

VALANGHE ed **EROSIONE** del **SUOLO**

Risultati preliminari ottenuti in due siti sperimentali in Valle d'Aosta

Freppaz Michele
Lunardi S.
Maggioni Margherita
Valfrè di Bonzo F.
Bizzocchi T.
Zanini E.

Università degli Studi di Torino,
Di.Va.P.R.A.
Chimica Agraria
Laboratorio Neve e Suoli Alpini,
Gressoney La Trinité (AO)

Le valanghe esercitano una considerevole azione erosiva sul suolo, che può essere rimosso e trasportato, in particolare nella zona di scorrimento. Il suolo si mescola con la massa nevosa della valanga ed è normalmente depositato nel fondovalle, dove origina specifiche forme di accumulo. La quantità di suolo rimossa dalla valanga in movimento dipende dalle caratteristiche della valanga (es. dimensione, tenore di umidità), da fattori morfologici (es. inclinazione, ampiezza del versante) ma anche dalle caratteristiche del suolo e della vegetazione.

In Valle d'Aosta, sono stati monitorati due percorsi valanghivi di tipo incanalato al fine di valutare le caratteristiche dinamiche delle valanghe ed il loro impatto erosivo sul suolo. La stima del volume del deposito delle valanghe e della concentrazione dei sedimenti ha permesso di calcolare la quantità totale di materiale trasportato. In particolare, i sedimenti raccolti sono stati separati nella frazione di terra fine (diametro delle particelle < 2 mm) e nei residui grossolani (diametro delle particelle >2 mm), sia organici, sia minerali.

I risultati preliminari, ottenuti a partire dall'inverno 2003-2004, hanno evidenziato come in entrambi i siti il sedimento trasportato dalla massa nevosa sia costituito prevalentemente da terra fine. Il carbonio organico e l'azoto totale nella terra fine sono risultati rispettivamente compresi fra l'8-9% e lo 0.39-0.42%. La quantità totale di sedimenti trasportata dalla massa nevosa è stata stimata pari a 25-31 t/ha, con i valori maggiori osservati nel sito valanghivo di minori dimensioni. La considerevole quantità di sedimenti, insieme all'elevata quantità d'acqua rilasciata durante il disgelo primaverile, possono quindi fortemente influenzare l'evoluzione del suolo nella zona di accumulo, contribuendo a determinare specifiche condizioni pedo-ambientali. In particolare, l'accurata analisi dei suoli nella zona di accumulo, con l'individuazione di eventuali orizzonti sepolti dall'accumulo del materiale trasportato dalle valanghe, potrebbe contribuire ad ottenere preziose informazioni circa la frequenza, l'intensità e l'ampiezza di fenomeni valanghivi avvenuti nel passato.



INTRODUZIONE

Nell'ambito della Convenzione della Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato Territorio, Ambiente e Opere Pubbliche con il Laboratorio Neve e Suoli Alpini dell'Università di Torino per la "Consulenza e supervisione scientifica in materia di rischi pedo-ambientali e valanghivi", in Valle d'Aosta sono stati analizzati due siti sperimentali per la misura del trasporto solido operato dalle valanghe. Spesso le valanghe, soprattutto quelle primaverili, erodono, trasportano e depositano suolo, detriti organici e minerali nella zona d'accumulo, formando depositi di "neve sporca". Numerose valanghe, infatti, si innescano come semplici masse di neve ma nel loro tragitto incorporano una certa quantità di sedimenti. Tale azione è particolarmente evidente nel caso di valanghe di fondo di neve umida, che spesso scorrono anche in aree prive di manto nevoso.

