

PROFILO CHIMICO AMBIENTALE DEL MANTO NEVOSO

Massimo Pecci e Pinuccio D'Aquila

Istituto Nazionale della Montagna
(IMONT)
Piazza dei Caprettari, 70 - 00186 Roma
massimo.pecci@imont.gov.it

**Mauro Valt, Valter Cagnati,
Tiziana Corso, Andrea Crepaz,
Giuseppe Crepaz**

ARPA Veneto
Centro Valanghe di Arabba
mvalt@arpa.veneto.it

Jacopo Gabrieli

ARPA Veneto
Dipartimento Provinciale di Belluno
via Tomea, 5 - 32100 Belluno

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

ARPA - Lombardia
Dipartimento di Sondrio
Centro Nivometeorologico 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
Gressoney La Trinité, AO

Nel corso della stagione invernale 2005-2006 e sul territorio nazionale è stata attivata una collaborazione per il controllo speditivo del chimismo della neve in situ, in termini di pH e conducibilità elettrica, nel corso delle operazioni di routine per la determinazione del profilo del manto nevoso.

In alcuni siti e in alcuni momenti dell'anno (in maniera continua nel caso delle Dolomiti Bellunesi) i rilievi speditivi sono stati affiancati a campionamenti di neve per le successive analisi di laboratorio, al fine di tarare e verificare i risultati delle analisi in situ.

Alle unità operative iniziali (IMONT al Gran Sasso d'Italia, CVA-ARPA Veneto sulle Dolomiti Bellunesi e Centro Nivometeo di Bormio a Bormio 2000) si sono aggiunte nel corso dell'anno anche quelle di MeteoSvizzera per l'area del ghiacciaio Basodino e dell'Università di Torino per la Valle d'Aosta.

L'obiettivo sperimentale del primo anno è consistito nella verifica della fattibilità dei "profili ambientali speditivi del manto nevoso", nell'individuazione di siti e intervalli significativi di misura e di una metodologia comune e il più possibile "standardizzata".

Nel lavoro vengono presentati le metodologie adottate e i risultati ottenuti (che evidenziano una generale situazione di contaminazione, anche se non estrema) e discusse le problematiche incontrate, al fine di rendere possibile, nella prossima stagione invernale, un test operativo per la standardizzazione dei rilievi e per la loro eventuale introduzione nelle attività di routine al fine di valutare la qualità della risorsa idrica proveniente dalla fusione della neve.



INTRODUZIONE

La criosfera rappresenta una risorsa idrica strategica, costituendo insieme alle calotte polari il 70% delle acque dolci del pianeta. Tuttavia, la presenza di inquinanti nell'atmosfera determina nella criosfera e, in particolare, sulla neve al suolo, processi di accumulo nella fase solida, deteriorando la qualità di tale risorsa.

Gli inquinanti (inorganici - di origine sia naturale, sia antropica, e organici - di sola origine antropica), infatti, una volta entrati nel ciclo della criosfera, in particolare come nuclei di cristallizzazione per i cristalli di neve o come particelle trattenute nei processi di "deposizione secca" ad opera principalmente delle correnti atmosferiche, tendono a **condensarsi** nella neve e, quindi, nel ghiaccio ad opera del fenomeno della "condensazione fredda" (*cold trapping*). Questo processo prevede un progressivo accumulo degli inquinanti all'interno dei corpi nivali e glaciali nel corso della trasfor-

Fig. 1



mazione della neve in nevato e, successivamente, in ghiaccio. Nell'attuale quadro climatico, al processo chimico-fisico della "condensazione fredda" si sovrappone la progressiva **condensazione**, con ritmo stagionale nella neve al suolo e, a più grande scala, imputabile anche alla generale riduzione delle masse glaciali per l'innalzamento globale della temperatura. I ritmi e le modalità di rilascio di questi inquinanti sono, al momento attuale, poco conosciuti (BALERNA et al., 2003; PECCI et al., 2004; PECCI 2005; POLESELLO et al., 2005) e poco diffusamente studiati e meritano un'ulteriore sforzo di ricerca, perché l'utilizzo delle risorse idriche, provenienti dalla fusione dei nevai e dei ghiacciai e destinate all'uso civile, era considerato fino ad oggi completamente sicuro.

Infatti, la disponibilità di acqua potabile con buone caratteristiche chimico-fisiche e batteriologiche rappresenta uno degli indicatori più fedeli della qualità di vita di una popolazione. Nei paesi in via di sviluppo il problema dell'acqua è legato alla scarsità delle risorse e/o alla salubrità microbiologica. Nei paesi industrializzati i problemi sono legati soprattutto alla salubrità delle risorse idriche dal punto di vista chimico, fisico e biologico.

I microinquinanti più diffusi sono quelli connessi con l'uso di prodotti fitosanitari (pesticidi ed erbicidi), i metalli pesanti e i composti organici del cloro di origine prevalentemente industriale; per tali sostanze, in Italia si riscontra un inadeguato livello di monitoraggio nell'idrosfera, con l'eccezione delle acque destinate ad usi specifici: potabili, per la balneazione e idonee alla vita dei pesci e dei molluschi; tale

monitoraggio risulta pressoché inesistente per quanto riguarda la criosfera.

L'attività sperimentale condotta nel corso dell'inverno 2005-06 ha avuto come scopo l'acquisizione, in continuità temporale e su un vasto areale geografico (Fig. 1), dei parametri speditivi della chimica della neve (pH e conducibilità elettrica) in corrispondenza di alcuni campi di rilevamento neve, selezionati nell'Appennino centrale, nelle Alpi orientali e nelle Alpi centro-occidentali. Alla ricerca hanno partecipato 5 unità operative: IMONT-Roma, ARPA Veneto - Centro Valanghe di Arabba (di seguito CVA Arabba), ARPA Lombardia - Centro Nivometeo di Bormio, MeteoSvizzera - Locarno Monti. L'unità operativa dell'Università di Torino, Di.Va. P.R.A. - Laboratorio Neve e Suoli Alpini. Gressoney La Trinité (AO), lavorando autonomamente e con obiettivi specifici e indipendenti anche se con metodi e strumenti confrontabili, ha partecipato nella fase di elaborazione dei dati e alla valutazione della ricerca e a partire dalla seconda decade di maggio.

PERCHÉ IL PROFILO CHIMICO-AMBIENTALE SPEDITIVO DEL MANTO NEVOSO?

La raccolta dei dati relativi al "profilo chimico-ambientale speditivo del manto nevoso" ha una doppia finalità: da una parte la caratterizzazione del chimismo della neve fresca (come indicatore del chimismo dell'atmosfera, anche in relazione alla provenienza delle masse d'aria) in termini di solo pH e conducibilità (motivo per cui si propone di definirlo "chimico-ambientale speditivo") e dall'altra il monitoraggio della sua dinamica all'interno del manto nevoso nel



corso della stagione invernale fino alla sua completa fusione, con particolare attenzione agli episodi di fusione e rigelo.

Oltre a ciò, nel campo di rilevamento neve di Monti Alti di Ornella (Arabba - BL), ogni profilo speditivo è stato accompagnato anche dal campionamento di neve, che è stata successivamente analizzata al laboratorio del Dipartimento Provinciale di Belluno di ARPA Veneto (di seguito DAP di Belluno), con riferimento ai macrocostituenti inorganici. Allo stesso tipo di campionamento e di analisi sono stati sottoposti anche i campioni prelevati nel corso di 2 campionamenti (durante ed alla fine della stagione invernale) nel campo di rilevamento neve del sito dei Prati di Tivo (Gran Sasso d'Italia, Abruzzo, TE). Le analisi su tali campioni hanno non solo lo scopo di confermare i risultati ottenuti nel corso degli analoghi profili "speditivi", ma anche di valutare in maniera più quantitativa le dinamiche chimiche osservate.

È di particolare interesse 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 e di scarichi ionici nonché di diluizione ed arricchimento. I dati raccolti con continuità nel corso della stagione invernale in areali geografici molto diversi ci si augura che possano dare un contributo alla valutazione della qualità della neve e della risorsa idrica, in prospettiva anche (in caso di positivi risultati dei test sperimentali) dell'estensione di tali rilievi sia su scala spaziale, sia temporale, obiettivo del secondo anno, di test, rispetto alla sperimentazione del primo anno.

QUADRO METEOCLIMATICO GENERALE DELL'INVERNO 2005-06

L'inverno 2005-2006 entrerà negli annali come inverno rigido e lungo, inoltre molto nevoso in pianura, nevoso nelle Prealpi e

poco nevoso nelle Alpi stesse, perlomeno quelle centrali e situate a meridione della cresta principale alpina, ossia dello spartiacque. Un Inverno, inoltre, con molte fasi di vento dai settori settentrionali e orientali.

Sarà ricordato come un inverno in cui, sia nella fase iniziale che finale, sono praticamente venute a mancare le grosse precipitazioni da Stau; quelle precipitazioni di sbarramento autunnali e primaverili, che della climatologia alpina sono un elemento di riferimento: poichè considerate "tipiche", mancano raramente e sono perciò determinanti per l'approvvigionamento della falda freatica e delle sorgenti. In Ticino il triennio 2003-2005 è stato il più asciutto da quando si effettuano misurazioni, ossia da oltre 150 anni e l'inverno in questione non ha modificato la tendenza.

Senza averne fatto una statistica, la stagione in questione verrà ricordata come ricca di depressioni sul Mediterraneo. Fino a metà febbraio con frequentissimi blocchi di alta pressione sull'Eu-

ropa Centrale o Settentrionale e conseguenti incursioni di aria continentale fredda da nord-est sull'Adriatico, con frequenti episodi di Bora e riattivazione delle depressioni, in grado di provocare importanti nevicate su gran parte dell'Appennino e anche dell'Italia meridionale. Dopo metà febbraio la corrente occidentale atlantica ha cominciato a soffiare più regolarmente, con una posizione abbastanza meridionale, tale da dirigere le perturbazioni direttamente sul bacino Mediterraneo. Altre perturbazioni sono entrate da nord-ovest oppure da nord. Poche dunque quelle accompagnate da forti venti sud-occidentali. Nelle Alpi centrali l'unica è risultata quella del 18 febbraio 2006. Ben

Fig. 2 impronta nella mente resterà la

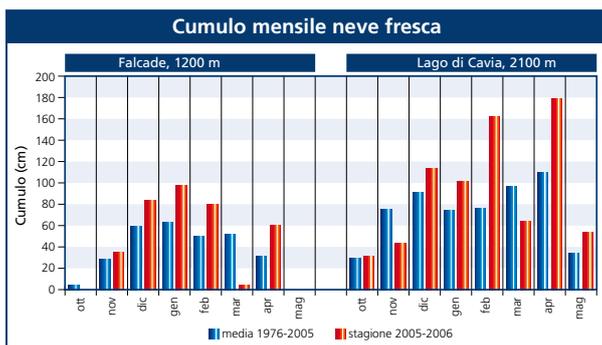
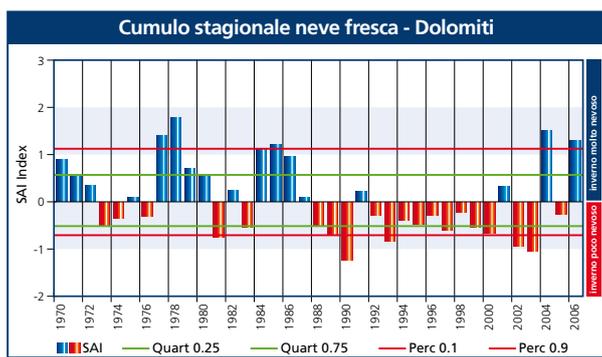
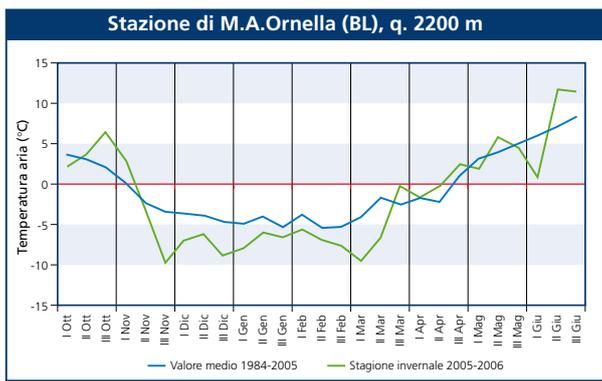


Fig. 3
Fig. 4

nevicata di fine gennaio (dal 26 al 28) 2006, molto simile a quella di metà gennaio 1985. Un'estesa depressione in quota sopraggiungeva dalla Scandinavia per dirigersi verso la Spagna, con una traiettoria anomala, e con l'arrivo dell'aria fredda prima e, in seguito, dell'umidità e dell'aria calda mediterranea tendente a scorrere sopra a quella fredda. Il risultato è stata la precipitazione di neve polverosa in pianura, anche con densità molto basse, attorno ai 40 a 50 kg per m³. In questa occasione, come anche in altre, contraddistinte da venti non molto forti da meridione in altitudine, le precipitazioni sono risultate maggiori sulle Prealpi che non sulle Alpi stesse.

