

Lo sviluppo dei componenti ottici per le applicazioni della Space Economy

Il gruppo Componenti Ottici dell'ENEA vanta una lunga tradizione nello sviluppo di componenti ottici per un vasto spettro di applicazioni utilizzate in programmi di esplorazione nell'orbita terrestre, ma anche nello spazio interplanetario, il Deep Space. Il Gruppo collabora a progetti dell'Agenzia Spaziale Europea, con numerosi organismi e istituti di ricerca in Italia e in protocolli internazionali come il Progetto di Grande Rilevanza AstroOptElect, nell'ambito del Protocollo di collaborazione scientifica e tecnologica tra l'Italia e la Cina 2019-2022.

DOI 10.12910/EAI2021-097

di Anna Sytchkova - Laboratorio Ingegneria Processi e Sistemi per l'Energia

Lo sviluppo degli strumenti ottici per lo spazio, per decenni è stato oggetto di ricerca e studi di ingegneria finanziati dai governi. Nel tempo, il ruolo dell'osservazione della Terra dallo spazio e lo studio dell'Universo dai satelliti si sono evoluti: pur conservando la funzione di propulsori della rivoluzione tecnologica, sono diventati anche uno strumento di uso quotidiano che garantisce un flusso continuo dei dati essenziali per scopi civili e militari. Infatti, la sicurezza e la difesa rimarranno sempre i campi d'interesse strategico, e quindi controllati dagli organismi statali, anche se ormai più di tre quarti di tutti i lanci spaziali vengono effettuati per missioni riferite alla Space Economy e alla New Space Economy.

Il business privato nello spazio, basato sull'uso dei componenti ottici, si occupa non solo delle telecomunicazioni e delle previsioni meteorologiche che costituiscono ancora la gran parte dei ser-

vizi forniti dai satelliti orbitanti attorno alla Terra. Il numero di applicazioni cresce velocemente, insieme all'insorgere dei nuovi modelli di business.

La 'commercializzazione' dello spazio significa, in particolare, che i singoli operatori possono acquistare soluzioni tecnologiche avanzate e tradurre rapidamente le loro idee nella pratica. Per i componenti degli strumenti ottici utilizzati nello spazio questo significa innanzitutto la miniaturizzazione e l'abbattimento dei costi di produzione. Sono i due aspetti per i quali la ricerca può proporre soluzioni efficienti basate sull'expertise acquisita nei progetti realizzati in passato, ma anche investendo nello sviluppo mirato ad uno scopo specifico, su richiesta del committente.

Il Gruppo Componenti Ottici dell'ENEA

Il Gruppo Componenti Ottici dell'E-

NEA nato all'inizio degli anni '80 vanta una lunga tradizione di sviluppo di componenti ottici per un vasto spettro di applicazioni, dagli specchi per cavità laser ai vetri per la protezione dei beni culturali ai filtri ottici per i programmi spaziali, come quelli dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), spesso in collaborazione con altri istituti in Italia e all'estero. I programmi come Lightning Imager (Fig.1), per il monitoraggio dei fulmini nell'atmosfera terrestre e le previsioni climatiche, hanno visto l'affinamento delle tecnologie di realizzazione dei rivestimenti ottici a film sottili. Il filtro per il Lightning Imager era un filtro passa-banda spettralmente molto stretto ma uniforme lungo la sua ampia superficie, due qualità difficilmente conciliabili. Questo lavoro ha creato delle basi per la prototipazione e poi la realizzazione industriale del satellite Meteosat della terza generazione, Meteosat Third Generation (MTG).

