

Individuazione di coperture in cemento-amianto e del loro deterioramento da immagini iperspettrali

Chiara Cilia (*), Cinzia Panigada (*), Micol Rossini (*), Monica Pepe (**),
Gabriele Candiani (**), Roberto Colombo (*)

(*) Università degli Studi di Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1, 20126 Milano (MI), Italia
E-mail: chiara.cilia@gmail.com, cinzia.panigada@unimib.it, micol.rossini@unimib.it, roberto.colombo@unimib.it
(**) CNR-IREA, Via Bassini 15, 20133 Milano (MI), Italia
E-mail: pepe.m@irea.cnr.it, candiani.g@irea.cnr.it

Riassunto

In questo contributo sono presentati i risultati di un progetto di ricerca che ha avuto come obiettivo la mappatura delle coperture in cemento-amianto nei Comuni di Biassono, Lissone, Monza, Muggiò e Seregno (MB) su un'area di circa 65 km². Lo studio ha previsto l'acquisizione di immagini iperspettrali in data 5 luglio 2013 tramite il sensore aviotrasportato MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) operante in 102 canali nell'intervallo spettrale compreso tra il visibile e l'infrarosso termico. Sono inoltre state effettuate misure in campo con uno spettrometro portatile Fieldspec FR (ASD, USA) su coperture a diverso stato di deterioramento, allo scopo di caratterizzare il loro comportamento spettrale. Le immagini sono state corrette geometricamente ed atmosfericamente e successivamente classificate in modo automatico con l'algoritmo SAM (*Spectral Angle Mapper*) utilizzando un *training set* individuato con l'aiuto di ortofoto e sulla base di informazioni sulla presenza di coperture in cemento-amianto fornite dai Comuni. Le misure a terra hanno permesso di definire un indice spettrale relazionato all'albedo delle lastre in cemento-amianto e alla presenza di muschi e licheni sulle stesse che è stato successivamente utilizzato per discriminare, a partire dalle immagini aeree, tetti più deteriorati da tetti meglio conservati. Tale approccio ha permesso di suggerire ai Comuni una diversa priorità di intervento nella loro rimozione prevista dal PRAL (Piano Regionale Amianto Lombardia) redatto nel 2005, che pone tra gli obiettivi strategici l'eliminazione dell'amianto dal territorio lombardo entro dieci anni dalla sua entrata in vigore. I dati relativi alle coperture individuate sono stati gestiti in ambiente GIS (*Geographic Information System*) al fine di fornire ai Comuni il riferimento catastale di ogni singola proprietà da sottoporre a bonifica.

Abstract

In this proceedings are shown the results of a research project about the mapping of asbestos cement roof sheets in the municipalities of Biassono, Lissone, Monza, Muggiò and Seregno (MB) above an area of about 65 km². The study was performed using hyperspectral images collected on the 5th July 2013 with the aerial MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) sensor that acquires data in 102 channels in the spectral interval between the visible and the thermal infrared regions. Furthermore, field measurements were performed with a portable spectroradiometer Fieldspec FR (ASD, USA) on roofing with different deterioration status, with the aim of investigating their spectral characteristics. The geometrical and the atmospheric corrections were followed by an automatic classification with the SAM (*Spectral Angle Mapper*) algorithm using a training set selected on the basis of orthophotos and of information about asbestos cement roof provided by the municipalities. Field measurements allowed to define a spectral index related to the

albedo of asbestos cement sheets and to the presence on their surface of mosses and lichens that was used to distinguish deteriorated and preserved roofs through the aerial images.

This approach allowed to suggest different priorities in removal to the municipalities, that is imposed in the PRAL (Lombardy Region Asbestos Plan) since 2005, which also set among the strategic objectives the removal of asbestos from the regional territory by ten years after the plan approval. Data on asbestos roofing sheets were handled in a GIS (Geographic Information System) to supply the municipalities with the cadastral references of each property that has to be restored.

