

Il telerilevamento applicato al monitoraggio delle risorse naturali come l'acqua

Relativamente al monitoraggio delle risorse naturali come l'acqua, l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite indica, tra gli obiettivi da perseguire, quelli di garantire la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e la riduzione del suo inquinamento. In questo contesto, il telerilevamento svolge un ruolo di primo piano.

DOI 10.12910/EAI2023-021

di **Elena Candigliota, Francesco Immordino**, Laboratorio Tecnologie per la Dinamica delle Strutture e la Prevenzione del rischio sismico e idrogeologico - ENEA

Con il termine telerilevamento si intende quell'insieme di tecniche, strumenti e metodologie per l'acquisizione a distanza e l'interpretazione di dati relativi a oggetti e fenomeni localizzati in un determinato punto della superficie terrestre (Dainelli, 2011). **Il telerilevamento, in inglese remote sensing, prevede dunque l'acquisizione dell'informazione sull'oggetto rilevato senza essere a contatto con esso, permettendo così di estendere e migliorare le capacità percettive dell'occhio umano.**

Le informazioni qualitative e quantitative sull'ambiente e su oggetti posti a distanza, sono ricavate sulla base della misura dell'energia elettromagnetica emessa, riflessa o trasmessa, che interagisce con le superfici di interesse (Lillesand et al., 2004; Brivio et al., 2006); in tal modo è possibile l'identificazione e la separazione di materiali differenti attraverso la loro firma spettrale. L'insieme di tutte le radiazioni elettromagnetiche forma lo spettro elettromagnetico, ovvero la rappresentazione su un asse di tutte le lunghezze d'onda suddivise in regioni, definite bande spettrali.

L'andamento spettrale della riflettività varia in funzione del tipo di superficie, delle caratteristiche geometriche, della natura e della composizione del corpo su cui incide la radiazione elettromagnetica, ed è possibile analizzare il valore della riflettanza spettrale di un corpo in relazione alle varie lunghezze d'onda dello spettro.

La risposta di un oggetto alle radiazioni elettromagnetiche può infatti essere rappresentata con un grafico

nel quale viene indicata la percentuale di energia che l'oggetto riflette nelle varie parti dello spettro; il grafico riporta sull'asse delle ascisse le lunghezze d'onda e su quello delle ordinate la percentuale di luce riflessa. La curva ottenuta prende il nome di firma spettrale dell'oggetto, in quanto caratteristica distintiva della risposta di un particolare corpo alla radiazione incidente.

L'osservazione della Terra è effettuata attraverso sensori che posso-

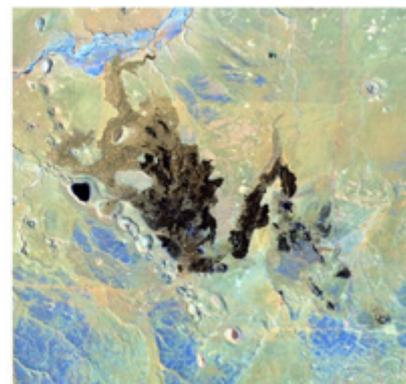


Fig. 1 - Rappresentazione a colori naturali e falsi colori. La presenza delle bande che abbracciano differenti regioni dello spettro elettromagnetico, permette l'osservazione della superficie terrestre con varie sintesi cromatiche RGB. In alto: colate laviche (colore naturale e falso colore); in basso: area pedemontana veneta in differenti sintesi cromatiche in falso colore che permette la discriminazione fra le aree vegetate (in rosso) e suoli-aree antropizzate (in ciano) e falso colore in cui è possibile discriminare il reticolo stradale e i centri urbani (viola) e aree vegetate (in verde brillante) (immagini Landsat 7ETM - USGS).



Fig. 2. Sistemi territoriali: piana fluviale di origine tettonica delimitata da sistemi di faglie (immagini Landsat 7ETM - USGS).

no essere installati su diversi tipi di piattaforme; i sensori utilizzati nel telerilevamento vengono distinti in sensori passivi e sensori attivi.

I sensori passivi (ottici) misurano la radiazione emessa o riflessa dagli oggetti, registrando dunque l'energia disponibile naturalmente; questo avviene solo quando il Sole, essendo la principale sorgente di energia elettromagnetica, illumina l'oggetto. L'acquisizione dei sensori passivi è limitata, infatti, alle ore diurne e in assenza di copertura nuvolosa.

