

I movimenti millimetrici degli ultimi dieci anni sul Monte Padrio Varadega. Analisi di un fenomeno di DGPV con la Tecnica PS.

Massimo Ceriani¹, Fossati Dario¹, Giovanni Di Trapani², Giovanni Battista Crosta³, Christian Ambrosi³, Fabrizio Novali⁴, Stefano Cespa⁴

1. Regione Lombardia D.G. Territorio Struttura Rischi Idrogeologici e Sismici, Via Sasseti, 32/2- 20124 Milano, tel. +39.02.67655209-5194-8427, fax +39.02.67657251, e-mail: Massimo_Ceriani@regione.lombardia.it
2. Comunità Montana Valtellina di Tirano, Via Maurizio Quadrio, 11 – 23037 Tirano (SO)
3. Università degli Studi di Milano Bicocca, Piazza della Scienza, 4 – 20126 Milano, tel. +39.02.64484239 fax +39.02.64484273, e-mail: giovannib.crosta@unimib.it
4. Tele-Rilevamento Europa, via Vittoria Colonna, 7 – 20149 Milano, tel.: +39.02.4343121 fax.: +39.02.43431230, e-mail: stefano.cespa@treuropa.com

Riassunto

L'elaborazione di serie storiche di dati radar satellitari con la Tecnica PS (Permanent Scatterers) ha mostrato ottime potenzialità per lo studio di fenomeni di deformazione superficiale (subsidenze e faglie sismiche), per l'analisi di instabilità di edifici a seguito di interventi antropici o naturali. I recenti miglioramenti tecnologici mostrano nuove e promettenti prospettive per lo studio di fenomeni di instabilità di pendio. 81 immagini SAR (ERS1/2) sono state analizzate per un'area della media Valtellina consentendo l'individuazione di ca. 7100 PS. Il campo di velocità mostra un quadro dei movimenti in corso, con spostamenti più consistenti nella parte superiore del versante rispetto a quella inferiore. Il confronto con carte geomorfologiche e inventario dei dissesti di versante ha permesso di delimitare e valutare lo stato di attività di una deformazione gravitativa profonda di versante.

Abstract

The analysis of time histories of displacements through the PS (Permanent Scatterers) Technique has shown very good capabilities to deal with slow superficial deformations, like subsidence and active seismic faults, the instability of structures and infrastructures disturbed by natural and/or human activities. New technological approaches demonstrate the possibility to improve further the analysis of slope instability phenomena. 81 SAR images (ERS1 and ERS2) have been analysed for an area of the Middle Valtellina (Central Alps, northern Italy) resulting in the recognition of about 7100 PSs. The displacement field and the time histories of displacement rate allow to draw some very interesting conclusion on the state and style of activity of such processes that are relatively frequent in alpine landscapes.

Introduzione

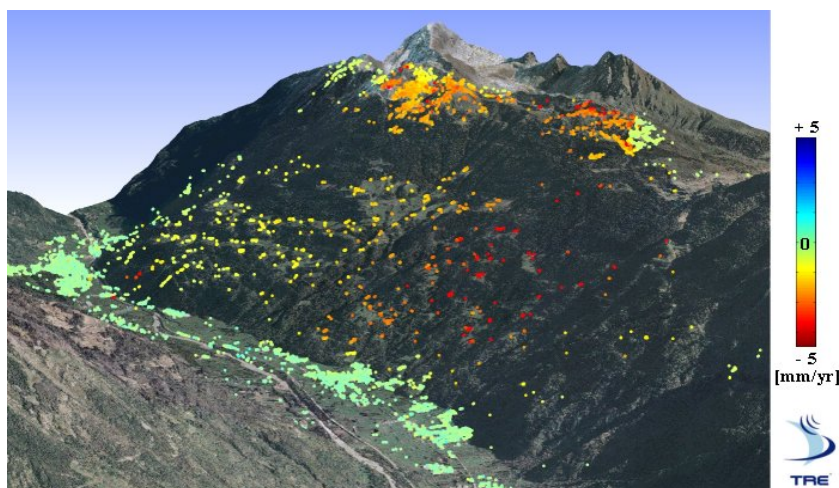
Il riconoscimento di fenomeni di instabilità di pendio con medio bassa velocità di spostamento annuo (da millimetrici a decimetrici) presenta difficoltà in quanto i segni di attività possono essere facilmente mascherati dallo sviluppo o deformazione di coperture detritiche e suoli. Tuttavia l'importanza di riconoscere tali fenomeni è fondamentale sia a scala locale che a scala regionale e può consentire di realizzare zonazioni di pericolosità di particolare interesse. Nell'ambito di una collaborazione tra Tele-Rilevamento Europa, Regione Lombardia e Università degli Studi di Milano-Bicocca ci si è posti l'obiettivo di approfondire lo studio di un caso emblematico, quello del Monte Padrio Varadega (SO), per valutare l'applicabilità e l'utilità della Tecnica PS (Ferretti et al., 1999, 2000, 2001) anche in situazioni sfavorevoli. Tale area di studio si colloca entro la media Valtellina che era già stata interessata precedentemente da una analisi PS a scala regionale (4000 km²; Allievi et al., 2003).