I detriti minerali ed il suolo trasportati dalla massa nevosa in movimento derivano dall'erosione del substrato sottostante, sia nella zona di distacco che in quella di scorrimento. La copertura vegetale può limitare l'azione erosiva, ma non è in grado di impedire il sollevamento ed il trasporto di interi orizzonti di suolo, come evidenziato ad esempio da studi condotti negli Stati Uniti (King e Brewster, 1978). L'effetto sul suolo dipende ovviamente dal tipo di valanga. Se predominano le valanghe di fondo, nella zona di scorrimento i suoli appaiono generalmente degradati, quando invece predominano valanghe di superficie, il substrato è generalmente meno eroso (Freppaz et al., 2003; Bozhinskiy e Losev, 1998). Numerosi studi hanno affrontato il problema della determinazione della quantità di sedimenti trasportata dalle valanghe (e.g. Heckman et al., 2005), mentre meno note sono le caratteristiche

chimico-fisiche del materiale trasportato (e.g. contenuto di carbonio e azoto), che possono fortemente influenzare la formazione del suolo nella zona di deposito, dove l'accumulo di ingenti masse di neve determina particolari condizioni termiche ed idriche.

Dall'analisi del materiale solido trasportato nella zona di accumulo è possibile inoltre ottenere preziose informazioni sulla frequenza e l'estensione degli eventi valanghivi. Il materiale solido depositato, infatti, può essere incorporato nel suolo, originando caratteristiche successioni di sedimenti dalla cui analisi è possibile stimare la frequenza degli eventi valanghivi, come sperimentato ad esempio in Norvegia (Blikra e Sæmundson, 1998).

I SITI SPERIMENTALI

I siti sperimentali sono localizzati in Valle d'Aosta, in corrispondenza di aree valanghive caratterizzate da estensione e condizioni climatiche differenti (Figura 1).

Sito sperimentale I: Tschemenoal

Il sito sperimentale I è localizzato nel Comune di Gressoney St Jean, nel settore Orientale della Regione, a circa 15 km Sud dal Massiccio del Monte Rosa (Figura 1). L'area è caratterizzata da un massimo di precipitazioni nel corso della primavera, con uno spessore medio di manto nevoso al suolo a 2000 m s.l.m. pari a 374 cm, per un periodo di ritorno di 30 anni (SMS, 2003; Barbolini, in stampa).

Si tratta di un'area valanghiva parzialmente incanalata, caratterizzata da un dislivello totale di circa 1600 m s.l.m. e da una lunghezza di circa 2200 m. La pendenza media è pari a circa 37° (Tabella di Fig. 2).

La zona di distacco è rappresentata da una vasta area (0.03



Fig. 1 - Localizzazione dei siti sperimentali.

Figura 2 - Caratteristiche dei due siti sperimentali.

CARATTERISTICHE DEI DUE SITI SPERIMENTALI			
		Sito I	Sito II
ESPOSIZIONE		E	SE
DISLIVELLO	m	1600	2000
PENDENZA MEDIA	°	37	30
PENDENZA ZONA DISTACCO	°	38	42
PENDENZA ZONA SCORRIMENTO	°	28	38
PENDENZA ZONA ACCUMULO	°	10	15
SUPERFICIE BACINO	m ²	415000	3500000

km²), costituita prevalentemente da vegetazione erbacea (e.g. *Festuca varia* Haenke) e cespugli (*Juniperus* sp., *Rhododendron ferrugineum* L.). I dati riportati nel presente lavoro si riferiscono all'evento valanghivo verificatosi il 19 Gennaio 2004 (Figura 3).

Sito sperimentale II:

Lavancher

Il sito sperimentale II è localizzato nel Comune di Morgex, nel settore Nord-Occidentale della Regione, a circa 15 km SE dal Massiccio del Monte Bianco (4810 m s.l.m.) (Figura 1). L'area è caratterizzata da un massimo di precipitazioni nel corso dell'autunno, con uno spessore medio di neve al suolo a 2000 m s.l.m. pari a 374 cm per un tempo di ritorno di 30 anni (SMS, 2003; Barbolini, in stampa).

Si tratta di un sito di grandi dimensioni, parzialmente incanalato, con un dislivello di circa 2000 m ed una lunghezza di circa 4500 m; l'inclinazione media è di circa 30° (Tabella di Fig. 2).

Il bacino di raccolta è costituito da un'ampia superficie (circa 2.5 km²), costituito prevalentemente da praterie d'alta quota (Barbolini et al., 2000). I dati riportati nel lavoro sono riferiti all'evento valanghivo del 5 Marzo 2006 (Figura 4).

