

## **Controllo termico passivo avanzato per piattaforme in LEO mediante strutture sandwich in additive manufacturing con materiali a cambiamento di fase (PCM)**

*Wednesday 2 September 2026 10:00 (15 minutes)*

L'ambiente presente nella Low Earth Orbit (LEO) rappresenta uno scenario radiativo estremamente sfidante per il dimensionamento termico dei piccoli satelliti. In queste orbite la piattaforma è soggetta a carichi termici esterni complessi, derivanti dal flusso solare diretto, da albedo (luce solare riflessa dalla Terra) e dalla radiazione infrarossa (IR) emessa dal pianeta. L'alternanza periodica tra condizioni di illuminazione e zone di eclisse (ombra della Terra) induce severe fluttuazioni termiche cicliche, mentre l'esposizione asimmetrica, alla luce solare, delle facce del satellite genera gradienti termici trasversali significativi.

Per satelliti di dimensioni ridotte, tali fenomeni sono amplificati da proprietà intrinseche quali la ridotta massa termica, l'elevata densità di potenza e i volumi estremamente limitati. In questo contesto, i sistemi di controllo termico attivo risultano spesso inapplicabili per via dei vincoli di massa e potenza, rendendo necessaria l'implementazione di soluzioni passive ad alta efficienza.

Il presente lavoro propone lo sviluppo di una struttura satellitare innovativa, interamente realizzata mediante manifattura additiva, che integra un sistema di controllo termico passivo di tipo sandwich (lamine esterne e nucleo lattice). Il nucleo alveolare è progettato per essere infiltrato con materiali a cambiamento di fase (Phase Change Materials - PCM).

L'integrazione del PCM all'interno di una struttura sandwich ottimizzata in 3D permette di incrementare l'inerzia termica del sistema, garantendo capacità termiche maggiori, per unità di volume, rispetto alle strutture convenzionali. Durante le fasi di massima esposizione, la struttura è in grado di accumulare energia termica sfruttando il calore latente associato alla transizione di fase solido-liquido del PCM. Al contrario, durante i periodi di eclisse, il calore precedentemente immagazzinato viene ceduto alla struttura. Tale meccanismo di accumulo e rilascio agisce come un volano termico, garantendo uno smorzamento delle fluttuazioni termiche cicliche e una maggiore stabilità delle temperature operative all'interno del satellite.

Grazie alla flessibilità della stampa 3D, è possibile mitigare i gradienti termici ottimizzando la topologia del lattice per favorire la conduzione verso le zone fredde o agire come isolante dove richiesto dalla strumentazione. Tale approccio permette inoltre di ottimizzare la piattaforma riducendo il peso e il numero di elementi di montaggio, integrando le funzioni strutturali e di controllo termico in un unico componente adattabile a diverse configurazioni LEO.

Il sistema viene sviluppato e validato attraverso una metodologia che parte dalla definizione del complesso ambiente termico presente in LEO. A seguire, si svolgerà un processo di ottimizzazione topologica del lattice, per massimizzare sia lo scambio termico che la stabilità meccanica. Questo design è supportato da una modellazione numerica multi-fisica agli elementi finiti (FEM), necessaria per simulare il comportamento del transitorio termico e la cinetica del cambiamento di fase durante i cicli orbitali. L'efficacia del metodo viene testata sul caso studio del sensore GEO GRS (Gravity Reference System), caratterizzato da requisiti di stabilità termica stringenti.

Sebbene il sistema sia ottimizzato per gli standard CubeSat, la metodologia proposta risulta scalabile e adattabile a strutture custom operanti in LEO che richiedono elevate prestazioni termiche. L'approccio integrato tra Additive Manufacturing e PCM rappresenta una soluzione d'avanguardia per la protezione di strumentazione scientifica sensibile, garantendo affidabilità senza l'ausilio di componenti attivi energeticamente esigenti.

**Keywords:** Stampa 3D, Phase Changing Materials, Strutture lattice, CubeSat

**Primary authors:** SARTORI, Lino (Università di Trento); BENEDETTI, Matteo (Università di Trento); FONTANARI, vigilio (Università di Trento); RUSTIGHI, Emiliano (Università degli Studi di Trento); CONCILIO, Antonio

(CIRA (Centro Italiano Ricerche Aerospaziali)); FAVALORO, Nunzia (CIRA (Centro Italiano Ricerche Aerospaziali))

**Presenter:** SARTORI, Lino (Università di Trento)

**Session Classification:** Progettazione Meccanica

**Track Classification:** Progettazione Meccanica