L'applicazione della Tecnica PS in ambiente montano deve far fronte a tre problemi principali: la topografia, che introduce fenomeni di deformazione prospettica nelle immagini radar dovuti alla geometria di acquisizione del sistema SAR (le immagini sono acquisite con un angolo di puntamento che si discosta dalla verticale di circa 23 gradi); il numero generalmente ridotto di bersagli radar con firma elettromagnetica stabile nel tempo, tipico di aree montuose dove il grado di urbanizzazione è scarso; la copertura nevosa, che per parecchi mesi all'anno varia in modo sensibile le condizioni di riflettività di alcuni dei possibili capisaldi radar riducendo il numero totale di quelli utilizzabili.

Il problema della topografia può essere limitato scegliendo il dataset di immagini acquisite secondo la geometria più adatta all'area in analisi, ovvero discendente per versanti esposti verso ovest e ascendente per quelli esposti ad est. Nel caso in esame sono state utilizzate 81 immagini del dataset ERS1-ERS2 definito dalla Track 437 e Frame 2678 acquisite in geometria discendente.

Per affrontare le altre problematiche è stato recentemente sviluppato un approccio definito Advanced, ovvero un'analisi PS di dettaglio indicata per aree limitate (1-50 Km²) che richiede un elevato carico computazionale e l'intervento di un utente esperto.

Tale approccio consente una stima del contributo atmosferico su una griglia ad alta risoluzione, e, grazie ad un rilassamento dei parametri statistici utilizzati per l'individuazione dei potenziali punti di misura, permette di estrarre la serie storica di deformazione di tutti i Permanent Scatterers presenti nell'area oggetto di studio.



L'applicazione della tecnica PS Advanced sul versante del monte Padrio-Varadega ha consentito di identificare oltre 7100 punti di misura, un numero considerevole in considerazione dello scarso livello di urbanizzazione del versante, dislocati lungo tutto il versante e fino sulla sommità della montagna, in corrispondenza di baite, radure e rocce esposte.

Figura 1: Area del Monte Padrio-Varadega, rappresentazione dei PS su ortofoto in 3D

Descrizione del caso di studio

La deformazione gravitativa del versante settentrionale del Monte Padrio - Monte Varedega (Valtellina, Figura 2), coinvolge un'area di oltre 30 km². In tale area sono state individuate diverse

strutture che indicano la presenza di tale fenomeno e che risultano essere morfologicamente classificabili come recenti. La zonazione dei PS in settori a diversa velocità di spostamento è stata confrontata con dati ottenuti da fotointerpretazione.

La Figura 2 mostra la sostanziale stabilità dei punti posti in fondovalle e il progressivo aumento della velocità di spostamento annuo spostandosi lungo il versante. La distribuzione dei PS in gruppi con intervalli di valori di velocità ben correlati e identificabili coincide bene con i limiti dei fenomeni riconosciuti da fotointerpretazione. Si veda ad esempio il caso dei punti posti appena a S della sezione 3 e a valle della Cima Verda.