Le temperature medie mensili (almeno per quel che concerne le Alpi centrali) da ottobre a marzo sono risultate tutte al di sotto la media, in dicembre anche di parecchi gradi; solamente aprile e maggio hanno fatto segnare valori al di sopra della media. Nei paragrafi che seguono sono riportati i caratteri generali dell'andamento dell'inverno 2005-06 nei siti di rilievo; per ognuno sono riportati i dati di interesse, che possono essere di tipo qualitativo nel caso di osservazioni manuali (Appennino, Alpi centrali svizzere e Alpi occidentali-Valle d'Aosta) o quantitativo nel caso della presenza di una stazione meteorologica automatica nelle vicinanze (Alpi orientali - Arabba e Alpi centrali - Bormio).

Andamento della stagione invernale nell'Appennino centrale

La stagione invernale 2005-06 è stata caratterizzata da una complessa e discordante evoluzione dei fenomeni sui due versanti dell'Appennino centrale, con correnti occidentali dominanti nel generale quadro meteoro-

logico (e relative forti precipitazioni sul versante tirrenico) ma anche con frequenti incursioni di aria fredda di provenienza nordorientale, spesso accompagnata da forti venti (che hanno causato numerosi eventi nevosi a bassa quota, spesso fino alle coste orientali).

Il quadro meteorologico in Appennino centrale ed in particolare in Abruzzo e Molise è risultato abbastanza anomalo rispetto agli ultimi inverni (spesso caratterizzati da flussi dominanti orientali), senza le eccezionali e consuete nevicate sul versante adriatico, anche fino alle aree di pianura e sulle coste, grazie alla persistenza nel tempo dei flussi occidentali e, soprattutto, della frammentarietà e debolezza dell'anticiclone che regolarmente, nelle stagioni più fredde, andava a posizionarsi al centro della penisola, nel corso delle stagioni invernali "classiche" (D'Aquila & Pecci, 2006).

Una tale anomalia nei flussi anemo-barici si è riflessa anche nella distribuzione delle precipitazioni nevose, che sono risultate, quindi, molto più intense e consistenti sul versante orientale della catena appenninica rispetto a quello occidentale; inoltre sono mancati i frequenti flussi sciroccali, tipici degli inverni precedenti (specie in piena stagione invernale), e, in definitiva, la stagione invernale si è andata chiudendo con i primi sensibili rialzi termici nella prima metà del mese di Marzo, quando buona parte del manto nevoso, anche a quote relativamente alte, risultava in stato di fusione incipiente.

Le prime nevicate a quote relativamente basse, in seguito ricoperte dalle precipitazioni successive, sono state riscontrate già a partire dal 20 Novembre 2005 (rilievo Piana dei Laghetti, quota 1670, versante Nord del Corno

Grande – Gran Sasso d'Italia); la prima fase della stagione invernale è stata caratterizzata, almeno fino al periodo di Natale, dall'alternanza di episodi "fred-di" di origine orientale, seguiti da correnti umide e temperate di provenienza occidentale.

In questo quadro meteorologico e con particolare riferimento alla prima parte dell'inverno nel settore orientale, in particolare nel gruppo del Gran Sasso, si sono verificate numerose precipitazioni, spesso di nevischio pallottolare e quasi sempre accompagnate da forti venti. Queste condizioni hanno creato un manto nevoso molto eterogeneo, formato, in generale, da strati più competenti, originati, oltre che da lastre da vento, anche da considerevoli e ripetute croste da fusione e rigelo e poggianti su strati deboli, formati nella prima parte della stagione invernale per crescita cinetica da elevati gradienti di temperatura. È stato proprio questo assetto stratigrafico a determinare, anche in una fase precoce della stagione invernale, estese valanghe di lastroni di fondo, che hanno interessato tutto il versante settentrionale del Corno Piccolo.

Il massimo spessore di neve fresca al suolo raggiunto nel sito sperimentale di osservazione dei Prati di Tivo nel periodo novembre-aprile è stato pari a 181 cm (rilevato nel corso del rilievo del 14 dicembre 2005) ed è andato, poi, riducendosi gradualmente ad opera dell'ablazione esercitata dai forti venti, fino a fondere completamente nella seconda metà di maggio 2006. Un anomalo e tardivo impulso freddo tra il 31 maggio e il 6 giugno 2006 ha depositato alcuni cm di neve alla quota del sito sperimentale e circa 1 metro di neve fresca intorno ai 2400 m s.l.m., fusa velocemente nei giorni successivi.

Andamento della stagione invernale nelle Dolomiti

La stagione invernale nelle Dolomiti è stata caratterizzata da basse temperature e da abbondanti precipitazioni nevose.

In particolare le temperature dalla seconda decade di novembre alla seconda di marzo sono state inferiori ai valori medi di riferimento, soprattutto in quota. Le temperature misurate a Monti Alti di Ornella sono state dai -1,3°C di novembre ai -3,5 °C di marzo inferiori alla media del periodo 1984-2005 (Fig. 2).

Il primo rialzo termico significativo è stato registrato solo nella terza decade del mese di marzo.

Queste basse temperature hanno influenzato sia il tipo di precipitazione (nevosa), sia l'evoluzione stagionale del manto nevoso.

Dal punto di vista pluviometrico, nel periodo novembre 2005 - aprile 2006, sono caduti nelle Dolomiti mediamente 80 mm in meno di acqua, rispetto ai 450 mm medi (media del periodo 1985 - 2004 per le Dolomiti: stazioni di Agordo, Arabba, Auronzo, Caprile, Cortina d'Ampezzo, Cencenighe, Forno di Zoldo, Gosaldo e Santo Stefano), con deficit variabili dal 14 al 40% per località.

Dal punto di vista nivometrico la stagione invernale è stata particolarmente nevosa come ben evidenzia l'indice SAI - Standard Anomalie Index - (Giuffrida e Conte, 1989) elaborato per le 5 stazioni campioni delle Dolomiti (Belluno, Falcade, Cortina, Arabba e Lago di Cavia) con un indice di 0,81 che, dopo l'eccezionale inverno 2003 - 2004, è stato il maggior dal 1985 ad oggi (Fig. 3).

Per quanto riguarda il cumulo di neve fresca i quantitativi mensili sono stati superiori alla media nei mesi centrali dell'inverno (da dicembre a febbraio).

In Fig. 4, sono rappresentati i cumuli mensili per la stazione di fondovalle di Falcade (q. 1200 m) e per quella in quota di Lago di



Sito sperimentale di campionamento dislocato presso Malga Vallecetta, Bormio 2000.

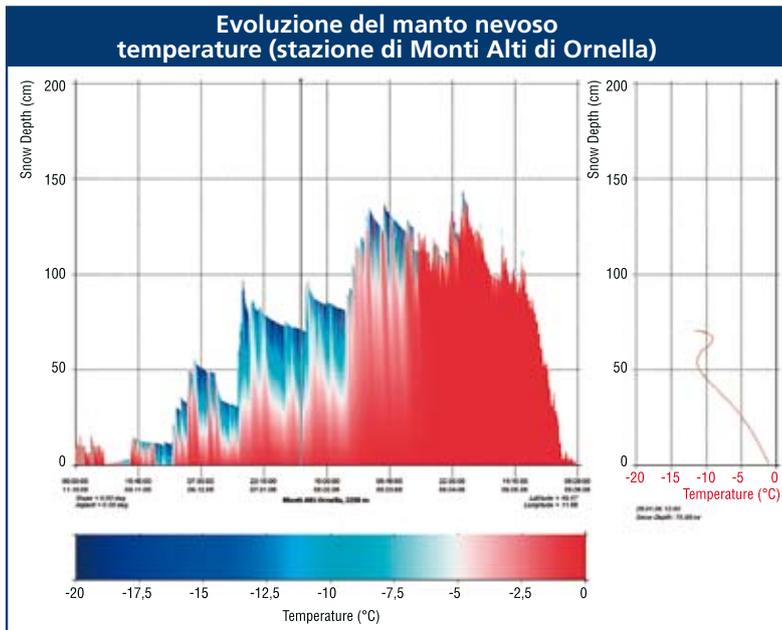


Fig. 5

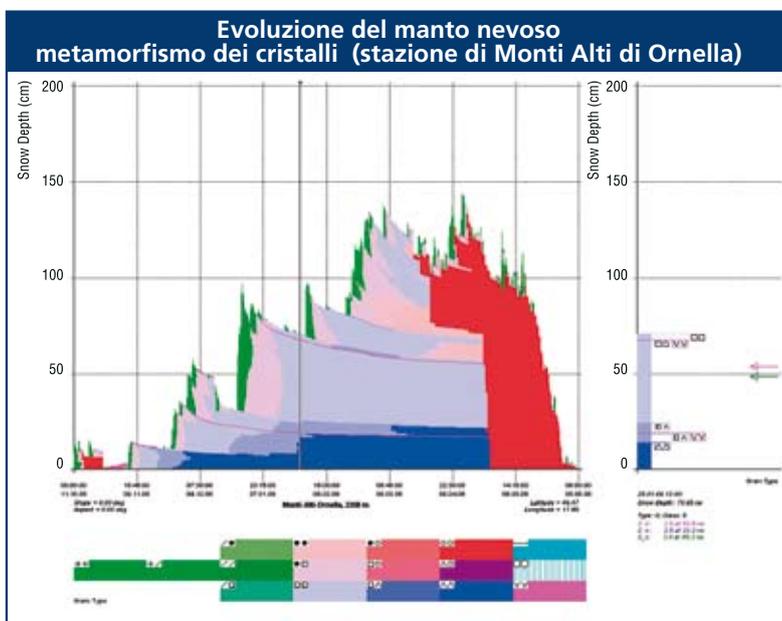


Fig. 6



Fig. 7

Cavia (q. 2100 m), che può essere, per quota ed esposizione, parificata a Monti Altì di Ornella (q. 2200 m). L'evoluzione del manto nevoso è stata particolarmente condizionata dalle basse temperature

invernali (Fig. 5), dai lunghi periodi senza precipitazione di dicembre e gennaio e da 9 episodi nevosi. I primi 2 episodi sono degli inizi di ottobre e novembre e vanno a costituire uno stato basale, non uniformemente distribuito

sul territorio. Il manto nevoso si forma definitivamente con le nevicate di fine novembre e inizio dicembre alle quali segue un periodo ventoso che determina la formazione di uno strato duro di neve ($F=3$ a, $E=0,5$ mm) che sarà osservabile durante tutta la stagione invernale. Dopo le nevicate di fine dicembre, segue un periodo freddo che trasforma cineticamente la neve.

