

SUOLI PIÙ FREDDI IN UN MONDO PIÙ CALDO

**Il ruolo della neve nel condizionare la
temperatura e la vita del suolo**

**Michele Freppaz,
Marco Marchelli,
Davide Viglietti,
Enrico Bruno,
Ermanno Zanini**

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

Nelle regioni alpine il riposo vegetativo, le basse temperature e la diffusa copertura nevosa suggeriscono che l'attività biologica del suolo sia concentrata soltanto durante la stagione estiva. In realtà, i suoli ricoperti da un consistente manto nevoso sono isolati dalla rigida temperatura dell'aria e possono non gelare nel corso dell'inverno. L'innalzamento del limite delle nevicate e la riduzione della permanenza della neve al suolo in seguito al riscaldamento globale può però determinare una riduzione dell'effetto isolante del manto nevoso, esponendo i suoli del piano montano (1100-1400 m s.l.m.) a temperature più basse e ad una maggiore frequenza di cicli gelo/disgelo che potrebbero alterare la dinamica della sostanza organica e la disponibilità di nutrienti nel suolo, con potenziali effetti sulle specie vegetali ed animali.



INTRODUZIONE

Stagioni invernali avare di neve non hanno effetti soltanto sull'industria dello sci ma anche sulle caratteristiche dei suoli e della vegetazione in ambiente alpino (Beniston M., 2003). In particolare, gli ecosistemi alpini situati a quote comprese fra i 1100 e 1400 m s.l.m. sono particolarmente vulnerabili, in quanto sempre

più spesso risultano interessati

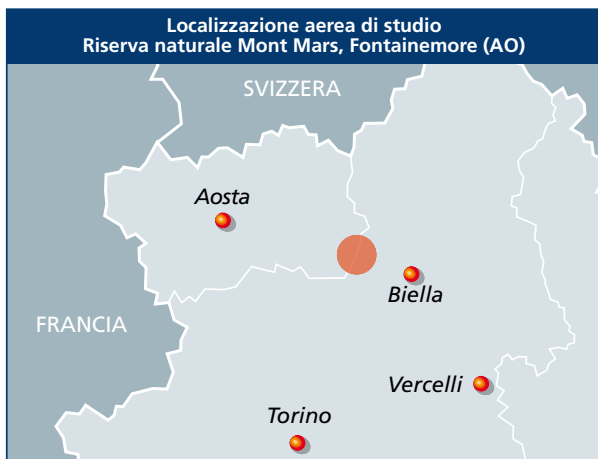


Fig. 2 - Visione estiva dell'area di studio.

Fig. 3 - Visione invernale dell'area di studio.



da un ridotto accumulo di neve. La mancanza di innevamento a queste quote può essere messa in relazione ad un generale aumento delle temperature negli ultimi decenni, con effetti non soltanto sul limite delle nevicate, ma anche sulla durata della permanenza di neve al suolo (IPCC, 1995).

Un manto nevoso di ridotto spessore determina uno scarso isolamento del suolo dalle temperature esterne nel corso dell'inverno. E' infatti noto come un manto nevoso di sufficiente spessore (almeno 30-60 cm) accumulatosi ad inizio inverno sia in grado di isolare il suolo dall'ambiente circostante, mantenendone la temperatura prossima agli 0°C per l'intera stagione invernale. Al contrario, la mancanza di neve può determinare il congelamento del suolo ed una maggiore frequenza dei cicli gelo/disgelo, con potenziali effetti sulla qualità del suolo, della vegetazione e dei corpi idrici. L'alternanza di gelo e disgelo può infatti alterare l'attività dei microrganismi del suolo così come la vitalità degli apparati radicali.

Lo slogan Suoli più freddi in un mondo più caldo (Colder soils in a warmer world), coniato dai ricercatori che da tempo si occupano di questi fenomeni

(e.g. Groffman et al., 2001), ben sintetizza questi aspetti, sottolineando il possibile contrasto fra l'incremento delle temperature dell'aria ed il raffreddamento dei suoli in seguito alla mancanza della copertura nevosa. Alcune prove sperimentali condotte negli ultimi anni negli Stati Uniti, in Svizzera ed in Italia hanno permesso di approfondire tali fenomeni, contribuendo a sottolineare il ruolo svolto dalla neve quale fattore ecologico in grado di condizionare fortemente la dinamica degli ecosistemi alpini, in particolare le caratteristiche dei suoli e della vegetazione.