I sensori attivi (radar), invece, generano loro stessi la radiazione da inviare verso la superficie terrestre, registrandone poi la componente riflessa; il vantaggio dei sensori attivi risiede nella possibilità di ottenere immagini anche con coperture nuvolose e nelle ore notturne.

Una delle caratteristiche più importanti delle immagini satellitari è la possibilità di osservare in modo

sinottico la superficie terrestre osservando le mutue relazioni fra le strutture e gli oggetti presenti nella porzione di territorio acquisita dal sensore satellitare, a scale che vanno da quella locale a quella regionale (Dainelli, 2011). Nelle immagini satellitari multispettrali la presenza delle bande che abbracciano differenti regioni dello spettro elettromagnetico, permette l'osservazione della superficie terrestre con varie sintesi cromatiche a colori naturali e falsi colori (fig. 1); da queste ultime possono essere ricavate le informazioni sulle proprietà delle coperture e degli oggetti presenti nella superficie terrestre: natura delle rocce e dei suoli, densità e stato della vegetazione, presenza/indici di umidità.

L'analisi di un'immagine aerea o satellitare

Nell'analisi di un'immagine aerea o satellitare, il primo passo è l'os-

servazione degli oggetti presenti ed il riconoscimento delle unità appartenenti ad insiemi omogenei di oggetti (Melis, 2006). Attraverso un processo d'interpretazione e di integrazione di informazioni spettrali e spaziali è possibile arrivare alla realizzazione di un prodotto cartografico digitale a supporto della gestione territoriale, permettendo la spazializzazione di informazioni puntuali. L'analisi delle forme permette di definire le strutture geomorfologiche e geostrutturali con le sue evoluzioni e le relazioni con i sistemi antropici. I sistemi quali aree urbane, produttive e rurali, sono costituite da una varietà di materiali (anche artificiali), terreni, rocce e minerali e aree vegetate (fig. 2) che costituiscono la copertura del suolo e sono utilizzati in modi differenti dall'uomo.

Un campo importante di applicazione del telerilevamento è il monitoraggio, cioè il controllo di fenomeni ambientali e territoriali nel tempo (Barrett and Curtis, 1999).

Nell'ambito di studio del sistema alveo-pianura alluvionale possono essere lette le variazioni che avvengono in tempi storici e che riguardano gli aspetti geomorfologici degli alvei; questi subiscono modificazioni molto veloci ed il riconoscimento di questi fenomeni permette la comprensione delle tendenze evolutive e delle loro cause.

Le forme del rilievo (landforms) sono l'espressione dell'evoluzione geologica di una regione; l'azione combinata di differenti fattori (litologia, assetto strutturale, erosione, clima, acqua, tempo) si riflette su di esse, dando origine ad un paesaggio che sarà coerente (ad eccezione di alterazioni gravi di tipo antropico) con i processi naturali che lo hanno prodotto (Drury, 1997); l'analisi delle forme permette la conoscenza dell'evoluzione del paesaggio e dei

rapporti con il sistema antropico. Le morfologie create dai reticoli di drenaggio fluviale dipendono dal pendio delle superfici, dalla litologia e dall'assetto delle rocce; questi elementi, infatti, influenzano il percorso e la quantità di acqua che scorre lungo la superficie. I modelli di drenaggio che vengono delineati sulle immagini satellitari, grazie alla visione sinottica e panoramica, riflettono le tipologie litologiche, la struttura, la copertura del suolo e l'intensità delle alterazioni da parte degli agenti esterni (fig. 3).

Negli studi territoriali, attraverso il processamento dei dati satellitari multispettrali, l'analisi delle forme e dei processi collegati permette la produzione di cartografie tematiche a supporto di una gestione razionale del territorio; nelle cartografie tematiche è possibile rappresentare processi morfogenetici e processi di evoluzione territoriale.

I vantaggi dei dati telerilevati

I vantaggi di dati telerilevati possono essere ricapitolati in termini di tipo di rappresentazione, accuratezza, copertura spaziale e flessibilità temporale e gestiti in termini spaziali mediante applicazioni GIS (Atkinson and Tate, 1999a). Le EO-derived

information sono sempre più utilizzate in un mercato di applicazioni reali; in generale l'uso del Telerilevamento raggiunge risultati importanti quando viene associato ad altri dati ambientali.