A fine gennaio, infatti, il manto nevoso è freddo e costituito prevalentemente, da cristalli sfaccettati ($F = 4$ a) e da brina di profondità ($F = 5$ a). Segue uno dei più importanti episodi nevosi della stagione (100 cm di neve in 48 ore nelle Prealpi e nei fondovalle delle Dolomiti meridionali), cui segue un episodio ventoso. Dalla metà del mese di febbraio inizia un periodo perturbato che dura fino a fine mese con frequenti nevicate, cui segue un'ulteriore serie di nevicate. Il primo riscaldamento del manto nevoso, con la formazione di grani da fusione ($F= 6$) avviene nel periodo fra il 22 e il 27 di marzo.

Le temperature interne e basali del manto nevoso, nella stazione di Monti Altì di Ornella, assumono andamenti isotermici a 0°C da fine del mese di marzo e solo in superficie le temperature diminuiscono in occasione degli episodi freddi o delle gelate notturne del mese di aprile. La fine dell'inverno è inoltre caratterizzata da alcuni episodi nevosi primaverili (30 aprile, 10, 24 e 31 maggio, Fig. 6).

Andamento della stagione invernale nelle Alpi centrali

La stagione invernale ha anticipato di gran lunga i tempi annunciandosi in quota già ad inizio ottobre con le prime nevicate: al Passo dello Stelvio (2760 m s.l.m.) tra il 2 ed il 6 ottobre si sono registrati complessivamente

te 74 cm di neve fresca ed oltre 120 cm a 3175 m.s.l.m. del Rifugio Livrio; il limite delle nevicate ha temporaneamente raggiunto i 1500-1700 m di quota.

Il cumulo della neve fresca nel periodo novembre-aprile a Bormio 2000 è risultato di 267 cm (molto prossimo alla media dei 270 cm degli ultimi 30 anni) con un picco massimo di 94 cm di neve al suolo il 6 marzo (Fig. 7). Va considerato che se l'evento di precipitazione di fine novembre ha determinato la comparsa del manto nevoso al suolo la sua altezza è però oscillata tra i 30 e i 40 cm, merito delle basse temperature che hanno caratterizzato l'inverno, fino al 26 gennaio quando un passaggio fortemente perturbato dovuto ad una depressione sulla Penisola Iberica ha incrementato il manto nevoso di 15 cm (da 80 a 100 cm su Prealpi ed Orobie). Altri 3 episodi meteorologici significativi hanno caratterizzato la stagione: tra il 18 ed il 20 febbraio si sono registrati apporti di 50 cm di neve fresca; l'inizio di marzo (4-6) è stato altrettanto prodigo con oltre 40 cm di neve fresca; ultime nevicate della stagione, con circa 40 cm, sono state segnalate anche tra il 10 ed il 12 aprile.

Frequentemente gli episodi perturbati sono stati accompagnati e seguiti dal rinforzo dei venti che, su creste e dorsali hanno fortemente eroso il manto nevoso accumulando la neve trasportata in canali ed avvallamenti o, addirittura, trasportandone buona parte dalla quote più elevate all'interno delle aree boscate.

Le basse temperature che hanno caratterizzato l'intera stagione invernale hanno fatto sì che già da inizio stagione l'esiguo spessore del manto nevoso si trasformasse completamente: il forte gradiente ha gradualmente innescato processi di metamor-

fismo costruttivo con formazione di cristalli dapprima sfaccettati e angolari per poi progressivamente costruire cristalli a calice. Le nevicate di febbraio e marzo si sono quindi depositate su un manto nevoso caratterizzato da uno strato basale a debole coesione e resistenza favorevole al distacco di valanghe, spesso anche di fondo, sia per cause spontanee (lastroni sovraccaricati da accumuli da vento) sia per cause accidentali dovute a debole sovraccarico da parte degli escursionisti.

Si riscontra un elevato gradiente fino al rilievo stratigrafico del 15 marzo, quando, peraltro, comincia ad evidenziarsi la formazione di croste da fusione e rigelo portanti nelle prime ore del mattino, mentre sui versanti in ombra il manto nevoso preserva caratteristiche prettamente invernali. Condizioni prossime all'isotermità si presentano verso la fine di marzo, quando si evidenziano cristalli a grappoli arrotondati da fusione e fusione-rigelo.

Il forte rialzo termico nella seconda decade del mese di aprile innesca fenomeni di ablazione con sensibile perdita di spessore del manto nevoso: in poco più di due settimane si perdono complessivamente 75 cm di neve al suolo.

Se consideriamo, invece, il ba-

cino del Ticino con il Basodino, nelle Alpi centrali, dell'inverno 2005/06 si potrebbe annotare una prima parte estremamente secca. I mesi di settembre, ottobre, novembre e dicembre sono risultati estremamente asciutti. Solo due modeste nevicate si sono verificate in dicembre: la prima, a inizio dicembre è sopraggiunta da nord, la seconda, come normalmente, da sud. Anche gennaio freddo e secco, fino alla nevicata di fine mese. Inizio febbraio pure freddo e secco, mentre nella seconda parte le ne-



vicate sono di rilievo ed il mese è stato l'unico di tutto l'inverno a registrare valori sopra la media. Nuovamente molto avari di neve marzo e aprile, mentre anche maggio resta troppo asciutto. Sul ghiacciaio del Basodino, dove viene eseguito il bilancio di massa da 14 anni, non era

mai stata individuato un totale di precipitazione così scarso come quello dell'inverno 2005/06. A inizio maggio sono stati individuati poco più di 900 mm d'equivalente in acqua, mentre il valore minimo precedente era di 1310 mm ed il valore medio degli ultimi 13 inverni 1670 mm.

Andamento della stagione invernale nelle Alpi occidentali (Valle d'Aosta)

In Valle D'Aosta la stagione invernale è stata principalmente caratterizzata da perturbazioni provenienti dai quadranti nord occidentali, che hanno interessato la dorsale alpina di confine con la Francia e la Svizzera, con ripetute precipitazioni a carattere nevoso a partire dai primi giorni di dicembre 2005 e fino al 10 maggio 2006, con due fenomeni particolarmente intensi. Il primo nei giorni compresi dal 16 al 20 febbraio 2006, caratterizzato da un iniziale temporaneo rialzo termico e successivo repentino abbassamento delle temperature con apporti di neve fresca di 50 cm in 7-8 ore. Il secondo nei giorni compresi dal 3 al 5 marzo 2006, caratterizzato dall'azione di venti da moderati a forti provenienti da ovest e poi in rotazione da nord, associati ad una moderata precipitazione.

L'area sud orientale della Regione è stata invece caratterizzata da scarse precipitazioni e basse temperature, ad eccezione della perturbazione del 26-27 Gennaio 2006 che, di provenienza sud orientale, si è manifestata con carattere intenso, principalmente nel settore orientale della Regione, senza interessare la testata delle valli (per es. in Valle del Lys si è pressoché esaurita all'altezza del Comune di Gaby) e quella del 19-20 Febbraio.

L'area centrale della Regione anche in questa stagione è stata la meno interessata dalle precipitazioni, confermandone il carattere più secco (Mercalli et al., 2003). Analizzando l'evoluzione del manto nevoso nel settore nord occidentale (zona Monte Bianco, Gran San Bernardo, La Thuile, Valgrisenche, Val di Rhemès, Valsavarenche), si rileva che esso, pur avendo carattere sen-

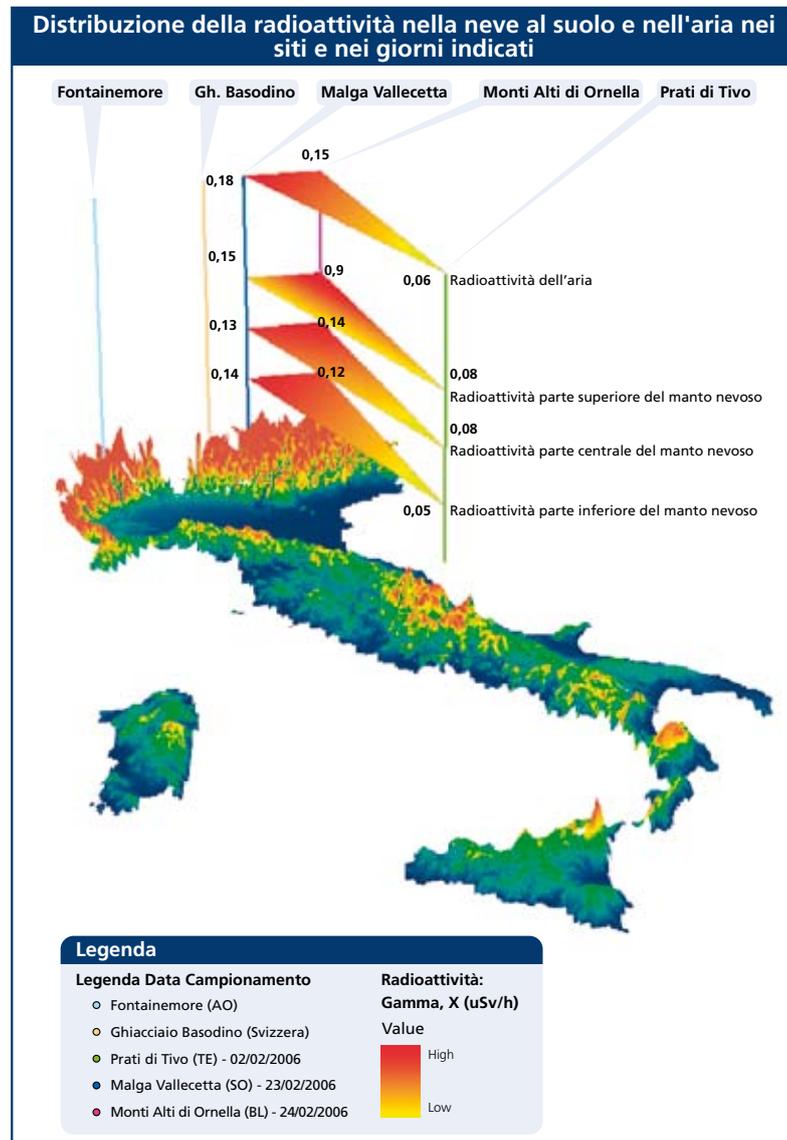


Fig. 8



sibilmente vario, in termini di quantitativi di neve, di temperature e dell'azione dei venti, si accomuna per una costante presenza negli strati basali di cristalli a calice che alla quota media di 2000 m si sono formati nella prima decade di gennaio 2006 e si sono mantenuti tali fino alla fine di marzo. Nel mese di febbraio, questo strato è stato ricoperto da neve a debole coesione che ha subito metamorfismo costruttivo fino alla prima decade di marzo. Croste da vento, con durezze particolarmente importanti, si sono formate dopo l'evento dei primi giorni di marzo. Il primo rialzo termico determinante per l'isotermia del manto, alla quota media di 2000 m, si è verificato all'inizio di aprile 2006.

