

Come otteniamo un apogeo perfetto: l'airbrake di StarPi

Dallo studio di architetture alternative alla progettazione di un sistema attivo per il controllo della traiettoria del nostro razzo in vista di EuRoC 2026.

Raggiungere una specifica quota non è solo una questione di potenza. Nel contesto delle competizioni universitarie come l'European Rocketry Challenge (EuRoC), la capacità di controllare in modo accurato l'apogeo rappresenta uno degli aspetti più critici dell'intero volo. Una differenza di poche decine di metri può influenzare il punteggio finale o compromettere la qualità dei dati raccolti.

Per questo, all'interno del progetto StarPi, il team di **Propulsione e Strutture** ha lavorato allo sviluppo di un **sistema di airbrake (o aerofreno) attivo**, pensato per modulare la resistenza aerodinamica durante la fase di ascesa e migliorare il controllo della traiettoria del razzo.

In questo articolo raccontiamo perché questo sistema è necessario, come è stato progettato e quali lezioni sono emerse dalle prime analisi e test.

Perché serve un airbrake

Durante la salita, un razzo sperimentale è soggetto a numerose variabili difficili da prevedere con assoluta precisione: variazioni di spinta del motore, condizioni atmosferiche non ideali, differenze tra modello e realtà. Anche simulazioni molto accurate possono discostarsi dal comportamento reale in volo.

L'airbrake nasce per risolvere proprio questo problema. Introducendo una resistenza aerodinamica controllabile, è possibile "correggere" la traiettoria in tempo reale e avvicinarsi il più possibile all'apogeo target.

In modo intuitivo, l'aerofreno può essere visto come un sistema di **freni ad aria**: non interviene sulla propulsione, ma agisce direttamente sull'interazione tra il razzo e il flusso aerodinamico.

Dallo stato dell'arte alla soluzione StarPi

La prima fase del lavoro ha riguardato un'analisi approfondita dello stato dell'arte. Sono stati studiati i sistemi di airbrake adottati nel corso di diverse competizioni internazionali, confrontando differenti approcci in termini di:

- cinematica del meccanismo (guide lineari, camme, leveraggi),
- posizionamento delle superfici aerodinamiche,
- interazione tra airbrake e palette,
- materiali e soluzioni costruttive.

Questo confronto ha permesso di individuare soluzioni efficaci ma anche criticità ricorrenti, come problemi di attrito, risposta lenta degli attuatori o interazioni aerodinamiche indesiderate con le superfici di stabilizzazione.

