

# IL CONTRIBUTO DEI DRONI PER LA MAPPATURA

LE TECNOLOGIE DI OSSERVAZIONE DELLA TERRA POSSONO FORNIRE CONTRIBUTI EFFICACI ALLA CONOSCENZA DELLA PRESENZA SUL TERRITORIO DI COPERTURE IN CEMENTO-AMIANTO E DEL LORO STATO DI DEGRADO. L'USO DEI DRONI INCONTRA PERÒ ANCORA FORTI LIMITAZIONI SIA DI TIPO TECNOLOGICO CHE NORMATIVO, SOPRATTUTTO IN AMBITO URBANO.

**L**e tecnologie di Osservazione della Terra possono fornire contributi molto efficaci alla conoscenza della presenza sul territorio di coperture in cemento-amianto e del loro stato di degrado. I contributi riguardano tre diverse finalità:

- **La realizzazione della mappatura**  
Lo scopo è quello di realizzare una cartografia che identifichi con una sufficiente accuratezza tematica i tetti in cemento-amianto e li delimiti con dei poligoni al fine di stimare le superfici delle coperture. L'incrocio della mappatura con altri strati informativi quali un database topografico, uno stradale e il catasto permette di collegare ciascuna copertura a un indirizzo e, se possibile, di identificarne il proprietario.

- **L'aggiornamento della mappatura**  
Permette di verificare per confronto con una mappatura precedente quante coperture in cemento-amianto sono ancora *in situ* e quante sono state rimosse. Dalle statistiche delle coperture rimosse si possono fare delle proiezioni sui tempi necessari per rimuovere tutte le coperture.

- **La valutazione dello stato di degrado** delle coperture per stabilire se si trovano in condizioni tali da sollecitarne la rimozione.

Le tecnologie di osservazione della Terra impiegate fino a pochi anni fa si avvalevano principalmente di riprese aeree con scanner iperspettrali e con camere multispettrali. Recentemente si è andato diffondendo anche l'uso dei droni, sia per le attività di mappatura che per la valutazione dello stato di degrado. In questo articolo si mettono a confronto le diverse tecnologie di telerilevamento oggi disponibili, valutandone vantaggi e svantaggi, con una particolare attenzione per la emergente tecnologia dei droni.

## La realizzazione della mappatura

È innanzitutto necessario sottolineare che qualsiasi metodologia di mappatura delle coperture in cemento-amianto, sia che utilizzi immagini acquisite da aereo che da drone, è affetta da errori. Errori che possono generare falsi negativi e falsi

positivi. Perché una metodologia abbia una solidità scientifica è indispensabile che siano rese liberamente disponibili le valutazioni statistiche della sua accuratezza basate su una casistica sufficientemente ampia di applicazioni. L'accuratezza ottenibile con metodologie di telerilevamento può variare da circa il 70% a oltre il 90%. Naturalmente, l'accuratezza ha un costo. Per ottenere una elevata accuratezza bisogna investire sia sulla qualità delle riprese che su tutto il processo di elaborazione delle immagini. D'altro lato, bisogna considerare che quanto minore è l'accuratezza della mappatura, tanto maggiore è il numero di rilievi a terra necessari per correggere gli errori commessi durante la mappatura. Quindi nella scelta della metodologia si devono considerare anche i costi indiretti dei rilievi a terra, cercando di raggiungere un compromesso ottimale tra il costo complessivo e la qualità del risultato finale. A prescindere dalla metodologia scelta, sarà sempre necessaria una fase di iniziale di calibrazione e una fase finale di validazione. Occorrerà quindi acquisire due insiemi indipendenti di verità a terra statisticamente significativi, il primo dedicato alla calibrazione della classificazione, il secondo dedicato alla valutazione dell'accuratezza. Per quanto riguarda le tecnologie, ciascuna delle tre finalità sopra elencate richiede un approccio specifico. Per la realizzazione della prima mappatura, ci si può avvalere di diverse informazioni che possono essere utilizzate in congiunzione:

- informazione spettrale
- informazione tessiturale
- informazione ausiliaria.

