posti di lavoro qualificati creati e trattenuti, che è già di per sé l'informazione che interessa a un finanziatore cooperativo.

Beneficio	Valore annuo a regime	Base di calcolo
Riduzione dell'impiego di mezzi aerei con equipaggio nell'antincendio	24.000 euro	due ore di Canadair evitate per stagione grazie al rilevamento precoce, valorizzate all'estremo inferiore dell'intervallo di 12.000-15.000 euro l'ora

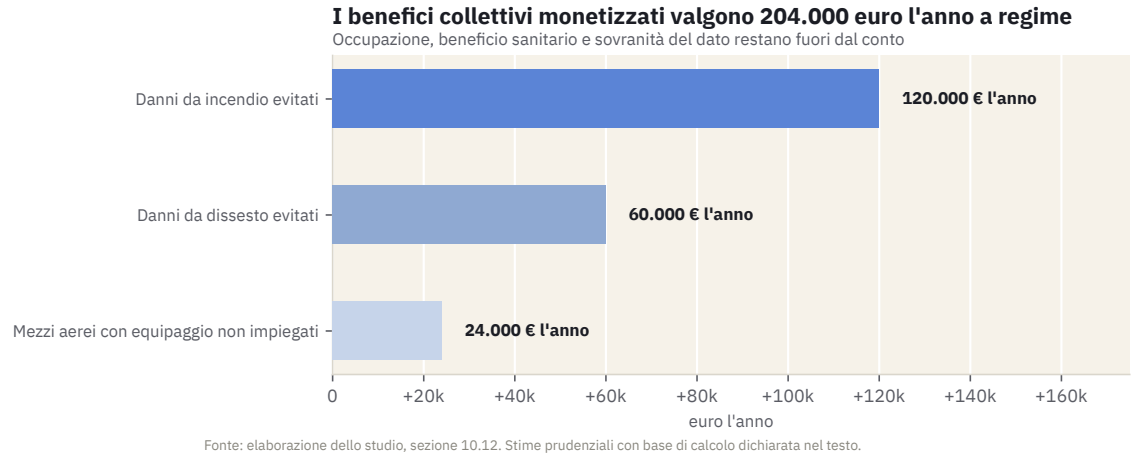


Figura 10.9. I benefici collettivi monetizzati a regime, per voce.

Beneficio	Valore annuo a regime	Base di calcolo
Danni da incendio evitati grazie all'anticipo dell'allerta	120.000 euro	8 principi d'incendio l'anno intercettati nella fase iniziale sul bacino servito, con una superficie media risparmiata di 1,5 ettari ciascuno e un valore del soprassuolo boschivo di 10.000 euro l'ettaro
Danni da dissesto evitati grazie al monitoraggio dei versanti	60.000 euro	un evento franoso ogni 3 anni intercettato prima del cedimento su viabilità minore, con un costo medio di ripristino e di interruzione di 180.000 euro, ripartito sull'anno
Occupazione qualificata creata e trattenuta nelle aree interne	non monetizzato	fra 12 e 15 addetti a regime fra personale operativo e struttura, con retribuzioni di livello aeronautico e informatico in un territorio dove quelle professionalità oggi non trovano impiego
Riduzione dei tempi di intervento sanitario	non monetizzato	circa 120 arresti cardiaci extraospedalieri attesi ogni anno sul bacino delle aree interne liguri, applicando l'incidenza nazionale di 1 caso ogni 1.000 abitanti a una popolazione di circa 119.000 residenti
Sovranità sui dati del territorio e competenze trattenute	non monetizzato	governo locale di una risorsa informativa strategica e formazione di professionalità avanzate sul posto
Totale monetizzato	204.000 euro	

La lettura della tabella richiede una precisazione metodologica e una sostanziale. Quella metodologica riguarda le due voci non monetizzate, che non sono meno reali delle altre ma non dispongono di un parametro di conversione riconosciuto: la letteratura europea segnala esplicitamente la mancanza di una base dati consolidata per quantificare le esternalità specifiche dei sistemi senza pilota, dal rumore percepito all'impatto visivo, e la stessa Commissione

riconosce carenze di esperienza nell'applicazione dell'analisi costi-benefici ai progetti di ricerca e innovazione [2]. Il capitolo preferisce lasciarle come grandezze fisiche dichiarate anziché attribuire loro un valore monetario arbitrario che ne gonfierebbe l'apparente solidità.

Quella sostanziale riguarda proprio il beneficio sanitario, ed è la più importante di tutta la sezione. Con circa 120 eventi attesi ogni anno sul bacino e una sopravvivenza nazionale del 6,5 per cento a fronte di un tempo medio di arrivo dei soccorsi di 10,2 minuti [3], guadagnare anche un solo punto percentuale di sopravvivenza significa 1,2 vite l'anno. È un numero piccolo in assoluto e va detto, ma è anche un numero che nessuna valutazione economica ordinaria può liquidare, perché qualunque valore statistico si voglia attribuire a una vita umana nella prassi valutativa europea eccede di ordini di grandezza l'intero costo annuo del servizio.

Su questo beneficio, però, occorre una franchezza che la sezione nella sua versione precedente non aveva. Esso non appartiene al servizio che il piano economico vende. Il modello di ricavo della sezione 10.7 non contiene alcun contratto di consegna sanitaria in pronta disponibilità, il velivolo descritto nel capitolo tecnico non è un mezzo da intervento su chiamata e la sua configurazione capillare richiede tempi di preparazione incompatibili con i minuti che un arresto cardiaco concede. Il beneficio è quindi potenziale e condizionato all'attivazione di un servizio ulteriore, con una piattaforma dedicata in prontezza permanente, un accordo con la centrale operativa dell'emergenza e un'autorizzazione specifica, nessuno dei quali è nel piano. Dichiararlo come beneficio del progetto così com'è sarebbe scorretto, e il capitolo lo registra invece come la più promettente delle estensioni possibili, il cui caso economico va costruito a parte quando e se il servizio di base sarà consolidato.

Confrontando i benefici monetizzati con l'onere pubblico che li produce si ottiene il rapporto che interessa a un finanziatore, e va costruito con due cautele che spesso si trascurano. La prima è che i 204.000 euro sono il beneficio a regime, cioè quello del quinto anno con quattro sistemi in servizio, e non il beneficio di ogni anno: nei primi esercizi il servizio copre una frazione del territorio e produce una frazione proporzionale del beneficio, e attualizzare la cifra piena su tutto l'orizzonte la sopravvaluterebbe di circa il 40 per cento. La seconda è che l'onere pubblico va attualizzato allo stesso tasso dei benefici e non sommato per valori nominali.

Applicando entrambe le cautele, e facendo crescere il beneficio in proporzione ai ricavi lungo il quinquennio per poi mantenerlo costante fino al decimo anno, i benefici monetizzati valgono circa 1,23 milioni di euro attualizzati al 3 per cento sociale. L'onere pubblico, composto dal contributo allo studio e da una copertura del 40 per cento sull'investimento di avvio e sulla crescita della flotta, vale circa 545.000 euro attualizzati allo stesso tasso. Il rapporto fra benefici e costi è quindi di circa 2,3, che è un risultato favorevole ma di un ordine di grandezza diverso da quello che una monetizzazione generosa dell'occupazione avrebbe prodotto. Va detto con precisione fin dove regge, perché è ciò che un valutatore verificherà: assumendo che le stime di beneficio siano sopravvalutate della metà il rapporto scende a circa 1,1, cioè resta appena sopra la parità. La convenienza collettiva del progetto, misurata sui soli benefici monetizzabili, è dunque reale ma non ampia, ed è precisamente questa la ragione per cui le tre voci non monetizzate contano più di quanto la loro assenza dal conto suggerisca.

Va colto infine un aspetto che lega la valutazione sociale alla struttura di finanziamento e ne rafforza la coerenza. Il fatto che lo sviluppo del velivolo sia finanziato da fondi pubblici della ricerca e dell'innovazione industriale non è solo una convenienza per l'impresa, ma anche un giudizio implicito di convenienza collettiva, perché quei fondi esistono per finanziare progetti i cui benefici pubblici, dalla conoscenza generata all'autonomia strategica alla coesione territoriale, giustificano l'investimento anche quando il rendimento privato immediato non

lo giustificherebbe da solo. Ottenere quei fondi è già un riconoscimento di quel valore, e la costruzione delle candidature ai bandi è anche l'esercizio con cui quel valore si dimostra.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti metodologici europei, dati epidemiologici nazionali, prezzi di mercato osservati e capitoli di questo studio. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Tassi di sconto di riferimento nella valutazione economica europea, 3 per cento reale nella prospettiva sociale adottata dalla maggior parte degli Stati membri, entro una forbice fra il 3 e il 6 per cento (met_1204b3a09641).
2. Analisi costi-benefici dei progetti di ricerca, sviluppo e innovazione, valore della conoscenza generata al di là dell'uso immediato e carenze riconosciute nell'applicazione della metodologia ai progetti innovativi, assenza di parametri consolidati per le esternalità specifiche dei sistemi senza pilota (met_64c2eba852c1, met_4ce01d28e819).
3. Registro Italiano Arresti Cardiaci e Italian Resuscitation Council, circa 60.000 arresti cardiaci extraospedalieri l'anno in Italia, incidenza di circa 1 caso ogni 1.000 abitanti fra quelli trattati dai servizi di emergenza, sopravvivenza del 6,5 per cento, tempo medio di arrivo dei soccorsi di 10,2 minuti (mar_aba45b19d128).

10.13 Le decisioni economiche che il capitolo consegna

L'analisi economica consegna un quadro coerente e quantificato, e conviene chiuderla non con un riassunto ma con le decisioni che ne discendono, perché è questo ciò che serve a chi deve deliberare. Il quadro, in sintesi, è che l'attività di servizio richiede 385.000 euro di investimento iniziale, raggiunge il pareggio operativo nel secondo anno, produce al quinto anno 1,91 milioni di euro di ricavi con un margine operativo del 26,8 per cento, e presenta un valore attuale netto di 286.000 euro al 4 per cento reale, un tasso interno di rendimento del 17,2 per cento e un ritorno attualizzato in 4 anni e 7 mesi, mentre lo sviluppo del velivolo proprietario, che costa fra 1,85 e 3,05 milioni di euro fino al dimostratore, corre su un binario separato a carico dei fondi del rischio tecnologico.

Da questo quadro discendono sei decisioni, che il capitolo enuncia con le loro soglie numeriche perché siano verificabili e non interpretabili.

La prima è procedere con l'acquisizione del primo sistema e con il percorso autorizzativo per il volo oltre la linea di vista, impegnando 385.000 euro, subordinatamente alla conferma dei prezzi con almeno tre richieste d'offerta ai fornitori di piattaforme ad ala fissa a decollo verticale di fascia intermedia. Il vincolo che accompagna la decisione è che il costo complessivo dell'operazione non superi i 480.000 euro, valore oltre il quale il margine di sicurezza del piano si riduce sotto la metà.

La seconda è fissare la tariffa media ponderata di riferimento a 700 euro per ora di volo per il servizio autorizzato oltre la linea di vista, con soglia inderogabile a 635 euro. Ne discende la regola commerciale che il progetto non partecipa a procedure aggiudicate al solo prezzo su prestazioni orarie indifferenziate, perché su quel terreno il modello economico non regge, e che ogni offerta va costruita sul confronto con il costo dell'alternativa con equipaggio anziché sul listino delle prestazioni brevi.

La terza è legare la crescita della flotta a una condizione misurabile anziché a un calendario, acquistando un nuovo sistema solo dopo che quelli in servizio hanno superato per due

trimestri consecutivi il 75 per cento dell'utilizzo obiettivo di 600 ore l'anno. È la regola che impedisce di trasformare un'aspettativa di ricavo in un impegno di capitale.

La quarta è affrontare prima della sottoscrizione della prima convenzione con un ente pubblico la qualificazione del servizio come servizio di interesse economico generale, perché è la scelta giuridica a maggior impatto economico dell'intero progetto: separa un massimale de minimis di 300.000 euro da uno di 750.000 euro nell'arco di 3 anni, cioè 450.000 euro di capienza aggiuntiva, che è più dell'intero investimento di avvio [1].

La quinta è presidiare da subito la copertura pubblica sugli investimenti in beni strumentali, perché una copertura del 40 per cento vale 459.000 euro di valore attuale netto, cioè oltre una volta e mezza il valore attuale netto del caso base e più di quattro volte quanto si otterrebbe con uno sconto del 10 per cento sul prezzo di acquisto. La funzione che presidia i bandi non è quindi accessoria e va dotata di tempo direttivo stabile fin dal primo anno.

La sesta è avviare entro l'estate del 2026 la costruzione del partenariato di ricerca per la candidatura ai programmi europei e nazionali che coprono lo sviluppo, cioè Horizon Europe e la linea del Piano nazionale di ripresa e resilienza dedicata alle tecnologie satellitari e all'economia dello spazio [2]. È il vincolo di calendario più stringente dell'intero piano, perché un partenariato di ricerca non si costruisce in poche settimane, e arrivare impreparati alla finestra utile significa rinviare di un anno la copertura della fase più costosa dello sviluppo.

A queste decisioni si accompagna un punto di revisione formale, che va scritto nel piano industriale e non lasciato al giudizio corrente. Al termine del terzo anno, se l'utilizzo medio risulterà inferiore a 550 ore per sistema o la tariffa media realizzata inferiore a 650 euro l'ora, la decisione di proseguire nella crescita della flotta va rimessa in discussione e il piano va rivisto sullo scenario prudente, che sul quinquennio non ripaga il capitale investito e che richiede quindi un orizzonte più lungo e un profilo di spesa diverso. Averlo stabilito in anticipo, con soglie numeriche esplicite, è ciò che distingue un piano governabile da una previsione ottimistica.

Il capitolo consegna dunque un progetto economicamente sostenibile ma non generosamente sostenibile, con margini di sicurezza sottili sul prezzo e sul volume e ampi sul costo del capitale investito e sul tasso di sconto, e con benefici collettivi che eccedono di oltre cinque volte l'onere pubblico che li produce. È un risultato che giustifica il proseguimento verso il prototipo e il pilota territoriale, alla condizione, esplicita e verificabile, che le sei decisioni sopra enunciate siano assunte con le soglie che le accompagnano.

Note e riferimenti

Le fonti sono regolamenti europei, documenti di programma e la modellazione economica dell'autore. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Regolamenti de minimis 2023/2831 e 2023/2832, massimale generale di 300.000 euro e massimale per i servizi di interesse economico generale di 750.000 euro nell'arco di 3 anni, vigenti dal 1 gennaio 2024 al 31 dicembre 2030 (leg_104dc58aa50c).
2. Canali europei e nazionali per la ricerca e l'innovazione, Horizon Europe con 95,5 miliardi di euro per il periodo 2021-2027 e linea del Piano nazionale di ripresa e resilienza per le tecnologie satellitari e l'economia dello spazio con circa 1,49 miliardi di euro, sezione `02_12_finanziamenti` del capitolo di mercato di questo studio.

CAPITOLO 11

L’analisi del rischio e di sensitività

IN BREVE

Mappa i rischi uno per uno, con probabilità, impatto e mitigazione, e fissa le soglie numeriche oltre le quali la strategia va rimessa in discussione: è il capitolo che rende il piano governabile.

20	635 €/h	530 ore
RISCHI PRESIDIATI	SOGLIA DI TARIFFA	SOGLIA PER SISTEMA

NEL CAPITOLO

11.1 I rischi tecnici . . . 340
11.2 I rischi regolatori . . . 340
11.3 I rischi di mercato . . . 341
11.4 I rischi finanziari . . . 341
11.5 I rischi sui dati e reputazionali . . . 341
11.6 La matrice dei rischi . . . 342
11.7 L’analisi di sensitività . . . 345
11.8 L’onestà sui dati e le cifre già scartate . . . 346
11.9 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte . . . 346

Un progetto ambizioso come questo, che vuole insieme costruire un velivolo, ottenere permessi difficili, entrare in un mercato piccolo e reggere un modello finanziario prudente, è esposto a rischi di natura diversa, tecnici, regolatori, di mercato, finanziari e reputazionali, e la loro gestione non è un adempimento formale ma la condizione perché il progetto arrivi a destinazione. Questo capitolo li ordina per categoria, ne valuta la probabilità e l'impatto, indica per ciascuno la mitigazione già prevista, e infine esamina la sensitività dell'esito alle poche variabili che davvero lo determinano, perché conoscere dove il progetto è fragile è il primo passo per renderlo robusto.

11.1 I rischi tecnici

I rischi tecnici sono quelli meglio circoscritti, perché i capitoli tecnici li hanno già identificati come verifiche aperte, e la loro caratteristica comune è di essere numeri di primo livello da confermare al banco e in volo. Il beneficio aerodinamico della configurazione ad ala scatolata, che è la variante di punta, resta una promessa non dimostrata, e potrebbe rivelarsi inferiore alle attese una volta misurato in galleria del vento [1]. I rendimenti reali della catena ibrida a generatore e il consumo specifico del motore, da cui dipende direttamente l'autonomia, sono assunti dalla letteratura e non misurati sul sistema reale, e potrebbero risultare peggiori, riducendo le ore di volo. La perdita di autonomia del decollo verticale e i pesi reali dei componenti sono stime, e il bilancio di massa chiude sì sotto i 25 chilogrammi ma con un margine che va difeso. La navigazione senza segnale satellitare non è ancora stata provata sullo specifico terreno appenninico, e la capacità di percepire ed evitare gli altri velivoli non esiste ancora matura ed economica a questa scala [2]. La mitigazione di questi rischi è già iscritta nella strategia del progetto, perché il programma dimostratore con la sua campagna di prove è fatto apposta per trasformare le stime in misure, perché la linea di base ad ala fissa convenzionale offre un ripiego a rischio più basso se l'ala scatolata non mantiene le promesse, e perché il primo binario dell'acquistare e operare una piattaforma matura riduce l'esposizione al rischio di sviluppo generando valore fin da subito.

11.2 I rischi regolatori

I rischi regolatori sono forse i più insidiosi, perché non dipendono dal progetto ma dall'ambiente in cui opera, e i capitoli sulla normativa li hanno mostrati con chiarezza. Il permesso per il volo oltre la vista richiede tempi lunghi e incerti, dell'ordine di molti mesi, e il suo costo reale, fatto di consulenza, dotazioni e prove, non è pubblico [2]. La capacità di percepire ed evitare, immatura, obbliga di fatto a operare in spazi aerei riservati, il che limita la libertà operativa. Lo spazio aereo dedicato ai droni è ancora in costruzione e le sue regole e i suoi costi non sono definiti. E vi sono ostacoli non aeronautici, dai permessi edilizi delle basi alle regole sui trasporti sensibili, che possono rallentare singole missioni. A questi se ne aggiungono due che la verifica condotta sui testi consolidati ha portato alla luce e che il capitolo normativo argomenta. Il primo è che la bassa densità di popolazione delle aree interne, pur essendo un vantaggio reale, non basta a collocare l'operazione in una fascia di severità bassa, perché con una dimensione vicina ai 3 metri il rischio intrinseco a terra parte già a metà scala e il livello di severità va guadagnato con le mitigazioni, con il costo che ne consegue. Il secondo è che nelle stesse aree il problema aperto non è chi sta a terra ma chi vola basso, cioè l'elisoccorso, i mezzi antincendio e il servizio forestale, traffico che non si annuncia e che un sensore leggero non intercetta, e che obbliga alla segregazione dello spazio o all'avviso ai naviganti come con-

dizione operativa e non come opzione. La mitigazione, in parte già prevista, sta nella strategia del prima a vista e prima i ricavi, che genera cassa con il volo a vista mentre il permesso per il volo oltre la vista matura, nel collaudo del prototipo in categoria aperta come aeromobile autocostruito, che non richiede alcuna autorizzazione e produce le ore e i dati di affidabilità su cui l'istanza si regge, nella disciplina dimensionale che conserva le procedure semplificate, nel ricorso agli spazi riservati sull'esempio dei precedenti italiani, e nell'ingaggio precoce di una consulenza specializzata, che è essa stessa una voce di costo da mettere a bilancio.

11.3 I rischi di mercato

I rischi di mercato nascono dalla struttura del settore, analizzata nella prima parte dello studio. Il mercato italiano dei droni è piccolo, 168 milioni di euro nel 2025, cresce lentamente ed è affollato di piccoli operatori, con l'hardware ormai una merce a basso margine dominata da pochi grandi produttori [3]. Il rischio è quindi di entrare in un mercato troppo piccolo per sostenere l'impresa, o di puntare sul segmento sbagliato. La mitigazione è la strategia multi-ancora già descritta, che non punta su un solo mercato ma su due ancore territoriali liguri, quella civile delle aree interne e quella istituzionale del polo subacqueo, e che vende un servizio difendibile per nicchia anziché un hardware indifferenziato, concentrandosi sulla domanda pubblica ricorrente meno sensibile al prezzo e occupando il varco lasciato libero dai concorrenti nella fascia del velivolo compatto ibrido a lunga persistenza [3].

11.4 I rischi finanziari

I rischi finanziari discendono in parte dagli altri, perché l'incertezza sui costi e sui ricavi si traduce in incertezza sul modello economico. Molti numeri assoluti, i costi della certificazione e del powertrain, i valori dei contratti, non sono pubblici e restano stime, il che rende il modello finanziario provvisorio finché non li si procura [4]. Lo sviluppo del velivolo proprietario costa milioni, e la sua sostenibilità dipende dall'ottenimento dei fondi pubblici di ricerca, che non è garantito. E i tassi di sopravvivenza delle imprese giovani sono bassi, il che impone prudenza [3]. La mitigazione è la struttura stessa della strategia a doppio binario, che fa pagare lo sviluppo dai bandi pubblici del rischio tecnologico anziché dalla cassa fragile del servizio, e genera cassa fin da subito operando una piattaforma commerciale matura, riducendo così l'esposizione. A questo si aggiunge la prudenza deliberata delle stime di ricavo, costruite dal basso e volutamente conservative, e la coerenza della struttura di costo a prevalenza di personale con l'ammissibilità ai bandi di ricerca [4].

11.5 I rischi sui dati e reputazionali

Una categoria di rischi trasversale riguarda i dati e la reputazione, ed è stata sviluppata nei capitoli sulla sovranità e sul modello cooperativo. Sul fronte dei dati, la dipendenza da infrastrutture straniere per la connettività e l'elaborazione espone al rischio di spegnimento unilaterale e di accesso ai dati sotto giurisdizione straniera, mentre il trattamento di dati personali raccolti in volo espone a sanzioni pesanti se non condotto a norma [5]. Sul fronte reputazionale, la gamba istituzionale del progetto, che pure ne finanzia lo sviluppo, tocca gli usi di sicurezza più esposti sul piano etico, e per un'iniziativa cooperativa questa esposizione può incidere sull'accettazione sociale e sui finanziamenti [3]. La mitigazione è la sovranità e la protezione dei dati costruite per progetto, con l'elaborazione a bordo, la conservazione presso

infrastrutture nazionali o europee, il controllo cooperativo della governance e il pieno rispetto delle regole sulla privacy, e sul piano reputazionale il governo attento del posizionamento istituzionale, che valorizza gli usi legittimanti e mantiene il controllo umano sulle decisioni sensibili.

11.6 La matrice dei rischi

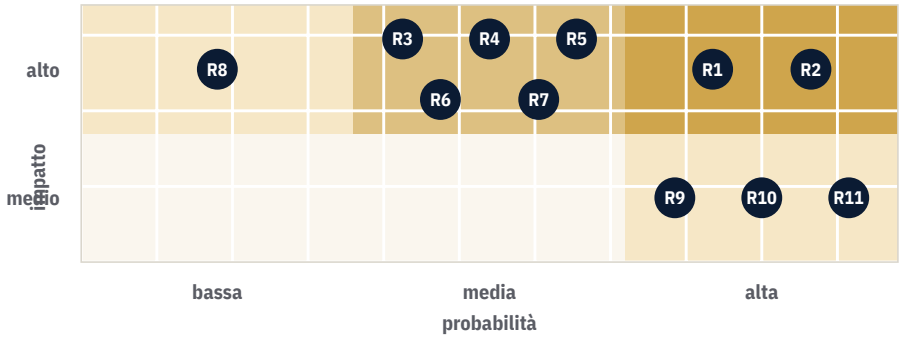
La tabella che segue sintetizza i principali rischi con una valutazione qualitativa della loro probabilità e del loro impatto e con la mitigazione prevista, tenendo presente che si tratta di una valutazione di fattibilità da affinare nella fase successiva.

