

## **RAPPRESENTAZIONE, MAPPATURA E MONITORAGGIO DI AREE INTERESSATE DA EVENTI NATURALI MEDIANTE IL TELERILEVAMENTO AEREO**

Gambardella C. & Parente R.  
*Consorzio Universitario Benecon*  
*info@benecon.it*

Scotto di Santolo Anna  
*Università Telematica Pegaso*  
*anna.scottodisantolo@unipegaso.it*

### **Sommario**

L'attività di ricerca multidisciplinare presentata verte sulla messa a punta di una metodologia di acquisizione, interpretazione e rappresentazione di dati acquisiti da diversi sensori finalizzati alla conoscenza, mappatura, rappresentazione e il monitoraggio del territorio attraverso la tecnica del telerilevamento aereo. In questo lavoro si riporta, ad esempio, una attività svolta per la stima dei danni ed in particolare della quantificazione e ubicazione dei detriti prodotti da un evento alluvionale. In particolare si propone la rielaborazione dei dati iperspettrali e termici acquisiti nei giorni successivi l'evento alluvionale che ha colpito gli abitati di Corigliano e Rossano Calabro, verificato in Calabria il 12 agosto 2015. I risultati ottenuti sono stati rappresentati attraverso la piattaforma GIS arricchita da dati ausiliari quali DEM, DTM, mappe aeronautiche e Carte del Rischio.

### **1. Introduzione**

Il telerilevamento consente di ricavare informazioni, qualitative e quantitative, su oggetti posti a distanza e sull'ambiente circostante mediante misure di energia elettromagnetica, emessa, riflessa o trasmessa dagli stessi oggetti (Brivio et al., 2006). Il vantaggio principale è quello di fornire informazioni su ampia scala spaziale ed elevata risoluzione temporale, per aree poco accessibili da terra. Numerosi sono gli strumenti disponibili per l'acquisizione dei dati montati su piattaforme satellitari o aeree o da campo, sensori passivi, quali camere o scanner multi o iperspettrali – sensori attivi, quali i laser scanner o radar. Nell'ambito della valutazione del Rischio, ed in particolare idrogeologico e sismico, numerose sono le applicazioni disponibili [e.g. Fornaro et al, 2012; Infante et al. 2019 per le infrastrutture lineari].

In seguito all'evento alluvionale del 12 agosto 2015, che ha interessato l'area dei comuni di Corigliano e Rossano Calabro nella zona nord-est della Regione Calabria in Italia meridionale, il centro Benecon si è occupato dell'attività di telerilevamento aereo per l'identificazione e successiva stima dei danni ai servizi e alle infrastrutture, in quanto esso garantisce il rilievo, in questo caso con sensoristica passiva, di aree di grandi dimensioni anche di zone inaccessibili a causa di frane e detriti e in breve tempo. Il fenomeno alluvionale del 12 agosto è perdurato per un totale di circa 16 ore, mentre la massima intensità è stata raggiunta dopo 6 ore, tra le 02:00 e le 8:00 come ben descritto da Rago e colleghi e ai quali si rimanda [Rago et al. 2021].

L'attività di acquisizione dell'area, indicata in Fig. 1, è stata condotta il 14 agosto 2015 utilizzando il sensore iperspettrale CASI-1500, il sensore termico TABI-320 ed il sensore ottico PhaseOne IXA a bordo del velivolo P166-DP1. La campagna di acquisizione ha coperto un'area di 140km<sup>2</sup> ed i dati, dopo esser stati elaborati e post-processati, hanno arricchito la piattaforma GIS insieme a dati ancillari