Le ragioni per il costante trend di aumento dei dati da EO è da ricercarsi in diverse ragioni (Chirici, 2020):

1. il proliferare del numero di missioni e del numero di satelliti per missione, il numero di piattaforme di Osservazione della Terra operative (ognuna talvolta con più satelliti come Sentinel, MODIS, Landsat, NOAA AVHRR, Planet) e con il diffondersi delle missioni con satelliti gemelli o con micro-satelliti si è assistito alla nascita di un telerilevamento in near-real-time con immagini ad alta risoluzione giornaliera (la nuova costellazione di nanosatelliti PlanetScope <https://www.planet.com>);
2. Per l'aumento della risoluzione geometrica metrica o sub-metrica;
3. L'aumento della profondità, ovvero della memoria occupata da ogni pixel di ogni immagine (appena dieci anni fa lo standard era 8 bit, oggi si arriva a 11 - 12 bit);
4. Per l'aumento del numero di bande dei sensori ottici (250 ban-

de a bordo della missione Italiana PRISMA);

5. L'avvento di nuove tecnologie ottiche, radar e lidar.

Molti approcci integrati hanno coinvolto sistemi di image processing con immagini classificate e convertite in formati vettoriali ed importati o trasferiti in formati codificati in GIS ed integrati con altri dati vettoriali (Mattikali, 1994; Pathan et al., 1993). In questi anni si assiste ad una forte integrazione fra queste due tecniche di analisi in quanto le informazioni spaziali hanno una forte relazione con le analisi di dati telerilevati (ASPRS, 1994, Legg., 1994; Star et al., 1997; Barrett and Curtis, 1999). Un aspetto importante nella rappresentazione spaziale dei dati è costituito dalla tipologia e acquisizione del dato; la rappresentazione digitale è sicuramente più conveniente di quella analogica, in quanto proveniente da procedure di analisi numerica e quindi meno soggetta ad errori durante i processi di digitalizzazione. La sovrapposizione delle immagini satellitari con dati spaziali in ambiente GIS e la loro successiva interrogazione permette di acquisire informazioni difficilmente rilevabili tramite l'analisi delle singole banche dati (Castellani et al., 2013). **L'osservazione e la valutazione dei rischi, l'individuazione delle criticità morfologiche e antropiche attraverso immagini satellitari e procedure GIS consente una pianificazione e la corretta gestione delle risorse naturali ed antropiche.**

Il monitoraggio delle risorse naturali

Relativamente al monitoraggio delle risorse naturali come l'acqua, l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite indica, tra gli obiettivi da perseguire, quelli di garantire la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e la riduzione del suo inquinamento.

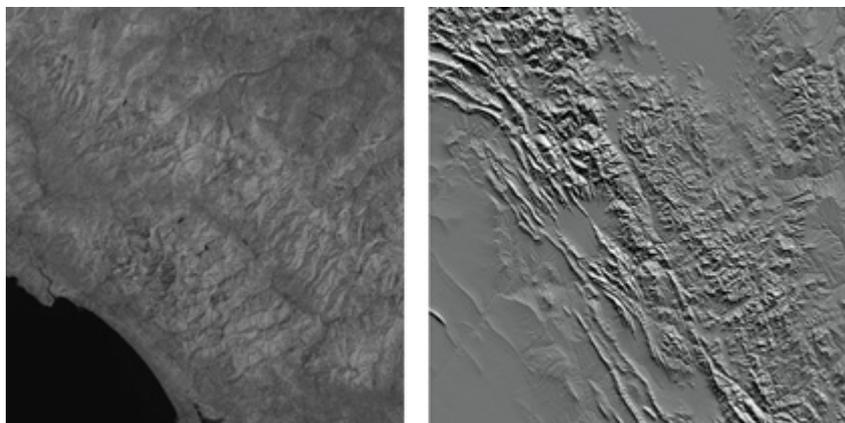


Fig. 3. Reticoli di drenaggio fluviale controllati da litologia delle rocce e caratteri strutturali (immagini Landsat 7ETM – USGS; DEM SRTM, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>).

