

VARIAZIONI CLIMATICHE e MANTO sulle NEVOSO ALPI ITALIANE

Mauro Valt

ARPAV DRST SNV
Centro Valanghe di Arabba,
Via Pradat, 5,
32020 Arabba BL, Italy
mvalt@arpa.veneto.it

Paola Cianfarra

Università degli Studi Roma Tre,
Dipartimento di Scienze
Roma, Italy
paola.cianfarra@uniroma3.it

Nel V rapporto AR5 del WGI dell'IPCC di Stoccolma è stato ribadito che l'estensione della copertura nevosa dell'Emisfero Nord è in diminuzione e che nei mesi di marzo e aprile sussiste un'elevata correlazione fra questa diminuzione e l'anomalia delle temperature. Recenti lavori hanno già dimostrato che anche sulle Alpi italiane (6.6-13.7 E e 47.1-44.1 N) l'estensione della copertura nevosa e il cumulo di neve fresca sono in diminuzione specie nei mesi di marzo e aprile e alle quote fra gli 800 e i 1500 m.

Nel presente lavoro sono stati invece analizzati i dati di temperatura, precipitazione nevosa e durata del manto nevoso con spessore superiore ai 30 cm (neve sciabile) del periodo 1930-2013.

Le analisi condotte hanno evidenziato, nel periodo 1987-1988, un cambiamento di regime di tutti e tre i parametri analizzati. Inoltre nel periodo 1991- 2000 il deficit è stato più importante che negli ultimi 10 anni.

Nel periodo 2004-2013 si osserva un minor incremento della temperatura nei mesi di dicembre-febbraio rispetto alla media 1961-1990 e una precipitazione nevosa quasi nella norma.

Invece, nei mesi di marzo – aprile, le temperature sono in netto aumento e il deficit della precipitazione nevosa è importante (-30% circa) specie alle basse quote, con conseguente minor durata del manto nevoso al suolo.

Per quanto riguarda la linea della neve sciabile (LAN), la quota si è innalzata di oltre 300 m a fronte di un aumento stagionale della temperatura di 0.7 °C, pari ad un innalzamento molto maggiore di quello indicato in altri studi di 150 m per 1.0 °C.

Infine, nel periodo 1961-2013, sussiste un'elevata correlazione fra l'andamento delle temperature in primavera con il cumulo di neve fresca ($R=0.81$) e con la permanenza della neve con spessore superiore ai 30 cm ($R=0.90$).



INDRODUZIONE

La diminuzione dell'estensione della copertura nevosa nell'emisfero nord (NH) è ben dimostrata da diversi lavori come anche ribadito nel V rapporto AR5 WGI I dell'IPCC approvato a Stoccolma il 28 settembre 2013 (<http://www.ipcc.ch/>).

Infatti, i dati da satellite indicano, nel periodo 1967-2012, una diminuzione dell'estensione annuale della copertura nevosa, specie nei mesi di marzo – aprile (MA) (IPCC-WGI 4.52, 2013). Nei mesi di marzo e aprile la riduzione media per decennio nel periodo 1922-2012 è stata dello 0.82%, nel periodo 1967-2012 del 1,59% e nel periodo più recente, 1979-2012, ancora più elevata e pari a 2.24% (IPCC-WGI 4.52, 2013).

Inoltre, sempre nei mesi MA, nelle aree fra i 40°N-60°N del NH, è stata dimostrata un'elevata correlazione lineare ($R=0.76$) (Brow e Robinson, 2011) tra l'anomalia della temperatura della superficie dell'NH (Jones et al., 2012) e l'innnevamento (Snow Covered Area).

Questa diminuzione della copertura nevosa è stata dimostrata anche per le regioni alpine (Micu 2009; Ke et al., 2009; Morin et al., 2008; Xuet et al., 2008), e in particolare per le Alpi Europee (Wielke et al., 2004; Hantel e Hirtl-Wielke, 2007; Schoner et al., 2009; Valt e Cianfarra, 2010). Una diminuzione delle altezze massime di neve al suolo sono state evidenziate sia sul versante nord delle Alpi (Marty e Blanchet 2012) che sul versante sud (Valt et al., 2009).

