

Il Geoportale Nazionale e le applicazioni dei dati PSI per l'individuazione di aree soggette a rischio idrogeologico

di Salvatore Costabile e Marida Paci

La disponibilità di una base dati ad elevata accuratezza rappresenta un'esigenza fondamentale di tutte le Pubbliche Amministrazioni, siano esse Centrali o Locali, che hanno come missione il controllo sullo stato dell'uso del suolo e la gestione delle emergenze causate da eventi naturali e/o antropici; un'esigenza che, se riferita alle aree ad alto rischio di dissesto, diventa inevitabilmente un vincolo preventivo ed un indispensabile strumento per supportare ogni attività di governance sull'uso del suolo e del coordinamento locale di situazioni d'emergenza e del monitoraggio previsionale degli eventi.

Da un'analisi dello scenario nazionale sulla disponibilità di informazioni accurate sullo stato del territorio emerge una situazione di vasta disomogeneità tra regioni e regioni ed anche all'interno delle regioni stesse. Poiché il quadro delle risorse disponibili è comunque insufficiente al fabbisogno generale diventa indispensabile, per il Ministero dell'Ambiente, indicare un orientamento degli investimenti che rispecchi in modo assoluto le finalità e gli orientamenti che costituiscono la genesi del PST (Piano Straordinario di Telerilevamento) stesso: ovvero le aree a rischio; oltre a ciò diventa assolutamente importante indicare le tipologie di intervento al fine di perseguire una significativa massa critica che muovendo dalle esperienze positive già realizzate, consolidi la validità delle informazioni acquisite ed acquisibili, faciliti la ripetitività di attività indotte, ottimizzi i costi minori e che, soprattutto possano fungere da volano nella realizzazione di modelli sperimentali di monitoraggio ripetitivo a supporto di programmi di prevenzione e di previsione. L'obiettivo è quello di fornire informazioni di supporto nella formulazione di un quadro sinottico dei fenomeni di dissesto potenziali e/o in atto sull'intero territorio nazionale, a sostegno della gestione delle aree a rischio idrogeologico. A tale scopo viene costituita una base dati rappresentativa del territorio nazionale per quanto riguarda i movimenti del terreno, misurati tramite l'utilizzo della tecnologia PSI (*Persistent Scatter Interferometry*) sui dati di telerilevamento SAR disponibili nell'archivio ESA acquisiti dai satelliti ERS ed ENVISAT.

Il complesso assetto geologico-strutturale del nostro paese determina condizioni predisponenti all'insorgenza dei dissesti idrogeologici. Le situazioni litostratigrafiche locali, l'origine e la natura dei litotipi, il loro stato di alterazione, fratturazione e degradabilità, i lineamenti idrogeologici, geomorfologici e sismici, a scala locale, possono favorire il verificarsi di dissesti con tipologie e cinematiche diverse.

Infatti, emerge che i fenomeni franosi, localizzati prevalentemente su territorio montano-collinare dall'arco Appenninico e di quello Alpino, affliggono più del 70% dei comuni italiani e che il rischio geologico-idraulico è tra quelli che comportano un maggior impatto socio-economico.

Al fine di ridurre l'incidenza di tale impatto e il sopraggiunge-

re di eventi tragici, come quelli avvenuti nell'ultimo decennio in Italia (da Sarno, nel 1998, a Messina, nel 2009), il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha attuato da alcuni anni il Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A), volto all'acquisizione di dati telerilevati ad altissima risoluzione con l'impiego delle tecnologie più evolute da piattaforme satellitari.

Non tutte le tipologie di dissesto idrogeologico possono essere individuate ed interpretate con l'ausilio dei dati radar satellitari. L'utilizzo di dati interferometrici satellitari, come strumento per il controllo delle deformazioni superficiali e per l'interpretazione dei dissesti idrogeologici, ha fornito validi risultati in diverse applicazioni e, in particolare, per lo studio di:

- fenomeni franosi (Casagli et al., 2008);
- subsidenza (Stramondo et al., 2008);
- sollevamento, movimenti tettonici e faglie (Vilardo et al., 2009);
- attività vulcanica (Salvi et al., 2004);
- dinamica dei ghiacciai (Goldstein et al., 1993).