MATERIALI E METODI

Le caratteristiche dei suoli lungo i siti valanghivi sono stati determinati attraverso specifiche indagini pedologiche. I suoli sono stati descritti e classificati in accordo all'USDA Soil Taxonomy (2006). Nel corso dell'inverno, non appena il rischio di nuove valanghe è diminuito, i depositi valanghivi sono stati delimitati sul terreno attraverso l'impiego di un GPS. Al fine di elaborare una stima dei volumi e dei sedimenti, ogni deposito valanghivo è stato oggetto di successive indagini (sito I: 19 Marzo 2004; 2 Aprile 2004; 26 Aprile 2004; 19 Maggio 2004; sito II (figura 4): 30 Marzo



Fig. 3 - Deposito della valanga nel sito I (19 Gennaio 2004).

Fig. 4 - Deposito della valanga nel sito II (5 Marzo 2006).



EVOLUZIONE DEL DEPOSITO VALANGHIVO DEL SITO II Dal 30 marzo all'8 giugno 2006

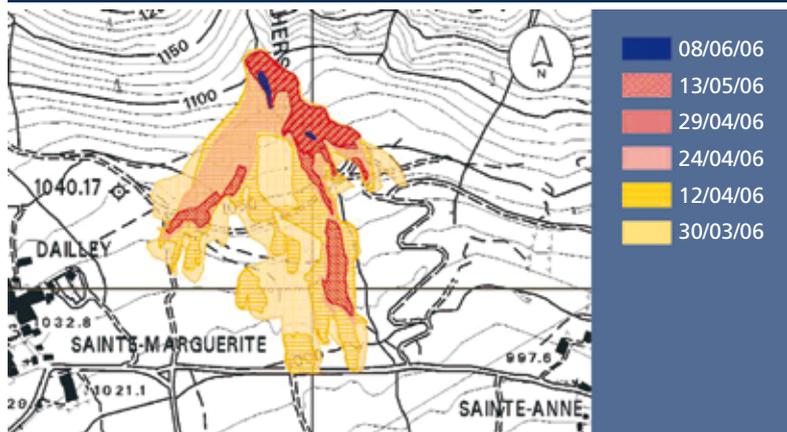


Fig. 5 - Evoluzione del deposito valanghivo del sito II dal 30 marzo all'8 giugno 2006.

Fig. 6 - Deposito della valanga nel sito II in corrispondenza dell'ultimo campionamento (8 giugno 2006).



2006; 12 Aprile 2006; 24 Aprile 2006; 29 Aprile 2006; 13 Maggio 2006; 8 Giugno 2006). Il volume degli accumuli di valanga è stato determinato attraverso la metodologia proposta da Bell et al. (1990), precedentemente discussa e valutata da Schaerer (1988). La concentrazione di sedimenti nei primi 10 cm di deposito è stata determinata campionando verticalmente in tempi differenti (carotatore di alluminio da 200 ml e 5 cm di diametro). Il campionamento è stato effettuato secondo una griglia quadrata di 50 m². Nel sito II i due primi cam-

pionamenti sono stati condotti secondo una griglia quadrata di 1000 m². I campioni di neve prelevati sono stati fusi e filtrati (0.45 µm) ed i sedimenti raccolti sono stati essiccati e pesati. Le concentrazioni di sedimento misurate nel deposito insieme al volume subsuperficiale della valanga sono state impiegate per determinare una stima del sedimento totale presente nel deposito. I sedimenti raccolti sono stati quindi setacciati a 2 mm in modo da separare lo scheletro ed i residui organici più grossolani dalla terra fine (< 2 mm). L'azoto ed il carbonio totali nella terra fine sono stati misurati impiegando un analizzatore CHN (Carlo Erba, Torino).

La densità della neve nella parte più superficiale del deposito della valanga (0-10 cm) è stata determinata in occasione di ogni rilievo, utilizzando un carotatore di metallo di 500 ml di volume (Cagnati A., 2003).

Le analisi statistiche sono state condotte con il software SPSS.

