

# VARIAZIONI RECENTI DEL MANTO NEVOSO SUL VERSANTE MERIDIONALE DELLE ALPI

**Mauro Valt,**  
**Anselmo Cagnati,**  
**Andrea Crepaz**  
ARPAV DRST  
Centro Valanghe di Arabba (BL)  
mvalt@arpa.veneto.it

con la collaborazione di

**Danile CatBerro**  
Società Meteorologica Italiana

La neve e il suolo albedo giocano un ruolo importante nel bilancio radiativo del pianeta. Negli ultimi 40 anni, nell'Emisfero Nord, l'estensione della copertura nevosa è in generale diminuita (Dye, 2002; IPCC, 2007; Scherrer et al, 2004) con le relative ripercussioni dirette e indirette sul clima e sulla circolazione atmosferica (Lo e Clark, 2001; Saito e Cohen, 2003).

Tuttavia i dati a disposizione riguardo l'andamento annuale o stagionale del manto nevoso sono ancora pochi e limitati ad alcune nazioni. In Europa alcuni studi sono stati condotti oltr'alpe e alcuni hanno evidenziato la diminuzione della durata della neve al suolo, l'innalzamento della quota delle neve sicure per le attività sciistiche e la diminuzione della risorsa idrica derivata dalla fusione del manto nevoso in primavera. Con i dati a disposizione sul versante meridionale della Alpi, prendendo in considerazione 2 aree campione, è stato possibile tracciare un primo bilancio dell'andamento recente del manto nevoso.

Rispetto alla media 1961-90, la permanenza della neve al suolo, è diminuita mediamente di 14 giorni, con un'incidenza maggiore alle quote inferiori ai 1600 m rispetto alle quote più elevate. Per quanto riguarda il cumulo stagionale di precipitazione nevosa, è in calo a tutte le quote dal 1990 in poi (Valt et al. 2006), salvo un'alternanza di stagioni poco nevose ed altre nevose negli ultimi 5 anni.

La diminuzione delle precipitazioni nevose, dei valori di altezza massima della neve al suolo e della permanenza della neve al suolo sono confermate anche da una leggera flessione delle precipitazioni invernali e dal probabile cambiamento di regime fra la precipitazione liquida e quella solida. Infatti, con i limitati dati a disposizione e che richiedono una successiva conferma, sembrano in netto aumento le precipitazioni liquide (pioggia) a scapito di quelle solide (neve).

Per quanto riguarda il limite della neve sicura per le attività sciistiche (criterio dei 100 giorni con più di 30 cm di neve al suolo), confinato in Italia ad un quota prossima ai 1500 m (Latenser e Schneebeli, 2003), è evidente come negli ultimi decenni si sia innalzata e forse ora ubicata intorno ai 1800 m, almeno sulla Alpi Orientali.

La diminuzione della quantità di neve al suolo ha come conseguenza diretta, la riduzione della disponibilità della risorsa idrica utilizzabile per l'irrigazione, la distribuzione civile, la produzione di energia elettrica. Le prime elaborazioni sommarie, evidenziano che, rispetto al decennio 1971-80, la disponibilità è notevolmente diminuita.



### AREA E VOLUME DEI COMPONENTI DELLA CRIOSFERA

Sono indicati i minimi e massimi annuale per la neve, ghiaccio marino e il terreno gelato stagionalmente; per gli altri componenti la media annuale (da IPCC 2007, Tab.4.1 pag.342).

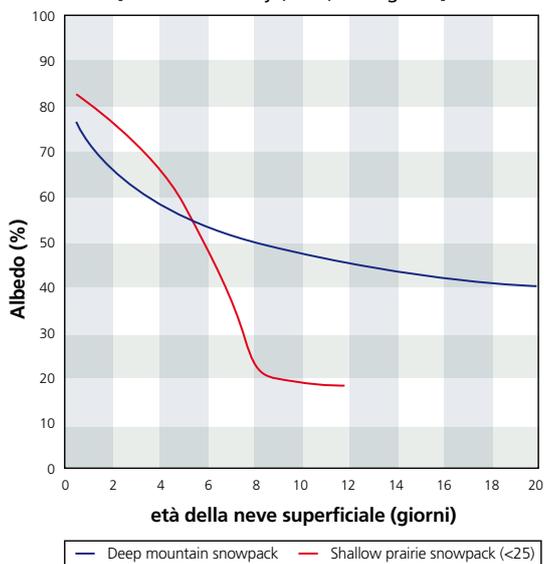
Componente della criosfera	Area (10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	Volume di ghiaccio (10 <sup>6</sup> km <sup>3</sup> )
Manto nevoso (NH)	1,9 - 45,2	0,0005 - 0,005
Ghiaccio marino	19 - 27	0,019 - 0,025
Ghiacciai (stima minore)	0,51	0,05
Ghiacciai (stima maggiore)	0,54	0,13
Ghiacciai pensili	1,5	0,7
Groenlandia	1,7	2,9
Antartide	12,3	24,7
Terreno gelato stagionalmente (NH)	5,9 - 48,1	0,006 - 0,065
Permafrost (NH)	22,8	0,011 - 0,037

Fig. 1

Fig. 2

### Variazioni dell'albedo in funzione dell'età della neve

[da O'Neill e Gray (1973) ridisegnato]



## IL RUOLO DELLA NEVE NEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

I ghiacciai dell'Antartide, della Groenlandia più una piccola parte nel resto dei continenti ricoprono il 10% delle terre emerse mentre (tabella di Fig. 1) in inverno, il 49% dell'emisfero nord della terra è ricoperto dalla neve. Una importante proprietà della neve e del ghiaccio è l'elevato potere riflettente (albedo). L'albedo del manto nevoso dipende da molti fattori come l'altezza della vegetazione circostante, l'angolo di incidenza del sole, la copertura nuvolosa (IPCC, 2007 sezione 4.2.), l'altezza e l'età della neve. L'età della neve è correlata alla forma dei grani e al loro metamorfismo (O'Neill and Gray, 1973); l'albedo è di circa il 90% nel caso

della neve di precipitazione per arrivare a meno del 50% della neve vecchia e bagnata (Fig.2). In ogni caso la riflessione dell'energia solare da parte della neve è notevolmente superiore agli oceani e alle foreste (10%).

Oltre ad una risposta diretta albedo-manto nevoso, la neve può avere un'influenza indiretta anche su altre componenti legate al clima come l'umidità del terreno e, si suppone, le due tipi di circolazione atmosferica, quella dei monsoni (Lo and Clark, 2001) e quella annuale (Saito and Cohen, 2003).

Pertanto la neve e il ghiaccio giocano un ruolo cruciale nel bilancio radiativo della terra (Groisman et al. 1994) e sono degli importanti indicatori dei cambiamenti climatici. Infatti ad una generale riduzione della copertura nevosa, corrisponde un maggior accumulo di energia del pianeta a causa del mancato effetto albedo.

Tuttavia la disponibilità di dati relativi all'innevamento è relativamente limitata rispetto ad altri parametri (es. temperatura) e quindi anche le interazioni con il clima non sono del tutto quantificabili.

Le osservazioni giornaliere dello spessore del manto nevoso e dell'accumulo della neve fresca sono effettuate con diversi metodi. Serie storiche che iniziano nel secolo XX sono poche (Svizzera, USA, ex URSS, Finlandia). Dati relativi all'altezza della neve al suolo e del relativo equivalente in acqua (SWE) sono diffusi dal 1950 nel Nord America, in Europa e in limitate montagne dell'Australia (dal 1960) (IPCC, 2007).

I primi data set usati per valutare l'estensione della copertura nevosa (Snow Cove-

red Area-SCA) su vasta scala sono relativi alle immagini da satellite e riguardano solo l'emisfero nord (NH). La mappatura della SCA dell'emisfero sud è molto recente, iniziata nel 2000 con i dati del satellite MODIS.

### Variabilità e trend della copertura nevosa nell'emisfero nord

L'emisfero nord è coperto mediamente da neve per 23,9 x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> (media 1966 – 2004) senza conteggiare la Groenlandia. La variabilità interannuale più grande non è in inverno, quando l'estensione è maggiore, ma in autunno e in estate.

Dal 1972 al 2005, la superficie dell'NH coperta da neve è diminuita del 5,6% secondo i dati NOAA ottenuti da satellite ed elaborati dal Global Snow Lab e la minima estensione, dal 1972, è stata osservata nell'anno solare 1990 (Fig.3).

La copertura nevosa (SCA), è in riduzione fin dal 1920, ma ancor più dal 1970 soprattutto in primavera e in estate. Infatti è stata constatata una recente riduzione nei mesi da febbraio ad agosto e ciò è dovuto sia alla traslazione della massima estensione della SCA dal mese di febbraio al mese di gennaio che all'anticipo di 2 settimane dell'inizio della fusione del manto nevoso in primavera (periodo di osservazione 1972- 2000) (Dye, 2002). Particolarmente significativa è la riduzione in atto dagli anni '90 nei mesi di marzo e aprile con 2,7 ±1,5 x10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> pari al 7,5±3,5% (Fig.4).

