

RILEVAMENTO E MONITORAGGIO DEI FENOMENI PERMAFROST SULLA BASE DI INTERFEROMETRIA DIFFERENZIALE

Volkmar MAIR (*), Florian MARKS (**), Johannes ZILGER (**), Andreas ZISCHG (***)

(*) Provincia Autonoma di Bolzano - Ufficio Geologia e Prove Materiali, Cardano (BZ), volkmar.mair@provinz.bz.it

(**) Teledata GeoConsult GmbH-srl, Bolzano (BZ), team@td-geoconsult.com

(***) Geo Information Management, Gargazzone (BZ), a.zischg@geo-im.com

Riassunto

Il permafrost è un fenomeno nelle alpi a quote elevate (sopra 2.000 m slm) che deve essere considerato un fattore di rischio idrogeologico ai sensi della legge 267, perchè ha un notevole impatto ambientale causando frane, crolli e smottamenti potenzialmente dannosi. Per ciò l'ufficio Geologia e prove materiali della Provincia Autonoma di Bolzano ha iniziato il progetto pilota "PROALP – Rilevamento e monitoraggio dei fenomeni permafrost sulla base di interferometria differenziale" per rilevare i fenomeni di permafrost alpino e per stimare il rispettivo impatto ambientale. Un punto chiave di tale progetto è il monitoraggio e la misura dei movimenti superficiali delle aree di permafrost tramite l'interferometria radar differenziale da satellite. La verifica della congruità dei dati primari e dei risultati delle varie elaborazioni è garantita da diverse misure di controllo a terra specialmente misure geodetiche e di GPS differenziale. Il contributo attuale rappresenta i risultati ottenuti dell'interferometria differenziale attraverso dati radar sia nella banda C (satelliti ERS ed Envisat) sia nella banda L (satellite JERS). Il nostro approccio proposto: la combinazione di dati radar con dati di telerilevamento multisensor risulta un metodo efficace in grado di dare informazioni su movimenti superficiali tramite un'analisi multi-temporale delle aree interessate sia su scala regionale sia a livello di dettaglio molto elevato.

Abstract

Permafrost is a phenomenon which occurs in the Alps in the higher elevations above 2.000 asl and has to be considered as hydrogeologic risk factor in the sense of law n. 267 because it is environmentally highly significant causing landslides and debris flows. Therefore the office for geology and materials testing of the Autonomous Province of Bozen has launched a pilot project named "PROALP – Mapping and Monitoring of Permafrost on the Basis of Differential Interferometry" to map all permafrost phenomena over the Province of South Tyrol and monitor their environmental impacts. A central objective within the project is the detection and measurement of surface motions by applying differential radar interferometry (DiffSAR). The verification of the consistency of the primary data and the results of the various evaluation methods will be guaranteed using ground control measurements especially such from tachymetry and differential GPS. The present contribution represents the results which have been obtained by applying differential interferometry to C-band (ERS and ENVISAT) and L-band (JERS) radar data. In combination with other multisensor remote sensing data the method proves to be highly effective for giving information on surface motions of the area under consideration over longer periods as well on a regional level as a detailed scale.