RISULTATI

Sito sperimentale I

Il deposito della valanga, stimato pari a 5400 m³, è risultato costituito da blocchi irregolari ed arrotondati, di dimensioni medie comprese fra 5 e 50 cm. La densità della neve è aumen-

tata da 640 kg/m³ nel corso del primo sopralluogo a 685 kg/m³ in corrispondenza dell'ultimo.

Il primo campionamento della neve del deposito ha evidenziato una concentrazione media di sedimenti pari a 0.39 (± 0.21) kg/m³, il secondo pari a 0.50 (± 0.47) kg/m³, il terzo pari a 5.2 (± 3.0) kg/m³ ed il quarto pari a 31.1 (± 19.9) kg/m³. La concentrazione di sedimenti è risultata significativamente superiore (p < 0.05) nell'ultimo campionamento mentre nessuna differenza significativa è stata evidenziata fra i primi tre campionamenti. La superficie del deposito è diminuita da 900 m² del primo campionamento a 800 m² del secondo, a 700 m² del terzo e a 350 m² del quarto. La quantità totale di sedimenti è stata stimata pari a 3.1 kg/m², equivalenti ad un deposito di circa 2.2 mm sulla superficie del suolo. All'interno del deposito sono state ritrovate zolle intere di suolo, anche di 25 cm di lunghezza, ed alcuni grossi clasti, di dimensioni comprese fra i 5 ed i 15 cm.

La terra fine (< 2 mm) rappresenta il 58% del sedimento (Figura 7) ed è costituita da circa l'8 (± 0.87) % di carbonio organico e dallo 0.39 (± 0.03) % di azoto totale.

La quantità d'acqua rilasciata nella zona di deposito durante la fusione primaverile è stata stimata pari a 3456 m³.

Sito sperimentale II

Il volume del deposito è risultato superiore rispetto a quello registrato nel sito sperimentale I. Esso è stato stimato pari a 70000 m³. La densità della neve del deposito è aumentata da 580 kg/m³ in corrispondenza del primo campionamento a 630 kg/m³ in corrispondenza dell'ultimo.

Il primo campionamento ha evidenziato una concentrazione media di sedimenti pari a 17.9

(± 17.3) kg/m^3 , il secondo pari a $11.8 (\pm 8.1)$ kg/m^3 , il terzo pari a $16.6 (\pm 11.0)$ kg/m^3 , il quarto pari a $20.7 (\pm 20.4)$ kg/m^3 , il quinto pari a $16.1 (\pm 3.3)$ kg/m^3 ed il sesto pari a $25.2 (\pm 8.5)$ kg/m^3 . La concentrazione di sedimenti nel manto nevoso non è risultata significativamente differente nel corso dei differenti campionamenti ($p < 0.05$).

La superficie del deposito si è ridotta da 61400 m^2 del primo campionamento a 315 m^2 dell'ultimo (Figura 6).

L'evento valanghivo studiato in questo sito è stato caratterizzato da un apporto di sedimenti pari a 2.5 kg/m^2 , inferiore rispetto a quello osservato nel sito sperimentale I. L'accumulo medio di sedimenti sulla superficie del suolo nella zona di accumulo è stato stimato pari a 1.8 mm .