Nel settore sud orientale (Valli di Champorcher, Lys, Ayas, Val-touranche) la prima neve si è depositata a fine dicembre e solo a metà febbraio e a metà marzo il manto nevoso è stato interessato da due significativi episodi nevosi. Si sono intervallate splendide giornate di sole con temperature rigide e spesso venti moderati in quota; solo a fine inverno inizio primavera nuove precipitazioni hanno interessato il settore. Quindi il ridotto manto nevoso si è presentato principalmente costituito da cristalli a calice e sfaccettati, con particelle frammentate, croste da vento e ampie zone erose.

METODOLOGIE UTILIZZATE

Rilievi del manto nevoso

I rilievi del manto nevoso sono stati eseguiti secondo la metodologia classica (Cagnati, 2004) 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 la valu-

tazione delle dimensioni e delle forme dei grani è stata utilizzata una lente di ingrandimento 8x munita di reticolo con dimensione di 1/10 di mm. La densità è stata misurata ogni strato utilizzando un tubo da 0.5 l e un dinamometro a molla da 500 g. I valori di temperatura della neve sono stati misurati utilizzando un termometro digitale a contatto (range -50/+ 50°C).

Gli indici di durezza degli strati determinati sia con la RAM Sonde che con il test della mano (hand test).

Tutti i dati sono stati riportati facendo riferimento alla classificazione internazionale "The International Classification for Seasonal Snow on the Ground" (Colbeck et alii, 1990) della International Commission on Snow and Ice e archiviati con il software YETI (<http://www.aineva.it/presenta.html>).

Per la rappresentazione dell'evoluzione stagionale del manto nevoso sono state utilizzate le elaborazioni fornite dal modello di evoluzione del manto nevoso SNOWPACK (Lehning et alii 2001; 2002a; 2002b) per la stazione di riferimento di Monti Alti di Ornella (BL) a quota 2200 m; nel caso delle stazioni al Gran Sasso d'Italia (TE), i dati sono stati archiviati, gestiti, elaborati e visualizzati in ambiente Arc/GIS, tramite la realizzazione di un database geografico, creato ad hoc.

Campionamenti della neve

Per ogni profilo del manto nevoso, eseguito con inizi diversificati a seconda delle stazioni di monitoraggio, sono state fatte misure di pH e conducibilità elettrica per ogni singolo strato rilevato. Inoltre nel caso di due campionamenti per i Prati di Tivo e costantemente per Monte Alti di Ornella sono stati prelevati dei campioni di neve in corrispondenza di strati significativi e di spessore di almeno 5-10 cm.

Durante la stagione invernale i prelievi sono stati ripetuti per strato, annotando l'altezza di campionamento da terra. In questo modo è stato possibile



Strumentazione utilizzata per le misure di pH e conducibilità elettrica

unità operativa	pHmetro	risoluzione	taratura	conduttimetro	risoluzione	taratura
Appennino centrale	Combo HI 98129 tester pH Conducibilità	0,01 pH	Settimanale con tamponi 4, 7 e 10	Combo HI 98129 tester pH Conducibilità	1 µS	Settimanale con standard a 1.413 µS/cm
Alpi orientali	Hanna	0,1 pH	Settimanale con tamponi 4 e 7	HACH	0,01 µS/cm	Settimanale con standard da 140 µS a 200 µS
Alpi centrali	Hanna Instruments pHep FAMILY	0,1 pH	21.02.2006 e 7.04.2006	CRISON MicroCN 2201	0,01 µS/cm	A ottobre (ma non è stato utilizzato) e successivamente il 6 febbraio 2006 con standard a 75,8 µS a +20° C
Alpi centrali Svizzere	Laboratorio specializzato	0,01 pH	continua	Laboratorio specializzato	0.1 µS	continua
Alpi occidentali	ION83 ION METER	0,01 pH	Giornaliera con tamponi 4.00 e 9.00	Crison microCN 22001	0.01 µS/cm	Settimanale con standard a 1278 µS/cm

Fig. 9

Caratteristiche salienti dei siti sperimentali di misura							
Sito	Quota (m. slm)	Esposizione	pH	Conducibilità (µS/cm)	Analisi chimiche di dettaglio	Periodo di monitoraggio	Frequenza dei rilievi
Prati di Tivo, TE (principale)	1793	N	si	si	si, il 02/02/06 e il 30/03/06	25/11/05 30/03/06	settimanale
Prati di Tivo, TE	1450	N	si	si	no	07/12/05 04/01/06 19/01/06	variabile in base a condizioni meteo
Piana di Laghetti, TE	1670	ENE	si	si	no	20/11/05	singola a inizio stagione
Prato Selva, TE	1430	N	si	si	no	03/12/05	inizio stagione
Monti Alti di Ornella, BL	2200	N	si	si	si, settimanale	25/01/06 01/06/06	settimanale
Malga Vallecetta, SO	2232	WNW	si	si	no	19/01/06 26/04/06	settimanale
Ghiacciaio del Basodino (Svizzera)	2900	NE	si	si	si	gen-mag 06	solo 2 uscite
Fontainemore, AO	1825	SO	si	si	si, il 18/03/06 e il 15/04/06	18/03/06 15/04/06	

Fig. 10

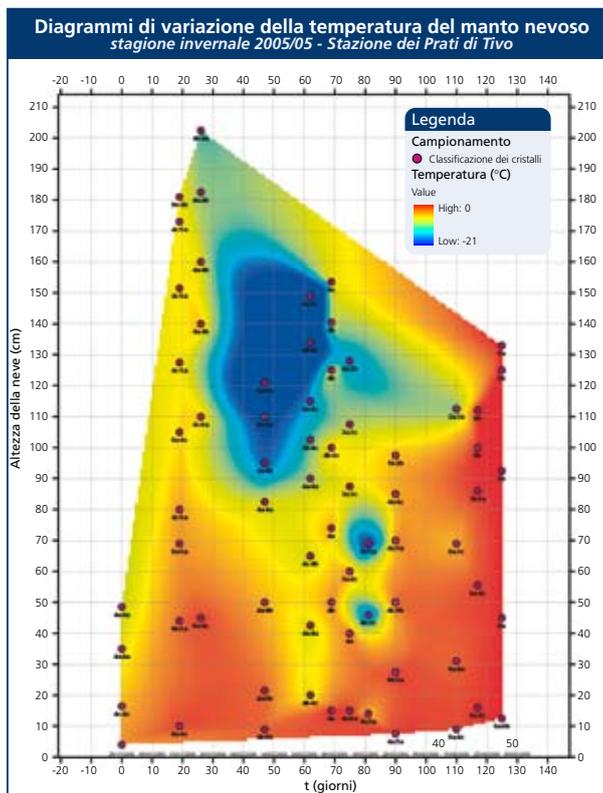


Fig. 11a - Diagrammi di variazione della temperatura, del pH e della conducibilità elettrica del manto nevoso durante la stagione invernale 2005/06 per la Stazione dei Prati di Tivo; i punti disegnati rappresentano i dati realmente campionati; la scala cromatica rappresenta un'interpolazione di tali punti, per favorirne l'interpretazione.

monitorare, durante la stagione, l'evoluzione di ogni strato di neve. Il prelievo è stato effettuato indossando guanti in teflon e controvento. La neve è stata raccolta carotando orizzontalmente con il contenitore stesso, da 500 ml e in PVC. I contenitori erano stati precedentemente lavati e preparati in laboratorio, al DAP di Belluno, con acido nitrico sovrappuro e acqua distillata MILLIQ. Ogni serie di campioni è stata stoccata in un apposito frigorifero ($T = -20^{\circ}\text{C}$) presso il CVA Arabba, pronta per le analisi e il

successivo trasferimento al DAP di Belluno.

Infine, in occasione di alcuni campionamenti nel periodo centrale della stagione invernale e nei siti dei Prati di Tivo, di Monti Alti di Ornella e di Malga Vallecetta, sono state effettuate delle misure di radioattività ambientale in situ, utilizzando lo strumento Rados RDS 110 e la sonda esterna Rados GNP - 11, al fine di ottenere valori, rispettivamente, di radiazione α e β (Figura 8); i valori rilevati, anche se bassi e tali da non generare allarme, non sono trascurabili.

Analisi di conducibilità e pH

Nel caso delle misure di pH e conducibilità i campioni prelevati sono stati analizzati lo stesso giorno presso la sede di lavoro (Università di Chieti per il Gran Sasso d'Italia - 200 m; CVA Arabba - 1630 m) o il giorno successivo al prelievo per permettere alla neve di sciogliersi al completo e di raggiungere la T di circa 20°C - T delle soluzioni standard in fase di taratura degli strumenti (Centro Nivometeo di Bormio)

Per la determinazione del pH e della conducibilità elettrica della neve sono stati utilizzati gli strumenti elencati nella figura 9.

Le analisi di pH e conducibilità sono state effettuate lasciando sciogliere una piccola parte della

neve raccolta (circa 50 ml) in un beker e lasciandola riposare fino al raggiungimento della temperatura ambiente (circa 20°C).

I SITI SPERIMENTALI DI RILIEVO

Le attività di rilievo in sito, comprendenti le operazioni necessarie per la realizzazione del profilo (sia tradizionale, sia chimico-ambientale speditivo) del manto nevoso sono state effettuate in alcuni siti sperimentali di particolare significato geografico, dove fosse possibile garantire una frequenza ed una sistematicità delle indagini, a fronte anche di un accesso ed una logistica favorevoli. La scelta e l'opportunità è ricaduta sui siti ubicati in figura 1, i cui dati e caratteristiche salienti sono riportate nella figura 10. Tutti i rilievi tradizionali del manto nevoso sono stati eseguiti settimanalmente (ad esclusione dei siti sperimentali della Valle d'Aosta e del ghiacciaio del Basodino) e sono, comunque, consistiti in una prova penetrometrica ed in una analisi stratigrafica secondo gli standard internazionali (Colbeck, 1990. Cagnati, 2004).

A titolo di esempio sono riportati i grafici di temperatura, pH e conducibilità elettrica del primo sito sperimentale presentato; nella pagina web relativa all'articolo (www.aineva.it/pubblicazioni...) sono riportati nel dettaglio tutti i grafici relativi anche agli altri siti.

Il sito del Gran Sasso d'Italia - Prati di Tivo (TE)

Il sito dei Prati di Tivo, è localizzato lungo il versante settentrionale del Corno Piccolo, ad una quota di circa 1800 (Fig. 1); il substrato è di natura carbonatica, ricoperto da uno strato di detrito e di cotica erbosa (generalmente di genere Festuca), con utilizzo del suolo a prato-pascolo.

La stazione consiste in un campo neve, in cui vengono realizzati settimanalmente i rilievi nivometeorologici tradizionali, integrati da un profilo chimico speditivo del manto nevoso (pH e Conducibilità elettrica); inoltre in concomitanza di due stratigrafie è stato effettuato un profilo delle caratteristiche di radioattività del manto nevoso, nonché il prelievo di campioni per un'analisi chimica di dettaglio.

Gli altri due siti (Prato Selva e Piana dei Laghetti), di controllo rispetto al sito principale, presentano caratteristiche morfoclimatiche simili, ma, a causa di alcuni problemi logistici, non si è riusciti ad eseguire rilievi sistematici.

Tutte le stazioni sono ubicate sulla destra orografica del fiume Vomano. Le stazioni di rilevamento di Prati di Tivo, Prato Selva e Piana dei Laghetti sono rappresentative dell'evoluzione generale del manto nevoso sui versanti settentrionali del Gran Sasso d'Italia; sono raggiungibili con strada e/o impianti di risalita; quando il sito principale dei Prati di Tivo non è stato raggiunto a causa di pessime condizioni meteorologiche, si è provveduto ad effettuare i rilievi ad una quota inferiore (1450 m), nei pressi della partenza della seggiovia dei Prati di Tivo alti.