Nel caso delle superfici d'acqua, nel telerilevamento ottico viene misurata la radianza nelle lunghezze d'onda del visibile e dell'infrarosso vicino; l'intensità del segnale che giunge al sensore è notevolmente più debole di quella della terraferma e questo rende estremamente delicata l'interpretazione dei dati, essendo il disturbo atmosferico ed il rumore del sensore quasi dello stesso ordine di grandezza del segnale, specialmente nell'infrarosso. La presenza di sostanze disciolte o in sospensione altera significativamente la trasmittanza dell'acqua, in quanto produce ulteriori fenomeni di scattering, diffrazione e riflessione; pertanto anche la firma spettrale ricavata da immagini satellitari presenterà picchi in corrispondenza di lunghezze d'onda differenti.

Un esempio è il fenomeno della salinizzazione dei suoli che può compromettere gravemente la produttività dei terreni agricoli, specialmente laddove risalite capillari di umidità dal sottosuolo o acque saline circolanti in superficie determinano la formazione di granuli o croste saline sui terreni (Teggi et al., 2012).

La salinità è un parametro di vitale importanza per la caratterizzazione delle acque interne, poiché da essa dipende la varietà di specie acquatiche che costituiscono l'ecosistema e sempre da essa dipendono gli usi possibili della risorsa. La salinità diventa un parametro ancor più critico nei climi aridi e semi-aridi ove gli ecosistemi sono minacciati dalla desertificazione e gli insediamenti umani dalla scarsa o nulla capacità di rinnovamento della risorsa idrica.

L'interesse per il monitoraggio della salinità mediante il telerilevamento risale agli anni '70, quando vennero effettuate le prime valutazioni sull'influenza che diverse concentra-

zioni di sali disciolti possono avere sulla riflettanza o sull'emissività dell'acqua (Meyer e Welch, 1975). È stato osservato che nella regione dell'ottico la presenza di sali in soluzione altera in modo significativo l'intensità e l'ampiezza di alcune bande di assorbimento dell'acqua. Attraverso modelli numerici è possibile stabilire relazioni empiriche tra l'intensità del segnale e la concentrazione, tali relazioni tengono conto della temperatura del liquido, che produce variazioni dell'intensità dello stesso ordine di grandezza (Lin e Brown, 1992).

L'avvento di sensori multispettrali a maggiore risoluzione radiometrica e di sensori iperspettrali, quali il sensore PRISMA dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) unitamente al miglioramento dei modelli di correzione atmosferica, riapre la possibilità di trovare relazioni empiriche tra valori di salinità e riflettanza in alcune bande sensibili.

Altri passi in avanti si stanno compiendo nelle applicazioni di una tecnologia predittiva basata su satellite e intelligenza artificiale per la riduzione delle perdite idriche e la pianificazione degli investimenti. La tecnologia può essere utilizzata per la pianificazione delle attività tecniche legate alla ricerca perdite e direzionali per la pianificazione degli investimenti finalizzati all'efficientamento delle reti di acquedotto. Un progetto-pilota è partito su tre reti comunali in Emilia Romagna (<https://www.rezatec.com/resources/case-studies/using-geospatial-ai-to-improve-water-network-performance-italy/>).

Nei casi studio descritti in seguito sono riportati i risultati di analisi territoriali legati al rischio idrogeologico (frane e esondazioni fluviali) mediante analisi dati satellitari radar ed ottici. Nel primo caso sono

descritti i risultati ottenuti da interferometria radar applicata a fenomeni franosi lenti che interessano il centro abitato di Altolia (ME); il secondo caso, riguardante il comune di Tagliacozzo (AQ), consiste nello studio delle relazioni tra tessuto urbano e fenomeni di esondazioni fluviali attraverso l'analisi integrata di metodologie di analisi storica, Telerilevamento e Sistemi Informativi Geografici.

Morfologia e Interferometria nel monitoraggio dei fenomeni franosi lenti

Il susseguirsi di fenomeni di dissesto idrogeologico e l'impossibilità di prevenirne l'eventuale posizione ed evoluzione, ha portato l'Amministrazione Comunale di Altolia ad avviare uno studio per il riconoscimento di forme gravitative di dissesto, valutarne l'eventuale dimensione ed eseguire un costante monitoraggio di frane attive e quiescenti, al fine di ridurre il rischio geomorfologico, strettamente legato alle problematiche idrauliche e geologiche. **Il riconoscimento di frane di neoformazione ed il monitoraggio di quelle già presenti risulta utile al fine di prevedere opportune misure di salvaguardia, individuando le aree a rischio e le zone dove la vulnerabilità del territorio si lega a maggiori pericoli per gli abitanti, i centri urbani ed il patrimonio ambientale.**