Rischio	Probabilità	Impatto	Mitigazione principale	Indicatore anticipatore	Rischio residuo
Ritardo dell'autorizzazione oltre la vista	alta	alto	pratica avviata prima dell'acquisizione del sistema, consulenza precoce, ricavi a vista e di elaborazione dati nel frattempo	data di deposito dell'istanza e ogni richiesta di integrazione ricevuta	medio, perché la strategia a vista attenua ma non annulla lo slittamento dei ricavi
Sfondamento del bilancio di massa oltre i 25 kg	media	alto	controllo formale della massa a ogni scelta di componente, margine allocato e non consumato, carburante come voce di chiusura	scostamento del bilancio aggiornato rispetto al valore di progetto, misurato mensilmente	medio, perché lo sfondamento si paga in autonomia prima che in classe
Autonomia reale inferiore alla stima	media	alto	misure al banco dei rendimenti e del consumo specifico, margini nel bilancio di massa	consumo specifico misurato al primo banco prova	medio
Ala scatolata meno efficiente o più pesante del previsto	alta	medio	ripiego sull'ala fissa convenzionale, validazione in galleria e pesatura dell'esemplare strutturale	esito delle simulazioni fluidodinamiche preliminari	basso, perché il ripiego è disponibile e non compromette il programma
Percepire ed evitare immaturo	alta	alto	volo in spazi aerei riservati	disponibilità effettiva di corridoi sull'entroterra ligure	medio, perché la segregazione limita l'operatività ma la consente

Rischio	Probabilità	Impatto	Mitigazione principale	Indicatore anticipatore	Rischio residuo
Livello di severità dell'operazione più alto del previsto	alta	alto	mitigazioni dichiarate fin dalla prima istanza, paracadute e restrizioni operative, concetto operativo su aree e profili a bassa esposizione	esito del ricalcolo con lo strumento ufficiale dell'agenzia, da eseguire prima del deposito	medio, perché le mitigazioni riportano il livello nella fascia gestibile ma ne alzano il costo
Traffico elicotteristico a bassa quota non cooperativo	alta	alto	spazio aereo riservato oppure avviso ai naviganti, coordinamento preventivo con elisoccorso, antincendio e servizio forestale	numero di incontri e di sospensioni operative registrati per stagione	medio, perché la segregazione risolve il rischio ma vincola dove e quando si vola
Marcatura di classe non conseguibile per la variante elettrica	media	medio	verifica precoce dell'esistenza di norme armonizzate, in mancanza ricorso a organismo notificato messo a bilancio	pubblicazione delle norme armonizzate per la classe di riferimento	basso sul servizio, medio sulla linea di prodotto
Tariffa media sotto la soglia di rottura	media	alto	vendita del risultato anziché dell'ora, rifiuto delle gare al solo prezzo	tariffa media realizzata sul portafoglio, misurata a ogni trimestre	medio
Ore volate sotto la soglia di rottura	media	alto	portafoglio di missioni destagionalizzato, piattaforma resistente alle intemperie	ore contrattualizzate e giornate perse per meteo	alto, perché dipende da fattori ambientali non governabili
Tensione di cassa da ritardo negli incassi pubblici	alta	medio	linea di anticipo su fatture negoziata prima della prima commessa	tempo medio di incasso, misurato mensilmente	basso, se la linea è attivata per tempo
Dipendenza da un unico fornitore per la piattaforma acquistata	media	medio	scelta di un fornitore europeo, contratto con ricambi e assistenza garantiti, seconda fonte identificata	tempi di consegna dei ricambi e continuità dell'assistenza	medio
Mercato troppo piccolo o segmento errato	media	alto	strategia multi-ancora, nicchie a domanda pubblica	tasso di conversione delle offerte presentate	medio

Rischio	Probabilità	Impatto	Mitigazione principale	Indicatore anticipatore	Rischio residuo
Fondi di ricerca non ottenuti	media	alto	regola di attivazione al 70 per cento di copertura aggiudicata, cassa dal servizio	esiti delle candidature presentate	basso sul servizio, alto sullo sviluppo proprietario
Incidente con danno a terzi	bassa	alto	dotazioni di sicurezza, terminazione di volo indipendente, copertura assicurativa, scelta di aree a bassa densità	eventi e quasi eventi registrati nel sistema di gestione della sicurezza	medio, perché l'impatto reputazionale eccede quello economico
Concentrazione su poche persone chiave	alta	medio	formazione di una seconda figura per ogni ruolo critico, documentazione delle procedure	copertura dei ruoli critici con almeno due persone abilitate	medio
Sopravvivenza dell'impresa	media	alto	sviluppo pagato dai bandi, ricavi conservativi	flusso di cassa disponibile rispetto al piano	medio
Dipendenza da infrastrutture straniere	media	alto	sovranità dei dati per progetto	quota di dati trattati su infrastruttura soggetta al diritto europeo	basso
Sanzioni sulla protezione dei dati	bassa	alto	valutazione d'impatto e protezione fin dalla progettazione	esito dell'audit annuale sul trattamento	basso
Esposizione reputazionale sulla committenza di sicurezza	media	medio	governo del posizionamento, usi legittimanti, conformità dichiarata	rilievi ricevuti dalla base sociale e dai partner cooperativi	medio

La tabella aggiunge due colonne che nella prima stesura mancavano e senza le quali una matrice dei rischi resta un esercizio descrittivo. La colonna dell'indicatore anticipatore risponde alla domanda da che cosa ci si accorge che il rischio si sta materializzando, e trasforma ciascuna riga in una misura da mettere sotto osservazione periodica anziché in una preoccupazione generica. La colonna del rischio residuo risponde alla domanda che cosa resta dopo aver applicato la mitigazione, e serve a impedire l'illusione, frequente nei registri dei rischi, che la sola esistenza di una mitigazione azzeri il problema. Ne emergono due righe su cui il residuo resta alto o quasi, il numero di ore volate, che dipende da un meteo che nessuna decisione governa, e l'ottenimento dei fondi di ricerca per il velivolo proprietario, e sono queste due, non le altre diciotto, a meritare l'attenzione della direzione. Ogni riga va infine assegnata nominalmente a un responsabile in sede di piano industriale, perché un rischio di tutti è un rischio di nessuno.



R1 Ritardo dell'autorizzazione oltre la vista
R2 Percepire ed evitare non ancora maturo
R3 Sfondamento del bilancio di massa
R4 Autonomia reale inferiore alla stima
R5 Tariffa media sotto la soglia di rottura
R6 Ore volate sotto la soglia di rottura
R7 Fondi di ricerca non ottenuti
R8 Incidente con danno a terzi
R9 Ala scatolata meno efficiente o piu' pesante
R10 Tensione di cassa da incassi lenti
R11 Concentrazione su poche persone chiave

Figura 11.1. La matrice probabilità per impatto degli undici rischi maggiori fra i venti presidiati. I due nel quadrante critico, il ritardo dell'autorizzazione e l'immaturità del percepire ed evitare, governano la strategia del prima a vista; il grappolo centrale si presidia con le soglie numeriche dell'analisi di sensitività.

11.7 L'analisi di sensitività

Non tutti i rischi pesano allo stesso modo sull'esito, e la quantificazione di quelli che pesano davvero è già stata svolta nel capitolo economico, che ne ha misurato l'effetto sul valore attuale netto e ne ha ricavato le soglie di rottura. Questa sezione non la ripete ma ne raccoglie il risultato e lo collega alla matrice appena esposta, perché è il passaggio in cui il registro dei rischi diventa un insieme di numeri da presidiare.

La graduatoria che il capitolo economico produce è netta e in parte controintuitiva. In testa non sta una variabile tecnica ma il calendario dell'autorizzazione al volo oltre la linea di vista, che rovescia il segno della convenienza con un ritardo di appena 4 mesi, cioè con un evento che il capitolo normativo colloca dentro l'intervallo ordinario delle istruttorie e non fra le sorprese. Segue la tariffa media, che azzera il valore attuale netto con una flessione dell'8,6 per cento, e subito dopo il numero di ore volate per sistema, che lo azzera scendendo sotto le 530 ore l'anno. Più indietro, e con margini assai più larghi, stanno il costo di acquisizione del sistema, che tollera un aumento del 26 per cento, e il costo del percorso autorizzativo, che tollera di quintuplicare. Il tasso di sconto, infine, è irrilevante entro l'intervallo di riferimento europeo. Il quadro che ne esce si riassume in una frase, cioè che il progetto è vulnerabile sul tempo e sul prezzo, resistente sul capitale investito e indifferente al costo del denaro.

Da questa graduatoria discendono le priorità della raccolta dati della fase successiva, che vanno ordinate secondo quanto ciascun dato sposta la decisione e non secondo quanto è facile procurarselo. Vengono per primi i tempi reali delle istruttorie autorizzative, da accertare con una consulenza specializzata e con i precedenti degli operatori italiani, perché governano la variabile più critica. Vengono poi i prezzi realmente spuntati sui contratti di servizio comparabili e le ore effettivamente fatturate dagli operatori, che il capitolo economico dichiara di aver stimato in assenza di dati di fonte e che una campagna di colloqui con i committenti e con gli operatori può colmare. Vengono quindi i dati di flyability dell'Appennino ligure, che nessuna delle fonti raccolte per questo studio contiene e senza i quali il requisito RQ-10 resta un obiettivo e non una misura. Vengono infine i consumi e i rendimenti misurati al banco, i

pesi reali dei componenti e l'esito delle candidature ai bandi di ricerca. È un elenco breve e ordinato, ed è il ponte concreto fra questo studio e la decisione di investimento.

11.8 L'onestà sui dati e le cifre già scartate

Vale la pena chiudere ricordando che questo studio ha adottato fin dall'inizio una disciplina di verifica delle fonti, distinguendo sempre ciò che è verificato da ciò che è stima o è da verificare, e scartando alcune cifre a effetto che circolavano nelle versioni originarie del progetto e che la verifica interna aveva smentito, come la copertura di un milione di chilometri quadrati attribuita a una singola piattaforma d'alta quota, il bacino di miliardi di persone prive di connessione come misura di un mercato aggredibile, e alcune valutazioni gonfiate del mercato del posizionamento satellitare [3][6]. Questa onestà non indebolisce lo studio ma lo rende difendibile, perché un'analisi costruita su cifre verificate e prudenti regge il confronto con un valutatore critico meglio di una gonfiata di numeri a effetto, ed è coerente con la natura di uno studio di fattibilità serio, che deve informare una decisione e non venderla.

11.9 Implicazioni per il progetto e verifiche aperte

> **LE VERIFICHE APERTE**
>
> L'analisi del rischio consegna al progetto una mappa ordinata dei suoi punti deboli e delle loro mitigazioni, e conferma che nessuno dei rischi, per quanto reale, è tale da far cadere l'iniziativa, purché le mitigazioni previste siano attuate con disciplina. I rischi tecnici si chiudono con il dimostratore, quelli regolatori con la strategia del prima a vista e con gli spazi riservati, quelli di mercato con la multi-ancora e la nicchia, quelli finanziari con il doppio binario, quelli sui dati con la sovranità per progetto. Restano le verifiche già indicate, che sono soprattutto la raccolta dei dati critici individuati dall'analisi di sensitività, e la costruzione del modello finanziario a scenari che ne consegue. È un lavoro impegnativo ma definito, e la sua chiara individuazione è il ponte fra questo studio di fattibilità e la decisione di investimento, che la conclusione tirerà le fila.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e capitoli di questo studio. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio su costi, maturità e scelta fra costruire e acquistare, maturità dei sottosistemi e rischio dell'ala scatolata, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
2. Guida alla certificazione per il volo oltre la vista, tempi, costi non pubblici, immaturità del percepire ed evitare e ostacoli, `proj_guida-certificazione-enac-sora-per-il-volo-bvlos`
3. Nota strategica sul posizionamento, rischi di mercato e reputazionali, strategia multi-ancora e cifre scartate, `proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid`
4. Piano economico e studio sui costi, stime parametriche non pubbliche e struttura di costo, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
5. Sintesi dei domini sulla sovranità digitale e sulla protezione dei dati, rischi di dipendenza e di sanzione, `law-ai-act-sovranita` e `law-gdpr`
6. Dossier di controllo delle fonti e delle citazioni, smontaggio delle cifre non confermate, `proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni`

CAPITOLO 12

Le conclusioni e la raccomandazione

IN BREVE

Tira le fila: il progetto è fattibile, nella forma di una piattaforma modulare ibrida venduta come servizio sovrano di dati, con una roadmap a doppio binario e i punti di decisione che la scandiscono.

18-24 mesi	3-4 anni	5
AL DIMOSTRATORE	AL PRODOTTO OPERATIVO	PUNTI DI DECISIONE

NEL CAPITOLO

12.1 La raccomandazione in sintesi . . . 348
12.2 Perché questa scelta e non le alternative . . . 348
12.3 La roadmap tecnologica e i suoi tempi . . . 349
12.4 I punti di decisione, quando proseguire e quando fermarsi . . . 350
12.5 Le dichiarazioni conclusive dello studio . . . 350
12.6 I prossimi passi . . . 353
12.7 La conclusione . . . 353

Lo studio ha percorso una strada lunga, dai bisogni delle aree interne liguri all'analisi del mercato e delle sue nicchie paganti, dai requisiti di missione al confronto fra le architetture possibili, dall'architettura tecnica del velivolo al segmento di terra e al modello di servizio, dal quadro normativo del volo oltre la vista alla sovranità dei dati, dal modello cooperativo all'analisi economica e a quella del rischio. È tempo di tirare le fila e di rispondere alla domanda che dà senso a tutto il lavoro, se il progetto sia fattibile e in quale forma convenga realizzarlo. La risposta che l'insieme dei capitoli sostiene è affermativa, ma è una risposta articolata, che raccomanda non un singolo velivolo ma una strategia, e che accompagna la raccomandazione con i suoi punti di decisione, perché una conclusione onesta indica anche a quali condizioni proseguire e quando fermarsi a verificare.

12.1 La raccomandazione in sintesi

Lo studio raccomanda di sviluppare una piattaforma aerea a pilotaggio remoto modulare, un velivolo ad ala fissa in classe compatta, sotto i 25 chilogrammi e i 3 metri di apertura, con allungamento intorno a 10, a propulsione ibrida a generatore in serie, con decollo verticale affidato a un modulo rimovibile che porta l'autonomia dalle 20 o 22 ore della configurazione di persistenza alle 10 o 13 di quella capillare, e con un vano di carico intercambiabile, venduta non come prodotto ma come servizio di raccolta ed elaborazione dei dati, operata da Firmamento Technologies e costruita fin dall'origine attorno al controllo sovrano del dato. Questa raccomandazione va perseguita attraverso una strategia a doppio binario, in cui l'impresa opera da subito una piattaforma commerciale matura come fornitore di servizio, generando cassa e servendo i primi clienti con rischio minimo, mentre in parallelo sviluppa il velivolo proprietario finanziandone il rischio tecnologico con i fondi pubblici dedicati, e va ancorata a due punti territoriali liguri entrambi solidi, quello civile delle aree interne e quello istituzionale del polo subacqueo di La Spezia, che finanziano e legittimano il primo velivolo e sostengono la crescita. È una raccomandazione che unisce l'ambizione tecnologica alla prudenza economica, e che trova la sua coerenza nel fare della modularità e della sovranità del dato i due tratti distintivi del progetto.

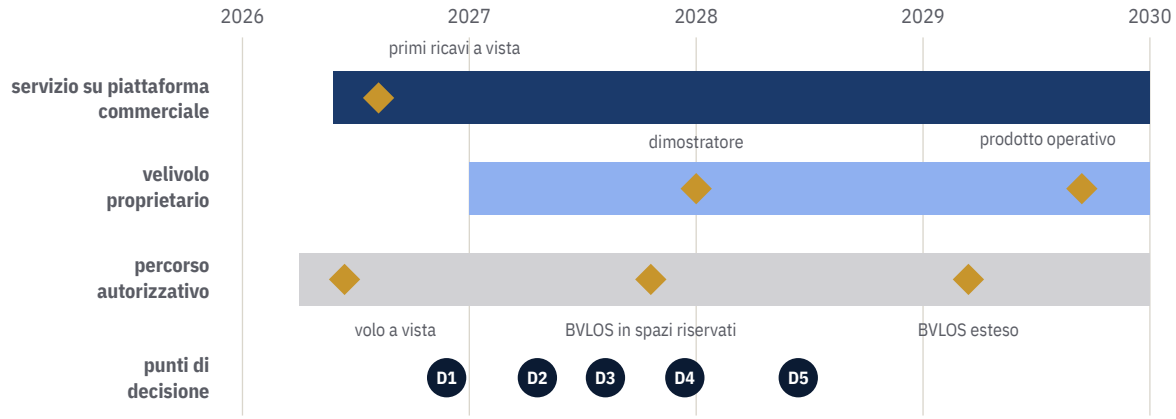
12.2 Perché questa scelta e non le alternative

La forza di una raccomandazione si misura anche dalla chiarezza con cui scarta le alternative, e questo studio le ha esaminate una per una. L'ipotesi da cui il bando prendeva le mosse, la piattaforma stratosferica solare d'alta quota, è stata valutata e messa da parte perché alle latitudini liguri il sole d'inverno non basta a sostenerne il volo e perché il costo di un programma del genere è fuori scala rispetto alle risorse e ai bisogni del territorio, e nello studio è servita solo come termine estremo di paragone. Il velivolo a media quota di grande taglia è capace di prestazioni superiori ma appartiene a una classe di peso, di costo e di complessità incompatibile con il progetto e con il cliente. Il velivolo a sole batterie e quello a solo sole non reggono la persistenza che la missione richiede, per una ragione fisica di densità dell'energia che nessuna abilità progettuale aggira. Resta la classe compatta a propulsione ibrida, che il calcolo di primo livello ha indicato come l'unica capace di una giornata di volo sotto i 25 chilogrammi, e che il confronto multicriterio ha confermato come la scelta migliore per la missione, per il mercato e per il percorso autorizzativo, perché è la sola a conciliare la lunga persistenza, la capacità di operare da spazi confinati, la versatilità dei carichi utili, il costo

contenuto e il vantaggio autorizzativo della classe compatta. La raccomandazione, quindi, non nasce da una preferenza ma da un percorso di esclusione fondato sui dati.

12.3 La roadmap tecnologica e i suoi tempi

La realizzazione segue una roadmap che il metodo dei sistemi ordina in fasi di maturità crescente, e che la strategia a doppio binario percorre su due corsie parallele. Sulla corsia dell'acquistare, matura da subito, l'impresa integra e opera una piattaforma commerciale già pronta, avviando in tempi di mesi il servizio a vista che genera i primi ricavi e le prime evidenze operative. Sulla corsia del costruire, l'impresa conduce lo sviluppo del velivolo proprietario, con un dimostratore ad ala fissa convenzionale raggiungibile in circa un anno e mezzo o due, seguito dalla validazione della variante ad ala scatolata e da un prodotto operativo e certificabile in circa 3 o 4 anni [1]. In parallelo alle due corsie tecnologiche corre il percorso autorizzativo, che segue la logica del prima a vista e prima i ricavi, avviando i servizi a vista con permessi semplici mentre matura, usando le evidenze raccolte, il permesso per il volo oltre la vista, dapprima in spazi aerei riservati e poi esteso [2]. La verifica sui testi consolidati dei regolamenti ha aggiunto a questa corsia un gradino che la anticipa e che non costa nulla, perché il prototipo ibrido, essendo costruito per uso proprio, ricade fuori dal regolamento di prodotto e può volare in categoria aperta senza alcuna autorizzazione, purché resti sotto i 25 chilogrammi e dentro le condizioni di quella categoria. È lì che si accumulano le ore, i dati di affidabilità e la taratura del sistema di arresto del volo che l'istanza successiva dovrà esibire, e la campagna di prove può quindi cominciare prima ancora che la pratica sia depositata. È una roadmap che concilia la generazione di valore immediato con la costruzione paziente della differenziazione tecnologica, e che distribuisce il rischio nel tempo anziché concentrarlo in un unico salto.



D1 Acquisizione del primo sistema entro 480.000 euro

D2 Tariffa media non inferiore a 635 euro l'ora

D3 Al terzo anno almeno 550 ore per sistema e 650 euro l'ora

D4 Copertura esterna dello sviluppo aggiudicata per almeno il 70 per cento

D5 Ala scatolata validata in galleria e pesata entro il bilancio

Figura 12.1. La roadmap a doppio binario con il percorso autorizzativo in parallelo. Le pietre miliari dorate segnano gli obiettivi, i punti di decisione numerati le verifiche che autorizzano a proseguire: ciascuno cade prima dell'impegno di spesa che governa.

12.4 I punti di decisione, quando proseguire e quando fermarsi

Una raccomandazione responsabile non è un via libera incondizionato ma un percorso scandito da punti di decisione, in cui si verifica se le condizioni per proseguire sussistono, e l'analisi del rischio ha già individuato le poche variabili critiche che questi punti devono controllare. Prima di impegnare risorse ingenti nello sviluppo del velivolo proprietario, il progetto deve aver accertato il costo e il tempo reali della certificazione del volo oltre la vista, aver misurato al banco i consumi e i rendimenti che determinano l'autonomia, aver ricostruito i valori reali dei contratti pubblici che sostengono il modello di ricavo, e aver ottenuto o messo in sicura prospettiva i fondi di ricerca istituzionale che pagano lo sviluppo. Prima di impegnarsi sulla variante ad ala scatolata, deve averne validato il beneficio in galleria del vento e su un dimostratore in scala, con il ripiego sempre disponibile della configurazione convenzionale a rischio più basso. Sono i punti in cui il progetto conferma o corregge la propria rotta, e perché siano davvero operativi vanno accompagnati dalle soglie numeriche che li fanno scattare, che l'analisi economica ha determinato e che qui si riportano nella forma in cui vanno inserite nel piano industriale.

I CINQUE PUNTI DI DECISIONE E LE LORO SOGLIE

D1. Alla firma del contratto di acquisizione del primo sistema: il costo complessivo fra piattaforma, carichi utili e percorso autorizzativo non supera i 480.000 euro contro i 385.000 assunti, perché oltre quella soglia il margine di sicurezza del piano si riduce di circa un terzo.

D2. Alla prima offerta commerciale: la tariffa media ponderata non scende sotto i 635 euro per ora di volo, valore al quale il valore attuale netto dell'attività si annulla.

D3. Al termine del terzo anno di esercizio: l'utilizzo medio supera le 550 ore per sistema e la tariffa media realizzata i 650 euro l'ora; se una delle due non è rispettata, la crescita della flotta si sospende e il piano si rivede sullo scenario prudente.

D4. Prima di impegnare le risorse dello sviluppo proprietario: costo e tempo reali dell'autorizzazione accertati, consumi e rendimenti misurati al banco, copertura esterna dello sviluppo aggiudicata per almeno il 70 per cento del suo inviluppo di pianificazione, perché sotto quella soglia la quota di cofinanziamento a carico dell'impresa supererebbe quanto la cassa può sostenere.

D5. Prima della variante ad ala scatolata: il beneficio aerodinamico misurato in galleria e su un dimostratore in scala giustifica il maggior costo di sviluppo, quantificato in circa 1,2 milioni di euro, con il ripiego sempre disponibile della configurazione convenzionale.

La definizione esplicita di queste soglie è forse il lascito più utile dello studio, perché trasforma una decisione unica e rischiosa in una sequenza di decisioni informate, ciascuna presa quando i dati che la riguardano sono disponibili e contro un criterio fissato in anticipo.