LA PROVA SPERIMENTALE

Nel corso dell'inverno 2003-2004 a Fontainemore (AO), nei pressi della Riserva Naturale Mont Mars, sono stati predisposti due campi sperimentali ad una quota di 1450 m s.l.m. (Fig. 1).

Un campo sperimentale è stato delimitato in un prato-pascolo, mentre un secondo campo sperimentale è stato ricavato all'interno di un popolamento di Larice (Fig. 2 e 3). In ciascun campo sperimentale una parcella, di superficie pari a 25 m², è stata mantenuta sgombra di neve, mentre una seconda parcella, di dimensioni analoghe, è stata mantenuta indisturbata. La spulatura delle parcelle sperimentali è avvenuta con regolarità in occasione di ogni precipitazione nevosa.

Prima della stagione invernale, appositi data loggers, strumenti in grado di registrare la temperatura del suolo con frequenza oraria, sono stati collocati nel suolo a 10 cm di profondità. Accanto ai data loggers sono stati posizionati dei sacchetti in polietilene contenenti una porzione di suolo della parcella, che è stato analizzato prima e dopo la stagione

invernale, in modo da verificare l'effetto della mancanza di neve sulla dinamica degli elementi nutritivi del suolo.

Una stazione meteorologica automatica, localizzata nei pressi dell'area di studio, ha permesso la registrazione di parametri meteorologici, quali la temperatura dell'aria, l'umidità e le precipitazioni.

I rilievi del manto nevoso sono stati eseguiti secondo la metodologia classica (Cagnati, 2003) misurando i seguenti parametri: spessore dello strato, forma e dimensione dei grani, durezza della neve, densità, temperatura della neve e stimando il contenuto in acqua liquida.

Per ogni profilo del manto nevoso sono state fatte misure di pH, conducibilità elettrica e delle principali specie inorganiche in corrispondenza di ogni singolo strato rilevato. Si sono inoltre determinate le specie organiche di azoto che, in particolare al di sotto della copertura forestale, possono fortemente influenzare le proprietà chimiche del manto nevoso.

LA TEMPERATURA DEL SUOLO

Numerosi studi hanno evidenziato che il manto nevoso stagionale limita il congelamento del suolo a seguito della sua azione isolante. In particolare un manto nevoso di sufficiente spessore (30-60 cm), accumulatosi presto nella stagione invernale è in grado di impedire il congelamento del suolo, indipendentemente dalla temperatura dell'aria (Brooks et al., 1995; Brooks e Williams, 1999; Shanley e Chalmers, 1999). La temperatura del suolo è fortemente condizionata non solo dallo spessore del manto nevoso e dai giorni di presenza di neve al suolo, ma anche dalla densità della stessa (Freppaz et al., 2001;

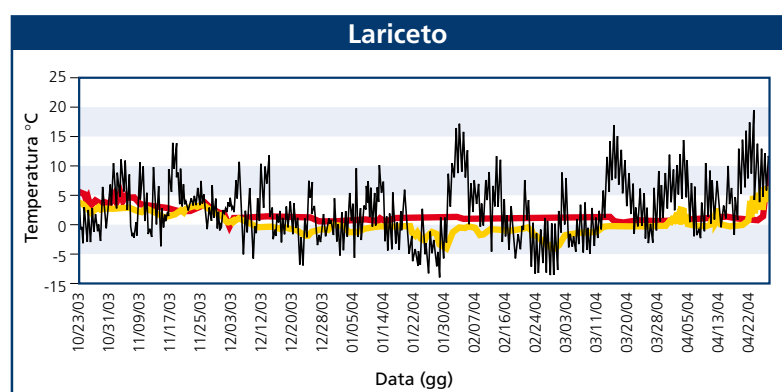
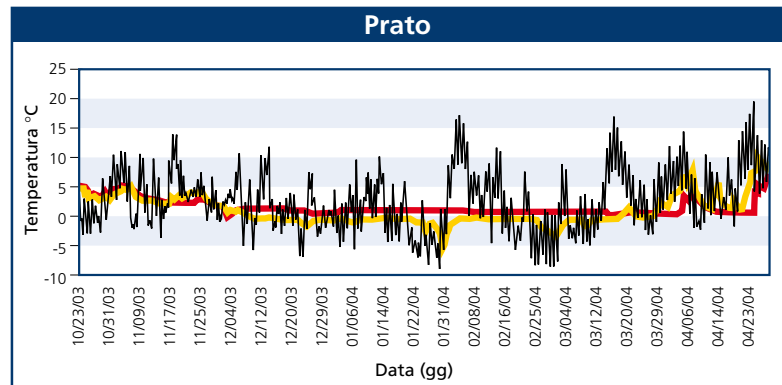


