

Crolli in pareti rocciose d'alta quota: creazione ed implementazione di un GIS-database per il M. Bianco

ROBERTO PAU¹, MARTA CHIARLE¹, WALTER GIULIETTO², GIOVANNI MORTARA¹ e MASSIMO ARATTANO¹

Riassunto. *I mutamenti climatici in atto a scala globale stanno sempre più richiamando l'attenzione sia dell'opinione pubblica che delle autorità locali, nazionali ed internazionali. Sono dunque in crescita le iniziative dedicate allo studio della complessa evoluzione dell'ambiente fisico legata ai mutamenti climatici e delle possibili ripercussioni sulle attività dell'uomo. Ne è un recente esempio il progetto Interreg PermaDataRoc, che, prendendo impulso dall'eccezionale numero di frane occorse in alta quota durante la caldissima estate del 2003 (in particolare nel Massiccio del Monte Bianco e sul Cervino), si propone di colmare le notevoli lacune esistenti in merito al rapporto tra degradazione del permafrost ed instabilità delle pareti rocciose d'alta quota. Il progetto si pone due obiettivi principali: a) creare un GIS-database dei fenomeni di crollo in alta montagna e b) sperimentare metodologie innovative per il monitoraggio del regime termico e dell'evoluzione geomorfologica di pareti d'alta quota.*

Il presente lavoro descrive l'approccio metodologico seguito, nell'ambito di tale progetto, per la realizzazione di uno specifico GIS-database degli eventi d'instabilità indagati e per una prima analisi spazio-temporale dei dati in esso raccolti. Sono altresì riportati i primi risultati ottenuti dal lavoro finora svolto.

Parole chiave: *crolli di roccia, degradazione del permafrost, GIS, Massiccio del M. Bianco*

Abstract. *Ongoing climate changes at planetary scale are more and more attracting the attention of public opinion and of decision makers at local, national and international level. An increasing number of studies are thus dedicated at investigating the complex evolution of physical environment in response to climate variations and the consequences on human activities. A recent example is represented by the Interreg project PermaDataRoc that, following the exceptional rock fall activity occurred during the extremely hot and dry summer 2003 (in particular on the Mount Blanc Massif and Matterhorn), aimed at filling the gap about the existing relation between permafrost degradation and high mountain rockwall instability. The project has two main targets: a) creating a GIS-database of rockfall events in the Mount Blanc*

¹ CNR-IRPI, Torino. Lavoro svolto nell'ambito del Progetto Interreg Alcotra n.196 PERMADATAROC

² SEA Consulting Engineering Geology

Massif; b) testing innovative methodologies for monitoring thermal regime and geomorphological activity of high elevation rockwalls.

The present paper describes the methodological approach followed in this contest to create a specific GIS-database and for a preliminary analysis of spatial and temporal distribution of instability events. Preliminary results are also illustrated.

Key-words: *rock-falls, permafrost degradation, GIS, Mt.Blanc Massif*

Introduzione

Gli ultimi decenni del 20° secolo e l'inizio del 21° sono stati caratterizzati da segnali inequivocabili di un mutamento climatico i cui effetti (quali l'incremento della temperatura media globale dell'aria e degli oceani, la fusione dei ghiacciai, l'innalzamento del livello medio del mare, la variazione dei regimi pluviometrici) suscitano grande attenzione e preoccupazione sia nell'opinione pubblica che tra i politici e gli amministratori, a livello sia locale che nazionale ed internazionale. Alla luce dei cambiamenti in atto e degli scenari futuri proposti, sono in aumento gli studi rivolti alla comprensione e previsione della complessa evoluzione dell'ambiente fisico e delle possibili ripercussioni sulla vita e sulle attività dell'uomo (IPCC, 2007). In particolare, è stato osservato come le aree montane siano tra gli ambienti che maggiormente stanno risentendo di tali cambiamenti (Brunetti et al., 2006).