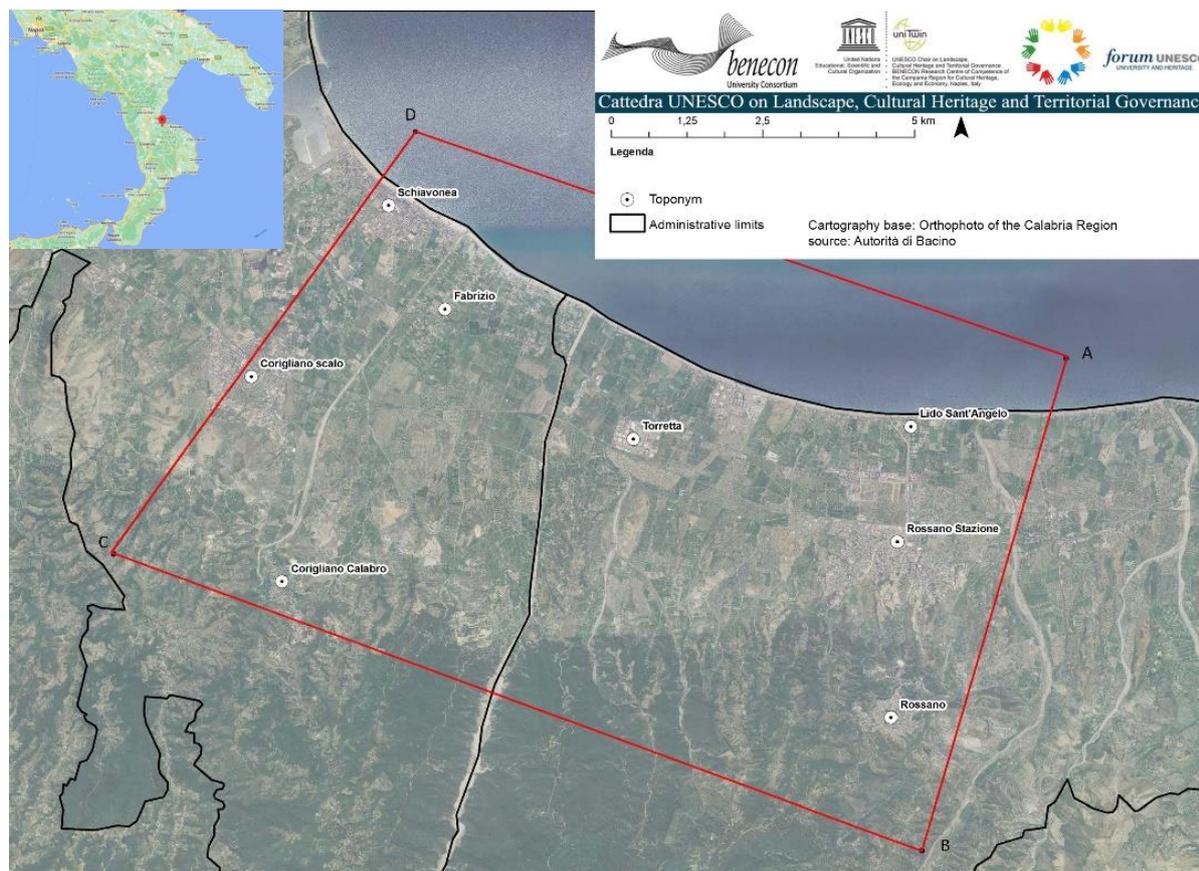


Fig 1. Inquadramento territoriale delle aree interessate dall'evento del 12 agosto 2015. Il territorio sorvolato comprende le località di Corigliano Calabro e Rossano.

utili per la profonda comprensione del territorio in itinere – ex ante – ex post evento alluvionale.

## 2. Metodologia

Data la varietà di fenomeni riscontrabili al suolo nei tempi immediatamente successivi all'evento alluvionale, è stata utilizzata la piattaforma plurisensore comprendente tecnologia iperspettrale con il sensore CASI-1500, tecnologia termica con il sensore TABI-320 e tecnologia ottica con il sensore PhaseOne IXA corredati da piattaforma inerziale INS ed antenna GPS indispensabile per la corretta georeferenziazione dei dati.

L'integrazione dei sensori con specifici piani di volo e la lettura comparata dei rispettivi dati è risultata efficace per molteplici elaborazioni tematiche atte a discretizzare la complessità dei fenomeni antropici e naturali non riscontrabili immediatamente ad occhio nudo.

