Payload spettrometrico NIR per il monitoraggio ambientale

La miniaturizzazione dei satelliti rende oggi accessibile lo spazio anche a soggetti non sovranazionali, ma impone di ridurre massa, volume e consumi degli strumenti di bordo. Nell'ambito del progetto SMAL-SAT (Sistema di Monitoraggio AmbientaLe nano-SATellitare), studio precursore di una missione CubeSat dedicata al monitoraggio ambientale dell'Emilia-Romagna, è stato sviluppato un payload spettrometrico compatto che acquisisce spettri di riflettanza nel vicino infrarosso e li associa alla posizione geografica del punto osservato. Il prototipo, basato su componenti commerciali e su una catena software dedicata, è stato validato in volo su drone: ha dimostrato di riconoscere e distinguere materiali a terra attraverso le loro bande di assorbimento e ha fornito indicazioni di progetto per la futura configurazione satellitare.

"Dati spettrali georeferenziati, dal drone al CubeSat"

Laboratorio	CIRI AEROSPAZIO
Area di specializzazione	Energia e Sostenibilità, Meccatronica e Materiali
Referenti	Emanuele Mandanici, Sonia Melandri, Dario Modenini
Keyword	Monitoraggio ambientale , Spettroscopia NIR , Telerilevamento da drone, Payload per CubeSat



Fig. 1: Campagna di prova in volo: drone DJI Matrice 300 RTK con payload integrato e target di riferimento (terracotta e poliestere) disposti su fondo vegetale.

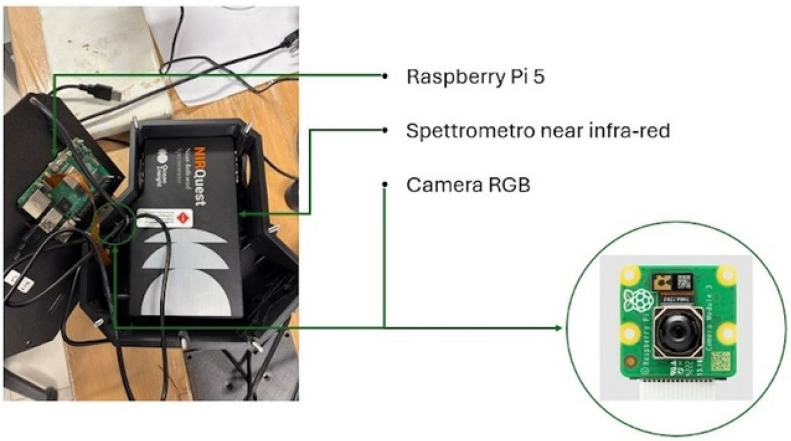


Fig. 2: Prototipo del payload spettrometrico: unità di controllo Raspberry Pi 5, spettrometro nel vicino infrarosso (NIR) e camera RGB per la georeferenziazione.

Descrizione

Il payload è uno strumento di telerilevamento passivo che misura la radiazione solare riflessa dalla superficie nel vicino infrarosso, ne restituisce lo spettro di riflettanza e associa ogni misura alla posizione geografica del punto osservato. L'architettura integra tre elementi: uno spettrometro NIR commerciale operante tra 900 e 2450 nm (risoluzione ottica di circa 6,5 nm FWHM, tempo di integrazione 1–200 ms), modificato strutturalmente ed integrato con ottiche e rilevatori; una camera RGB; un'unità di controllo Raspberry Pi 5 che gestisce comunicazione, comando e registrazione dei dati.
La georeferenziazione è ottenuta via software: tecniche di computer vision estraggono dalle immagini RGB le caratteristiche spaziali della scena e permettono di associare ciascuna misura spettrale alla corrispondente posizione geografica. La catena di elaborazione comprende acquisizione, registrazione, correzione del continuo e calcolo di indicatori locali di banda (profondità di assorbimento), con cui seguire in modo robusto il comportamento spettrale dei target.
Il progetto discende dai requisiti di una missione su piattaforma CubeSat 6U-XL: il range di misura è stato scelto confrontando un database spettrale di gas serra e inquinanti con le bande di interesse per il monitoraggio atmosferico, e copre in particolare le finestre SWIR utilizzate dalla missione Sentinel-5 (1590–1675 e 2305–2385 nm).

Aspetti innovativi

• Integrazione in un'unica unità compatta di spettrometro NIR, camera RGB e unità di controllo, con architettura scalabile dal drone a piattaforma nanosatellitare.
• Georeferenziazione delle misure spettrali tramite elaborazione delle immagini RGB e tecniche di computer vision.
• Catena hardware/software completa – acquisizione, registrazione, analisi e georeferenziazione – verificata in volo.
• Progettazione guidata dai requisiti di una missione nano-satellitare regionale.

Applicazioni

In configurazione su drone il payload abilita un monitoraggio ambientale ad alta risoluzione spaziale: riconoscimento di materiali a terra (ad esempio plastiche), caratterizzazione di suolo e vegetazione, agricoltura di precisione e individuazione tempestiva di criticità legate ad attività antropiche. In configurazione satellitare l'approccio è orientato alla composizione dell'atmosfera: dall'orbita il segnale integra l'intera colonna d'aria, rendendo osservabili gas serra e inquinanti. I dati ottenuti possono alimentare servizi di geo-intelligence per enti locali, decisori pubblici e imprese.