Ne è un chiaro esempio il sensibile incremento dell'attività gravitativa registrato in concomitanza dell'anomala estate del 2003 (Gruber et al., 2004; fig. 1). In tale occasione è stata in alcuni casi osservata la presenza di ghiaccio lungo le superfici di distacco, come sul classico passaggio della "Cheminée" sul Cervino: ciò ha suggerito un possibile ruolo della degradazione del permafrost nell'innescare di fenomeni d'instabilità in ambiente di alta montagna. A partire da tali osservazioni, e dietro sollecitazione di alcune strutture tecniche preposte alla sicurezza del territorio ma prive di strumenti metodologici e conoscitivi adeguati per affrontare le problematiche in oggetto, ha preso impulso il progetto Interreg *PermaDataRoc* (Deline et al., 2007), cui partecipano Fondazione Montagna Sicura (capofila), CNR-IRPI Torino, Arpa Valle d'Aosta, Laboratoire Edytem (Université de Savoie). La finalità del progetto è quella di indagare i rapporti esistenti tra degradazione del permafrost e stabilità dei versanti rocciosi, secondo quanto già da tempo ipotizzato da alcuni autori (Wegmann et al., 1998; Harris et al., 2001). Per raggiungere gli obiettivi previsti, il progetto si articola in tre azioni principali, volte rispettivamente al

censimento degli eventi d'instabilità in pareti rocciose d'alta quota ed alla creazione di un apposito GIS-database (azione 1, *Censi-cro*), alla caratterizzazione dei regimi termici delle pareti rocciose (azione 2, *Perma-temp*) ed al monitoraggio della loro attività gravitativa (azione 3, *Perma-cro*). Una quarta azione (*Perma-com*) ha come fine la comunicazione degli obiettivi e dei risultati del progetto.

Le azioni 2 e 3 sono in grado di fornire dati accurati ed in tempo reale su siti d'indagine specifici. Tuttavia, le informazioni acquisite nell'ambito dell'azione 1 sono indispensabili per elaborare un quadro a scala regionale dell'attività gravitativa dei versanti, finalizzato all'individuazione di trend evolutivi e di siti dov'è opportuno un monitoraggio costante.

L'azione 1 nasce dunque innanzitutto dalla necessità di ovviare alla carenza di informazioni relative agli eventi di crollo avvenuti in alta montagna: infatti, fenomeni di questo genere sono spesso poco documentati a causa della scarsa frequentazione e dell'inaccessibilità dei luoghi in cui si verificano. Tali fenomeni, inoltre, sono considerati far parte della normale evoluzione morfologica dei versanti rocciosi, e dunque non degni di menzione, salvo raggiungano dimensioni eccezionali o causino danni a cose o persone (Barla et al., 2000; Cola, 2005). L'azione 1 (*Censi-cro*) è a sua volta articolata in due attività distinte: i) il censimento dei crolli recenti ad opera di una rete di osservatori, costituita in primo luogo da un gruppo di guide alpine che hanno svolto un apposito percorso formativo presso Fondazione Montagna Sicura; ii) un'indagine storica di dettaglio, con la creazione di un apposito GIS-database per l'analisi spazio-temporale dei dati raccolti.

Il presente lavoro intende illustrare la metodologia e gli strumenti d'indagine utilizzati per lo sviluppo di questa seconda attività dell'azione 1 - *Censi-cro*, ed una prima analisi dei risultati ottenuti, volta a valutare l'evoluzione spazio-temporale dei fenomeni studiati.

Inquadramento dell'area di studio

Come area di studio è stato scelto il versante italiano del Massiccio del Monte Bianco, in quanto: i) è condiviso da Italia e Francia (le due nazioni coinvolte nel progetto Interreg), ii) è stato uno dei massicci che nell'estate 2003 hanno registrato l'attività gravitativa più intensa, iii) presenta uno sviluppo importante di pareti rocciose in alta quota, iv) è caratterizzato da un'elevata frequentazione alpinistica e dalla presenza di numerose società di guide alpine molto attive, sia sul lato francese che italiano, nonché di numerosi rifugi, tutti fattori che facilitano la segnalazione di eventi gravitativi anche di piccola entità altrimenti non documentabili.