Diversi studi hanno dimostrato che l'altezza media della neve e i giorni di neve sono diminuiti nelle Alpi negli ultimi 20 anni (Marty, 2008; Durand et al., 2009; Valt e Cianfarra, 2010), soprattutto ad altitudini inferiori a 1500 m (Lateranser e Schneebeli, 2003; Scherrer et al., 2004). La temperatura media della superficie della terra, è aumentata di circa 0.89 °C nel periodo 1901-2012 e di circa 0.72 °C solo nel periodo 1951-2012. Comunque, in particolare per le Alpi, l'elevata variabilità interannuale delle precipitazioni e l'impatto del NAO hanno creato difficoltà a quantificare l'impatto dell'incremento

delle temperature sul manto nevoso (Serquet et al., 2013; Scherrer e Appenzeller, 2006; Scherrer et al., 2004; Marty, 2008; Schoner et al., 2009; Morin et al., 2008; Durand et al., 2009).

La variazione della durata del manto nevoso al suolo, incluse le sue variazioni annuali, hanno un notevole impatto sulle regioni alpine, non solo dal punto di vista idrologico, geologico e glaciologico ma anche socio-economico per il turismo invernale.

E' stato stimato che un aumento di 1 °C della temperatura media dell'aria determina un innalzamento del limite della neve sicura di 150 m con conseguenze dirette sul turismo invernale (Haubner-Köll, 2002).

Nel presente lavoro vengono presentate le elaborazioni preliminari inerenti alle variazioni recenti della temperatura dell'aria sulle Alpi Italiane nel periodo compreso tra i mesi di dicembre-aprile (DJFMA), le variazioni della precipitazione nevosa e della neve al suolo ed il variare della quota della neve sciabile.

DATI E METODO

Nel presente lavoro sono stati utilizzati i dati di temperatura media mensile, del contributo mensile della precipitazione nevosa cumulata, di spessore medio del manto nevoso al suolo. Tali dati derivano da una serie di stazioni di misura ubicate a differenti fasce altimetriche in numero variabile a seconda del dataset analizzato. Le stazioni di osservazione e misura sono state scelte in base alla disponibilità di serie storiche già omogeneizzate o pubblicate, sulla distribuzione geografica areale e altimetrica e sulla lunghezza della serie storica.

I dati di temperatura dell'aria derivano da 12 stazioni fra i 254 m e i 2200 m di quota (Tab. 1), ubicate nel versante meridionale delle Alpi ed appartenenti a diverse istituzioni. Sono state consultate le banche dati on line della Provincia Autonoma di Trento, Provincia Autonoma di Bolzano, Società Meteorologica Italiana, Meteosuisse, Arpa Veneto, Arpa Piemonte, Progetto Hitalp, Progetto RiskAlp, Osservatorio di

Oropa e consultati gli Annali Idrologici pubblicati dal Ministero dei Lavori Pubblici e pubblicazioni (Mercalli et al., 2003, 2007; Tarolli et al., 2007; Bellin e Zardi, 2004; Barbi et al., 2013; Faletto et al., 2013). Sono stati utilizzati i dati di temperatura media mensile dell'aria, come aggregazione delle temperature minime e massime (WMO n. 100, Cap. 5.2.4.1.1.). I dati di temperatura dell'NH derivano dal sito <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (Climatic Research Unit, University of East Anglia). Anche per queste elaborazioni è stato utilizzato il valore medio mensile.

Le analisi del cumulo stagionale mensile della neve fresca (calcolato come sommatoria dei valori giornalieri misurati alle 8:00 di ogni mattina) sono state effettuate utilizzando 18 stazioni (Tab. 1) di misura della neve ubicate fra i 750 m e i 2529 m. Nelle elaborazioni è stato utilizzato il cumulo mensile di neve fresca.