All'interno di ciascuna tipologia di fenomeno non tutti i movimenti sono misurabili, in funzione delle caratteristiche del fenomeno stesso, ed in particolare della velocità di deformazione, dell'estensione, dell'uso del suolo e della dinamica di movimento.

In generale la tecnica multi-interferogramma si presta per l'analisi di frane lente, subsidenze, faglie attive e zone vulcaniche; tuttavia i fenomeni di dissesto idrogeologico che possono essere controllati variano in funzione dei dati SAR utilizzati poiché le capacità della tecnica sono strettamente connesse con la lunghezza d'onda del segnale utilizzato, il ciclo di rivisitazione del satellite, il numero di acquisizioni disponibili sull'area di interesse e la loro frequenza temporale.

Le aree con tettonica attiva e quelle vulcaniche possiedono caratteristiche tali da potere essere analizzate e monitorate mediante interferometria radar satellitare, infatti, queste sono caratterizzate da deformazioni superficiali estremamente lente e riguardano generalmente aree molto estese.

Le banche dati ottenute sono fruibili, attraverso l'infrastruttura del Geoportale Nazionale, da tutte le Pubbliche Amministrazioni Centrali e Locali e rappresentano uno strumento fondamentale per l'analisi conoscitiva e il monitoraggio delle condizioni di rischio su tutto il territorio nazionale.

E' possibile analizzare l'applicabilità delle tecniche interferometriche satellitari in relazione alla tipologia di dissesto idrogeologico, alla loro dimensione, alla scala temporale e spaziale, all'uso del suolo e all'esposizione dei versanti.

In relazione alla scala temporale, la velocità di deformazione massima misurabile tramite interferometria satellitare implementata con sensori che hanno tempi di ricopertura dell'ordine del mese, senza incorrere in problemi di ambiguità delle misure, risulta di circa 6 cm/anno. Non risultano quindi monitorabili i fenomeni ad evoluzione rapida o caratterizzati da accelerazioni repentine.

Nel progetto PST-A-Lotto 2 sono stati utilizzati i dati acquisiti dai satelliti ESA (*European Space Agency*) ERS-1 ed ERS-2 (*Earth Resources Satellite*) ed ENVISAT (*ENVironmental SATellite*). ERS-1 ha acquisito dati dal luglio 1991 al marzo 2000, ERS-2 è invece operativo dall'estate del 1995. I satelliti ERS seguono orbite eliosincrone lievemente inclinate rispetto ai meridiani, illuminando, da una quota attorno a 780 km, una striscia di terreno (*swath*) larga circa 100 km con un sistema radar SAR operante nel dominio delle microonde alla frequenza di 5.3 GHz, ovvero con una lunghezza d'onda λ pari a 5,66 cm (banda C), caratteristica fondamentale per poter apprezzare movimenti millimetrici. La stessa orbita nominale viene ripercorsa ogni 35 giorni (*revisiting time*), consentendo così di acquisire dati relativi alla stessa scena al suolo in tempi differenti.

Il satellite ENVISAT, lanciato nel novembre del 2002, ha sostituito e ampliato le funzioni dei satelliti ERS-1 ed ERS-2. Esso è dotato di un sensore ASAR (*Advanced Synthetic Aperture Radar*), che rappresenta un'evoluzione del SAR e usa una serie di antenne che possono lavorare con diverse polarizzazioni e 7 diversi angoli di incidenza (compresi tra 15° e 45°) con conseguente variazione della dimensione della scena osservata in una singola immagine. Il satellite percorre un'orbita eliosincrona con tempo di rivisitazione uguale a quello dei satelliti ERS (35 giorni), ma con un ritardo di 30 minuti. Lo strumento acquisisce in banda C (frequenza di 5,331 GHz e lunghezza d'onda di 5,63 cm) ma con un leggero *shift* nella frequenza rispetto ERS-1 ed ERS-2.