In questo ambito è stata avviata un'attività sperimentale per il monitoraggio inclinometrico del centro abitato di Altolia. Affiliato allo studio finalizzato al monitoraggio è stata la Planetek Italia srl che ha supportato l'analisi interferometrica attraverso la piattaforma Rheticus® Displacement (servizio per il monitoraggio degli spostamenti superficiali a lungo termine) che permette l'identificazione di fenomeni di sub-

sidenza, franosità e instabilità delle infrastrutture, l'ottimizzazione dei sopralluoghi in situ e agevola la pianificazione di interventi di manutenzione straordinaria. Rheticus® è una piattaforma cloud che eroga servizi geo-informativi per il monitoraggio della evoluzione della superficie terrestre. I servizi geo-informativi erogati includono servizi per il monitoraggio della dinamica della morfologia terrestre, della vegetazione, delle infrastrutture, delle acque marino-costiere, finalizzati sia al monitoraggio degli aspetti ambientali che produttivi. Si tratta di una piattaforma di servizi alla quale si accede per abbonamento e consente di poter disporre di informazioni aggiornate costantemente. La piattaforma Rheticus® Displacement (Fig. 4) ha permesso il monitoraggio degli spostamenti superficiali a lungo termine e l'ottimizzazione dei sopralluoghi in situ.

Il Comune di Messina, Dipartimento Protezione Civile e Difesa del Suolo, ha richiesto ad ASI (Agenzia Spaziale Italiana) l'acquisizione e l'uso dei dati Radar CSK interferometrici dell'area di studio; il servizio di distribuzione delle scene SAR satellitari COSMO-SkyMed è stato attuato nell'ambito del decreto 329/2016 per la fornitura ad utenti istituzionali nazionali di prodotti COSMO-SkyMed per tutti gli usi connessi alle attività derivanti dal progetto MAP Italy dall'Agenzia Spaziale Italiana attraverso e-GEOS che ha per oggetto principale lo svolgimento di attività di sviluppo, produzione e commercializzazione di servizi, prodotti e applicazioni nel settore dell'Osservazione della Terra.

I dati provenienti dal satellite coprono oltre 5 anni di acquisizioni dal 6 Gennaio 2014, preso come riferimento, fino al 26 Aprile 2019. Più di un dato di movimento al mese e questo

dato è stato controllato per valutare il movimento nel tempo. Una ulteriore e importante verifica sul dato è la coerenza interferometrica; tale parametro misura quantitativamente la qualità delle frange interferometriche. Nel nostro caso tutti i punti acquisiti, 10295, hanno una coerenza uguale o maggiore di 0.5 e quindi risultano essere di buona qualità.

L'area interessata dal dissesto è quella posta a Sud-Ovest dell'abitato e coinvolge tutte le abitazioni che si trovano su quel lato. Comunque tutta l'area posta a Sud-Ovest dell'abitato mostra gran parte dei valori di displacement superiori ai 40mm. Visto il carattere spaziale della variabile "displacement" è stata generata una superficie di frana mediante l'utilizzo di metodi di interpolazione. Questi metodi possono essere divisi in metodi deterministici e metodi stocastici e permettono di stimare una variabile spaziale anche dove