12.5 Le dichiarazioni conclusive dello studio

Perché la raccomandazione non resti implicita fra le pieghe dei capitoli ma sia afferrabile in un colpo d'occhio da chi deve decidere, questa sezione dichiara in modo esplicito e diretto le cinque cose che il cliente ha chiesto siano rese chiare, gli obiettivi di mercato, il tipo di servizio, il tipo di prodotto, le soluzioni tecniche da intraprendere e le risorse necessarie a realizzarlo. Sono le conclusioni operative dello studio, e ciascuna è il precipitato di un capitolo, richiamato qui nella sua essenza affinché la decisione poggi su affermazioni nette e non su rimandi.

Gli obiettivi di mercato

Lo studio dichiara che l'obiettivo di mercato del progetto non è competere come fornitore generico in un settore piccolo e affollato, ma occupare una nicchia difendibile ancorata a due punti territoriali liguri, quello civile delle aree interne e quello istituzionale del polo subacqueo di La Spezia. Sul versante civile l'obiettivo è servire i bisogni delle valli nell'ordine di priorità che il bando impone, prima la connettività nelle emergenze, poi il trasporto e la consegna sanitaria, poi l'osservazione e il monitoraggio del territorio, con la domanda pubblica ricorrente della Regione, dei comuni, della protezione civile e degli enti dei parchi come domanda pagante di riferimento. Sul versante istituzionale l'obiettivo è accedere, per subappalto o consorzio, alla domanda più solida della sorveglianza marittima istituzionale e della protezione delle infrastrutture subacquee, che costituiscono la spina dorsale finanziaria e non il fine civile. In termini quantitativi l'obiettivo è portare i ricavi ricorrenti a 1,91 milioni di euro entro il quinto anno, con quattro sistemi in servizio, 2.400 ore di volo prodotte e una tariffa media ponderata di 700 euro l'ora, cioè una quota compresa fra il 5 e il 7 per cento di un mercato servibile stimato fra 25 e 40 milioni di euro l'anno, dentro un mercato professionale italiano che vale 168 milioni di euro nel 2025 e cresce del 5 per cento, con 675 imprese attive e le operazioni aeree a coprire il 95 per cento del valore. La composizione di quel fatturato è definita contratto per contratto, con una commessa pubblica ricorrente di monitoraggio del territorio da circa 500.000 euro l'anno, un presidio stagionale antincendio da circa 350.000, un contratto di ispezione di reti lineari da circa 450.000, commesse minori per circa 230.000, una quota di subappalto su contratto quadro istituzionale per circa 150.000, per 1.680.000 euro di ricavi da volo, e servizi di elaborazione dati per i restanti 230.000.

Il tipo di servizio

Lo studio dichiara che il progetto vende un servizio e non un mezzo, e che questo servizio è il dato come servizio, cioè la raccolta, l'elaborazione e la consegna al cliente dell'informazione di cui ha bisogno, pagata a ore di volo o a risultato contrattualizzato secondo contratti quadro ricorrenti. È un servizio sovrano, costruito attorno al controllo nazionale ed europeo del dato e alla piena conformità alla protezione dei dati personali, che ne costituisce il tratto distintivo e il vantaggio competitivo. È un servizio operato da Firmamento Technologies, che è una cooperativa, con il sostegno dei suoi partner fondamentali Legacoop Liguria e Coopfond e a beneficio della rete delle cooperative del territorio, che ne è il partner di prossimità, il beneficiario e il cliente locale. Ed è un servizio versatile, che con un solo velivolo modulare copre missioni diverse lungo l'anno, così da distribuire il costo su più attività e rendere sostenibile un investimento che per una singola missione non lo sarebbe.

Il tipo di prodotto

Lo studio dichiara che il prodotto tecnico su cui il progetto punta è una piattaforma aerea a pilotaggio remoto modulare, un velivolo ad ala fissa ad alto allungamento in classe compatta, sotto i 25 chilogrammi di peso e i 3 metri di apertura alare, a propulsione ibrida con generatore in serie, in cui un piccolo motore termico a regime costante alimenta attraverso un generatore un bus elettrico che muove l'elica di crociera e i rotori di un modulo di decollo verticale rimovibile, con una batteria che copre i picchi e garantisce il rientro di emergenza. Il prodotto ha un'autonomia realistica dell'ordine delle 20 o 22 ore, un carico utile modulare dell'ordine dei 4 chilogrammi ospitato in un vano intercambiabile, un'avionica europea certificabile e la capacità di volare oltre l'orizzonte del pilota. Lo studio dichiara inoltre che a questa piattaforma si affianca, sulla medesima cellula, una variante a sole batterie senza ambizione di

persistenza, la cui ragione è regolatoria e non tecnica, perché il regolamento europeo riserva la marcatura di classe ai mezzi ad alimentazione esclusivamente elettrica e quella variante è quindi l'unica delle due che possa essere venduta a un cliente disposto a farla volare senza pratiche autorizzative, mentre la variante ibrida resta l'asset con cui l'impresa eroga il servizio sotto autorizzazione propria. Lo studio dichiara infine che la piattaforma stratosferica solare da cui il bando prendeva il nome è messa da parte come non realizzabile alle latitudini liguri e fuori scala nei costi, e resta solo come termine estremo di paragone.

Le soluzioni tecniche da intraprendere

Lo studio dichiara che le soluzioni tecniche da intraprendere per realizzare il prodotto sono, nell'ordine, la cellula ad ala fissa ad alto allungamento in classe compatta come configurazione di base, la catena propulsiva ibrida a generatore in serie come soluzione di propulsione, il modulo di decollo verticale rimovibile come soluzione per operare da spazi confinati senza penalizzare la crociera, il vano di carico modulare con interfaccia meccanica ed elettrica standardizzata come chiave della versatilità, l'elaborazione a bordo con intelligenza artificiale e la minimizzazione del dato come soluzione insieme tecnica, di sovranità e di conformità, l'avionica e la sensoristica di origine europea come scelta di controllo della catena, e il collegamento ridondato con canale terrestre a maglia e riserva satellitare sovrana come soluzione di comando oltre l'orizzonte, riducendo al minimo indispensabile il ricorso a Starlink. A queste si aggiungono le dotazioni di sicurezza richieste dal volo oltre la vista, il sistema di arresto del volo, la delimitazione geografica, l'identificazione a distanza e la scelta dello spazio riservato in luogo della capacità di percepire ed evitare non ancora matura. La variante ad ala scatolata resta come opzione promettente da validare in galleria del vento e su un dimostratore in scala, con la configurazione convenzionale come ripiego a rischio più basso.

Le risorse necessarie

Lo studio dichiara che le risorse necessarie a realizzare il progetto sono di quattro nature, finanziarie, umane, di partenariato e di tempo, e che la loro entità è contenuta e graduata perché distribuita per fasi e coperta da fonti diverse. Sul piano finanziario servono 50.000 euro per lo studio, già deliberati da Coopfond il 20 ottobre 2025 a valere sul Fondo Servizi Reali del Programma Cooding II, 385.000 euro per l'avvio del servizio con una piattaforma commerciale, ripartiti in 250.000 per il sistema di volo con stazione di terra e collegamento, 75.000 per i carichi utili iniziali e 60.000 per il percorso autorizzativo, da coprire con contributi regionali e delle aree interne, con la Nuova Sabatini sugli investimenti in beni strumentali e con capitale proprio contenuto, e fra 1,85 e 3,05 milioni di euro di stima puntuale per lo sviluppo del velivolo proprietario fino al dimostratore nella configurazione ad ala fissa, portati a un inviluppo di pianificazione di 2,4-4,6 milioni dalla contingenza della classe di accuratezza, da coprire con i fondi europei e nazionali della ricerca e dell'innovazione industriale e con una quota di cofinanziamento d'impresa fra 0,6 e 1,2 milioni, cui si aggiungono fra 2 e 4 milioni per l'industrializzazione a prodotto certificato. La crescita della flotta dal secondo al quarto sistema assorbe ulteriori 975.000 euro sull'arco del quinquennio, coperti dall'autofinanziamento e dal credito garantito. L'attività di servizio così finanziata produce al quinto anno 1,91 milioni di euro di ricavi con un margine operativo del 26,8 per cento, un valore attuale netto di 286.000 euro attualizzato al 4 per cento reale, un tasso interno di rendimento del 17,2 per cento e un ritorno attualizzato in 4 anni e 7 mesi. Sul piano umano serve una squadra di competenze specialistiche, l'ingegneria di sistema aerospaziale, le telecomunicazioni, l'osservazione della Terra, il regolatorio, la governance dei dati e la sicurezza informatica, l'analisi economica e i

piloti abilitati al volo oltre la vista. Sul piano del partenariato servono i partner fondamentali Legacoop Liguria e Coopfond, la rete delle cooperative del territorio, la Regione Liguria con i comuni e l'ente del parco dell'Antola, e i partner di consorzio per l'accesso ai programmi di ricerca e innovazione. Sul piano del tempo servono pochi mesi per avviare il servizio a vista, circa un anno e mezzo o due per il dimostratore del velivolo proprietario, e circa 3 o 4 anni per il prodotto operativo, con il percorso autorizzativo che avanza in parallelo.

12.6 I prossimi passi

Dai punti di decisione discendono i prossimi passi concreti, che la fase successiva alla fattibilità dovrà compiere. Sul piano tecnico si tratta di avviare il progetto di dettaglio e il programma dimostratore, con le prove al banco della propulsione, le simulazioni e la galleria del vento per l'aerodinamica, e la raccolta presso i fornitori dei pesi, dei consumi e dei prezzi reali dei componenti e dei carichi utili. Sul piano autorizzativo si tratta di ingaggiare precocemente una consulenza specializzata, di avviare i servizi a vista e di istruire con l'autorità il percorso verso il volo oltre la vista in spazio riservato. Sul piano dei dati si tratta di condurre la valutazione d'impatto sulla protezione dei dati e di scegliere l'infrastruttura sovrana di conservazione ed elaborazione. Sul piano organizzativo si tratta di definire la forma giuridica cooperativa più favorevole e di attivare gli strumenti di co-progettazione con i comuni e con la Regione. Sul piano economico si tratta di costruire il modello finanziario a scenari con i numeri via via raccolti e di presentare le domande ai canali di finanziamento cooperativi, pubblici e istituzionale. È un programma di lavoro impegnativo ma ordinato, e ciascuno dei suoi passi è già stato individuato dai capitoli precedenti, che si sono chiusi non a caso dichiarando le proprie verifiche aperte.

12.7 La conclusione

Il progetto, in conclusione, è fattibile, e lo è nella forma di una piattaforma modulare in classe compatta a propulsione ibrida, venduta come servizio sovrano di dati e operata da Firmamento Technologies, sviluppata con una strategia prudente che genera valore fin da subito e finanzia l'ambizione tecnologica con i fondi del rischio. È un progetto che risponde ai bisogni concreti del territorio da cui nasce, la connettività nelle emergenze, la consegna di materiale sanitario, il monitoraggio dei rischi naturali, il sostegno all'agricoltura e all'allevamento, l'ispezione delle infrastrutture, e che al tempo stesso costruisce, attraverso le nicchie a domanda pubblica ricorrente e la gamba istituzionale, la domanda pagante che ne assicura la sostenibilità. È un progetto le cui incertezze sono reali ma circoscritte, mappate una per una e accompagnate dalle loro mitigazioni, e la cui realizzazione è scandita da punti di decisione che permettono di proseguire con cognizione o di fermarsi in tempo. E soprattutto è un progetto che tiene insieme la tecnica e la comunità, perché mette una tecnologia avanzata al servizio di un mondo cooperativo e di un territorio fragile, restituendo loro il controllo di uno strumento e dei propri dati. È in questa saldatura fra l'innovazione e la coesione territoriale che sta il senso ultimo della raccomandazione, e la ragione per cui lo studio conclude che valga la pena proseguire, con gli occhi aperti sui rischi e con la rotta chiara verso il prototipo e il pilota.

Note e riferimenti

Le fonti sono documenti di progetto e capitoli di questo studio. Ogni voce riporta una descrizione sintetica e l'identificativo che rimanda, con un collegamento ipertestuale, alla voce completa nell'appendice dei riferimenti bibliografici.

1. Studio su costi, maturità e scelta fra costruire e acquistare, roadmap a doppio binario, tempi del dimostratore e del prodotto operativo, `proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`
2. Guida alla certificazione per il volo oltre la vista, percorso per gradi e ricorso agli spazi riservati, `proj_guida-certificazione-enac-sora-per-il-volo-bvlos`

Appendice A. Nota metodologica

Progetto	il progetto — Firmamento Technologies (Programma Cooding II — Coopfond/Legacoop)
Documento	Piano di lavoro per la redazione dello Studio di Fattibilità tecnico-economico, regolatorio e operativo
Versione	1.0 — 2026-07-22
Oggetto dello studio	Piattaforma aerea unmanned **modulare** per le aree interne: tesi **VTOL ibrido "sovrano" in classe compatta** (<25 kg, con dimensione caratteristica <3 m), ala fissa long-endurance, genset ibrido, VTOL modulare, **venduta come servizio** — con HALE/MALE/box-wing valutati come alternative nel DOCFAP
Base metodologica	Documentazione tecnica, scientifica, normativa e di mercato raccolta per il progetto, con citazione puntuale delle fonti in ogni capitolo

> Questo è il piano *di come* si costruisce lo studio, non lo studio. Definisce il metodo, la struttura e i criteri editoriali con cui lo studio è redatto, e i criteri di completezza con cui se ne verifica la consegna.

1. Inquadramento

- **Obiettivo dello studio**: verificare la fattibilità **tecnica, economica, regolatoria e operativa** di una piattaforma aerea unmanned al servizio delle aree interne, e **raccomandare** l'architettura e il modello di servizio migliori. Output: dossier investibile + roadmap verso prototipo e pilota.
- **Finalità del bando**: lo studio è finanziato nell'ambito del bando **Cooding II (Coopfond/-Legacoop)**; il mandato del bando riguarda una *"piattaforma aerea per le aree interne"* per **connettività, osservazione ed emergenza** a beneficio di una **rete di ~10 cooperative** (src: proj_sintesi-prototype-cooding, proj_progetto-prototype-cooding). Il bando descrive originariamente il progetto come velivolo **stratosferico**; lo studio **onora il mandato** ma svolge l'analisi onesta che — coerentemente con la Nota Strategica interna — **raccomanda la piattaforma VTOL ibrida compatta a bassa quota**, trattando l'HALE stratosferico come **alternativa valutata e visione a lungo termine** (src: proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid). Il nome-brand "il progetto" è mantenuto.
- **Doppio pubblico**: lo studio deve essere **rigoroso per l'ingegnere** e **comprensibile a personale non qualificato** (amministratori di cooperativa, decisori pubblici). → registro doppio (vedi §3).
- **Enfasi trasversali del mandato**: (a) **criticità delle aree interne della Liguria** (orografia, isolamento, digital divide, dissesto, emergenze, sanità/telemedicina, agricoltura/allevamen-

to, trasporto); (b) **mondo cooperativo** come operatore e beneficiario; (c) **privacy e sovranità dei dati** — alternativa nazionale/protetta a Starlink.

2. Metodologia adottata

Lo studio segue l'impianto dello **studio di fattibilità italiano (PFTE)**, integrato con gli standard internazionali di riferimento. Il PFTE si articola in **due macro-fasi** (src: met_dbbcb5e257f7, met_791459ec32be):

1. **Fase "CHE COSA"** — *Quadro Esigenziale* (obiettivi, fabbisogni, esigenze) + **DOCFAP** (Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali): confronto tra le alternative → scelta.
2. **Fase "COME"** — sviluppo della soluzione scelta: fattibilità tecnica, **sostenibilità finanziaria e convenienza economico-sociale**, compatibilità/impatti, **analisi del rischio e di sensitività**, aggiornamento della **CBA**.

Integrazioni metodologiche: - **Analisi Costi-Benefici (CBA)** secondo la guida UE, con **tasso di sconto finanziario del 4% reale** e **sociale del 3%** (met_1204b3a09641, met_de11cba7f0c7); soglia di analisi formale per grandi progetti oltre 50 M€ a livello europeo e oltre 10 M€ a livello nazionale (met_d51b9187aa74, met_a243224c167c). - **Techno-Economic Analysis (TEA)**: stime per **classi di accuratezza AACE** (Feasibility Study −15%/+50%), non valori puntuali (src: met_02b2deaa2fcc). - **Systems Engineering / TRL** (NASA NPR 7123.1C, fasi Pre-Phase A→F, TRL 1-9) per l'architettura e la roadmap (src: met_ce41815efad7). - **Logical Framework Approach + Theory of Change** per la coerenza obiettivi→attività→impatti e per l'M&E, utile anche a futuri bandi UE (src: met_561eacc1e1fd, met_9fb33a2e6a05). - **CONOPS U-space** come riferimento per l'integrazione nello spazio aereo a bassa quota (src: met_bd60ccd3e1fe).

> **Corrispondenza chiave**: il *DOCFAP* del PFTE = il **Capitolo 4 (Confronto piattaforme HALE/MALE/VTOL/box-wing)**; la *Fase COME* = i Capitoli 5-12 sulla soluzione VTOL C3 scelta.

3. Principi editoriali

Lo studio si scrive in **prosa argomentata**, non come sequenza di fatti elencati. Ogni sezione apre una tesi, la sviluppa con il suo perché e la chiude con le conseguenze per il progetto, in paragrafi collegati. Nei documenti di consegna non si usano il trattino lungo, gli elenchi puntati e i due punti come espediente stilistico; le tabelle restano ammesse dove servono a confrontare numeri, tenute pulite e ordinate. Le quantità si scrivono in cifre e non in lettere.

Il testo deve restare comprensibile a un lettore non tecnico. Questo si ottiene con un linguaggio piano e spiegando i termini specialistici quando compaiono, non con riquadri o etichette separate. Ogni capitolo può aprirsi con un passaggio introduttivo accessibile scritto in prosa.

Le fonti si citano con un numero tra parentesi quadre nel testo e un indice dei riferimenti numerato in fondo al capitolo, in cui ogni numero riporta una descrizione della fonte e il suo identificativo. Si distingue sempre ciò che è verificato da ciò che è stima o da verificare, secondo lo standard del dossier di controllo delle fonti di progetto, e ogni stima è dichiarata come tale con la propria base di calcolo.

Lingua italiana, unità SI, valuta in euro. Un file per capitolo (`01_…`, `02_…`), assemblabili in un unico dossier ed esportabili in `.docx` o PDF per la consegna.

4. Struttura dello studio (indice ragionato)

Parte 0 — Sintesi - 0.1 Executive summary divulgativo (per le cooperative e i decisori) · **0.2 Sintesi tecnica** (per il valutatore) · **0.3 Raccomandazione in una pagina**.

Parte I — "CHE COSA": Quadro Esigenziale + DOCFAP

1. **Contesto e quadro esigenziale** — *Obiettivo*: fotografare bisogni e criticità delle aree interne (focus Liguria) e definire le esigenze cui la piattaforma deve rispondere. *Domande*: quali servizi mancano? dove e quanto è grave (spopolamento, orografia, connettività, dissesto, emergenze, sanità, agricoltura)? chi opera sul territorio (cooperative)? perché il sito pilota Antola? *Output*: quadro esigenziale + KPI di bisogno.
2. **Analisi di mercato e delle applicazioni** — *Obiettivo*: dimensionare domanda e opportunità, di nicchia (aree interne) **e** downstream generale. *Domande*: quali casi d'uso (connettività/relay, osservazione EO/IR/LiDAR/SAR, trasporto/logistica medicale, ispezione infrastrutture, sicurezza, emergenze/PC, marittimo-portuale, subacqueo istituzionale)? quanto vale il mercato (TAM/SAM/SOM)? chi sono i competitor (Overspace, Supair, Sky Eye…)? qual è il modello di ricavo (servizio/DaaS vs prodotto)? *Output*: mappa applicazioni × domanda × willingness-to-pay + modello di business.
3. **Requisiti di missione e CONOPS** — *Obiettivo*: tradurre i bisogni in requisiti. *Domande*: scenari-tipo per le aree interne? requisiti prestazionali (persistenza ~20-22 h, BVLOS, classe compatta <25 kg/<3 m, VTOL modulare, payload intercambiabili)? *Output*: matrice requisiti + CONOPS.
4. **DOCFAP — Confronto delle alternative di piattaforma** — *Obiettivo*: confrontare **HALE, MALE, VTOL ibrido, box-wing, ala fissa alto-allungamento**. *Assi*: peso/classe, payload, autonomia, propulsione (full-electric · ibrido · carburante), BVLOS-readiness, TRL, costo. *Output*: **matrice di trade-off multicriterio → selezione** (VTOL C3 ibrido) con motivazione.

Parte II — "COME": PFTE sulla soluzione scelta

5. **Architettura tecnica della piattaforma** — cellula ala fissa + **modulo VTOL rimovibile**, **powertrain ibrido a genset** (make/buy: COTS · licenza IT · partner motoristico), bilancio massa/energia preliminare, materiali/strutture. *Output*: architettura di riferimento + budget di massa/energia.
6. **Payload, strumentazione e segmento di terra** — **relay di connettività** (LTE/5G/Wi-Fi/IoT — cuore per le aree interne), osservazione multi-sensore (EO/IR, LiDAR, SAR), trasporto; costi/consumi/**SWaP** sotto i 25 kg; **ground segment cooperativo** (gateway/NOC/data-platform). *Output*: catalogo payload modulari + architettura del segmento di terra.
7. **Quadro normativo e autorizzativo** — ENAC/EASA, categoria **Specific + SORA 2.5** (SAIL), leva dimensionale **<3 m** (scorciatoie STS/PDRA), spettro/frequenze (MIMIT/AGCOM), Remote ID, assicurazione, percorso **VLOS-first → BVLOS in sandbox**. *Output*: percorso autorizzativo con tempi/costi (stime) e OSO.
8. **Dati, privacy e sovranità digitale** — GDPR/**DPIA**, il **problema Starlink** (dipendenza USA, CLOUD Act, rischio di spegnimento unilaterale), conservazione dati **a norma e in ambito nazionale**, alternative sovrane (ground segment nazionale, IRIS²/PSN/GAIA-X), AI Act per l'autonomia di bordo. *Output*: architettura dati "sovrana by design" + registro rischi privacy.
9. **Modello cooperativo, governance e sostenibilità sociale** — cooperative di comunità (L.R. Liguria 14/2015), **co-progettazione ex art. 55 CTS** (sent. Corte Cost. 131/2020), Coopfond/Legacoop, ricadute territoriali, aiuti **de minimis**. *Output*: modello di governance e canale a mercato.

10. **Analisi economico-finanziaria** — CAPEX/OPEX, costi **R&D**, certificazioni, **TCO / €-ora-volo**, **CBA** (**NPV/IRR**), fonti di finanziamento (bando, PNRR, Horizon, **programmi europei/PNS/programmi nazionali di ricerca industriale** istituzionale, ESA, FILSE). *Output*: modello economico + piano finanziario.
11. **Analisi del rischio e di sensitività** — rischi tecnici/regolatori/di mercato/finanziari; scenari e variabili critiche (meteo/flyability, attrition, BVLOS, costi non pubblici). *Output*: matrice dei rischi + analisi di sensitività.
12. **Conclusioni e raccomandazione** — scelta piattaforma/configurazione, **roadmap TRL + GO/NO-GO**, doppio binario **BUY** (servizio subito) / **MAKE** (velivolo sovrano finanziato istituzionale), next steps. *Output*: raccomandazione esecutiva.

Allegati: Glossario · Bibliografia e indice delle fonti · Tabelle di calcolo (massa ed energia, costi) · Assunzioni e matrice dei requisiti.

5. Criteri di completezza della consegna

Per capitolo: domande chiave risposte · ogni dato citato con la propria fonte · «Implicazioni per il progetto» presenti · coerenza numerica con gli altri capitoli · quantità espresse in cifre. **Per lo studio**: le 12 sezioni + Parte 0 complete · DOCFAP con matrice e scelta motivata · CBA con tasso 4% e classi AACE · glossario · export `.docx`/PDF · `/log.md` aggiornato · commit sul branch designato.