Introduzione

Tra gli anni '70 e gli anni '90 l'amianto è stato largamente utilizzato nell'edilizia grazie alle sue particolari caratteristiche di resistenza e alle sue buone proprietà isolanti. A causa dell'elevato rischio per la salute in seguito all'esposizione alle fibre che questo materiale rilascia nell'aria (Roggli, Vollmer, 2008) il suo impiego è stato vietato con la legge nazionale 27 marzo 1992, n° 257. Attualmente sono ancora presenti sul territorio elementi tra cui lastre per la copertura di edifici, tubature e coibentazioni che contengono fibre di amianto, le quali continuano a costituire un rischio per la salute nel momento in cui la compattezza del materiale è compromessa in seguito ad usura o all'esposizione prolungata ad agenti atmosferici, con il conseguente più probabile rilascio di fibre (Chiappino, Venerandi, 1991). Negli ultimi anni l'utilizzo di immagini telerilevate si è dimostrato un valido strumento per l'individuazione (Basile et al., 2012; Marino et al., 2001; Fiumi et al., 1998) e la valutazione dello stato (Bassani et al., 2007) delle coperture in cemento-amianto. In Lombardia le disposizioni della legge nazionale del 1992 sono state recepite a livello regionale dalla legge 29 settembre 2003, n° 17, riguardante le "Norme per il risanamento dell'ambiente, bonifica e smaltimento dell'amianto". In attuazione di questa legge regionale nel 2005 è stato redatto il PRAL (Piano Regionale Amianto Lombardia), approvato nel 2006 (Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia, n. 3 - 2° supplemento straordinario del 17 gennaio 2006), che pone tra gli obiettivi strategici l'eliminazione di qualsiasi forma di amianto dal territorio lombardo entro dieci anni dalla sua entrata in vigore. Tra le azioni previste vi è l'obbligo di denunciare la presenza di cemento-amianto in matrice compatta negli edifici attraverso la presentazione del modulo NA/1 (Allegato n. 4 del PRAL, Notifica presenza di amianto in strutture o luoghi), in modo da facilitarne il censimento attraverso l'autocertificazione.

In questo lavoro ci si è posti l'obiettivo di: i) individuare tramite immagini riprese da aereo con il sensore MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) le coperture di edifici in cemento-amianto ancora presenti nell'area studio, ii) definire un indicatore spettrale del loro stato di deterioramento e da ultimo iii) associare la presenza di cemento-amianto agli edifici del catasto al fine di fornire ai Comuni i riferimenti di ogni singola proprietà non ancora sottoposta ad interventi di bonifica.

Acquisizione dei dati

Lo studio ha previsto l'acquisizione di immagini iperspettrali nell'area comprendente i cinque Comuni della Provincia Monza e Brianza (MB) aderenti al progetto di mappatura del cemento-amianto (Amicabrianza – Agenda 21): Biassono, Lissone, Monza, Muggiò e Seregno. Il sorvolo aereo è stato eseguito in data 5 Luglio 2013 tra le 12:30 e le 13:15 (ora locale) alla quota di 1500 m. L'area studio di circa 65 km² è risultata compresa in cinque strisciate acquisite nel piano solare principale che presentano una sovrapposizione tra loro del 35% ed una risoluzione spaziale di 3 m. Le immagini sono mostrate in Figura 1 insieme ai confini amministrativi dei Comuni coinvolti.

Le riprese sono state effettuate da CGR Spa (Compagnia Generale Ripresearee) tramite il sensore MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) che acquisisce in 92 canali tra 0.44 e 2.50 µm (visibile, infrarosso vicino e infrarosso a onde corte) ed in 10 canali tra 8.34 e 12.42 µm (infrarosso termico).

La correzione geometrica effettuata dal fornitore dei dati tramite definizione di punti di controllo ha portato ad un'accuratezza media delle immagini pari a 6 m.

L'analisi del rapporto segnale/rumore ha permesso di eliminare le bande troppo rumorose riducendo lo spazio dimensionale del dato.