La variazione della temperatura e il suo trend giocano infatti un ruolo importante sulla variabilità e il trend della SCA nell'emisfero nord, in quanto influenzano la tipologia di precipitazione solida (neve) o liquida (pioggia) e l'inizio della fusione.

Alle diverse latitudini, in quasi tutti i mesi dell'anno l'estensione e le variazioni recenti della SCA, sono correlate con la relativa temperatura (IPCC, 2007).

### Variabilità e trend della copertura nevosa in Europa

La variabilità della SCA, nelle regioni montuose dell'Europa, è caratterizzata soprattutto dalle variazioni regionali dell'altitu-

dine. Le recenti variazioni della SCA sono documentate nelle Alpi Svizzere (Scherrer et al. 2004), in Slovacchia (Vojtek et al. 2003) ma nessun cambiamento è stato osservato in Bulgaria (Petkova et al. 2004). In Svizzera la riduzione della SCA è stata osservata soprattutto alle basse quote ed è stata constatata una netta correlazione con l'aumento delle temperature medie invernali (AlpMedia, 2002); inoltre è stato stimato che l'aumento di 1°C determina un innalzamento del limite della neve sicura di 150 m con conseguenze dirette sul turismo invernale (AlpMedia, 2002)

Anche nell' Europa centrale è stata osservata una riduzione della permanenza della neve al suolo (Falarz, 2002).

E' stata osservata anche la tendenza ad un incremento dell'altezza di neve al suolo, in termini assoluti, in Finlandia, (Hyvarinen, 2003), nell'ex Unione Sovietica dal 1936 al 1995 (Ye and Eleison, 2003) e sul Plateau Tibetano (Zhang et al. 2004) fin dal 1970, pur con stagioni invernali più corte.

L'estensione della copertura nevosa è comunque in decremento in molte regioni, specie in primavera, e di riflesso anche la disponibilità di acqua equivalente (SWE).

## Variazione dell'estensione della copertura nevosa nell'emisfero nord espressa come anomalia

[FAQ 4.1 Figure 1 (IPCC, 2007), pag 376, ridisegnato]

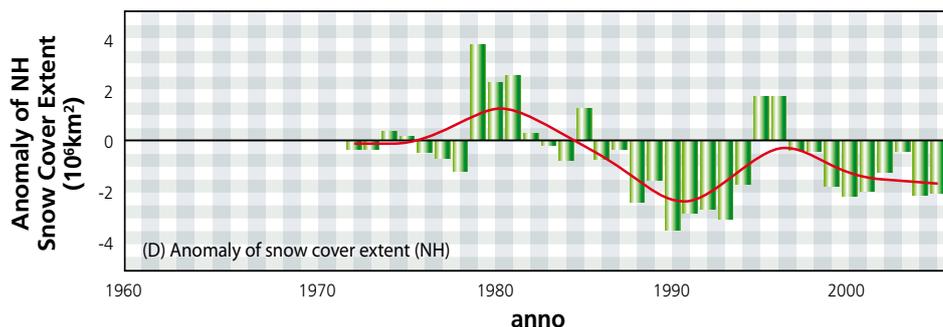


Fig. 3

## Estensione media della copertura nevosa nei mesi di marzo e aprile nell'emisfero nord

(Brown, 2000) [Figure 4.2. (IPCC, 2007), PAG. 344, ridisegnato]

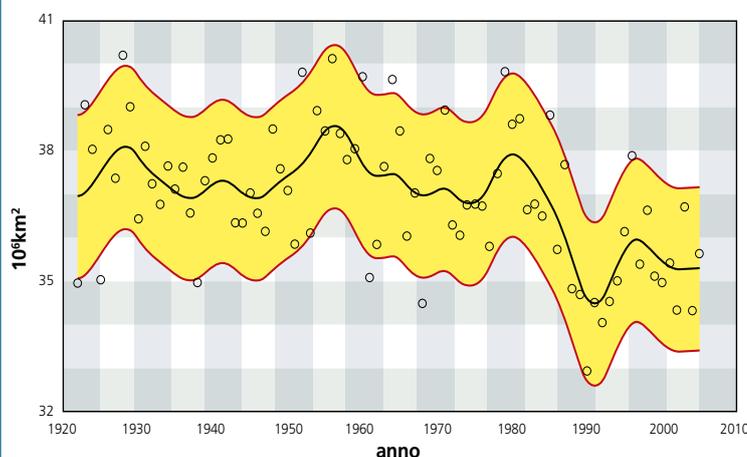


Fig. 4



Fig. 5

Fig. 6 - Canavese, Valle dell'Orco (da [www.google.it](http://www.google.it)). Stazioni utilizzate nel presente lavoro: Rosone, 714 m; Noasca, 1062 m; Ceresole Reale, 1579 m; Lago Telessio, 1917 m; Lago Serrù, 2275 m.

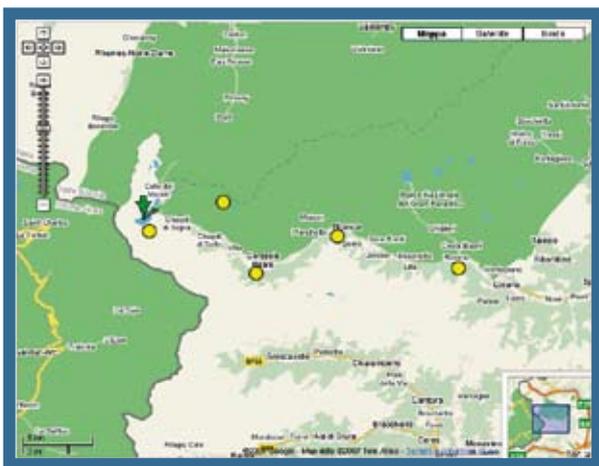


Fig. 7 - Dolomiti (da [www.google.it](http://www.google.it)) stazioni utilizzate nel presente lavoro: Ghio, 750 m; Auronzo 860 m; Arabba, 1630 m; Cortina, 1200 m; Cavia, 2100 m. Per alcune elaborazioni è stata utilizzata anche la serie storica di Andraz (1440 m).

### Variabilità e trend della copertura nevosa sulle Alpi Italiane

In Italia non sono ancora disponibili dati relativi all'estensione in km<sup>2</sup> della copertura nevosa per i diversi mesi dell'anno e per un lungo periodo.

Fino ad oggi sono stati sviluppati alcuni studi regionali in Valle d'Aosta (AA. VV., 2006;), Piemonte (ARPA Piemonte, 2007), in Emilia Romagna (Covoni e Merletto, 2005; Spisni et al., 2007) e in Trentino sull'andamento dell'innevamento e, per quanto riguarda tutto l'arco alpino meridionale, sull'andamento generale

della precipitazione nevosa, intesa come cumulo stagionale (Valt et al., 2005; Valt et al., 2006).

Per valutare se i trend evidenziati a livello di NH sono simili a quelli del versante sud delle Alpi, è possibile utilizzare i dati di permanenza della neve al suolo, come numero di giornate nell'arco di una stagione invernale (ottobre - maggio).

Questa metodologia è stata utilizzata anche da altri autori nelle regioni a nord delle Alpi (Wielke et al., 2004).

Anche questo tipo di informazione non è disponibile per un numero di stazioni omogeneamente distribuite, arealmente e altimetricamente sull'arco alpino, al contrario della precipitazione nevosa.

Pertanto, sono state individuate sulle Alpi italiane due aree campione, il Canavese e le Dolomiti bellunesi, aventi più stazioni distribuite omogeneamente in altitudine e con serie storiche sufficientemente lunghe (30-50 anni) (Fig. 5,6,7).

### FONTI DEI DATI E METODI

Gran parte dei dati utilizzati nel presente lavoro sono stati desunti dalle banche dati delle reti di monitoraggio regionale e provinciale dei Servizi Valanghe AINEVA, dagli Annali Idrologici pubblicati dal Ministero dei Lavori Pubblici (Ministero Lavori Pubblici, 1927-1996) e, soprattutto, dalle stazioni di rilevamento presso le dighe delle diverse Compagnie di gestione delle Acque superficiali dell'arco alpino. Nello specifico per il Canavese, i dati sono stati redatti dalla banca dati on-line a risoluz-

zione mensile della Società Meteorologica Italiana realizzata con il finanziamento della Fondazione Vodafone Italia [1].

I dati relativi alla durata della neve al suolo sono stati calcolati sommando tutte le giornate in cui presso la stazione di osservazione la neve misurava uno spessore pari a 1 o più cm.

I dati della precipitazione nevosa stagionale, utilizzati per le elaborazioni finali del presente lavoro, sono il risultato della sommatoria dei singoli valori giornalieri di neve fresca rilevati di norma alle ore 8.00 di ciascun giorno (Cagnati, 2003) ed espressi in cm. In tutti i grafici e le tabelle del presente lavoro l'anno di riferimento è l'anno idrologico (ad esempio l'anno 2003 inizia il 1 ottobre 2002 e termina il 30 settembre 2003). Tuttavia, per i raffronti, sono state considerate le sole precipitazioni nevose relative alla stagione invernale compresa fra il mese di ottobre e il mese di maggio. Per alcune stazioni, i valori mensili e stagionali erano riassunti già in tabelle nelle pubblicazioni consultate, per altre sono state effettuate le varie sommatorie partendo dai valori giornalieri.