L'abbondanza dei PS in prossimità della zona di cresta è condizionata dall'abbondanza di affioramenti rocciosi in tale settore e costituisce un'importante differenza rispetto a quanto rilevato inizialmente attraverso l'analisi realizzata a scala regionale. I valori di coerenza associabili ai diversi PS, diversamente collocati sul versante, cambia e varia tra 0.6-0.7.

Anche il movimento a valle del Monte Varadega risulta essere ben individuato con PS a bassa velocità di spostamento posti esternamente al fianco destro del limite tracciato da analisi fotointerpretativa.

La Figura 3 mostra un esempio delle serie storiche per 4 punti collocati a diverse quote e entro diversi movimenti di ordine diverso. Si osserva che la velocità media di spostamento varia in questo caso tra 2.6 mm/anno e 24.7 mm/anno e anche in questo caso si evidenzia come la velocità di spostamento cresca con la quota e avvicinandosi ai settori di cresta. Il punto A, posto al piede del pendio, in corrispondenza della centrale idroelettrica monitorata da una rete di livellazione topografica, risulta essere caratterizzato un andamento opposto a quello degli altri punti. Tale andamento è indice di una tendenza al sollevamento del punto stesso.

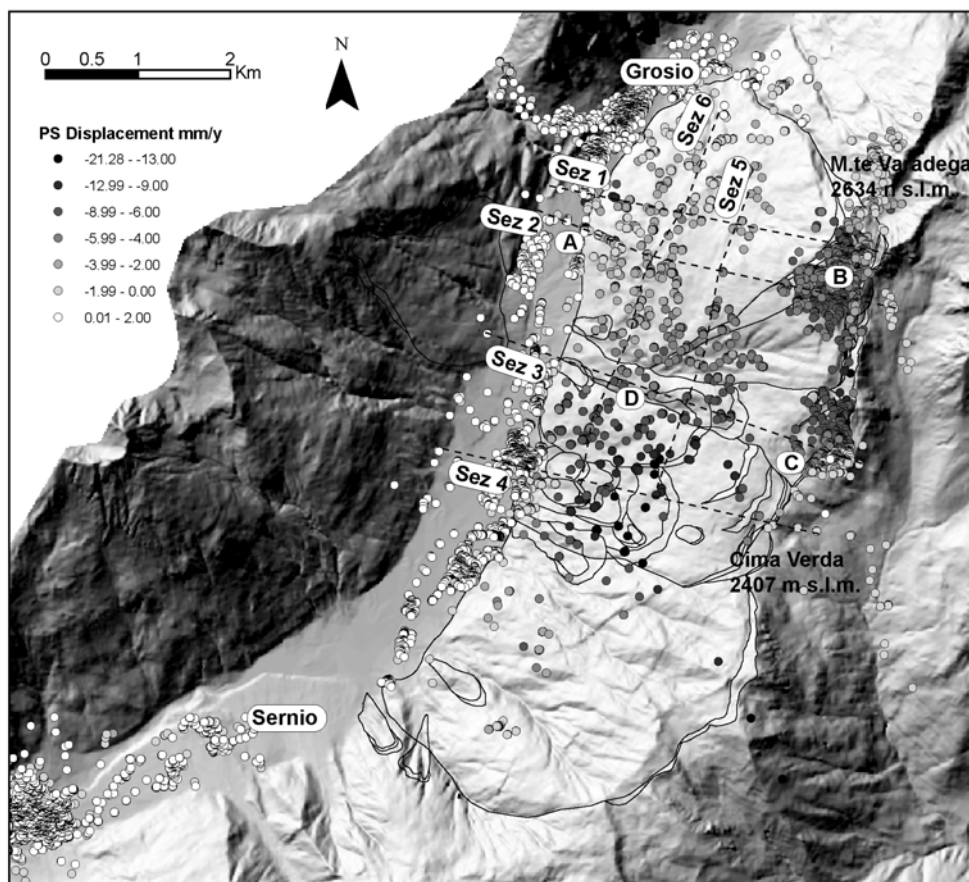


Figura 2: Area del Monte Padrio-Varadega Distribuzione dei PS sovrapposti agli elementi morfostrutturali e ai dissesti. I diversi PS mostrano la variazione velocità in funzione della posizione sul versante. Sono inoltre tracciate le sezioni longitudinali e trasversali analizzate nel seguito (fig. 3).