Il versante italiano del massiccio presenta un andamento NE-SW, con uno sviluppo altimetrico che in Val Veny raggiunge i 4810 m della cima del Monte Bianco, mentre in Val Ferret raggiunge i 3872 m in corrispondenza dell'Aiguille de Triolet. Dal punto di vista geologico, l'area in esame presenta una litologia sostanzialmente omogenea, costituita da graniti porfirici risalenti al Carbonifero superiore, mentre sotto l'aspetto strutturale è da segnalare la presenza di faglie e zone cataclastico-milonitiche con andamento circa NE-SW.

Metodologie d'indagine

Per il conseguimento degli obiettivi previsti, lo studio è stato articolato in tre momenti principali: a) un'accurata indagine storica finalizzata alla documentazione del maggior numero possibile di eventi d'instabilità (in particolar modo crolli in roccia), accaduti sul versante italiano del Massiccio del Monte Bianco a quote superiori ai 2000 m; b) un'approfondita ricerca bibliografica, volta a determinare lo stato dell'arte sullo sviluppo di fenomeni di crollo in un contesto di degradazione del permafrost e sulle metodologie di analisi con strumenti GIS dei principali fattori condizionanti la stabilità delle pareti rocciose c) creazione di un GIS-Database degli eventi d'instabilità e analisi spazio-temporale dell'informazione, al fine di individuare le relazioni esistenti tra collocazione spazio-temporale dei fenomeni, caratteristiche dei versanti e contesto climatico.



Figura 1 – Crollo in atto sulla parete SE del Cervino nell'agosto 2003 (foto L. Trucco)



Figura 2 – Crollo di roccia con accumulo sul Ghiacciaio del Pré de Bar, (foto Alean, 1982, www.swisseduc.ch/glaciers)

Indagine storica. La ricerca storica ha preso avvio dai dati contenuti nei documenti degli archivi del CNR-IRPI di Torino, in studi precedenti realizzati nell'area (Chiarle, 2001; Deline, 2002; Chiuminatto, 2004) e nella casistica raccolta dal progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) per la regione Valle d'Aosta (Ratto et al., in questo volume). Le informazioni così ottenute sono state validate ed integrate mediante un'attività di fotointerpretazione multitemporale (dal 1954 al 2003). Essa è stata volta ad individuare quei fenomeni gravitativi che, a causa delle modeste dimensioni e/o per l'inaccessibilità dei luoghi, non sono documentabili con altri metodi d'indagine. A questo scopo, particolare attenzione è stata rivolta al riconoscimento di accumuli gravitativi sui corpi glaciali: infatti, la dinamica delle masse glaciali non consente ai depositi derivanti da crolli, valanghe, etc. di conservare a lungo la propria individualità, consentendo dunque di circoscrivere l'intervallo temporale di occorrenza del fenomeno gravitativo individuato (fig. 2).

Le tipologie di eventi presi in esame comprendono: a) caduta massi; b) crolli di roccia; c) valanghe di roccia (o di roccia e ghiaccio).