I dati delle stazioni italiane sono stati elaborati con 3 diversi raggruppamenti in funzione dei parametri calcolati. Un primo insieme è stato effettuato per micro area (Canavese e Dolomiti) per effettuare dei confronti fra le 2 aree; un secondo insieme contenente i dati di ambedue le zone per i confronti con le tendenze a grande scala ed infine un terzo insieme considerando tutte i dati delle stazioni disponibili dell'arco alpino italiano.

Inoltre, per alcuni confronti altimetrici, sono state prese in considerazione le stazioni ubicate fra i 1000 e i 1600 m del Canavese e delle Dolomiti e quelle fra i 1601 e i 2300 m di quota (Fig. 8).

Nelle elaborazioni finali, più di dettaglio e riguardanti solo le Dolomiti, i dati sono stati trattati per singola stazione.

Per evidenziare l'andamento a livello regionale mediante un'unica serie, è stato utilizzato l'indice adimensionale SAI (Standardized Anomaly Index) (Giuffrida e Conte, 1989) che esprime le anomalie

della grandezza studiata, attraverso il contributo dei valori medi annuali o stagionali delle singole stazioni. Un indice annuale di anomalia pari a 0 indica un anno in linea con la media di riferimento, un valore di anomalia positivo o negativo indica rispettivamente un eccesso o un deficit più o meno elevati rispetto al valore normale (Mercalli et al., 2003, 2006). Disponendo di serie storiche sufficientemente lunghe per quasi tutte le stazioni considerate, le elaborazioni sono state effettuate sulla base del trentennio di riferimento 1961-1990, come indicato dal WMO (WMO, Climate Normals, CLINO, nota tecnica 847).

Inoltre, per definire gli eventi eccezionali (estremi o rari), è stato determinato il 0.10 e il 0.90 percentile rispetto al trentennio di riferimento. Gli scarti medi che si collocano oltre tali soglie sono stati considerati eventi rari (IPCC, 2001). Sono stati considerati come valori rientranti nella variabilità media quelli situati fra il 1° e il 3° quartile (25% e 75%). Gli scarti medi che si collocano all'interno del 1° quartile e del 3° quartile, fino al 0.10 e 0.90 percentile, sono stati definiti eventi al di fuori della norma. Tale metodologia è stata utilizzata per la sua semplicità e per l'omogeneità con i lavori precedenti (Valt et al., 2005, 2006).

Per quanto riguarda le differenze nei quantitativi di precipitazione in cm di neve, è stato considerato lo scarto dai valori di riferimento senza considerare gli equivalenti in acqua della precipitazione non disponendo di serie storiche che distinguono tipologia della precipitazione nei mesi di inizio e fine inverno caratterizzate da una alternanza di precipitazione liquida (pioggia) e solida (neve).

## RISULTATI

### Permanenza della neve al suolo

Nell'emisfero nord (NH), la copertura nevosa (SCA) è in generale diminuzione, non tanto in inverno, ma nei mesi autunnali e primaverili. Per quanto riguarda il versante sud delle Alpi, i dati di permanenza della neve al suolo, elaborati per

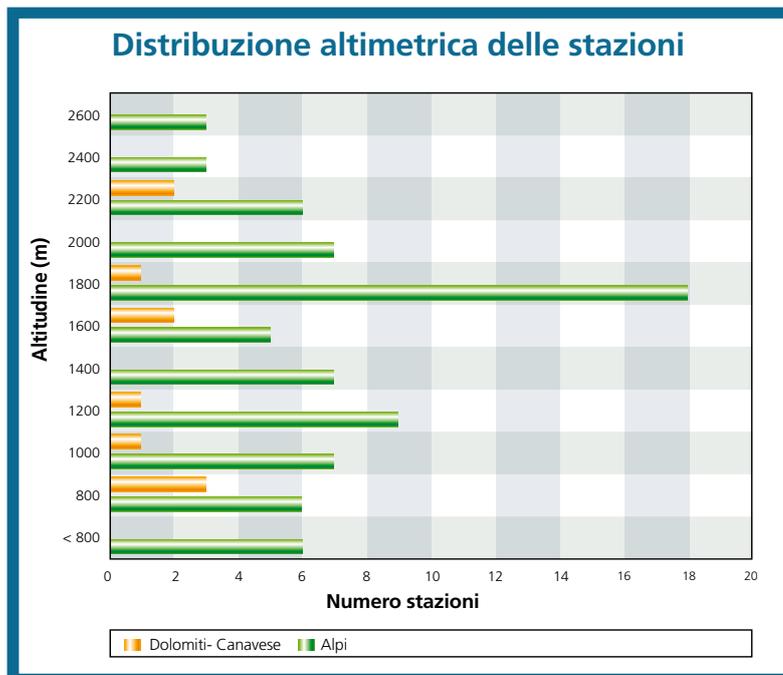


Fig. 8

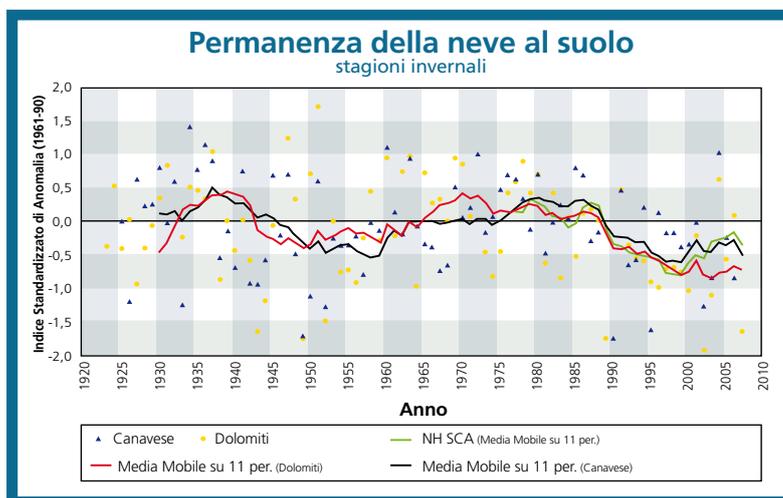


Fig. 9 - Anomalia della permanenza della neve al suolo calcolata per il Canavese e le Dolomiti, raffrontata con l'anomalia della SCA dell'emisfero nord.

le 2 aree campione, sono rappresentati in Figura 9 assieme ai valori della durata della SCA del NH. Le medie mobili elaborate per le Dolomiti e la Valle dell'Orco in un primo periodo degli anni '30, evidenziano chiaramente aree con una buona permanenza della neve al suolo; un'inflessione della durata fra il 1945 e il 1960 e poi una ripresa, più significativa prima nelle Dolomiti e poi, sulla fine degli anni '80, nelle Alpi occidentali. Tuttavia in ambedue le aree, dal 1985 in poi, inizia la regressione della durata della neve al suolo con un indice nettamente negativo. L'indice dimostra un'inversione di tendenza dopo il 2000 ma, in questo caso, la media mobile, è influenzata dall'alternarsi di inverni molto nevosi ad altri secchi.

La curva della media mobile realizzata con

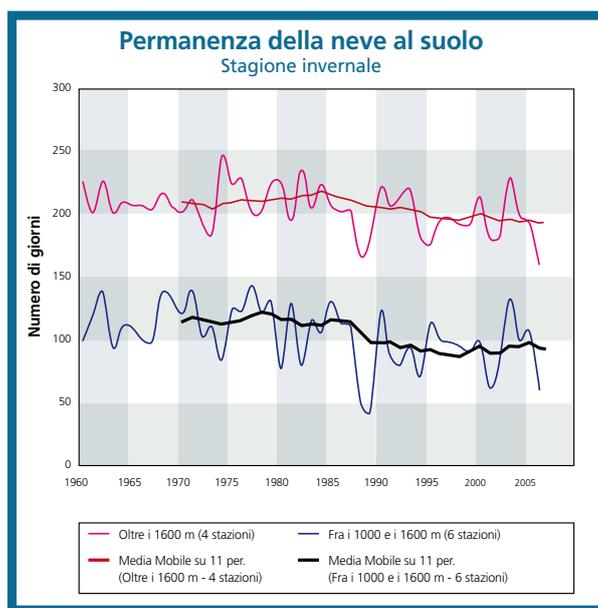


Fig. 10 - Permanenza media della neve al suolo in giorni, determinata per 2 grandi fasce altimetriche raggruppando le stazioni del Canavese e delle Dolomiti.

Fig. 11 - Anomalia della permanenza della neve al suolo determinata raggruppando le stazioni del Canavese e delle Dolomiti per i mesi di marzo e aprile. Per un confronto con l'andamento nell'NH, vedasi la figura 4.



