

LA QUALITA' AMBIENTALE della **NEVE** **"IN TRINCEA"**

**Massimo Pecci e
Pinuccio D'Aquila**

EIM (Ente Italiano della Montagna)

**Mauro Valt, Valter Cagnati
e Tiziana Corso**

ARPA Veneto, Centro Valanghe di Arabba

**Alfredo Praolini, Eraldo Meraldi
e Flavio Berbenni**

ARPA Lombardia,
Centro Nivometeorologico di Bormio

Giovanni Kappenberger

MeteoSvizzera (Locarno Monti)

**Michele Freppaz, Paola Dellavedova
e Gianluca Filippa**

Università di Torino, Di.Va.P.R.A.
- Laboratorio Neve e Suoli Alpini

Normalmente sta "in trincea" chi si deve difendere da un nemico. A tutti noi studiosi ed amanti della neve sembra che a difendersi (e difenderci) dal nemico rappresentato dall'inquinamento antropico sia proprio la neve, anche se la neve in trincea è anche l'occasione per conoscerla meglio.

Dopo un triennio di osservazioni, misure sperimentali, test e discussioni tecnico-scientifiche, cominciati nell'inverno 2005-06, il Gruppo di Lavoro informale composto da ricercatori dell'EIM, delle ARPA del Veneto (CVA di Arabba) e della Lombardia (Centro Nivometeo di Bormio), di MeteoSvizzera e dell'Università di Torino (DIVAPRA – Lab. Neve e Suoli Alpini) è giunto alla fine del percorso di ricerca.

Si tratta di oltre 700 misure di pH e altrettante di conducibilità che forniscono una "fotografia" dello stato della qualità ambientale, pur se estremamente semplificato e localizzato, delle Alpi e dell'Appennino. Ne risulta un quadro ambientale della neve "in trincea" da approfondire ulteriormente e da tenere sotto controllo, di cui i risultati preliminari delle fasi annuali dell'attività sperimentale di ricerca sono già state pubblicate (Pecci *et al.*, 2007; Pecci *et al.*, 2008; Pecci, 2009).



INTRODUZIONE

Il manto nevoso rappresenta la superficie più esterna, superficiale, temporanea e, quindi, vulnerabile ai cambiamenti climatici e ambientali della criosfera: risulta, quindi, esposta a polveri, inquinanti e particelle di varia origine che ne producono una contaminazione non semplice da determinare quantitativamente, ma, ormai, non più trascurabile.

Il manto nevoso è una risorsa idrica fondamentale di cui ancora poco si conosce: considerato nella criosfera complessivamente intesa (vale a dire le "matrici ambientali" in cui l'acqua è presente allo stato solido: ghiaccio, permafrost – terreno e roccia perennemente ghiacciati, ghiaccio marino e, ovviamente, neve), manifesta una proprietà singolare, ma fondamentale per la sopravvivenza della vita sulla Terra: immagazzina l'acqua durante la stagione fredda, quando ce n'è meno bisogno, per poi restituirla, liquida, durante la stagione calda, quando la richiesta è maggiore.

Da qui la necessità di dedicare qualche attenzione in più alla risorsa acqua congelata sotto forma di neve, per valutarne lo stato di salute e la qualità ambientale precocemente, prima della fusione incipiente di primavera, quando l'acqua, poi, andrà a rimpinguare le falde idriche

montane e lo scorrimento superficiale. Oltre a ciò, utilizzando sempre gli indicatori chimici speditivi, vale a dire il pH e la conducibilità elettrica, di seguito indicata con CE per brevità, delle soluzioni acquose ottenute dalla fusione della neve campionata, senza l'esecuzione di analisi di laboratorio, è stata studiata la dinamica della contaminazione all'interno del manto nevoso nel corso della sua evoluzione, che è funzione fondamentalmente della temperatura (degli strati di neve e dell'aria) e del proprio contenuto in acqua liquida (umidità).

Il Progetto di monitoraggio ambientale della neve al suolo tramite la realizzazione di profili chimico-ambientali speditivi si è dimostrata una metodologia semplice e facilmente utilizzabile da tecnici e nivologi, che settimanalmente compiono i rilievi di routine per la determinazione del profilo del manto nevoso.

Le misure sono state effettuate nell'ambito dei campi di rilevamento neve delle seguenti stazioni di misura (Fig. 1):

Fontainemore, nella media valle di Gressoney (AO) – q. 1825 m slm;

Monte Vallecetta (Valdisotto), in alta Valtellina (SO) – q. 2232 m slm;

Monti Alti di Ornella, in alta Val Cordevole, nei pressi di Arabba (BL) – q. 2250 m slm;

Prati di Tivo al Gran Sasso d'Italia in alta Val Vomano (TE) – q. 1800 m slm.

Sul Ghiacciaio Basodino, in alta Val Maggia (Svizzera Italiana) non si è provveduto ad effettuare un rilievo settimanale, ma sono stati eseguiti controlli all'inizio dell'inverno e in primavera tra una quota di 2700-3000 m slm.