L'osservazione della superficie terrestre avviene dalla combinazione del movimento orbitale del satellite lungo i meridiani (orbita quasi polare) con la rotazione della Terra nel piano equatoriale. I satelliti ERS ed ENVISAT acquisiscono dati lungo orbita ascendente, passaggio da S verso N, e lungo orbite discendenti, passaggio da N verso S.

Tramite la tecnica multi-interferogramma genericamente definita come *Persistent Scatterers Interferometry* (PSI) applicata alle immagini ERS1/2 ed ENVISAT, acquisite tra il 1992 e il 2010 dall'ESA è stata generata una base dati rappresentativa del territorio nazionale, contenente le misure dei movimenti del terreno ottenute mediante interferometria SAR e resa fruibile attraverso il Geoportale Nazionale del MATTM.

Con la possibilità di coprire aree che superano i 100 km² con una singola acquisizione, l'interferometria radar può essere utilizzata sia per dissesti idrogeologici a piccola scala, che per portare avanti analisi di dettaglio (a scala di versante), grazie alla sua capacità di fornire misure di spostamento accurate relative a singole strutture o edifici.

L'interferometria SAR da satellite permette di ottenere ottimi risultati nel monitoraggio delle deformazioni soprattutto in

aree urbanizzate che, per la presenza di edifici e infrastrutture, hanno elevate proprietà di riflessione del segnale radar. Nel caso di zone agricole la presenza di edifici sparsi e manufatti, consente la presenza di bersagli radar e quindi il monitoraggio delle deformazioni.

Laddove sono presenti dissesti monitorabili con tecnica PSI, è necessario tener conto del fatto che le tecniche interferometriche consentono di misurare la componente della deformazione relativa alla direzione che congiunge il sensore con il bersaglio a terra, ovvero la linea di vista del satellite (LOS). Le misure di spostamento fornite dai dati PSI sono perciò una componente di deformazione del vettore reale dello spostamento. Non tutte le attività franose sono rilevabili tramite interferometria SAR. In particolare, facendo riferimento alle diverse tipologie di fenomeni franosi e facendo riferimento alla scala delle velocità, risulta evidente che l'applicabilità delle tecniche interferometriche satellitari dipende principalmente dalla velocità dell'evento, e può essere schematizzata nella seguente tabella:

TIPOLOGIA	MATERIALE	MONITORAGGIO TECNICA PSI
Crollo	Roccia/detrito/terra	NO
Ribaltamento	Roccia/detrito/terra	NO
Scivolamento	Roccia	SI
	Detrito/terra	SI
Colata	Roccia	SI
	Terra	Parzialmente
	Detrito	NO
Espansione	Roccia/detrito/terra	Parzialmente

CLASSE	VELOCITÀ	MONITORAGGIO TECNICA PSI
Estremamente lento	< 16 mm/anno	SI
Molto lento	0,016 - 1,6 m/anno	SI
Lento	1,6 m/anno - 13 m/mese	NO
Moderato	13 m/mese - 1,8 m/h	NO
Rapido	1,8 m/h - 3 m/min	NO
Molto rapido	3 m/min - 5 m/s	NO
Estremamente rapido	> 5 m/s	NO

I fenomeni di crollo e ribaltamento sono difficilmente osservabili mediante interferometria da satellite a causa della rapidità con cui si sviluppano. Benché in letteratura non esistano esempi di questo tipo di applicazione è ipotizzabile che la tecnica multi-interferogramma possa individuare i movimenti precursori di distacco del materiale.

Per il monitoraggio dei fenomeni di scivolamento, le tecniche interferometriche satellitari hanno dato ottimi risultati, sia per movimenti traslativi che rotazionali.

Per le colate, in funzione del materiale coinvolto, si possono ottenere risultati diversi. Le colate in roccia, caratterizzate da movimenti generalmente molto lenti distribuiti in maniera continua all'interno della massa spostata senza una ben definita superficie di dislocazione, risultano monitorabili mediante interferometria SAR da satellite. Le colate in terra lo sono soltanto fino a quando il contenuto d'acqua è limitato e i movimenti rimangono molto lenti. Le colate di detrito, a causa dell'estrema rapidità con cui si sviluppano, sono invece fuori dalle capacità di misura delle tecniche interferometriche.