Fig. 12 - Anomalia del cumulo stagionale della neve fresca determinato raggruppando le stazioni (n. 10) del Canavese e delle Dolomiti rispetto al periodo di riferimento 1961-1990 (curva rossa). Per poter effettuare un raffronto con la situazione a livello di arco alpino italiano, lo stesso indice è stato ricalcolato per il periodo 1976-2005 e raffrontato con l'anomalia espressa dalle 50 e più stazioni italiane (vedere Fig. 8) per il periodo 1976-2005.

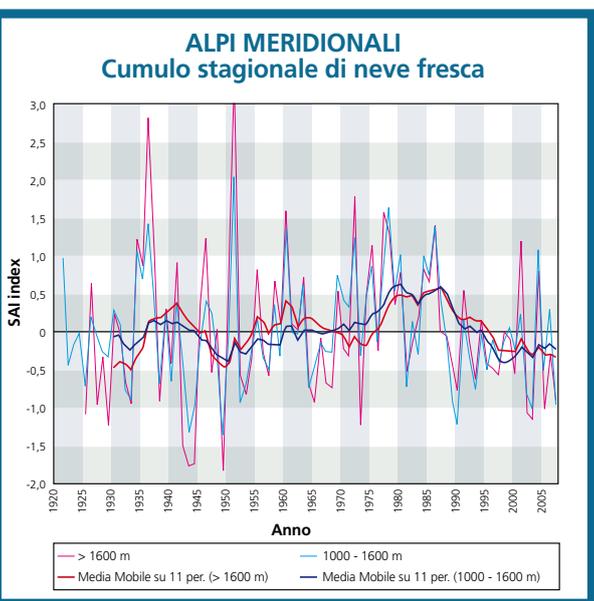
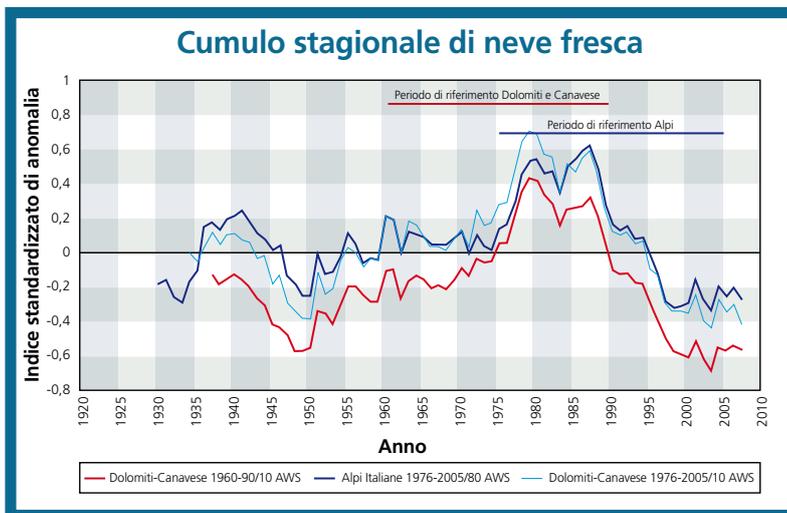


Fig. 13 - Come in figura 10, è stata determinato l'indice di anomalia per il cumulo stagionale di neve fresca per le 2 grandi fasce altimetriche raggruppando le stazioni del Canavese e Dolomiti.

in valori di SCA per l'NH dal 1966 in poi, evidenzia un andamento molto simile al versante sud delle Alpi. Pertanto si può, con buona approssimazione, affermare che la tendenza a una riduzione in atto della copertura nevosa a livello di NH sono confermate anche a

neve in primavera è in atto anche in questo caso una diminuzione delle giornate con neve al suolo e quindi, di conseguenza delle aree coperte da neve (Fig. 11).

### Cumulo stagionale di neve al suolo

La minor permanenza della neve al suolo può essere legata sia ad un aumento generale delle temperature, che alla diminuzione della precipitazione solida.

Per quanto riguarda la precipitazione, il cumulo stagionale di neve fresca elaborato per le 10 stazioni, evidenzia una costante diminuzione dal 1990 al 2000 e un certa stazionarietà dal 2000 in poi, cioè da quando stanno susseguendosi inverni nevosi ad altri secchi, come già evidenziato nel capitolo precedente.

Al fine di verificare se l'andamento delle 2 aree campione è significativo per le Alpi italiane, lo stesso valore SAI per il cumulo stagionale della neve al suolo è stato determinato per il trentennio 1976-2005, periodo per il quale esiste una buona copertura di dati di precipitazione sulle Alpi Italiane, omogeneamente distribuite spazialmente e altimetricamente.

I risultati sono riportati nella Figura 12, dove è riportato l'andamento SAI risultante delle Dolomiti e Canavese sulla media 1961-1990 e 1976-2005 e il SAI calcolato su questo ultimo periodo per le 70 e più stazioni del versante sud delle Alpi.

Come si può ben osservare, gli andamenti sono molto simili e gli scostamenti dalla media, sia delle aree campione rispetto al resto delle Alpi dipende solo dal periodo di riferimento considerato.

L'indice SAI relativo sempre al cumulo stagionale della neve al suolo elaborato per le stazioni ubicate fra i 1000 e i 1600 m e le quote superiori, non evidenzia andamenti diversi a conferma della diminuzione delle precipitazioni sia alle quote elevate che alle quote medie (Fig.13).

### Tipologia della precipitazione invernale (solida e liquida)

Numerosi sono i lavori relativi all'analisi delle variazioni delle precipitazioni nell'area alpina (cumulo annuale/stagionale) la maggior parte dei quali evidenziano una leggera diminuzione delle precipitazioni invernali (Cacciamani et

livello di versante sud delle Alpi. Rispetto alla media 1961-90, nel periodo recente (1991-2007), la permanenza della neve al suolo è diminuita mediamente di 14 giorni (12%).

Le 10 stazioni utilizzate sono ubicate a quote diverse e la superficie del territorio alpino, a parità di fasce altimetriche, diminuisce, ovviamente all'aumentare della quota. Pertanto ad una riduzione di giornate con neve al suolo alle quote inferiori corrisponde una mancanza di superficie ben più importante che alle quote superiori. L'analisi condotta parametrizzando la durata della neve nelle fasce altimetriche fra i 1000 e i 1600 m di quota e le quote superiori evidenzia una diminuzione rispettivamente del 16% alle basse quote (pari a 16 giorni) e del 6% alle quote superiori (pari a 11 giorni) (Fig. 10).

Per quanto riguarda i mesi primaverili, dopo il periodo intercorso fra il 1969 e il 1987 con una lunga permanenza della



al. 2001). Invece, per quanto riguarda la tipologia della precipitazione invernale (liquida o solida), i lavori sono pochi (es. Colombo e Vergari, 2006) a causa soprattutto della mancanza di dati disponibili sul lungo periodo.

L'analisi dei dati di alcune stazioni delle 2 aree campione evidenziano un trend negativo sia della precipitazione totale (novembre - aprile) che della precipitazione come sola neve (Fig. 14 a, b, c, d, e, f). Anche nel periodo invernale classico (dicembre - febbraio) il trend è negativo e confermato come si può evincere dalle curve di tendenza delle Figure 14.

Per il periodo novembre - aprile, per la sola stazione di Lago di Cavia (Fig. 15), sono disponibili i dati di precipitazione sia come pioggia che come neve fusa. Le linee di tendenza evidenziano un aumento della componente liquida (trend positivo) a discapito della precipitazione solida (trend negativo), che potrebbe far supporre ad una variazione del regime delle precipitazioni invernali che dovrà essere comunque confermata da altri dati.

### Altezza massima della neve al suolo

Se in alcune regioni (Finlandia, ex Unione Sovietica, etc.) è stato osservato un incremento delle altezze massime al suolo, nelle 2 aree campione del versante sud delle Alpi è esattamente il contrario.

In concomitanza con l'inizio del periodo di riduzione della copertura nevosa e di riduzione della quantità di neve fresca

caduta, anche i valori di altezza massima della neve al suolo hanno subito un declino, con una leggera ripresa nel XXI secolo. Nelle Alpi orientali, valori massimi assoluti, sono ancora legati alle nevicate del febbraio 1951 e nei tempi recenti agli inverni del 1977, '78, '86 e 2001, mentre nelle Alpi occidentali, dove nel presente lavoro non si dispone di osservazioni in quota antecedenti a metà degli anni '50, i valori assoluti in quota sono quelli del 1972, del '69, '74, '86 e '91 (Fig. 16 e 17).

### Limite della neve

In questi ultimi anni è stata posta molta attenzione alle variazioni dell'innevamento e alle sue ripercussioni sul turismo invernale (WWF Italia, 2006).

Per la pratica degli sport invernali, l'altezza minima della neve naturale dipende dalla natura del pendio e dall'attività sportiva (sci alpino, sci nordico, race, freerider, etc). In generale un'altezza di 30 cm è considerata sufficiente, 50 cm sono buoni e 75 cm è uno spessore ottimale (Witmer, 1986).