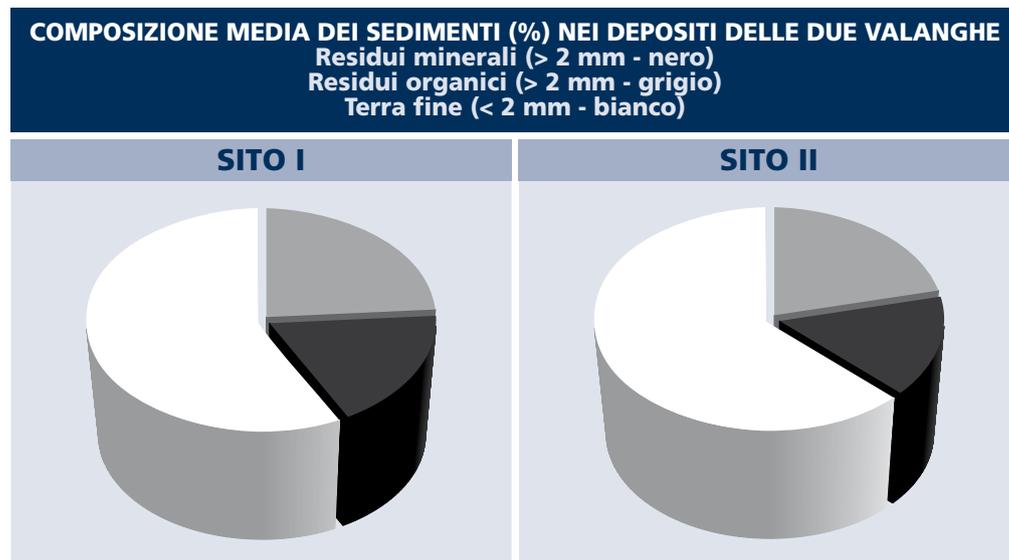
Come evidenziato anche nel sito sperimentale I, la terra fine costituisce la maggior parte del sedimento (63%) (Figura 7), con una concentrazione media di carbonio organico pari al $9 (\pm 0.91) \%$ e di azoto totale pari a $0.42 (\pm 0.02) \%$.

La quantità d'acqua rilasciata nel corso della fusione primaverile è stata stimata pari a 40600 m^3 .

DISCUSSIONE

La quantità di sedimenti trasportati dalle due valanghe studiate non è risultata proporzionale alla dimensione delle stesse. Questo è in accordo con Luckman (1978) e Ackroyd (1986), i quali hanno evidenziato che anche piccole valanghe possono trasportare notevoli quantità di detriti.

I valori di trasporto solido misurati nei due siti sperimentali (31 e 25 t/ettaro rispettivamente nel sito I e nel sito II) sono paragonabili a quelli riportati da Bozhinskiy e Losev (1998), i quali indicano valori compresi fra 1 e 100 t ad ettaro . Bisogna comun-



que tener conto che lo schema di campionamento applicato in questo lavoro è più sensibile al materiale di minori dimensioni, per cui il materiale più grossolano (> 5 cm) potrebbe non essere stato misurato, comportando una sottostima del materiale totale trasportato (Figura 8).

Nel corso dei campionamenti è stata in genere osservata una notevole variabilità della concentrazione di sedimenti nel deposito. In particolare, è stato osservato un significativo incremento della concentrazione di sedimenti nel corso dei campionamenti primaverili nel sito I, attribuibile alla progressiva fusione della neve ed all'accumulo del materiale trasportato, come evidenziato anche nel corso di altre ricerche (Bell et al., 1990). Inoltre, l'incremento della concentrazione di sedimenti nel deposito con il proseguire della fusione, ha evidenziato come i sedimenti non siano confinati solo sulla superficie del deposito, ma che si trovino anche a profondità maggiori. Questo potrebbe indicare che una certa quantità di sedimenti venga trasportata all'interfaccia tra il suolo e la massa di neve in movimento, come evidenziato anche da altri autori (Jomelli e Bertran, 2001). La quantità totale di terra fine, compresa fra



Fig. 7 - Composizione media dei sedimenti (in %) nei depositi delle due valanghe.

Residui minerali (>2mm) (nero), residui organici (>2mm) (grigio), terra fine (<2mm) (bianco).

Fig. 8 - Materiale grossolano presente in zona di accumulo nel sito valanghivo II (13 maggio 2006).

Fig. 9 - Superficie del suolo nella zona di scorrimento del sito I.

il 58 ed il 63% del sedimento trasportato, è superiore rispetto a quanto indicato da altri studi (Heckmann et al., 2002), dove sono state misurate quantità pari a circa il 30%. La grande quantità di terra fine nei sedimenti evidenzia come entrambi i siti siano caratterizzati da suoli piuttosto evoluti e come non solo la superficie dell'area valanghiva



sia erosa, ma anche gli orizzonti di suolo più profondi.

L'azione delle valanghe ha provocato il trasporto anche di intere zolle di suolo, determinando la comparsa di aree di suolo fortemente erose lungo il percorso della valanga. Tali aree, prive di copertura vegetale, possono essere soggette ad ulteriori fenomeni di perdita di stabilità per effetto della fusione primaverile del manto nevoso o in occasione di intense precipitazioni (Kohl et al., 2001; Heckmann et al., 2002) (Figura 9).