L'*informazione spettrale* può essere acquisita con una camera multispettrale (con 4 o 5 bande spettrali), con uno scanner multispettrale (con un numero di bande spettrali fino ad alcune decine), o con uno scanner iperspettrale (con un numero di bande spettrali fino ad alcune centinaia). Ogni materiale (suolo,

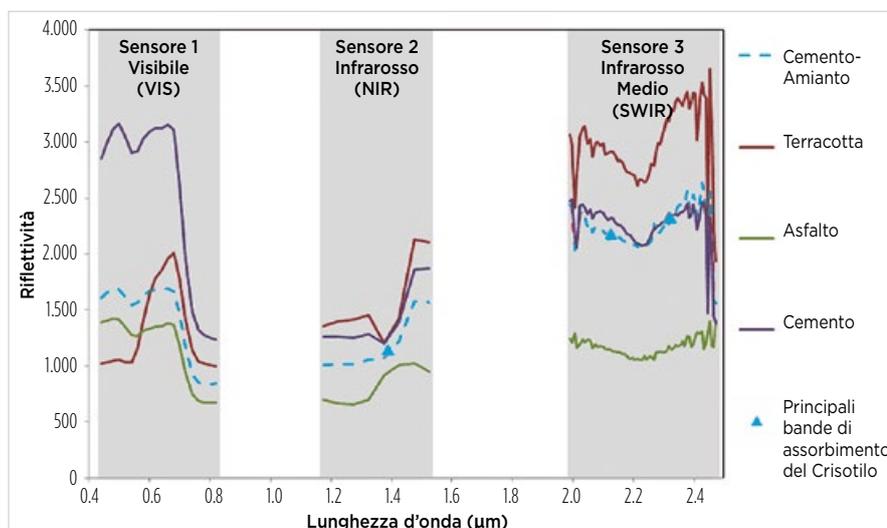


FIG. 1 FIRME SPETTRALI

Firme spettrali di coperture in cemento-amianto, terracotta, asfalto e cemento acquisite con lo scanner iperspettrale aviotrasportato Mivis dotato di 102 bande spettrali. Sono evidenziati gli intervalli spettrali in cui operano tre dei quattro sensori del Mivis: Sensore 1 nel visibile (Vis), Sensore 2 nell'infrarosso vicino (Nir) e Sensore 3 nell'infrarosso medio (Swir). Il quarto sensore, non rappresentato, opera nell'infrarosso termico. I triangoli azzurri indicano la posizione delle principali bande di assorbimento del crisotilo.

vegetazione, acqua, manufatti...) riflette la radiazione elettromagnetica proveniente dal Sole in maniera differenziata. Lo spettro della radiazione riflessa da un determinato materiale è chiamato firma spettrale, perché è specifico di quel materiale e consente di riconoscerlo rispetto ad altri. Anche le coperture in cemento-amianto sono caratterizzate da una firma spettrale, che è influenzata da diversi fattori come le caratteristiche della matrice cementizia e lo stato di alterazione. La capacità di discriminazione tra firme spettrali diverse, ad esempio tra cemento-amianto e cemento, può essere aumentata in vari modi: allargando l'intervallo spettrale in cui opera il sensore, dal visibile (Vis), all'infrarosso vicino (Nir, *Near InfraRed*) fino alla regione dell'infrarosso medio (Swir, *Short Wave InfraRed*); inoltre può essere aumentata accrescendo il numero di bande spettrali. Quindi, uno scanner iperspettrale con un centinaio di bande spettrali che opera dal visibile all'infrarosso medio ha una capacità discriminante delle diverse firme spettrali molto superiore rispetto a quella di una camera multispettrale con sole quattro bande nel visibile e infrarosso vicino. In alcune regioni italiane sono state realizzate delle mappature con lo scanner iperspettrale aviotrasportato Mivis (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*). Il Mivis è dotato di 102 bande spettrali che coprono l'intervallo spettrale dall'infrarosso vicino all'infrarosso medio e fino all'infrarosso termico. Arpa Lombardia ha realizzato nel 2007 nell'ambito del Piano regionale amianto della Lombardia (Pral) una mappatura delle coperture in cemento-amianto su un'area di 2000 km<sup>2</sup> basata su un rilievo aereo con Mivis. L'accuratezza della classificazione è stata del 91%. Gli scanner iperspettrali hanno alcune limitazioni. Per gli scanner aviotrasportati, la massima risoluzione geometrica a terra ottenibile è dell'ordine del metro, quindi non consente di individuare piccole coperture in cemento-amianto come le tettoie. D'altro lato, gli scanner iperspettrali per droni sono molto costosi, non hanno ancora raggiunto una piena maturità tecnologica, e poi non sono ancora disponibili nel range dell'infrarosso medio. È opportuno aprire una breve parentesi sui satelliti. Sono diversi i satelliti dotati di sensori multispettrali con operatività anche nell'infrarosso medio, ma la risoluzione geometrica è inadeguata per gli scopi della mappatura del cemento-amianto. Infatti, il satellite con la migliore risoluzione geometrica nell'infrarosso medio è il WorldView4 dell'agenzia