LINEE GUIDA PER L'ESECUZIONE DEL PROFILO CHIMICO-AMBIENTALE

Obiettivi

Lo scopo delle attività consiste da una parte nella caratterizzazione del chimismo della neve fresca, come indicatore del chimismo dell'atmosfera, anche in relazione alla provenienza delle masse d'aria, in termini "speditivi" (quindi di solo pH e CE) e dall'altra nel monitoraggio di questi due indicatori all'interno del manto nevoso nel corso della stagione invernale fino alla sua completa fusione, con particolare attenzione agli episodi di fusione e rigelo.

Di particolare interesse è risultata la valutazione degli scambi ionici e chimici in generale tra fase solida e liquida in condizioni di isotermità, per valutare i fenomeni di rilascio ionico, di impulsi/scarichi ionici, diluizione ed arricchimento.

Cadenza dei rilievi

Il campionamento è eseguito con cadenza settimanale, compatibilmente con le condizioni meteorologiche e di sicurezza, in giornate prestabilite, cominciando dall'ultima settimana di novembre (in presenza di neve) e terminando la seconda settimana di aprile di ogni anno, nel periodo da novembre 2005 ad Aprile 2008.

Preparazione del campo di rilevamento

Le attività sulla neve sono condotte dopo aver effettuato le consuete operazioni per il riconoscimento della stratigrafia e la determinazione del profilo del manto nevoso, su un "campo di rilevamento neve" (Cagnati, 2003) individuato preventivamente, e quindi, "il meno possibile"

Fig. 1
Localizzazione delle stazioni di misura su base ArcGlobe.





*Fig. 2
Segnalazione del campo
di rilevamento neve
(nella foto: Monte
Vallecetta - Bormio il 5
marzo 2008)*

contaminato nel corso delle operazioni di routine (Fig. 2). Viene prestata, quindi, molta attenzione, in particolare, rilievo dopo rilievo a ricollocare le "bandierine" delimitatrici in maniera tale da escludere l'area su cui sono stati già effettuati i rilievi. Prima di ogni operazione, la sezione esposta della trincea nella neve viene "pulita" con guanti di polietilene trasparente. Sono stati ritenuti utili per le attività di campionamento chimico-speditivo gli strati riconosciuti come tali e sui quali è stato possibile effettuare la misura di densità, quindi superiori ai 5 cm della sezione del cilindro carotatore utilizzato per la misura di densità.

Prelievo

Ogni campione su cui determinare il pH e la CE, viene prelevato utilizzando normali buste di plastica azzurrina (capienza 1 litro) di polietilene da alimenti (spesse), avendo l'accortezza di "calzare" preven-

tivamente la busta dall'esterno, come se fosse un guanto, e di raccogliere il campione aiutandosi con le dita dell'altra mano, preventivamente ricoperta da un guanto in polietilene trasparente, evitando il contatto diretto.

Alternativamente, si devono utilizzare normali flaconi di plastica da 250 o 500 cc, preventivamente ripuliti e lavati con acqua ultrapura. Una volta prelevata un'adeguata quantità di neve (500-1000 grammi circa, a seconda della densità) e sfilata la mano, la busta è stata chiusa evitando qualsiasi contatto con il campione prelevato, con l'interno della busta e, naturalmente, con il campione.

Preparazione della misura

La neve viene portata allo stato liquido non oltre le 24 ore successive alle operazioni sul terreno, ponendo il campione in prossimità di fonti di calore, evitandone nel modo più assoluto il contatto diretto,

per evitare alterazioni dei contenitori; le misure del campione di neve fusa in acqua devono essere effettuate limitando per quanto possibile il dislivello tra quota di campionamento e quota di misura, annotando la temperatura dell'ambiente e la temperatura della soluzione in cui sono state effettuate le misure.

Sensori

Le operazioni di calibrazione vengono effettuate: per l'elettrodo di pH, almeno una volta alla settimana, prima delle misure, ed utilizzando almeno due soluzioni di taratura (pH 4,01 e pH 10,01 nella fase iniziale); per l'elettrodo di conducibilità: almeno una volta al mese, prima delle misure, ad inizio mese ed utilizzando una soluzione di taratura (0,01 mol/l KCl).

Misure

Le misure sono effettuate facendo attenzione a mantenere l'elettrodo com-

Fig. 3
Distribuzione di frequenza delle misure per i singoli siti (barre con indicato il numero delle misure effettuate) e, in blu, curva cumulativa dei valori di pH misurati nel corso delle stagioni invernali 2005-06, 2006-07 e 2007-08.