Tutti i dati raccolti sono stati inseriti in un apposito database in formato excel, che consentisse la completa schedatura dell'informazione. Considerato il tipo di analisi previsto e le finalità dello studio, per ogni fenomeno si è cercato di completare, ove possibile, campi a carattere generale e campi specifici per nicchie e accumuli. I campi descrittivi del fenomeno comprendono: la tipologia del fenomeno, l'ubicazione, la data, il percorso complessivo dal punto sorgente al punto di arresto, il dislivello complessivo, il rapporto dislivello complessivo/percorso complessivo, l'inclinazione generale del pendio, le litologie coinvolte ed il loro assetto strutturale, l'ubicazione della nicchia, le sue caratteristiche geometriche, volume e superficie dell'accumulo e sue caratteristiche granulometriche. I dati georeferenziabili sono andati ad implementare un apposito GIS-database, realizzato in vista della successiva analisi con gli appositi strumenti di analisi spaziale di *ArcGIS*. Semplice è stata l'acquisizione dei dati già organizzati in ambiente GIS (es. Progetto IFFI) e quelli derivanti da fotointerpretazione. Più problematica è stata invece la georeferenziazione dei fenomeni descritti da documenti testuali (pubblicazioni, relazioni tecniche, etc...): a seconda del grado di affidabilità del posizionamento spaziale, le nicchie sono state pertanto classificate in certe, probabili, ipotetiche. Solamente i fenomeni con collocazione spaziale certa o probabile sono stati utilizzati in sede di analisi spaziale delle informazioni.

Ricerca bibliografica. La ricerca bibliografica è stata condotta su riviste e testi specialistici disponibili presso la biblioteca del CNR-IRPI di Torino e tramite consultazione internet.

L'analisi dei lavori selezionati ha consentito di individuare un elenco di parametri significativi per la stabilità dei versanti, da utilizzarsi per l'analisi spaziale in ambiente GIS dei dati provenienti dall'indagine storica. In totale, i fattori significativi individuati sono stati 16.

Analisi spaziale. Dei 16 fattori significativi per la stabilità dei versanti, individuati attraverso la ricerca bibliografica, in prima battuta ne sono stati considerati solamente tre: esposizione, quota, pendenza. Questi sono infatti parametri estraibili in modo automatico e relativamente semplice da un DEM. Altri parametri (es. assetto strutturale), pur molto importanti ai fini di un'analisi di propensione all'instabilità, in assenza di dati già disponibili in formato cartografico e per l'intera area, avrebbero richiesto studi specifici impegnativi che esulavano dagli scopi e dalle possibilità del progetto. Altri infine (es. litologia, uso del suolo, elementi antropici) sono stati ritenuti poco influenti nel caso specifico dell'area di studio prescelta.

Per poter realizzare l'analisi spaziale desiderata, le informazioni del GIS-database sono state rappresentate in formato *raster dataset*.

Al fine di eliminare (o ridimensionare) i fattori in grado di alterare il risultato dell'analisi (aree pianeggianti, settori occupati da ghiacciai, differenze anche notevoli nelle dimensioni delle nicchie di distacco), si è innanzitutto proceduto ad un filtro e ad un trattamento dei dati storici e dei *raster dataset* di riferimento, secondo la seguente procedura:

- 1) eliminazione dai *raster dataset* (rappresentativi di pendenza, esposizione e quota dei versanti analizzati) delle zone da escludere nell'analisi spaziale: al fine di utilizzare per l'analisi spaziale solo aree riferibili a pareti rocciose, sono stati esclusi dai *raster dataset* i settori pianeggianti e le aree coperte da ghiacciai;
- 2) selezione degli elementi utili all'analisi spaziale: dal GIS-database relativo ai fenomeni pregressi d'instabilità sono stati selezionati solamente gli eventi per cui si disponeva di una nicchia ubicata con buona precisione;
- 3) omogeneizzazione e calcolo del baricentro degli elementi selezionati: al fine di garantire ad ogni evento un uguale peso in sede di analisi spaziale, si è scelto di rappresentare le singole nicchie mediante il rispettivo baricentro. Infatti, se si considerassero le nicchie nella loro interezza, quelle caratterizzate da superfici maggiori, occupando un numero di celle maggiore, avrebbero un "peso" nettamente superiore a quello delle nicchie più piccole; questo significherebbe produrre dei risultati fortemente condizionati dalle caratteristiche degli eventi gravitativi di grande entità;
- 4) conversione dei dati puntuali rappresentanti i baricentri delle nicchie di frana in formato *raster dataset*: a tale scopo, sono state prese in

considerazione le celle ubicate in un intorno di 25 m di raggio dal baricentro di ciascuna nicchia;

- 5) analisi dei *raster dataset* relativi alle nicchie e confronto con quelli relativi al versante in esame: i dati ottenuti attraverso il procedimento sopra descritto e relativi ai valori di esposizione, pendenza e quota delle nicchie e del versante, sono stati analizzati statisticamente ed infine messi a confronto tra loro.