Da ultimo la correzione atmosferica è stata eseguita per le bande del visibile e dell'infrarosso vicino ed ad onde corte attraverso il software di elaborazione ATCOR (ATmospheric CORrection) (Richter, Schläpfer, 2011) mentre per le bande del termico si sono utilizzate le temperature apparenti.



Figura 1 □ Mosaico delle immagini MIVIS (sintesi RGB a colori veri) acquisite nell'area comprendente i Comuni aderenti al progetto: Biassono, Lissone, Monza, Muggiò e Seregno (MB).

Contemporaneamente alle riprese aeree, al fine di validare la qualità della correzione atmosferica, sono state acquisite a terra tramite uno spettroradiometro portatile Fieldspec FR (ASD, USA) le firme spettrali di diverse superfici (*i.e.*, teli in PVC di colore bianco, nero e grigio (tessuto Odyssey, Kayospruce, UK), suolo, asfalto e prato). Sono stati inoltre selezionati sulle immagini alcuni pixel omologhi ricadenti nelle aree di sovrapposizione delle immagini ed è stato eseguito un confronto tra le loro riflettanze per verificare la coerenza della correzione ottenuta sulle diverse strisciate.

È stata infine condotta una campagna di misure con un carrello elevatore che ha permesso di acquisire firme spettrali con lo spettroradiometro Fieldspec FR al di sopra di edifici con coperture in cemento-amianto, allo scopo di caratterizzarne la risposta spettrale per i) effettuare confronti con il dato aereo registrato sulle stesse aree e ii) definire un indicatore spettrale dello stato di deterioramento delle coperture sulla base delle osservazioni visive effettuate sulle stesse.

Classificazione delle coperture in cemento-amianto

La classificazione delle immagini MIVIS per l'individuazione delle coperture in cemento-amianto è stata effettuata secondo un approccio di tipo *supervised*, ossia mediante la selezione su ciascuna immagine MIVIS di pixel di riferimento da utilizzare come *training set* per istruire l'algoritmo nel riconoscimento delle coperture. La selezione di tali pixel si è basata sia sull'interpretazione di ortofoto che di informazioni sulla presenza di coperture in cemento-amianto fornite dai Comuni. Oltre alla selezione di pixel su coperture in cemento-amianto sono stati selezionati pixel su una serie di altre superfici scelte come rappresentative dell'area indagata, che hanno permesso di migliorare il risultato della classificazione (*i.e.*, cemento, coppi, altri materiali di rivestimento). Più in dettaglio, si è scelto di utilizzare l'algoritmo SAM (*Spectral Angle Mapper*) (Kruse et al., 1993) utilizzando come input le bande sintetiche più ricche di informazione derivate dalla trasformazione MNF (*Minimum Noise Fraction*) (Green et al., 1988) delle immagini MIVIS. L'algoritmo SAM confronta la somiglianza spettrale tra i pixel dell'immagine e quelli di *training* sulla base della loro distanza angolare; la scelta di tale algoritmo, poco sensibile ad effetti di illuminazione dati ad esempio dalla diversa esposizione delle superfici, si è basata sui buoni risultati ottenuti in lavori precedenti (Basile et al., 2012; Marino et al., 2001; Fiumi et al., 1998).

La trasformazione MNF delle immagini è stata applicata separatamente sia alle bande nel dominio della radiazione riflessa (*i.e.*, visibile, infrarosso vicino e infrarosso a onde corte) che in quello della radiazione emessa (*i.e.*, infrarosso termico). Inizialmente l'algoritmo SAM è stato impiegato su un'immagine sintetica composta dalle prime 10 bande MNF ottenute dal dominio della radiazione riflessa e dalle prime 2 bande MNF ottenute da quella emessa, considerando un angolo di 0.5 radianti come valore soglia per la distanza angolare. L'analisi dell'accuratezza è stata eseguita a livello di singoli tetti mediante un loro campionamento casuale e stratificato a partire dallo strato informativo vettoriale degli edifici, derivato dal catasto dei Comuni. Sono stati selezionati 1050 tetti distribuiti uniformemente nelle strisciate MIVIS appartenenti alle diverse classi del *training set*: 250 tetti in cemento-amianto, 200 tetti in cemento, 200 tetti in coppi, 200 tetti in altri materiali di rivestimento e 200 tetti non classificati dall'algoritmo. I tetti selezionati sono stati fotointerpretati utilizzando ortofoto ad elevata risoluzione geometrica. Sono stati quindi calcolati l'errore di commissione (tetti classificati come cemento-amianto, ma appartenenti ad altre tipologie di copertura) e l'errore di omissione (tetti in cemento-amianto classificati in altre categorie oppure non classificati) relativi alla classe cemento-amianto oggetto dello studio.