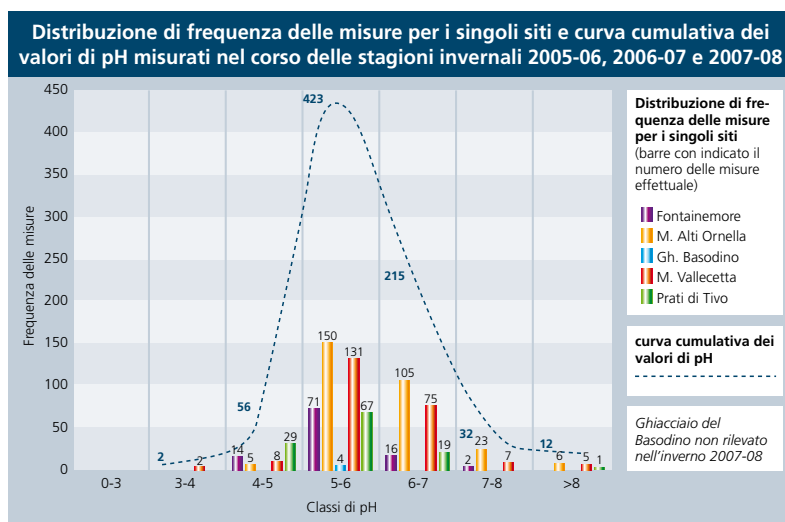


Fig. 4
Distribuzione di frequenza delle misure per i singoli siti (barre con indicato il numero delle misure effettuate) e, in blu, curva cumulativa dei valori di Conducibilità Elettrica (CE, indicati in blu) misurati nel corso delle stagioni invernali 2005-06, 2006-07 e 2007-08.

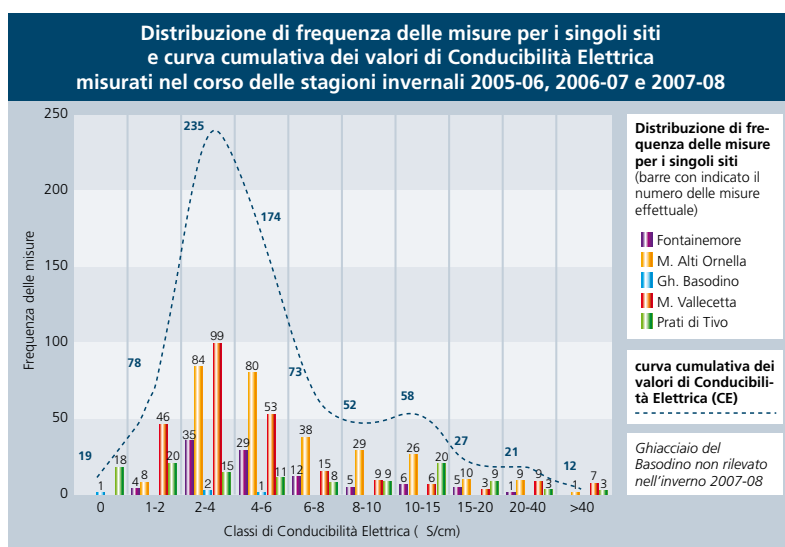


Fig. 5
Parametri statistici principali relativi al totale dei valori misurati di pH e Conducibilità Elettrica (CE) nel corso delle 3 stagioni invernali in tutti i siti di rilievo.

| | Valore minimo | Dettaglio della misura | Valore massimo | Dettaglio della misura | Valore medio | Mediana | Moda |
|---|---------------|--|----------------|-----------------------------------|--------------|---------|------|
| pH | 3,98 | Bormio 19/03/06 - Strato superficiale | 10,20 | Bormio 12/04/06 strato intermedio | 5,88 | 5,77 | 6,80 |
| Conducibilità Elettrica-CE (µS/cm) | 0 | Registrato diverse volte in diversi siti | 163 | Bormio 22/11/06 strato basale | 7 | 5 | 3 |

pletamente immerso in acqua, in tutta la sezione di misura, e ad avvenuta stabilizzazione delle cifre.

Con il campione di acqua, prodotto dalla fusione della neve, vengono riempiti (utilizzando il solo beker in plastica da 50 cc fornito con il Kit dello strumento) 3 successivi campioni da misurare.

Prima di ogni riempimento il beker viene lavato accuratamente con acqua ultrapura e, successivamente, "avvinato" con l'acqua del campione.

Le misure della terna minima di sub-campioni devono cominciare con la conducibilità elettrica e, poi, con il pH, in quanto il sensore di pH può rilasciare

piccole quantità di ioni che falserebbero la misura di conducibilità, se effettuata successivamente a quella del pH.

Registrazione dei dati

Le letture vengono registrate subito dopo ogni misura, anche riportando direttamente i dati in un foglio Excel, in maniera tale da ricavare, in via preliminare e automaticamente, il grafico ("a dispersione", in Excel) della variazione di pH e, separatamente, della CE con la profondità, ottenendo, così, il "profilo chimico-ambientale speditivo del manto nevoso", da poter confrontare con altri profili, relativi ad ulteriori momenti nell'evoluzione

della neve al suolo o con altre situazioni geografiche. Il foglio Excel utilizzato ed ottimizzato per lo scopo di raccogliere ordinatamente i dati è reso disponibile sin d'ora dagli autori agli eventuali utenti interessati.

RISULTATI OTTENUTI NEL TRIENNIO 2005-2008

Al fine di valutare la significatività del metodo e di ottenere una "lettura" più generale possibile dei risultati ottenuti complessivamente nel corso del triennio di sperimentazione e in tutte le 4 stazioni di misura, sono stati prodotti i grafici generali delle figure 3 e 4, che riportano le distribuzioni complessive di frequenza dei valori di pH e CE. Si tratta di un totale di 740 valori per il pH e di 749 valori per la CE, che presentano le caratteristiche e i parametri statistici riportati nella tabella di figura 5.