Discussione e Conclusioni

L'analisi dei dati PS entro i limiti dell'area di studio e lungo i profili tracciati al suo interno consente di trarre alcune importanti considerazioni. In genere, si osserva un incremento del tasso di spostamento muovendosi lungo il versante e passando rispettivamente dal piede alla zona di cresta. Tale osservazione è in accordo con l'ipotesi di una superficie che tende a essere subverticale nel settore di cresta e che tende invece a decrescere di inclinazione nel settore di piede del pendio. Tale osservazione è anche in accordo con le evidenze in sito e mappate tramite fotointerpretazione e rilievi in sito e che mostrano scarpate e controscarpate molto ben sviluppate nel settore superiore del versante. Nel settore inferiore del pendio, invece, misure effettuate tramite una rete di livellazione di una centrale idroelettrica mostrano storicamente (1970-1990) velocità di spostamento comprese tra +1.0 mm/anno e -4 mm/anno. Tali velocità sono in ottimo accordo con quelle rilevate tramite la tecnica PS, sia tramite la prima analisi regionale che nel caso di questa seconda analisi di dettaglio. La diminuzione di valori di velocità e addirittura la misurazione di velocità di spostamento positive (sollevamento) per i diversi punti di analisi è in accordo, oltre che con la geometria ipotizzata per la superficie di rottura, anche con la possibilità che il piede del pendio sia soggetto a rigonfiamento per aumento di volume del materiale che si frattura progressivamente o addirittura per presenza di settori di superficie di rottura immergenti entro il pendio (vedi anche sez. 1, 2 e 3 di Figura 4).

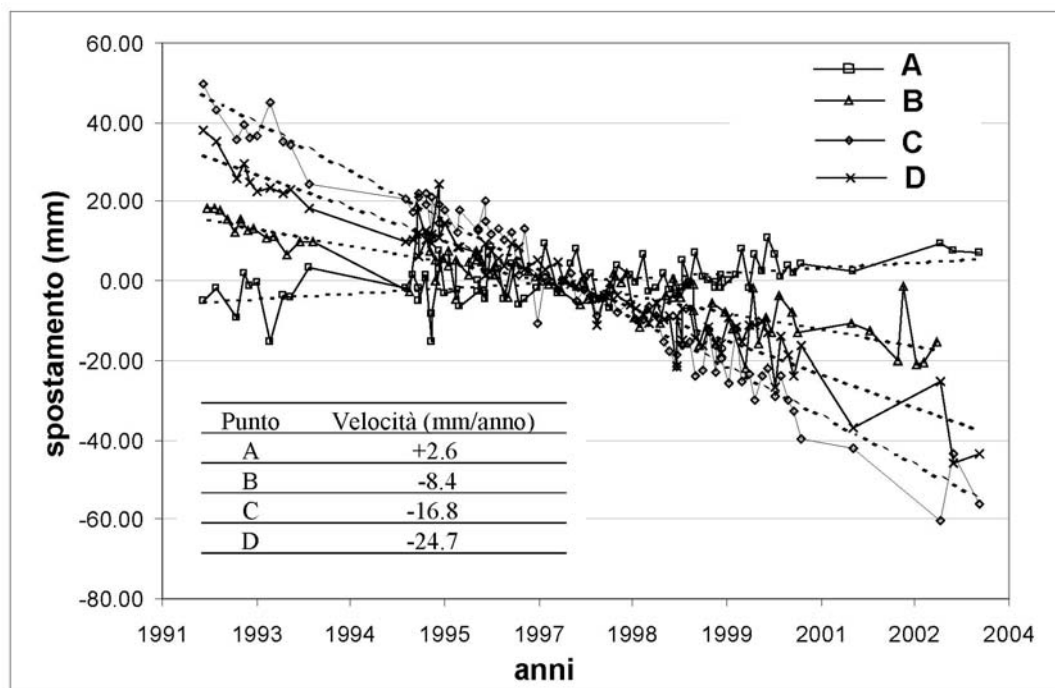


Figura 3: Diagrammi delle serie storiche per alcuni dei PS ubicati in figura 1. La tabella in basso a sinistra riporta i valori di velocità di spostamento media per il periodo in esame.