I fenomeni di espansione laterale possono essere parzialmente controllati, infatti può essere misurata solo la componente sub-verticale delle deformazioni, legata alla subsidenza dei livelli competenti ed indotta dall'estensione sub-orizzontale di

livelli sottostanti a minor competenza. Chiaramente, le espansioni di terreni a seguito di fenomeni di liquefazione non sono misurabili mediante interferometria da satellite a causa della loro rapidità.

Individuazione e mappatura delle aree soggette a deformazione

L'individuazione e la mappatura di aree soggette a dissesti sono il fondamento per tutte le attività di pianificazione e prevenzione del rischio idrogeologico. Lo scopo finale di questa attività è la produzione di una mappa preliminare dei dissesti idrogeologici, a cui seguirà una fase di integrazione con dati di superficie, di sottosuolo e di monitoraggio e, soprattutto, una validazione con un controllo di campagna, al fine di caratterizzare spazialmente e temporalmente i dissesti individuati. Questa fase preliminare fornisce un utile strumento di rapida individuazione e aggiornamento a scala regionale delle aree in movimento, anche se ogni area individuata deve essere poi successivamente caratterizzata con maggior dettaglio, attraverso il confronto con dati di verità a terra.

Individuazione preliminare di aree soggette a deformazione

L'individuazione preliminare di aree soggette a deformazione avviene attraverso la visualizzazione dei PSI classificati sulla base delle velocità medie. L'individuazione di tali aree non può prescindere dalla morfologia del territorio, per cui, alla fase preliminare, l'individuazione di aree con velocità non ricadenti all'interno dell'intervallo di stabilità, deve corrispondere una fase di mappatura del fenomeno, che è basata sull'interpretazione della morfologia del territorio.

In sintesi, dal punto di vista operativo si procede con le seguenti fasi:

- visualizzazione e classificazione dei PSI in funzione della velocità media;
- sovrapposizione dei dati PSI ai dati ancillari; analisi delle distribuzioni spaziali delle misure di velocità media;
- controllo del *reference point* ed eventuale scalatura dei risultati;
- individuazione preliminare delle aree soggette a deformazioni.

La presenza di evidenti differenze di velocità media di deformazione tra le diverse zone dell'area esaminata può permettere di identificare aree in movimento che non erano state mappate precedentemente o modificare la perimetrazione di quelle già mappate.

Ad ogni fase di individuazione delle aree deve poi corrispondere una fase di mappatura basata sulla morfologia del territorio e sulle caratteristiche deducibili dall'interpretazione preliminare dei dati a disposizione.

Mappatura preliminare di aree soggette a deformazione

La mappatura preliminare di aree soggette a dissesti idrogeologici avviene tramite la foto-interpretazione e la radar-interpretazione; il prodotto finale di queste attività è una mappa preliminare dei dissesti. L'attività principale della foto-interpretazione consiste nel riconoscimento degli elementi che compongono il territorio e nella loro definizione geometrica a partire dalle immagini a disposizione con un numero limitato e mirato di controlli di campagna per la definizione delle chiavi interpretative. Il termine radar-interpretazione comprende l'uso combinato delle analisi interferometriche e delle tecniche convenzionali per lo studio dei fenomeni di dissesto idrogeologico. L'interpretazione dei dati radar necessita del supporto derivante dall'analisi e dall'integrazione

