

Oltre l’apogeo: la “scatola nera” digitale che custodisce i segreti di StarPi

Dallo standard 3U alla dashboard interattiva: come l’elettronica dell’ESP32 trasforma i dati di volo in conoscenza per la missione EuRoC 2026.

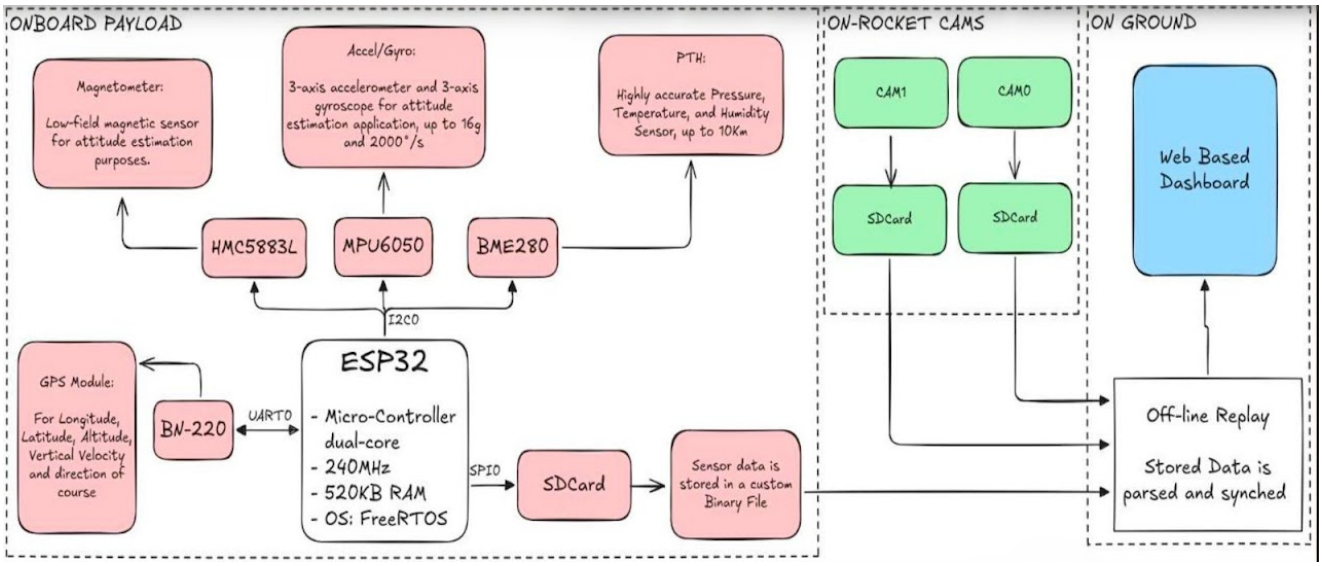
Nel mondo della missilistica sperimentale, il successo non si misura più soltanto dalla quota raggiunta o dalla bellezza della scia di fumo lasciata nel cielo. Per l’associazione culturale StarPi, nata nel novembre 2024 con l’obiettivo di competere ai massimi livelli europei, la vera vittoria risiede nella capacità di comprendere ogni singolo millisecondo del volo. In vista dell’*European Rocketry Challenge* (EuRoC) 2026 in Portogallo, dove gareggeremo nella

categoria “3000 m - Propellente solido”, abbiamo progettato un sistema di Payload all'avanguardia. In questo articolo esploreremo come un modulo di appena 1 kg diventi il custode digitale della missione, trasformando migliaia di dati grezzi in un'analisi interattiva e accessibile.

Perché serve questo sistema

Senza un sistema di registrazione dedicato, i dettagli tecnici di un lancio andrebbero perduti non appena il motore si spegne. Un errore di pochi metri o una vibrazione anomala potrebbero restare inspiegati, rendendo impossibile migliorare il design per i lanci successivi. Il nostro sistema risponde a un problema reale: la fragilità delle comunicazioni radio in tempo reale durante i voli supersonici o ad alta quota. Abbiamo quindi sviluppato una "scatola nera" che funge da diario di bordo automatico, capace di annotare ogni minima variazione ambientale e di assetto, garantendo che nessun dato vada perduto, anche nelle condizioni più estreme del campo militare di Santa Margarida.

