

ELABORAZIONE ADATTIVA DI IMMAGINI SATELLITARI MULTISPETTRALI PER L' INDIVIDUAZIONE DI COPERTURE IN CEMENTO - AMIANTO

Vincenzo BARRILE , Francesco COTRONEO

Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria - DIMET,
barrile@ing.unirc.it, francesco.cotroneo@unirc.it

Riassunto

Sono noti a tutti i rischi che seguono l'esposizione a lunga durata al materiale amianto, basti pensare alle malattie che influenzano l'apparato respiratorio. Più specificatamente è l'amianto in versione friabile a costituire l'elemento di maggior rischio, soprattutto per le fibre facilmente disperdibili. Nonostante i rischi sopra menzionati, in molte nazioni ancora oggi è alto il numero di fabbricati, per lo più edifici caratterizzati da coperture di eternit (mistura di cemento e amianto), certamente dovuto alle caratteristiche proprie del materiale e al costo contenuto. Varie legislazioni sanciscono opere di bonifica sulle coperture dei tetti d'amianto, tuttavia in molti Paesi le aziende edili continuano ad adoperare tale materiale, malgrado il divieto; inoltre molti cittadini sono restii a praticare le adeguate opere di intervento sulle proprie abitazioni. Il presente lavoro ha come obiettivo quello di fornire (anche agli enti preposti alle operazioni di bonifica), uno strumento economico per l'individuazione automatica degli edifici che fanno uso per la propria copertura di questa tecnologia pericolosissima; a tal fine si è fatto uso di immagini telerilevate e di una procedura di classificazione specifica per la problematica in esame, capace di offrire risultati realmente utili sul piano applicativo e di integrare gli elementi classificati all'interno di un database GIS. Nello specifico è stato implementato un metodo che, considerato un edificio (considerato noto spazialmente) caratterizzato da copertura in cemento amianto, ne confronta lo spettro associato con un altro spettro ricavato da misure di laboratorio; il risultato del confronto è utilizzato per addestrare una rete neurale che sviluppi il metodo di classificazione col fine di migliorarne l'efficienza quando utilizzato in una zona a contorno dell'edificio stesso (elaborazione adattiva). Pur utilizzando immagini di tipo multispettrali (IKONOS e QUICKBIRD) il metodo sembra essere in grado di discriminare le coperture in eternit senza alcun caso né di falso positivo né di falso negativo, questo perché esso si basa su un operatore "misto", ossia implementato sia con tecnologia Soft Computing che di tipo Deterministico, e dunque capace di adattarsi ai disturbi di segnale tipici della zona esaminata.

Abstract

Risk to human health deriving from of exposition to asbestos are known in scientific literature (consider, for example, illness to respiratory organs). In spite of various legislations establish reclamation on roof coverages made by asbestos, building firms use it in many countries still now. This work aims to describe (even to such boards and corporate bodies which are delegated to reclamation procedure) a cheap tool for automatic detection of buildings in which asbestos is used for roof coverage. Remote sensing images obtained by IKONOS and QUICKBIRD have been used, and a procedure based on Soft Computing has been exploited to solve the specific classification problem for the different analyzed areas. In this way, it has been possible to obtain really useful results from an applicative point of view; moreover, it has been possible to integrate classified elements in a GIS database.

Introduzione

I minerali individuati col termine amianto essendo dotati di caratteristiche chimico fisiche molto interessanti a livello industriale (resiste al fuoco e al calore, all' azione di agenti chimici e biologici, all' abrasione e all' usura), sono stati impiegati in maniera considerevole nella produzione di prodotti di larga diffusione ed in particolar modo, in campo edilizio. Il loro impiego specie nei paesi industrializzati ha subito un brusco calo da quando si è costatata la loro nocività per l' uomo a causa delle fibre che esso rilascia nell' ambiente circostante e che sono responsabili di svariate malattie che attaccano l' apparato respiratorio.