In seguito un ulteriore passaggio ha permesso di affinare la classificazione preliminare riducendo l'errore di commissione troppo elevato rispetto all'errore di omissione. Le coperture classificate come cemento-amianto sono state riclassificate applicando l'algoritmo SAM sulle bande in riflettanza meno rumorose con un *training set* rappresentato solo da due firme spettrali MIVIS: i) la firma media del cemento-amianto e ii) la firma media di altri materiali di rivestimento, più soggetti ad errore di commissione, senza applicare alcuna soglia angolare. Al fine di valutare il miglioramento della classificazione è stata quindi effettuata una seconda valutazione dell'accuratezza.

Determinazione del deterioramento delle coperture in cemento-amianto

Dopo aver ottenuto la classificazione finale si è proceduto alla definizione di un metodo per la determinazione del deterioramento delle coperture a livello di ogni singolo edificio.

L'analisi delle firme spettrali acquisite in prossimità di alcune coperture campione ha mostrato che coperture più deteriorate presentano un generale abbassamento dell'albedo della matrice cementizia e/o un maggiore assorbimento della radiazione nelle lunghezze d'onda del rosso dovuto ad una maggiore presenza di muschi e licheni. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che lastre più deteriorate e caratterizzate da una matrice meno compatta costituiscano un substrato più favorevole per l'insediamento della componente vegetale. Si è inoltre osservato che lastre meno deteriorate sono generalmente state posate più recentemente (esempio riportato in Figura 2).

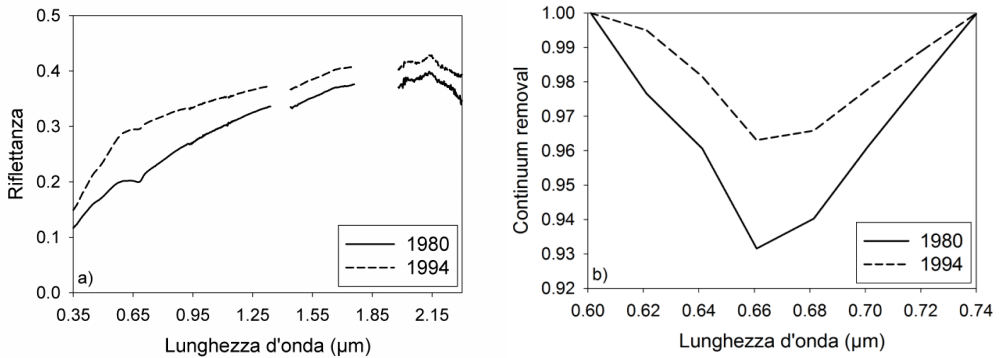


Figura 2 □a) Firme spettrali acquisite con spettroradiometro Fieldspec FR su coperture in cemento-amianto posate nel 1980 e nel 1994. b) Profilo spettrale del continuum removal tra 0.60 e 0.74 μm calcolato dall'immagine MIVIS sulle coperture mostrate in Figura 2.a.