Fig. 4 - Andamento della temperatura dell'aria (linea nera), del suolo indisturbato (linea rossa) e del suolo in cui è stato rimosso il manto nevoso (linea gialla) all'interno del prato.

Fig. 5 - Andamento della temperatura dell'aria (linea nera), del suolo indisturbato (linea rossa) e del suolo in cui è stato rimosso il manto nevoso (linea gialla) all'interno del lariceto.



Piccini e Freppaz, 2004). La conducibilità termica del manto nevoso, pari a $0.05 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ per neve fresca a bassa densità, aumenta infatti al crescere della densità, fino a raggiungere valori di $0.6 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, con una conseguente significativa riduzione della sua azione isolante (Sturm et al., 1997). L'azione di riscaldamento degli strati basali del manto nevoso deriva dall'elevato potere isolante della copertura nevosa, in grado di rallentare

il flusso di calore proveniente dal suolo. Il controllo della variabilità spaziale e temporale della relazione fra profondità del manto nevoso e temperatura del suolo è però molto complesso e dipende da diversi fattori quali la copertura vegetale, la posizione topografica e le caratteristiche del suolo.

La sperimentazione condotta ha evidenziato l'efficacia protettiva del manto nevoso in entrambi gli ecosistemi. I valori di temperatura del suolo dove la neve è stata mantenuta indisturbata si sono mantenuti pressoché costanti per la maggior parte del periodo di acquisizione dei data-logger e prossimi agli 0°C , nonostante le evidenti oscillazioni di temperatura dell'aria. Nei periodi caratterizzati dall'assenza di copertura nevosa, invece, l'andamento termico del suolo ha seguito significativamente le variazioni di temperatura dell'aria libera, con andamenti della temperatura simili alla parcella prive di neve (Fig. 4,5). In particolare, nel periodo tardo autunnale il ridotto spessore di neve accumulato (circa 13 cm) non è risultato sufficiente ad isolare il suolo e l'andamento termico di entrambe le super-

fici ha seguito quello dell'aria. L'innalzamento di temperatura registrato nel corso delle due settimane centrali di novembre non ha modificato l'andamento termico delle parcella indisturbate, ricoperte da 40 cm di neve, mentre nelle parcella spalate la temperatura del suolo ha subito un significativo incremento.

Nel periodo tardo-autunnale, quindi, la neve ha avuto un "effetto raffreddante", poiché ha impedito alle radiazioni solari di raggiungere il suolo. All'inizio di novembre il verificarsi di precipitazioni in forma liquida ha determinato la totale fusione della neve nelle parcella indisturbate, che quindi hanno anch'esse iniziato nuovamente a riscaldarsi. Il successivo accumulo di circa 35 cm di neve ha isolato efficacemente il suolo sotto il manto nevoso indisturbato, la cui temperatura è rimasta pressoché costante e prossima agli 0°C fino ai primi di marzo, anche in relazione all'ulteriore accumulo di manto nevoso. La temperatura del suolo al di sotto della parcella priva di manto nevoso è iniziata invece a diminuire in relazione alla progressiva diminuzione della temperatura dell'aria, con un minimo di -6.0°C . Nel mese

Fig. 6 - Effetto dell'assenza di manto nevoso sulla ripresa vegetativa e l'attività dei micromammiferi nel prato:
a) prato spalato;
b) prato indisturbato.