Tuttavia esiste, attualmente, una percentuale non trascurabile di manufatti, soprattutto edifici dove l'amianto è stato usato unitamente al cemento per produrre coperture di cemento-amianto, e anche se esso non risulta un fattore di rischio nell' immediato presente, lo sarà, certamente, in futuro man mano che aumenta lo stato di degrado del materiale e con esso le possibilità di rilascio delle fibre (grazie, in particolare, all'azione di agenti come le piogge acide, gli sbalzi termici, l' erosione eolica, microorganismi vegetali). Proprio per questi motivi molte nazioni hanno incluso nella propria legislazione norme indicanti le metodologie e le modalità di bonifica (come rimozione, Incapsulamento, ed confinamento) per le coperture in cemento amianto. L'individuazione geografica e catastale degli edifici che utilizzano tali tecnologie per le proprie coperture è un ovvio prerequisito per l'attuazione delle normative discusse.

Questo lavoro vuole fornire uno strumento che automatizza tale operazione attraverso lo sviluppo di una metodologia applicata all'interpretazione di immagini satellitari ed affiancata da strumenti per la localizzazione delle zone di interesse, come i GIS.

Il modello sviluppato per il riconoscimento delle coperture in cemento amianto opera su una immagine prodotta dal satellite Ikonos, avente un sensore multispettrale con risoluzione pari a quattro metri, raffigurante una zona costiera del Sud Italia (Melito Porto Salvo, R.C.).

L' immagine in un primo momento viene georeferita utilizzando il software ENVI, dopodichè viene integrata in un GIS contenente una banca dati spaziale relativa al catasto della zona sottoposta ad analisi.

Il metodo in esame ha come caratteristica peculiare quella di adattarsi al contesto storico e ambientale della zona in esame; ciò diviene possibile poiché alcune funzioni matematiche cui il metodo fa riferimento, vengono adattate in relazione alle caratteristiche dello spettro di uno o più coperture in amianto presenti nell'area di interesse e di cui si deve avere, evidentemente, conoscenza a priori. Questa ipotesi se in un primo momento può sembrare restrittiva, di fronte ad una analisi attenta della problematica in esame ed all'esperienza sul campo di vari tecnici e rappresentanti degli enti preposti alla bonifica, risulta, a parere degli scriventi, in realtà non esserlo.

Considerazioni preliminari alla descrizione del metodo

Prima di illustrare il metodo applicato per l' individuazione degli elementi di interesse, è utile discutere su quali ipotesi si siano fatte sui dati posseduti, e quali strumenti matematici si siano adottati per definire il metodo in accordo con le ipotesi stesse. Si è partiti col considerare che gli spettri rilevati possono essere pensati in termini di funzioni che hanno come ascissa la lunghezza d'onda, e come ordinata la riflettanza. Esse sono continue nell' intervallo, nel quale opera il sensore Ikonos, e nulle all' esterno. Detto ciò è verificata la seguente relazione:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |S(f)|^2 df < \infty \quad (1)$$

dove $S(f)$ è la funzione che descrive lo spettro ed è ottenuta dall'interpolazione lineare dei valori di riflettanza del generico pixel dell'immagine Ikonos (come noto, questa immagine è organizzata secondo le bande del rosso, del verde, del blu e dell' infrarosso); ne consegue che tale funzione rappresenta un "segnale" di energia (adottando la nomenclatura standard della teoria dei segnali, riferendoci a una funzione nel dominio delle frequenze, piuttosto che nel tempo).

I segnali di energia, come è noto, soddisfano varie proprietà matematiche che permettono di esprimerli come elementi di uno spazio lineare reale con il seguente prodotto scalare associato:

$$\int_{+\infty}^{-\infty} xy \, df \quad (2)$$

In questo caso i segnali d'energia x, y sono definiti positivi a valori reali.

Come noto, l'angolo tra i due segnali x, y (vettori euclidei nello spazio di Hilbert associato) è dato dall'arcosin di ρ . Essendo ρ definito dalla seguente relazione:

$$0 \leq \rho = \frac{|\langle x, y \rangle|}{\|x\| \|y\|} \leq 1 \quad (3)$$

La (3) rappresenta la disuguaglianza di Cauchy-Schwartz e vale 1 quando i segnali sono allineati, mentre è identicamente nulla quando i segnali sono ortogonali (completamente dissimili).

L'operazione di prodotto scalare prima definito tra due segnali, e congiuntamente alle valutazioni derivanti dalla (3), costituisce una tra le tante soluzioni per verificare la similitudine tra i segnali.