1. Introduzione

La Provincia di Bolzano situata nelle Alpi sud-orientali è caratterizzata da un ambiente montano sensibile, sottomesso ad un'elevata pressione di insediamento, anche a causa di un'intensa attività turistica. Per ciò si impone una forte attenzione verso le condizioni ambientali, lo sviluppo sostenibile ed i rischi naturali come l'instabilità dei versanti e i fenomeni di permafrost. Il permafrost è un fenomeno che, anche se si verifica a quote elevate (sopra 2.000 m slm) normalmente lontano da abitazioni ed infrastrutture umane, ha un notevole impatto ambientale e deve essere considerato un fattore di rischio idrogeologico ai sensi della legge 267. Eventuali cambiamenti climatici, sia antropogeni sia naturali, potrebbero disturbare notevolmente l'equilibrio di gelo e disgelo causando così frane, crolli e smottamenti potenzialmente dannosi per i beni e la vita umana e le infrastrutture (Zimmermann et al., 1998, Kääb et al., 1996, Vonder Mühll et al., 1996). L'Ufficio Geologia e Prove Materiali della Provincia Autonoma di Bolzano ha iniziato il progetto pilota "PROALP – Rilevamento e monitoraggio dei fenomeni di permafrost sulla base di interferometria differenziale" per rilevare i fenomeni di permafrost alpino e per monitorare il suo impatto ambientale. Gli obiettivi principali del progetto sono lo sviluppo e l'applicazione di metodi validi per il rilevamento dei diversi fenomeni di permafrost in regioni alpine e lo sviluppo e l'applicazione di un sistema valido ed affidabile di monitoraggio continuo di tale fenomeno, sempre basato su dati provenienti da vari metodi di telerilevamento (dati ottici, radar, radar interferometria, ecc.). Un punto chiave è il monitoraggio e la misura dei movimenti superficiali delle aree di permafrost tramite l'interferometria radar differenziale da satellite. La verifica della congruità dei dati primari e dei risultati delle varie elaborazioni è garantita da diverse misure di controllo a terra specialmente misure geodetiche e di GPS differenziale. Una volta provata l'efficienza e l'affidabilità del metodo, sarà testata l'operatività del sistema a lungo termine. Inoltre sarà sviluppato una banca dati territoriale (GIS) che integra i dati di telerilevamento e le misure terrestri adattabile alle esigenze degli utenti finali (enti provinciali, statali ed altri). I metodi sviluppati ed i dati raccolti nel GIS possono essere una fonte d'informazione principale per la valutazione della pericolosità idrogeologica, del rischio specifico, dell'impatto ambientale e con ciò possono essere uno strumento base per elaborare piani di protezione civile, decidere le misure di salvaguardia e le opere di mitigazione indispensabile per una buona gestione del territorio. Dati questi obiettivi il progetto è anche in assoluto accordo con gli indirizzi del Piano Spaziale Nazionale specialmente con il tematismo "Osservazione della Terra" dov'è indicato come missione il miglioramento del sistema "Terra", mettendo a punto modelli sempre più affidabili di previsione, controllo e gestione di fenomeni naturali ed indotti dall'uomo, con particolare attenzione ai disastri naturali.

2. Metodologia

Partendo da esperienze nell'ambito di progetti di ricerca e sviluppo parzialmente finanziati dall'ESA, l'Ufficio Geologia e Prove Materiali e l'Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano hanno dato inizio ad un progetto insieme alla Teledata GeoConsult GmbH-srl, Geo Information Management, Grid-IT con e le Università di Innsbruck e Göttingen. Elemento principale del sistema adottato per l'identificazione, il rilevamento ed il monitoraggio delle aree di permafrost è l'uso di dati di telerilevamento satellitare specialmente l'interferometria differenziale. Mentre nuovi metodi di elaborazione dati saranno sviluppati, i metodi esistenti saranno adattati e di seguito testati per quest'applicazione specifica. I risultati finali saranno integrati in una banca dati della criosfera alpina. Questa banca dati spaziale e multitemporale di un sistema d'informazione territoriale (GIS) permetterà poi un'analisi più specifica e mirata dei dati.