La Figura 4 evidenzia inoltre alcune caratteristiche rilevanti e che sono state in parte osservate da fotointerpretazione ma il cui riconoscimento è talora reso difficoltoso dalla presenza di vegetazione ad alto fusto nel settore medio inferiore del versante. I diagrammi (sez. 1 e 4 in fig. 3) evidenziano che in tali settori si osserva un aumento della velocità di abbassamento dopo un tratto a velocità circa costante, nel settore intermedio del pendio. Questa distribuzione dimostrerebbe la presenza di fenomeni di instabilità al piede della deformazione gravitativa principale. Comportamenti diversi sono riconoscibili nel caso della sezione 3, ove sembrerebbe essere attivo anche un fenomeno di instabilità nella parte centrale del pendio, e nella sezione 2 ove più settori a diversa velocità caratterizzano tutta la metà inferiore del pendio. In quest'ultimo caso il diagramma suggerisce che la testata dell'instabilità del monte Varadega è soggetta ad un abbassamento a velocità costante tra i

2050 e i 1900 m s.l.m. e che lo stesso fenomeno è osservabile tra 1250 e 1100 m s.l.m. La sezione 4 evidenzia una distribuzione longitudinale delle velocità abbastanza irregolare e questo può essere dovuto al fatto che essa è ubicata al limite ed entro diversi fenomeni mappati anche da analisi fotointerpretativa.

Le sezioni trasversali al pendio (sez. 5 e 6 in figura 3) mostrano, oltre alla presenza di velocità medie superiori alle quote superiori lungo l'intero versante, anche la presenza di movimenti con comportamento molto diverso in termini di velocità di spostamento. Il limite laterale tra tali fenomeni risulta inoltre essere abbastanza netto soprattutto alle quote superiori