Primi risultati

I rilievi nivometrici, accompagnati dal prelievo di campioni per l'analisi chimica speditiva del manto nevoso, si sono svolti, per questo sito, dal 25/11/06, al 30/03/06.

Da un'analisi preliminare (Fig. 11a, b, c) risulterebbe una certa correlazione tra l'andamento del pH, della temperatura e della conducibilità, sia nel tempo, sia nello spazio (spessore del manto nevoso).

C'è da precisare, per quanto

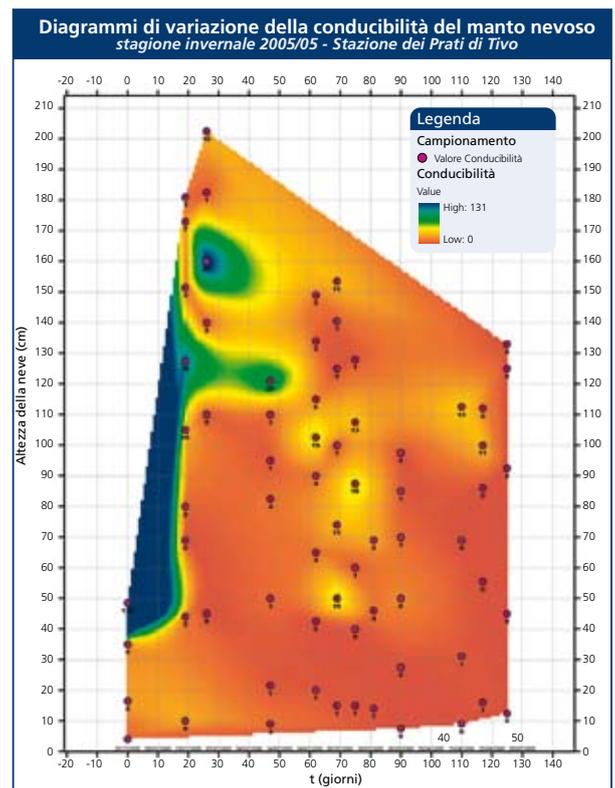
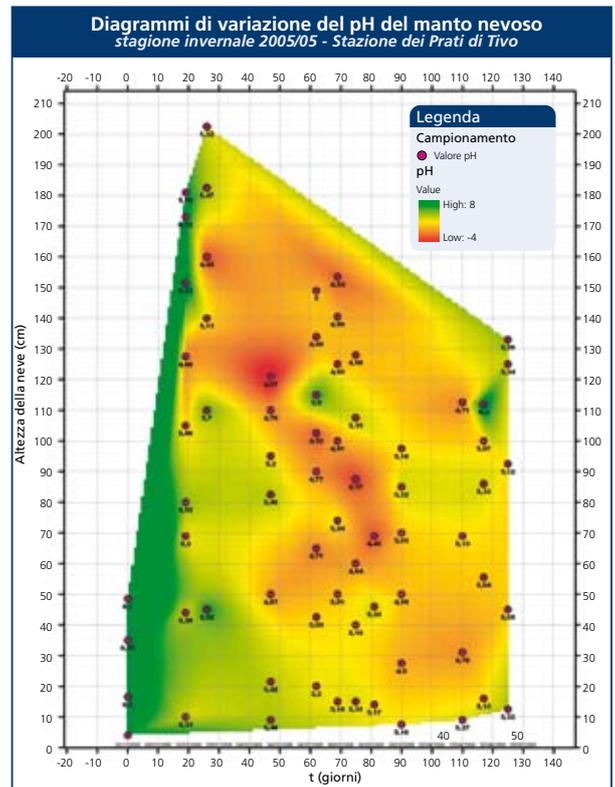
riguarda la lettura dei grafici della Fig. 11, che i valori della scala cromatica sono da ritenersi "reali" solo in prossimità dei punti campionati, in quanto, trattandosi di un grafico interpretativo, sono stati estrapolati valori anche dove, in realtà, la coltre nevosa non era presente; a tal proposito si fa notare come i punti disegnati sul grafico rappresentino i campioni prelevati e che per ogni colonna il valore con ordinata maggiore indica lo spessore massimo della neve a quella data (in ascissa).

Dall'analisi dei grafici si può dedurre come i parametri analizzati presentino il seguente andamento nel corso dei rilievi effettuati:

- la temperatura presenta un andamento, durante il corso dell'inverno, caratterizzato da una fase centrale molto fredda (area in rosso); lungo lo spessore del manto (area in blu) si può notare come vi sia un aumento della temperatura verso la base del manto, legata, in linea di massima, al flusso geotermico;
- la conducibilità presenta un andamento, durante il corso dell'inverno, caratterizzato da una continua diminuzione dei valori con l'avanzare della stagione (area in rosso); analogo andamento si riscontra lungo lo spessore del manto (area in blu);
- il pH presenta un'andamento molto simile a quello della temperatura, con una fase centrale caratterizzata da pH più acidi.

Il sito di Monti Alti di Ornella

La stazione di rilevamento di Monti Alti di Ornella a 2250 m di quota (Fig. 1) è situata sul versante settentrionale del gruppo del Padon, catena di rocce vulcaniche immediatamente a Nord della Marmolada, e sulla destra orografica del torrente Cordevole (bacino del Piave). La stazione è caratterizzata da



un campo neve e da una stazione automatica di monitoraggio dei parametri meteorologici e nivologici (Cagnati, 1983).

Il soprasuolo del sito è di tipo silicatico ed è stato sottoposto, fino a circa 35/40 anni fa, a sfalcio e successivamente a pascolo. Esso può essere considerato "prateria

Fig. 11 b
Fig. 11 c

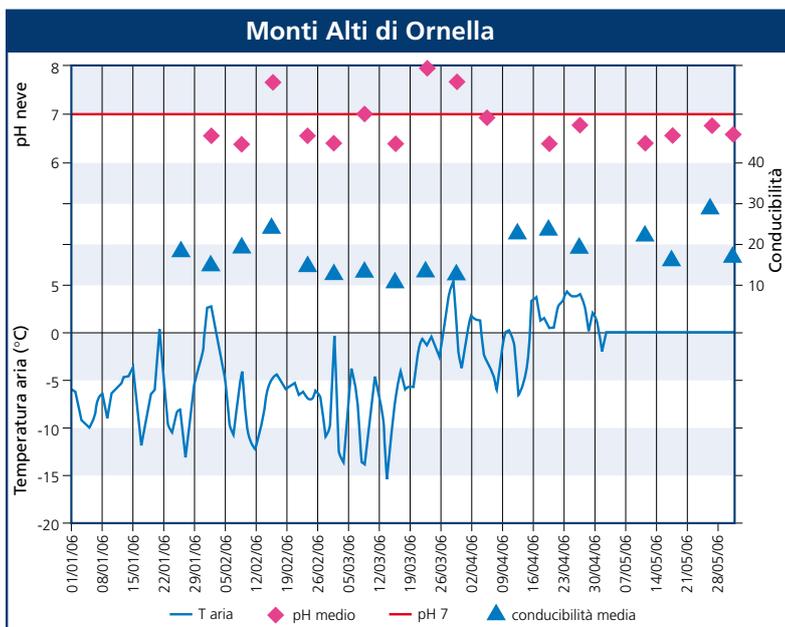


Fig. 12 - Campionamenti di neve e distribuzione della temperatura dell'aria, del pH e della conducibilità elettrica media.

Fig. 13 - Monti Altì di Ornella, andamento del pH rispetto alla densità e alla temperatura dell'aria.

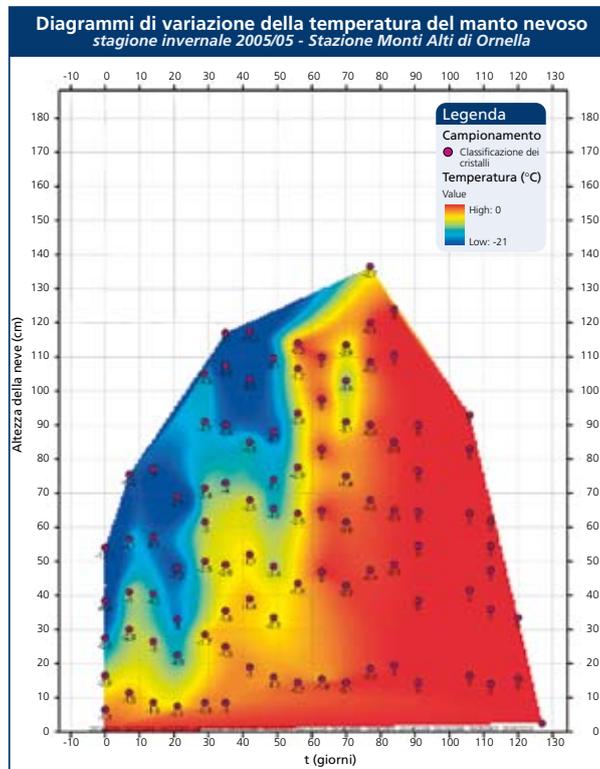
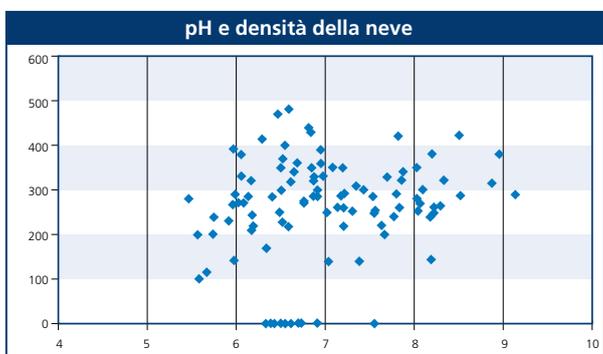


Fig. 14a, b e c - Diagrammi di variazione della temperatura, del pH e della conducibilità

alpina di alta quota", con totale assenza di specie arbustive. La temperatura media annuale del sito è di +1,8°C, la precipi-

tazione di 971 mm (relativa alla vicina stazione di Passo Pordoi q. 2142 m), il cumulo stagionale di neve fresca pari a 605 cm (relativa alla vicina stazione di Lago di Cavia q. 2100 m) e l'altezza media di neve al suolo, da novembre ad aprile, di 92 cm.

La stazione di rilevamento di Monti Altì di Ornella è rappresentativa dell'evoluzione generale del manto nevoso sui versanti settentrionali delle Dolomiti.

La stazione è raggiungibile in inverno solo con gli sci (dista circa 400 m da una pista) e in estate con un mezzo fuoristrada. Non ci sono infrastrutture abitative nelle vicinanze.

Primi risultati

Dal 25 gennaio 2006 al 1 giugno 2006 sono stati eseguiti settimanalmente i campionamenti della neve per un totale di più di 100 campioni di neve prelevati e analizzati (Fig. 12).

In Fig. 13 sono rappresentati gli andamenti del pH rispetto a densità e temperatura.

Un'analisi più approfondita dei valori di pH misurati e rispettiva temperatura della neve campionata ha evidenziato (Fig. 14):

- con temperature medio-basse della neve i valori di pH tendono ad essere relativamente

alcalini;

- gli strati di neve più superficiali hanno valori di pH acido rispetto alla base del manto nevoso;

- nel periodo di disgelo il pH della neve risulta leggermente acido e i valori di conducibilità sono più alti;

- durante tutta la stagione invernale i valori di conducibilità sono più elevati e di pH più acidi alla base del manto nevoso, rispetto alla superficie.