di gennaio la brusca diminuzione di temperatura dell'aria, con picchi di -8.6°C , ha provocato un abbassamento altrettanto violento della temperatura del suolo spalato, che il 31 gennaio ha raggiunto i -4.5°C . Nella prima parte di febbraio un anomalo innalzamento della temperatura dell'aria ha determinato un significativo incremento della temperatura del suolo nelle parcelle spalate, mentre nel sito indisturbato la temperatura ha continuato a mantenersi costante e prossima agli 0°C . Il successivo abbassamento delle temperature dell'aria ha determinato una nuova significativa diminuzione della temperatura del suolo spalato, che ha raggiunto il minimo assoluto pari a -4.8°C il primo marzo, in corrispondenza di temperature minime dell'aria anche di -8°C .

Nel corso del mese di marzo, il graduale incremento delle temperature dell'aria, ha determinato un significativo incremento della temperatura del suolo spalato che nell'ultima parte del mese ha superato anche quella del sito indisturbato. Anche in questo caso, come nel tardo autunno, il manto nevoso ha svolto in realtà un'azione raffreddante. Negli ultimi giorni di aprile, a seguito della fusione totale del manto nevoso, causato dalla pioggia, si è registrato un evidente innalzamento della temperatura del suolo su entrambi i siti, con valori massimi di 6.2°C il 27 aprile.

Complessivamente la temperatura media del suolo dove la neve è stata rimossa (t media larice = -0.12°C ; t media prato = 0.96°C) è risultata significativamente inferiore rispetto alla parcella sperimentale dove il manto nevoso è stato mantenuto indisturbato (t media larice = 1.33°C ; t media prato = 1.51°C), con differenze di 1.4°C nel lariceto e di 0.5°C nel



Fig. 7 - Profilo del manto nevoso realizzato il 23 Febbraio 2004 in cui è visibile il deposito sahariano.

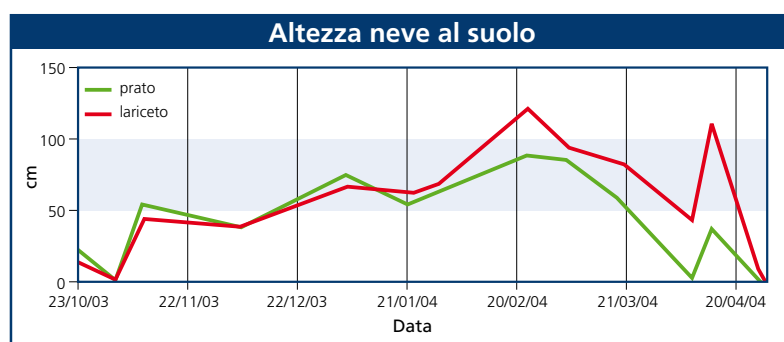


Fig. 8 - Andamento dell'altezza del manto nevoso nelle parcelle sperimentali a diverso uso del suolo.

prato. Tali differenze sono più accentuate se si considerano i mesi di dicembre, gennaio e febbraio, con valori rispettivamente pari a 1.4°C nel prato e 1.9°C nel lariceto.

L'assenza di manto nevoso ha determinato un incremento della mineralizzazione dell'azoto nel suolo, in particolare sotto il prato, con un significativo incremento della concentrazione di azoto nitrico, potenzialmente lisciviabile nel corso del disgelo primaverile (Freppaz et al., 2006). La maggiore frequenza dei cicli gelo/disgelo e le temperature più basse nelle parcelle mantenute senza neve hanno inoltre determinato una significativa riduzione dell'attività biologica nel suolo ed un ritardo nella ripresa vegetativa (Fig. 6a, 6b).

LA NEVE

L'esecuzione delle prove sperimentali ha permesso anche il costante monitoraggio dei manti

nevosi indisturbati sul prato ed al di sotto della copertura forestale.