### 2.1 Strumentazione

Il sensore iperspettrale CASI-1500 misura la radiazione solare riflessa dal territorio sorvolato, tra le lunghezze d'onda del visibile e del vicino infrarosso. In particolare è un sistema passivo che misura l'energia elettromagnetica tra i 380 e i 1050 nm acquisendo in modalità pushbroom immagini con risoluzione lineare di 1500 pixel discretizzabili in 288 canali dall'ultravioletto al vicino infrarosso. Il risultato, in seguito alle operazioni di elaborazione e post elaborazione dei dati telerilevati, è un modello georeferenziato con diversi layer sovrapposti corrispondenti alle lunghezze d'onda settate in fase di preparazione all'acquisizione [Melesse et al., 2007].

Il sensore termico TABI-320 (Thermal Airborne Broadband Imager) opera con un singolo canale nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso termico, tra gli 8 ed i 12 microns.

Il sensore ottico PhaseOne ha permesso di eseguire riprese aeree di grande dettaglio sull'area sorvolata. Il prodotto della post elaborazione delle immagini PhaseOne sono delle foto nadirali essenziali per descrivere al meglio fenomeni osservati con i dati iperspettrali e sciogliere eventuali ambiguità di interpretazione.

## *2.2 Metodologia*

L'attività di indagine sulle aree alluvionate è stata organizzata nelle seguenti fasi:

- Individuazione dell'area da sorvolare
- Definizione dei canali e relativi ranges spettrali di acquisizione
- Pianificazione ed esecuzione della scansione
- Pre-elaborazione del set di informazioni acquisite
- Produzione delle rappresentazioni tematiche in relazione alle discretizzazioni possibili ed all'analisi comparativa e multitemporale dei dati telerilevati.

Il protocollo-tecnico, ha previsto il reperimento e la sistematizzazione delle cartografie e delle ortofoto regionali ufficiali, dei modelli tridimensionali e di ogni riferimento geodetico certificato del territorio da sorvolare.

L'acquisizione e l'elaborazione software consistono sinteticamente nella concatenazione di quattro gruppi di dati:

1. Le scansioni fotografiche;
2. I dati iperspettrali e termici;
3. I dati di assetto e posizione del velivolo;
4. I dati delle stazioni permanenti GNSS a terra.

L'insieme di dati, una volta elaborati, costituiscono un modello multilayer georeferenziato nel quale ogni strato corrisponde ad una lunghezza d'onda.

Focalizzando l'attenzione sulle sole acquisizioni iperspettrali, l'interrogazione verticale dell'immagine iperspettrale su ciascun pixel rimanda alla lettura puntuale dei valori elettromagnetici mediati e classificati nei rispettivi canali di scansione del sensore [Bachmann et al., 2010; Shippert, 2003].

### Parametri di acquisizione

Il sensore CASI-1500, per il sorvolo dell'area di Corigliano Calabro e Rossano è stato configurato per un'acquisizione a 36 bande con una risoluzione pixel di 1 metro al suolo, da cui è derivata per la camera PhaseOne iXA una risoluzione pixel di 0,14 metri al suolo. L'acquisizione iperspettrale/ottica quindi, ha coperto un'area di 141 km<sup>2</sup>.

Mentre, il sensore TABI-320, è stato configurato per l'acquisizione delle variazioni di temperatura al suolo nel segmento 0-60°C, uno standard utilizzato per territori eterogenei ed un pixel a terra di 1,4 m.

### Post processing dei dati

Le inondazioni occasionali, nel corso di un evento alluvionale, lasciano evidenti tracce di detriti sulle aree urbane e rurali. La firma spettrale dei detriti può essere identificata in maniera automatica su vaste aree mediante criteri di similarità. Questo approccio, è estremamente efficace laddove il contrasto spettrale tra i detriti e la superficie interessata dall'evento è elevato, come nel caso di strade, ferrovie e altre superfici artificiali. Nelle aree rurali l'interpretazione visiva dei dati iperspettrali nelle loro rappresentazioni in colore naturale e in falso colore permette di identificare il percorso dei flussi di detriti in maniera più efficace. Le aree inondate presentano inoltre una diversa inerzia termica rispetto a quelle non danneggiate, consentendone la perimetrazione su base interpretativa nelle immagini termografiche. L'algoritmo utilizzato per la valutazione della similarità è lo Spectral Angle Mapper (SAM) [Kruse et al., 1993]. Una misura iperspettrale a N canali è un vettore in uno spazio N-dimensionale. Il SAM calcola la distanza angolare esistente tra la misura e una collezione di firme spettrali predefinite, e attribuisce alla misura medesima etichetta tematica della firma di riferimento più vicina [Girouard et al., 2004]. Per l'elaborazione con algoritmo SAM dei dati telerilevati in questa missione, le firme spettrali di riferimento sono state raccolte nelle stesse immagini CASI, in