Il manto nevoso sulle Alpi, viste le attuali tendenze climatiche (IPCC, 2007), è proiettato verso una diminuzione e anche la quota della neve sicura è destinata ad innalzarsi. Differenti criteri sono stati proposti e discussi per definire quale è la quota della neve naturale sicura per le stazioni sciistiche. Uno dei primi è stato definito come i 100 giorni con neve al suolo con un certo spessore (Witmer, 1986), e si è constatato che ben si adatta per certe zone alpine. In Svizzera questo criterio è

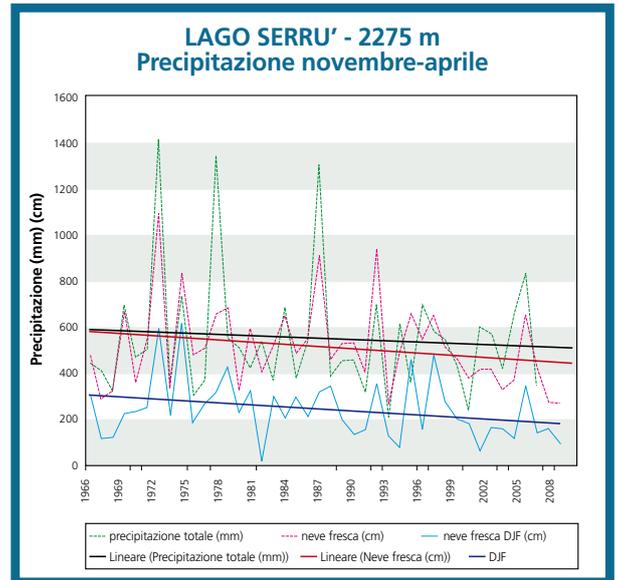


Fig. 14a

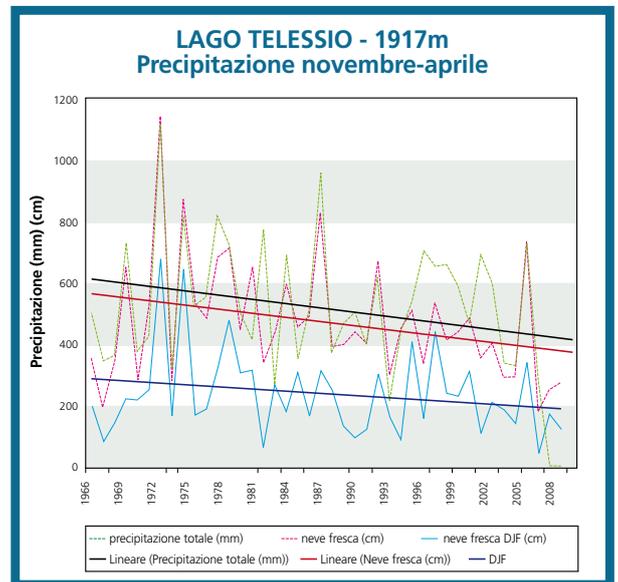


Fig. 14b

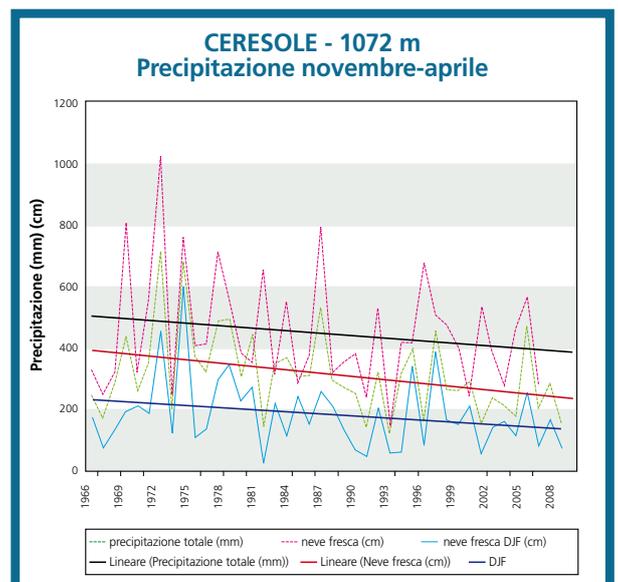


Fig. 14c

Fig. 14 - Andamento della precipitazione invernali nel Canavese e nelle Dolomiti. La precipitazione è rappresentata come valore cumulato di pioggia e neve fusa (mm) e come cumulo di neve fresca (cm) per il periodo novembre - aprile. Per quanto riguarda la sola precipitazione nevosa sono anche visualizzati i dati dell'inverno meteorologico e cioè dicembre, gennaio e febbraio (DJF).

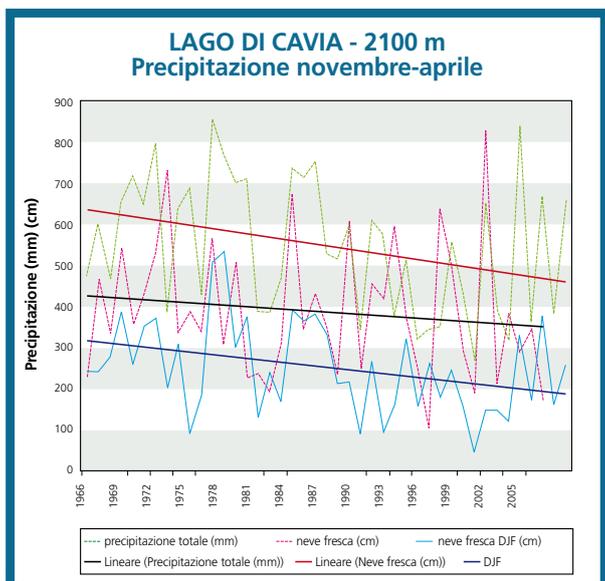


Fig. 14d

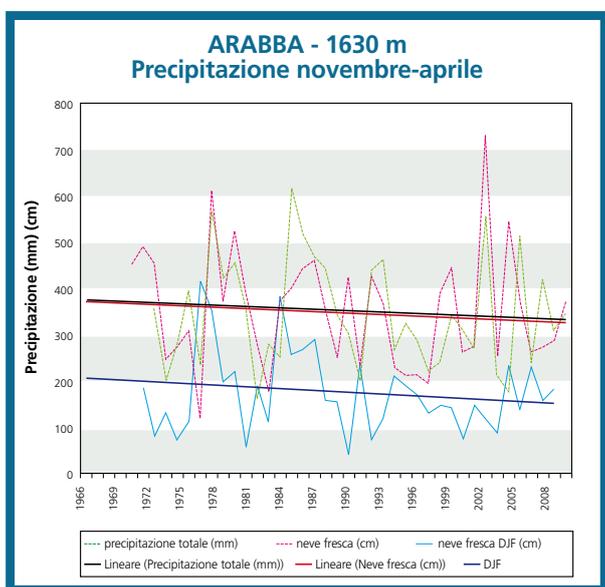


Fig. 14e

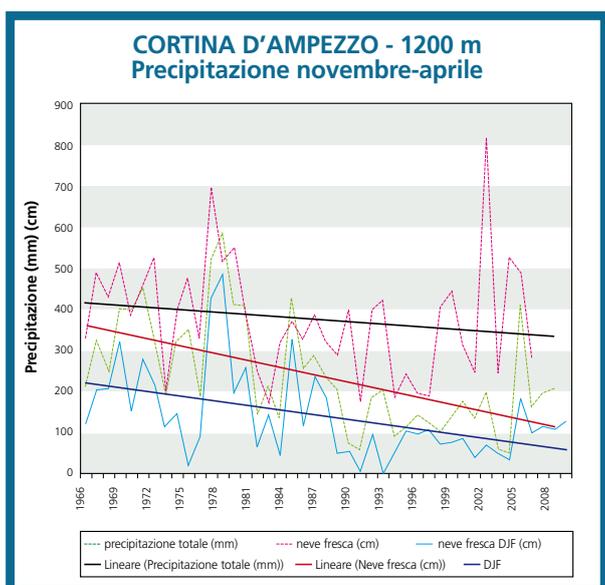


Fig. 14f

stato accettato da quasi tutti gli operatori del turismo come indice di riferimento (Pfund, 1993; Abegg, 1996).

In Svizzera, con il criterio di 100 giorni con altezza della neve maggiore di 30 cm, alcuni autori (Föhn, 1990; Laternser e Schneebeli, 2003) hanno stabilito la quota di 1200 m - 1300 m come livello della neve sicura.

La quota della linea della neve sicura varia lungo l'intero arco delle Alpi, in funzione delle diverse aree climatiche.

Altri autori (Wielke et al., 2004) hanno comparato invece la durata del manto nevoso nelle diverse regioni delle Alpi (giorni con neve al suolo) e hanno collocato la quota della neve sicura per la Svizzera a 1150 m, ad una quota di 150 m più elevata rispetto all'Austria nord-orientale (1050 m), che risente maggiormente di un effetto di continentalità, mitigato invece nelle altre regioni dall'influenza di latitudini inferiori.