Dall'osservazione del grafico di figura 3 si può notare come i valori del pH nel corso del triennio siano compresi in maniera molto netta nel campo dei valori acidi, con prevalenza di valori di pH compresi tra 5 e 6.

Analogamente, la curva di distribuzione della CE presenta un'asimmetria spostata verso bassi valori, con picchi di distribuzione tra 2 e 4 e con un picco secondario in corrispondenza dei campi di valori 8-15. Ogni singola stazione di misura sembra evidenziare una "impronta chimico-ambientale" caratteristica sia dal punto di vista del pH, sia della CE: la stazione di Fontainemore evidenzia un'impronta decisamente acida con contenuti ionici in termini di CE tendenzialmente ridotti, così come la stazione del Ghiacciaio Basodino; nel caso della stazione di Monte Vallecetta l'impronta chimico-ambientale si assesta intorno alla neutralità, a partire da valori debolmente acidi, con contenuti ionici generalmente modesti e solo in alcuni casi molto rilevanti, analogamente a quanto è stato registrato alla stazione di Monti Alti di Ornella; l'unica eccezione riguarda il sito di Prati di Tivo, che pre-

senta una distribuzione molto più ampia e dispersa sia nei valori del pH, sia in quelli della CE (contenuto ionico), non manifestando un'impronta caratteristica. A commento generale del *data base* dei valori di pH e CE misurati all'interno di ogni singolo strato (unitamente alle caratteristiche fisiche, cristallografiche e meccaniche) e non riportati nei grafici a causa dell'elevato numero di dati disponibili (a titolo di esempio si vedano i grafici esemplificativi e parziali in Pecci *et al.*, 2007 e Pecci *et al.*, 2008), è anche interessante presentare brevemente la distribuzione del pH e della CE all'interno del manto nevoso nelle singole stazioni di misura. Il pH mostra negli strati superficiali un'impronta più acida a Prati di Tivo e a Fontainemore, con valori maggiormente dispersi nel caso di M. Alti di Ornella, mentre, negli strati intermedi, M. Vallecetta registra una distribuzione più dispersa: negli strati intermedi e basali la distribuzione del pH generalmente in tutte le stazioni si sposta verso valori più alcalini. Nel caso della CE negli strati superficiali la distribuzione è generalmente bimodale, con picco principale e secondario rispettivamente in corrispondenza della classe 2-4 e 10-15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nel caso della stazione di Monti Alti di Ornella e di Prati di Tivo, della classe 4-6 e 10-15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nel caso della stazione Fontainemore e tipicamente unimodale su valori di 2-4 e 4-6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per la stazione di M. Vallecetta; negli strati intermedi la distribuzione diventa unimodale con picchi in corrispondenza di valori di 2-4 e 4-6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ rispettivamente nelle stazioni di Fontainemore/Prati di Tivo e M. Alti di Ornella; infine, negli strati basali la distribuzione va raggiungendo una configurazione "normale" per tutte le stazioni con picco in corrispondenza della classe 2-4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ad eccezione della stazione di Prati di Tivo, che presenta una distribuzione bimodale con picco principale in corrispondenza della classe 0-2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e secondario della classe 10-15 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Andando a presentare sinteticamente i risultati ottenuti stazione per stazione, a Fontainemore, per quanto riguarda il

pH, si evidenzia una leggera deriva dei picchi (a partire da elevate frequenze intorno alle classi 4-5 e 5-6) verso valori più alcalini passando dallo strato superficiale a quello basale, mentre, per quanto riguarda la CE, gli strati più superficiali tendono a manifestare un contenuto ionico maggiore che non quelli profondi e intermedi. Anche per la stazione di Monti Alti di Ornella è evidente la presenza di valori più acidi per gli strati più superficiali, anche se attestati su classi più vicine alla neutralità (picco in corrispondenza della classe di valori 5-6), così come un maggior contenuto ionico negli strati più superficiali.

Nella stazione di M. Vallecetta il pH presenta valori molto dispersi con il picco di pH dello strato superficiale in corrispondenza della classe di valori tra 5-7; la CE presenta distribuzione bimodale con valori secondari per le classi 20-40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e >40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nel caso della stazione di Prati di Tivo e per quanto riguarda il pH, tutti gli strati presentano il picco intorno alla classe 5-6; la distribuzione della CE manifesta una geometria bimodale, che, nel caso dello strato basale, si presenta "concentrata" intorno a due picchi (classi 0-2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 10-15 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Una distribuzione di questo tipo, riscontrata in tutte le stazioni, ma molto evidente nel caso di Prati di Tivo sembra legata, come confermato anche da ulteriori e più recenti studi (Brulport *et al.*, riv. Neve e Valanghe n. 66 aprile 2009), all'accumulo di ioni per eluizione, dovuto a fusione parziale all'interno del manto; questo fenomeno si verifica, preferenzialmente, durante episodi "scioccali" all'interno della stagione invernale, storicamente più frequenti in Appennino e sempre più ricorrenti, negli ultimi anni, anche sulle Alpi.