Come funziona la soluzione StarPi

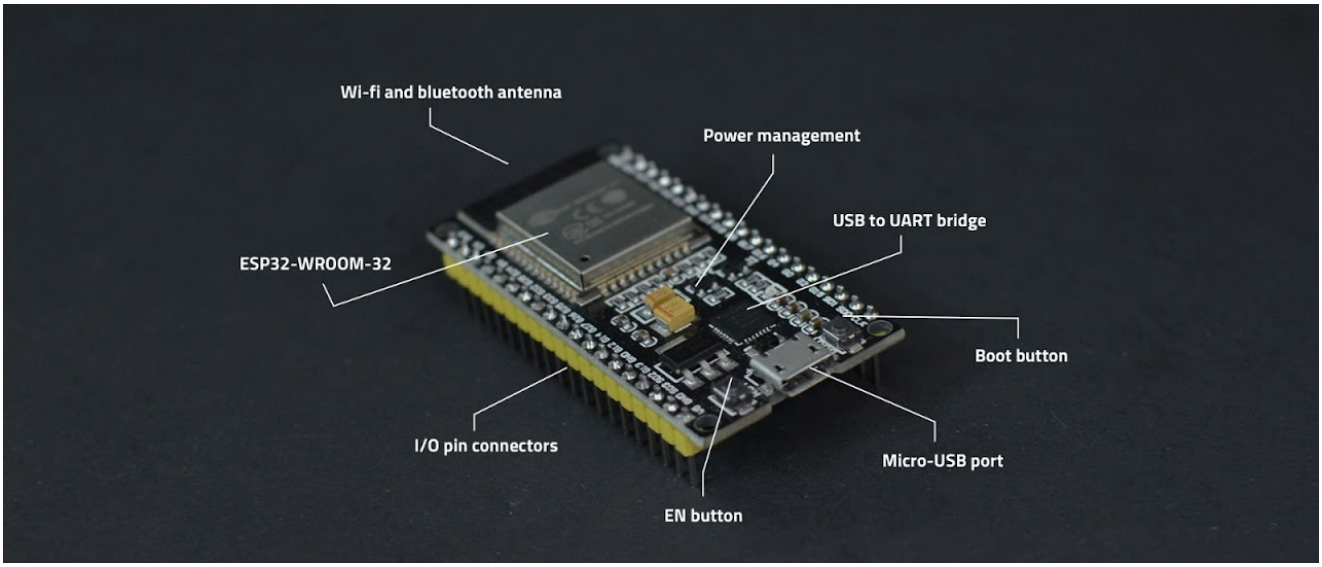


Lo schema mostra l'architettura tecnica del payload di bordo e del sistema di gestione dati del progetto StarPi. Al centro del sistema, il microcontrollore ESP32 coordina i sensori di assetto (magnetometro e accelerometro/giroscopio), ambientali (pressione, temperatura e umidità) e il modulo GPS. Le informazioni vengono salvate in un file binario personalizzato su una scheda SD per garantirne la conservazione in modalità offline. Una volta a terra, i dati vengono elaborati e sincronizzati con le riprese delle camere di bordo per essere visualizzati in modo interattivo su una dashboard web dedicata.

Architettura Hardware e Standard 3U

Il nostro Payload non è un semplice contenitore di sensori, ma un modulo indipendente e sostituibile progettato secondo lo standard 3U. Questa modularità permette di rimpiazzare il carico con una massa equivalente senza alterare la dinamica del razzo o la sua traiettoria verso l'apogeo target.
Il cuore pulsante del sistema è il microcontrollore ESP32, una scelta tecnica superiore rispetto alle schede Arduino standard grazie al suo processore dual-core a 240MHz, 520KB di RAM e l'utilizzo del sistema operativo in tempo reale FreeRTOS. Questa potenza di calcolo è necessaria per gestire simultaneamente una suite di sensori complessi:

- Assetto e Dinamica: L'accelerometro e giroscopio a 3 assi MPU6050 monitora le forze fino a 16g, mentre il magnetometro HMC5883L aiuta nella stima precisa dell'orientamento.
- Dati Ambientali: Il sensore BME280 fornisce letture ad alta precisione di pressione, temperatura e umidità fino a 10 km di quota.
- Posizionamento: Il modulo GPS BN-220 traccia costantemente latitudine, longitudine e velocità verticale.