corrispondenza dei maggiori corsi d'acqua.

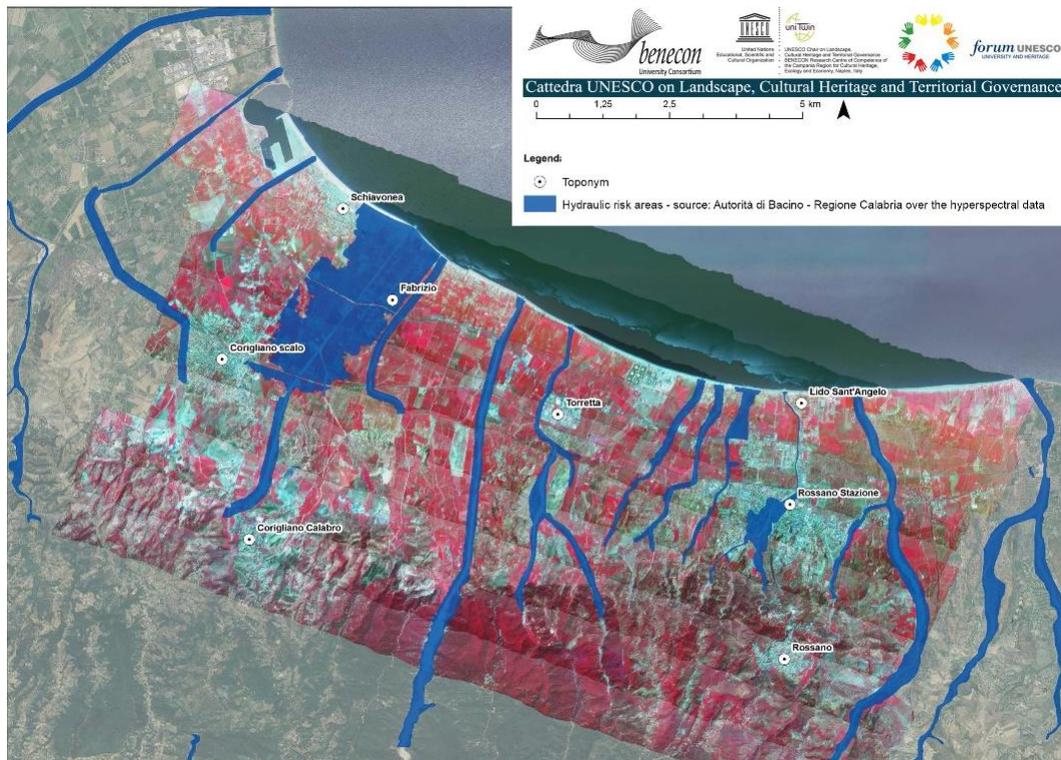


Fig 2. Intersezione delle elaborazioni dei dati iperspettrali del volo del 14 agosto 2015 con quelli forniti dall'Autorità di Bacino