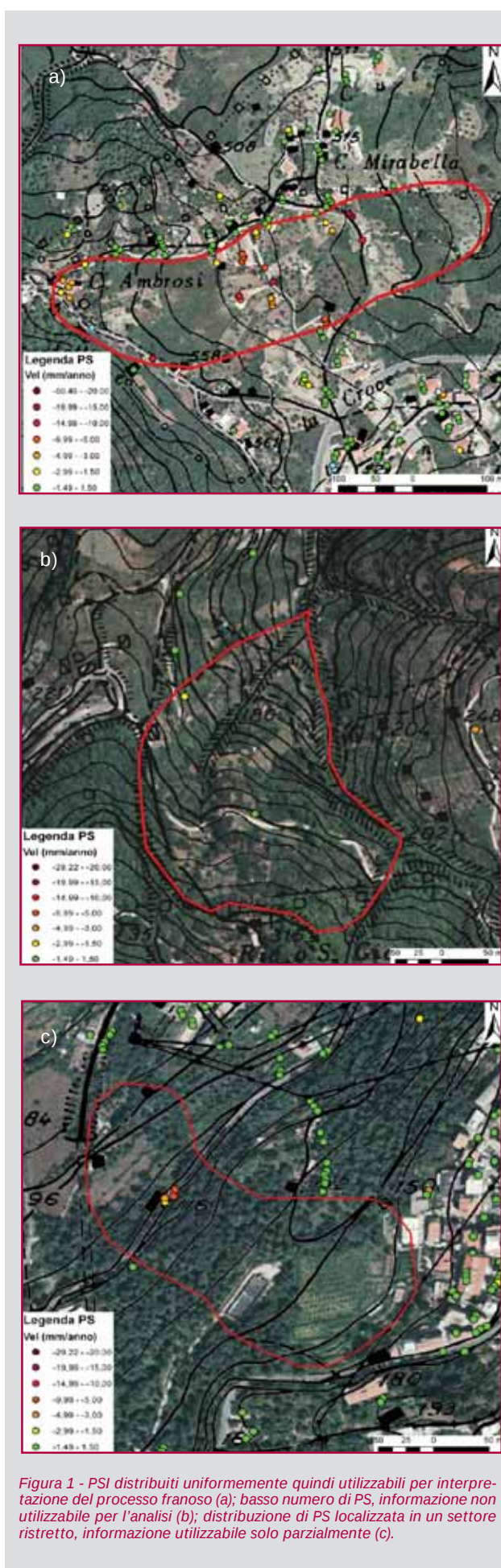


Figura 1 - PSI distribuiti uniformemente quindi utilizzabili per interpretazione del processo franoso (a); basso numero di PS, informazione non utilizzabile per l'analisi (b); distribuzione di PS localizzata in un settore ristretto, informazione utilizzabile solo parzialmente (c).

