

RICONOSCIMENTO E CARATTERIZZAZIONE DI MATERIALI CONTENENTI AMIANTO MEDIANTE ANALISI D'IMMAGINE IPERSPETTRALE

PREMESSA

Nell'ambito del Bando di Ricerca in Collaborazione INAIL (BRIC ID 58 - Programma Speciale Amianto) "Riconoscimento e caratterizzazione di materiali contenenti amianto a scala di laboratorio mediante analisi d'immagine iperspettrale e correlazione con le informazioni estraibili da telerilevamento di prossimità e remoto (aereo e satellitare)" sono state sviluppate e messe a punto nuove modalità di riconoscimento e caratterizzazione di Materiali Contendenti Amianto (MCA) mediante l'impiego di tecnologie innovative non invasive e non distruttive. In particolare, si è proceduto alla mappatura 2D delle superfici dei MCA mediante analisi in microfluorescenza a raggi X (micro-XRF) e imaging iperspettrale (HSI). Sono state analizzate diverse tipologie di MCA, caratterizzati da matrici di diversa natura (cementizie, resinoidi, cellulose, etc.) e provenienza (da cantieri di bonifica in diverse Regioni) e dalla presenza di differenti tipologie di minerali di amianto (crisotilo, crocidolite, amosite, tremolite, antofillite, actinolite). I campioni investigati sono stati prelevati dall'Inail principalmente presso Siti da bonificare di Interesse Nazionale (SIN) e preparati nei propri Laboratori per l'Analisi delle Matrici Ambientali (LAMA). I suddetti campioni sono stati successivamente acquisiti e analizzati presso il Laboratorio *RawMaLab* del Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente (DICMA) dell'Università di Roma "La Sapienza".

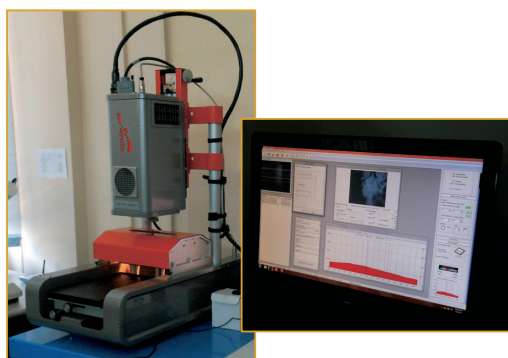
HSI: PRINCIPI FISICI E IMPOSTAZIONI OPERATIVE PER L'ACQUISIZIONE DELLE MAPPE DI MCA

I MCA, rinchiusi e sigillati in capsule Petri in vetro Duroplan®, sono stati analizzati con un sistema HSI composto da un'architettura hardware/software integrata in grado di acquisire e gestire strutture di dati (ipercubi) caratterizzate da due dimensioni spaziali e una spettrale. In particolare, è stato impiegato il sistema iperspettrale SISUCHEMA XL Chemical Imaging Workstation (Specim®) (Fig.1) operante nel range spettrale SWIR (*Short Wave Infrared Range*: 1000-2500 nm) il cui sensore permette l'acquisizione, in modalità "pushbroom", di un'area di 320 pixel per 240 lunghezze d'onda con una risoluzione spettrale di 6 nm. Le immagini vengono acquisite con un sistema di acquisizione d'immagini iperspettrali (HSI) installato su un nastro trasportatore dove sono posti i MCA. Il sistema è collegato a un PC che contiene il software per la gestione e il processamento degli ipercubi di dati acquisiti.

Questa tecnologia permette di raccogliere le informazioni spettrali dei MCA in maniera non distruttiva tramite l'interazione tra luce e materia. Tale approccio consente di rilevare la firma spettrale del materiale, ossia gli assorbimenti alle diverse lunghezze d'onda relativi

alla struttura molecolare del campione e, nello specifico, legati ai moti vibrazionali delle molecole costituenti il materiale analizzato. Ciò consente, a partire dall'analisi dello spettro, di ottenere mappe di distribuzione superficiale degli elementi chimici, con informazioni per ciascun pixel dell'immagine acquisita. In particolare, la presenza di assorbimenti caratteristici nella regione SWIR da parte dei minerali di amianto, può essere utilizzata per la caratterizzazione dei diversi MCA (Fig. 2).