I passi principali saranno:

- 1) Inventario dei fenomeni di permafrost su scala regionale,

2) Monitoraggio dettagliato dei fenomeni di permafrost in tre test-sites,

L' applicazione "Inventario dei Fenomeni di permafrost" è finalizzata a dare una vista generale sulla presenza dei fenomeni di permafrost di una certa regione cioè nel nostro caso sull'intera Provincia Autonoma di Bolzano–Alto Adige. In un primo passo sono stati raccolti tutti dati storici e dati provenienti da indagini dettagliate precedenti che saranno integrati con dati bibliografici su fenomeni di permafrost e con dati di eventi franosi eventualmente collegati ad essi (p.e. debris flow provenienti da zone sub-nivali e nivali) in una meta-banca dati. In un secondo passo sono stati utilizzati e valutati dati di telerilevamento satellitare ottici e di microonde, adatte al rilevamento di grande aree in breve tempo, utilizzando metodologie esistenti preposti, specialmente l'interferometria differenziale che sarà perfezionata nell'ambito di questo progetto. Un aspetto chiave del progetto è l'acquisizione di dati precisi e affidabili sul movimento dei rock glacier come forma più evidente dei processi crioglaciali utilizzando SAR-interferometria differenziale (Differential Interferometric SAR, DInSAR, DiffSAR). Il pregio del metodo è l'identificazione e la misura dei spostamenti superficiali sulla base di onde radar parallele alla linea di osservazione raccolte in tempi diversi. Il processamento dei dati SAR può essere diviso in varie fasi logiche e per ogni fase saranno definiti controlli di qualità. Prodotti intermedi (cioè multiple 2-pass differential interferograms) che possono servire all'identificazione dei spostamenti saranno elaborati in fase 4. Il processamento è diviso nelle seguenti fasi:

- 1) Registrazione immagine SAR,
- 2) Produzione interferogramma, stima della linea di base,
- 3) Stima della componente della fase topografica,
- 4) Sottrazione della componente della fase topografica (o combinazioni di interferogrammi complessi),
- 5) SAR georeferenziazione,
- 6) Perfezionamento del prodotto (visualizzazione, sovrapposizione con altri dati, estrazione di velocità di deformazioni lungo profili, etc.).

Come software di valutazione DiffSAR il team della Teledata GeoConsult GmbH-srl usa quello della Gamma Remote Sensing S.p.A., Svizzera (Wegmüller, U., Werner, Ch., Strozzi, T., Wiesmann, A.: 1995 – 2006), che consiste dai componenti seguenti:

- Modular SAR Processor (*MSP*),
- Interferometric SAR Processor (*ISP*),
- Differential Interferometry and Geocoding Software (*DIFF&GEO*),
- Land Application Tool (*LAT*), Geocoding and Image Registration Software (*GEO*).

Per l'inventario dei fenomeni di permafrost a scala regionale sono state delimitate le aree con cambiamenti geometrici per tutto il territorio della provincia. Per il monitoraggio su livello dettagliato sono state misurate le rate di movimento della superficie nelle aree di studio. L'elaborazione di carte di deformazione avviene in fase 6 applicando *phase unwrapping* e conversione delle fasi in valori di spostamento. Il processo segue i seguenti passi:

- 6a) Differential phase images unwrapping (nel contesto alpino applicato solo localmente a settori dell'immagine intera a causa del rilievo),
- 6b) Stacking (combinazione) dei diversi risultati (se applicabile),
- 6c) Conversione in rate di deformazione.

L' applicazione "Monitoraggio dei fenomeni di permafrost" è stata realizzata in modo prototipale in tre *test-sites* diversi. L'obiettivo principale per lo sviluppo di quest'applicazione è il perfezionamento dei metodi già adottati per l'inventario e la realizzazione di un monitoraggio ad intervalli brevi ma continuo per l'intero periodo del progetto di 3 anni. Come test-sites sono state scelti dei *rockglacier* nei dintorni della Punta di Saldura (Val Senales), nell'area della Punta Triangolo di Riva (Valle di Riva),

nei dintorni della Cima Sternai Meridionale (Val d'Ultimo) e un *rockglacier* in una zona delle Dolomiti ricadente nel foglio 1:50.000 della Carta Geologica d'Italia "La Marmolada" attualmente in fase di rilevamento relativo alla pericolosità idrogeologica eseguito dai servizi geologici della Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige, della Provincia Autonoma di Trento e della Regione Veneto. I *test-sites* si distinguono essenzialmente per la litologia e quindi anche per la geomorfologia. Per entrambi *test-sites* però esistono numerosi dati di studi precedenti che verranno messi a disposizione dalle autorità partecipanti.