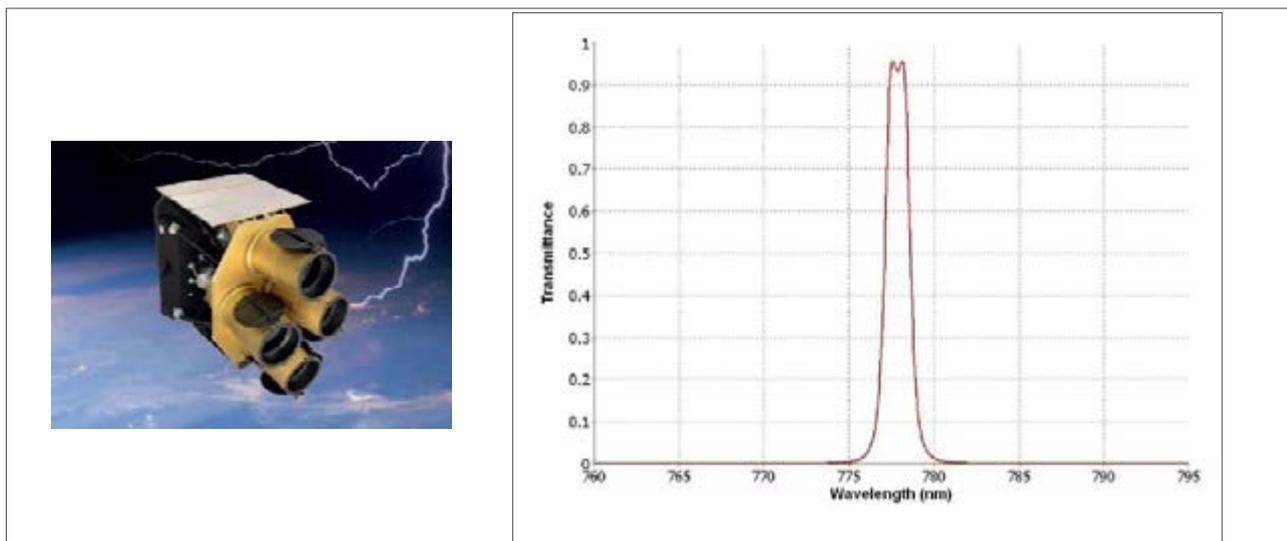
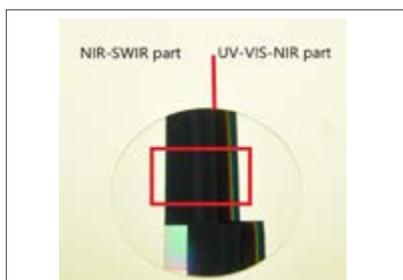


Fig.1 Filtro passa-banda stretto per il monitoraggio dei fulmini nell'atmosfera dallo spazio. A destra: Immagine del satellite portatore dello strumento Lightning imager. A destra: La banda di trasmissione del filtro è centrata sulla tripletta d'emissione d'ossigeno a 777.4 nm



Fotografia di un doppio filtro, vedi dettagli nel testo

Ancor prima, ENEA ha realizzato progetti mirati allo sviluppo dei mini-spettrometri basati su filtri variabili. La prestazione ottica varia lungo una direzione sulla superficie del filtro, mentre è costante nella direzione ortogonale alla direzione di variazione. La variazione tipicamente segue una legge lineare a gradiente costante, cosiddetto filtro

variabile lineare (LVF). Il design di alcuni spettrometri, richiede una variazione non lineare e l'ENEA ha nel portfolio anche lo sviluppo dei filtri variabili non lineari (NLVF). Il doppio LVF illustrato nella Fig.2 copre un range spettrale inusualmente vasto, dall'ultravioletto all'infrarosso 440-2500 nm. Inoltre, il suo design ottico innovativo che impiega relati-