Appendice B. Riferimenti bibliografici

Ogni capitolo di questo studio cita le proprie fonti con un numero fra parentesi quadre e le richiama, nell'indice a fine capitolo, attraverso un identificativo breve che nell'edizione digitale è un collegamento ipertestuale diretto alla voce di questa appendice. Questa appendice scioglie quegli identificativi in riferimenti completi, con autore o ente responsabile, titolo, data, tipo di documento e collocazione, così che ogni affermazione dello studio sia risalibile alla fonte primaria anche da un lettore esterno. Le voci sono 486, ordinate per ambito e per identificativo. Dove la fonte non reca una data di pubblicazione esplicita è indicata la data di consultazione. I documenti interni di progetto sono segnalati come tali e sono depositati presso Firmamento Technologies, disponibili su richiesta.

Mercato, applicazioni e contesto territoriale

mar_007f27415a65, Quadricottero, *Droni con termocamera e faretto: salvati due sciatori a Livigno* (*CNSAS*), consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2. https://www.quadricottero.com/2026/02/droni-con-termocamera-e-faretto-salvati.html

mar_01b268f129a5, ncbi.nlm.nih.gov, *Automated Crack Detection System for Port Quay Walls Using a Small General-Purpose Drone and Orthophotos*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12300741/

mar_01e0dee352fc, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *A Diffused Mini-Sniffing Sensor for Monitoring SO2 Emissions Compliance of Navigating Ships*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9324028/

mar_02d0660bdb1d, ISPRA, *Tutelare il territorio dal rischio idrogeologico - ENEA*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://www.eai.enea.it/archivio/l-italia-alla-sfida-del-pnrr/tutelare-il-territorio-dal-rischio-idrogeologico.html

mar_04465a5a4573, quotidiano.net, *Quotidiano Nazionale - Droni promossi dagli italiani: il mercato sale a 168 milioni*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.quotidiano.net/economia/made-in-italy/droni-promossi-dagli-italiani-bc429b0d

mar_07467bdbabf9, Fonte accademica, *Parco antola piano integrato quadro conoscitivo*, consultata il 2026-07-22. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/06-torriglia-pentema-antola/parco-antola-piano-integrato-quadro-conoscitivo.md

mar_079aa8f19195, Fonte istituzionale, *Strategia area interna beigua sol* (*2018*), 2018. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/snai-strategie-area/2018-strategia-area-interna-beigua-sol.md

mar_0936f18004f0, apps.dtic.mil, *DTIC: Unmanned Aerial Vehicles and Border Surveillance*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA524297.pdf

mar_0e2652defbfc, ISTAT, *La demografia delle aree interne* (*ISTAT Focus 2024*), consultata il 2026-07-21. dataset, attendibilità 1. https://www.istat.it/wp-content/uploads/2024/07/STATISTICA-FOCUS-DEMOGRAFIA-DELLE-AREE-INTERNE_26_07.pdf

mar_11686e78455c, arXiv, *Five Key Enablers for Communication During and After Disasters* (*UAV networks*), consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2409.06822

mar_12951cca124a, Fonte accademica, *Riveros et al. flash flood landslide susceptibility liguria* (*2026*), 2026. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/01-geomorfologia-valli/2026-riveros-etal-flash-flood-landslide-susceptibility-liguria.md

mar_1356e9017930, elistair.com, *Elistair ORION 2 tethered drone datasheet (persistent ISR and comms relay, 50h)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://elistair.com/wp-content/uploads/2021/02/ORION_2_Leaflet.pdf

mar_13fbcf3d4356, ISPRA, *Ispra rapporto frane capitolo 12 liguria*, consultata il 2026-07-22. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/territorio-orografia/ispra-rapporto-frane-capitolo-12-liguria.md

mar_150f0d68e619, geoportale.regione.emilia-romagna.it, *Alluvione Emilia-Romagna maggio 2023: servizi cartografici per emergenza e ricostruzione*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/approfondimenti/emergenza-maggio-23/emergenza-rer-maggio-2023-servizi

mar_15cbd54b3be7, EUR-Lex, *Regolamento (UE) 2021/523 che istituisce il programma InvestEU (finanziamenti e garanzie, VC)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0523

mar_160d902b9e61, Fonte accademica, *Chand et al. uas bridge inspection review (2026)*, 2026. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2026-chand-etal-uas-bridge-inspection-review.md

mar_16e519dffe81, startupitalia.eu, *StartupItalia - Quanto vale la drone economy in Italia: oltre 700 imprese e startup*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://startupitalia.eu/startup/quanto-vale-la-drone-economy-in-italia-oltre-700-tra-imprese-e-startup-sollevano-merci-e-persone/

mar_1843809227da, federacma.it, *Bando meccanizzazione PNRR e Fondo innovazione ISMEA - documento di sintesi (PDF)*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.federacma.it/wp-content/uploads/2023/08/Aggiornamento_BANDO-MECCANIZZAZIONE-PNRR-E-FONDO-INNOVAZIONE-ISMEA.pdf

mar_1b09661c4e4a, ISTAT, *Istat focus geografia aree interne 2020 (2022)*, 2022. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/dati-demografia/2022-istat-focus-geografia-aree-interne-2020.md

mar_1cbc4fa208cc, dl.djicdn.com, *DJI Agras T30 agricultural spraying drone - user manual and full specifications*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://dl.djicdn.com/downloads/t30/all_update/T30_User_Manual_v1.4_EN.pdf

mar_1cdb4822039f, Operatori italiani (listini pubblici), *Tariffe orarie dei servizi professionali con drone in Italia*, 2026-01-01. web, attendibilità 3. https://visualdron.it/listino-prezzi-riprese-servizi-drone/

mar_1fc274b29766, legaliguria.coop, *Approvata in Regione la legge sulle Cooperative di Comunità (Legacoop Liguria)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.legaliguria.coop/news/approvata-in-regione-la-legge-sulle-cooperative-di-comunita

mar_21fea4a0908a, economyup.it, *Economyup - Droni in Italia: quante imprese, operatori e applicazioni*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.economyup.it/mobilita/droni-in-italia-mercato-in-crescita-quanti-sono-le-imprese-gli-operatori-le-applicazioni/

mar_25fe28f32d70, EUSPA, *EUSPA Market Report press release 2024*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/content/press_releases/euspa_market_report_pr_2024.pdf

mar_263ce47141cc, Regione Liguria, *Libro bianco priorita infrastrutturali liguria (2024)*, 2024. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/connettivita/2024-libro-bianco-priorita-infrastrutturali-liguria.md

mar_26afbd8609c7, DPCoe/SNAI, *Snai dossier regionale liguria 2021 2027 (2024)*, 2024. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/snai-strategie-area/2024-snai-dossier-regionale-liguria-2021-2027.md

mar_2851931f1f30, Regione Liguria, *Psr liguria descrizione territorio*, consultata il 2026-07-22. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/territorio-orografia/psr-liguria-descrizione-territorio.md

mar_2c5a6a3464bc, ncbi.nlm.nih.gov, *Coupling UAV with crop models to estimate pasture growth and digestibility in grazing rotations*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6415791/

mar_2caaf6fe2e4a, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Effect of topography and weather on drone delivery of AED for out-of-hospital cardiac arrest*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8683495/

mar_2ea2c5faee28, Fonte accademica, *Kheirkhahan et al. road resilience bridge isolation apulia (2025)*, 2025. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2025-kheirkhahan-etal-road-resilience-bridge-isolation-apulia.md

mar_2fe1ccca75ec, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Drone-based medical delivery in extreme Himalayan conditions: a feasibility study*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11816105/

mar_2febe34e8def, arXiv, *Probabilistic Planning for Maritime Search and Rescue*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2306.03871

mar_306d50f718b9, Quadricottero, *Quadricottero News - Vigili del Fuoco Liguria: drone con IMSI Catcher per ricerca dispersi*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://www.quadricottero.com/2024/12/vigili-del-fuoco-liguria-operativo-il.html

mar_3214e89cf7bb, EUSPA, *GNSS and EO Market Report* (*EUSPA*), consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/eu-space-market-and-users/gnss-and-eo-market-report

mar_321fdad40bf9, Min. Difesa, *Inaugurato il Polo Nazionale della Dimensione Subacquea a La Spezia* (*Marina Militare*), consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.marina.difesa.it/media-cultura/Notiziario-online/Pagine/20231213_inaugurato_polo_nazionale_dimensione_subacquea.aspx

mar_32960b512158, ISPRA, *In quali territori andranno i fondi del PNRR contro il dissesto idrogeologico*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.openpolis.it/in-quali-territori-andranno-i-fondi-del-pnrr-contro-il-dissesto-idrogeologico/

mar_35dbd2ecdacf, dron-e.it, *Dron-e: ispezione reti elettriche Terna in BVLOS*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://dron-e.it/it/2023/09/25/la-tecnologia-di-dron-e-per-lispezione-aerea-delle-reti-elettriche-di-terna-in-regime-operativo-di-bvlos/

mar_36cdb65fae2c, eur-lex.europa.eu, *Regolamento* (*UE*) *2021/1153 - Meccanismo per collegare l'Europa* (*CEF*)*: trasporti e digitale*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1153

mar_37bbb263d2d1, ISTAT, *Censimento permanente della popolazione in Liguria* (*ISTAT*), consultata il 2026-07-21. dataset, attendibilità 1.
https://www.istat.it/wp-content/uploads/2021/02/Censimento-permanente-della-popolazione_Liguria.pdf

mar_38f413b8370b, Dronezine, *Droni per monitorare argini e alvei durante alluvioni ed esondazioni*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://www.dronezine.it/453450/alluvioni-esondazioni-come-usare-i-droni-per-monitorare-gli-argini/

mar_39bd0e0a4f9c, Fonte accademica, *Flyvbjerg et al. underestimating costs public works* (*2002*), 2002. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2002-flyvbjerg-etal-underestimating-costs-public-works.md

mar_3a818988d8be, cisba.eu, *L'uso dei droni nel monitoraggio ambientale* (*Biologia Ambientale, CISBA*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.cisba.eu/images/rivista/biologia_ambientale/BA_2022/DeBonis_DRONI.pdf

mar_3c505c7c4f5a, ga-asi.com, *GA-ASI MQ-9B SeaGuardian MALE UAV - Datasheet*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ga-asi.com/images/products/aircraft_systems/pdf/mq9b-seaguardian-datasheet-feb2023.pdf

mar_3ca7a78e6c31, agrivivo.it, *Droni per agricoltura: modelli, prezzi, normativa e incentivi 2026*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://agrivivo.it/droni-per-agricoltura/

mar_3cccd2b0e98a, EUR-Lex, *Regolamento* (*UE*) *2021/694 che istituisce il programma Europa digitale* (*Digital Europe Programme*), consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0694

mar_3cfc1bce801c, dhs.gov, *DHS S&T - Blue UAS for First Responders Market Survey Report*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.dhs.gov/sites/default/files/2025-02/25_0210_st_nustl_saver_blue_uas_market_survey.pdf

mar_3e8847e53e5f, Dronezine, *Droni sospetti e controlli rafforzati: esercitazione di sicurezza nel Porto Franco di Trieste*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://www.dronezine.it/457949/droni-sospetti-e-controlli-rafforzati-esercitazione-nel-porto-franco-di-trieste/

mar_3e9847ff103a, EUSPA, *EUSPA - Agenzia UE per il programma spaziale* (*GNSS, U-space, droni, opportunita di finanziamento*), consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.euspa.europa.eu/

mar_3f6bb4c53fc3, Quadricottero, *Quadricottero News - Droni portatili con termocamera per ricerca e soccorso* (*certificati UE 2025*), consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://www.quadricottero.com/2025/07/droni-portatili-con-termocamera-per.html

mar_46afcd2b416d, ISPRA, *Ispra dissesto idrogeologico italia* (*2024*), 2024. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/territorio-orografia/2024-ispra-dissesto-idrogeologico-italia.md

mar_4727d9a6a775, Regione Liguria, *Spesa della Regione Liguria per la difesa del suolo*, 2026-01-01. report, attendibilità 1.

https://www.regione.liguria.it/homepage-giunta/giunta-regionale/comunicati-stampa-della-giunta-regionale/item/44854-fondi-difesa-suolo.html

mar_493172577d30, Fonte accademica, *Rodriguez pose revenge places dont matter (2018)*, 2018. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/02-aree-interne-accessibilita/2018-rodriguez-pose-revenge-places-dont-matter.md

mar_4b2053e81b46, Infratel, *Strategia italiana per la Banda Ultra Larga (Infratel)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://www.infratelitalia.it/piani-nazionali-e-regionali/strategia-italiana-per-la-banda-ultra-larga

mar_4c3eafb97b94, EUSPA, *The new EUSPA market report is here*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://www.euspa.europa.eu/newsroom-events/news/new-euspa-market-report-here

mar_4d5133a5f984, gazzettadellaspezia.com, *Il PNS lancia da La Spezia il bando da 7,5 milioni per la filiera underwater*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://gazzettadellaspezia.com/economia/item/177640-il-polo-nazionale-della-dimensione-subacquea-lancia-dalla-spezia-il-bando-da-7-5-milioni-per-la-filiera-underwater

mar_4dd5bbf6528a, NASA, *NASA Aerial Data Acquisition Platform for Firefront Monitoring*, consultata il 2026-07-21. paper, attendibilità 1. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210023767/downloads/DAQ_Report.pdf

mar_52883b92a8f7, Copernicus, *UAV photogrammetric products accuracy assessment: a review (RMSE, GSD, GCP)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-4-W6-2022/279/2023/isprs-archives-XLVIII-4-W6-2022-279-2023.pdf

mar_52cfcd264616, Fonte istituzionale, *Strategia area interna alta valle arroscia (2019)*, 2019. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/snai-strategie-area/2019-strategia-area-interna-alta-valle-arroscia.md

mar_54d6c9d90153, NASA, *NASA TM: Fighting Wildfires Using UAVs*, consultata il 2026-07-21. paper, attendibilità 1. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20230011861/downloads/NASA-TM-20230011861.pdf

mar_5614af272714, Fonte accademica, *Pecoraro et al. spatial accessibility hospital services italy (2024)*, 2024. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/02-aree-interne-accessibilita/2024-pecoraro-etal-spatial-accessibility-hospital-services-italy.md

mar_565abcb57bed, ISPRA, *Ispra dissesto idrogeologico executive summary (2021)*, 2021. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/territorio-orografia/2021-ispra-dissesto-idrogeologico-executive-summary.md

mar_57450b8214a3, legacoop.coop, *Cooperativa di Comunità Val Pentemina (Legacoop Liguria)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.legacoop.coop/legacoop-liguria-la-cooperativa-di-comunita-valpentemina-partecipa-al-bando-della-fondazione-san-paolo/

mar_58cddf3b0c48, leonardo.com, *Leonardo - Falco Xplorer MALE UAV: prima campagna voli (piattaforma ISR full-European, sovranita')*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.leonardo.com/en/press-release-detail/-/detail/terminata-la-prima-campagna-voli-del-falco-xplorer-un-passo-decisivo-per-la-certificazione-del-drone

mar_5a3b233d927e, Gov IT, *Italia Domani - portale ufficiale del PNRR (missioni, misure, investimenti)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://www.italiadomani.gov.it/

mar_5c420ec232ab, EUR-Lex, *Regolamento (UE) 2021/695 che istituisce Orizzonte Europa - programma quadro di ricerca e innovazione*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0695

mar_5cb0ff2ebebb, Dronezine, *Mercato droni Italia 168 milioni 2025 - DronEzine*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2. https://www.dronezine.it/458510/mercato-droni-in-italia-168-milioni-di-euro-nel-2025-crescita-al-5/

mar_5e1ed976b783, first.art-er.it, *ART-ER (Emilia-Romagna) - Bando ECDI: droni per PMI innovative, transizione dual-use*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://first.art-er.it/news/droni-bando-ecdi-le-pmi-innovative-europee

mar_5e5de327055b, Fonte accademica, *Maccari ninux wireless community network (2013)*, 2013. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2013-maccari-ninux-wireless-community-network.md

mar_5e6c3714440d, Osservatorio Droni e AAM, Politecnico di Milano, *Osservatorio Droni e Mobilità Aerea Avanzata, mercato italiano dei droni 2025*, 2026-02-24. report, attendibilità 1. https://www.osservatori.net/comunicato/droni-e-mobilita-aerea-avanzata/mercato-droni-italia/

mar_5eb10ed46db8, thegooddroneco.co.za, *DJI Matrice 350 RTK - Spec Sheet (datasheet)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.

https://thegooddroneco.co.za/wp-content/uploads/2024/03/231207-DJI-MATRICE-350-RTK-SPEC-SHEET.pdf

mar_5f160be79f58, arXiv, *Drone Carrier: Integrated USV for Autonomous Inspection and Intervention in GNSS-Denied Maritime Environment*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2501.12869

mar_5f3f71a37589, Copernicus, *Accuracy assessment of a UAV-based landslide monitoring system*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLI-B5/895/2016/isprs-archives-XLI-B5-895-2016.pdf

mar_61adb9e3be9d, Fonte accademica, *Vanveelen et al. drones sar telemedicine rct (2023)*, 2023. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2023-vanveelen-etal-drones-sar-telemedicine-rct.md

mar_622571f66381, supplychainitaly.it, *Supply Chain Italy - Mercato italiano droni cargo verso 284 milioni di euro nel 2030 (PwC)*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.supplychainitaly.it/2025/11/06/il-mercato-italiano-droni-cargo-pronto-a-decollare-a-284-milioni-di-euro-nel-2030

mar_629096f59205, euricse.eu, *Economia Cooperativa - Terzo Rapporto Euricse*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://euricse.eu/wp-content/uploads/2015/09/00-ECONOMIA-COOPERATIVA.pdf

mar_6361c3d179a5, marketdataforecast.com, *Europe Drone as a Service Market Size & Growth 2034*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.marketdataforecast.com/market-reports/europe-drone-as-a-service-market

mar_643864714ae7, credenceresearch.com, *High Altitude Platforms (HAPS) Market Size and Forecast (Credence)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.credenceresearch.com/report/high-altitude-platforms-haps-market

mar_64506350fdc1, ncbi.nlm.nih.gov, *Bio-Inspired Swarm UAV Framework with Thermal Sensing for Search and Rescue*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12835151/

mar_6454acd67188, Fonte accademica, *Bergantino et al. modelli mobilita aree interne repot (2025)*, 2025. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2025-bergantino-etal-modelli-mobilita-aree-interne-repot.md

mar_650a8027b68e, ESA, *ESA Space Solutions / Business Applications - finanziamenti per applicazioni satellitari e droni*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://business.esa.int/

mar_66c84873152a, legaliguria.coop, *Legambiente e Legacoop Liguria insieme per le Cooperative di Comunità*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.legaliguria.coop/legambiente-e-legacoop-liguria-insieme-per-le-cooperative-di-comunita/

mar_67469700d119, cittadellaspezia.com, *Nasce il Polo della subacquea: un miliardo di euro nel Golfo*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.cittadellaspezia.com/2023/12/12/nasce-il-polo-della-subacquea-insieme-allarsenale-portera-nel-golfo-un-miliardo-di-euro-525161/

mar_6830b69024a8, navalnews.com, *US Coast Guard Awards 198M USD Cutter-Based V-BAT UAS Contract*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.navalnews.com/naval-news/2024/06/uscg-awards-contract-to-procure-cutter-based-uas-capability/

mar_6cbb675b8c34, Fonte accademica, *Silvagni et al. uav sar avalanche (2017)*, 2017. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2017-silvagni-etal-uav-sar-avalanche.md

mar_6e7bca0cddb5, ncbi.nlm.nih.gov, *Airborne Optical and Thermal Remote Sensing for Wildfire Detection and Monitoring*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5017475/

mar_6eb6f61267a3, ESA, *EUSPA publishes 2nd issue of EO and GNSS Market Report (ESA)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://space-economy.esa.int/article/195/euspa-publishes-the-2nd-issue-of-its-eo-and-gnss-market-report

mar_6efbfed1222a, Fonte accademica, *Aggarwal et al. drone medical himalaya feasibility (2024)*, 2024. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2024-aggarwal-etal-drone-medical-himalaya-feasibility.md

mar_711b2a0748d0, ncbi.nlm.nih.gov, *UAV-assisted livestock distribution monitoring and quantification: low-cost, high-precision solution*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10571782/

mar_7198bbdae746, Regione Liguria, *Priimt piano regionale infrastrutture mobilita trasporti liguria (2023)*, 2023. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/connettivita/2023-priimt-piano-regionale-infrastrutture-mobilita-trasporti-liguria.md

mar_7452d36ff980, DroneLife, *Advancing access: the impact of drone delivery on healthcare and beyond*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2. https://dronelife.com/2023/12/20/advancing-access-the-impact-of-drone-delivery-on-healthcare-and-beyond/

mar_7475dd4c384e, politesi.polimi.it, *Enhancing Search and Rescue Missions with UAV Thermal Detection and Tracking* (*Politecnico di Milano Thesis*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/235040/4/2025_04_Motta_Thesis.pdf

mar_7674236546ba, Fonte istituzionale, *Strategia area interna antola tigullio* (*2016*), 2016. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/snai-strategie-area/2016-strategia-area-interna-antola-tigullio.md

mar_77538f15d3da, dhs.gov, *DHS S&T - Drone as First Responder* (*DFR*) *TechNote*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.dhs.gov/sites/default/files/2025-07/25_0708_st_dfrtn.pdf

mar_781118cd952b, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Drones in healthcare logistics: healthcare professionals' perspective on Zipline in Ghana*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12914684/

mar_7db1f91953db, Fonte accademica, *Comtet et al. drone laboratory samples norway* (*2022*), 2022. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2022-comtet-etal-drone-laboratory-samples-norway.md

mar_7efca9c41933, arXiv, *Detecting Wildfires on UAVs with Real-Time On-Device Segmentation*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2408.10843

mar_7f45cc4b29e9, ncbi.nlm.nih.gov, *Animal welfare implications of digital tools for monitoring cattle and sheep on pasture*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8000582/

mar_7fda798bc51a, ageei.eu, *PwC Roma Drone Conference: mercato droni Italia a 1,46 mld nel 2030*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://ageei.eu/droni-pwc-per-roma-drone-conference-vola-il-mercato-in-italia-dagli-attuali-597-mln-di-euro-a-146-mld-nel-2030/

mar_823a2dacc5cf, EU, *Copernicus EMS: drones and planes for high-resolution disaster damage assessment*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/drones-and-planes-unprecedented-imagery-resolution-disaster-assessment-2023-09-25_en

mar_824c528e1be3, Fonte accademica, *Ahmmed et al. digital divide canada leo satellites* (*2022*), 2022. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2022-ahmmed-etal-digital-divide-canada-leo-satellites.md

mar_82d5a1c21977, militaryaerospace.com, *EMSA selects Airbus Flexrotor for maritime surveillance services*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.militaryaerospace.com/uncrewed/news/55339057/emsa-selects-airbus-flexrotor-for-maritime-surveillance-services

mar_836f25349b5b, arXiv, *Collaborative Multi-Robot Systems for Search and Rescue: Coordination and Perception*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2008.12610

mar_8455e90fd103, ncbi.nlm.nih.gov, *UAV Deployment Exercise for Mapping: Evaluation of Emergency Response Applications*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4541851/

mar_84e2832a75d6, Fonte accademica, *Napoleone borghi abbandonati liguria turismo* (*2020*), 2020. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/02-aree-interne-accessibilita/2020-napoleone-borghi-abbandonati-liguria-turismo.md

mar_86bd84a4c2ef, Dronezine, *DronEzine: Drone Guardia Costiera - primo volo nel Mar Ligure*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2. https://www.dronezine.it/349106/mar-ligure-il-drone-della-guardia-costiera-ha-compiuto-ieri-il-primo-volo/

mar_86fee3b41d7c, filse.it, *FILSE - Finanziaria Ligure per lo Sviluppo Economico* (*strumenti finanziari e bandi Regione Liguria*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.filse.it/