Per l'analisi delle rate di movimento della superficie nelle aree di studio sono stati usati le seguenti basi dati:

Tabella 1: Datasets della missione ERS-1/-2 usati per il calcolo degli interferogrammi.

Track	ERS-1	ERS-2	Bemerkung
Track 401 asc	21/4/96	22/4/96	interferogramma 1 giorno
Track 394 desc	26/5/96	27/5/96	interferogramma 1 giorno
Track 165 desc	---	9/8/97	interferogramma 35 resp. 70 giorni, anno 1997
Track 165 desc	---	13/9/97	
Track 165 desc	---	18/10/97	
Track 165 desc	---	18/9/99	interferogramma 35 resp. 70 giorni, anno 1997
Track 165 desc	---	23/10/99	
Track 165 desc	---	27/11/99	

Tabella 2: Datasets della missione JERS usati per il calcolo degli interferogrammi.

Track	JERS	Bemerkung
Track 294 desc	14/3/93	interferogrammi 88 giorni
Track 294 desc	10/6/93	
Track 295 desc	25/7/93	interferogrammi 44 giorni
Track 295 desc	7/9/93	
Track 296 desc	16/4/94	interferogrammi 44 giorni
Track 296 desc	30/5/94	

In aggiunta nei *test-sites* sono stati eseguiti i seguenti rilevamenti:

- misurazioni della temperatura del suolo tramite una rete di registratori di temperatura miniaturizzati e misurazioni annuali della temperatura di base del manto nevoso invernale,
- analisi stereoscopica di foto aeree per rilevare la geomorfologia criogena;
- classificazione della copertura vegetale come indicatore dello stato d'attività del permafrost,
- rilievi in campagna della scabrezza superficiale e della composizione del substrato,
- rilevamento tettonico,
- misurazioni georadar
- misure dei movimenti tramite metodi geodetici terrestri (tacheometria) e DGPS,
- verifica in campagna di macchie di neve perenne,
- rilevamento terrestre della geomorfodinamica recente,
- rilevamento dello scarico superficiale attuale.

3. Risultati

Nella pagina seguente una serie di risultati ottenuti durante la prima fase di progetto verrà presentata finalizzata ad una calibrazione del sistema di valutazione: selezione ed acquisto dati ERS e JERS, (vedi tab. 1 e 2) sviluppare e consolidare i parametri di valutazione ed elaborare la strategia per l'acquisto dei dati seguenti per arrivare ad un massimo livello di coerenza con gli obiettivi del progetto.

Le valutazioni di telerilevamento della prima fase, nel senso di un "reconnaissance mapping", perchè limitate in riguardo alla finestra di osservazione sono già capaci di dare risultati significativi invece solo semi-quantitativo con l'approccio applicato.

L'analisi quantitativa sarà fatta in un passo seguente ottimizzando i parametri di filtraggio.

Alcuni risultati sono presentati nelle figure seguenti.