Definizione dell'operatore per la classificazione spettrale

L'individuazione delle coperture in cemento amianto viene effettuata da un operatore funzionale chiamato AD (Asbestos Detector) opportunamente costruito a partire dal prodotto scalare definito tra segnali di energia. Esso è una funzione che ha come ingresso lo spettro relativo al pixel da esaminare ed uno spettro di libreria utilizzato per fare il confronto tra le firme spettrali; l'uscita dell'operatore AD varia tra 0 e 1; più ci si avvicina all'unità più gli spettri vengono definiti simili e quindi si suppone che il materiale relativo al pixel in esame sia cemento amianto; conseguentemente l'edificio contenente le coordinate geografiche associate al pixel sarà classificato come elemento da bonificare. L'operatore AD è statocosi definito:

$$AD \langle S_L(f), S_R(f) \rangle = \langle S_L(f), S_R(f) \cdot eq(f) \rangle \quad (4)$$

Dove S_L, S_R sono rispettivamente lo spettro di libreria utilizzato per il confronto e lo spettro associato al pixel analizzato.

$eq(f)$ è inoltre un fattore di equalizzazione implementato con una rete neurale, la quale è specializzata attraverso una tipica tecnica di apprendimento sulla copertura dell'edificio campione (noto). La componente $eq(.)$ ha il compito di filtrare gli errori di rilievo, prima di effettuare le operazioni inerenti il prodotto scalare per la verifica di similitudine.

Per quanto concerne la funzione di equalizzazione $eq(.)$, essa è costruita allo scopo di attutire nel segnale rilevato le componenti frequenziali relative ai disturbi contestuali alla zona geografica sulla quale viene effettuato il rilievo, e che interessano per lo più l'alterazione delle caratteristiche chimico fisiche del cemento amianto (dovute per esempio a particolari inquinanti locali, muffe, ecc...). Nel dettaglio l'operatore AD effettua prima del calcolo del prodotto scalare classico, un'equalizzazione sullo spettro di libreria:

$$eq(f) S_r(f) \approx S_L(f) \quad (5)$$

Dalla (5) si evince che lo sviluppo del metodo suppone che il legame esistente tra i moduli dello spettro tipico del cemento amianto, e quello del segnale rilevato, sia di tipo lineare ed in tal modo esprimibile. La costruzione del fattore $eq(.)$ per modellare i suddetti disturbi, è basata, su una rete neurale feedforward, i cui campioni di addestramento altro non sono che i rapporti tra i valori degli spettri normalizzati del segnale di libreria, ottenuto da misure di laboratorio, e il segnale rilevato di uno o più edifici noti, avente copertura in eternit. L'algoritmo scelto per l'addestramento della rete è l'error back propagation, la funzione d'attivazione per i suoi neuroni è la sigmoideale.

Occorre osservare che la componente $eq(.)$ può essere costruita in vario modo, ad esempio minimizzando dei parametri presenti in un modello dato a priori per $eq(.)$, sempre facendo riferimento alle coperture già note (Barrile Cotroneo 2006).

Applicazione dell'operatore AD specializzato

Dopo aver addestrato la rete neurale che permette alla funzione $eq(.)$ di specializzare l'operatore AD al contesto geografico, si può passare alla fase di utilizzo dello stesso per effettuare lo screening della zona scelta. L'operatore AD comunque è solo una parte, anche se ne rappresenta il cuore, di una metodologia di indagine composita e articolata in più fasi svolte da diversi sottosistemi software (Envi, IDL, MatLab, ArcGIS, moduli ad-hoc) dove alcuni di questi rappresentano l'implementazione di diversi algoritmi utili a svolgere compiti specifici. In dettaglio le fasi suddette sono (Barrile, Cotroneo 2006) :

1. Georeferenzazione dell'immagine Ikonos utilizzata negli esempi riportati in questa nota.
2. Individuazione di ROI (Region Of Interest): nel caso specifico vengono selezionate esclusivamente le porzioni di immagine riferite alle sole coperture degli edifici (eliminando le zone non interessate alle procedure di detect) attraverso overlay del layer GIS (informazioni cartografiche) preposto alla rappresentazione degli edifici..
3. Le ROI così selezionate e rappresentate sotto forma di matrice di pixel vengono esportate da ENVI nel linguaggio IDL il quale esegue (solo su tali pixel cui sono associate coordinate spaziali) le procedure software ricorsive che implementano l'operatore $AD<.,.>$ Le coordinate associate ai pixel, il cui spettro è stato classificato da $AD<.,.>$ essere di cemento-amianto, vengono memorizzate in un file ASCII assieme al relativo valore $AD<.,.>$ e al valore di ρ .
4. ArcGIS importa attraverso una funzione Visual Basic in esso integrata, il file ASCII dal quale sarà generato il layer dei punti positivamente classificati; gli attributi alfanumerici delle relative features conterranno i valori di $AD<.,.>$ e ρ .