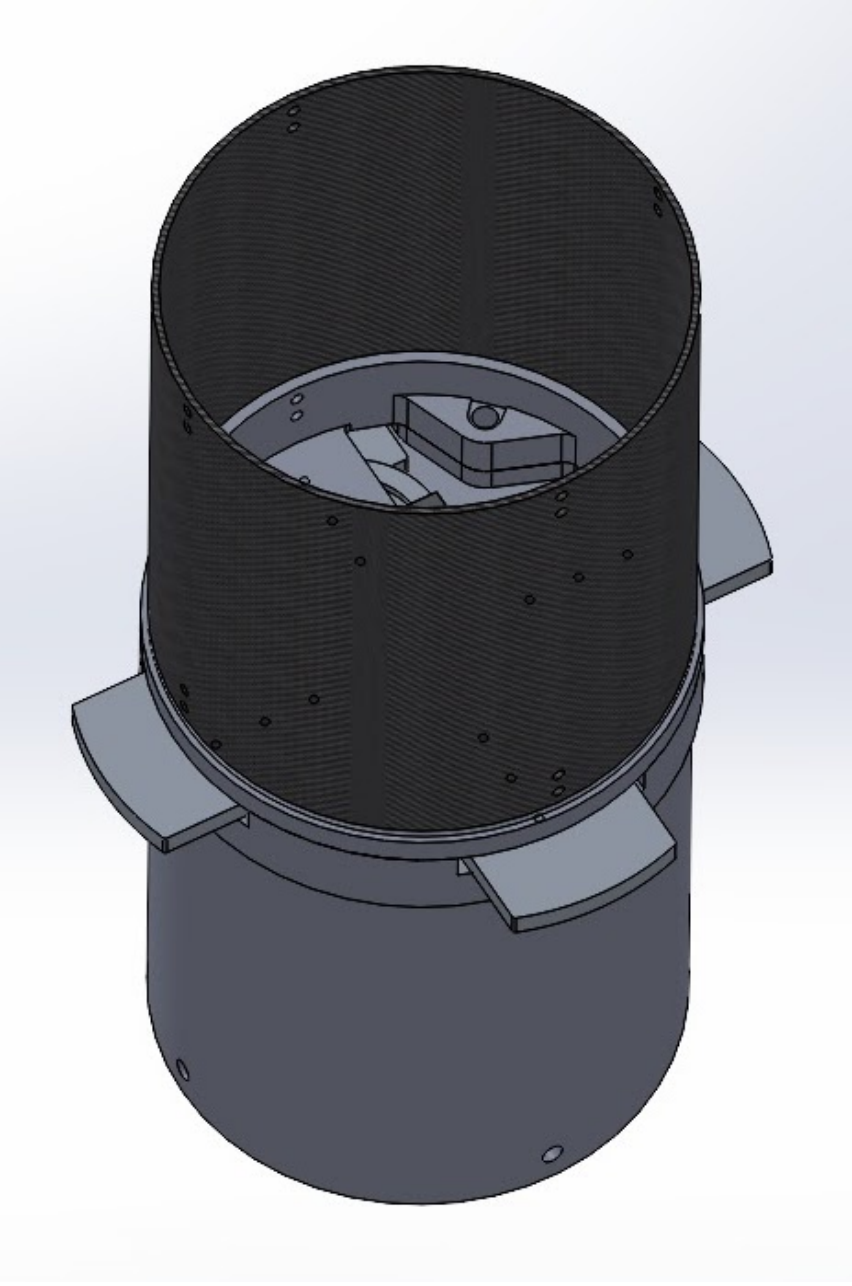
Il principio di funzionamento

Durante la fase di progettazione, il team ha esplorato **più architetture di aerofreno**, identificate internamente come *Airbrake A* e *Airbrake B*. Non si tratta di due sistemi destinati a volare insieme, ma di **rami di sviluppo paralleli**, utili a confrontare soluzioni meccaniche diverse e ridurre il rischio progettuale prima di convergere su un'unica configurazione finale. In particolare, *Airbrake B* è stato sviluppato esclusivamente a livello

di **modello CAD**, senza la realizzazione di prototipi fisici né l'esecuzione di test sperimentali, fungendo da riferimento concettuale nel processo di scelta finale.

L'airbrake sviluppato da StarPi è un sistema **attivo a superfici mobili**. Durante il volo, alcune palette aerodinamiche possono fuoriuscire radialmente dalla fusoliera del razzo. Quando sono estese, aumentano la resistenza aerodinamica; quando sono retratte, il razzo mantiene un profilo pulito.

Il grado di apertura è controllato dall'avionica di bordo, che utilizza dati di quota, velocità e accelerazione per stimare l'apogeo previsto e regolare di conseguenza l'intervento del sistema.



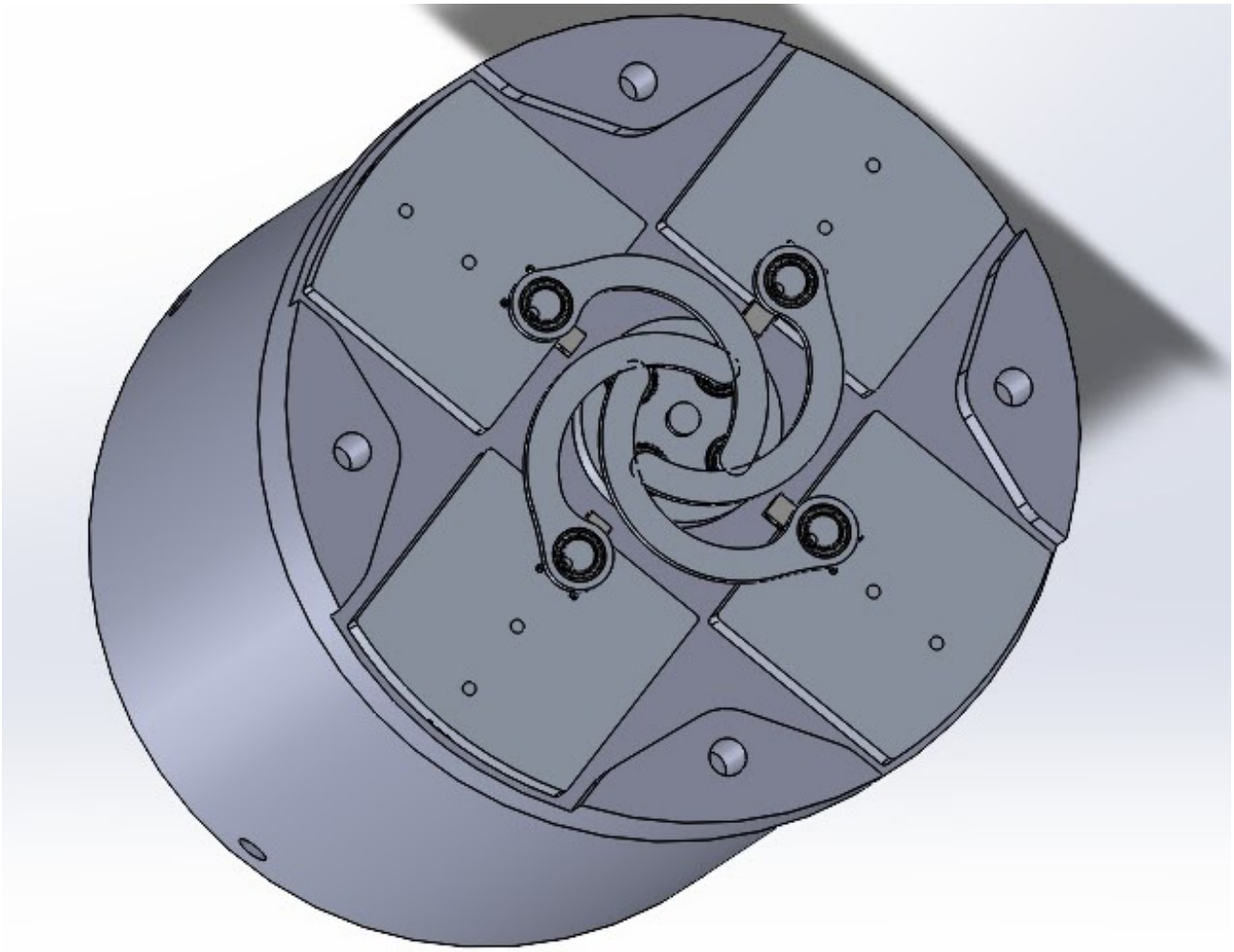
Cad dell'airbrake dispiegato rispetto la relativa parte strutturale. La parte più scura è un elemento composito in fibra di vetro in quanto ospiterà l'avionica,