I picchi secondari caratterizzati da valori di CE minore potrebbero essere legati a eccessiva lisciviazione e dilavamento o, viceversa, ad un manto "vergine" dal punto di vista degli scambi ionici e, quindi, non ancora interessato da fenomeni di fusione. Lo strato superficiale, praticamente nella totalità delle osservazioni, presenta il picco massimo per valori di CE compresi tra 10 e 15 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con picco secondario per valori 2-6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, di cui il secondario probabilmente legato a fenomeni di fusione localizzata e concentrata, con impoverimento del contenuto in ioni dello strato superficiale, per migrazione verso il basso.



PRESENTAZIONE DI 2 APPLICAZIONI

Infine, con lo scopo di valutare le potenzialità del "profilo chimico-ambientale speditivo del manto nevoso", vengono presentati due casi di studio, che mettono in risalto due potenziali applicazioni specifiche della metodologia.

La **prima applicazione** riguarda la valutazione speditiva della "qualità ambientale" delle masse d'aria trasportate nella circolazione atmosferica e la loro

evoluzione in rapporto alla presenza di una catena montuosa. Il caso di studio riguarda il ruolo che l'Appennino Centrale ha svolto nel condizionare la qualità ambientale della precipitazione nevosa durante il passaggio di una limitata e veloce linea di instabilità, collegata ad una debole area depressionaria centrata sulla Pianura padana, che è transitata sull'Italia peninsulare con direzione NE-SW dall'11 febbraio 2008 al 13 febbraio 2008. I rilievi sono stati eseguiti nella giornata dell'11

febbraio 2008 nella stazione di Prati di Tivo (versante adriatico dell'Appennino, sopravento rispetto alla precipitazione), nel corso della precipitazione (pari ad un totale di 15 cm di neve fresca), e il controllo sul versante tirrenico è stato effettuato il giorno 13 febbraio 2008, successivo alla precipitazione (pari ad un totale di 5 cm di neve fresca), nel campo di rilevamento neve di Colle Cicogna (versante sottovento), in prossimità di Prato di Mezzo, nelle Montagne del Parco Nazionale di Lazio Abruzzo e Molise, sottogruppo della Meta (FR), dove si stanno svolgendo ricerche sulla nevosità e le valanghe in collaborazione con l'Università "Sapienza" di Roma e con il Corpo Forestale dello Stato, a partire dalla stagione invernale 2007-08. In figura 6a sono riportati i confronti tra i valori di pH e CE registrati nelle due stazioni, da cui risulta evidente il crollo della CE e il sensibile rialzo del pH (verso termini più neutri), in concomitanza con l'avanzare della perturbazione (figura 6b). Al miglioramento della qualità ambientale della massa d'aria fa riscontro, come d'altronde ci si aspetta, una diminuzione delle precipitazioni per perdita di umidità.

La **seconda applicazione** riguarda il ruolo svolto principalmente dalla temperatura e, subordinatamente, dall'umidità relativa (contenuto in acqua liquida) nell'accompagnare e, talvolta, condizionare il chimismo della neve al suolo, in termini di pH e CE. In figura 7 sono riportati, a titolo di esempio, i grafici 3D (spazio/tempo) dell'evoluzione delle 4 variabili in studio, registrati nel corso della stagione invernale 2006-2007 nella stazione di Fontainemore. I grafici riportano i valori delle variabili chimiche (asse z) in funzione del tempo (asse x) e dello spessore del manto nevoso (asse y). I valori dei parametri, scomposti secondo i due piani XZ e YZ permettono di apprezzarne la variazione, rispettivamente, durante la stagione invernale e lungo il profilo verticale del manto nevoso; in particolare, nell'esempio riportato si apprezza come il pH presenti un *trend* (linea rossa) che mostra una deriva, con il passare della

Fig. 6a
Confronti dei valori di pH e CE (espressi in $\mu\text{S}/\text{cm}$) registrati negli strati di neve della stazione "adriatica" di Prati di Tivo (barre in colore pieno) e di quella "tirrenica" di Colle Cicogna (barre in trasparenza), relativamente al passaggio del debole fronte perturbato dei giorni 11 e 12 febbraio 2008. Di particolare interesse lo strato più superficiale (in alto), presentato nel testo. In ordinata sono riportati i valori in cm della base degli strati di neve.