Inoltre, oltre ad una variazione del limite delle nevi sicure nelle Alpi nella direzione Ovest- Est, sussiste una diversa collocazione in funzione del versante settentrionale e meridionale; infatti le Alpi sono influenzate dal clima mite mediterraneo e pertanto la linea delle nevi si attesta ben 300 m più in quota sul versante meridionale (Ticino, Alpi Italiane) (Witmer, 1986; Matulla et al., 2005).

Di conseguenza la linea della quota della neve naturale sicura, applicando la regola dei 100 giorni con 30 cm di neve al suolo, si attesta diversamente per le diverse aree delle Alpi come indicato nella tabella di Figura 18.

In un sistema climatico in riscaldamento, è stato stimato che la linea della nevi sicure sia destinata ad aumentare di 150 m di quota ogni grado di aumento della temperatura media (Föhn, 1990; Haeberli e Beniston, 1998) e sulla base di questa analisi vengono effettuate le valutazioni sulle stazioni sciistiche che saranno a rischio nel futuro, sia per la minor presenza di neve naturale che per la difficoltà di produrre neve artificialmente.

Questi tipi di elaborazioni che vengono assunte come valori di base e di studio

nella gran parte dei lavori che mettono in relazione durata del manto nevoso e turismo, sono validi per macroaree in quanto possono sussistere poi delle variazioni in relazione all'orografia e alla geografia di ogni singola realtà turistica. Ad esempio, un'analisi condotta sullo spessore della neve in relazione all'esposizione del pendio e alla sua inclinazione ha evidenziato che, rispetto ad una superficie orizzontale, alla fine di marzo, gli spessori sono doppi su un pendio in ombra inclinato di 20° e meno della metà (30%) sui pendii al sole inclinati sempre di 20° (Witmer, 1986)

Per quanto riguarda l'Italia, le elaborazioni sono state condotte sui dati recenti dell'ultimo ventennio, non essendo disponibili serie più lunghe.

Un'analisi effettuata sulle Alpi Orientali, per le stazioni di Lago di Cavia (2100 m), Andraz (1520 m), Cortina d'Ampezzo (1150 m) e Auronzo (850 m), ha evidenziato che effettivamente il numero di giorni con più di 100 gg con 30 cm di neve si colloca ad una quota superiore ai 1500 m, con un leggero abbassamento negli ultimi anni (Fig. 19 e 20).

### Altezza media della neve e disponibilità risorsa idrica

Tutti i dati relativi all'evoluzione recente del manto nevoso (durata della neve, quantità di precipitazioni, valori di altezza massima alterazione del regime precipitazione liquide/solide in inverno, innalzamento del limite della neve sicura) evidenziano una diminuzione, in questi ultimi decenni, della neve e di riflesso della risorsa idrica.

Le elaborazioni condotte sull'altezza media della neve al suolo evidenziano nel settore dolomitico, dove si dispongono dei dati di più stazioni, una riduzione anche dello spessore medio della neve al suolo dal decennio 1971-80, al decennio 1991-2000, con una leggera ripresa negli ultimi anni (Fig. 21). Anche i dati relativi alle 2 stazioni in quota del Canavese evidenziano la stessa tendenza.

La riduzione dello spessore medio della neve è ancora maggiore e più significativo nel mese di marzo (Fig. 22) quando,

nel decennio 1991-2000, sono stati raggiunti i valori minimi simili al decennio 1941-50.

La minor neve nel mese di marzo, si traduce in una riduzione della disponibilità della risorsa idrica sottoforma di neve con conseguenti riflessi sulla regolazione della risorsa idrica dei bacini idroelettrici e sulle risorse destinate ai deflussi minimi vitali dei fiumi e sulle necessità per l'irrigazione.

## CONCLUSIONI

L'analisi dei dati delle due aree campione ha evidenziato che anche sull'arco alpino italiano sono in atto le tendenze riscontrate a livello di emisfero Nord.

Nel periodo recente (1991-2007) la durata della neve al suolo è diminuita mediamente di 14 gg rispetto al periodo di riferimento (1961-90), maggiormente alle basse quote (fra i 1000 e i 1600 m: 16 gg) rispetto alle quote superiori (fra i 1600 – 2100 m: 11 gg).

Infatti le precipitazioni nevose sono in diminuzione a tutte le quote, sia sul settore occidentale che quello orientale delle Alpi nel periodo invernale lungo (novembre – aprile) che classico (dicembre – febbraio). In particolare sussiste un trend negativo sia della precipitazione totale (pioggia + neve fusa) che della sola neve. In un caso analizzato nelle Dolomiti la precipitazione liquida evidenzia un trend positivo in netta contrapposizione con la precipitazione nevosa. Contrariamente a quanto avviene nel nord dell'Europa, i valori di altezza massima della neve al suolo sono in declino nel periodo recente (1990-2005), come la durata della neve e la quantità di precipitazione con una fase altalenante nell'ultimo quinquennio.

Per quanto riguarda il limite della neve sicura, le elaborazioni effettuate per le Alpi Orientali evidenziano come si stia collocando ad una quota superiore ai 1500 m. Inoltre, con la riduzione della copertura nevosa, anche la disponibilità della risorsa idrica sotto forma di neve è diventata più esigua rispetto agli anni '70 e, in alcune zone come le Dolomiti, negli anni '90 si è praticamente dimezzata.

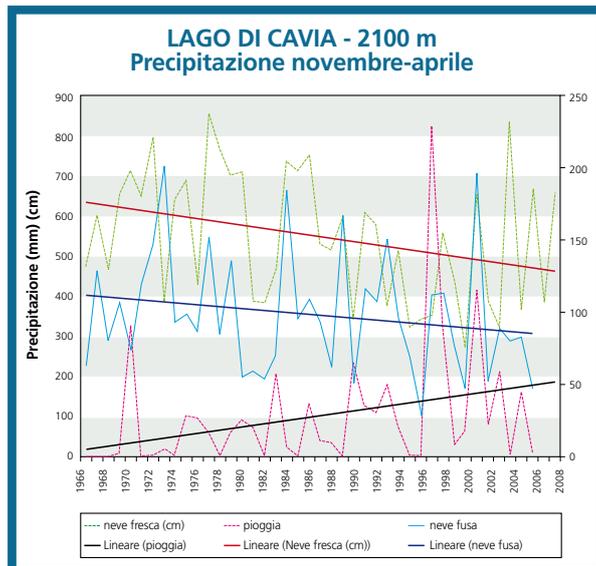


Fig. 15 - Andamento della precipitazione nel periodo novembre-aprile nella stazione in quota di Lago di Cavia. Le linee di trend evidenziano rispettivamente il cumulo stagionale di neve fresca (cm), l'equivalente in acqua della neve di precipitazione espresso sempre come cumulo nel periodo novembre-aprile (mm) e i mm di precipitazione liquida (pioggia) per lo stesso periodo.

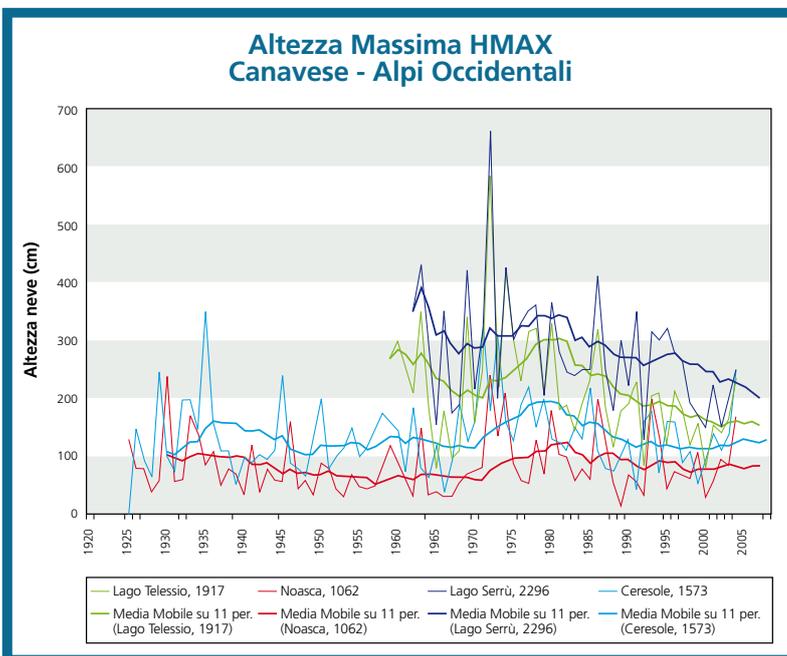


Fig. 16 - Andamento dei valori massimi misurati di neve al suolo (HMAX) per stagione invernale nel Canavese.