mar_87f2894ee713, downloads.regulations.gov, *DJI Agras T40 agricultural spray/spread drone - aircraft parameters specification sheet*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://downloads.regulations.gov/FAA-2023-1941-0001/attachment_4.pdf

mar_884c40105d07, ansa.it, *ANSA - Cresce in Italia il mercato professionale dei droni* (*+10%*), consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.ansa.it/canale_tecnologia/notizie/tecnologia/2025/04/17/cresce-in-italia-il-mercato-professionale-dei-droni-10_282d6b64-2c7d-45f4-bc50-05914fa46b9a.html

mar_891e5b1fc784, Fonte accademica, *Magri et al. modelling rainfall landslides ml* (*2023*), 2023. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/01-geomorfologia-

valli/2023-magri-etal-modelling-rainfall-landslides-ml.md

mar_8923d3da2a8a, Corte dei Conti, *Corte conti delibera 58 2024 ccc piano bul aree bianche (2024)*, 2024. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/connettivita/2024-corte-conti-delibera-58-2024-ccc-piano-bul-aree-bianche.md

mar_89e00dbc682d, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Drone-based medication delivery for rural, flood-prone coastal communities*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12500137/

mar_8a9fa280a94c, Quadricottero, *Drone termico e faretto: Soccorso Alpino ritrova un disperso in Sardegna*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2. https://www.quadricottero.com/2026/04/drone-soccorso-alpino-salva-escursionista-is-cannoneris.html

mar_8cec2bddadea, cassini.eu, *CASSINI - iniziativa UE per startup/scale-up del settore spaziale (venture facility, business accelerator)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.cassini.eu/

mar_8d7ef3ba627e, Drone Farm, *Prezzi di mercato dei servizi con drone in agricoltura in Italia (2026)*, 2026-01-01. web, attendibilità 2. https://www.dronefarm.it/blog/quanto-costa-trattamento-con-drone

mar_8ff5c1b3b272, camera.it, *Dissesto idrogeologico - dossier Camera dei Deputati*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.camera.it/temiap/documentazione/temi/pdf/1385280.pdf

mar_905a11e1742e, Fonte accademica, *Desilvestri et al. drones healthcare scoping review (2023)*, 2023. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2023-desilvestri-etal-drones-healthcare-scoping-review.md

mar_92e2afc2e8a9, leonardo.com, *Leonardo/Piaggio P.1HH HammerHead MALE UAS datasheet (ISR specifications)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.leonardo.com/documents/15646808/16746037/PR_18_Feb_IDEX_Piaggio_HammerHead_en.pdf?t=1538990200074

mar_95475436ed39, Fonte accademica, *Farina depopulation tourism alpine western liguria (2002)*, 2002. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/02-aree-interne-accessibilita/2002-farina-depopulation-tourism-alpine-western-liguria.md

mar_96a327dbafd3, arXiv, *Rethinking Drone-Based Search and Rescue with Aerial Person Detection*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2111.09406

mar_9701b0b8de26, Fonte accademica, *Vecchiattini borghi abbandonati liguria (2020)*, 2020. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/02-aree-interne-accessibilita/2020-vecchiattini-borghi-abbandonati-liguria.md

mar_971a2d7f0750, Terna, Snam Rete Gas, *Estensione delle reti infrastrutturali lineari italiane, Terna e Snam*, 2025-01-01. report, attendibilità 1. https://download.terna.it/terna/Terna_Piano_Sviluppo_2025_8dd62e818ab9abd.pdf

mar_98703fc88edc, coopdicomunita.eu, *Legge Regionale Liguria 7 aprile 2015 n.14 - Cooperative di Comunità*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.coopdicomunita.eu/wp-content/uploads/2019/09/Liguria_LR_14_2015.pdf

mar_99afc262f1ee, arXiv, *Aerial Maritime Vessel Detection and Identification with UAV-USV Cooperation*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2507.07153

mar_9c2a0be790de, arXiv, *A Search and Detection Autonomous Drone System: from Design to Implementation*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2211.15866

mar_9e5ee15fe395, eurousc-italia.it, *E-Distribuzione autorizzazione non geografica BVLOS - EuroUSC Italia*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.eurousc-italia.it/it/e-distribuzione-autorizzazione-non-geografica-per-operazioni-bvlos-contributo-di-eurousc-italia/

mar_9f01b5a4df56, Fonte accademica, *Pappalardo terrazzamento antropico liguria (2002)*, 2002. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/01-geomorfologia-valli/2002-pappalardo-terrazzamento-antropico-liguria.md

mar_9f05c86da0b0, Fonte accademica, *Donnini et al. impact landslides road networks italy (2017)*, 2017. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2017-donnini-etal-impact-landslides-road-networks-italy.md

mar_9faf0fc3d841, Fonte accademica, *Gariano et al. rainfall temporal resolution thresholds (2020)*, 2020. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/01-geomorfologia-valli/2020-gariano-etal-rainfall-temporal-resolution-thresholds.md

mar_a12dd91206f6, Aerialtronics, *Risparmio dell'ispezione automatizzata con drone sulle linee elettriche*, 2025-01-01. web, attendibilità 2. https://aerialtronics.com/it/applicazioni/droni-per-ispezione-linee-elettriche

mar_a240078aaf97, EMSA, *EMSA contracts additional RPAS for maritime surveillance*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.emsa.europa.eu/newsroom/press-releases/item/3413-pr-rpas-contracts.html

mar_a2e594c017f2, Fonte accademica, *Vanveelen strapazzon green hems drones mountain (2023)*, 2023. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2023-vanveelen-strapazzon-green-hems-drones-mountain.md

mar_a3bfd39e37b7, Quadricottero, *DJI report: 600k agricultural drones worldwide, EU pesticide rules and Italy implementing decrees (2026)*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://www.quadricottero.com/2026/04/droni-agricoli-report-dji-decreto-attuativo-italia-2026.html

mar_a4521c499b8f, Fonte accademica, *Iadanza et al. idrogeo webmapping landslides floods (2021)*, 2021. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/01-geomorfologia-valli/2021-iadanza-etal-idrogeo-webmapping-landslides-floods.md

mar_a47e229cf3a7, arXiv, *UAV and machine-learning refinement of satellite NDVI for precision viticulture (Northern Italy vineyard)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2004.14421

mar_a664e9717555, EUR-Lex, *Regolamento (UE) 2021/696 - programma spaziale dell'Unione e Agenzia EUSPA*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0696

mar_a9f58afea018, genovatoday.it, *Entroterra Genovese: i servizi che mancano nei comuni*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.genovatoday.it/cronaca/entroterra-spopolamento-cosa-manca.html

mar_aa1b7fcc6204, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *UAVs for Geospatial Damage Mapping: 2021 Mamuju-Majene (Indonesia) Earthquake*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9420053/

mar_aa70b963d0ba, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Coastal Monitoring Using UAVs for the Management of the Spanish Mediterranean Coast (Almenara-Sagunto)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9102993

mar_aba45b19d128, Italian Resuscitation Council, Registro Italiano Arresti Cardiaci, *Epidemiologia dell'arresto cardiaco extraospedaliero in Italia*, 2025-01-01. paper, attendibilità 1.
https://www.ircouncil.it/wp-content/uploads/2021/07/LG-ERC-2021_Capitolo-2_Epidemiologia-dellarresto-cardiaco-in-Europa.pdf.pdf

mar_abee030a8bc9, Dronezine, *DronEzine - Il futuro dei droni civili vale 83 miliardi di dollari: servizi e software i principali driver*, consultata il 2026-07-22. news, attendibilità 2.
https://www.dronezine.it/459156/mercato-il-futuro-dei-droni-civili-vale-83-miliardi-di-dollari-servizi-e-software-i-principali-driver/

mar_ad2184de9431, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Implementation of drone-based medical supply delivery in North-East India (i-DRONE)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10275566/

mar_ad43effa54ce, arXiv, *UAV-Assisted Maritime Search and Rescue: A Holistic Approach*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2403.14281

mar_aef91467fa7c, vtechworks.lib.vt.edu, *A review and prospects on the use of UAVs in precision agriculture (Virginia Tech)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstreams/76755a1f-c86d-409e-b276-d7bc1ef7269a/download

mar_aefadddce4b7, eur-lex.europa.eu, *Regolamento (UE) 2021/1057 - Fondo sociale europeo Plus (FSE+): accesso a servizi sanitari e sociali*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1057

mar_af80cc2c8dba, genovatoday.it, *Il primo volo in Italia del drone EMSA della guardia costiera (Golfo di Genova)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.genovatoday.it/attualita/drone-emsa-guardia-costiera-mari.html

mar_b1be2db949fe, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Drone versus ambulance for blood products transportation: an economic evaluation study*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8645114/

mar_b2d3306900b0, Fonte accademica, *Patra et al. wildnet long distance wifi (2007)*, 2007. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2007-patra-etal-wildnet-long-distance-wifi.md

mar_b438762cc626, Quadricottero, *E-Distribuzione ottiene da ENAC permesso BVLOS - Quadricottero*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://www.quadricottero.com/2022/03/droni-e-distribuzione-ottiene-da-enac.html

mar_b49c425af200, EU, *EDA - OCEAN2020 factsheet: EU unmanned maritime surveillance (air/surface/underwater)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://eda.europa.eu/docs/default-source/eda-factsheets/2019-11-15-ocean2020.pdf

mar_b618228e4dab, EUR-Lex, *Regolamento (UE) 2021/1058 - Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR) e Fondo di coesione*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1058

mar_b73e4ad4683c, arXiv, *Multi-UAV Planning for Cooperative Wildfire Coverage and Tracking (QoS)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2206.10544

mar_b7c0608062c0, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Adopting drone technology for blood delivery: feasibility study on efficiency and sustainability*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12183833/

mar_b97e4299d9d9, mordorintelligence.com, *High Altitude Pseudo Satellites Market Report (Mordor Intelligence)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/high-altitude-pseudo-satellites-market

mar_ba0be1a31b61, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Systematic review of drone customization and application in public health innovation*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12228581/

mar_bb835d9ba789, interspill.org, *EMSA RPAS-based Services for Maritime Surveillance and Ship Emissions Monitoring*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.interspill.org/downloads/archive/Remotely-Piloted-Aircraft-System-S-Seddon-Brown-European-Maritime-Safety-Agency-EMSA.pdf

mar_bcf2e2c567f5, Stampa nazionale e locale, dati di convenzione, *Costo orario dei mezzi aerei antincendio in Italia*, 2025-08-01. web, attendibilità 3.
https://www.giornaledibrescia.it/brescia-e-hinterland/roghi-conti-salati-un-canadair-costa-15-mila-euro-allora-t6q1lm61

mar_be23ab01fd0c, arXiv, *Smoke Sky: UAS Frontiers for Wildland Fire Science and Applications*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/1911.08288

mar_c0247576d766, tg24.sky.it, *Droni, in Italia nel 2025 mercato da 168 milioni - Sky TG24*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://tg24.sky.it/economia/2026/03/09/droni-italia-mercato

mar_c1bf6fd33f5b, ansa.it, *ANSA - Droni marini: il mercato italiano da 189 milioni di euro nel 2030 (PwC Strategy&)*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2.
https://www.ansa.it/canale_scienza/notizie/frontiere/2023/10/17/droni-marini-mercato-italiano-da-189-milioni-di-euro-nel-2030_200f60b5-cdda-4646-b305-6fc7eeb911f9.html

mar_c2362f0b7061, Fonte accademica, *Mejia aguilar et al. vertical port defibrillator mountainous (2026)*, 2026. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2026-mejia-aguilar-etal-vertical-port-defibrillator-mountainous.md

mar_c2ab14eebc4d, uncem.it, *La connettività al servizio delle comunità di montagna e aree rurali (UNCEM)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://uncem.it/la-connettivita-deve-essere-al-servizio-delle-comunita-di-montagna-e-delle-aree-rurali/

mar_c3e00d16272b, osservatori.net, *Il mercato dei droni in Italia cresce del 5% nel 2025 - Osservatori*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.osservatori.net/comunicato/droni-e-mobilita-aerea-avanzata/mercato-droni-italia/

mar_c556fee2757b, EU, *Cooperative di comunità e agricoltura delle aree interne (Agriregionieuropa)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://agriregionieuropa.eu/it/content/article/31/59/opportunita-e-strumenti-lagricoltura-delle-aree-interne-le-cooperative-di

mar_c5c4ca29db06, Fonte istituzionale, *Strategia area interna val di vara (2020)*, 2020. report, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/snai-strategie-area/2020-strategia-area-interna-val-di-vara.md

mar_c6ff0f03bc73, MIMIT, Invitalia, *Strumenti nazionali di sostegno agli investimenti, Nuova Sabatini e Smart&Start Italia*, 2026-01-01. report, attendibilità 1.
https://www.mimit.gov.it/it/incentivi/sostegno-alle-startup-innovative-smart-start-italia

mar_c7cfb4b2069f, Airbus, EMSA, *Contratto quadro EMSA-Airbus per il servizio Flexrotor, dicembre 2025*, 2025-12-17. report, attendibilità 1.
https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2025-12-european-maritime-safety-agency-selects-airbus-flexrotor-drone-for

mar_c852b1b3cee7, marinelink.com, *EMSA Taps Drone Firm for Long-range Maritime Surveillance*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.marinelink.com/news/emsa-taps-drone-firm-longrange-maritime-489533

mar_c8ab5554d584, Gov IT, *Tecnologie satellitari ed economia spaziale - Investimento PNRR (Italia Domani)*, consultata il 2026-07-22. report, attendibilità 1.

https://www.italiadomani.gov.it/it/Interventi/investimenti/tecnologie-satellitari-ed-economia-spaziale.html

mar_c9e26b80fe57, uncrewed.leonardo.com, *Leonardo Falco Family of UAS - Datasheet* (*specs table*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://uncrewed.leonardo.com/documents/16277715/18577372/Falco+Family+(MM09053)_LQ.pdf

mar_ca762ffc5f5c, regione.liguria.it, *58 comuni, 4 nuove Aree interne, oltre 50 milioni* (*Regione Liguria*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.regione.liguria.it/homepage-giunta/item/43393-nuovi-comuni-accesso-aree-interne.html

mar_cada9eaef6c2, Fonte accademica, *Pirlone spadaro candia antiche percorrenze borghi abbandonati pentema* (*2021*), 2021. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/06-torriglia-pentema-antola/2021-pirlone-spadaro-candia-antiche-percorrenze-borghi-abbandonati-pentema.md

mar_cc0d4fdcb668, Fonte accademica, *Silvestro et al. hydrological analysis genoa 2011* (*2012*), 2012. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/01-geomorfologia-valli/2012-silvestro-etal-hydrological-analysis-genoa-2011.md

mar_ccb332a382c8, Fonte accademica, *Bergantino et al. digital divide income italian provinces* (*2026*), 2026. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2026-bergantino-etal-digital-divide-income-italian-provinces.md

mar_cf7e204401fb, MASE, Dipartimento della Protezione Civile, *PNRR M2C4, dotazioni per il rischio di alluvione e il dissesto idrogeologico*, 2025-09-01. report, attendibilità 1. https://www.mase.gov.it/portale/componente-4-m2c4-tutela-del-territorio-e-della-risorsa-idrica

mar_d048e9e29d09, Fonte accademica, *Agnoletti et al. terraced landscapes cinque terre* (*2019*), 2019. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/01-geomorfologia-valli/2019-agnoletti-etal-terraced-landscapes-cinque-terre.md

mar_d1daa12f3ea7, Osservatorio Smart AgriFood, Politecnico di Milano e Università di Brescia, *Osservatorio Smart AgriFood, mercato italiano dell'Agricoltura 4.0 2025*, 2026-02-25. report, attendibilità 1. https://www.osservatori.net/comunicato/smart-agrifood/agricoltura-4-0-italia-mercato/

mar_d3a2842e5236, arXiv, *Open Problems in Computer Vision for Wilderness Search and Rescue*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2307.14527

mar_d9567cff8eea, Fonte accademica, *Godone et al. uav sfm landslide monitoring* (*2020*), 2020. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2020-godone-etal-uav-sfm-landslide-monitoring.md

mar_d961325d9d54, Fonte accademica, *Driessen multipath mountainous terrain* (*2000*), 2000. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2000-driessen-multipath-mountainous-terrain.md

mar_db31f5476748, EMSA, *EMSA - Remotely Piloted Aircraft Systems* (*RPAS*) *services for maritime surveillance*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://www.emsa.europa.eu/we-do/surveillance/rpas.html

mar_dcb0a7ded278, camera.it, *La SNAI e il Fondo di sostegno per i comuni marginali - dossier Camera*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.camera.it/temiap/documentazione/temi/pdf/1375588.pdf

mar_e06534cf819d, Fonte accademica, *Azari et al. non terrestrial networks 5g 6g survey* (*2022*), 2022. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2022-azari-etal-non-terrestrial-networks-5g-6g-survey.md

mar_e115e540e820, anciliguria.it, *ANCI Liguria - Programmazione Europea 2021-2027*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.anciliguria.it/programmazione-europea

mar_e1e5160803d9, corrierecomunicazioni.it, *Space economy, mercato a 340 milioni* (*+17%*)*: la filiera italiana e il post-PNRR* (*CorCom*), consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.corrierecomunicazioni.it/report/space-economy-mercato-a-340-milioni-17-la-filiera-italiana-fronteggia-il-post-pnrr/

mar_e1f772973ef5, Fonte accademica, *Wankmuller et al. aed delivery mountainous challenges* (*2024*), 2024. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2024-wankmuller-etal-aed-delivery-mountainous-challenges.md

mar_e2f883113a84, regione.liguria.it, *SNAI - PNRR e fondi europei* (*Regione Liguria*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.regione.liguria.it/homepage-fondi-europei/cosa-cerchi/strategia-nazionale-aree-interne.html

mar_e3774be9288e, euricse.eu, *Le imprese di comunità in Italia* (*Euricse*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://euricse.eu/it/le-imprese-di-comunita-in-italia/

mar_e477085f9509, Fonte accademica, *Vitale brovarone cotella rural accessibility multilayer (2020)*, 2020. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/02-aree-interne-accessibilita/2020-vitale-brovarone-cotella-rural-accessibility-multilayer.md

mar_e62fb8cfd7ef, Fonte accademica, *Rodrigues et al. drone energy emissions small package (2022)*, 2022. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2022-rodrigues-etal-drone-energy-emissions-small-package.md

mar_e6c97373c2e5, Fonte accademica, *Quintanilla et al. uas medical logistics valencia covid (2021)*, 2021. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2021-quintanilla-etal-uas-medical-logistics-valencia-covid.md

mar_e87fe6e4f6c8, Fonte accademica, *Uav photogrammetry folds monte antola flysch (2018)*, 2018. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/06-torriglia-pentema-antola/2018-uav-photogrammetry-folds-monte-antola-flysch.md

mar_e929ca6493c9, bandaultralarga.italia.it, *Banda Ultra Larga - Aree Bianche, obiettivi*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://bandaultralarga.italia.it/aree-bianche/obiettivi/

mar_ea895fbbbfc6, Fonte accademica, *Jakobsen et al. drones aed cardiac arrest scoping review (2025)*, 2025. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2025-jakobsen-etal-drones-aed-cardiac-arrest-scoping-review.md

mar_eb8d5342bc65, apps.dtic.mil, *DTIC: Cost-Effectiveness Analysis of C-12 Variant Airborne ISR*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1173451.pdf

mar_ece8c5a01b91, ncbi.nlm.nih.gov, *UAV multispectral sensing and data-driven modeling for onion yield prediction*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12921482/

mar_ed111a89c216, ncbi.nlm.nih.gov, *Multitemporal multispectral UAV remote sensing for wheat yield assessment (European varieties)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10791776/

mar_f064520d7123, Gov IT, *Spazio: siglate le Convenzioni PNRR con ESA e ASI (Dipartimento Trasformazione Digitale)*, consultata il 2026-07-22. report, attendibilità 1. https://innovazione.gov.it/notizie/articoli/spazio-siglate-le-convenzioni-pnrr-con-esa-e-asi/

mar_f10061615568, Fonte accademica, *Elter introduzione geologia appennino ligure emiliano*, consultata il 2026-07-22. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/06-torriglia-pentema-antola/elter-introduzione-geologia-appennino-ligure-emiliano.md

mar_f1ce354c72cc, ISPRA, *Dissesto idrogeologico - tema Camera dei Deputati*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://temi.camera.it/leg19/temi/dissesto-idrogeologico-1.html

mar_f1e7340abdfe, Dronezine, *Il drone salva-vita del 118 trasportera farmaci e defibrillatori: al via i test*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2. https://www.dronezine.it/372938/il-drone-salva-vita-del-118-trasportera-farmaci-e-defibrillatori-al-via-i-test/

mar_f5a3f1f99435, gruppohera.it, *Inrete: ispezioni reti elettriche con droni BVLOS fino a 5 km*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.gruppohera.it/-/inrete_drone_bvlos

mar_f70a09236955, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Deep CNN for flood extent mapping using UAV data*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6479537/

mar_f7ccbd0cbb94, ncbi.nlm.nih.gov, *Detection of cattle in UAV images using deep learning*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6960676/

mar_f8dc5194f2db, Dronezine, *E-Distribuzione: nel 2022 piu droni e voli BVLOS - DronEzine*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2. https://www.dronezine.it/326702/e-distribuzione-nel-2022-piu-droni-piu-piloti-e-voli-bvlos-autorizzati-da-enac/

mar_f9a70555d258, Min. Difesa, *Polo Nazionale Dimensione Subacquea e lo studio Sciamano Drone Carrier*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://aresdifesa.it/polo-nazionale-della-dimensione-subacquea-e-lo-studio-sciamano-drone-carrier/

mar_fb265da1aa6f, Fonte accademica, *Ramirez arroyo et al. starlink oneweb 5g measurements (2025)*, 2025. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/03-infrastrutture-connettivita/2025-ramirez-arroyo-etal-starlink-oneweb-5g-measurements.md

mar_fb9436735ea0, ISTAT, *Le aree interne tra spopolamento e povertà (ISTAT)*, consultata il 2026-07-21. dataset, attendibilità 1.

https://www.istat.it/wp-content/uploads/2022/09/31_ISTAT_MILeS2022_Bianchino_Carbonara_Carucci_Tebala.pdf

mar_fd2ae6b422fe, arXiv, *Comprehensive Survey of AI-Enabled UAS in Pre-, Active-, Post-Wildfire Management*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2401.02456

mar_ffe0874064b1, Dronezine, *Trentino: 10 nuovi droni con termocamera e IA per il CNSAS Soccorso Alpino*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2. https://www.dronezine.it/459256/trentino-droni-e-soccorso-in-montagna-10-nuovi-velivoli-per-il-cnsas/

mar_ffedaa01675d, Fonte accademica, *Gao et al. weather constraints drone flyability (2021)*, 2021. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/04-droni-uav/2021-gao-etal-weather-constraints-drone-flyability.md