Il sito di Malga Vallecetta - Comprensorio sciistico di Bormio

Il sito sperimentale, localizzato nelle vicinanze di Malga Vallecetta (comune di Valdisotto - SO, Fig. 1), si trova ad una cinquantina di metri all'esterno della pista di sci alpino Bimbi al Sole che dalla Cima Bianca conduce a Bormio 2000. Il sito selezionato per i campionamenti della neve è posto al limite del bosco, su una piccola radura pianeggiante del versante Nord-occidentale del Monte Vallecetta, lungo la dorsale che delimita l'ampio canalone in cui storicamente correvano le grandi valanghe primaverili che raggiungevano il fondovalle. Il soprasuolo è costituito prevalentemente da pascolo; intorno predominano giovani pini cembri e mughetti alternati a cespugli di ginepro e rododendro.

La stazione nivometeorologica più vicina, in cui quotidianamente vengono rilevati i dati del Mod. 1 AINEVA (Bormio 2000), è posta alla stessa esposizione ma a quota 2010 m s.l.m.. Qui la media delle precipitazioni nevose negli ultimi 30 anni da dicembre a maggio è di 270 cm.

La montagna del Vallecetta, sul versante Nord-occidentale è rappresentativa solamente per la conca di Bormio che è, in assoluto, la zona più secca dell'Alta Valtellina oltre che dell'intera Lombardia.

Primi risultati

Le variazioni dei parametri in studio sono presentati nei grafici di Fig. 15.

Le distribuzioni dei valori non mostrano una tendenza marcata da una permanenza di condizioni di acidità negli spessori più superficiali del manto nevoso e al contatto con il suolo, almeno, nella parte centrale dell'inverno e da un impulso ionico quasi immediato nella prima decade del mese di aprile (grafico della conducibilità) che interessa la quasi totalità del manto. È da segnalare anche il fenomeno della precoce fusione incipiente del manto, in condizione di isotermità, già a partire dall'ultima decade di marzo, che sembra favorire un successivo rimescolamento ionico e una più incisiva dinamica chimica.

Il sito del Ghiacciaio del Basodino

Il sito del Ghiacciaio del Basodino è localizzato sul Ticino nordoccidentale (Fig. 1), nell'Alta Valle Maggia, a soli 4 km di distanza a sudest del Lago Toggia, in cima alla Valle Formazza. Il punto di campionamento è situato al centro del Ghiacciaio, esteso su un'area di poco più di 2 km². Il ghiacciaio, in condizioni morfologiche sommitali, è rivolto verso nordest e presenta una pendenza media dai 15° ai 20°. Il ghiacciaio è oggetto di misure glaciologiche dirette, per la determinazione del bilancio di massa, a partire dal 1993. In questo contesto già negli anni scorsi sono state effettuate misure di chimismo della neve, con campionamenti effettuati in occasione delle misure di densità della neve invernale, prima dell'inizio della fusione superficiale e della saturazione del manto nevoso ad opera delle acque di fusione.

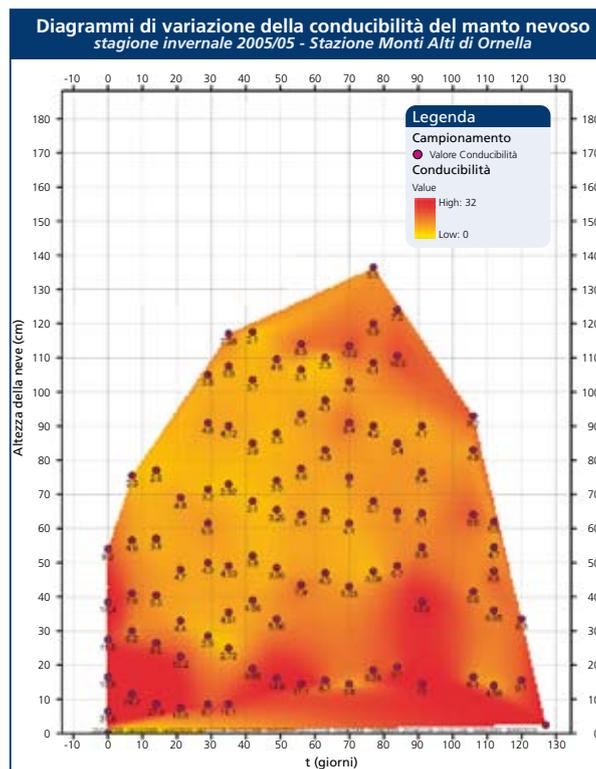
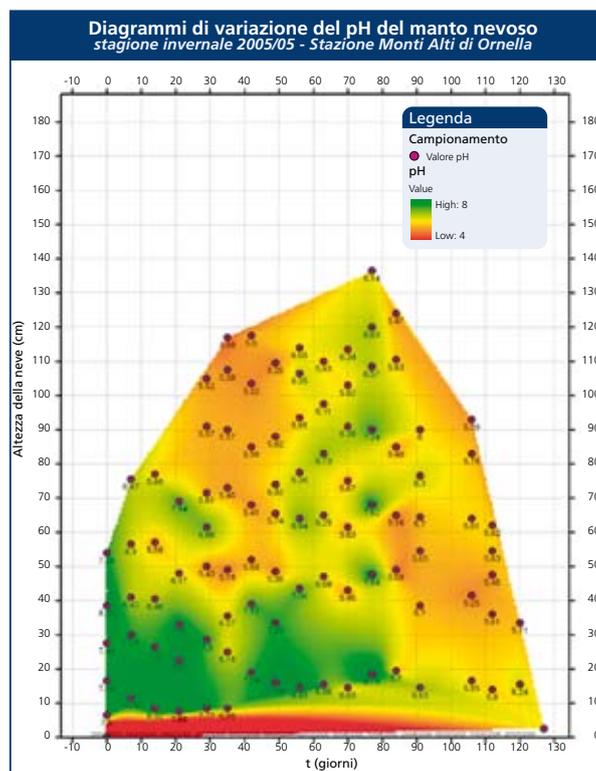
Il substrato del Massiccio del Basodino è composto princi-

palmente da gneiss cristallini, con alcune limitate intrusioni di marmo nella zona antistante il ghiacciaio, a qualche km di distanza dalla fronte. Questi affioramenti sono esigui, ma potrebbero svolgere un'azione di tamponamento chimico nei confronti dei laghetti circostanti, caratterizzati da acidità marcata. Durante la stagione invernale, invece, la loro azione dovrebbe essere ininfluenza sulle deposizioni di neve sul ghiacciaio.

Il ghiacciaio è raggiungibile a piedi, in circa 3 ore, d'inverno con le pelli di foca, dalla stazione di Robiei (1900 m slm), dove giunge una teleferica gestita dalle Officine Idroelettriche Maggia OFIMA. A Robiei MeteoSvizzera possiede una stazione meteorologica automatica che rileva dati ogni 10 minuti: le misure delle precipitazioni vengono eseguite con un pluviometro riscaldato, grazie al collegamento alla rete elettrica, mentre i dati vengono trasmessi per linea telefonica. Inoltre, a Robiei gli addetti OFIMA gestiscono un campo di rilevamento neve della rete di rilevamento manuale dell'Istituto Federale della Neve e delle Valanghe di Davos.

Nella Fig 16 sono riportati i dati raccolti manualmente presso la stazione di Robiei a 1900 m, durante l'inverno 2005/06. Essi mostrano, in alto, l'andamento dell'altezza della neve (linea rossa), che non ha mai raggiunto la media (linea verde) degli ultimi decenni, ma addirittura ha superato la curva minima assoluta, a fine gennaio, quando la poca neve presente al suolo è stata asportata dal vento.

Da notare come in anni nevosi la curva massima può raggiungere valori considerevoli. Il massimo assoluto a Robiei è stato registrato il 24 aprile 1986 con 624 cm di coltre nevosa al suolo.

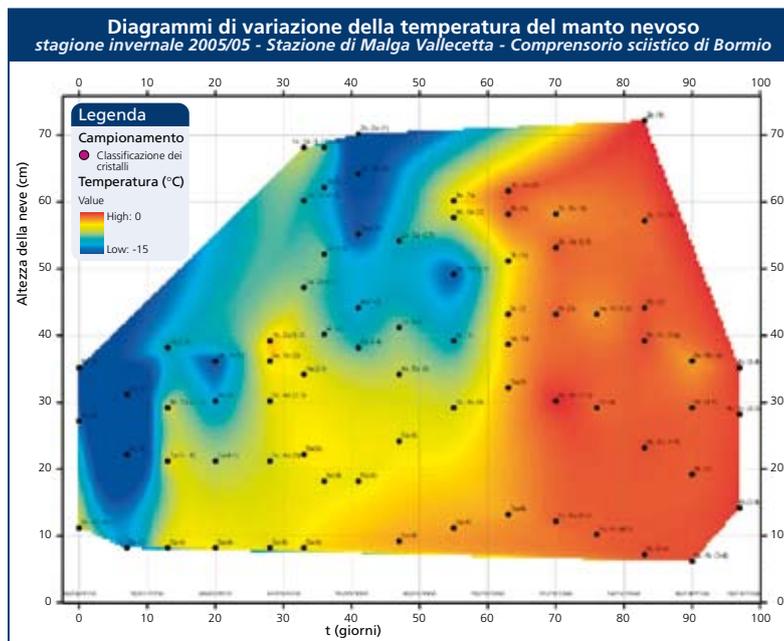


Primi risultati

I campionamenti della neve al suolo sono stati eseguiti l'8 febbraio ed il 3 maggio 2006; le analisi chimiche sono state condotte il giorno successivo presso il Laboratorio studi ambientali del Cantone Ticino (Dr. G. Righetti). Come si era già verificato anche in occasione di precedenti

elettrica del manto nevoso durante la stagione invernale 2005/06 per la stazione di Monti Alti di Ornella; i punti disegnati rappresentano i dati realmente campionati; la scala cromatica rappresenta un'interpolazione di tali punti, per favorirne l'interpretazione.

Fig. 15a, b e c
- Diagrammi di variazione della temperatura, del pH e della conducibilità elettrica del manto nevoso durante la stagione invernale 2005/05 per la stazione di Malga Vallecetta; i punti disegnati rappresentano i dati realmente campionati; la scala cromatica rappresenta un'interpolazione di tali punti, per favorirne l'interpretazione.