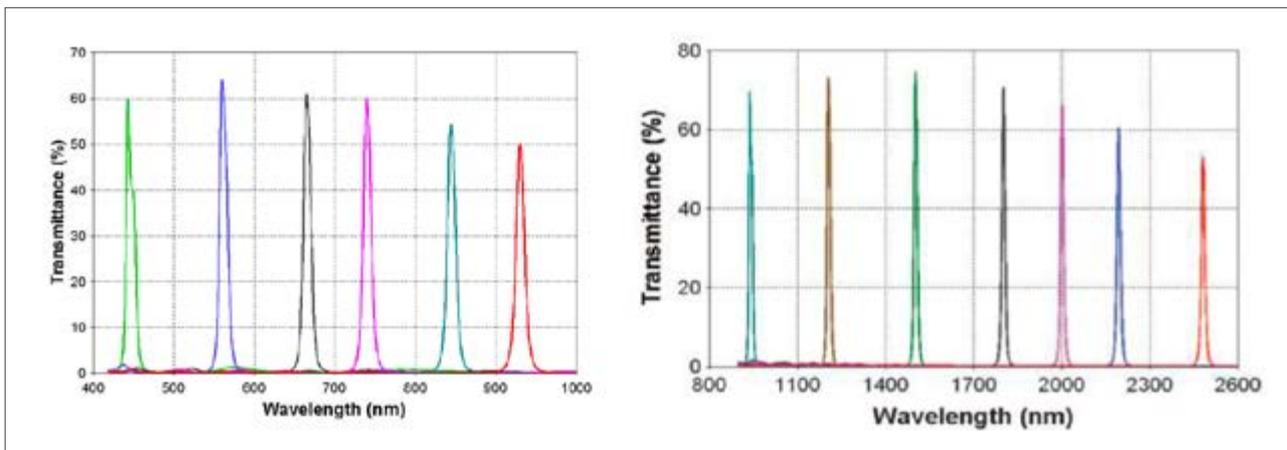


Fig.2 Filtro variabile lineare (LVF). La risposta ottica del filtro varia lungo una direzione sulla superficie del filtro, in un modo continuo e lineare. A sinistra: variazione della posizione spettrale delle bande di trasmissione ottica del filtro "Visible part". A destra: alcune bande di trasmissione ottica nell'infrarosso del filtro "Infrared part". Rif. M. Dami, R. DeVidi, G. Aroldi, F. Belli, L. Chicarella, A. Piegari, A. Sytchkova, J. Bulir, F. Lemarquis, M. Lequime, L. Abel Tibérini, and B. Harnisch "Ultra compact spectrometer using linear variable filters", Proc. SPIE 10565, International Conference on Space Optics – ICSSO 2010, 1056559 (11 January 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2309265>

vamente pochi strati, assicura un'elevata stabilità delle prestazioni ottiche del LVF rispetto ad eventuali errori di produzione.

Lo studio dei materiali di cui erano composti i filtri, ha stimato la loro resistenza all'ambiente spaziale per garantire la stabilità della risposta ottica degli spettrometri basati su utilizzo di filtri variabili. Gli spettrometri di questo tipo hanno poi visto l'utilizzo nelle missioni che producono la spettroscopia d'immagine multi ed iperspettrale nell'osservazione della Terra e altri pianeti, come ad esempio la missione FLEX (FLuorescence EXplorer) Eight Earth Explorer dell'ESA, nonché lo studio degli asteroidi come ad esempio OVIRS - OSIRIS-Rex lanciato dalla NASA verso l'asteroide Bennu.

Competenze ad ampio spettro

L'attività di sviluppo dei componenti ottici a film sottili richiede delle competenze ad ampio spettro. Si parte dalla progettazione del dispositivo ottico sulla base delle specifiche tecnologiche, in stretta collaborazione con gli ingegneri che ideano lo spettrometro, il telesco-

pio o altro strumento ottico dove il componente poi sarà utilizzato. Si passa poi alla scelta dei materiali, lo studio della loro compatibilità e resistenza all'ambiente d'esercizio: i componenti non devono compromettere la risposta ottica dello strumento nell'arco della sua vita.