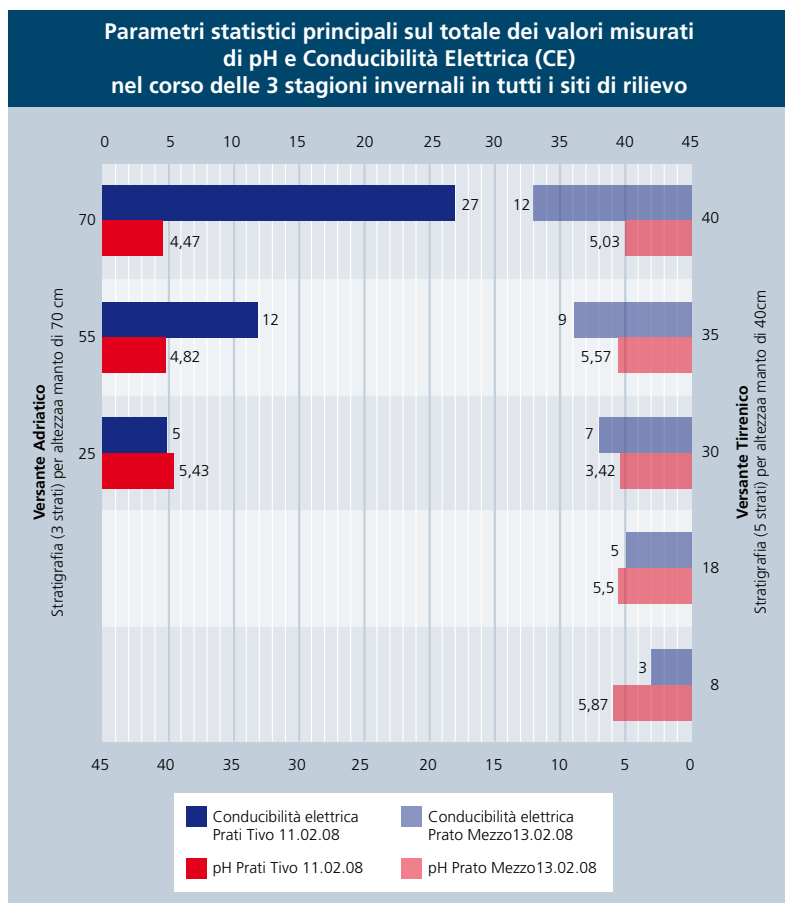
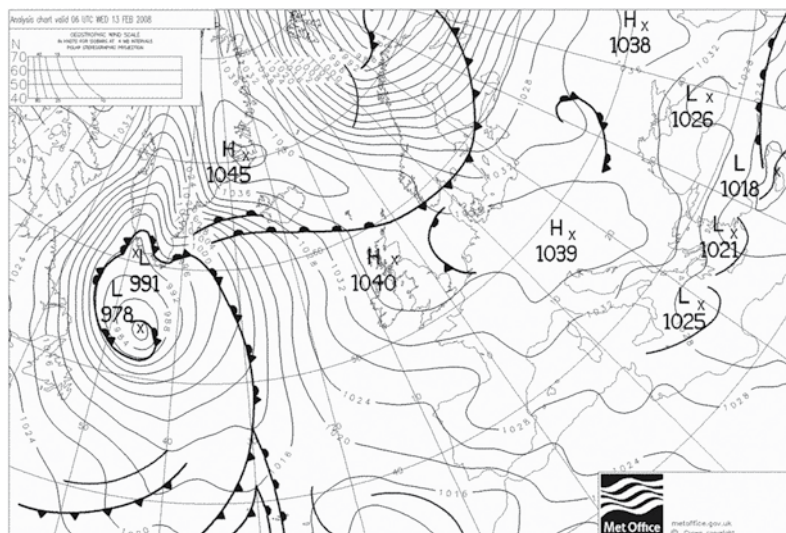


Fig. 6b
Carta del tempo del 13 febbraio 2008 (ore 06:00 UTC), che evidenzia il passaggio dei fronti di instabilità (tratta dal sito: www.wetterzentrale.de).





stagione invernale, verso valori più bassi e quindi più acidi; il *trend* in blu (che interpola i dati nel piano YZ, ovvero lungo la verticale del manto nevoso) mostra valori di pH più acidi verso la superficie e, dopo un generale aumento del pH verso il centro del manto, si riporta nuovamente verso valori più acidi verso la base.

Tali variazioni di pH lungo il profilo verticale del manto sono, ancora una volta, probabilmente, legati al fenomeno della diluizione delle specie chimiche e tale rappresentazione grafica permette di evidenziare la condizione "standard" o tipica media di un manto nevoso, sia nello spazio (piano YZ), sia nel tempo (piano XZ).

Analoghe considerazioni valgono per i parametri: CE, umidità (contenuto in acqua liquida) e temperatura. Quest'ultima, di più facile comprensione (e come logica vuole) mostra un andamento nel tempo che, dopo un raffreddamento nella parte centrale dell'inverno, tende all'isotermità (piano XZ – linea rossa); secondo



lo spessore del manto (piano XZ – linea blu) e, invece, un *trend* analogo, ma con valori verso l'isotermità, all'interfaccia con il substrato.

Inoltre si apprezza in maniera immediata come la variazione della CE sia "in fase" con la temperatura e, subordinatamente, anche con l'umidità in termini di contenuto in acqua liquida, a differenza del pH, che mostra un andamento inversamente proporzionale ad entrambe (figura 7).

RISULTATI E PROSPETTIVE

Al termine del triennio di sperimentazione si possono esprimere le seguenti considerazioni conclusive.