Lo studio dello spessore medio di neve al suolo, è stato effettuato considerando il numero di giorni in cui la neve al suolo aveva uno spessore maggiore di un valore prestabilito. La scelta di tale spessore limite, dipende dalle attività praticate sulla neve alle diverse quote come ad esempio 5 cm per la realizzazione di un pupazzo di neve, 30 cm per la pratica dello sci nordico o 50 cm per la pratica dello snowboard (Marty, 2008). Lo spessore limite dei 30 cm viene utilizzato per definire la sciabilità di una area geografica in funzione del numero di giorni in cui lo spessore della neve è superiore al limite di 30 cm nel periodo dicembre – aprile. Tale limite viene chiamato "Linea Affidabilità della Neve (LAN) (OECD, 2007).

Nel presente studio è stato utilizzato il suddetto spessore limite di 30 cm sulla base del quale è stata calcolata la quota minima in cui la durata di neve al suolo superiore ai 30 cm è stata di almeno 100 giorni in una stagione invernale (Lateranser e Schneebeli, 2003; Uhlmann et al., 2009). Le stazioni utilizzate sono state 22 fra i 750 m e i 2529 m di quota (Tab. I). Tutti i dati relativi alla neve, sono stati ricavati dalle banche dati delle reti di

	STAZIONI	LAT (°N)	LONG (°E)	ALTITUDINE (m)	TEMP. ARIA	CUMULO NEVE FRESCA	ALTEZZA NEVE AL SUOLO
	Belluno	46.16	12.24	340	X		
	Vipiteno	46.89	11.43	948	X		
	Anterselva	46.86	12.10	1236	X		
	Passo Rolle	46.30	11.79	1990	X		
	Cavalese	46.22	11.45	958	X		
	Cima Paganella	46.13	11.03	2125	X		
	Torino	45.06	7.24	254	X		
	Oropa	45.37	7.58	1100	X		
	Lago Toggia	46.44	8.43	2200	X		X
	Lago Piastra	44.23	7.39	920			X
	Balme	45.30	7.21	1450			X
	Saretto	44.48	6.93	1540			X
	Diga di Beaugard	45.62	7.05	1772			X
	Gressoney	45.89	7.03	1850			X
	Lago Rochemolles	45.13	6.76	1926			X
	Passo Fedaia	46.46	11.86	2050			X
	Ghirlo	46.34	11.97	750		X	X
	Asiago	45.89	11.92	1000		X	X
	Tonezza	45.85	11.34	990		X	X
	Auronzo	46.54	12.46	835		X	X
	Cortina d'Amp.	46.54	12.13	1265		X	X
	Passo Mauria	46.46	12.51	1270		X	X
	Andraz	46.50	11.87	1440		X	X
	Arabba	46.48	11.98	1630	X	X	X
	Lago di Cavia	46.36	11.82	2100		X	X
	Careser	46.35	10.70	2500		X	X
	Rosone	45.43	7.42	714		X	
	Noasca	45.45	7.41	1062		X	
	Formazza Ponte	46.38	8.42	1280	X	X	X
	Ussin	45.85	7.60	1321		X	X
	Ceresole Reale	45.43	7.23	1579	X	X	X
	Lago Telesio	45.48	7.37	1917		X	
	Lago Serrù	45.46	7.10	2275		X	
	Lago Golliet	45.93	7.67	2529		X	X

© AINEVA

monitoraggio regionale e provinciale dei Servizi Valanghe AINEVA e dagli Annali Idrologici pubblicati dal Ministero dei Lavori Pubblici (Ministero Lavori Pubblici, 1927-1996). Sono stati utilizzati anche dati rilevati presso le dighe delle diverse compagnie di gestione delle acque superficiali dell'arco alpino (CVA, ENEL). Nello specifico per il Canavese, i dati sono stati redatti dalla banca dati on-line a risoluzione mensile della Società Meteorologica Italiana realizzata con il finanziamento della Fondazione Vodafone Italia. In tutte le serie analizzate, i dati mancanti, mai superiori al 10% dell'intera serie storica, sono stati ricostruiti come specificato nel Cap.5.2.7.3.2 del WMO.100, utilizzando, come riferimento serie storiche omo-

geneizzate vicine con coefficiente di correlazione lineare R superiore a 0.7 (Auer, 1992). Disponendo di serie di dati di neve 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).