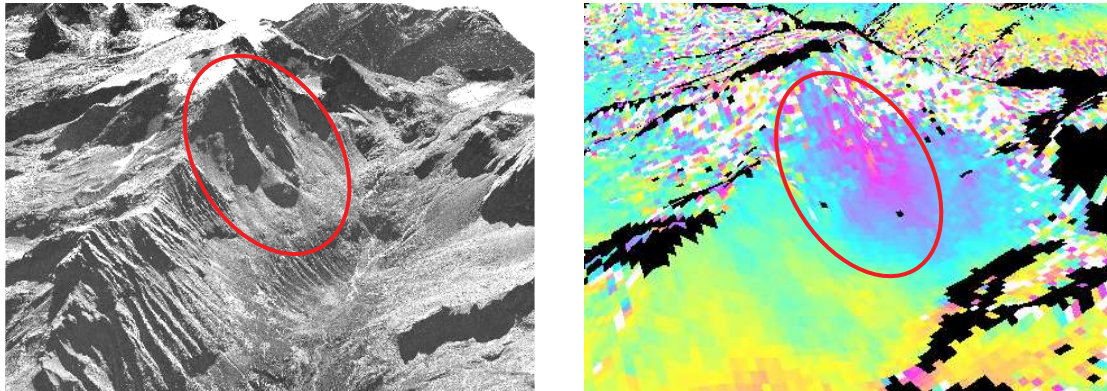
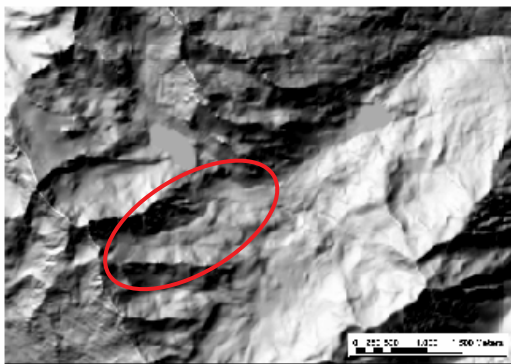
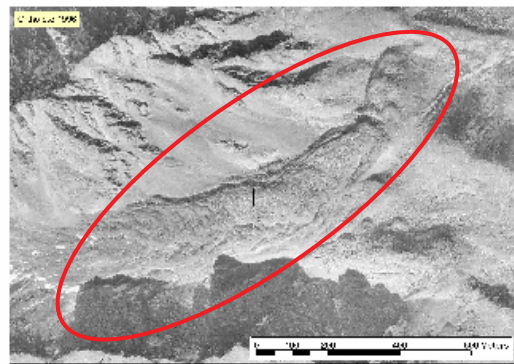


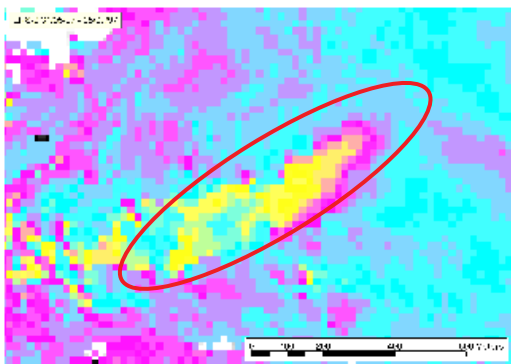
Figura 1: Ortoimmagini e interferogramma ERS-Tandem, descending orbit, Track 394, periodo: 26/5/96 – 27/5/96 (1 giorno), Valli di Riva, sovrapposti su modello digitale di terreno in vista prospettica. DEM e orthophoto: Provincia BZ. La zona in movimento si trova entro il circolo rosso.



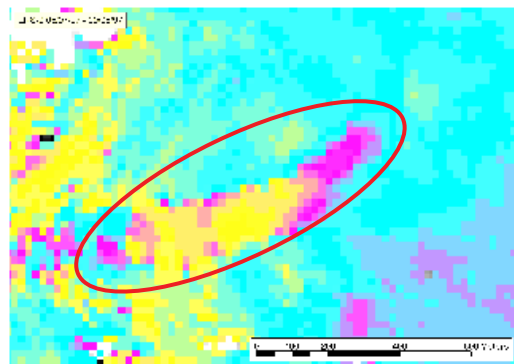
a) DEM Val d'Ultimo. Cartografia di base: Provincia di Bolzano.



b) Fotografia aerea. Val d'Ultimo. Cartografia di base: Provincia di Bolzano.



c) ERS-2, periodo: 31/5/97 – 5/7/97 (35 giorni)



d) ERS-2, periodo: 5/7/97 – 9/8/97 (35 giorni)