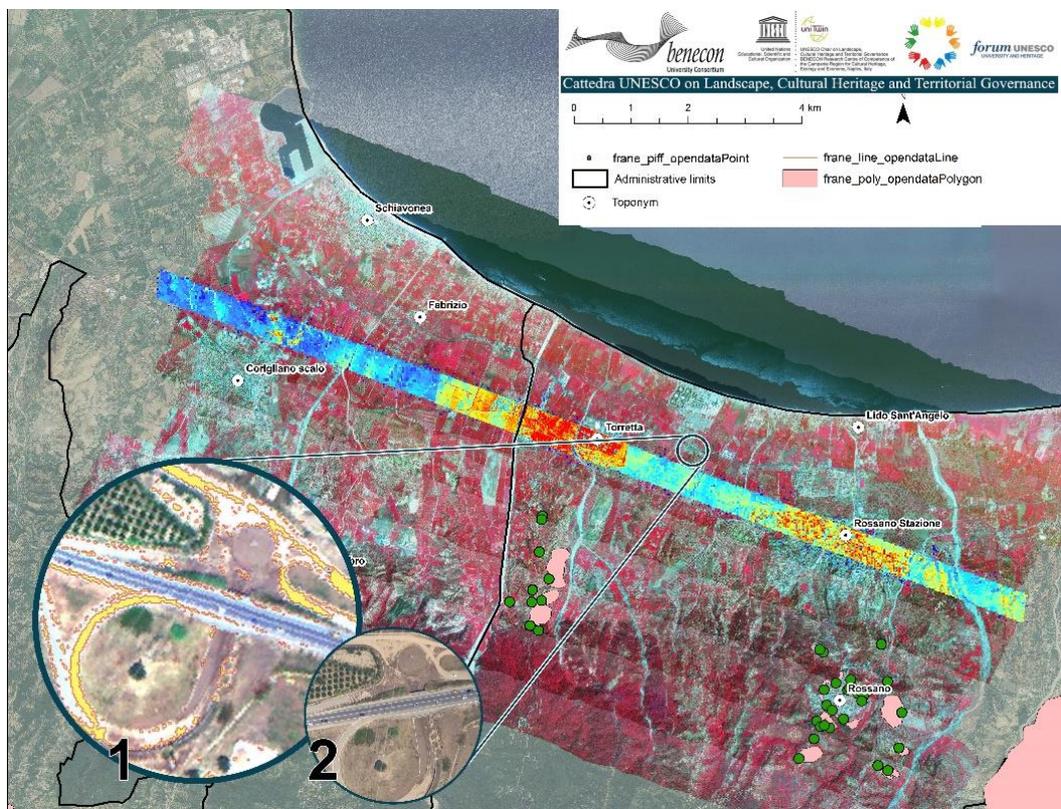


Fig 3. Intersezione del dato iperspettrale e termico con l'inventario IFFI, (modificato da ISPRA, 2017).1: Elaborazione dei dati iperspettrali: in giallo le aree identificate con algoritmo SAM delle aree ricoperte da detriti; 2: Vista fotografica da PhaseOne eseguita il 14 agosto 2015

### 3. Risultati

Il dettaglio in altissima risoluzione ha permesso ai ricercatori una quantificazione visiva del danno grazie alla perimetrazione semi-automatica delle aree danneggiate con l'utilizzo dell'algoritmo SAM. Innanzitutto è stata effettuata una lettura multi-layer del territorio a supporto dei risultati derivanti dalle attività di analisi dello stesso. In figura 2, ad esempio, sono riportati i risultati dell'elaborazione dei dati iperspettrali sovrapposti ai dati estratti dal Piano Gestione Rischio Alluvioni [PAI www.]. In Figura 3, inoltre, i dati sono sovrapposti con il catalogo dei movimenti franosi, IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) 2017 []. Secondo l'inventario, per ogni fenomeno è posizionato un punto in corrispondenza del coronamento della frana, un poligono quando la frana è cartografabile o una linea quando la larghezza della frana non è cartografabile. Nell'insero 1 è riportato lo zoom dell'elaborazione dei dati iperspettrali: in giallo sono indicate le aree ricoperte da detrito identificate con algoritmo SAM; mentre nell'insero 2 la vista fotografica catturata da PhaseOne eseguita il 14 agosto 2015 durante il volo progettato.

Per testare l'efficacia dell'elaborazione dei dati acquisiti è stato verificato l'algoritmo SAM in tre differenti scenari:

1. area agricola;
2. area urbana e
3. sulle reti infrastrutturali.