FIG. 2  
MAPPATURA  
COPERTURE

Mappatura delle coperture in cemento-amianto. La mappatura è stata realizzata da Arpa Lombardia nel 2007 sulla base di un rilievo aereo con lo scanner iperspettrale Mivis.



FIG. 3  
AGGIORNAMENTO  
MAPPATURA

Aggiornamento della mappatura del 2007 tramite fotointerpretazione di ortoimmagini Agea del 2012. Individuate 4 classi: coperture invariate; coperture genericamente variate (rimozione o incapsulamento del cemento-amianto); coperture variate e contestuale installazione di pannelli fotovoltaici; demolizione dell'edificio.



DigitalGlobe, con un pixel di 7,5 m (0,3 m nel pancromatico e 1,4 m nel range Vis-Nir). L'Asi (Agenzia spaziale italiana) sta per lanciare la missione iperspettrale Prisma. Purtroppo, però, la risoluzione geometrica di 30 m ne preclude completamente l'utilizzo per la tematica dell'amianto.

L'informazione tessiturale può facilmente essere acquisita da aereo con una camera digitale con risoluzione a terra dai 10 ai 30 cm. Le ortoimmagini Agea più recenti possono essere utilizzate per questo scopo. Esistono algoritmi per identificare automaticamente la *texture* tipica delle lastre ondulate. Naturalmente, questa caratteristica non individua con certezza le coperture in cemento-amianto, ma l'informazione tessiturale, unita all'informazione spettrale, contribuisce ad aumentare la probabilità di identificare correttamente le coperture in cemento-amianto.

L'informazione ausiliaria è costituita da carte storiche di uso del suolo e/o immagini storiche che forniscono indicazioni sull'età degli edifici. La legge 257/1992 ha proibito l'utilizzazione di materiali contenenti amianto a partire dal 1994. Quindi una copertura situata su un edificio realizzato dopo il 1994 difficilmente potrà essere in cemento-

amianto. L'accuratezza della mappatura aumenta ulteriormente se oltre all'informazione spettrale e tessiturale si aggiunge l'informazione sull'età stimata dell'edificio.

## L'aggiornamento della mappatura

L'aggiornamento della mappatura è un'operazione molto più facile rispetto alla realizzazione della prima mappatura. L'obiettivo infatti è controllare se le coperture già identificate come cemento-amianto nella prima mappatura sono state rimosse. La sostituzione di una copertura determina sempre un cambiamento molto evidente nella risposta spettrale, che può essere riconosciuto facilmente anche in una normale ortoimmagine aerea. È però impossibile riconoscere i casi in cui le coperture in cemento-amianto sono state incapsulate o sovracoperte. Bisogna comunque considerare che queste pratiche sono sempre meno adottate, perché economicamente non convenienti. Esistono poi altre situazioni ancora più facili da individuare: quella in cui dopo la sostituzione della copertura sono stati installati dei pannelli fotovoltaici e quella più radicale in cui l'edificio è stato demolito.