E' quindi ovvio che le abitazioni in cemento amianto contenute nel GIS, sono quelle che intersecano le features puntuali di cui prima.

Esempi applicativi

Di seguito si discutono alcuni dei risultati ottenuti, scelti perché rappresentativi dell' intero insieme di esperimenti effettuati.

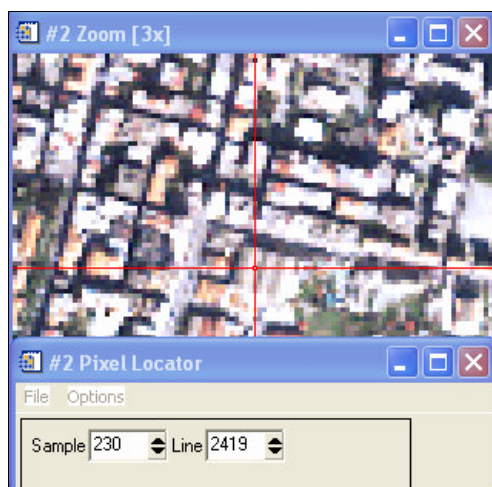


Figura 1. Copertura in amianto, caso noto a priori

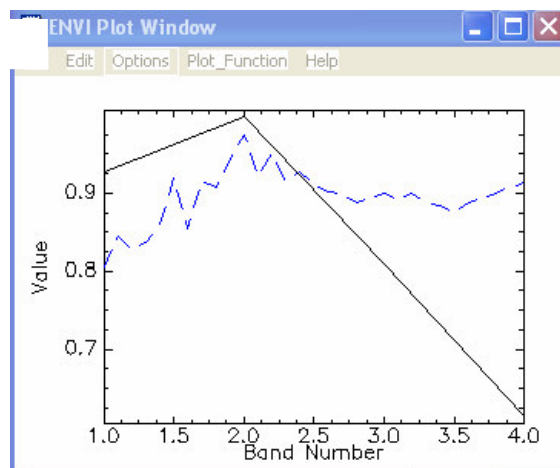


Figura 2. Spettro di libreria e Spettro dell'edificio noto.

In figura 2 viene effettuato il confronto tra lo spettro di libreria (grafico a tratti) e quello dell'edificio di figura 1 (noto): sono questi i segnali utilizzati per l' addestramento della Rete Neurale.