Un evento particolare si è verificato nelle prime ore del mattino del 21 Febbraio 2004, con l'ingente caduta di "neve sahariana". Non si tratta di un fenomeno raro, ma affinché esso si verifichi devono sussistere due condizioni meteorologiche indispensabili per la mobilitazione e il trasporto delle polveri. La prima è una condizione al suolo, che consiste nell'attraversamento dell'entroterra africano da parte di un fronte freddo, generatore di instabilità; la seconda è una condizione in quota, che consiste nell'instaurarsi di un idoneo regime di circolazione atto a convogliare la massa d'aria arricchita di polveri verso l'arco alpino (Delmonte, 1999). Tale neve sahariana è stata ben individuata nelle analisi stratigrafiche realizzate dopo l'evento (Fig. 7). Il confronto dei dati di altezza di

neve al suolo registrati all'interno del lariceto con quelli rilevati fuori dalla copertura arborea evidenzia che, durante il periodo

tardo-autunnale, gli accumuli di neve sono inferiori nelle aree boschive, a seguito dell'intercettazione di neve da parte della chioma degli alberi. Nel periodo primaverile, invece, a causa di un minor irraggiamento solare al suolo, l'altezza del manto nevoso è solitamente superiore sotto la copertura arborea (Fig. 8). La massa volumica media del manto nevoso è risultata superiore nel lariceto rispetto al prato, con valori rispettivamente pari a 210 kgm^{-3} e 182 kgm^{-3} . La presenza della copertura arborea ha inoltre esercitato un effetto mitigatore nei confronti della temperatura dell'aria libera e conseguentemente si sono registrati gradienti termici verticali del manto nevoso più bassi di quelli registrati nell'area non boscata, e quindi ne è derivata una minore espressione di metamorfismi costruttivi (Fig. 9–10).

Le analisi stratigrafiche hanno inoltre permesso di evidenziare, nel tardo inverno, un incremento della resistenza alla penetrazione, determinata con il "test della mano", in corrispondenza di deposizioni di lettiera all'interno del manto nevoso campionato sotto il lariceto (Fig. 11). Si ipotizza che ciò sia dovuto al fatto che il flusso discendente dell'acqua di fusione è significativamente ostacolato dagli strati di lettiera, dove quindi si originano strati di neve particolarmente duri legati a successivi fenomeni di rigelo. Per quanto concerne i risultati dell'analisi chimica dei manti nevosi, i valori di pH sono risultati compresi tra 4.64 e 6.92, valori comparabili ai valori medi che caratterizzano l'arco alpino e compresi tra 4.4 e 5.3 (Puxbaum, 1991). I valori maggiori sono stati osservati nello strato di deposito sahariano, e pari a 6.81 (nel lariceto) e 6.92 (nel prato), valori tipici delle deposizioni sahariane

in relazione alla loro composizione mineralogica (Wagenbach e Geis, 1993). Per quanto riguarda la conducibilità elettrica, sono stati misurati valori compresi tra 3.02 e $33.3 \mu\text{S/cm}$, paragonabili a quelli riportati da Jones e Devarennes (1995) in nevi canadesi, a circa 800 m s.l.m. ma leggermente superiori a quelli misurati da Hiltbrunner et al. (2005) nelle Alpi Svizzere. I massimi sono stati osservati nello strato di lettiera inglobato all'interno del manto nevoso accumulato sotto il lariceto. Tale fenomeno può essere attribuito al verificarsi di processi di mineralizzazione degli aghi "intrappolati" all'interno del manto nevoso. In corrispondenza di tali strati sono state osservate anche le concentrazioni maggiori di azoto organico disciolto (DON), il quale può rivestire una notevole importanza nella nutrizione vegetale nel corso del disgelo primaverile. Complessivamente la neve sotto copertura forestale ha evidenziato un pH maggiormente acido, come riportato da altri autori (e.g. Jones e Deblois, 1987) ed una conducibilità elettrica significativamente superiore.

CONCLUSIONI

L'assenza di manto nevoso ha determinato una significativa riduzione della temperatura del suolo in entrambi gli ecosistemi, in particolare nei mesi invernali più freddi. Nel tardo autunno e ad inizio primavera la neve ha invece svolto un'azione "raffreddante", impedendo ai raggi solari di raggiungere la superficie del suolo. Complessivamente la maggiore presenza di cicli gelo/disgelo e le temperature medie più basse nel corso dell'inverno hanno determinato un notevole ritardo nella ripresa vegetativa, con significativi effetti sull'attività biologica del suolo e sulla