## La valutazione dello stato di degrado delle coperture

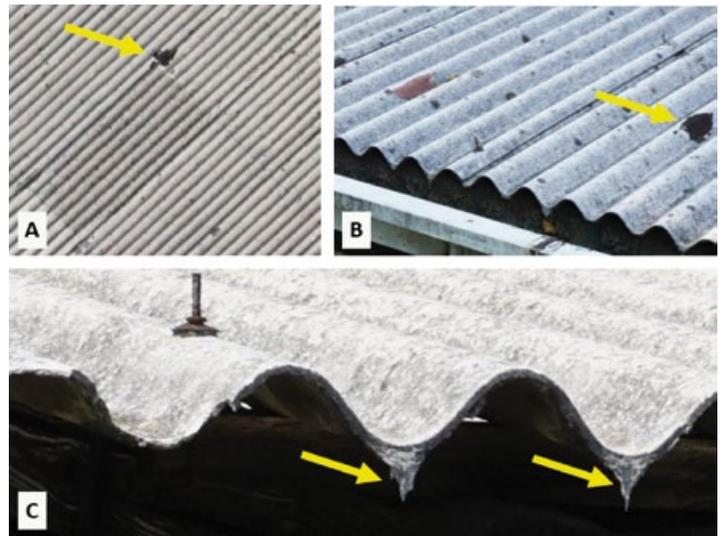
Alcuni segni di degrado a cui le coperture in cemento-amianto vanno incontro con l'invecchiamento come le crepe, le fratture e le cosiddette "stalattiti" che si formano lungo i bordi delle lastre, sono facilmente identificabili in immagini ad altissima risoluzione con dimensione del pixel inferiore al centimetro. Questa risoluzione può essere ottenuta con riprese da drone nadirali e oblique. Arpa Lombardia ha sperimentato l'efficacia delle riprese da drone su alcune coperture in cemento-amianto nel comune di Bergamo. L'uso del drone è preferibile all'ispezione tradizionale in tutti i casi in cui i tetti sono difficilmente accessibili oppure le strutture sono pericolanti.

### Analisi comparata delle tecnologie: il contributo dei droni

Sono ormai diverse le aziende che offrono servizi di mappatura delle coperture in cemento-amianto basate su rilievi da drone. L'informazione spettrale che oggi può essere acquisita da drone è inferiore a quella ottenibile da aereo. Come già detto in precedenza, non sono ancora disponibili per i droni con peso al decollo inferiore ai 25 kg (cioè i droni comunemente utilizzati per scopi civili) scanner iperspettrali con un'estensione fino all'infrarosso medio. Comunemente vengono utilizzate camere multispettrali con 4 o 5 bande nel visibile e nell'infrarosso vicino. La scarsità di informazione spettrale acquisibile da drone può essere parzialmente compensata con l'elevata informazione tessiturale e con l'integrazione di informazioni ausiliarie. La *tabella* fornisce una valutazione comparata dell'efficacia delle riprese aeree e da drone per le tre finalità: la mappatura, il suo aggiornamento e la valutazione dello stato di degrado. Come si può vedere, non esiste ancora una soluzione ottimale che risponda a tutte e tre le finalità. In estrema sintesi: la mappatura è sicuramente l'attività più critica; l'aggiornamento non presenta particolari problemi e può essere realizzato con normali ortoimmagini aeree; la valutazione dello stato di degrado può essere realizzata con grande efficacia solo con immagini da drone. L'uso dei droni nelle aree urbanizzate, sia a fini di mappatura che di valutazione dello stato di degrado, presenta comunque notevoli criticità perché la normativa Enac (Ente nazionale aviazione civile)

FIG. 4 STATO DI DEGRADO

Valutazione dello stato di degrado delle coperture in cemento-amianto. Le riprese nadirali e oblique Rgb ad altissima risoluzione (pixel < 1 cm) eseguite con drone multirottore permettono di individuare facilmente alcune tipologie di degrado delle coperture: fratture delle lastre (A, B) e formazione delle "stalattiti" (C).