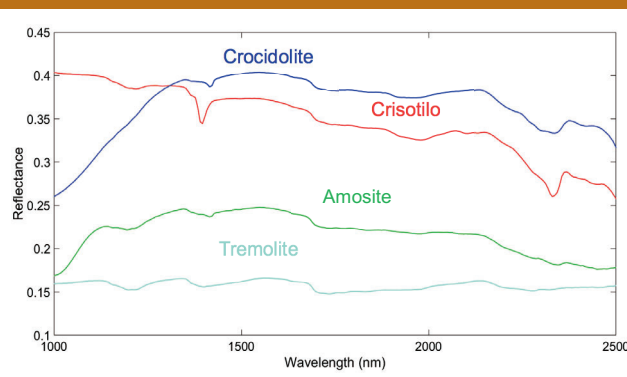
Figura 1 Sistema di analisi d'immagine iperspettrale SISUCHEMA XL Chemical Imaging Workstation (Specim®), unità di acquisizione e interfaccia utente



Fonte: RawMaLab, DICMA, Sapienza Università di Roma

Le condizioni operative per il riconoscimento delle fibre di amianto nei MCA prevedono l'acquisizione delle immagini utilizzando due differenti risoluzioni spaziali: 1) 150 $\mu\text{m}/\text{pixel}$, diametro di campo di 5 cm, velocità di acquisizione 7,35 mm/s; 2) 30 $\mu\text{m}/\text{pixel}$, diametro di campo di 1 cm, velocità di acquisizione 2,55 mm/s. La scelta della risoluzione dipende dalle dimensioni dei fasci di fibre d'amianto da identificare, da quelle di più grandi dimensioni a quelle micrometriche.

Figura 2 Spettri medi di riflettanza acquisiti mediante HSI nell'intervallo di lunghezze d'onda 1000-2500 nm, dei principali tipi di amianto presenti negli MCA

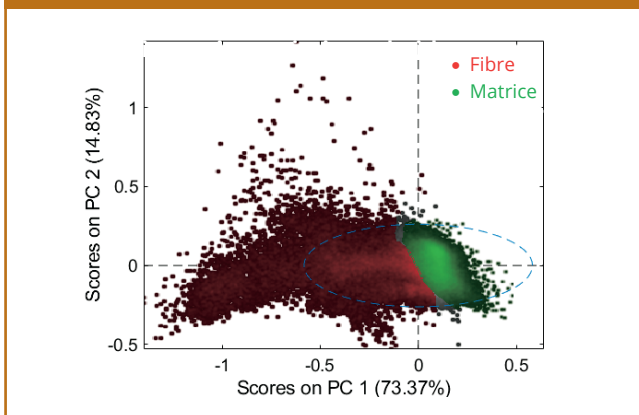


Fonte: RawMaLab, DICMA, Sapienza Università di Roma

IDENTIFICAZIONE DI AMIANTO IN MATRICI COMPATTE MEDIANTE HSI

La caratterizzazione dei MCA mediante HSI avviene mediante l'applicazione di tecniche chemiometriche. L'identificazione della presenza di fasci di fibre di amianto sulla superficie indagata si ottiene confrontando le firme spettrali del campione con quelle dei minerali di amianto puro (cristotilo, crocidolite, amosite, tremolite, actinolite, antofillite) precedentemente acquisiti come spettri di riferimento noti. Dapprima si effettua un preprocessamento degli ipercubi che consente di evidenziare le differenze spettrali tra i diversi materiali presenti sulla superficie del campione (matrice e fibre di amianto). Successivamente, mediante un'analisi esplorativa in PCA (*Principal Component Analysis*) (Fig. 3) si verifica se i MCA sono effettivamente riconoscibili in base alle caratteristiche spettrali rilevate. Infine si applica il modello di classificazione PLS-DA (*Partial Least Square Discriminant Analysis*) sviluppato, con il quale si ottengono mappe di predizione in falsi colori dei diversi materiali presenti sulla superficie (matrice e fibre di amianto) (Fig. 4).