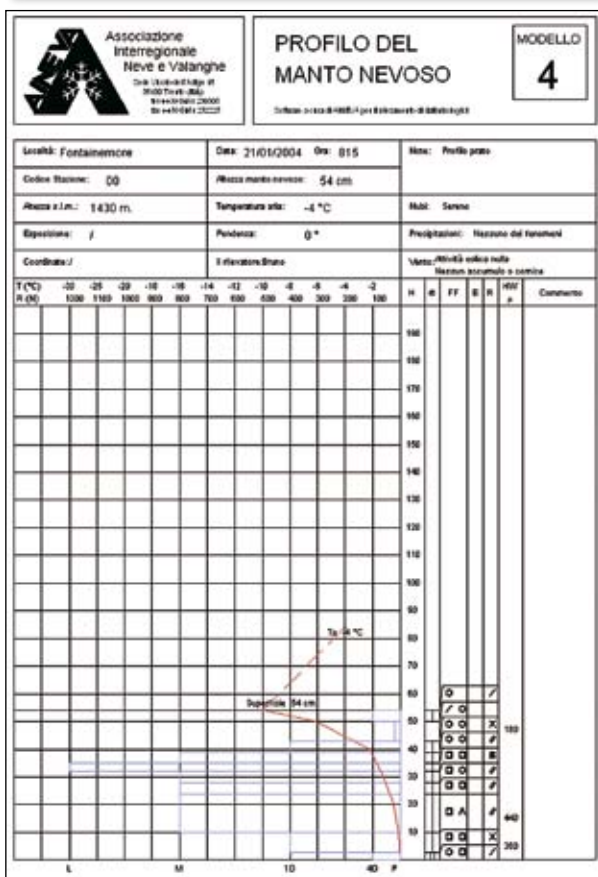
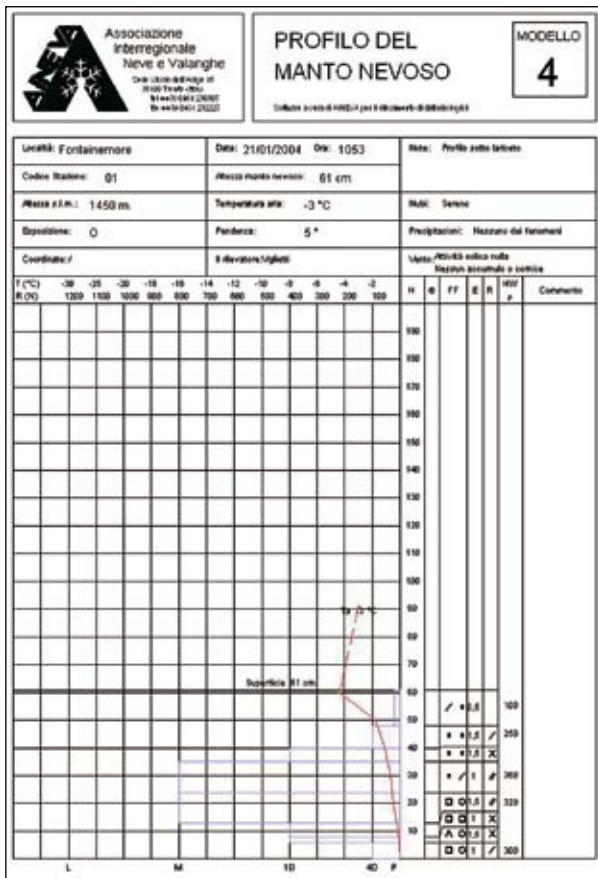


Fig. 9
Fig. 10

dinamica degli elementi nutritivi, in particolare nel suolo sotto il prato. L'analisi dei manti nevosi indisturbati ha permesso inoltre di caratterizzare ed apprezzare la differente evoluzione delle proprietà chimico-fisiche del manto nevoso su prato e sotto copertura forestale, caratterizzata quest'ultimo da una maggiore densità, da una minore presenza di metamorfismi costruttivi e da una maggiore conducibilità elettrica, imputabile a processi di mineralizzazione della sostanza organica depositata all'interno del manto nevoso.

Ringraziamenti

- Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato Agricoltura e Risorse Naturali, Servizio Aree Protette.
- Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato Territorio, Ambiente e Opere Pubbliche, Direzione Tutela del Territorio - Ufficio Neve e Valanghe.
- Comune di Fontainemore (AO) - Riserva Naturale Mont Mars.