Normativa, regolazione e assicurazione

leg_00e7ed73c60c, Quadricottero, *Quadricottero - Primo volo SAIL III in Italia: ENAC autorizza BVLOS urbano droni pesanti (UrbanV DLV-2)*, consultata il 2026-07-22. news, attendibilità 2. https://www.quadricottero.com/2026/03/primo-volo-sail-iii-in-italia-enac.html

leg_01104585ebfa, EUR-Lex, *Directive (EU) 2022/2555 (NIS2) - high common level of cybersecurity across the Union*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022L2555

leg_0142caca3ed4, EUR-Lex, *Commission Implementing Regulation (EU) 2021/665 - U-space requirements for air traffic service providers*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/665/oj/eng

leg_015a94aae9bb, ENAC, *ENAC - Bozza Regolamento Zone geografiche UAS (consultazione 2026)*, consultata il 2026-07-22. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/la-normativa/normativa-enac/consultazione-normativa/bozza-regolamento-zone-geografiche-uas

leg_04d6549ff58e, EUR-Lex, *Decisione di esecuzione (UE) 2022/179 - uso armonizzato spettro 5 GHz (WAS/RLAN, droni)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022D0179

leg_072dfd4aebc3, Quadricottero, *Quadricottero - Grottaglie: voli sperimentali BVLOS con Songbird 150 (Horus Technologies, Hangar 84)*, consultata il 2026-07-22. news, attendibilità 2. https://www.quadricottero.com/2025/02/grottaglie-voli-sperimentali-bvlos-con.html

leg_08a173025f1c, ENAC, *ENAC - Regolamento UAS-IT: disposizioni nazionali italiane per le operazioni con droni*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/news/droni-regolamento-enac-uas-it/

leg_091ea7c9e358, EUR-Lex, *Commission Implementing Regulation (EU) 2021/666 - requirements for manned aircraft in U-space airspace*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2021/666/oj/eng

leg_0b60fe552331, www.rivistaimpresasociale.it, *Rivista Impresa Sociale - la co-programmazione ex art. 55 CTS*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.rivistaimpresasociale.it/rivista/articolo/coprogrammazione-articolo-55

leg_0cf8a384973b, Fonte accademica, *Arxiv sovereign cloud control plane disruption (2026)*, 2026. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2026-arxiv-sovereign-cloud-control-plane-disruption.md

leg_0faf704baf9d, traficom.fi, *Traficom (FI) - Frequency use in unmanned aviation (C2 and payload bands)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://traficom.fi/en/radio-licences-and-frequencies/use-radio-frequencies/frequency-use-unmanned-aviation

leg_104dc58aa50c, Unione europea, *Regolamenti de minimis 2023/2831 e 2023/2832, massimali e vigenza*, 2024-01-01. legge, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A32023R2831

leg_121ddbe8ea26, JARUS, *JARUS SORA v2.5 Annex B - Integrity and assurance / ground risk mitigations (JAR_doc_27)*, consultata il 2026-07-21. standard, attendibilità 1. http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2024/06/SORA-v2.5-Annex-B-Release.JAR_doc_27pdf.pdf

leg_13f553e254e8, ENAC, *ENAC - Utilizzo di droni in BVLOS da parte di Istituzioni pubbliche*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.

https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/utilizzo-di-aeromobili-senza-pilota-bordo-droni-in-bvlos-da-parte-di/

leg_16c7696728f7, www.gazzettaufficiale.it, *D.Lgs 209/2024 - Correttivo al Codice dei contratti pubblici* (*Gazzetta Ufficiale*), consultata il 2026-07-21. legge, attendibilità 1.
https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2024/12/31/305/so/45/sg/pdf

leg_1725d2522868, Dronezine, *DronEzine - Sicilia-Isole Eolie: ok ENAC alla rotta BVLOS di 37 km per trasporto medicale*, consultata il 2026-07-22. news, attendibilità 2.
https://www.dronezine.it/452701/sicilia-e-isole-eolie-collegate-da-droni-per-trasporto-medicale-arriva-lok-dellenac-per-la-rotta-di-37-km/

leg_188896c73aa0, cortecostituzionale.it, *Corte Costituzionale, sentenza 131/2020 - amministrazione condivisa e art. 55 CTS*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.cortecostituzionale.it/scheda-pronuncia/2020/131

leg_1a38d2f4aa2b, Fonte accademica, *Eprs briefing cloud ai development act* (*2026*), 2026. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2026-eprs-briefing-cloud-ai-development-act.md

leg_1c7f53e10c15, Quadricottero, *D-Flight prima in Europa: doppia certificazione USSP e CISP per l'U-space* (*Quadricottero News*), consultata il 2026-07-22. news, attendibilità 2.
https://www.quadricottero.com/2025/02/d-flight-prima-in-europa-doppia.html

leg_2e61ad5ab876, italianonprofit.it, *Impresa sociale nella riforma del Terzo Settore - inquadramento e requisiti*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://italianonprofit.it/risorse/approfondimenti/impresa-sociale-riforma/

leg_70cd1492e148, www.lavoro.gov.it, *DM 72/2021 - Linee guida rapporti PA-ETS art. 55-57 CTS* (*co-programmazione e co-progettazione*), consultata il 2026-07-22. report, attendibilità 1.
https://www.lavoro.gov.it/documenti-e-norme/normative/Documents/2021/DM-72-del-31032021.pdf

leg_7bd4e61a241b, Commissione europea, *Cloud and AI Development Act* (*CADA*), *proposta di regolamento per la capacità dei centri dati europei* (*2026*), 2026. proposta legislativa, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2026-com-cada-proposal-regulation.md

leg_1d4a1def8fe5, EUR-Lex, *Regolamento* (*UE*) *2023/2831 - aiuti de minimis* (*massimale 300.000 EUR*), consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302831

leg_201bf75c60f1, Quadricottero, *Quadricottero - Primo PDRA-G03 in Italia per voli BVLOS* (*Polizia Locale Colline Moreniche*), consultata il 2026-07-22. news, attendibilità 2.
https://www.quadricottero.com/2025/01/svolta-nei-droni-per-la-polizia-locale.html

leg_21a3122189eb, Gov IT, *MIMIT - Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze* (*PNRF*), consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.mimit.gov.it/it/digitale/gestione-spettro-radio/piano-nazionale-ripartizione-frequenze

leg_24396e0b8f2f, ENAC, Regolamento (CE) 785/2004, mercato assicurativo italiano, *Obbligo assicurativo per gli aeromobili senza pilota e costo delle polizze in Italia*, 2025-03-01. legge, attendibilità 1.
https://www.enac.gov.it/app/uploads/2025/03/2025_-Regolamento-Enac-ex-Reg.-CE-785-2004.pdf

leg_24c147b5f1d5, ordineavvocatitorino.it, *Masutti - La disciplina europea per l'uso dei droni: profili di responsabilita e assicurazione*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ordineavvocatitorino.it/sites/default/files/documents/croce/Masutti.pdf

leg_26b6ced84879, ENAC, *Tariffe ENAC per l'autorizzazione operativa in categoria specifica*, 2026-01-01. legge, attendibilità 1.
https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/categoria-specifica-specific-category/autorizzazione-operativa/

leg_27fa6f4fe500, EU, *Article 29 WP - Opinion 01/2015* (*WP231*) *privacy e protezione dati droni*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://ec.europa.eu/newsroom/article29/items/640602/

leg_2aa5005bbfc6, Fonte accademica, *Arxiv ai act critical infrastructures safety* (*2022*), 2022. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2022-arxiv-ai-act-critical-infrastructures-safety.md

leg_2c4561c802aa, EASA, *EASA - SORA v2.0 to v2.5 summary of changes*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137616/en

leg_2e52f79ee220, Fonte accademica, *Gatti linder starlink geopolitical disruptor eir* (*2025*), 2025. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2025-gatti-linder-starlink-geopolitical-disruptor-eir.md

leg_379f7ce256b2, dtascarl.org, *DTA - Grottaglie Airport Test Bed* (*GATB*)*: infrastruttura di sperimentazione UAS/U-space*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2.

https://www.dtascarl.org/en/projects-and-initiatives/airport-test-beds-uas-uam/gatb-grottaglie-airport-test-bed-research-infrastructure/

leg_3cd78c164cd2, EASA, *EASA Special Condition SC Light-UAS Medium Risk 01 - airworthiness certification basis for specific-category UAS (SAIL III/IV)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/special_condition_sc_light-uas_medium_risk_01.pdf

leg_3df5f38fa0eb, EUR-Lex, *Regulation (EU) 2024/2847 (Cyber Resilience Act) - cybersecurity requirements for products with digital elements*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402847

leg_41a5d5fbad23, EUR-Lex, *Commission Implementing Regulation (EU) 2020/639 amending 2019/947 as regards standard scenarios (STS-01/STS-02)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2020/639/oj

leg_435c2a5057c7, Gov IT, *Legge 381/1991 - Disciplina delle cooperative sociali (testo ufficiale)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://www.lavoro.gov.it/documenti-e-norme/normative/Documents/anniPrecedenti/19911108_L_381.pdf

leg_4375b35b16ae, Fonte accademica, *Iai gaia x digital sovereignty case study (2021)*, 2021. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2021-iai-gaia-x-digital-sovereignty-case-study.md

leg_4a091126c40b, garanteprivacy.it, *Garante Privacy - Videosorveglianza: le FAQ del Garante*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.garanteprivacy.it/home/docweb/-/docweb-display/docweb/9497843

leg_4a46e768a4ad, telespazio.com, *Telespazio obtains ENAC BVLOS operator authorisation (T-DROMES, PDRA) - Italian case*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.telespazio.com/en/press-release-detail/-/detail/enac_certificazione_telespazio_tdromes

leg_4b89b2d3427b, dati.consip.it, *Consip - Analisi degli Ordini Diretti di Acquisto (ODA) su MEPA 2024*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://dati.consip.it/AnalisiOrdiniDirettiAcquisto_2024.pdf

leg_4ba64930f17d, Fonte accademica, *Leorato dilemma starlink implicazioni italia (2025)*, 2025. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2025-leorato-dilemma-starlink-implicazioni-italia.md

leg_5217c2991d39, EUR-Lex, *Regolamento di esecuzione (UE) 2019/947 sulle operazioni UAS (versione consolidata 2025)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:02019R0947-20250501

leg_5699279990a1, garanteprivacy.it, *Garante - Provvedimento generale in materia di videosorveglianza (8 aprile 2010)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.garanteprivacy.it/home/docweb/-/docweb-display/docweb/1712680

leg_578fce86e948, Fonte accademica, *Osoro oughton et al. emissions leo megaconstellations (2024)*, 2024. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2024-osoro-oughton-etal-emissions-leo-megaconstellations.md

leg_59a8169dfb57, EUR-Lex, *Directive (EU) 2024/2853 on liability for defective products (revised Product Liability Directive covering software and AI)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402853

leg_5f5aa8097f91, garanteprivacy.it, *Garante - Provvedimento 4 luglio 2024 su droni termici Polizia locale*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.garanteprivacy.it/home/docweb/-/docweb-display/docweb/10050298

leg_660fba61b4d2, EASA, *EASA - Specific Operations Risk Assessment (SORA) overview, specific category*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/operating-drone/specific-category-civil-drones/specific-operations-risk-assessment-sora

leg_67111584eb98, ENAC, *ENAC - Bozza Regolamento UAS-IT (20 dicembre 2024, consultazione esterna)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/app/uploads/2024/12/Bozza_Regolamento_UAS-IT-20-dicembre-2024_rev-consultazione-esterna.pdf

leg_68dc07c673e3, normattiva.it, *Legge 6 dicembre 1991 n. 394, art. 11 - divieto di sorvolo non autorizzato aree protette*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:1991-12-06;394~art11

leg_69615ccdcd35, JARUS, *JARUS SORA Annex C - Strategic mitigation of air risk (v1.0)*, consultata il 2026-07-21. standard, attendibilità 1. http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2024/06/SORA-Annex-C-v1.0.pdf

leg_6a866c552f41, ENAC, *ENAC - Zone geografiche e U-Space (autorita italiana)*, consultata il 2026-07-22. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/zone-geografiche-space/

leg_6aa74bfb4e44, bakom.admin.ch, *CEPT ECC Report 268 - Spectrum regulation aspects and needs for UAS (drones)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.bakom.admin.ch/dam/de/sd-web/a1rzDBsNoEpZ/ecc_report_268.pdf

leg_6b0bdf5b5e67, EUR-Lex, *Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664 - regulatory framework for the U-space*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664

leg_6ba760f5db24, AGCOM, *AGCOM - Frequenze e gestione dello spettro radio*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.agcom.it/competenze/comunicazioni-elettroniche/reti/frequenze

leg_6c7b93b685d7, garanteprivacy.it, *Garante - Elenco trattamenti soggetti a DPIA (provv. 467/2018, art.35 GDPR)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.garanteprivacy.it/home/docweb/-/docweb-display/docweb/9058979

leg_6d2f2fdf4368, Fonte accademica, *Edpb edps cloudact annex (2019)*, 2019. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResearch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2019-edpb-edps-cloudact-annex.md

leg_71335a7818cd, ENAC, *ENAC - Zone Geografiche UAS secondo lo standard EUROCAE ED-269*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.enac.gov.it/news/operazioni-con-uas-disponibilita-delle-zone-geografiche-uas-secondo-lo-standard-eurocae-ed-269

leg_72ead89dd47b, EASA, *EASA - Drone Class Identification Labels and Information Notices (Classes C0-C6)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/drone-class-identification-labels-and-information-notices

leg_73d77bc4d6a8, Fonte accademica, *Bonora et al. eu sovereignty space iris2 starlink (2026)*, 2026. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResearch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2026-bonora-etal-eu-sovereignty-space-iris2-starlink.md

leg_74a7acf35dfe, ENAC, *ENAC Circolare ATM-09A - zone geografiche UAS: criteri di implementazione e procedure*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.enac.gov.it/sites/default/files/allegati/2021-Mar/ATM-09A.pdf

leg_76c665f50868, EUR-Lex, *Commission Implementing Regulation (EU) 2023/203 (Part-IS) - information security management for civil aviation*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0203

leg_7700e06377b9, ENAC, *ENAC - Divieto di sorvolo (art. 793 Codice della Navigazione)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.enac.gov.it/spazio-aereo/gestione-dello-spazio-aereo/divieto-di-sorvolo

leg_78ccab301561, EASA, *EASA - Drone Operator Registration, Authorisations and Pilot Competency*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.easa.europa.eu/en/node/143656

leg_7e024fef97ad, sesarju.eu, *SESAR JU - Progetto U-ELCOME (implementazione U-space in Italia, Spagna, Francia)*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2.
https://www.sesarju.eu/projects/U-ELCOME

leg_7e1f7d04b8e9, JARUS, *JARUS SORA v2.5 Main Body (JAR_doc_25)*, consultata il 2026-07-21. standard, attendibilità 1.
http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2024/06/SORA-v2.5-Main-Body-Release-JAR_doc_25.pdf

leg_8366a7103a5e, www.cantiereterzosettore.it, *D.Lgs. 112/2017 - disciplina dell'impresa sociale (normativa e guida)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.cantiereterzosettore.it/normativa/decreto-impresa-sociale/

leg_84eb6eec5908, Fonte accademica, *Rapporto indipendenza digitale italia (2024)*, 2024. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResearch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2024-rapporto-indipendenza-digitale-italia.md

leg_86a964ff72a0, camera.it, *Camera dei Deputati - parere Consiglio di Stato 2052/2018 su affidamento servizi sociali*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.camera.it/temiap/t/news/post-OCD15-13372

leg_8827d7345918, ENAC, *ENAC - Autorizzazione operativa in categoria specifica*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/categoria-specifica-specific-category/autorizzazione-operativa/

leg_8ecb7e0676e4, Gov IT, *MIMIT - Autorizzazioni temporanee all'uso delle frequenze*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.mimit.gov.it/it/comunicazioni/servizi-alle-imprese/autorizzazioni-temporanee-uso-frequenze

leg_9041d05eb4a2, Dronezine, *DronEzine - Radiocomando e frequenze radio per droni: cosa dice la legge*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://www.dronezine.it/19104/radiocomando-e-frequenze-radio-cosa-dice-la-legge/

leg_94a99d41b6b9, regione.liguria.it, *Regione Liguria - evidenza pubblica di co-progettazione con ETS (art. 72-73 CTS)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.

https://www.regione.liguria.it/por-fesr-2014-2020-bandi/publiccompetition/2411:evidenza-pubblica-individuaz-soggetti-terzo-settore-progetti-sostegno-anziani.html

leg_94e50edcdab2, ENAC, *ENAC - Operatori di droni (UAS): obblighi e assicurazione RC verso terzi (Italia)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/operatori-di-droni-uas/

leg_962993e383fb, EUR-Lex, *Reg. di esecuzione (UE) 2021/664 - quadro normativo per lo U-space*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664

leg_96afd0d8d4f3, Quadricottero, *Quadricottero News - Nuove frequenze UE per i droni (banda 5170-5250 MHz)*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://www.quadricottero.com/2023/01/nuove-frequenze-ue-per-i-droni-il.html

leg_97bfd068b11a, Quadricottero, *Quadricottero - RFI: gara ispezione ponti ferroviari con droni (SAPR) aggiudicata*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://www.quadricottero.com/2016/05/droni-aiviewgroup-si-aggiudica-la-gara.html

leg_9947af3035a1, d-flight.it, *D-Flight - UAS geographical zones available in the community standard (ED-269 JSON) format*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.d-flight.it/new_portal/en/d-flight-disponibili-le-zone-geografiche-uas-nel-formato-standard-comunitario/

leg_9b43962d83d4, regione.liguria.it, *Regione Liguria - Terzo settore (quadro regionale welfare)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.regione.liguria.it/homepage-welfare/cosa-cerchi/terzo-settore.html

leg_9d0a84bb6fac, EUR-Lex, *Delegated Regulation (EU) 2019/945 - consolidated text in force 2025 (UAS design, class marking and conformity requirements)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:02019R0945-20250624

leg_a1a251d19b90, ENAC, *ENAC - Requisiti generali per operare nella categoria aperta (inclusa copertura assicurativa)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/categoria-aperta-open-category/requisiti-generali-per-operare-nella/

leg_a3f4fa532cb2, ENAC, *ENAC - Linee Guida LG-2023/005-UAS categoria specifica e SORA, Ed.1*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.enac.gov.it/sites/default/files/allegati/2023-Nov/LG%202023_005_uas_eD1_231103.pdf

leg_a6ae7495b6f9, dataprotection.ie, *Irish DPC - Guidance on the use of drones (2022)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.dataprotection.ie/sites/default/files/uploads/2022-05/Guidance%20on%20the%20use%20of%20drones%20-%20May%202022%20Final.pdf

leg_a8f479c44243, EASA, *EASA - Remote identification will become mandatory for drones across Europe*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/remote-identification-will-become-mandatory-drones-across

leg_a99b5c963ebd, EASA, *EASA - Understanding European Drone Regulations and the Aviation Regulatory System*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/Understanding-European-Drone-Regulations-and-the-Aviation-Regulatory-System

leg_acbd11fec3d9, Fonte accademica, *Pistorio accordo starlink minaccia sovranita tecnologica (2025)*, 2025. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2025-pistorio-accordo-starlink-minaccia-sovranita-tecnologica.md

leg_afe28e4df810, JARUS, *JARUS SORA v2.5 Annex H - UAS safety services considerations (JAR_doc_34)*, consultata il 2026-07-21. standard, attendibilità 1.
http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2024/12/SORA-v2.5-Annex-H-Release-JAR_doc_34.pdf

leg_b1e76bb65909, commission.europa.eu, *Commissione europea - Innovation procurement: strumenti per gli acquirenti pubblici*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://commission.europa.eu/funding-and-tenders/tools-public-buyers/innovation-procurement_en

leg_b2c149d54ee0, EASA, *EASA - Data Protection Impact Assessment for civil drones*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones/privacy/data-protection-impact-assessment

leg_b3b70cf4b053, EUR-Lex, *Reg. delegato (UE) 2019/945 - requisiti UAS e classi C0-C6*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945

leg_b84cd721cd5b, eurousc-italia.it, *EuroUSC Italia - Isole Eolie: prima rotta BVLOS 37 km per trasporto biomedicale (ABzero)*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2.
https://www.eurousc-italia.it/it/trasporto-biomedicale-isole-eolie/

leg_b9458f7f962e, EUR-Lex, *Regolamento (UE) 2016/679 (GDPR) - testo integrale italiano*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/ita/pdf

leg_bcf5fc1a9eba, eur-lex.europa.eu, *Regolamento (UE) 2023/2832 - aiuti de minimis SIEG (massimale 750.000 EUR)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302832

leg_bf71102f1697, EUR-Lex, *Regulation (EU) 2019/947 - consolidated text (open, specific and certified categories)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02019R0947-20220404

leg_c2a093ca95bf, aw-drones.eu, *AW-Drones (EU H2020) D2.3 - Methodology for structuring and assessment of technical standards and related rules and procedures*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.aw-drones.eu/wp-content/uploads/2020/09/D2.3_Methodology-for-structuring-and-assessment-of-technical-standards-and-related-rules-and-procedures-final-release.pdf

leg_c46c117b3cc5, ENAC, *ENAC - Come si diventa Pilota UAS (drone) categoria OPEN A2*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/piloti-uas/come-si-diventa-pilota-uas-drone-open-a2/

leg_c7c86ca76955, horus-technologies.com, *Horus Technologies - Autorizzazione operativa ENAC voli BVLOS (Songbird 150, ITA-OAT-00118)*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.horus-technologies.com/it/voli-bvlos-autorizzazione-operativa/

leg_cbd885cbfe04, JARUS, *JARUS SORA v2.5 Annex E - Operational Safety Objectives (OSO) (JAR_doc_28)*, consultata il 2026-07-21. standard, attendibilità 1. http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2024/06/SORA-v2.5-Annex-E-Release.JAR_doc_28pdf.pdf

leg_cc1ae8e90afb, regione.piemonte.it, *Regione Piemonte - Utilizzo dei droni nelle aree protette e nei siti Rete Natura 2000*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.regione.piemonte.it/web/temi/ambiente-territorio/biodiversita-aree-naturali/utilizzo-dei-droni-nelle-aree-protette-nei-siti-della-rete-natura-2000

leg_d17fdceb6d28, EU, *EDPS - Opinion on RPAS/-drones and data protection (executive summary, 2014)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://edps.europa.eu/sites/default/files/publication/14-11-26_opinion_rpas_ex_sum_en.pdf

leg_d18129eca1ee, Dronezine, *DronEzine - Siracusa, 3 U-Space Workshop e prima consegna BVLOS dal porto (sperimentazione)*, consultata il 2026-07-22. news, attendibilità 2. https://www.dronezine.it/456364/siracusa-3-u-space-workshop-e-prima-consegna-bvlos-dal-porto-a-unimbarcazione-video/

leg_d2ea34a96882, Gov IT, *MASE - Prioritized Action Framework (PAF) Natura 2000 Liguria 2021-2027*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://download.mase.gov.it/Natura2000/PAF/Liguria/PAF_Liguria_2021-2027.pdf

leg_d4b3fd688f18, Fonte accademica, *Schrems ii clinical research data pmc (2021)*, 2021. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2021-schrems-ii-clinical-research-data-pmc.md

leg_d66896ec750b, ENAC, *ENAC - Come si diventa Pilota UAS (drone) categoria OPEN A1/A3*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/piloti-uas/come-si-diventa-pilota-uas-drone-open-a1a3/

leg_d9e0d5c69bca, ENAC, *ENAC - Come operare in Categoria Specifica (STS, PDRA, SORA)*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/categoria-specifica-specific-category/come-operare-in-categoria/

leg_d9ea4782487c, Gov IT, *ACN - NIS legislation in Italy (Legislative Decree 138/2024 transposing NIS2)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://www.acn.gov.it/portale/en/nis/la-normativa

leg_db7f8800bfb1, Fonte accademica, *Celeste fabbrini competing jurisdictions data privacy (2020)*, 2020. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2020-celeste-fabbrini-competing-jurisdictions-data-privacy.md

leg_dd10b1d7bd77, Fonte accademica, *Arxiv ai act power grid accountability (2024)*, 2024. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2024-arxiv-ai-act-power-grid-accountability.md

leg_e261ca4c39c9, giustizia-amministrativa.it, *Giustizia Amministrativa - La piattaforma di e-procurement di Consip SpA (MEPA/SDAPA)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.giustizia-amministrativa.it/documents/20142/371980/Maletta+L.+-+Piattaforma+di+E-Procurement+della+Consip+Spa.pdf/78b4e65c-f253-2818-0d94-90fa5f3321ab?t=1646928387000

leg_e54265886d68, EUR-Lex, *Regulation (EC) No 785/2004 on insurance requirements for air carriers*

and aircraft operators (*EUR-Lex, EN OJ*), consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2004/785/oj/eng

leg_e7926b339be5, Fonte accademica, *Tricco iris2 journal law market innovation* (*2023*), 2023. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2023-tricco-iris2-journal-law-market-innovation.md

leg_e7a7482597d1, Gov IT, *D.Lgs 36/2023 - Codice dei contratti pubblici* (*testo integrale, RGS-MEF*), consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1. https://www.rgs.mef.gov.it/_Documenti/VERSIONE-I/Selezione_normativa/D-Lgs-/DLgs-31-03-2023-36.pdf

leg_ea8e1b1c801d, Fonte accademica, *Schwartz peifer data localization cloud act gdpr* (*2019*), 2019. paper, attendibilità 1. documento interno di progetto, NewResarch/accademiche/05-sovranita-dati-ai-act/2019-schwartz-peifer-data-localization-cloud-act-gdpr.md

leg_ec1fab15f270, EASA, *EASA - Placing a drone on the market and the class identification label* (*CE marking, conformity assessment modules*), consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/placing-drone-market-class-identification-label

leg_ec2b4f7b0dbd, JARUS, *JARUS SORA v2.5 Explanatory Note - changes from v2.0 to v2.5* (*JAR_doc_32*), consultata il 2026-07-21. standard, attendibilità 1. http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2024/06/SORA-v2.5-Explanatory-Note-Release-JAR_Doc_32.pdf

leg_f467f53f9b34, ENAC, *Regolamento ENAC - Requisiti assicurativi ex Reg.* (*CE*) *785/2004 e regime sanzionatorio* (*2025*), consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/app/uploads/2025/03/2025_-Regolamento-Enac-ex-Reg.-CE-785-2004.pdf

leg_f61fd922a5e1, ENAC, *ENAC - LUC Light UAS Operator Certificate*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/sicurezza-aerea/droni/categoria-specifica-specific-category/luc-light-uas-certificate

leg_f7707435b2d5, ENAC, *ENAC Regolamento UAS-IT* (*edizione 1, 2021*), consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://www.enac.gov.it/sites/default/files/allegati/2021-Gen/Regolamento_UAS-IT080121.pdf

leg_f8ef9a27ddb9, JARUS, *JARUS SORA v2.5 Annex F - Theoretical basis for ground risk and critical area* (*JAR_doc_29*), consultata il 2026-07-21. standard, attendibilità 1. http://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2024/06/SORA-v2.5-Annex-F-Release.JAR_doc_29pdf.pdf

leg_f956fc930e3c, sesarju.eu, *SESAR JU - From Regulation to Implementation: The Italian U-space Experience* (*U-ELCOME, PDF*), consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/events/DSD2025/From%20regulation%20to%20implementations%20The%20Italian%20Uspace%20experience%20novideo.pdf

leg_fc3c3959866b, EUR-Lex, *Commissione UE - Guidance on Innovation Procurement* (*Commission Notice 2021*), consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021XC0706(03)