Alla luce di queste osservazioni è stato definito un indice spettrale di deterioramento (ISD) calcolato come rapporto tra il valore della banda MIVIS a 0.68 μm (*i.e.*, la più vicina al picco di assorbimento della clorofilla tra 0.7 e 0.8 μm (Thomas, Gausman, 1977)) ottenuto in seguito al calcolo del *continuum removal* tra 0.60 e 0.74 μm ($CR_{0.68}$) e la riflettanza a 0.74 μm ($R_{0.74}$) [Equazione 1]. Tale indice permette quindi di tenere in considerazione sia l'assorbimento nel rosso relazionato alla componente vegetale presente che la minor albedo della matrice cementizia riscontrata in alcune lastre deteriorate. L'indice assume valori più alti in lastre con matrice cementizia più scura e con presenza di muschi e licheni.

$$ISD = \frac{CR_{0.68}}{R_{0.74}} \quad [1]$$

La relazione tra anno di posa e indice ISD è stata valutata mediante l'analisi di regressione tra l'indice ISD calcolato su un campione di 80 coperture riconosciute sull'immagine MIVIS e l'anno di posa dichiarato dai proprietari all'interno del modulo NA/1.

Risultati e conclusioni

Il confronto tra le firme spettrali acquisite a terra e quelle estratte negli stessi punti dalle immagini MIVIS corrette atmosfericamente ha mostrato un errore medio del 10%, che si può considerare adeguato per gli scopi di questo lavoro. Il confronto tra le riflettanze dei pixel omologhi ricadenti nelle zone di sovrapposizione delle immagini ha mostrato in media una differenza tra le firme spettrali inferiore al 3%, indicando quindi una buona coerenza tra le correzioni atmosferiche effettuate a livello di singole strisciate.

La classificazione mediante impiego dell'algoritmo SAM sulle 12 bande derivanti dalla trasformazione MNF ha prodotto una versione preliminare della classificazione dei tetti in cemento-amianto che da una prima analisi di valutazione dell'accuratezza ha mostrato in media un errore di commissione del 25% e un errore di omissione dell'11%. Tali valori corrispondono rispettivamente all'attribuzione erronea di edifici alla classe cemento-amianto e alle mancate individuazioni.

La successiva classificazione effettuata sulle riflettanze ha permesso di ridurre l'errore di commissione al 20%. In generale si è riscontrato che la principale fonte di errore di commissione e di omissione è la somiglianza spettrale tra tetti in cemento-amianto meno deteriorati e tetti aventi copertura a matrice cementizia.

L'analisi di regressione tra indice spettrale di deterioramento e anno di posa è stata effettuata su un campione di 80 tetti. Si è calcolato il valore medio dell'ISD in corrispondenza di 10 tetti selezionati per ognuna delle 8 classi di anno di posa risultanti dalla suddivisione su base quinquennale dell'intervallo temporale in cui risultano essere state posate le lastre in cemento-amianto nei Comuni considerati (*i.e.*, 1955-1994) (Figura 3). L'analisi di regressione su questo sottoinsieme di dati mostra che esiste una buona relazione ($R^2 = 0.93$) tra ISD e anno di posa confermando la possibilità di utilizzare l'indice spettrale calcolato a livello di immagine MIVIS per l'individuazione dei tetti più deteriorati al fine di definire una priorità di intervento per la loro rimozione.

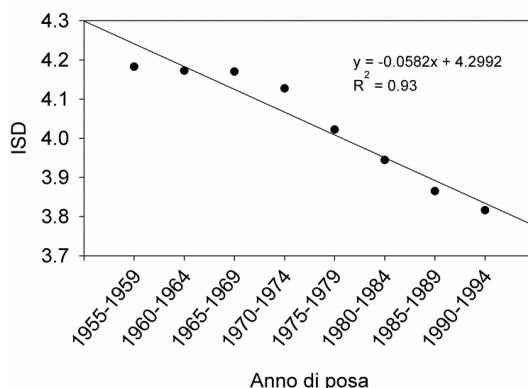


Figura 3 □ Analisi di regressione tra indice ISD e anno di posa suddiviso su base quinquennale nell'intervallo temporale 1955-1994 ($R^2 = 0.93$).