Analisi spazio-temporale. Allo scopo di poter valutare l'evoluzione nel tempo dell'attività gravitativa in funzione dei cambiamenti climatici, è stata effettuata un'analisi spazio-temporale degli eventi documentati.

A tale scopo, sono stati selezionati dal database i fenomeni di crollo per i quali è nota con precisione l'ubicazione della nicchia di distacco e la data in cui si è verificato l'evento. I fenomeni così scelti sono stati quindi suddivisi in eventi pre e post 1990. Come discriminante è stata scelta tale data in quanto, benché gli anni '80 segnano l'inizio della fase di riscaldamento in corso, è a partire dagli anni '90 che i valori climatici misurati a scala globale sono usciti dal range di oscillazione che li ha caratterizzati a partire dalla fine della Piccola Età Glaciale.

Primi risultati

Indagine storica. I fenomeni finora documentati e schedati per il versante italiano del Monte Bianco sono oltre 300 (principalmente crolli in roccia), di cui circa il 20% riguardano eventi storicamente documentati e l'80% provengono da fotointerpretazione. Tuttavia, solamente 38 eventi (13%) risultano datati ed ubicati con precisione: inoltre è bene precisare che 8 di questi sono stati datati mediante lichenometria (Giambastiani, 1983).

Analisi spaziale. I grafici sotto riportati illustrano le relazioni esistenti tra i valori di pendenza, esposizione e quota rispettivamente dei versanti e delle nicchie di distacco per un settore specifico dell'area in esame (bacino del Ghiacciaio del Miage e bassa Val Veny) per il quale si disponeva di una quantità di dati significativa per un'analisi di tipo statistico (figg. 3-4).

In riferimento a tale area, le nicchie di distacco mostrano un'orientazione preferenziale (se confrontata con le percentuali di distribuzione delle esposizioni delle celle dei versanti) compresa tra SW e NW, con un picco nella direzione NW. Dall'elaborazione spaziale dei dati relativi alle classi di pendenza delle nicchie e dei versanti, emerge come la distribuzione delle nicchie aumenti in modo quasi lineare con l'incremento della pendenza dei versanti, mentre la presenza di nicchie al di sotto dei 30°-35° è praticamente trascurabile. Per quanto riguarda infine l'analisi dei dati relativi alle classi altimetriche delle nicchie e dei versanti, si osserva come le nicchie si

concentrino in alcuni intervalli altimetrici (tra 2000 e 2800 m s.l.m., tra 3200 e 3400 m s.l.m., con picchi minori intorno ai 4000 e 4500 m s.l.m.).

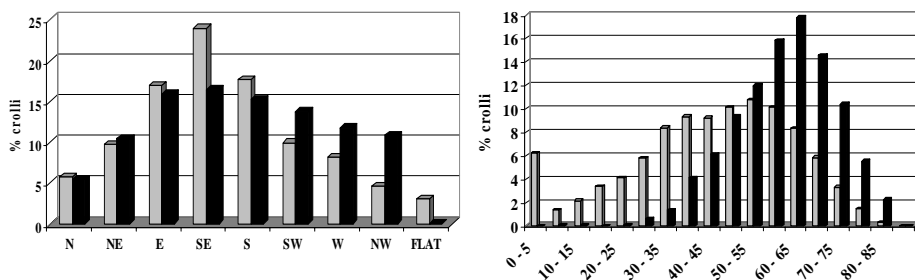


Figura 3 - Confronto tra la distribuzione percentuale in classi di esposizione (sinistra) e di pendenza (destra) delle celle relative ai versanti (grigio chiaro) e alle nicchie di distacco (nero)