In tutti i grafici e le tabelle del presente lavoro l'anno di riferimento è l'anno idrologico (ad esempio l'anno 2013 inizia il 1 ottobre 2012 e termina il 30 settembre 2013). L'analisi dei trend dei dati è stata effettuata con metodi statistici diversi quali la regressione lineare semplice, la media mobile e l'analisi del regime shift con la libreria Strucchange (Bai e Perron,

2003) del software R (Zeileis et al., 2003) che permette di individuare un punto di discontinuità (Regime shift) di due fasi climatiche contigue (Chiaudani et al., 2008; Marty e Blanchet, 2012).

RISULTATI

Temperatura dell'aria

E' ampiamente dimostrato che le temperature dell'aria del NH sono in aumento (IPCC 2007, 2013).

Alcuni lavori recenti hanno quantificato anche la variazione della temperatura sulle Alpi.

Ad esempio per la Svizzera, Marty e Meister (2012), indicano per gli ultimi 30 anni in sei stazioni significative di alta quota, un aumento della temperatura annuale di

Fig. 1

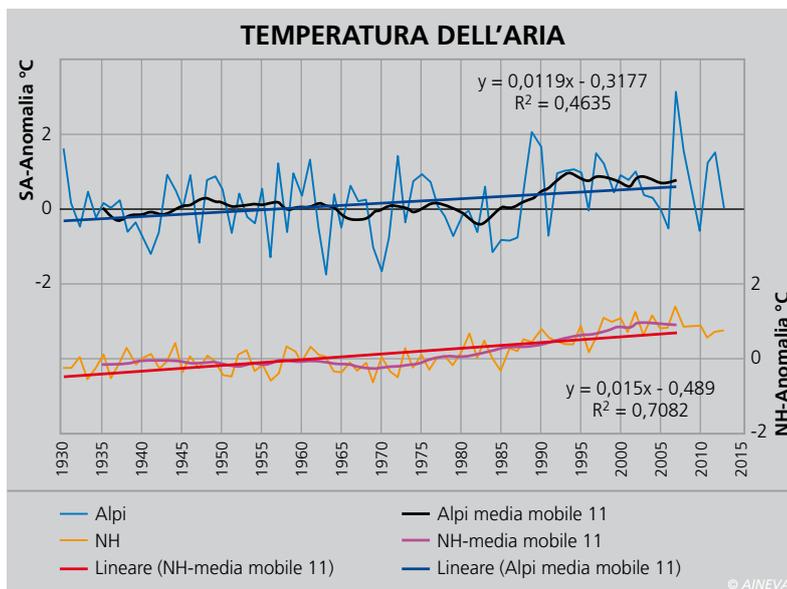
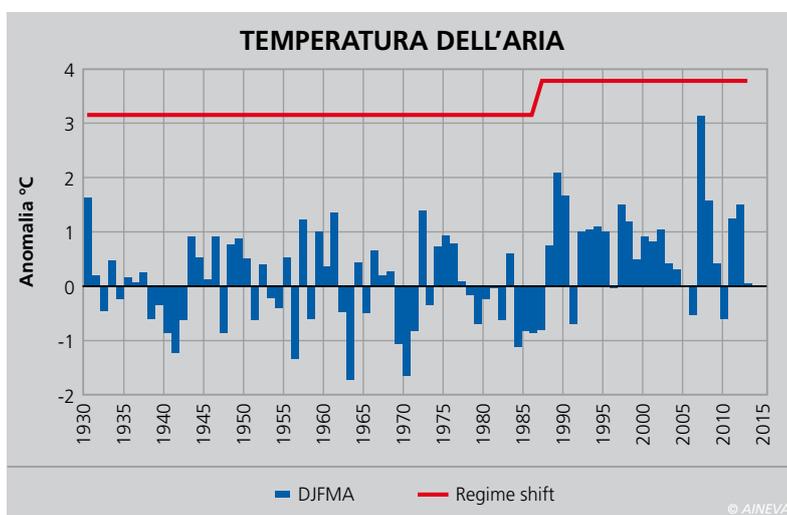