Da un punto di vista operativo e applicativo, lo svolgimento di analisi chimico-ambientali speditive nel corso dei rilievi "di routine" per la determinazione del profilo del manto nevoso fornisce interes-

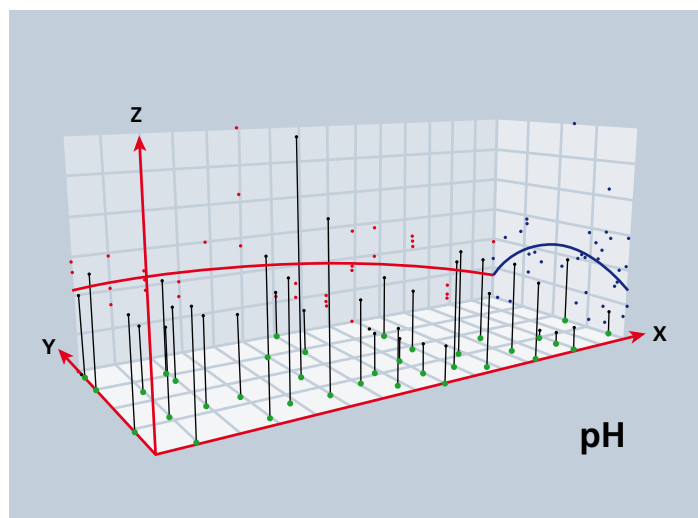
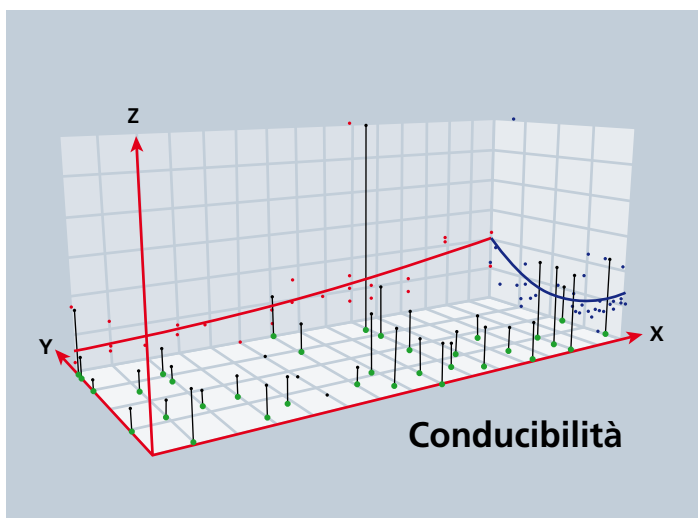
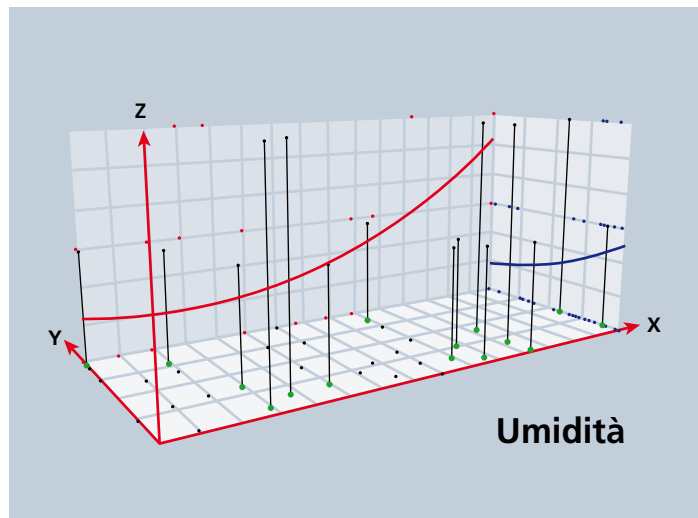
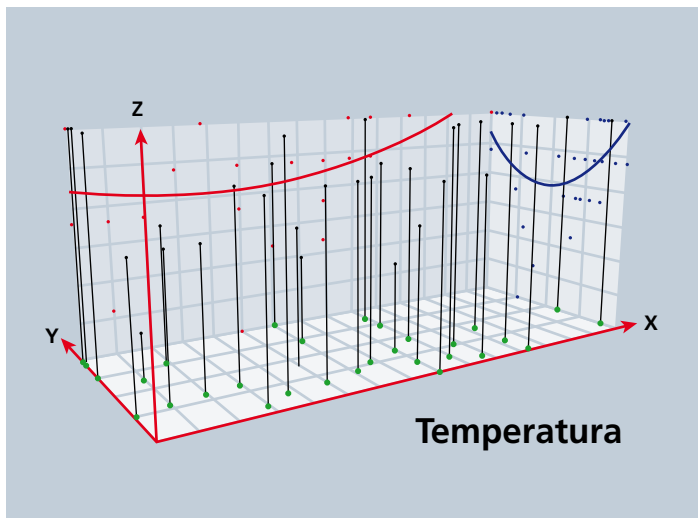
santi informazioni sulla qualità ambientale della neve, a fronte di un impegno di tempo non trascurabile, ma giudicato, anche, non eccessivo. Le informazioni raccolte permettono, inoltre, di stimare la provenienza e la qualità ambientale delle masse d'aria e della risorsa idrica immagazzinata nella neve.