Pagina a fianco
Fig. 16 - Dati nivoclimatici raccolti manualmente presso la stazione di Robieci

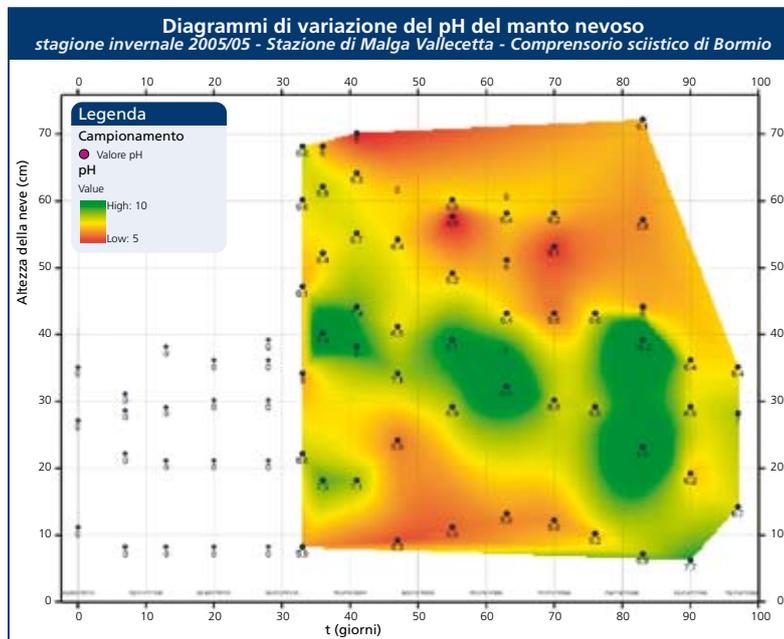
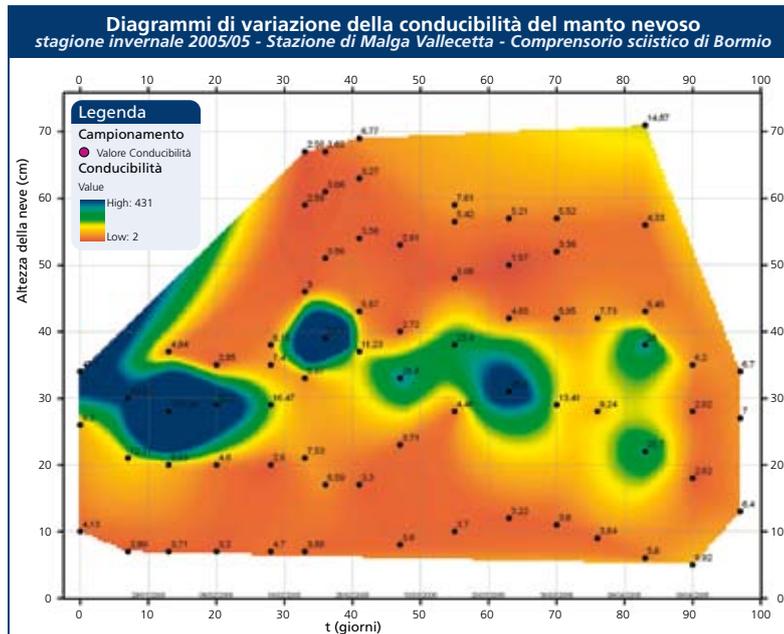


Fig. 17a e b
- Diagrammi di variazione della temperatura, del pH e della conducibilità elettrica del manto nevoso durante la stagione invernale 2005/05 per la stazione del ghiacciaio Basodino; i punti disegnati rappresentano i dati realmente campionati; la scala cromatica rappresenta un'interpolazione di tali punti, per favorirne l'interpretazione.



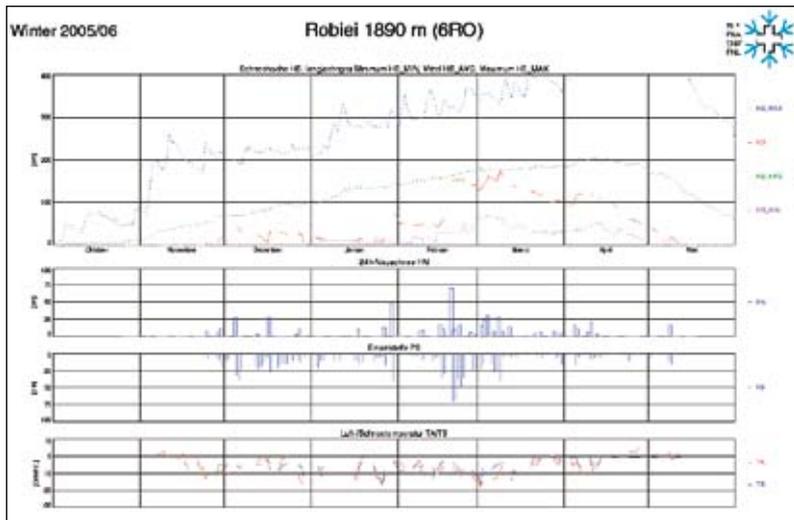
annate e come si può apprezzare dai grafici di figura 17, la conducibilità si mantiene bassa, a fronte di una elevata acidità, sempre minore, però, di quella delle precipitazioni che cadono nelle Prealpi del Ticino, dove il "Washout" ed il "Rainout" sono maggiormente evidenti.

Lo strato totale (97 cm) che era stato campionato in 2 frazioni a inizio febbraio 2006 e che mostrava, rispettivamente, pH di 5.54 di 5.26, a maggio, ridotto a 85 cm di spessore, manteneva costante un pH pari a 5.31, a dimostrare una stabilità del valore pH nel medesimo strato indisturbato, a fronte di temperature sempre decisamente sotto lo zero durante il corso dell'inverno. Delle due frazioni campionate nella trincea del giorno 8 febbraio 2006, quella basale comprendeva un alcune deboli nevicate di fine novembre (brina di fondo), uno strato di neve sopraggiunta da nordovest ad inizio dicembre ed una nevicata arrivata da sud a fine dicembre. Risultava un po' meno acida di quella del campione soprastante; il secondo, che comprendeva in particolare la nevicata del 26-28 gennaio, sopraggiunta con venti meridionali.

Nella trincea eseguita a inizio maggio il campione basale rendeva conto degli stessi 2 strati rilevati a febbraio ed il campione più superficiale tutte le successive nevicate verificatesi tra metà febbraio e inizio maggio.

Il sito della Valle D'Aosta

Il sito di Fontainemore-Punta Leretta (Fig. 1) è situato a 1825 m di quota, sulle pendici esposte a sud-ovest del Mont Mars, un massiccio geologicamente situato nella Zona Sesia-Lanzo e formato prevalentemente da rocce a reazione acida (micasisti e micascisti eclogitici). Il sito è localizzato su un pascolo



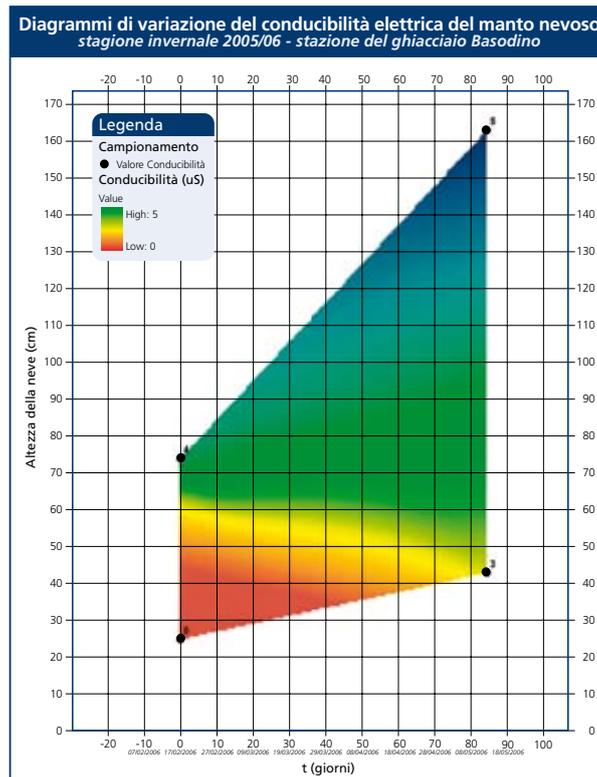
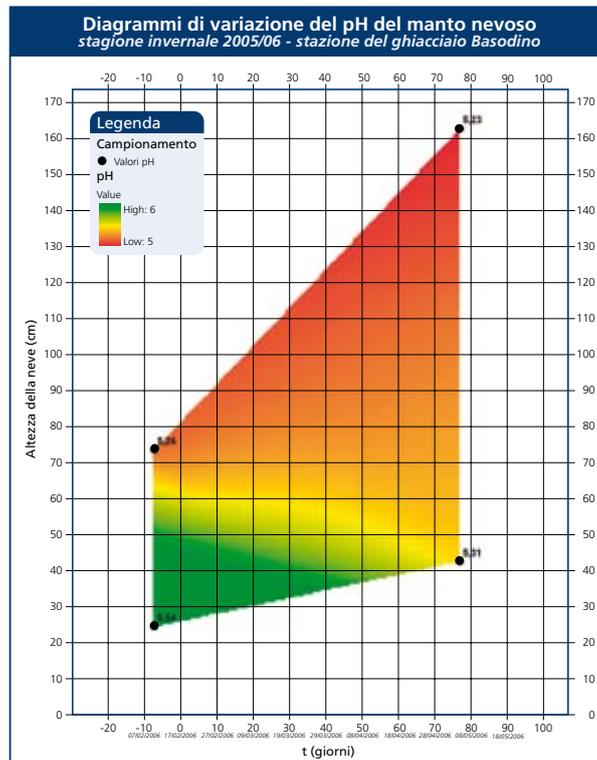
d'alta quota, circondato da un popolamento di Larice. La stazione è raggiungibile in inverno solo con gli sci e in estate con un mezzo fuoristrada. Non ci sono infrastrutture abitative nelle vicinanze.

La circolazione atmosferica responsabile della maggior parte delle precipitazioni è prevalentemente di provenienza meridionale. Essa è messa in movimento da aree cicloniche centrate sul golfo di Genova che possono portare precipitazioni anche consistenti. Una tale figura sinottica è frequente nei mesi primaverili e autunnali, mentre risulta meno diffusa in inverno e estate. Il clima della stagione invernale è normalmente freddo e asciutto, caratterizzato da lunghi periodi di stabilità anticiclonica; la stagione estiva presenta, invece, attività temporalesche sia dinamiche, sia convettive (Mercalli et al., 2003). Le precipitazioni hanno una distribuzione stagionale caratterizzata da un massimo principale primaverile (aprile-maggio), ed un massimo secondario ad ottobre; il minimo principale si presenta durante i mesi invernali (dicembre, gennaio e febbraio); durante l'estate si riscontra una flessione nel mese di luglio, ma essa è generalmente soggetta a fenomeni temporaleschi piuttosto

frequenti. Il sito di rilevamento presenta inoltre condizioni microclimatiche peculiari, essendo caratterizzato, nella stagione estiva, dallo scontro tra le correnti fredde che scendono dal Monte Rosa e quelle più calde provenienti dalla pianura piemontese; ciò determina un'abbondanza delle precipitazioni, localizzate specialmente nelle ore pomeridiane. La temperatura media annua è di 3,8°C.