Metodo, valutazione economica e fattibilità

met_02b2deaa2fcc, usea.org, *Overview of the Techno-Economic Analysis* (*TEA*) *Process* (*USEA / NETL*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://usea.org/sites/default/files/event-/5.%20Henry%20-%20Overview%20of%20Techno-Economic%20Analysis%20Process.pdf

met_0d5a9cfa0584, DroneLife, *Medical Drone Delivery Pilot Reveals Insights for Rural Healthcare Logistics* (*Traverse City pilot*), consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2. https://dronelife.com/2025/12/16/what-a-medical-drone-delivery-pilot-reveals-about-rural-healthcare-logistics/

met_1204b3a09641, Commissione europea, EUROCONTROL, *Tassi di sconto di riferimento nella valutazione economica europea*, 2025-01-01. report, attendibilità 1. https://ansperformance.eu/economics/cba/standard-inputs/latest/chapters/discount_rate.html

met_1b2a41e8ca42, uavcoach.com, *UAV Coach, Drone Services Pricing Guide* (*hourly/per-acre rates, cost structure, unit economics*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://uavcoach.com/drone-services-pricing/

met_23c14af8ae4f, arxiv.org, *Economic Feasibility Analysis of Urban Air Mobility for Airport Access*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2606.00504

met_374ffb57cdca, pwc.com, *PwC, Clarity from Above: Commercial Drone Addressable Market (~$127bn TAM; transport & infrastructure)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.pwc.com/gr/en/publications/assets/clarity-from-above-transport-infrastructure.pdf

met_3dcf1c9c6ce2, cset.georgetown.edu, *CSET Georgetown, The U.S. Aerial Drone Market (platform mix & finances of UAV companies, 2025)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-The-U.S.-Aerial-Drone-Market.pdf

met_4ce01d28e819, EU, *CINEA Guide on Economic Appraisal for CEF Transport Projects (2021-2027)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/cef/guidance/cinea-guidance-on-economic-appraisal_cef-t_en.pdf

met_50ab55a89c28, pages.stern.nyu.edu, *Damodaran, Valuing Young, Start-Up and Growth Companies: Estimation Issues and Valuation Challenges (NYU Stern)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/pdfiles/papers/younggrowth.pdf

met_53912f40cbc0, apre.it, *APRE - Horizon Europe: la guida (cos'e, cosa finanzia, come partecipare)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://apre.it/wp-content/uploads/2021/04/guida-Horizon-Europe.pdf

met_561eacc1e1fd, EU, *EuropeAid Project Cycle Management Guidelines (2004) - integrated approach and Logical Framework*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://international-partnerships.ec.europa.eu/document/download/f7ed20c4-5fc2-4ed7-b54c-0805e4ed952d_en?filename=methodology-aid-delivery-methods-project-cycle-management-200403_en.pdf

met_64c2eba852c1, arXiv, *Cost-Benefit Analysis of Research, Development and Innovation Infrastructures: an Evaluation Framework*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/1603.03654

met_791459ec32be, Gov IT, *MIT Linee Guida Operative per la valutazione delle opere pubbliche - settore stradale (Italia, 2022)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-09/Linee%20guida%20operative%20-%20settore%20stradale%20set22.pdf

met_7b03029b4c24, Prassi fiscale italiana, Legge 904/1977, DPR 601/1973, *Regime fiscale della società cooperativa, IRES, riserve indivisibili e ristorni*, 2026-01-01. report, attendibilità 2.
https://www.mysolution.it/fisco/guide/guide-terzo-settore/cooperative-sociali/ires/

met_808d74eec9b1, glencoyne.com, *Deep-Tech Hardware Budget Planning: Prototypes, Tooling, Production Cliff and the Cash-Flow Valley*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.glencoyne.com/guides/deeptech-hardware-budget-planning

met_80d57323871f, a16z.com, *a16z, Guide to Growth Metrics (CAC, LTV, CAC payback, gross margin, unit economics)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://a16z.com/introducing-a16z-growths-guide-to-growth-metrics/

met_8e893b8a0ef5, ieomsociety.org, *Techno-Economic Feasibility Analysis of Agricultural Drone Operations (NPV and Payback Period)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
http://ieomsociety.org/proceedings/2021indonesia/697.pdf

met_9fb33a2e6a05, theoryofchange.org, *Vogel (DFID 2012) - Review of the Use of 'Theory of Change' in International Development*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.theoryofchange.org/pdf/DFID_ToC_Review_VogelV7.pdf

met_a243224c167c, Gov IT, *MIT Linee Guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche (Italia, 2017)*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/notizia/2017-07/Linee%20Guida%20Val%20OO%20PP_01%2006%202017.pdf

met_bd60ccd3e1fe, sesarju.eu, *CORUS U-space Concept of Operations (SESAR JU, D6.3)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/u-space/CORUS%20ConOps%20vol2.pdf

met_c49b07c57fdb, auvsi.org, *AUVSI, Partnership for Drone Competitiveness (white paper on U.S. UAS industry & economics)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.auvsi.org/sites/default/files/AUVSI-Partnership-for-Drone-Competitiveness-White-Paper.pdf

met_ce41815efad7, NASA, *NPR 7123.1C NASA Systems Engineering Processes and Requirements*, consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://nodis3.gsfc.nasa.gov/npg_img/N_PR_7123_001C_/N_PR_7123_001C_.pdf

met_d51b9187aa74, jaspers.eib.org, *European Commission Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects 2014-2020 (DG REGIO)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://jaspers.eib.org/files/library/2014/dg-regio-cba-guide-for-2014-2020.pdf

met_dbbcb5e257f7, Gov IT, *Linee guida per la redazione del Progetto di Fattibilita Tecnica ed Economica (MIT/C-*

SLP), consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/notizia/2022-04/Linee%20guida%20progetto%20di%20fattibilit%C3%A0%20tecnico-economica%20(PTFE).pdf

met_dd6837ee1eb2, ESA, *ESA - Stratospheric Platforms: a definition study for an ESA system* (*airship vs aeroplane concepts*), consultata il 2026-07-21. report, attendibilità 1.
https://connectivity.esa.int/projects/stratospheric-platforms-definition-study-esa-system

met_de11cba7f0c7, ansperformance.eu, *EUROCONTROL Standard Inputs for Economic Analyses: Discount Rate*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://ansperformance.eu/economics/cba/standard-inputs/v9.0.3/chapters/discount_rate.html

met_e37974f721a9, learn.marsdd.com, *MaRS, Total Addressable Market: A Beginner's Guide to Market Sizing* (*TAM/SAM/SOM, top-down vs bottom-up*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://learn.marsdd.com/article/total-addressable-market-a-beginners-guide-to-market-sizing/

met_e6158d2bdfff, murzilliconsulting.com, *Murzilli Consulting, Optimising Unit Economic Costs in Drone Delivery*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://murzilliconsulting.com/news/optimising-unit-costs-drone-delivery/

Tecnica, piattaforme e sottosistemi

tec_021ba6ab85bf, ncbi.nlm.nih.gov, *Fuel Cells: A Real Option for Unmanned Aerial Vehicles Propulsion* (*PMC*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3926242/

tec_02b0e6582fa3, repository.tudelft.nl, *Fuel Cell and Battery Hybrid System Optimization for UAV powertrain* (*TU Delft*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:6e274095-9920-4d20-9e11-d5b76363e709/datastream/OBJ/download

tec_03a2a3bc38be, en.wikipedia.org, *AeroVironment - UAS product portfolio* (*JUMP 20, T-20*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://en.wikipedia.org/wiki/AeroVironment

tec_05c36455361c, NASA, *NASA TP-2007-214861 - High Altitude Long Endurance UAV Analysis of Alternatives and Technology Requirements*, consultata il 2026-07-21. paper, attendibilità 1.
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20070017849/downloads/20070017849.pdf

tec_06d6b45bba65, edgeautonomy.io, *Edge Autonomy* (*Penguin C/B, ex-UAV Factory*) *official UAS site*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.edgeautonomy.io/

tec_0a770a309c3e, 49003612.fs1.hubspotusercontent-na1.net, *Rotron RT600-XE Rotary UAV Engine Datasheet* (*power, mass, SFC*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://49003612.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/49003612/Engines/RT-600-XE/2020-RT600XE-Datasheet.pdf

tec_0aa1bbc42baf, www.rand.org, *Comparing the Cost-Effectiveness of Expendable Versus Reusable Small Air Vehicles* (*RAND*), consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2.
https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR2700/RR2789/RAND_RR2789.pdf

tec_0c160a131622, apps.dtic.mil, *MQ-9 Reaper Selected Acquisition Report* (*SAR*) *- APUC, PAUC and O&S cost*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/AD1019505.pdf

tec_11de2eb5c8b7, aria.org.uk, *ARIA Programme Thesis: Enduring Atmospheric Platforms - stratospheric platform economics*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://aria.org.uk/media/et5hsubs/programme-thesis-enduring-atmospheric-platforms.pdf

tec_12d6db13dafd, pegasusaero.ca, *Pegasus Aeronautics GE70 hybrid UAV generator* (*4000 W, 3.5 kg, 70cc 2-stroke, 50 V*), consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2.
https://www.pegasusaero.ca/ge70

tec_14d34deaec48, arXiv, *Relax, estimate and track: simple battery state-of-charge and state-of-health estimation*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2408.01127

tec_1629e6380564, arXiv, *Cellular-Connected UAV: Potential, Challenges and Promising Technologies* (*C2 over cellular, link performance*), consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/1804.02217

tec_16a6d0ff8272, ncbi.nlm.nih.gov, *Design, Analysis and Testing of a Hybrid VTOL Tilt-Rotor UAV for Increased Endurance* (*PMC mirror of MDPI Sensors*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8468980/

tec_16d611616b0b, uasmagazine.com, *Drones-as-a-Service Gains Traction as Recurring Revenue Model*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.

https://uasmagazine.com/articles/drones-as-a-service-gains-traction-as-recurring-revenue-model-for-drone-industry

tec_223cfb799a8b, NASA, *NASA Composite Materials Development: Lessons Learned and Future Challenges*, consultata il 2026-07-21. paper, attendibilità 1.
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20090037429/downloads/20090037429.pdf

tec_22aa8c5d83c2, apps.dtic.mil, *A Review of Heavy-Fueled Rotary Engine Combustion (JP-8 challenges)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA545309.pdf

tec_280aa1ee7f9f, commercialuavnews.com, *How to Measure ROI of a Utilities Drone Inspection Program*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.commercialuavnews.com/energy/how-can-you-measure-the-roi-of-your-utilities-inspection-program-using-drones

tec_28e653c4fdfe, edgeautonomy.io, *Edge Autonomy Penguin C long-endurance UAS specifications*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.edgeautonomy.io/products/penguin-c

tec_2967721c41e1, arXiv, *Deep RL-Based Autonomous Navigation of Micro Aerial Vehicles in Complex GPS-Denied Indoor Environments*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2504.05918

tec_316fd165c909, 3GPP, *Non-Terrestrial Networks (NTN) overview (3GPP)*, consultata il 2026-07-21. standard, attendibilità 1.
https://www.3gpp.org/technologies/ntn-overview

tec_32fb65b7b12a, jmeche.uitm.edu.my, *The Design of a High Aspect Ratio HALE Aircraft Composite Wing*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://jmeche.uitm.edu.my/wp-content/uploads/bsk-pdf-manager/vol_12_2_article_1_499.pdf

tec_354dc5db4557, NASA, *NASA - Simulation and Analysis of Lift Plus Cruise eVTOL reference vehicle*, consultata il 2026-07-21. paper, attendibilità 1.
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20230003711/downloads/VFS%2079%20Paper_3_29.pdf

tec_35a1fc5b0c22, avinc.com, *AeroVironment JUMP 20 VTOL UAS product page and specs*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.avinc.com/uas/jump-20

tec_3b07f1c2276f, tekever.com, *TEKEVER official site - AR3 and AR5 UAS products*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.tekever.com/

tec_3d6168dc1d6e, quantum-systems.com, *Quantum-Systems Trinity Pro - hybrid fixed-wing VTOL UAV specifications (MTOW, endurance, payloads)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://quantum-systems.com/trinity-pro/

tec_3f3cc04621d3, EASA, *EASA SHEPHERD D2.2-D3.2 - Identification of satisfactory UAS industry standards as means of compliance*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/shepherd_-_d2.2-d3.2_-_identification_of_satisfactory_industry_standards_and_justification_for_not_acceptable_industry_standards.pdf

tec_3fd2c462335c, fzt.haw-hamburg.de, *Box Wing Fundamentals - An Aircraft Design Perspective (Scholz, HAW Hamburg)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/Airport2030/Airport2030_PUB_DLRK_11-09-27.pdf

tec_3feaa4bcfc91, JARUS, *JARUS SORA v2.5 Annex F: Theoretical Basis for Ground Risk Classification*, consultata il 2026-07-21. standard, attendibilità 1.
https://jarus-rpas.org/wp-content/uploads/2024/06/SORA-v2.5-Annex-F-Release.JAR_doc_29pdf.pdf

tec_425c48058ccd, oig.dhs.gov, *DHS OIG: CBP Unmanned Aircraft System Program - Costs of Operations (cost per flight hour)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.oig.dhs.gov/reports/2015/us-customs-and-border-protections-unmanned-aircraft-system-program-does-not-achieve-intended-results-or-recognize-all-costs-operations

tec_43ce6d7d310a, aerosociety.com, *UAVs vs Subs (Royal Aeronautical Society)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.aerosociety.com/news/uavs-vs-subs/

tec_474a96cf7ab3, uavcoach.com, *VTOL Drones In-Depth Guide - commercial models, price ranges and specifications*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://uavcoach.com/vtol-drones/

tec_48d414708b65, osti.gov, *Highly Oriented Carbon Fiber-Polymer Composites via Additive Manufacturing (ORNL)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.osti.gov/servlets/purl/1185523

tec_49a2c1e97d55, combustion-engines.eu, *Heavy Fuel Engines (HFE) for UAVs - Review (Dutczak, PTNSS)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.combustion-engines.eu/pdf-116855-46069?filename=46069.pdf

tec_49b0ada19032, arXiv, *Drone Delivery Systems and Energy Management: A Review and Future Trends (arXiv)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2206.10765

tec_4a1f868cf178, c-astral.com, *C-Astral Aerospace - Bramor UAS official site*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.c-astral.com/

tec_4cf5147849a7, commons.erau.edu, *Optimal Battery Weight Fraction for Serial Hybrid Propulsion System in a UAV (ERAU thesis)*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2.
https://commons.erau.edu/edt/457/

tec_4ed40c6c63bd, gim-international.com, *Hyperspectral Imaging for Agriculture Ready for Take Off (GIM International)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.gim-international.com/content/article/hyperspectral-imaging-for-agriculture-ready-for-take-off

tec_51adfca9cb24, hirthengines.com, *Hirth 4202 Heavy-Fuel Two-Stroke UAV Engine Datasheet (power, weight, BSFC)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://hirthengines.com/wp-content/uploads/2025-42-SERIES-4202.pdf

tec_52045d31a98f, apps.dtic.mil, *MQ-1C Gray Eagle Selected Acquisition Report (SAR) - unit and O&S costs*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1019500.pdf

tec_5576d7b9d41e, en.wikipedia.org, *Aerovel Flexrotor VTOL UAV - specifications and performance*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://en.wikipedia.org/wiki/Aerovel_Flexrotor

tec_5cfa1ee94a66, faculty.lsu.edu, *Modeling of Hybrid-Electric Powertrain for Unmanned Aircraft (AIAA 2019)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://faculty.lsu.edu/smenon/files/darren_aiaa2019.pdf

tec_5f1d9000d248, arXiv, *Real-Time Thermal-Inertial Odometry on Embedded Hardware for High-Speed GPS-Denied Flight*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2603.02114

tec_5f536298543b, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Owl Airfoil Aerodynamic Performance vs Hawk and NACA0012 at Low Reynolds Numbers*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12222468/

tec_60db5f6eef8c, DroneLife, *EASA's U-Space: What It Means for European Drone Operations*, consultata il 2026-07-21. news, attendibilità 2.
https://dronelife.com/2023/04/17/easas-u-space-what-it-means-for-european-drone-operations-dronelife-exclusive/

tec_60fe71a81fff, apps.dtic.mil, *DTIC - VTOL UAV for Humanitarian Aid & Disaster Relief: cost and feasibility analysis*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1180370.pdf

tec_621446bb24b2, skyebrowse.com, *Drone Services Pricing: $100-$400 per Hour by Job Type*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.skyebrowse.com/news/posts/drone-services-pricing

tec_6527347b805b, arXiv, *A Learning-based Control Methodology for Transitioning VTOL UAVs (arXiv)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2512.03548

tec_659fba835147, arXiv, *Active Fault-Tolerant Online Control Allocation for a Dual-System UAV in Transition Flight (arXiv)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2510.04853

tec_6724e46b7ae5, ncbi.nlm.nih.gov, *LoRa Communications for Internet of Drones: Large-Scale Livestock Monitoring in Rural Farms (PMC)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8348762/

tec_676d67d440e4, ncbi.nlm.nih.gov, *Challenges and solutions for low-temperature lithium-sulfur batteries: a review*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10302741/

tec_67e93fa0f4c4, ncbi.nlm.nih.gov, *Gradient-Based Autonomous Obstacle Avoidance Trajectory Planning for B-Spline UAVs*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11196686/

tec_6a0c4ae0a573, EUR-Lex, *Implementing Regulation (EU) 2019/947 - UAS operations: open, specific, certified categories*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947

tec_74a403939e10, eudroneport.com, *SORA 2.5: The New Version of the European Methodology for UAS (EU Drone Port)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://eudroneport.com/blog/sora-2-5-european-uas-operations/

tec_779824149f21, NASA, *Stratified Charge Rotary Engine Critical Technology Enablement (NASA CR)*, consultata il 2026-07-21. paper, attendibilità 1.
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19940029725/downloads/19940029725.pdf

tec_77fe0f4b4e12, arXiv, *Full Attitude Control of an Efficient Quadrotor Tail-sitter VTOL UAV (arXiv)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/1903.06393

tec_7984e80ac8e4, ncbi.nlm.nih.gov, *Ultra-lightweight rechargeable lithium-sulfur pouch cell exceeding 750*