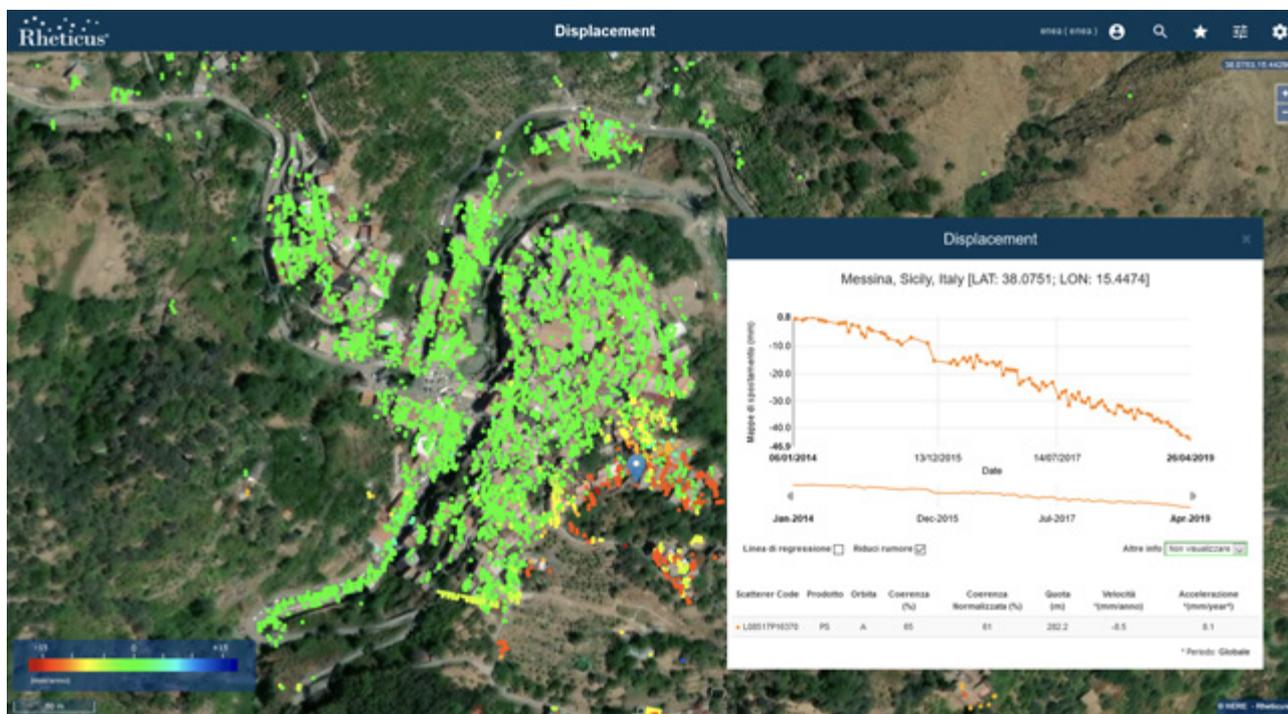


Fig. 4 - Visualizzazione dei punti di misura (Persistent Scatters) nella piattaforma Rheticus® Displacement.

questa non è stata misurata, ossia, permettono di passare da un dato di tipo puntuale, nel nostro caso i punti di riflessione, ad un dato spazialmente continuo, superficie di frana; i risultati dell'interpolazione sono mostrati nelle figure 5a-b.

Sistemi urbani a rischio esondazione: un approccio conoscitivo attraverso telerilevamento e GIS

Il lavoro è stato eseguito nel Comune di Tagliacozzo attraverso l'analisi integrata di metodologie di analisi storica, Telerilevamento e Sistemi Informativi Geografici le quali hanno permesso l'acquisizione ed il processing di dati territoriali estratti dalle immagini satellitari multispettrali ed il successivo geo-processing in ambiente GIS con la produzione di cartografie tematiche (Aureli et al., 2013). **L'analisi è partita con l'individuazione delle criticità territoriali indagando: pericolosità frane, rischio incendio, sismicità e permeabilità; per ogni tematismo sono state prodotte delle tavole supportate da analisi statistiche e dati storici.** Tutti gli elementi utilizzati per le analisi sono stati elaborati e georeferenziati in ambiente GIS e processati attraverso strumenti di image processing, al fine di ottenere file vettoriali e raster rispondenti alle esigenze delle diverse valutazioni.

Per l'analisi del sistema di frane è stata utilizzata come base vettoriale la litostratigrafia unita al Corine Land Cover (CLC2006), a cui sono stati sovrapposti livelli territoriali vettoriali riguardanti Urbanizzato e Scarpate, Carta Tecnica Regionale (CTR) e Frane (PAI-Tevere); relativamente alla sismicità territoriale sono state utilizzate i livelli vettoriali relativi a litostratigrafia, faglie (Carta Geologica d'Italia, foglio 367), urbanizzato, accelerazioni al suolo (INGV); il tutto integrato dalla storia sismica dei risentimenti macrosismi-