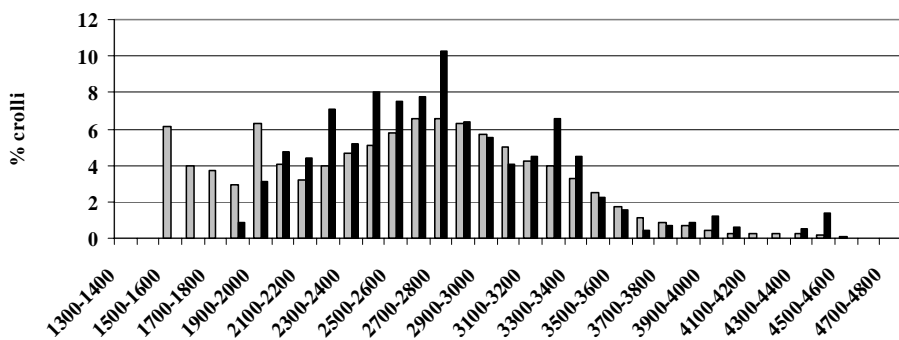


Figura 4 - Confronto tra la distribuzione percentuale in classi di quota delle celle relative ai versanti (grigio chiaro) e alle nicchie di distacco (nero)

Analisi spazio-temporale. Al momento sono stati presi in considerazione solo gli eventi relativi alla Val Veny, poiché per questo settore del Massiccio del Monte Bianco si dispone di un maggior numero di fenomeni di crollo per i quali è nota l'ubicazione precisa della nicchia di distacco e della data in cui si è verificato l'evento.

Nel complesso sono stati analizzati 20 fenomeni gravitativi, di cui 7 avvenuti prima del 1990 e 13 dopo tale data. Da una prima analisi è emerso che circa il 60% degli eventi pre-1990 è avvenuto a quote superiori ai 3000 m s.l.m., mentre negli eventi post-1990 tale percentuale sale a oltre il 90%, facendo registrare una punta intorno al 54% nella fascia altimetrica compresa tra i 3500 e i 4000 m, di cui oltre il 70% avvenuti negli anni 2000 (fig. 5).

Per quanto riguarda l'esposizione, la maggior parte degli eventi sia post che pre-1990 sono avvenuti nei settori esposti a SE, mentre per quanto concerne i soli crolli post-1990, circa il 30% di essi è avvenuto in settori esposti ad E e tutti negli anni 2000, con quote che variano dai 2970 m dell'Aiguille Croux ai 3920 m del Col de Peuterey (fig. 6).

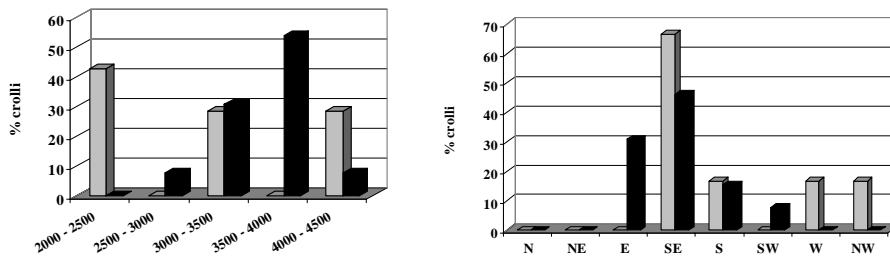


Figura 6 - Confronto percentuale relativo alle quote (sinistra) e alle esposizioni (destra) tra crolli avvenuti prima (grigio chiaro) e dopo (nero) il 1990

Conclusioni

I dati raccolti nel corso dello studio presentano particolare rilievo alla luce della scarsissima disponibilità di informazioni su eventi d'instabilità in ambienti d'alta quota, particolarmente sensibili al riscaldamento climatico per la presenza di ghiacciai e permafrost, ma pochissimo documentati per la limitata diffusione di nuclei abitativi, di vie di comunicazione e infrastrutture. I risultati ottenuti in questa prima fase di lavoro rappresentano una preziosa ed indispensabile base di partenza per un'analisi spazio-temporale che, a partire dalla base di dati storici disponibili, consenta di quantificare il peso dei diversi fattori morfologici, geologici e meteorologici, da una parte, e della degradazione del permafrost, dall'altra, nel determinare l'instabilità delle pareti rocciose.