Wh/kg, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11589146/

tec_7a4fcfd85e98, arXiv, *A Novel Cipher for Enhancing MAVLink Security: Design and Drone-Testbed Evaluation (arXiv)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2504.20626

tec_7eb921142185, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Repair of Aerospace Composite Structures Using Liquid Thermoplastic Resin*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10052635/

tec_7ec23a1a108f, uavhe.eu, *UAVHE RW79P2 Wankel Rotary Engine Datasheet for UAV/VTOL*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://uavhe.eu/wp-content/uploads/2024/03/UAVHE-RW79P2.pdf

tec_7ee57ee9e8b3, spacewar.com, *Aerodata debuts AeroForce X MALE UAV for long endurance ISR*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.spacewar.com/reports/Aerodata_debuts_AeroForce_X_MALE_UAV_for_long_endurance_ISR_missions_999.html

tec_848346a9c8b9, ncbi.nlm.nih.gov, *Tensile and Bending Strength Improvements in FDM 3D-Printed PEEK Parts (Multi-Factor Coupling)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7693875/

tec_86265c362f3b, batteryspace.com, *Panasonic NCR18650B Li-ion cell datasheet (3350 mAh, ~243 Wh/kg, cycle life)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.batteryspace.com/prod-specs/NCR18650B.pdf

tec_8c0547cf4941, pubmed.ncbi.nlm.nih.gov, *Parallel hybrid propulsion system with integrated electric machine for MALE UAV (PubMed)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40084018/

tec_8c2e560d4a4f, arXiv, *GPS-Denied IBVS-Based Navigation and Collision Avoidance of UAV Using a Low-Cost RGB Camera*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2509.17435

tec_8dbf71a0a858, arXiv, *Monocular Obstacle Avoidance Based on Inverse PPO for Fixed-Wing UAVs*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2411.18009

tec_8eda19b450fa, icas.org, *A Common Framework for the Design Optimization of Aircraft Configurations*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://icas.org/icas_archive/ICAS2022/data/papers/ICAS2022_0383_paper.pdf

tec_9228a51c6b64, EASA, *EASA - SORA 2.5 / Easy Access Rules node*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.easa.europa.eu/en/node/142565

tec_959936a81580, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Biomimetic Wavy Trailing Edges to Enhance Wing Aerodynamic Performance at Low Reynolds Number*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12868862/

tec_9bd7f030aaf7, ncbi.nlm.nih.gov, *Landmark-Based Scale Estimation and Correction of Visual-Inertial Odometry for VTOL UAVs in GPS-Denied Environments*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9781854/

tec_9da54045fd82, icas.org, *Low Reynolds-Number Airfoils: S1223 High-Lift Airfoil Study*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://icas.org/icas_archive/ICAS2010/PAPERS/479.PDF

tec_9ea02d1e18fc, iopscience.iop.org, *Optimization of Composite Wing Spars for an Unmanned Aerial Vehicle*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/971/5/052076/pdf

tec_a314b396508d, cal-ipc.org, *Building the Data Pipeline: Managing Drone Data Layers (Cal-IPC)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.cal-ipc.org/wp-content/uploads/2022/01/Cal_IPC_Symposium_2021_Greg_Crutsinger_Managing_Drone_Layers.pdf

tec_a5acc49aeba8, oa.upm.es, *Experimental Investigation on Box-Wing Configuration for UAS (UPM)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://oa.upm.es/19299/1/INVE_MEM_2011_122192.pdf

tec_a5d441e60eab, arXiv, *Systematic design methodology for development and flight of a VTOL UAV (arXiv)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/1801.02938

tec_a6aa95888467, arXiv, *Threading the Needle: Test and Evaluation of GPS-Denied Autonomous Navigation in the DARPA Fast Lightweight Autonomy (FLA) Program*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2504.08122

tec_a936b08992ea, apps.dtic.mil, *NPS thesis: cost comparison of unmanned ISR aircraft systems (cost per flight hour)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1173451.pdf

tec_a981c34c0532, arXiv, *Long-Distance GNSS-Denied Visual-Inertial Navigation for Autonomous Fixed-Wing UAVs*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2303.03804

tec_aecf08bae40e, ncbi.nlm.nih.gov, *Aeroelastic tailoring for aerospace applications* (*PMC*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10825427/

tec_aeed07a22c15, pubmed.ncbi.nlm.nih.gov, *Custom hydrogen PEM fuel cell for high-endurance small UAV* (*PubMed*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38051481/

tec_b1a18d2ab900, govinfo.gov, *GAO NSIAD-00-78: Progress and cost of the Global Hawk HALE Advanced Concept*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.govinfo.gov/content/pkg/GAOREPORTS-NSIAD-00-78/html/GAOREPORTS-NSIAD-00-78.htm

tec_b1d46ef86dd4, wingtra.com, *WingtraOne GEN II VTOL fixed-wing drone - technical specifications datasheet*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://wingtra.com/wp-content/uploads/Wingtra-Technical-Specifications.pdf

tec_ba554fa040b6, NASA, *On the Minimum Induced Drag of Wings - Thinking Outside the Box*, consultata il 2026-07-21. paper, attendibilità 1.
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20110023801/downloads/20110023801.pdf

tec_baf7147363ca, currawongeng.com, *Currawong Cortex-50 Hybrid Heavy-Fuel UAV Engine Datasheet*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.currawongeng.com/wp-content/uploads/2024/02/CE2169.d02-Cortex-50-Hybrid-Datasheet-Heavy-Fuel.pdf

tec_c0cf732339a8, jouav.com, *BVLOS Drones: Complete Guide to Beyond Visual Line of Sight* (*JOUAV*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.jouav.com/blog/bvlos-drone.html

tec_c29f1223c676, EASA, *EASA Design Verification Process for Drones in the Specific Category*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/design_verification_process_drone_specific_category.pdf

tec_c90e5034a741, ncbi.nlm.nih.gov, *Temperature and state-of-charge effects on lithium-ion storage degradation* (*P2D*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12219620/

tec_ca99343c9a68, ncbi.nlm.nih.gov, *RFA-Star: UAV Path Planning Algorithm for High Obstacle Density Environments*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11524861/

tec_ce86ccb21113, hexcel.com, *Hexcel Prepreg Technology Guide* (*CFRP layup and property data*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/Prepreg_Technology.pdf

tec_d196908d90f6, ncbi.nlm.nih.gov, *Dynamic monitoring of rice biomass with a lightweight UAV dual-camera system* (*PMC*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6436235/

tec_d2138300e81c, en.wikipedia.org, *Boeing Insitu ScanEagle - specifications, endurance and payload*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_Insitu_ScanEagle

tec_d27fe10f2600, EUR-Lex, *Regulation (EU) 2019/945 on UAS - class C0-C6 technical requirements and limits*, consultata il 2026-07-21. regolamento, attendibilità 1.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945

tec_d3172046ac7c, NASA, *On Wings of the Minimum Induced Drag: Spanload Implications for Aircraft and Birds* (*NASA/TP-2016-219072*), consultata il 2026-07-21. paper, attendibilità 1.
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20160003578/downloads/20160003578.pdf

tec_d375fe74c68e, unmannedairspace.info, *EASA publishes SORA 2.5 implementation guidance* (*Unmanned Airspace*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.unmannedairspace.info/latest-news-and-information/easa-publishes-sora-2-5-implementation-guidance/

tec_d3874ef2051a, arXiv, *Rapid Manufacturing of Lightweight Drone Frames Using Single-Tow Architected Composites*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2509.09024

tec_d6f272de74d4, en.wikipedia.org, *TEKEVER - company and AR-series UAV overview*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://en.wikipedia.org/wiki/Tekever

tec_dca9e7a78ee1, arxiv.org, *Investigation of Flight Conditions where Box-Wing Outperforms Mono-Wing for Small UAVs* (*arXiv*), consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1.
https://arxiv.org/pdf/2112.02872

tec_dcf115dd58a4, ncbi.nlm.nih.gov, *All-solid-state batteries: blast formation during thermal runaway*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10590810/

tec_dd76698ae6fc, en.wikipedia.org, *Medium-altitude long-endurance UAV* (*Wikipedia*), consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2.
https://en.wikipedia.org/wiki/Medium-altitude_long-endurance_UAV

tec_e29b6e960ccc, icas.org, *ICAS 2024: Environmental and Economic Assessment of an eVTOL Aircraft*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.icas.org/icas_archive/icas2024/data/papers/icas2024_0500_paper.pdf

tec_e9bc2d55b2df, ncbi.nlm.nih.gov, *Battery-SOC Estimation for Hybrid-Power UAVs (ICE + battery DC bus, UKF)*, consultata il 2026-07-22. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10385800/

tec_ec845b7afbeb, arXiv, *The NederDrone: a hybrid lift, hybrid energy hydrogen UAV (arXiv)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/2011.03991

tec_ecf125d4d155, ncbi.nlm.nih.gov, *Fuzzy energy management for fuel cell-battery hybrid fixed-wing UAVs (PMC)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12859147/

tec_ed4fc4e1456f, files.rfdesign.com.au, *RFDesign RFD900x Long-Range 900 MHz UAV Telemetry Radio Modem Datasheet (range >40 km, +30 dBm/1 W, data rate, power)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://files.rfdesign.com.au/Files/documents/RFD900x%20DataSheet.pdf

tec_f0fc5457c646, ncbi.nlm.nih.gov, *Technological advances and market developments of solid-state batteries: a review*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10779501/

tec_f110ff7ef26a, publications.sto.nato.int, *STANAG 4586 - Standard Interfaces of UAV Control System (UCS) for NATO UAV Interoperability (NATO STO)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://publications.sto.nato.int/publications/STO%20Educational%20Notes/STO-EN-SCI-271/EN-SCI-271-03.pdf

tec_f368e1fdc078, ncbi.nlm.nih.gov, *Geometrically nonlinear high-fidelity aerostructural optimization for highly flexible wings (PMC)*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12689710/

tec_fb8c3cbbfd50, armyrecognition.com, *US Navy expands MQ-9B SeaGuardian sonobuoy payload for unmanned ASW*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://www.armyrecognition.com/news/aerospace-news/2026/u-s-navy-expands-mq-9b-seaguardian-sonobuoy-payload-to-extend-unmanned-anti-submarine-warfare

tec_fd947818f003, arXiv, *EU H2020 GAUSS Project - Geo-Fencing Software System for UAVs (arXiv)*, consultata il 2026-07-21. preprint, attendibilità 1. https://arxiv.org/pdf/1907.04154

tec_feb216e257f9, pmc.ncbi.nlm.nih.gov, *Aerodynamic Analysis and ANN-Based Optimization of NACA Airfoils for Enhanced UAV Performance*, consultata il 2026-07-21. web, attendibilità 2. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11979072/

Documenti interni di progetto

proj_dossier-di-verifica-fonti-e-citazioni, Firmamento (interno), *Dossier di Verifica (fonti e citazioni)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Dossier di Verifica (fonti e citazioni).md

proj_dossier-snai, Firmamento (interno), *Dossier SNAI*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Aree interne/Dossier SNAI.pdf

proj_elenco-cooperative, Firmamento (interno), *Elenco Cooperative*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, bando/Elenco Cooperative.docx

proj_fase-a-market-analysis-report-consolidato, Firmamento (interno), *Fase A - MARKET ANALYSIS REPORT (consolidato)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase A - MARKET ANALYSIS REPORT (consolidato).md

proj_fase-b-avionica-ed-elettronica-di-bordo-studio-tecnico, Firmamento (interno), *Fase B - Avionica ed Elettronica di Bordo (studio tecnico)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase B - Avionica ed Elettronica di Bordo (studio tecnico).md

proj_fase-b-bilancio-di-massa-ed-energia-preliminare, Firmamento (interno), *Fase B - Bilancio di Massa ed Energia (preliminare)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase B - Bilancio di Massa ed Energia (preliminare).md

proj_fase-b-componenti-di-payload-per-applicazione-studio-di, Firmamento (interno), *Fase B - Componenti di Payload per Applicazione (studio di mercato)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase B - Componenti di Payload per Applicazione (studio di mercato).md

`proj_fase-b-studio-pesi-payload-applicativi-contemplati`, Firmamento (interno), *Fase B - Studio Pesi Payload (applicativi contemplati)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase B - Studio Pesi Payload (applicativi contemplati).md

`proj_fase-b-telemetria-data-link-e-stazione-di-terra-gcs`, Firmamento (interno), *Fase B - Telemetria, Data Link e Stazione di Terra (GCS)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase B - Telemetria, Data Link e Stazione di Terra (GCS).md

`proj_fase-b-trade-propulsione-dettagliato`, Firmamento (interno), *Fase B - Trade Propulsione Dettagliato (Powertrain Ibrido)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase B - Trade Propulsione Dettagliato (Powertrain Ibrido).md

`proj_fase-b-trade-propulsione-dettagliato-powertrain-ibrido`, Firmamento (interno), *Fase B - Trade Propulsione Dettagliato (Powertrain Ibrido)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase B - Trade Propulsione Dettagliato (Powertrain Ibrido).md

`proj_fase-b-trade-study-architetture`, Firmamento (interno), *Fase B - Trade Study Architetture*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase B - Trade Study Architetture.md

`proj_fase-b-wp-b5-costi-trl-make-vs-buy`, Firmamento (interno), *Fase B - WP-B5 Costi TRL Make-vs-Buy*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Fase B - WP-B5 Costi TRL Make-vs-Buy.md

`proj_guida-certificazione-enac-sora-per-il-volo-bvlos`, Firmamento (interno), *Guida - Certificazione ENAC-SORA per il volo BVLOS*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Guida - Certificazione ENAC-SORA per il volo BVLOS.md

`proj_guida-tecnologie-e-costi-per-la-certificazione-bvlos-su`, Firmamento (interno), *Guida - Tecnologie e Costi per la Certificazione BVLOS (superare gli OSO)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Guida - Tecnologie e Costi per la Certificazione BVLOS (superare gli OSO).md

`proj_nota-strategica-alternativa-superiore-a-hale-vtol-ibrid`, Firmamento (interno), *Nota Strategica - Alternativa Superiore a HALE (VTOL Ibrido Sovrano)*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Ricerca 2 - Piano di Lavoro/Nota Strategica - Alternativa Superiore a HALE (VTOL Ibrido Sovrano).md

`proj_progetto-concettuale-struttura-hale`, Firmamento (interno), *Progetto concettuale struttura HALE*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, Progetto concettuale struttura HALE.docx

`proj_reg-uff-coopfond-2025u0001593-24-10-2025-progettohale-c`, Firmamento (interno), *[Reg.Uff.CoopFond 2025U0001593-24-10-2025] - ProgettoHALE_CoodingII_LetetraPOstCDA-signed*, s.d.. progetto, attendibilità 1. documento interno di progetto, bando/[Reg.Uff.CoopFond 2025U0001593-24-10-2025] - ProgettoHALE_CoodingII_LetetraPOstCDA-signed.pdf

Appendice C. Provenienza e licenze delle immagini

Le immagini raccolte in questa cartella provengono da Wikimedia Commons e sono utilizzabili in un documento distribuito perché rilasciate in pubblico dominio oppure con licenza Creative Commons. L'elenco riporta, per ciascun file, il soggetto, l'autore, la licenza e la pagina di origine, perché le licenze Creative Commons con attribuzione obbligano a citare autore e licenza ogni volta che l'immagine viene riprodotta, e questo elenco assolve quell'obbligo per l'intero documento. Le immagini hanno funzione illustrativa e non documentano il velivolo di progetto, che non è ancora stato costruito.

`agricoltura-precisione.jpg`, agricoltura precisione. USDAgov, Public domain. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seidenstricker_Farms-Reservoir-Irrigation-Precision_Land_leveled_fields_(20190625-NRCS-LSC-0009).jpg`

`appennino-ligure.JPG`, appennino ligure. Superchilum, CC BY 3.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apennines_Lavagnola.JPG`

`banda-larga-rurale.jpg`, banda larga rurale. David Anstiss, CC BY-SA 2.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mobile_Phone_mast_near_Haynes_Farm_-_geograph.org.uk_-_1913033.jpg`

`borgo-appenninico.jpg`, borgo appenninico. Davide Papalini, CC BY-SA 3.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pentema_(Torriglia)-presepe_nel_paese1.jpg`

`cavo-sottomarino.jpg`, nave posacavi. gérard, Nouméa (Nouvelle-Calédonie), CC BY-SA 2.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C%C3%A2blier_RESPONDER_2_(41962175152).jpg`

`defibrillatore.jpg`, drone da consegna sanitaria Zipline. Roksenhorn, CC BY-SA 4.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zipline-Muhanga-Robin-Dropping-Package.jpg`

`elicottero-antincendio.jpg`, elicottero antincendio. Brocken Inaglory, CC BY-SA 3.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_fire_helicopter_with_helicopter_bucket.jpg`

`frana-dissesto.jpg`, frana dissesto. Copernicus Emergency Management Service (© 2015 European Union), EMSR643, CC BY-SA 3.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2022_Ischia_landslide_-_Copernicus_EMSR643.jpg`

`incendio-boschivo.jpg`, incendio boschivo. Marco Bernardini, CC BY-SA 3.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sikorsky_CFS_103_firefighting.jpg`

`linee-alta-tensione.jpg`, linee alta tensione. Kkiefuik, CC BY 4.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Transmission_Lines_at_Sunset.jpg`

`parco-antola.JPG`, parco antola. Stefano59Rivara, CC BY-SA 4.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2apr15_parco_naturale_regionale_antola.JPG`

`velivolo-ala-fissa-vtol.jpg`, velivolo ala fissa VTOL DeltaQuad. Sander Smeets, CC BY-SA 4.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DeltaQuad_VTOL_surveillance_UAV.jpg`

`vigneto-terrazzato.jpg`, vigneto terrazzato. This Photo was taken by Timothy A. Gonsalves. Feel free to use my photos, but please mention me as the author. I would, CC BY-SA 4.0. `https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Manarola_NW_Cemetery_Corniglia_Monterosso_Cinque_Terre_Sep23_A7C_06872.jpg`

Appendice D. Glossario

I termini tecnici e le sigle usati nello studio, sciolti in linguaggio piano e ordinati alfabeticamente. Per ciascuna voce si indica, fra parentesi, il capitolo in cui il termine è trattato estesamente.

Termine	Significato
AACE	Associazione internazionale per l'ingegneria dei costi; le sue classi di accuratezza dicono quanto una stima di costo è affidabile a seconda della fase del progetto (capitolo 10).
Ala fissa	Velivolo che vola come un aeroplano, sostenuto dall'ala e non dai rotori; è la forma che consente la lunga persistenza (capitolo 5).
Ala scatolata	Configurazione aerodinamica a due ali chiuse ad anello, più compatta a parità di efficienza; variante di punta del velivolo, da validare in galleria del vento (capitoli 4 e 5).
Area critica	La superficie a terra entro cui un impatto del velivolo produrrebbe conseguenze gravi; il metodo europeo consente di calcolarla sul mezzo reale invece di usare il valore predefinito della propria colonna dimensionale, e un'ala fissa leggera e lenta ne guadagna (capitolo 7).
Attualizzazione	Operazione che riporta a oggi il valore di somme future, tenendo conto che un euro domani vale meno di un euro oggi (capitolo 10).
Autocostruito	Aeromobile assemblato per uso proprio del costruttore; resta fuori dal regolamento europeo di prodotto e può quindi volare in categoria aperta anche con propulsione ibrida (capitolo 7).
Bus elettrico	La rete di bordo in corrente continua a cui si collegano generatore, batteria e utilizzatori, spina dorsale della propulsione ibrida (capitolo 5).
BVLOS	Volo oltre la linea di vista del pilota: il velivolo opera dove il pilota non lo vede più, e richiede un'autorizzazione specifica (capitolo 7).
C3	Classe di marcatura europea dei droni che richiede insieme una massa al decollo sotto i 25 chilogrammi, una dimensione caratteristica sotto i 3 metri e un'alimentazione esclusivamente elettrica; per quest'ultimo requisito resta preclusa a ogni motorizzazione ibrida (capitoli 3 e 7).
C5	Classe di marcatura pensata per il volo a vista su area controllata in ambiente popolato; esclude gli aeromobili ad ala fissa non vincolati a terra e non è quindi disponibile per questo progetto (capitolo 7).
C6	Classe di marcatura pensata per il volo oltre la vista in ambiente scarsamente popolato; conserva i limiti di 25 chilogrammi e 3 metri ma non impone l'alimentazione elettrica, ed è l'unica classe europea aperta a un'ala fissa a propulsione ibrida (capitolo 7).

Termine	Significato
Categoria aperta	Il regime a rischio più basso, in cui si vola senza autorizzazione rispettando condizioni fisse; nella sua sottocategoria A3 ammette anche gli aeromobili autocostruiti sotto i 25 chilogrammi, ed è il banco prova gratuito del prototipo (capitolo 7).
Categoria specifica	Il regime a rischio medio in cui ricade il volo oltre la vista, che richiede un'autorizzazione dell'autorità basata su un'analisi del rischio e non pone alcun tetto di massa (capitolo 7).
CBA	Analisi costi-benefici: confronta tutti i costi e tutti i benefici di un progetto, anche quelli senza prezzo di mercato (capitolo 10).
Cofinanziamento	La quota del costo di un progetto che resta a carico di chi lo propone quando il bando non copre il 100 per cento (capitolo 10).
CONOPS	Il concetto operativo: descrive come una missione si svolge davvero, chi fa che cosa e in quale spazio aereo (capitolo 3).
Contingenza	Margine aggiuntivo su una stima di costo per coprire gli imprevisti, esplicitato come voce propria (capitolo 10).
Costo pieno per ora di volo	Tutti i costi di esercizio dell'anno divisi per le ore volate: è il parametro sotto il quale la tariffa non può scendere (capitolo 10).
Datalink	Il collegamento radio fra il velivolo e la stazione di terra, per comando, controllo e trasmissione dei dati (capitolo 5).
De minimis	Regime europeo degli aiuti di piccola entità: contributi pubblici che non richiedono notifica, entro massimali fissati (capitolo 10).
Dimensione caratteristica	La misura dimensionale del velivolo usata dalla valutazione del rischio europea; per un'ala fissa coincide con l'apertura alare (capitolo 7).
DOCFAP	Documento di Fattibilità delle Alternative Progettuali: il confronto metodico fra le opzioni prima della scelta (capitolo 4).
Doppio binario	La strategia del progetto: operare da subito una piattaforma commerciale mentre si sviluppa in parallelo il velivolo proprietario (capitoli 10 e 12).
DPIA	Valutazione d'impatto sulla protezione dei dati personali, obbligatoria per trattamenti ad alto rischio come la raccolta di immagini sul territorio (capitolo 8).
DSP	Diritti speciali di prelievo, l'unità di conto internazionale usata per i massimali assicurativi aeronautici (capitolo 10).
Dual-use	Tecnologia o servizio utilizzabile sia in ambito civile sia istituzionale (capitolo 2).
EASA	L'agenzia europea per la sicurezza aerea, autrice delle regole del volo dei droni (capitolo 7).
Elaborazione a bordo	L'analisi dei dati fatta direttamente sul velivolo, che riduce la banda necessaria e protegge la riservatezza (capitoli 5 e 8).
ENAC	L'ente nazionale per l'aviazione civile, l'autorità italiana che rilascia le autorizzazioni al volo (capitolo 7).
FTE	Equivalente a tempo pieno: misura il personale come numero di persone impiegate a tempo pieno (capitolo 10).
GDPR	Il regolamento europeo sulla protezione dei dati personali (capitolo 8).

Termine	Significato
Genset	Gruppo motore-generatore: nella propulsione ibrida in serie il motore termico produce solo corrente, non spinta (capitolo 5).
GNSS	Il posizionamento satellitare (GPS e Galileo), base della navigazione automatica (capitolo 5).
HALE	Piattaforma d'alta quota a lunga persistenza, tipicamente stratosferica e solare: l'ipotesi originaria del bando, scartata dallo studio (capitolo 4).
Ibrido in serie	Architettura propulsiva in cui un motore termico a regime costante alimenta, attraverso un generatore, un bus elettrico che muove le eliche (capitolo 5).
iGRC	La classe intrinseca di rischio a terra, ricavata incrociando dimensione caratteristica e velocità del velivolo con la densità di popolazione sorvolata; la massa non vi entra (capitolo 7).
Loiter	La fase di missione in cui il velivolo resta in quota sulla zona di interesse, girando su un circuito di attesa (capitolo 3).
MOL	Margine operativo lordo: il risultato prima di ammortamenti, accantonamenti e imposte (capitolo 10).
MTOM	Massa massima al decollo, il parametro che definisce la classe del velivolo (capitolo 7).
Multi-ancora	La strategia di mercato che si regge su due ancore territoriali, quella civile delle aree interne e quella istituzionale (capitolo 2).
PDRA	Valutazione del rischio predefinita: percorsi autorizzativi semplificati per scenari operativi tipici della categoria specifica (capitolo 7).
PNRR	Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, fonte di finanziamento per innovazione e territorio (capitolo 10).
Ricalcolabilità	Il principio per cui ogni tabella economica dello studio può essere rifatta dal lettore a partire dai parametri dichiarati (capitolo 10).
SAIL	Il livello di integrità e garanzia assegnato dalla valutazione europea a un'operazione: più alto è il rischio, più severa è la dimostrazione richiesta (capitolo 7).
SAM / SOM / TAM	Mercato indirizzabile totale, servibile dal prodotto e ottenibile realisticamente dall'impresa: i tre gradini del dimensionamento di mercato (capitolo 2).
Scenario standard	Scenari operativi pubblicati dall'autorità europea che semplificano l'autorizzazione nella categoria specifica (capitolo 7).
Sensitività	L'analisi che misura quanto cambia il risultato economico al variare di un parametro alla volta, e fissa le soglie di rottura (capitolo 10).
SNAI	Strategia Nazionale per le Aree Interne, la politica pubblica per i territori marginali da cui nasce il bando (capitolo 1).
SORA	Il metodo europeo di valutazione del rischio per le operazioni di droni nella categoria specifica (capitolo 7).
Sovranità del dato	Il principio per cui i dati del territorio restano sotto diritto italiano ed europeo, elaborati a bordo e conservati su infrastrutture proprie (capitolo 8).
STS	Scenario standard: profilo operativo già analizzato dall'Unione per il quale basta una dichiarazione dell'operatore, purché il velivolo porti la marcatura di classe richiesta (capitolo 7).

Termine	Significato
TIR	Tasso interno di rendimento: il tasso che annulla il valore attuale netto dei flussi; misura il rendimento dell'investimento (capitolo 10).
TRL	Scala di maturità tecnologica da 1 a 9: dice quanto una tecnologia è vicina all'uso operativo (capitolo 5).
U-space	Lo spazio aereo europeo dedicato ai droni, con servizi digitali obbligatori per la gestione del traffico (capitolo 7).
VAN	Valore attuale netto: la somma attualizzata dei flussi di cassa dell'investimento, al netto dell'esborso iniziale (capitolo 10).
VLOS	Volo a vista: il pilota mantiene il contatto visivo diretto con il velivolo; è il permesso più semplice (capitolo 7).
VTOL	Decollo e atterraggio verticale, senza pista; nel progetto è affidato a un modulo rimovibile (capitolo 5).

Firmamento
TECHNOLOGIES