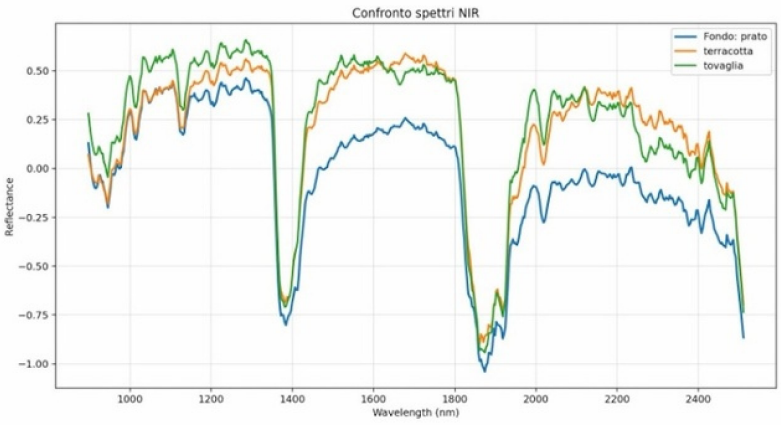


Fig. 3: Spettri di riflettanza NIR acquisiti in volo: i target di terracotta e tessuto in poliestere si distinguono dal fondo vegetale, in particolare negli intervalli 1500–1700 nm e 1900–2200 nm.

Partner coinvolti

Capofila: CIRI Aerospace – Università di Bologna
CNR-ISSMC – Istituto di Scienza, Tecnologia e Sostenibilità per lo Sviluppo dei Materiali Ceramici
ENEA – Laboratorio Tecnologie dei Materiali Faenza
Ser.In.Ar. Forlì-Cesena – Tecnopolo di Forlì-Cesena
Imprese coinvolte: StudioMapp S.r.l. – NPC Spacemind

Tempi di realizzazione

24 mesi uomo

Livello di maturità tecnologica

TRL 5 - tecnologia validata in ambiente rilevante

Valorizzazione applicazione

CIRI Aerospace si propone come partner per imprese ed enti interessati a strumenti spettrometrici miniaturizzati per droni e piccoli satelliti, mettendo a disposizione competenze in progettazione di missione, spettroscopia molecolare, geomatica e analisi di dati di telerilevamento: dalla definizione dei requisiti all'integrazione del payload, campagne di misura e sviluppo di indicatori ambientali

Esempio di applicazione

Proof-of-concept in volo: riconoscimento spettrale di target a terra da drone

Il payload è stato dapprima caratterizzato in laboratorio e all'aperto su campioni di riferimento (foglie verdi, sabbia, suolo, acetone), per valutare l'effetto di distanza, fondo e luminosità, e su un caso d'uso di identificazione delle plastiche basato sulla riflettanza di un tessuto in poliestere. È stato poi integrato su un drone DJI Matrice 300 RTK e impiegato in una campagna di voli su prato, sorvolando target di terracotta e di poliestere a quote comprese tra 2 e 15 m.
Le prove hanno verificato l'intera catena di comando remoto, acquisizione, georeferenziazione e processamento del dato. Le bande di assorbimento a 1665, 2141 e 2269 nm sono risultate identificabili già negli spettri originali; la loro profondità diminuisce con la quota, con una perdita di contrasto a 15 m riconducibile al mescolamento spaziale (la frazione di target nel campo di vista si riduce) e allo scattering atmosferico legato all'aumento del percorso ottico. I due target introducono modifiche spettrali sistematiche e distinguibili rispetto al fondo vegetale.
Dal drone non è stato possibile osservare specie gassose: pochi metri di atmosfera non producono un assorbimento misurabile. Si tratta di una conseguenza della scala geometrica dell'acquisizione e non di un limite del metodo; i risultati forniscono indicazioni comunque utili per eventuali ulteriori sviluppi di una versione satellitare.

CIRI AEROSPAZIO

Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale Aeropazio-Aerospace

Il CIRI Aerospace promuove lo sviluppo di conoscenze e servizi per le aziende e gli enti di ricerca operanti nei settori dell'aeronautica, spazio, sistemi energetici, materiali avanzati e sistemi meccanici, sensoristica, ingegneria navale e trasporti.
I servizi proposti coprono una vasta gamma, dalle consulenze progettuali alla costruzione di prototipi, incluse le fasi di analisi di fattibilità, progettazione preliminare e di dettaglio. L'organizzazione strutturata del centro di ricerca permette di sviluppare progetti interdisciplinari, utilizzando know-how consolidati per nuove applicazioni.
Il CIRI Aerospace ha una consolidata esperienza e vanta collaborazioni con numerosi enti di ricerca sia privati che pubblici, piccole e medie imprese, grandi imprese e agenzie governative italiane ed estere.



Sito web https://centri.unibo.it/aerospace/en

Direttore Paolo Tortora

Data pubblicazione 07/10/2026