ESP32, non è un semplice componente ma il vero cuore tecnologico di StarPi. Questo microcontrollore ad alte prestazioni, dotato di un processore dual-core a 240MHz , coordina l'intera suite di sensori e la registrazione dei dati di volo in tempo reale per la missione EuRoC 2026. Grazie alla sua potenza di calcolo, funge da "scatola nera" digitale, trasformando migliaia di dati grezzi in analisi interattive per il team.

Gestione Dati e Storytelling Visivo

La priorità assoluta è la sicurezza del dato. Tutte le informazioni vengono salvate in modalità offline su una scheda SD interna in un formato binario personalizzato. Oltre ai dati numerici, il sistema integra componenti per la documentazione visiva: due videocamere RunCam Split 4 V2 e due fotocamere 4k catturano il volo a 140°, offrendo un supporto fondamentale per la validazione dei test e per il racconto della missione ai nostri partner e sponsor.

Cosa abbiamo testato e cosa abbiamo imparato

Durante lo sviluppo, una delle lezioni più importanti ha riguardato la gerarchia della trasmissione. Sebbene l'integrazione con i sistemi di telemetria dell'avionica sia una possibilità futura, abbiamo stabilito che il salvataggio su memoria fisica debba restare prioritario. Questo approccio garantisce un backup sicuro: anche in caso di totale avaria radio, i dati restano protetti nel modulo e pronti per il recupero al rientro del vettore. Inoltre, la fase di design ci ha portato a ottimizzare il peso complessivo, riuscendo a contenere l'intera elettronica e i sistemi di alimentazione (Powerbank da 612g) in poco più di un chilogrammo.



Il BME280 è un modulo ad alta precisione fondamentale per il monitoraggio delle condizioni atmosferiche durante la missione. Questo sensore rileva simultaneamente pressione, temperatura e umidità fino a una quota di 10 km, fornendo i dati necessari per ricostruire il profilo ambientale del volo (temperatura, umidità e pressione). Integrato nel sistema 3U, comunica direttamente con l'ESP32 per garantire il salvataggio costante dei parametri nella "scatola nera" digitale della missione.

Cosa cambia per il progetto StarPi

L'introduzione di questo sistema eleva lo standard tecnologico dell'associazione, contribuendo direttamente agli obiettivi della stagione 2025/2026:

- Affidabilità e Sicurezza: Il recupero dei dati post-missione permette di verificare l'integrità strutturale e l'efficacia dei sistemi di recupero.
- Innovazione e Compatibilità: La scelta di sviluppare una dashboard web multipiattaforma accessibile da un qualunque browser, ad esempio Firefox, Chrome, Safari, Edge, elimina

ogni vincolo di sistema operativo per i membri del team.

- Analisi Dettagliata: Il back – end, implementato in Python o Node.js, si occuperà dell'elaborazione e della sincronizzazione dei dati. Questo permetterà alla dashboard – sviluppata in JavaScript con Solid.js o React – di interrogare al sorgente dati per offrire all'utente una funzione di riproduzione del volo in tempo reale o differito.

Team & Persone

Dietro la complessità di questo sistema c'è il lavoro sinergico del dipartimento Payload, guidato da Antea Alderighi Sacchi (Head of Department), e dal lavoro di sviluppo della Dashboard da parte di Andrea Della Maggiora. Il team ha lavorato a stretto contatto con i reparti di avionica e aerodinamica per integrare l'hardware nel corpo del razzo, beneficiando della crescita dell'associazione che oggi conta oltre 90 membri e il supporto di consulenti industriali. Come racconta il team, vedere i primi dati sincronizzati scorrere sulla dashboard è stato il momento in cui la teoria appresa in aula ha finalmente preso il volo.

Prossimi step

Attualmente siamo focalizzati sull'ottimizzazione della User Experience (UX) della nostra dashboard. Stiamo valutando le modalità migliori per rappresentare graficamente le informazioni, decidendo se utilizzare indicatori digitali immediati, come termometri o manometri grafici, per rendere l'analisi dei dati più intuitiva per tutto il team

---

A cura di:
Antea Alderighi Sacchi
Andrea Della Maggiora
Lorenzo Ligeri