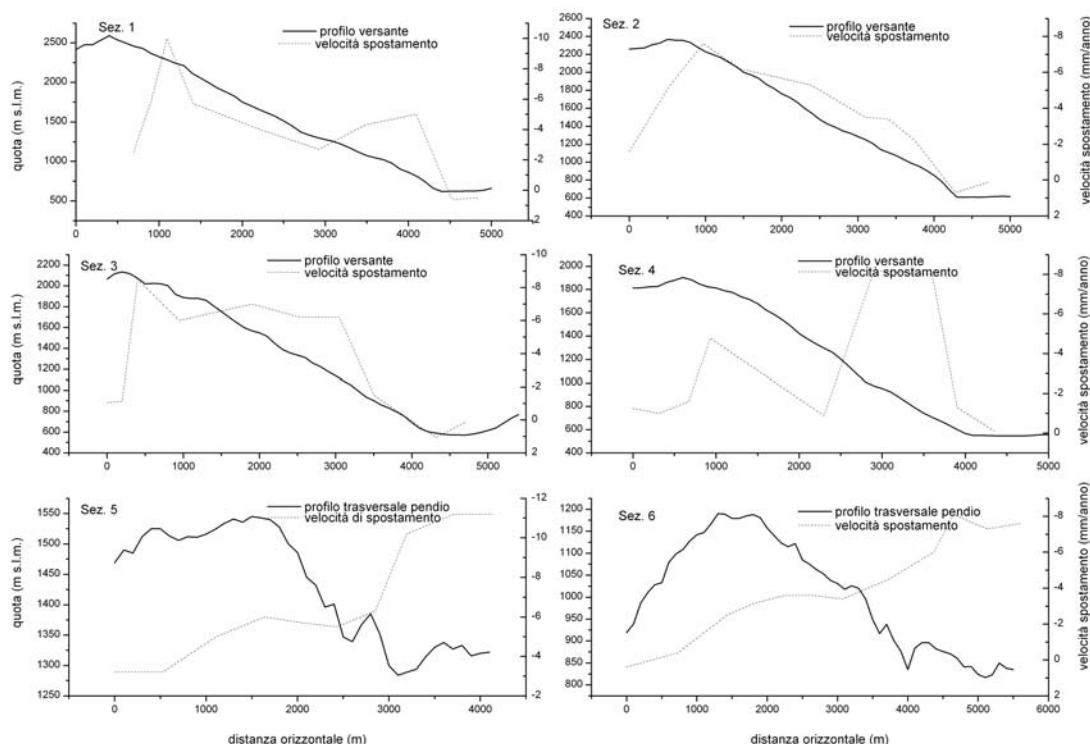


Figura 4: Profili longitudinali (1-4) e trasversali (5-6) del pendio e distribuzione dei valori di velocità di spostamento (mm/anno) per il versante del Monte Padrio.

Alcune considerazioni finali di una certa rilevanza dal punto di vista geomorfologico si possono trarre a seguito dei valori di velocità di spostamento osservati (Ambrosi e Crosta, 2004). Le grandi deformazioni di versante, come quella in esame, sono state in genere associate alla mancanza di contenimento laterale esercitato dai ghiacciai a seguito delle fasi di deglaciazione. Lo scarico pensionale avrebbe fornito la causa di innesco principale. Secondo diversi autori tali meccanismi dovrebbero esaurire la loro attività dopo pochi millenni dalla deglaciazione (100-3500 anni). Nelle aree alpine l'ultimo massimo glaciale si è realizzato circa 18.000 anni fa e il ritiro quasi completo dei ghiacciai è avvenuto entro 11.000 anni fa. Dalle osservazioni in sito e da analisi fotointerpretativa si sono valutati gli spostamenti massimi, orizzontali (es. spostamento del piede del pendio) e verticali (lunghezza delle scarpate misurata lungo la direzione di massima pendenza), subiti dai pendii in studio. Dividendo tali lunghezze per intervalli temporali compresi tra 11.000 e 18.000 anni si ottengono i valori riportati in Tabella 1.

È evidente come i valori calcolati in questo modo siano esattamente dell'ordine di grandezza di quelli misurati attualmente con la tecnica. Di conseguenza è possibile pensare che tali grandi fenomeni di instabilità siano stati attivi lungo l'intero intervallo post-glaciale fino ad oggi e che eventualmente è pensabile ad una fase iniziale parossistica con massime velocità e quindi successivamente a una fase a velocità costante. Il riconoscimento di una tale fase potrebbe anche dimostrare che molti di questi fenomeni possono essere caratterizzati da superfici di rottura ormai

completamente sviluppate (come peraltro osservato in diversi casi) lungo cui gli spostamenti avvengono a velocità costante eccetto in presenza di fattori esterni eccezionali (eventi meteorici estremi, infiltrazioni da opere idrauliche sotterranee, etc.).

Tabella 1 Spostamenti valutati da evidenze in sito e topografiche e velocità di spostamento misurate con la tecnica PS e calcolate a partire dagli spostamenti osservati in sito

Spostamento Osservato		Velocità media calcolata		Velocità media misurata
Δx	Δy	Δu	Δh	Δh
m	m	m	m	m
228-355	135-220	0.0126-0.0197	0.0075-0.0122	0.0086-0.0138

Riferimenti Bibliografici

- Allievi J., Ambrosi C., Ceriani M., Colesanti C., Crosta G.B., Ferretti A., Fossati D., Laffi R. (2003). Nuove strategie integrate per il monitoraggio di aree soggette a deformazione superficiale e/o profonda. ASITA 2003
- Ambrosi, C., Crosta, G.B. (2004) Large slope instabilities along Lineaments in Central Italian Alps. Engineering Geology (in press)
- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (1999), "Multibaseline InSAR DEM reconstruction: The wavelet approach", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 37(2):705-715.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2000), "Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 38(5):2202-2212.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001), "Permanent scatterers in SAR interferometry", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(1):8-20.
- Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001), "Monitoring landslides and tectonic motions with the permanent scatterers technique", Abstracts of the Contributions of the 26th General Assembly of the European Geophysical Society, Nice, France, 25-30 March.