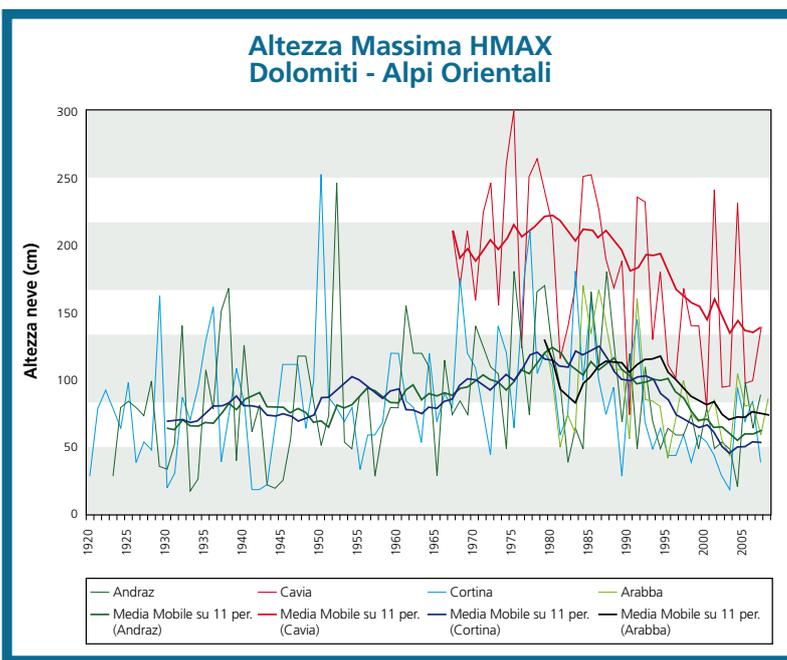


Fig. 17 - Andamento dei valori massimi misurati di neve al suolo (HMAX) per stagione invernale nelle Dolomiti.

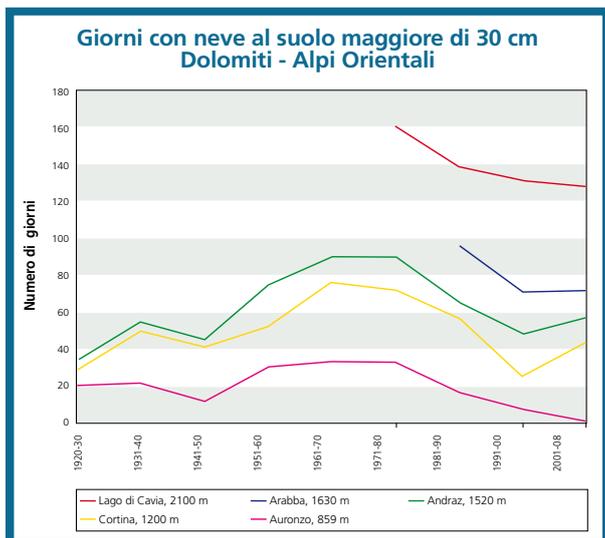


Fig. 20

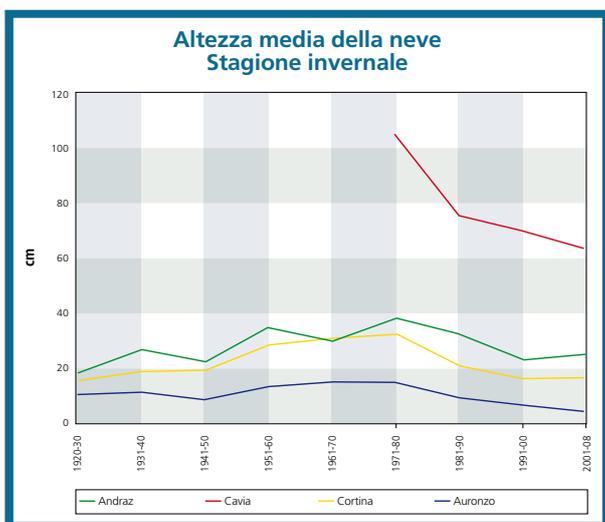


Fig. 21

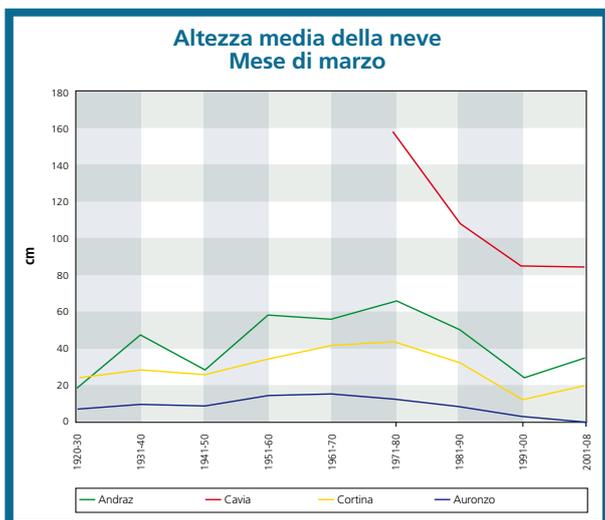


Fig. 22

Fig. 19 - Andamento della persistenza di un manto nevoso con spessore maggiore di 30 cm per stagione invernale per le diverse stazioni delle Dolomiti. La media mobile evidenzia la diminuzione dagli anni '80 e un accenno di ripresa nei tempi recenti. Solo per la stazione in quota i valori della media mobile sono sempre superiori ai 100 gg, limite convenzionalmente fissato per definire la quota della neve sciabile sicura.

Fig. 20 - Valore mediato su base decennale (eccetto il periodo 2001-2008) del numero di giornate con un manto nevoso di spessore maggiore di 30 cm. Anche i valori mediati esprimono una quota neve sicura ben superiore ai 1500 m evidenziati in Tab.II.

Fig. 21 - Valore mediato su base decennale dell'altezza media della neve al suolo nelle Dolomiti (Fig. 7) calcolato per il periodo novembre - aprile.

Fig. 22 - Valore mediato su base decennale dell'altezza media della neve al suolo per il solo mese di marzo (vedere Fig. 21).

ALTITUDINE DELLA LINEA DELLA NEVE SICURA PER LE DIVERSE REGIONI ALPINE (da OECD (2007). Impact of climate change in the European Alps. pp 126)					
Altitudine della linea della neve sicura	Francia	Svizzera	Austria	Italia	Germania
1050 m			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salzburg</li> <li>• Steiermark/Styria</li> <li>• Oberösterreich/Upper Austria</li> <li>• Niederösterreich/Lower Austria</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberbayern/Upper Bavaria</li> </ul>
1200 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isère</li> <li>• Savoie</li> <li>• Haute Savoie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alpes Vaudoises and Fribourgeoises</li> <li>• Valais/Wallis</li> <li>• Bernese Oberland</li> <li>• Central Switzerland</li> <li>• Eastern Switzerland</li> <li>• Grisons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorarlberg</li> <li>• Tyrol</li> <li>• Kärnten/Carinthia</li> </ul> <p>(Assuming that the 'positive' effect of continentality is offset by the 'negative' effect of the southern latitude)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwaben/Swabia</li> </ul>
1500 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drôme</li> <li>• Hautes Alpes</li> <li>• Alpes de Haute Provence</li> <li>• Alpes Maritimes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ticino</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piemonte</li> <li>• Lombardia</li> <li>• Alto Adige/Sudtirolo</li> <li>• Friuli Venezia Giulia</li> <li>• Trentino</li> </ul>	

Fig. 18

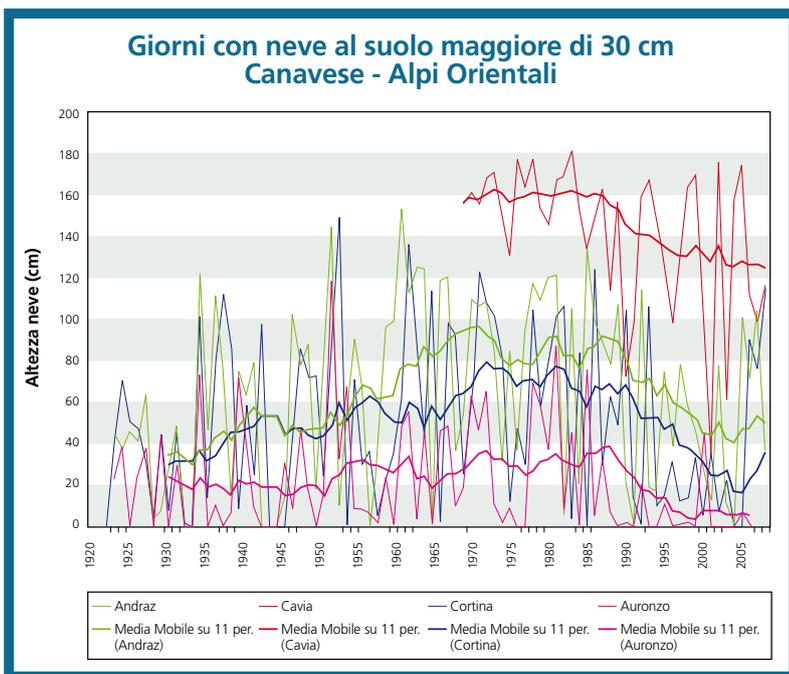


Fig. 19

## RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato realizzato grazie alle collaborazioni di:

Marco Cordola, Elena Turroni ARPA Piemonte, Area, Previsione e Monitoraggio Ambientale. C.so Unione Sovietica, 216, 10134 Torino.