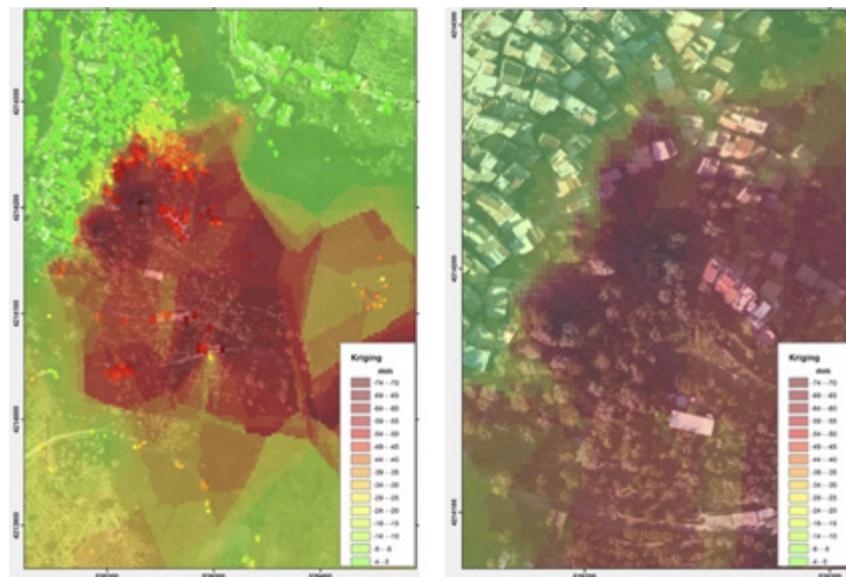


Fig. 5 - a) superficie ricavata con la spazializzazione dei punti del Displacement Empirical Bayesian Kriging; b) particolare della superficie ricavata con la spazializzazione dei punti del Displacement Empirical Bayesian Kriging.

ci dal 1895 al 2009. Per la permeabilità la base di lavoro è stato il DEM, Modello Digitale del Terreno (srtn 39-04), a cui sono state sovrapposte l'immagine satellitare GeoEye a falsi colori, l'idrografia e l'urbanizzato (dalla CTR), la Carta dei Suoli della Regione Abruzzo 2006; inoltre sono state analizzate le massime precipitazioni (in mm) e il numero dei giorni di pioggia annui. È stata condotta quindi una valutazione del potenziale rischio da alluvione finalizzata alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali. L'analisi è stata effettuata sulla base di immagini Landsat e GeoEye, integrate dai dati vettoriali della CTR, al fine di ottenere dei tematismi per sovrapposizione di dati vettoriali e dati raster. L'approccio metodologico, esteso a tutto il territorio del Comune di Tagliacozzo, ha previsto la determinazione degli elementi utili allo studio per l'individuazione delle aree di pericolo. Le considerazioni elaborate dall'osser-

vazione di questi elementi ha permesso di predisporre una Carta del Potenziale di Esondazione. Le zone di pericolosità sono state definite attraverso l'osservazione del corso d'acqua, sia in termini di estensione che di contributi laterali provenienti dagli affluenti e dalle linee di impluvio; in tale fase si è proceduto alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche del territorio comunale sulla base del DEM. La classificazione delle aree di potenziale esondazione è stata effettuata su segmenti del corso d'acqua. Sulla base della cartografia, integrata dall'analisi delle immagini e delle sezioni fluviali, vengono identificati gli argini, i rilevati stradali e ferroviari, i corsi d'acqua minori e i contenimenti naturali. Questi vengono assunti come elementi di contorno che delimitano i segmenti, di forme e dimensioni variabili (da pochi ettari ad un centinaio); la classificazione viene rappresentata cromaticamente per classi di pericolosità.

per info: elena.candigliota@enea.it

All'articolo hanno collaborato:

Lorenzo Moretti, Claudio Puglisi, Augusto Screpanti, Vladimiro Verrubbi - Laboratorio Tecnologie per la Dinamica delle Strutture e la Prevenzione del rischio sismico e idrogeologico, ENEA, Giuseppe Forenza, Massimo Vincenzi - Planetek Italia