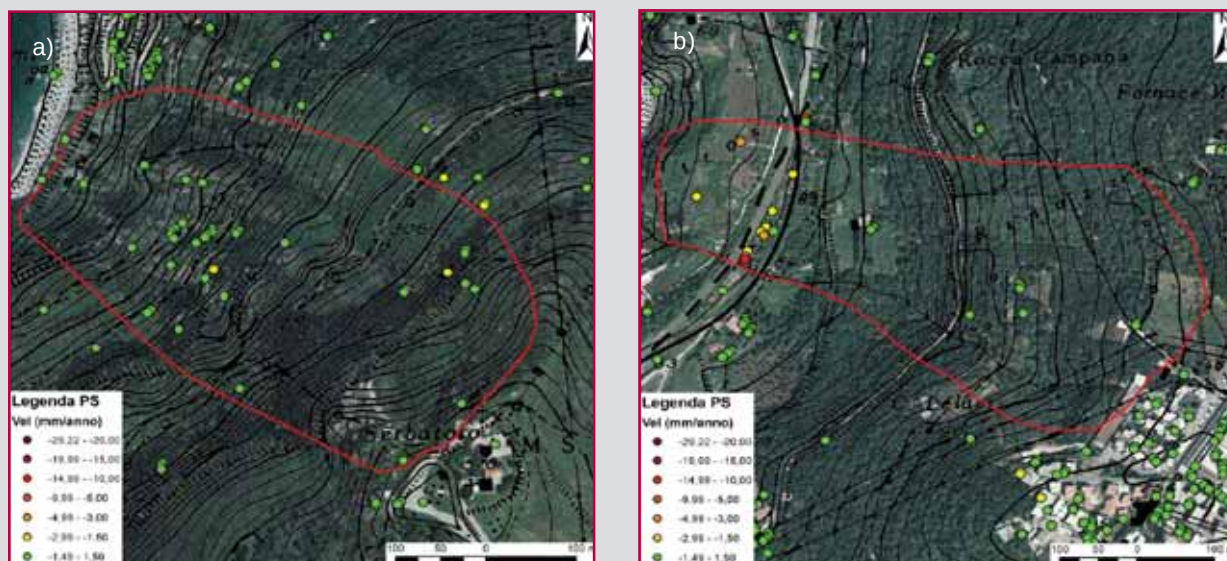


Figura 2 - I PS non registrano nell'area interessata dal dissesto movimenti significativi, mentre il settore in esame è soggetto a fenomeni di crollo attivi. I PS misurano movimenti caratterizzati da velocità di spostamento annuo di ordine centimetrico, per cui i fenomeni di crollo sono difficilmente osservabili mediante la tecnica PSI a causa della rapidità con cui si sviluppano. Gli spostamenti individuati potrebbero essere movimenti precursori di distacco di blocchi (a); i PS che registrano delle deformazioni sono localizzati nell'area interessata dal deposito della frana, mentre sul versante interessato dal dissesto non si registrano spostamenti rilevanti. Le deformazioni misurate sono da ricondurre a movimenti superficiali dovuti a fenomeni di subsidenza per consolidazione dei terreni del deposito di frana. Le velocità medie non ricadenti nell'intervallo di stabilità non possono essere perciò considerate per la valutazione dello stato di attività e dell'intensità del fenomeno franoso, che risulta quiescente (b).

di misure rilevate con la strumentazione a terra e con i dati ancillari a causa delle caratteristiche intrinseche delle misure di deformazione ricavate per mezzo delle tecniche interferometriche quali la capacità di rilevare soltanto la componente del movimento superficiale lungo la linea di vista del satellite e la distribuzione non continua nello spazio delle misure di deformazione rilevate. Lo studio dei dati PSI avviene attraverso l'analisi della distribuzione spaziale e delle velocità dei dati PSI nell'area indagata ed i relativi valori di velocità media.

Analisi della distribuzione spaziale

In questa fase si valuta se la distribuzione spaziale dei bersagli radar all'interno dell'area esaminata può considerarsi rappresentativa dell'intero fenomeno o solo di una parte di esso e se può ritenersi valida per la mappatura e la valutazione del dissesto.

Analisi delle velocità medie annue dei PS

L'analisi della distribuzione spaziale dei valori di velocità media annua dei PS nell'area in esame serve a valutare se l'informazione fornita può essere utilizzata per la mappatura dei dissesti e per valutare lo stato di attività e l'intensità dei fenomeni. Inoltre la presenza di evidenti differenze di velocità media di deformazione tra le diverse zone dell'area esaminata può permettere di identificare settori con differente evoluzione e di discriminare diversi comportamenti deformativi all'interno della stessa area in frana.

Perimetrazione dei fenomeni franosi

Nella pagina seguente, all'interno del box, viene riportata una serie di esempi del contributo fornito dal dato PS nei diversi momenti di perimetrazione o deperimetrazione di frane già individuate con altri inventari come ad esempio l'IFFI.

GEOGRA

Scansioni 3D (laser scanner) •

Stereofotogrammetria •

Fotogrammetria •

Topografia •

Batimetria •

Rilievi tradizionali •

Elaborazioni informatiche •

via Indipendenza, 106
46028 Sermide, Mantova
tel. +39 0386.62628
fax +39 0386.960248
info@geogra.it • www.geogra.it





Individuazione di nuove frane

Radar-interpretazione: i PS indicano un'area con velocità di spostamento in allontanamento rispetto al satellite.

Foto-interpretazione: l'andamento delle curve di livello presenta nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante.

Sintesi: viene perimetrato un nuovo fenomeno franoso che non era stato individuato nei precedenti inventari.



Espansione di un'area in frana già individuata

Radar-interpretazione: i PS indicano un'area con velocità di spostamento in allontanamento rispetto al satellite che si estende a monte di quella già individuata.

Foto-interpretazione: l'andamento delle curve di livello presenta nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante. Nell'area a monte si individuano differenze nette di vegetazione.