Compagnia Valdostana delle Acque, Ufficio Ingegneria / Sicurezza, Opere Idrauliche, Via Stazione, 31, 11024 Chatillon (AO).

Alfredo Praolini, ARPA Lombardia, Centro Nivometeorologico, Via Monte Confinale, 9, 23032 Bormio (SO).

Mauro Gaddo, Provincia Autonoma di Trento, Dipartimento Protezione Civile, Ufficio Previsioni e Organizzazione, Via Vannetti, 41, 38100 Trento.

Fabio Gheser, Provincia Autonoma di Bolzano, Ufficio Idrografico, Servizio Prevenzione Valanghe e Servizio Meteorologico, Via Mendola, 33, 39100 Bolzano.

Enrico Fllaferro, Daniele Moro, Regione

Autonoma Friuli Venezia Giulia, Ufficio Valanghe, Servizio territorio montano e manutenzioni, Via Cotonificio, 127, 33100 Udine.

Ufficio Neve e Valanghe, Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato Territorio, Ambiente e Opere Pubbliche, Direzione Tutela del Territorio, Località Amérique, 33/a, 11020 Quart (AO) - Università di Torino, Di.Va.P.R.A. - Laboratorio Neve e Suoli Alpini. Gressoney La Trinité (AO).

Un particolare ringraziamento a: Enel S.p.A. - Divisione Generazione e Energy Management Area Energie Rinnovabili - di Venezia Mestre per la collaborazione nella fornitura di parte dei dati delle Dolomiti,

Fabrizio Genova per i dati della stazione di Cortina d'Ampezzo,

e Giuseppe Crepez per l'archiviazione e validazione di una parte della banca dati storici di CVA Arabba.

## Bibliografia

- [1] <http://www.nimbus.it/clima/Canavese/CartaStaz.asp>
- Abegg B., et al. (1997). Climate Impact Assessment im Tourismus. Die Erde. Vol. 128, 105-116.
- ALPMEDIA (2002). I cambiamenti climatici e le Alpi. Alpmedia.net. pp. 12
- ARPA PIEMONTE (2007). Il Piemonte nel cambiamento climatico. Osservazioni passate, impatti presenti e strategie future. ARPA Piemonte- Torino, pp 154
- AAVV. (2006). Cambiamenti Climatici in Valle d'Aosta. Regione Autonoma Valle d'Aosta and Societa- Meteorologica Subalpina, pp 148
- AA.VV. (2007). Gli eventi preparatori della Conferenza Nazionale Cambiamenti Climatici 2007- Sintesi dei lavori. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del mare. Roma Sept. 2007, pp. 214
- Brown, R.D., (2000) Northern hemisphere snow cover variability and change, 1915-97, J.Clim., 13, 2339-2335
- Cacciamani C., M.Lazzeri, A.Selvini, R.Tomozeiu e A.Zucchelli. (2001). Evidenza dei cambiamenti climatici sul Nord Italia. Parte 1: Analisi delle temperature e delle precipitazioni. Quaderno ARPA-SMR n. 04/2001. pp. 43
- Cagnati A. 2003. Sistemi di Misura e metodi di osservazione nivometeorologici. AINEVA, Trento, 186 pp.CIPRA (2006) Clima e Alpi in mutamento. Gli effetti del clima sul turismo e sulla pianificazione del territorio. Bad Hindelang Germania 18-20 maggio 2006, pp. 144
- Colombo T. e S.Vergari (2006). Le precipitazioni nevose in Italia. Rivista di Meteorologia Aeronautica n. 6/2006, 11-21
- Covoni C. and V.Marletto (2005) Evoluzione della nevosità in Emilia Romagna. Quaderno tecnico ARPA-SIM n. 17/2005. pp. 37
- Dye, D.G., (2002). Variability and trends in the annual snow-cover cycle in Northern Hemisphere land areas, 1972-2000. Hydrolog. Process., 16, 3065-3077.
- Falarz, M., (2002). Long-term variability in reconstructed and observed snow cover over the last 100 winter seasons in Cracow and Zakopane (southern Poland). Clim. Res., 19(3), 247-256.
- Föhn P. (1990). Schnee und Lawinen. In: Schenee, Eis und Wasser der Alpen in einer warmeren Atmosphäre. Internationale Fachtagung. Mitteilungen VAW ETH Zurich, No 108, 33-48
- Giuffrida A. e M.Conte. (1989). Variations climatiques en Italie: tendencies des temperatures et des precipitations. Publ. Ass. Int. Climatologie, 2, 209-216.
- Groisman, P.Ya, T.R. Karl, and R.W. Knight (1994). Observed impact of snow cover on the heat balance and the rise of continental spring temperatures. Science, 263, 198-200.
- Haerberli W. and M.Beniston (1998). Climate change and its impact on glacier and permafrost in the Alps. Ambio. Vol. 27. 258-265
- Hyvaerinen V. (2003). Trends and characteristics of hydrological time series in Finland. Nord. Hydrol., 34 (1-2), 71-90.
- IPCC (2007). Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp
- IPCC WG1 AR4 Report (2007). Technical Summary, 91 pp
- Laternser, M. and Scheebeli, M. (2003). Long-term snowclimate trends of the Swiss Alps 1931 - 1999. International Journal of Climatology. Vol. 23 pp. 733-750
- Lo, F., and M.P. Clark (2001). Relationships between spring snow mass and summer precipitation in the southwestern US associated with the North American monsoon system. J.Clim., 15, 1378-1385.
- Matulla, C et al. (2005) Outstandig past decadal - scale climate events in the Great Alpine Region analysed by 250 years data and model run. GKSS- Forschungszentrum Geesthacht.
- Mercalli L., D.Cat Berro, S.Montuschi, C.Castellano, M.Ratti, G. Di Napoli, G.Mortara e N.Guindani. (2003) Atlante climatico della Valle d'Aosta. Regione Autonoma Valle d'Aosta. Aosta, 405 pp.
- Mercalli L., Cat Berro D., 2006 - Climi, acque e ghiacciai tra Gran Paradiso e Canavese. SMS, Bussoleno. 756 + XII pp.
- OECD (2007). Impact of climate change in the European Alps. pp 126
- O'Neill A.D.J. e D.M. Gray (1973). Role Snow Ice Hydrol., Proc Banff Symposium, 1972, Vol.1. 176-186
- Pecktova N., E.Koleva e V.Alexandrov (2004). Snow cover variability and change in mountainous regions of Bulgaria, 1931-2000. Meteorol. Z. 13 (1), 19-23
- Pfund C. (1993). Die Seilbahnen in Zahlen. Presentation at the 23 Annual meeting of the Association of Swiss Cableways . Champéry (CH), Sept. 16 th, 1993
- Saito, K., and J. Cohen, (2003) The potential role of snow cover in forcing interannual variability of the major Northern Hemisphere mode. Geophys. Res. Lett. 30, 1302, doi: 10.1029/2002GL016341.
- Scherrer, S.C., C. Appenzeller, and M. Laternser (2004) Trends in Swiss alpine snow days - the role of local and large scale climate variability. Geophys. Res. Lett., 31, L13215, doi: 10.1029/2004GL020255.
- Spisni A., P. Mezzasalma e F.Tomei (2007). Evoluzione della superficie innevata in Emilia Romagna tramite dati Modis L1b. Neve e Valanghe, 62, 32-41
- Valt M. (2008). Densità del manto nevoso sulle Alpi Orientali. (submitted)
- Valt M. e A.Cagnati. (2004). Oggi nevica meno di una volta?. Neve e Valanghe, 50, 52 - 61
- Valt M., A.Cagnati, A.Crepaz e G.Marigo. (2005). Neve sulle Alpi Neve e Valanghe, 56, 24-31
- Valt M. (2006). Neve sulle Alpi Italiane - Inverno 2005-2006 Neve e Valanghe, 58, 6-13
- Vojtek M., P. Fasko e P. St'astny. (2003). Some select snow climate trends in Slovakia with respect to altitude. Acta Meteorologica Universitatis Comenianae, 32, 17-27
- Wielke L.-M., L.Haimberger and M.Antel (2004) SNOW cover duration in Switzerland compared to Austria, Meteorologische Zeitschrift, Vol.13. 13-17
- Witmer U. (1986). Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Sneedaten in der Schweiz. Geographica Bernesia G25
- WMO. (1996). Climatological Normals (CLINO) for the period 1971-1990. WMO 847, 768 pp
- WWF Italia (2006). Alpi e turismo: trovare il punto di equilibrio. WWF Italia Ecoregione Alpi. pp 126
- Ye, H.C., and M. Ellison. (2003). Changes in transitional snowfall season length in northern Eurasia. Geophys. Res. Lett., 30(5), 1252.
- Zhang, Y.S., T.Li, and B.Wang. (2004). Decadal change of the spring snow depth over the Tibetan Plateau: The associated circulation and influence on the East Asian summer monsoon. J. Clim., 17 (14), 2780-2793.