Bibliografia

- Beniston M., 2003, Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Climatic Change* 59: 5-31.
- Brooks P.D., Williams M.W., Schmidt S.K., 1995, Snowpack controls on nitrogen dynamics in the Colorado alpine. In: Tonnessen K., Williams M., Tranter M. (ed.) *Biogeochemistry of snow-covered catchments*, 283-292. *International*

Association of Hydrological Sciences Publication 228, Wallingford, UK.

- Brooks P.D., Williams M.W., 1999, Snowpack controls on nitrogen cycling and export in seasonally snow-covered catchments. *Hydr. Proc.*, 13:2177-2190.
- Cagnati A., 2003, Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- Delmonte B., 1999, Il sottile contatto tra le Alpi e il deserto. *Neve e Valanghe* 37: 50-55.
- Freppaz M., Scalenghe R. e Zanini E., 2001, Cambiamenti climatici e manto nevoso: influenza sulla dinamica di nutrienti in suoli forestali dell'Italia Nord Occidentale. *Economia Montana, Linea Ecologica*, Anno XXXIII, n.4: 39-43.
- Freppaz M., Williams B.L., Edwards A.C., Scalenghe R., Zanini E., 2006 Simulating soil freeze/thaw cycles typical of winter alpine conditions: implications for N and P availability. *Applied Soil Ecology*, in stampa.
- Groffman P.M., Driscoll C.T., Fahey T.J., Hardy J.P., Fitzugh R.D., Tierney G.L., 2001, Colder soils in a warmer world: a snow manipulation study in a northern hardwood forest ecosystem. *Biogeochemistry* 56: 135-150.
- Hiltbrunner E., Schwikowski M., Körner C., 2005, Inorganic nitrogen storage in alpine snow pack in the Central Alps (Switzerland). *Atmospheric Environment* 39: 2249-2259
- IPCC, 1995. Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change, The IPCC Second Assessment Report*. Working Groups I, II and III, Cambridge University Press.
- Jones H.G., Devarenes G., 1995, The chemistry of artificial snow and mountain flora. In: *Biogeochemistry of seasonally snow-covered catchments*. IAHS Publ. n.228: 355-360.
- Jones H.G., Deblois C., 1987, Chemical dynamics of N-containing ionic species in a boreal forest snowcover during the

spring melt period. *Hydrol. Processes* 1: 271-282.

- Paccini P., Freppaz M., 2004, Evoluzione della copertura nivoglaciale e dei regimi termici sul ghiacciaio di Indren (AO), influenza della attività antropica e rischi ad essa connessa. *Terra glacialis anno VII - n. 7 - 2004*
- Puxbaum H., Kovar A., Kalina M., 1991, Chemical composition and fluxes at elevated sites (700-3105 m a.s.l.) in the eastern Alps (Austria). In *NATO ASI Series G: Ecol. Sci.*, vol. 28, *Seasonal Snowpacks, Processes of Compositional Change*, T.D. Davies, M. Tranter and HG Jones (Eds). Springer-Verlag, Berlin, pp. 273-298.
- Shanley J.B., Chalmers A., 1999, The effect of frozen soil on snowmelt runoff at Sleepers River, Vermont. *Hydrol. Proc.*, 13:1843-1858.
- Sturm M., Holmgren J., König M., Morris K., 1997, The thermal conductivity of seasonal snow. *J. Glaciol.*, 43:26-41.
- Wagenbach D. e Geis K., 1993, The mineral dust record in a high altitude alpine glacier (Colle Gnifetti, Swiss Alps). 1893-1993 - Cento anni della Capanna Osservatorio Regina Margherita. C. S. C. e C. C. Medica, Club Alpino Italiano: 308-324.

Pagina a fianco

Fig. 9 - Modello 4 del 21 Gennaio 2004 relativo al manto nevoso nel lariceto.

Fig. 10 - Modello 4 del 21 Gennaio 2004 relativo al manto nevoso nel prato.



Fig. 11 - Analisi stratigrafiche del manto nevoso nel lariceto in cui si evidenziano gli strati di lettiera.