La realizzazione del prototipo si effettua mediante le tecniche di deposizione da vapore fisico, come ad esempio sputtering a radio frequenza. L'operare di impianti di deposizione dei film sottili, quando eseguito a stato d'arte, permette di variare a richiesta le caratteristiche fisico-chimiche dei materiali dei film, imponendo il tal modo la loro risposta ottica e le caratteristiche meccaniche come la durezza, lo stress residuo ecc. Il prototipo innovativo ha poi spesso caratteristiche tali da rappresentare una sfida nel misurare la sua risposta ottica, in quanto non permette l'utilizzo degli strumenti commerciali. Perciò il Gruppo ENEA sviluppa anche le metodologie di misure ottiche ad alta precisione, nonché gli strumenti dedicati alla caratterizzazione specifica dei filtri con proprietà particolari. Ad esempio, i piccoli

filtri variabili o filtri grandi che devono essere molto uniformi, necessitano di banchi ottici di misura spazialmente risolta, Fig. 3. Il primo esempio illustra il caso di quando la caratterizzazione deve tracciare la variazione dello spettro trasmesso dal filtro in ogni punto lungo tutta la sua ampia superficie. Nel secondo caso la luce deve essere concentrata su una zona del filtro di dimensioni molto piccoli (alcuni micrometri) per minimizzare l'integrazione della risposta spettrale la quale varia lungo la superficie del filtro con un gradiente elevato che può essere anche di 200-300 nm/mm.

La metodologia di sviluppo dei componenti ottici a film sottili per applicazioni spaziali necessita anche degli studi sistematici sugli effetti d'esposizione dei singoli strati e dei filtri ottici a multistrato alle condizioni tipiche per l'ambiente spaziale. Se nel passato la maggior parte delle applicazioni sulle quali il Gruppo ha lavorato riguardava le orbite terrestri, ora l'interesse si è spostato verso le applicazioni nello spazio interplanetario, Deep Space, dove possono operare i satelliti per gli studi di astrofisica. L'int-

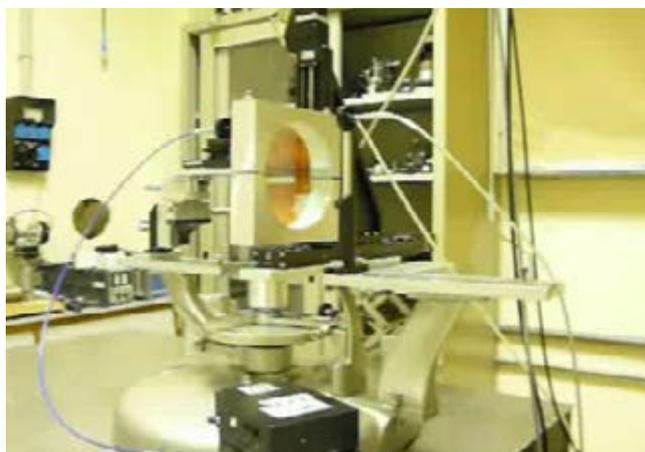


Fig.3 Banchi ad hoc per la caratterizzazione ottica dei componenti a film sottili. A sinistra: Misura di trasmittanza di un filtro uniforme di grandi dimensioni, rif. Fig. 1. A destra: Misura di trasmittanza di un filtro lineare variabile, rif. Fig.2. La zona di variazione è illustrata nell'inserto sotto

resse teorico e l'attività sperimentale si concentrano sui fattori come la radiazione dei protoni di bassa energia, dei raggi gamma e quelli cosmici, della radiazione ultravioletta intensa. L'impatto di questi singoli fattori e il loro impatto sinergico sui materiali è l'oggetto dello studio attuale dove l'ENEA è capofila di un consorzio che, dal lato italiano, vede

la partecipazione dell'Università di Torino, dell'Università di Roma Tor Vergata e di una piccola-media industria MITEC s.r.l., mentre dal lato cinese partecipano l'istituto scientifico Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics e una grande industria che è il Beijing Institute for Space Environmental Engineering.

Il Progetto di Grande Rilevan-

za “Effetti dell'ambiente spaziale sui dispositivi ottici ed elettronici per le missioni spaziali astrofisiche,” *AstroOptElect*, fa parte dell'attuale Protocollo di collaborazione scientifica e tecnologica tra l'Italia e la Repubblica Popolare Cinese per il periodo 2019-2022.

Per info: anna.sytchkova@enea.it