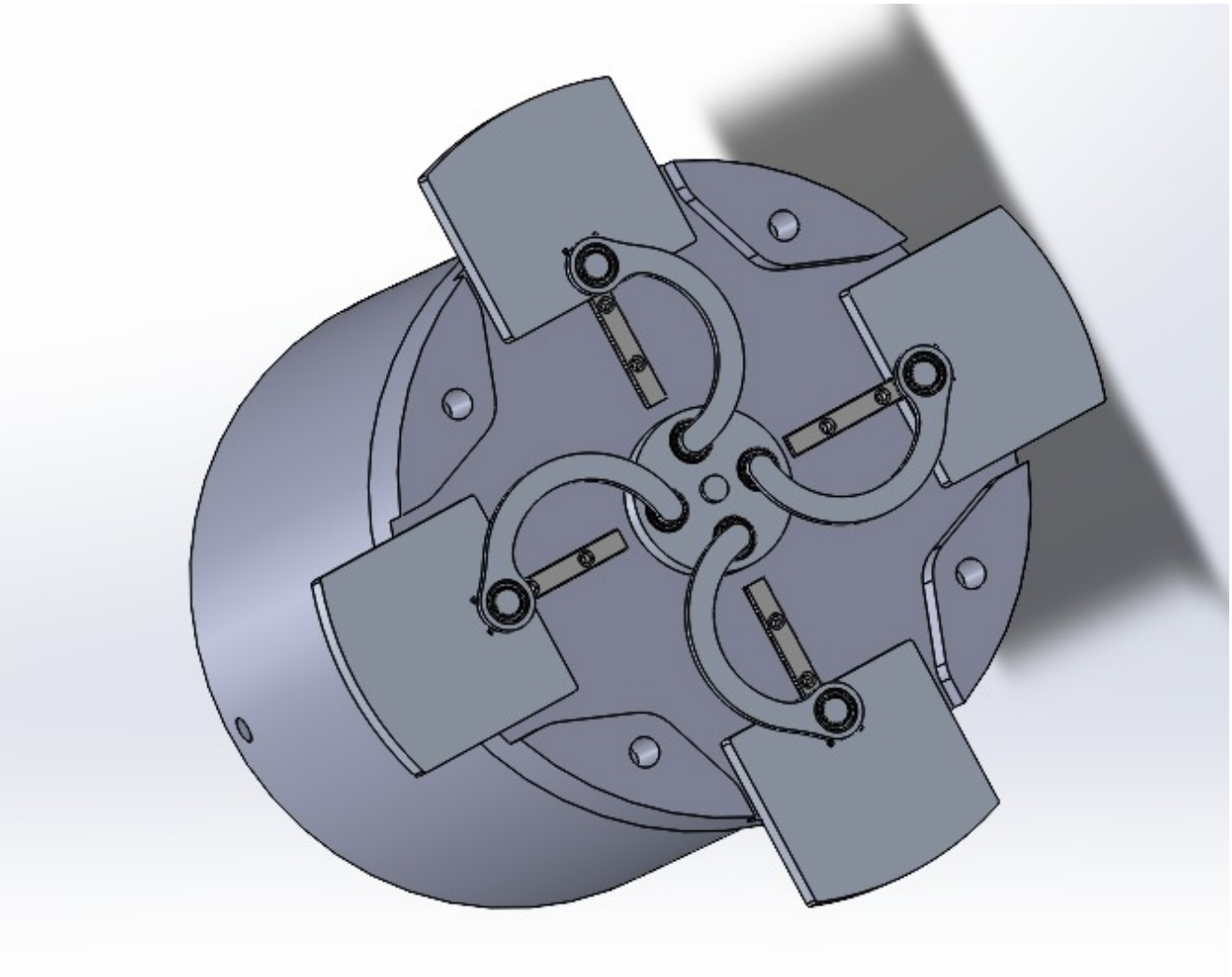
rendendo necessaria la permeazione delle onde radio.