I primi risultati riportati nel presente lavoro hanno una valenza essenzialmente metodologica, dal momento che il campione su cui si basano le analisi (in particolare quelle spazio-temporali) è di fatto troppo limitato per consentire di ottenere risultati attendibili sotto il profilo statistico.

I risultati finali dell'attività descritta, congiuntamente a quelli provenienti dalle altre azioni del progetto Permadataroc consentiranno di identificare gli effetti del riscaldamento climatico globale sulla stabilità dei versanti rocciosi d'alta quota e costituiranno altresì un'utile base di riferimento per azioni di pianificazione territoriale e nel caso di protezione civile, considerata l'alta frequentazione turistico-alpinistica del Massiccio del Monte Bianco.

Bibliografia

- BARLA G., DUTTO F., MORTARA G. (2000) - *Brenva Glacier Rock Avalanche of the 18 January 1997 on the Mount Blanc Range, Northwest Italy*, «Landslide News», 13, 2-5.
- BRUNETTI M., MAUGERI M., MONTI F., NANNI T. (2006) - *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series*, «Int. J. Climatol.», 26, 345-381.
- CHIARLE M. (2001) - *Analisi dei pericoli naturali in ambiente glaciale*, Tesi di Dottorato di Ricerca, Politecnico di Torino, Dipartimento Georisorse e Territorio, XII ciclo, 206 pp.
- CHIUMINATTO D. (2004) - *Analisi delle relazioni tra l'assetto strutturale e geomorfologico dei rilievi montuosi nel bacino glaciale del Miage e nella Bassa Val Veny*, Tesi di laurea, Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, 241 pp.
- COLA G. (2005) - *La grande frana della Cresta sud-est della Punta Thurwieser (Thurwieser-Spitze) 3658 m (Alta Valtellina, Italia)*, «Terra Glacialis», 8, 9-45.
- DELINE P. (2002) - *Etude géomorphologique des interactions écroulement rocheux/glaciers dans la haute montagne alpine (versant sud-est du massif Mont Blanc)*, Dissertation, Université de Savoie.
- DELINE P. and the PERMAdataROC Team (2007) - *The relation of permafrost degradation and slope instabilities in high-Alpine steep rockwalls (Mont Blanc massif and Matterhorn): the research project PERMAdataROC*, «Geoph. Res. Abstr.», 9, 07191.
- GRUBER S., HOELZLE M., HAEBERLI W. (2004) - *Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003*, «Geophys. Res. Lett.», 31, L13504, doi:10.1029/2004GL020051.
- IPCC - International Panel on Climate Change (2007) - *Climate Change 2007 - Fourth Assessment Report*, <http://www.ipcc.ch/>.
- HARRIS C., DAVIES M.C.R., ETZELMULLER B. (2001) - *The assessment of potential geotechnical hazards associated with mountain permafrost in a warming global climate*, «Permafrost and Periglacial Processes», 12, 145-156.
- RATTO S., ARMAND M., BOIS M., GIARDINO M., GIORDAN D., ALBERTO W. (2007) - *Caratteristiche e distribuzione dei fenomeni franosi in Valle d'Aosta: dati dal progetto IFFI e dalle ricerche geomorfologiche regionali*, in questo volume.
- WEGMANN M., GUDMUNDSSON G., HAEBERLI W. (1998) - *Permafrost changes and the retreat of Alpine glaciers: A thermal modelling approach*, «Permafrost and Periglacial Processes», 9, 23-33.