In figura 3 si riportano le immagini dei tre casi studio. In Fig. 3a la foto pre evento disponibile grazie a Google Street View; in Figura 3b vista fotografica da PhaseOne eseguita il 14 agosto 2015, dopo l'evento alluvionale; mentre in Fig. 3c l'elaborazione dei dati iperspettrali. In particolare si osservano in giallo le aree identificate con l'algoritmo SAM adottato delle aree ricoperte da detriti. Si è osservata una buona corrispondenza delle aree di detrito individuate dall'algoritmo e quelle realmente interessate dai detriti. Attualmente si sta affinando la procedura attraverso nuovi algoritmi, grazie anche all'intelligenza artificiale, per la messa a punto di sistemi di *early warning*.

La procedura consente dunque in tempi molto rapidi di determinare la distribuzione planimetrica dei detriti sul territorio, e quindi di quantificare i volumi di detriti da rimuovere. La visualizzazione dei dati sulle ortofoto ad alta definizione consente di definire le procedure di protezione civile ed infine, ma non ultima, di quantificare la stima dei danni.

### 4. Conclusioni

L'articolo descrive l'attività di telerilevamento aereo effettuata dal Consorzio Universitario Benecon per rappresentare, mappare e monitorare il territorio immediatamente dopo un fenomeno alluvionale. Per dimostrare la procedura sono stati presentati i dati relativi alla ricognizione post-evento del fenomeno alluvionale di Corigliano e Rossano Calabro (CS) occorso il 12 agosto del 2015 in Calabria. Il telerilevamento aereo era stato scelto perché il rilevamento sul campo era ostacolato dalla presenza di numerosi detriti. Il vantaggio principale della tecnica è appunto quello di fornire informazioni su ampia scala spaziale ed elevata risoluzione temporale, per aree poco accessibili da terra. La metodologia ha portato alla discretizzazione dei *big data* in anomalie suddivise automaticamente in poligoni senza necessità di misure dirette e, così facendo, ad una riduzione dei tempi di post-elaborazione. La procedura proposta rappresenta un ottimo strumento per ottenere dati indispensabili per la valutazione dei danni e per la gestione dell'emergenze, oltre al monitoraggio del territorio.