La frazione fine del sedimento è costituita dall'8-9% di carbonio organico e dal 0.39-0.42% di azoto totale. Essa può quindi contribuire fortemente all'evoluzione del suolo nella zona di deposito, come riportato da alcuni studi condotti in Pakistan da de Scally e Gardner (1987).

L'accumulo medio di sedimenti nella zona di deposito causato da ciascun evento valanghivo è compreso fra 1.8 e 2.2 mm, valori in accordo con quanto riportato da Gardner (1983), che, per una valanga di neve umida, ha stimato un accumulo sulla superficie di circa 2 mm di sedimento, e da Luckman (1998), che ha riportato valori medi di accumulo pari a 5mm/anno nelle Montagne Rocciose canadesi.

La densità media della neve misurata nel deposito è in accordo con quanto riportato da Ackroyd (1986), che ha misurato valori di 700 kg/m^3 per valanghe di neve umida. Per entrambi i siti valanghivi studiati, l'apporto di acqua conseguente alla fusione primaverile della neve accumulata nella zona di deposito è risultata consistente e, insieme al notevole accumulo di sedimenti, contribuisce a determinare specifiche condizioni pedo-ambientali nella zona di accumulo della valanga.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

I risultati preliminari ottenuti dal monitoraggio dei siti sperimentali ha evidenziato come il trasporto di sedimenti ad opera delle valanghe non sia proporzionale alla loro dimensione. La quantità di materiale solido trasportato nella zona di deposito è pari a numerose tonnellate ad ettaro. In entrambi i siti, il sedimento trasportato è costituito prevalentemente da terra fine, vale a dire dalla frazione granulometrica di diametro inferiore a 2 mm. Tale materiale è costituito da circa il 10% di carbonio organico e da circa lo 0.4% di azoto totale e, insieme alla notevole quantità d'acqua rilasciata durante il disgelo primaverile, concorre a determinare specifiche condizioni ambientali nella zona di accumulo.

In particolare, l'accurata analisi dei suoli nella zona di accumulo, con l'individuazione di eventuali orizzonti sepolti, potrebbe contribuire ad ottenere preziose informazioni circa la frequenza, l'intensità e l'ampiezza di fenomeni valanghivi avvenuti nel passato.

Si tratta di una tecnica sperimentale, già applicata con successo in alcuni siti norvegesi, dove l'analisi di successioni sedimentarie in siti interessati da eventi valanghivi ha permesso di ricostruirne la distanza di arresto e la relativa frequenza (Blikra e Sæmundson, 1998).

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito della Convenzione tra l'Università degli Studi di Torino, DIVAPRA – LNSA, e la Regione Autonoma Valle d'Aosta - Assessorato Territorio, Ambiente e Opere Pubbliche per la "Consulenza e supervisione

scientifica in materia di rischi valanghivi nel territorio della Valle d'Aosta".

Si ringrazia il Servizio Sistemazioni Idrauliche e dei Dissesti di Versante, Direzione Tutela del Territorio, Ass. Territorio, Am-

biente e Opere Pubbliche della Regione Autonoma Valle d'Aosta per il supporto logistico nel sopralluogo alla zona di distacco del sito di Lavancher e

Cristina Ghisolfi per le analisi di laboratorio.