Componenti principali

Il sistema è composto da:

- Palette aerodinamiche realizzate in materiali strutturali leggeri e resistenti, come alluminio e fibra di carbonio;
- Meccanismo di guida a basso attrito, basato su guide lineari, progettato per garantire movimenti ripetibili e affidabili;
- Attuazione tramite servomotore, selezionato per garantire coppia sufficiente e tempi di risposta rapidi;
- Struttura interna che integra il sistema nella fusoliera, con l'uso mirato di componenti stampati in 3D;
- Elettronica di controllo, responsabile della gestione dell'apertura e del monitoraggio dello stato del sistema.





Cad del componente airbrake (chiuso a sinistra, dispiegato a destra)

Dal concept al prototipo

La progettazione è partita da simulazioni preliminari, affiancando strumenti di modellazione aerodinamica e strutturale. In questa fase sono stati valutati diversi layout per ottimizzare:

- l'efficacia aerodinamica delle palette;
- la robustezza del sistema sotto carico;
- l'ingombro all'interno del razzo;
- la semplicità costruttiva.

Questo lavoro ha portato alla suddivisione delle sopracitate soluzioni denominate *Airbrake A* e *Airbrake B*. Mentre *Airbrake B* è rimasto a livello di modello CAD, *Airbrake A* si trova

nella fase di realizzazione di un prototipo funzionale, utile per verificare il comportamento del meccanismo e individuare eventuali criticità non evidenti in fase di simulazione.

Validazione preliminare e preparazione ai test

La fase di validazione ha avuto un ruolo centrale nello sviluppo dell'aerofreno, concentrandosi su **analisi strutturali, aerodinamiche e verifiche di fattibilità del meccanismo**, in assenza di test sperimentali sul sistema completo.
In questa fase sono state valutate, tramite simulazioni e analisi di progetto, le sollecitazioni sulla carenatura e sulle guide, il comportamento atteso del sistema di attuazione e l'influenza di attriti e tolleranze meccaniche sul movimento delle palette.

Le analisi hanno evidenziato come anche piccoli attriti possano influenzare in modo significativo la rapidità di risposta del sistema, orientando le scelte progettuali.
Questo lavoro ha permesso di consolidare l'architettura selezionata e di preparare il sistema alle future campagne di test sperimentali, che rappresenteranno il prossimo passo nel percorso di validazione dell'airbrake.

Le persone dietro al progetto

Lo sviluppo dell'airbrake è stato il risultato di una collaborazione continua all'interno del team di Propulsione e Strutture, che ha lavorato sull'integrazione tra meccanica, struttura e requisiti di volo. Dalla fase di concept fino alle analisi più recenti, il confronto costante tra competenze diverse è stato fondamentale per trasformare un'esigenza di gara in un sistema concreto.

Come sottolinea **Emanuele Vezzi**, membro del team *Airbrake A*:

"È stato complicato trovare il meccanismo più efficace per collegare tutti i componenti, un aspetto essenziale sia per il corretto centraggio sia per garantire la robustezza strutturale del sistema."

Un lavoro fatto di iterazioni, compromessi progettuali e attenzione ai dettagli, che ha permesso di far evolvere l'airbrake da idea a sottosistema pronto per le successive fasi di validazione.

Prossimi step

Consolidata l'architettura dell'airbrake e definite le principali scelte progettuali, il lavoro proseguirà con la realizzazione e l'affinamento dei **prototipi fisici** del ramo selezionato (*Airbrake A*). I prossimi step includono l'avvio di campagne di test sperimentali, inizialmente a banco, per validare il comportamento meccanico e i tempi di attuazione del sistema.
Parallelamente, l'airbrake verrà **integrato con l'avionica di bordo**, così da verificare il funzionamento del controllo attivo in condizioni rappresentative del volo. I dati raccolti guideranno eventuali ulteriori iterazioni progettuali, in preparazione ai **test in volo** su razzi di validazione, passo finale prima dell'impiego operativo durante EuRoC 2026.

A cura di:

Francesco Durante

Emanuele Vezzi

Mauro Furfari