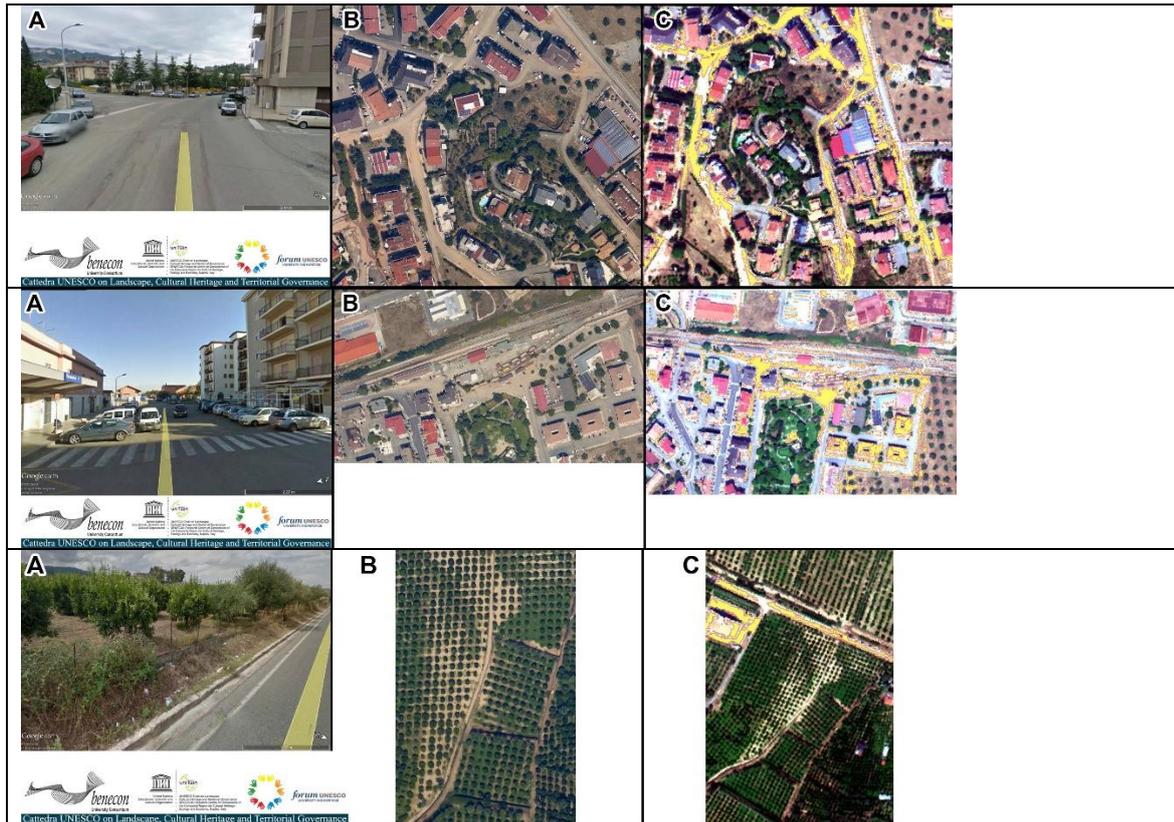


Fig 4. Abaco comparativo tra immagini di aree agricole, immagini nadirali fotografiche e iperspettrali  
A: Vista da google streetview antecedente all'evento del 12 agosto 2015.  
B: Vista fotografica da PhaseOne eseguita il 14 agosto 2015.  
C: Elaborazione dei dati iperspettrali: in giallo le aree identificate con algoritmo SAM

## Bibliografia

- Bachmann, C.M.; Nichols, C.R.; Montes, M.J.; Li, R.R.; Woodward, P.; Fusina, R.A.; McIlhany, K. (2010). Retrieval of substrate bearing strength from hyperspectral imagery during the Virginia Coast Reserve (VCR'07) multi-sensor campaign. *Mar. Geod.* 2010, 33, 101–116.
- Fornaro, G.; Reale, D.; Verde, S. (2012). Potential of SAR for monitoring transportation infrastructures: An analysis with the multi-dimensional imaging technique. *J. Geophys. Eng.* 2012, 9, S1–S9.
- Girouard, G., Bannari, A., El Harti, A., & Desrochers, A. (2004). Validated spectral angle mapper algorithm for geological mapping: comparative study between QuickBird and Landsat-TM. In XXth ISPRS congress, geo-imagery bridging continents, Istanbul, Turkey (Vol. 12, p. 23).
- Infante D., Di Martire D., Calcaterra D., Miele P., Scotto di Santolo, A. Ramondini M., (2019). Integrated Procedure for Monitoring and Assessment of Linear Infrastructures Safety (I-Pro MONALISA) Affected by Slope Instability. *Applied Science* 2019, 9, 5535; doi:10.3390/app9245535.
- ISPRA (2021). <https://www.progettoiffi.isprambiente.it/> e <https://idrogeo.isprambiente.it/app/page/open-data>
- Kruse, F.A.; Lefkoff, A.B.; Boardman, J.W.; Heidebrecht, K.B.; Shapiro, A.T.; Barloon, P.J.; Goetz, A.F.H. (1993). The spectral image processing system (SIPS)—Interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote Sens. Environ.* 1993, 44, 145–163.
- Melesse, A.M.; Weng, Q.; Thenkabail, P.S.; Senay, G.B. (2007). Remote sensing sensors and applications in environmental resources mapping and modelling. *Sensors* 2007, 7, 3209–3324.
- Rago, V., Lupiano, V., Chiaravalloti, F., Chiodo, G., Gabriele, S., Pellegrino, A. D., .. & Iovine, G. (2021). Geomorphic effects caused by heavy rainfall in the Corigliano-Rossano area (NE Calabria, Italy) on 12 August 2015. *Journal of Maps*, 17(2), 279-288.
- Shippert, P. (2003). Introduction to hyperspectral image analysis. *Journal of Space Communication*, 2(3), 8.