Piattaforma	Sensore			Livello di efficacia			
	Tipo	Range spettrale	Pixel (m)	1. Mappatura		2. Aggiornamento mappatura	3. Valutazione stato di degrado
				Analisi multispettrale	Analisi texture		
Aereo	Camera RGB	VIS	0.10-0.20	☹️	😊	😊	😐
	Camera multispettrale	VIS-NIR	0.10-0.20	😐	😊	😊	😐
	Scanner multispettrale/iperspettrale	VIS-NIR-SWIR	1.00-3.00	😊	☹️	😊	☹️
Drone	Camera RGB	VIS	0.01-0.10	☹️	😊	😊	😊
	Camera multispettrale	VIS-NIR	0.05-0.10	😐	😊	😊	😐
	Scanner multispettrale/iperspettrale	VIS-NIR-SWIR	Non ancora disponibile	☹️	☹️	☹️	☹️

TAB. 1 EFFICACIA DI AEREI E DRONI

Livello di efficacia ottenibile con l'aereo e il drone e con diversi sensori posti a bordo di queste piattaforme per ciascuna delle tre attività (mappatura, aggiornamento mappatura, valutazione dello stato di degrado). I migliori risultati nella mappatura si ottengono integrando l'analisi multispettrale all'analisi della texture. L'aggiornamento della mappatura si ottiene facilmente anche con immagini a media risoluzione. Per la valutazione dello stato di degrado delle coperture occorrono invece immagini ad altissima risoluzione acquisibili solo da drone.

vigente è molto vincolante. L'uso dei droni nei contesti urbani è inquadrato da Enac nell'ambito delle operazioni critiche. Il pilota di drone deve quindi avere superato un apposito esame per operazioni critiche e il drone deve essere autorizzato da Enac per scenari critici standard, i quali introducono forti limitazioni al volo (es. quota massima di volo 50 m, istituzione di un *buffer no-flight* di 50 m attorno all'area di interesse...). Il problema può essere superato con l'uso di droni riconosciuti inoffensivi da Enac. In questa categoria rientrano due tipologie di droni: 1) tutti i droni con peso complessivo al decollo inferiore a 0,3 kg 2) i droni con peso inferiore a 2 kg che soddisfino ai requisiti di inoffensività definiti da Enac (linea guida Enac n. 2016/003-NAV, Ed. n. 1 del 1 giugno 2016 *Aeromobili a pilotaggio remoto con caratteristiche di inoffensività*). I droni della prima categoria sono troppo leggeri per eseguire rilievi di livello professionale su area vasta. I droni della seconda categoria sono poco diffusi: esistono a

oggi sul mercato italiano due modelli ad ala fissa che soddisfano i requisiti di inoffensività. Resta comunque il problema di trovare spazi di atterraggio adeguati per un drone ad ala fissa in un contesto urbano. Non sono inoltre infrequenti nelle aree urbane altre limitazioni al volo dovute alla presenza di aeroporti nelle vicinanze e di obiettivi critici (es. carceri). Quindi i droni oggi sono difficilmente impiegabili in Italia per riprese a tappeto sulle aree urbane. Sono invece più adatti a rilevamenti puntuali di edifici isolati.

In conclusione, i droni rappresentano sicuramente una tecnologia promettente, ma ad oggi esistono ancora forti limitazioni sia di tipo tecnologico che normativo al loro uso nel monitoraggio delle coperture in cemento-amianto.

**Enrico Zini**

Dirigente UO Ricerca, innovazione, integrazione delle conoscenze, Direzione tecnico-scientifica, Arpa Lombardia