Le operazioni, una volta apprese in maniera corretta dagli operatori, non presentano particolari difficoltà e sono state sintetizzate in linee guida al fine di un'auspicata diffusione del metodo in altre aree campione significative, opportunamente selezionate sul territorio italiano.

Da un punto di vista generale il monitoraggio continuo della neve al suolo nel corso della stagione invernale, così come effettuato nel test triennale, è in grado di svolgere un'azione di "allertamento preventivo" (*early warning*) nei confronti di eventuali fenomeni di concentrazioni

anomale e particolarmente pericolose di inquinanti e può essere finalizzato, anche, alla scelta di misure di mitigazione nell'individuazione delle aree eventualmente contaminate e nell'orientamento di ulteriori analisi di approfondimento.

Da un punto di vista scientifico, il metodo sembra ulteriormente confermare il ruolo che la temperatura e, subordinatamente, l'umidità della neve al suolo, in termini di contenuto in acqua liquida, esercitano sul suo chimismo, come già anticipato in Pecci *et al.* (2008) e in Brulport *et al.* (2009). Ai fini della comprensione delle dinamiche e delle possibilità di mitigazione della contaminazione, un ulteriore approfondimento di ricerca risulta quanto mai appropriato e auspicabile e l'esecuzione di profili chimico-ambientali speditivi del manto nevoso sistematici in siti nazionali significativi potrà orientare al meglio ulteriori ricerche e sviluppi.



— Trend piano YZ ● Dati parametro ● Dati parametro piano ZX
— Trend piano XZ ● Dati parametro piano YZ ● Dati parametro piano XY

Bibliografia

- Balerna A., Bernieri E., Pecci M., Polesello S., Smiraglia C. e Valsecchi S. (2003). Chemical and radio-chemical composition of fresh snow samples from northern slopes of Himalayas (Cho Oyu range, Tibet). *Atm. Env.*, 37, 12, pp 1573-1581, Elsevier.
- Brulport A., Filippa G., Maggioni M., Freppaz M., Pecci M. e D'Aquila P. - Influenza dell'esposizione sulle caratteristiche fisico-chimiche del manto nevoso. *Neve e Valanghe*, n. 66 pag. 42-51.
- Cagnati A. (2003). Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- Filippa G., Freppaz M., Zanini E., Williams M. (in press). Major element chemistry in Alpine Snowpack in the Western Alps (Valle d'Aosta region, North Western Italy). *Water, Air and Soil pollution*.
- Pecci M., Smiraglia C., Maggi V., Rinaldini R., D'Agata C., Diolaiuti G., Marinoni A., Polesello S., Valsecchi S., Deamicis M. e Filippazzi M. (2004). Il glacialismo e la criosfera in area mediterranea come indicatori degli effetti delle attività industriali sugli ambienti di vita. *Prevenzione Oggi*, numero unico 2002-03, 5 – 43.
- Pecci M. (2005). In situ surveys and researches on the snow cover in high altitude: case studies in Italian and Himalayan mountain ranges. *Suppl.Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, Suppl. VII (2005), 253-260, 8 figg.
- Pecci M., D'Aquila P., Valt M., Cagnati V., Corso T., Crepez A., Crepez G., Gabrieli J., Praolini A., Meraldi E., Berbenni F., Kappenberger G., Freppaz M., Della Vedova P., Filippa G. (2006) - Profilo chimico ambientale del manto nevoso. *Neve e Valanghe*, n. 58, Agosto 2006, 90 - 105.
- Pecci M., D'Aquila P., Valt M., Cagnati V., Corso T., Praolini A., Meraldi E., Berbenni F., Kappenberger G., Freppaz M., Della Vedova P. e Filippa G. (2008) – Il lato oscuro della neve. *SLM*, 33, Bononia Università Press, Bologna, 38 - 47.
- Pecci M. (2008) – Snow Cover on the Mountains: Still White and Pure? *Mountain Research and Development*, 28, 3-4, Aug-Nov-2008, pp. 222-225.
- Polesello S., Comi M., Guzzella L., Marinoni A., Pecci M., Roscioli C., Smiraglia C., Tartari G., Valsecchi S. e Vuillermoz E. (2007). - Chemical Composition of Fresh Snow in the Himalaya and Karakoram. In R. Baudo, G. Tartari, E. Vuillermoz, (Eds) *Mountains: Witnesses of Global Changes – Research in the Himalaya and Karakoram*, Elsevier B.V., Amsterdam, pp. 251 - 262.
- Valt M. (2006). *Neve sulle Alpi Italiane. Inverno 2006 - 2007. Neve e Valanghe*, 61, 14– 25.

Fig. 7
Grafici 3D della variazione di temperatura, umidità in termini di contenuto in acqua liquida, CE e pH registrate nella stazione di misura di Fontainemore (AO) nel corso della stagione invernale 2006-07.