Riferimenti Bibliografici

- Ackroyd, P., 1986. Debris transport by avalanches, Torcesse Range, New Zeland. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* Bd. 30, 1-14.
- Ackroyd, P., 1987. Erosion by snow avalanches and implications for geomorphic stability, Torlesse Range, New Zeland. *Arctic and Alpine Research* vol. 19, n. 1, 65-70.
- Barbolini, M., Ceriani, E., Del Monte, G., Segor, V., Savi, F., 2000. The "Lavanchers" avalanche of February 23th 2000, Aosta valley, Italy. In: *Proceeding of the International Snow Science Workshop: a merging between theory and practice (ISSW 2000)*. Big Sky, Montana, USA, October 1st - 6th 2000, pp. 519-527.
- Barbolini, M., (in stampa). Definizione dei valori di progetto di parametri nivometrici standard per la prevenzione del rischio valanghivo sul territorio valdostano. Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato Territorio Ambiente e Opere Pubbliche, pp. 95.
- Bell, L., Gardner, J., DeScally, F., 1990. An estimate of snow avalanche debris transport, Kaghan Valley, Himalaya, Pakistan. *Arctic Antarctic Alpine Research* 22 (3), 317-321.
- Blikra, L.H., Sæmundson, T., 1998. The potential of sedimentology and stratigraphy in avalanche-hazard research. I: *NGI Publication*, Vol. 203 (1998), s. 60-64. ISSN: 0078-1193.
- Bozhinskiy, A.N., Losev K. S., 1998. The fundamentals of Avalanche Science. *SLF Davos, Mitteilungen* n. 55, pp. 280.
- Cagnati, A., 2003. Strumenti di misura e metodi di osservazione nivometeorologici. Manuale per i rilevatori dei Servizi di Previsione valanghe. *AINEVA*, pp. 133.
- De Scally, F.A., Gardner, J.S., 1987. Avalanche hazard in Kaghan Valley, Himalaya Range, Pakistan. *Proceedings International Snow Science Workshop, lake tahoe, California, October 1986*, 21-28.
- Freppaz, M., Ceraso, D., Bonifacio E., Zanini E., 2003. Valanga del Vallone Carbonaro (Entracque): analisi delle condizioni pedo-ambientali. *Italian Soil Science Conference, Siena 9-12 Giugno 2003*, pp. 10.
- Gardner, J.S., 1983. Observations on erosion by wet snow avalanches, Mount Rae area, Alberta, Canada. *Arctic Antarctic Alpine Research* 15 (2), 271-274.
- Heckmann, T., Wichmann V., Becht, M., 2002. Quantifying sediment transport by avalanches in the Bavarian Alps – first results. *Z. Geomorph.*

N.F., Suppl.-Bd. 127, 137-152.

- Heckmann, T., Wichmann, V., Becht, M., 2005. Sediment Transport by Avalanches in the Bavarian Alps Revisited - a Perspective on Modelling – In: *Z. Geomorph. N.F. Suppl.* 138, 11-25.
- Jomelli V., Bertran P., 2001. Wet snow avalanche deposits in the French Alps: structure and sedimentology. *Geografiska Annaler* 83 A, 15-28.
- King, R.H., Brewster G.R., 1978. The impact of environmental stress on subalpine pedogenesis, Banff National Park, Alberta. *Arctic and Alpine Research* 10, 295-312.
- Kohl, B., Brauner, H., Markart, G., 2001. Soil erosion due to avalanches: measurements on an avalanche cone. In: *International symposium on snowmelt and related problems, 28-30 March 2001, Oslo, Norway* p. 38.
- Luckman, B.H., 1977. The geomorphic activity of snow avalanches. *Geografiska Annaler* 59, 31-48.
- Luckman, B.H., 1978. Geomorphic work of snow avalanches in the Canadian Rocky mountains. *Arctic and Alpine Research*, vol.10, n.2, 261-276.
- Luckman, B.H., 1988. Debris accumulation patterns on talus slope in Surprise valley, Alberta. *Géographie physique et Quaternaire*, 42, 247-278.
- Rapp, A., 1960. Recent development of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, northern Sweden. *Geografiska Annaler*, 42, 71-200.
- Schaerer, P.A., 1988. The yield of avalanche snow at Rogers pass, British Columbia, Canada. *Journal of Glaciology*, 34 (117), 188-193.
- SMS, 2003. *Atlante Climatico della Valle d'Aosta*. Società Meteorologica Subalpina, Torino, pp. 403.
- Soil Survey Staff, 1951. *Soil Survey Manual*. US Department of Agriculture Handbook no. 18, Washington, DC, USA.
- Soil Survey Staff, 2006. *Keys to Soil Taxonomy*, tenth edn. US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Washburn, A.L., 1979. *Geocryology: a survey of periglacial processes and environments*. Edward Arnold, London, pp. 406.