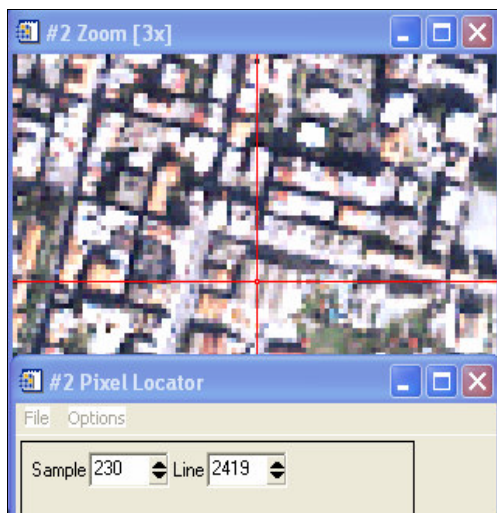


Figura 3. Cemento-Amianto individuato da AD

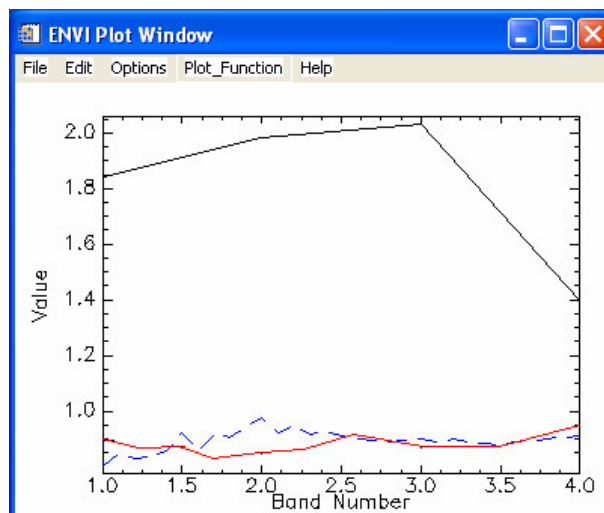


Figura 4. Confronto col segnale di libreria, e spettro $eq(.)$

In figura 3 vi è uno dei nove edifici in cemento amianto individuati dalla metodologia proposta, su tutta la cittadina analizzata. In figura 4 viene evidenziato il confronto tra gli spettri: la spezzata disegnata con tratto continuo rappresenta il segnale rilevato, la linea rossa indica la funzione di equalizzazione $eq(.)$ mentre la spezzata blu lo spettro di libreria. Facendo riferimento alla (5) si comprende la validità del risultato ottenuto su tale edificio essendo confrontabili lo spettro riportato in azzurro con il prodotto tra gli spettri riportati rispettivamente in rosso ed in nero.

Una ulteriore verifica in loco ha confermato la validità del risultato ottenuto, (si osservi inoltre che l'esempio riportato evidenzia come l'operatore implementato si mostri efficace nell'individuare amianto anche in fabbricati di ridotte dimensioni).

Si osserva che, a parere degli scriventi, anche se sembrerebbe più ovvio utilizzare sensori iperspettrali (alta risoluzione spettrale) nello specifico caso è preferibile utilizzare sensori con alta risoluzione spaziale (anche se con risoluzione spettrale non elevata) in quanto è necessario classificare anche abitazioni di piccole dimensioni tenendo sempre presente che la firma spettrale dei vari materiali usati per le coperture degli edificati si diversifica quel tanto che basta alla $eq(.)$ per esaltarne le differenze e permettere all'operatore AD di classificare con un alto grado di affidabilità.

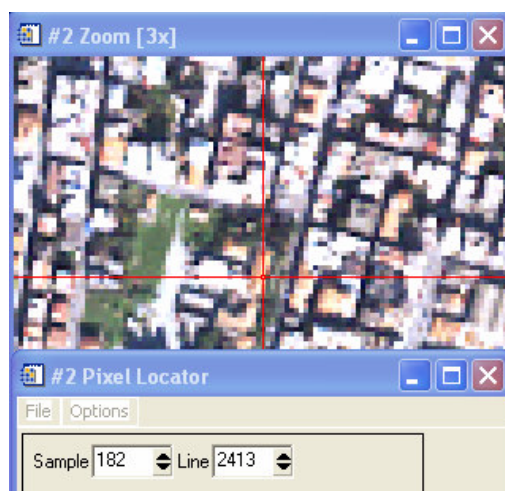


Figura 5. Copertura di altro materiale

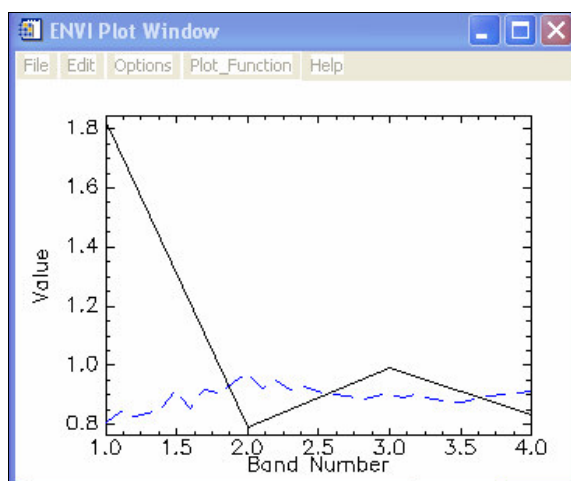


Figura 6. Spettro dell'edificio scartato.

In figura 5 e 6 vengono riportati rispettivamente un esempio di edificio scartato dalla metodologia proposta (perché non individuato come copertura in cemento-amianto) e il relativo spettro.