Figura 2: DEM (a), fotografia aerea (b) e interferogramma diversi periodi (c-d), Val d'Ultimo, Provincia di Bolzano. Diversi stati di attività di movimento nei periodi di osservazione possono essere individuati. Si verifica anche nelle immagini altre fenomeni nel prodotto DiffSAR, non corrispondente con una deformazione geometrica, ma con variazioni della copertura vegetale, umidità del suolo, o anche variazioni atmosferiche, etc. falsificando il risultato geoscientifico-applicativo. Per ciò il team enfatizza un approccio multisensore, seguito di una interpretazione da esperti geoscientifici, chi sanno valutare i risultati telerilevati in riguardo ai fenomeni da individuare e studiare.

4. Conclusioni

Il contributo attuale rappresenta i risultati dell'interferometria differenziale ottenuti dai dati radar sia nella banda C (satellite ERS ed Envisat) sia nella banda L (satellite JERS). Il telerilevamento risulta un metodo efficace in grado di dare informazioni su movimenti superficiali tramite un'analisi multi-temporale delle aree interessate sia a scala regionale sia a livello di dettaglio molto elevato. I risultati ottenuti sulla base di metodi di telerilevamento al momento sono in corso di verifica attraverso i rilievi di campagna ed altri metodi di telerilevamento. Poichè il fenomeno è molto frequente ma non limitato alle zone sopra il limite del bosco, rendendo difficile l'analisi interferometrica nella banda C in certi casi a causa della decorrelazione del segnale radar l'uso complementare della banda L è in grado di dare un contributo essenziale per superare le limitazioni rendendo l'analisi interferometrica più affidabile, perchè la banda L è meno esposta alla decorrelazione temporale o della vegetazione.

Nell'inventario entrano anche i *rockglacier* delimitati tramite l'interpretazione di immagini aerei per tutto il territorio e le macchie di neve perenne estratti automaticamente dalle ortoimmagini di diverse annate. Basandosi sulla combinazione di diversi indicatori di permafrost l'inventario permetterà l'individuazione di zone critiche dando così la possibilità di prendere i provvedimenti necessari in breve tempo. Inoltre l'inventario esporrà informazioni primarie a vasta copertura dando spunto ad investigazioni di dettaglio ed un monitoraggio a lungo termine.

Bibliografia

- Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P. (1997), *Murganggefahr und Klimaänderung. Ein GIS-basierter Ansatz*, vdf, Zurigo.
- Barsch, D. (1996): *Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments*. Berlin.
- Belitz, K., Corsini, A., Mair, V., Strozzi, T., Wegmüller, U., Zilger, J. 2003, Support of Satellite Radar to Hazard Zone Mapping in the Italian Alps. *FRINGE Workshop, September 2003, ESA-ESRIN, Frascati, Italy*
- Mair, V. & Zilger, J. (2004): Flächenhafte Erfassung und Überwachung von Hangrutschungen mit Hilfe von Satellitenradar. DKKV-Forum – Themenblock 1: Visualisierung von Naturgefahren, 13./14. Oktober 2004, Mainz, Deutschland.
- Paganini, M., Palazzo, F., Arino, O., Manunta, P., Ferretti, A., Gontier, A., Wunderle, S., Pasquali, P., Strozzi, T., Zilger, J., van Westen, C., 2003, "SLAM, the development of an EO Service to support the legal obligations of Swiss and Italian Geological Risk Services in landslide risk forecasting and prevention", *IGARSS 2003, Nice, France; 0-7803-7930-6/\$17.00 (C) 2003 IEEE*.
- Strozzi, T., Farina, P., Corsini, A., Zilger, J., Wiesmann, A., Wegmüller, U. & Werner, Ch. (2004): Demonstration of the Capabilities of L-band SAR Interferometry for Landslide Deformation Monitoring Using JERS-1 Data. 4th International Symposium on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications, Innsbruck, Austria, November 16-19, 2004.