Primi risultati

Nel corso dell'inverno 2005/06 sono stati effettuati due campionamenti de manto nevoso in occasione dei periodi critici di accumulo e di fusione della neve (18/03/2006 e 15/04/2006). A partire dalla determinazione della stratigrafia e del profilo, il manto nevoso è stato successivamente campionato ogni 10 cm di profondità. I campioni sono stati conservati in congelatore e successivamente analizzati per la determinazione del pH e della conducibilità elettrica (Hiltbrunner et al., 2005). I risultati di fig. 18 *on line* mostrano valori di pH subacidi e una conducibilità elettrica compresa fra 3 e 17 $\mu\text{S cm}^{-1}$, valori in linea con quanto riportato da altri autori per l'ambiente Alpino (e.g. Puxbaum et al., 1991; Hiltbrunner et al., 2005). Si assiste generalmente ad un aumento di pH col progressivo avvicinarsi



alla superficie del manto nevoso. Nel caso del profilo del 18/03 si assiste anche ad un leggero incremento di pH all'interfaccia suolo-neve; tale incremento è accompagnato da un analogo aumento della conducibilità elettrica, che in quel punto raggiunge il valore massimo. Nel caso del profilo campionato il 15/04 la

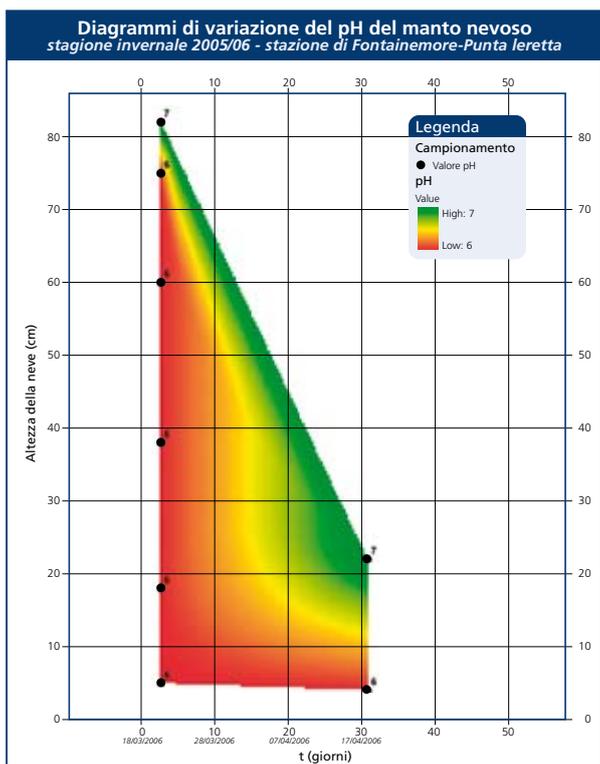
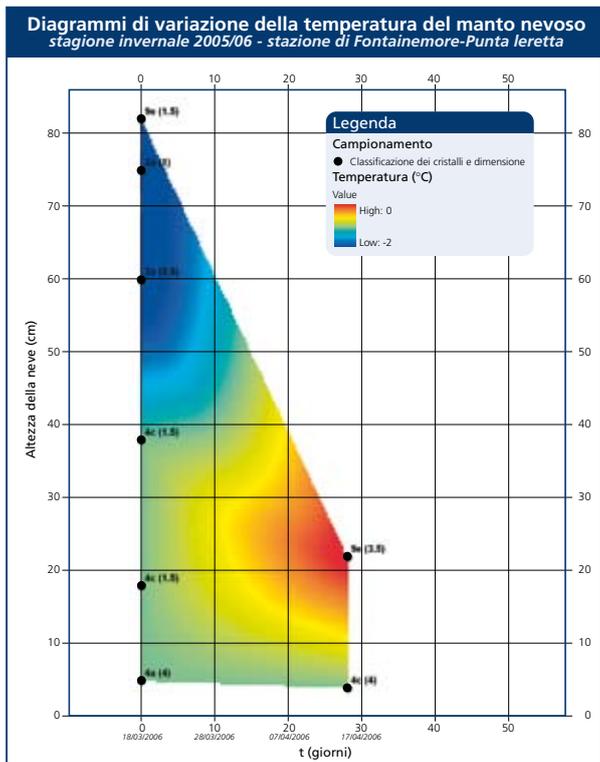


Fig. 18a, b e c - Diagrammi di variazione della temperatura, del pH e della conducibilità elettrica del manto nevoso durante la stagione invernale 2005/05 per la stazione di Fontainemore-Punta Ieretta; i punti disegnati

conducibilità elettrica è invece massima nello strato di neve a contatto con l'aria, mostrando, insieme alla fusione, un completo rimescolamento nel chimismo del manto.

DISCUSSIONE E PROSPETTIVE

Il monitoraggio del profilo chimico-ambientale speditivo del

manto nevoso, realizzato nel corso della stagione invernale 2005-2006 in alcuni siti sperimentali di interesse dell'Italia settentrionale e in uno dell'Italia centrale mette in evidenza una qualità della neve dubbia (anche se non compromessa), per quanto riguarda sia il chimismo speditivo, sia la radioattività ambientale.

I dati di pH oscillano tra valori più marcatamente acidi a "leggermente" alcalini, a conferma di precedenti studi effettuati (Pecci et al., 2003; Pecci et al., 2004; Pecci 2005) e i valori di radioattività segnalano, comunque, una presenza ed attività dei radioisotopi sia nell'aria (più direttamente legate alla composizione e provenienza delle masse d'aria), sia nella neve (principalmente legate ai fenomeni di condensazione fredda), non certo nuova nell'alta quota (Balerna et al., 2003).

La fase sperimentale della ricerca evidenzia, quindi, alcuni interrogativi e problematicità e, allo stesso tempo, interessanti possibilità di sviluppo ed applicazioni.

Le criticità risiedono principalmente nella "non completa confrontabilità e univocità" delle metodologie e delle strumentazioni utilizzate, che risentono, anche, del percorso di aggregazione delle unità operative rispetto al tema centrale della valutazione ambientale della neve al suolo, che è avvenuto a più riprese nel corso della fase preparatoria del 2005 e anche alla fine dell'inverno 2005-2006. Nella prospettiva di una più ampia condivisione delle finalità della ricerca e di una base di esperienze e dati più ampia, si è preferito, di comune accordo, di procedere anche a fronte di una base di partenza "disomogenea" e con differenti finalità.

I risultati preliminari sono, quin-

di, talora disomogenei, anche se individuano alcune tendenze generali che riguardano una variabilità e non trascurabilità dell'inquinamento, almeno nelle sue componenti speditive.

In particolare l'andamento del pH e della conducibilità sembra legato fortemente alle condizioni di temperatura, anche se risulta notevolmente influenzato dalla composizione locale del substrato e dalla sua "reazione": il tema è di sicuro interesse e andrà investigato più approfonditamente nei test futuri. I valori di pH sembrano aumentare in corrispondenza della superficie e della base del manto nevoso (ad esclusione del caso di Arabba, in cui alla base si riscontrano valori alcalini probabilmente legati, più che alla composizione del substrato, alla "disponibilità" nell'area - centrale delle Dolomiti - di contributi carbonatici - alcalini), anche se non sono ben chiarite, al momento attuale, le relative dinamiche.

Di sicuro interesse saranno le conferme quantitative dell'interpretazione delle analisi chimiche inorganiche che si stanno ultimando sull'intero campionamento spazio-temporale del manto nevoso a Monti Alti di Ornella (Arabba, BL) e in corrispondenza di 2 campionamenti ai Prati di Tivo (TE).

L'argomento della ricerca sembra di sicuro interesse sia per gli aspetti scientifici, sia, soprattutto per le implicazioni applicative e ambientali.

Sulla scorta del primo anno di sperimentazione ci si sta, quindi, organizzando per affrontare il prossimo, secondo inverno, per realizzare un test con metodologie comuni e condivise e con i medesimi strumenti, al fine di poter effettuare un monitoraggio che fornisca risultati confrontabili, utilizzabili e, in prospettiva,



modellizzabili sia alla scala temporale, sia a quella spaziale sul territorio nazionale.

Bibliografia

- BALERNA A., BERNIERI E., PECCI M., POLESELLO S., SMIRAGLIA C. & 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.
- CAGNATIA. (1983). I Servizi valanghe regionali e provinciali dell'arco alpino italiano. *Neve e Valanghe*, 0, 7-17.
- CAGNATIA. (2003). Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.
- COLBECK S. AKITAYA E., ARMSTRONG R., GUBLER H., LAFEUILLE J., LIED K., MCCLUNG D. & MORRIS E. (1990). The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. International Commission on Snow and Ice, IAHS, 23 p.
- D'AQUILA P. & PECCI M. (2006) - Condizioni meteorologiche in Appennino Centrale nel corso dell'inverno 2005-06 ed implicazioni sulla stabilità del manto nevoso. *Neve e Valanghe* 58.
- GIUFFRIDA A., M. CONTE. (1989). Variations climatiques en Italie: tendencies des temperatures et des precipitations. *Publ. Ass. Int. Climatologie*, 2, pagg. 209-216
- HILTBRUNNER E., SCHWIKOWSKI M., KÖRNER C. (2005). Inorganic nitrogen storage in alpine snow pack in the Central Alps (Switzerland). *Atmospheric Environment*, 39, 2249-2259
- LEHNING M., BARTELT P., BROWN B., RUSSI T., STUCKLI U., ZIMMERLI M. (1999). Manto nevoso e stazioni automatiche: nuovo modello di calcolo dei dati. *Neve e Valanghe* n. 37. 18 – 27.

- LEHNING M., FIERZ C., LUNDY C. (2001). An objective snow profile comparison method and its application to SNOWPACK. *Cold region science and technology*, 853. 1 – 9.

- LEHNING M., BARTELT P., BROWN B., FIERZ C., SATYAWALI P. (2002 a). A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part II: Snow microstructure. *Cold region science and technology* 35. 147 – 167.

- LEHNING M., BARTELT P., BROWN B., FIERZ C. (2002 b). A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning. Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. *Cold region science and technology* 35. 169 – 184.

- MERCALLI L., CAT BERRO D., MONTUSCHIS., CASTELLANO C., RATTI M., DINAPOLI G., MORTARA G., GUINDANI N. (2003). *Atlante Climatico della Valle d'Aosta*. SMI, 405 pp.

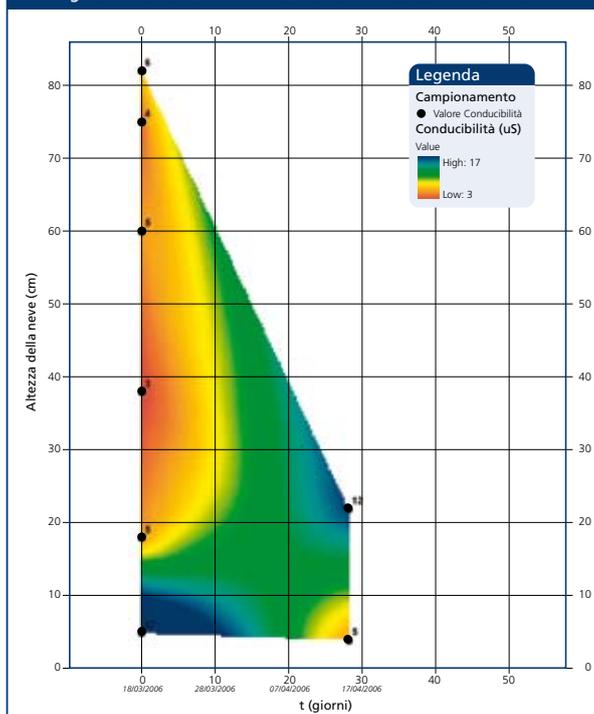
- PECCI M., BOLZACCHINI E., MAGGI V., PERRONE M. G. (2003). Industrial POPs (Persistent Organic Pollutants) Accumulation in the Cryosphere: Environmental and Applied Issues. Abstracts EGS – AGU – EUG, Nice (France), 6-11 April 2003.

- PECCI M., SMIRAGLIA C., MAGGI V., RINALDINI R. D'AGATA C., DIOLAIUTI G., MARINONI A., POLESELLO S., VALSECCHI S., DEAMICIS M. & 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.

- POLESELLO S., VUILLERMOZ E., TARTARI G., VALSECCHI S., MARINONI A., PECCI M., COMI M. (2005).

Diagrammi di variazione del conducibilità elettrica del manto nevoso stagione invernale 2005/06 - stazione di Fontainemore-Punta Ieretta



Chemical Composition of Fresh Snow in Hymalayas and Karakoram. Convegno Shareasia "Le montagne testimoni dei cambiamenti globali"- Roma 16 e 17 ottobre 2005.

- 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., 28, Seasonal Snowpacks, Processes of Compositional Change, T.D. Davies, M. Tranter and HG Jones (Eds). Springer-Verlag, Berlin, pp. 273-298.

rappresentano i dati realmente campionati; la scala cromatica rappresenta un'interpolazione di tali punti, per favorirne l'interpretazione.