Figura 3 Esempio di analisi esplorativa (PCA) di un campione di MCA. Nello score plot PC1-PC2 si osserva che i pixel delle fibre (in rosso) sono disposti in una regione differente da quella in cui si posizionano i pixel della matrice (in verde)



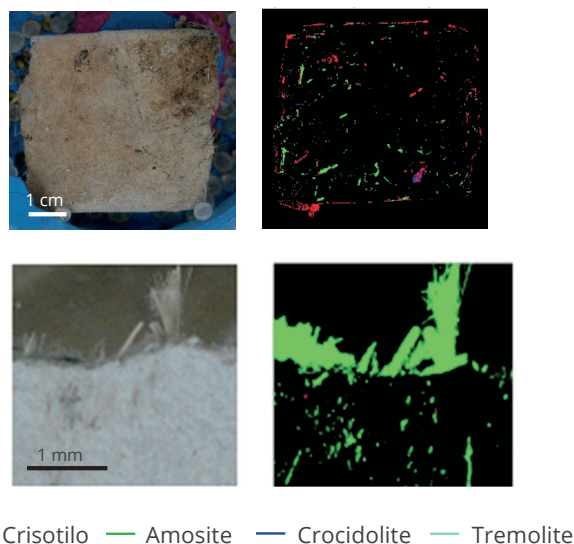
Fonte: RawMaLab, DICMA, Sapienza Università di Roma

L'HSI applicata al riconoscimento di MCA offre numerosi vantaggi in quanto non prevede né la preparazione né la distruzione del campione, la cui analisi può avvenire senza contatto diretto, consentendo un maggior livello di sicurezza rispetto a quello necessario con l'uso delle tecniche analitiche classiche (MOCF, SEM, XRD, FTIR).

Tale tecnica non richiede la presenza di un operatore esperto una volta sviluppato e messo a punto il modello di classificazione e permette anche una riduzione dei costi e dei tempi di analisi. L'HSI può quindi rappresentare una potenziale soluzione per la caratterizzazione e classificazione di MCA sia di origine antropica che naturale e, grazie alle continue e costanti implementazioni tecnologiche (sia in termini di sensibilità analitica che di capacità risolutiva), troverà sempre maggiore impiego per analisi in tempo reale con

sistemi di scansione miniaturizzati. In tal senso si ipotizzano anche ulteriori vantaggi nell'utilizzo di tali metodiche per la caratterizzazione di inerti/rifiuti, anche da eventi calamitosi. I risultati dell'analisi d'immagine iperspettrale ottenuti a scala di laboratorio possono successivamente venire anche utilizzati come "verità a terra" per la calibrazione dei dati acquisiti da remoto (aereo, drone, satellite) ai fini del telerilevamento di coperture in cemento amianto.

Figura 4 Esempio di mappe di predizione in falsi colori ottenute mediante classificazione PLS-DA, per 2 differenti campioni di MCA, da cui è possibile rilevare la presenza di amianto e la tipologia di minerale presente



Fonte: RawMaLab, DICMA, Sapienza Università di Roma

RIFERIMENTI NORMATIVI

- Bonifazi G., Capobianco G., Serranti S. (2016), "A fast and reliable approach for asbestos recognition in complex matrices adopting an hyperspectral imaging based approach", Proceedings CRETE 2016, Fifth International Conference on Industrial & Hazardous Waste Management, Crete (Greece) 27-30 September 2016. ISBN: 978-960-8475-24-3. ISSN: 2241-3138.
- Bonifazi G., Capobianco G., & Serranti S. (2018), "Asbestos containing materials detection and classification by the use of hyperspectral imaging", Journal of hazardous materials, 344, 981-993.
- Paglietti F., Malinconico S., Di Molfetta V., Giangrosso M. (2012) "Guidelines for Asbestos Remediation at Italian Superfund Sites", in Journal of Environmental Science and Health, Part C: Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews, 30:3, 253-286, Taylor and Francis Editore.
- Paglietti F., Malinconico S., Conestabile della Staffa B., Bellagamba S., De Simone P. (2016) "Classification and management of asbestos-containing waste: European legislation and the Italian experience", Waste Management, 50, 130-150.