Le osservazioni visive effettuate su alcuni tetti campione utilizzati per l'individuazione della relazione in Figura 3 hanno permesso la definizione empirica di un valore soglia che discrimina due classi di deterioramento alle quali sono state associate due classi di priorità di rimozione ($ISD \leq 4$: basso deterioramento e bassa priorità di rimozione; $ISD > 4$: alto deterioramento e alta priorità di rimozione).

Il lavoro ha infine previsto la sovrapposizione in ambiente GIS dei diversi strati informativi di tipo raster (la classificazione delle coperture in cemento-amianto e l'informazione sul deterioramento ottenuta dall'indice ISD) con i dati di tipo vettoriale costituiti dai singoli edifici del catasto comunale, ad esclusione di quelli con superficie minore di 36 m^2 che sono stati esclusi dalle analisi in quanto non individuabili a causa della risoluzione geometrica delle immagini.

Il risultato finale consiste nell'assegnazione, ad ogni riferimento catastale, della presenza o assenza di cemento-amianto e della priorità di rimozione definita in base all'indice ISD. In conclusione, il risultato di questo lavoro fornisce una visione d'insieme della presenza e dello stato di deterioramento dei tetti in cemento-amianto sul territorio dei cinque Comuni coinvolti. Il servizio politiche ambientali dei Comuni coinvolti sceglierà come meglio utilizzare questa informazione nella gestione della problematica.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare Ilaria Gelmini e Tania Fantasia per la collaborazione durante le loro tesi di laurea, Sergio Cogliati, Biagio Di Mauro e Roberto Garzonio per la partecipazione alle misure in campo durante il sorvolo aereo, il personale del Comune di Seregno per il supporto durante le campagne a terra ed il personale di tutti i Comuni coinvolti (Biassono, Lissone, Monza, Muggiò e Seregno) per i dati forniti.

Bibliografia

- Basile M. B., Creta T., Guglietta D., Merola P., Allegrini A. (2012), "Metodologie per l'individuazione di coperture in cemento-amianto mediante dati da remoto", *Italian Journal of Remote Sensing*, 44 (1): 27-37
- Bassani C., Cavalli R. M., Cavalcante F., Cuomo V., Palombo A., Pascucci S., Pignatti S. (2007), "Deterioration status of asbestos-cement roofing sheets assessed by analyzing hyperspectral data", *Remote Sensing of Environment*, 109 (3): 361-378
- Chiappino G., Venerandi I. (1991), "La erosione delle coperture in cemento amianto: una importante sorgente di inquinamento ambientale", *La Medicina del Lavoro*, 82 (2): 99-121
- Fiumi L., Leone A. P., Marino C. M. (1998), "Uso dei dati MIVIS per la mappatura delle superfici in aree urbane, con particolare attenzione al cemento-amianto", *Rivista Italiana di Telerilevamento*, 13: 25-30
- Green A. A., Berman M., Switzer P., Craig, M. D. (1988), "A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 26 (1): 65-74
- Kruse F. A., Lefkof A. B., Boardman J. W., Heidebrech K. B., Shapiro A. T., Barloon J. P., Goetz A. F. H. (1993), "The spectral image processing system (SIPS). Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data", *Remote Sensing of Environment*, 44: 145-163
- Marino C.M., Panigada C., Busetto L. (2001), "Airborne hyperspectral remote sensing applications in urban areas: asbestos concrete sheeting identification and mapping", *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, 1: 212-216
- Richter R., Schlöpfer D. (2011), "Atmospheric / Topographic Correction for Airborne Imagery", *DLR report DLR-IB 565-02/11*, Wessling, Germany, pp. 194
- Roggli V. L., Vollmer R. T. (2008), "Twenty-five years of fiber analysis: what have we learned?" *Human Pathology*, 39 (3): 307-315
- Thomas J. R., H. W. Gausman (1977), "Leaf Reflectance vs. Leaf Chlorophyll and Carotenoid Concentrations for Eight Crops", *Agronomy Journal*, 69 (5): 799-802