Bibliografia

- ASPRS, 1994, Remote Sensing and Geographic Information System: An Integration of Technologies for Resource Management. (Bethesda, MD: ASPRS).
- Atkinson P.M., Tate N.J., 1999a, Techniques for the Analysis of Spatial Data. In: Advances in Remote Sensing and GIS Analysis. Edited by P.M. Atkinson and N.J. Tate., J. Wiley & Sons Ltd., pp. 1-5.
- Aureli A., Babbo F., Cardinale F., De Cinque R., Del Colombo F., Di Rito M., Di Stefano E., Marcocci E., Raglione E., Santoponte T., Toriello L., Candigliota E., Immordino F., 2013, Sistemi urbani a rischio: un approccio conoscitivo attraverso Telerilevamento e GIS per il centro storico di Tagliacozzo. Atti del 7° Workshop Tematico "Il telerilevamento per il monitoraggio e la gestione del territorio: Strumenti e metodi avanzati applicati ai sistemi costieri, agricoli, forestali e agli ambienti urbani", (San Martino in Pensilis 2013), pp. 11-12.
- Barrett E.C. and Curtis L.F., 1999, Introduction to Environmental Remote Sensing. 4th Edition, Stanley Thornes (Publishers) Ltd, pp. 457.
- Brivio P.A., Lechi G., Zilioli E., 2006, Principi e metodi di Telerilevamento. Città Studi ed.
- Castellani S., Candigliota E., Immordino F., 2013, La tutela del patrimonio storico-architettonico e paesaggistico attraverso l'analisi integrata di dati territoriali: caso studio nel teramano. Atti del 7° Workshop Tematico "Il telerilevamento per il monitoraggio e la gestione del territorio: Strumenti e metodi avanzati applicati ai sistemi costieri, agricoli, forestali e agli ambienti urbani: Strumenti e metodi avanzati applicati ai sistemi costieri, agricoli, forestali e agli ambienti urbani", (San Martino in Pensilis 2013)
- Chirici, G. (2020). Una nuova era nell'uso del telerilevamento a supporto della pianificazione sostenibile del territorio. Contesti. Città, Territori, Progetti, (1), 14-35. <https://doi.org/10.13128/contest-11988>
- Dainelli N., 2011, L'osservazione della Terra: Fotointerpretazione. Dario Flaccovio editore.
- Dainelli N., 2011, L'osservazione della Terra: Telerilevamento. Dario Flaccovio editore.
- Drury S.A., 1997, Image Interpretation in Geology. Allen & Unwin, London.
- Dall'Osso F., Bovio L., Cavalletti A., Immordino F., Gonella M., Gabbianelli G., 2010, A novel approach (the CRATER method) for assessing tsunamis vulnerability at the region scale using ASTER imagery. Italian Journal of Remote Sensing, Special Issue: Geomatics technologies for coastal environment observation, vol. 42, n. 2, pp. 55-74.
- Legg C.A, 1994, Remote Sensing and Geographic Information Systems: Geological Mapping, Mineral Exploration and Mining. (Chichester Wiley).
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W., 2004, Remote Sensing and Image Interpretation. J. Wiley and Sons Ed., 5th Edition, pp. 763.
- Lin J., Brown C.W., 1992, Near-IR Spectroscopic Determination of NaCl in Aqueous Solution, Applied Spectroscopy, 46 (12): 1809-1815, 1992.
- Mattikali N.M., 1994, An integrated GIS's approach to land cover change assessment. Proceeding of Int. Geoscience and Remote Sensing Symposium (piscataway, NJ: IEEE, 2, 1204-1206.
- Meyer W., Welch R.I., 'Water Resources Assessment', L.W. Bowden (curatore), 'Manual of Remote Sensing', , vol. II, cap. 19, 1479-1551, American Society of Photogrammetry, first ed., 1975.
- Melis M.T., 2006, Telerilevamento e fotointerpretazione per la cartografia della copertura del suolo. In: Telerilevamento Applicato, Dessena M.A. e Melis M.T., Mako edizioni, pp.185-196.
- Pathan W.A., Sastry S.V.C., Dhinwa P.S., Rao M., Majumdar K.L., 1993, Urban growth trend analysis using GIS techniques - a case study of the Bombay metropolitan region. Int. Jour. of Remote Sensing, 14, 3169-3179
- Star J.L., Estes J.E., McGwire K.C., 1997, Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing. Cambridge, Cambridge University Press.
- Teggi S., Costanzini S, Despini F., Chiodi P., Immordino F., 2012. SPOT5 imagery for soil salinity assessment in Iraq. Proc. of SPIE Vol. 8538, 85380V, © 2012 SPIE, CCC code: 0277-786/12/\$18, doi: 10.1117/12.974498.