In figura 7 è mostrato il risultato finale del metodo proposto rappresentante una mappa catastale (nello specifico relativa alla zona di Melito Porto Salvo), realizzata in ambiente ArcGis, dove vengono indicati “automaticamente” per sovrapposizione, mediante un layer puntuale importato da ENVI-IDL, gli edifici classificati.

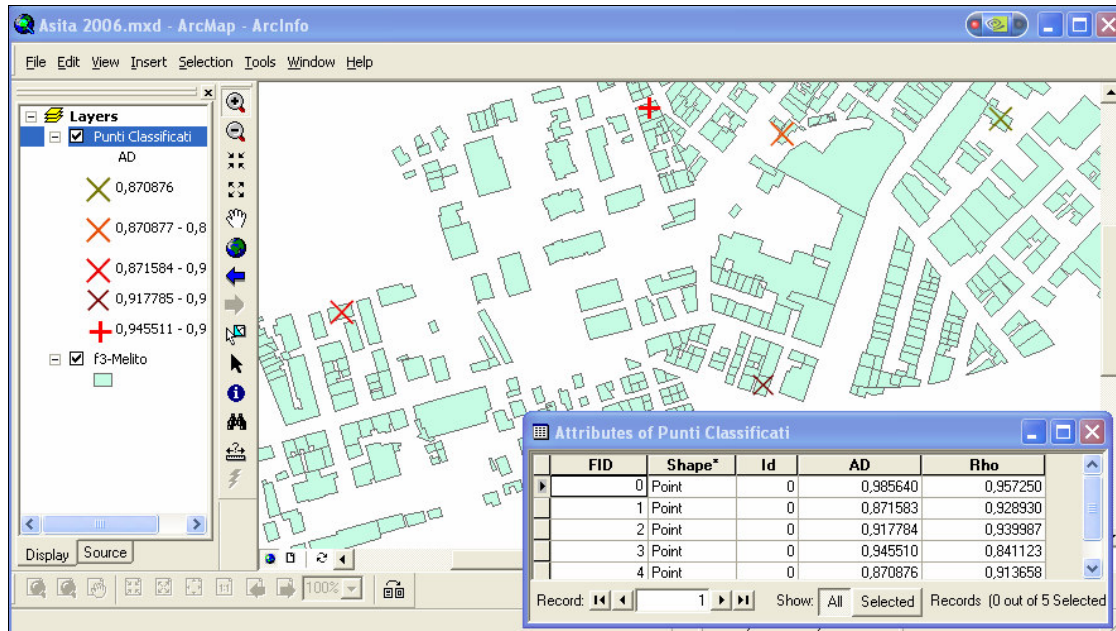


Figura 7. Edifici classificati dall'operatore AD aventi copertura in Cemento-Amianto.

Come si evince dall'analisi della fig. 7 il metodo permette di individuare coperture in cemento amianto con differenti range di precisione.

In particolare i punti con legenda a crocette di colore rosso sono da ritenersi rappresentativi di coperture in cemento amianto classificate con alti valori di AD<, > (alta probabilità di ottenere un risultato corretto) e quindi bassa probabilità di essere falsi positivi.

Conclusioni

In questo lavoro si è affrontato il problema dell'individuazione di coperture in cemento – amianto, al fine di facilitare l'opera di bonifica condotta dai Paesi, aderenti al Piano Continentale di divieto di utilizzo o riciclaggio di amianto.

Dalle prove sperimentali effettuate si può affermare che il metodo sviluppato, grazie alla modalità di specializzazione che opera su di esso e grazie agli strumenti analitici utilizzati, nonché alle ipotesi sulla $eq()$, appare un valido strumento in particolare per gli enti preposti alla bonifica nella fase di individuazione degli edifici sui quali intervenire.

Bibliografia

- Skidmore A., Prins H. (2002), "Environmental Modelling With Gis and Remote Sensing". Taylor & Francis, pp. 156-167.
- Marzano F., Visconti G. (2002), "Remote Sensing of Atmosphere and Ocean from Space", Springer, pp. 19-57.
- Barrile V., Cotroneo F. (2006), "A classifier for IKONOS images to recognize the asbestos cement buildings' coverage", ISPRS COMMISSION VIII MID-CONGRESS SYMPOSIUM on "Remote Sensing Applications for a Sustainable Future".