Sintesi: viene modificato il perimetro del fenomeno franoso precedentemente individuato estendendo verso monte l'area interessata dal dissesto.



Deperimetrazione

Radar-interpretazione: i PS indicano diversi settori all'interno dell'area mappata interessati da deformazioni. Altri settori risultano stabili.

Foto-interpretazione: si individuano nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante sia in corrispondenza delle aree in movimento che in quelle stabili. Altri settori dell'area mappata non presentano indicatori di aree instabili.

Sintesi: viene eseguita una nuova perimetrazione escludendo dal perimetro originale porzioni di territorio precedentemente mappate come parti integranti della frana stessa.



Conferma nella perimetrazione dei fenomeni

Radar-interpretazione: i PS indicano un'area con velocità di spostamento in allontanamento rispetto al satellite circoscritta al dissesto mappato.

Evidenze geomorfologiche: l'andamento delle curve di livello all'interno dell'area mappata presenta nette variazioni di curvatura lungo il profilo longitudinale del versante.

Sintesi: viene confermata la perimetrazione del fenomeno franoso precedentemente individuato.

Conclusioni

Con l'acquisizione della banca dati PSI il MATTM fornisce ai tecnici preposti alla difesa del suolo uno strumento nuovo, ad altissima precisione, che, integrato a quelli tradizionali

aiuta ad individuare e monitorare le situazioni di criticità del territorio, apportando un contributo concreto alla pianificazione. Inoltre, l'omogeneità del dato a scala nazionale rappresenta una base comune su cui impostare un approccio collegiale alle diverse problematiche offerte dai multiformi scenari di dissesto idrogeologico del nostro paese.

Bibliografia

- Casaglini N., Colombo D., Ferretti A., Guerri L., Righini G. (2008), *Case Study on Local Landslide Risk Management During Crisis by Means of Remote Sensing Data*. Proceedings of the First World Landslide Forum, Tokyo Japan.
- Goldstein R.M., Engelhardt H., Kamb B., Frolich. R.M. (1993) - *Satellite radar interferometry for monitoring ice sheet motion: application to an Antarctic ice stream*. Science, 262 (5139), pp. 1525-1530.
- Salvi S., Atzori S., Tolomei C., Allievi J., Ferretti A., Rocca F., Prati C., Stramondo S., Feillet N. (2004), *Inflation rate of the Colli Albani volcanic complex retrieved by the permanent scatterers SAR interferometry technique*. Geophysical Research Letters, 31, pp. 1-4.
- Stramondo S., Bozzano F., Marra F., Wegmuller U., Cinti F.R., Moro M., Saroli M. (2008), *Subsidence induced by urbanisation in the city of Rome detected by advanced InSAR technique and geotechnical investigations*. Remote Sensing of Environment, Volume 112, pp. 3160-3172.
- Vilardo G., Ventura G., Terranova C., Matano F., Nardò S. (2009), *Ground deformation due to tectonic, hydrothermal, gravity, hydrogeological, and anthropic processes in the Campania Region (Southern Italy) from Permanent Scatterers Synthetic Aperture Radar Interferometry*. Remote Sensing of Environment, 113 (1), pp. 197-212.

Parole chiave

GEOPORTALE, RISCHIO IDROGEOLOGICO, MATTM, INTERFEROMETRIA RADAR, DATI INTERFEROMETRICI

Abstract

Location of areas subject to hydro-geological risk using the National Geoportal and PSI data applications

The availability of a database with high accuracy is a fundamental requirement of all public service are central or local government whose mission is monitoring the status of land use and management of emergencies caused by natural events and/or anthropogenic, if it refers to the requirement that areas with high risk of disruption inevitably becomes a budget constraint and a necessary tool to support all activities of governance on land use and local coordination of emergency situations and monitoring the forecast of events.

Autori

SALVATORE COSTABILE
COSTABILE.SALVATORE@MINAMBIENTE.IT

MARIDA PACI
MARIDA.PACI@LIBERO.IT

MINISTERO DELL'AMBIENTE
VIA CRISTOFORO COLOMBO, 44 00147 ROMA