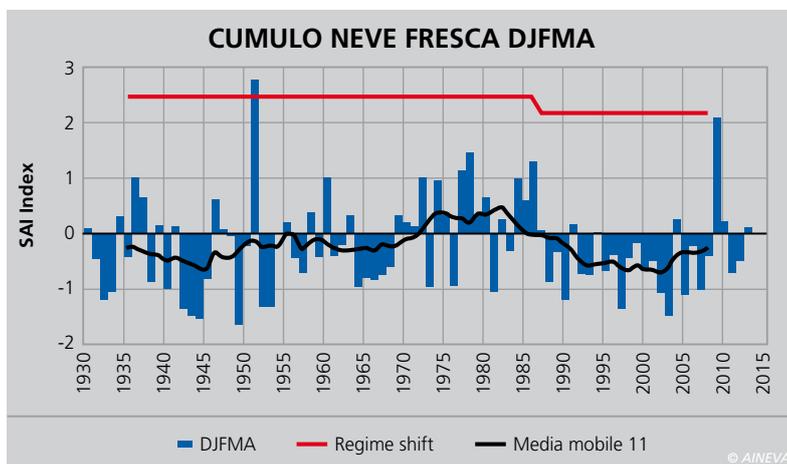
Fig. 2



Tab. II

	DJFMA	DJF	MA
1961-1990	+/-°C	+/-°C	+/-°C
1991-2010	+0.69	+0.56	+0.91
1991-2000	+0.74	+0.75	+0.84
2001-2010	+0.65	+0.38	+0.97
2004-2013	+0.70	+0.38	+1.13

Fig. 3



0.8 °C, valore inferiore rispetto alle stazioni alle quote medio basse +1.2/+1.4 °C. In Austria, nella regione della Carinzia, è stato osservato un aumento delle temperature, dal 1900 al 2008, di 1.5 °C-1.7 °C (Stockinger, 2010).

Cacciamani et al. (2003) hanno indicato per le Alpi Italiane un aumento di +1.1 °C/+0.9 °C per il periodo DJF e di 0.8-1.0 °C per il periodo MAM (marzo-aprile-maggio). Lo scarto rispetto alla media del periodo 1961-1990 della temperatura dell'aria DJFMA ha un trend positivo con coefficiente di correlazione lineare R 0.70 con la temperatura del NH (Fig. 1).

I risultati preliminari dell'andamento della temperatura media dell'aria, per il versante sud delle Alpi, indicano un aumento della temperatura di 0.6-0.7 °C (DJFMA) negli ultimi 30 anni.

L'anno più probabile di discontinuità climatica individuato sulla media mobile di 11 anni della serie storica è il 1987 (Fig. 2). A livello sinottico tale discontinuità coincide con il netto cambiamento di fase della circolazione atlantica evidenziato dall'indice NAO (Werner et al. 2000).

Proprio dal 1987 in poi, la temperatura media è stata sempre superiore al valore di riferimento 1961-1990, eccetto nelle stagioni invernali 1991, 2005, 2006, 2010 e 2013.

Tuttavia negli ultimi 10 anni (2004-2013) sono state ben 4 le stagioni invernali più "fredde" della media ma anche 3 le stagioni invernali con una temperatura "molto mite" con valori superiori allo 0.90 percentile (2007=+3.09 °C, 2008=+1.56 °C, 2012=+1.44 °C).

I decenni 1991-2000 e 2001-2010, di DJFMA mostrano quasi un decimo di grado di differenza fa di loro (+0,74 °C/+0,65 °C) (Tab. II). La temperatura di DJF 2001-2010 ha uno scarto positivo inferiore (+0.38 °C) rispetto al periodo DJF 1991-2000 (0.75 °C) mentre MA 2001-2010 ha uno scarto positivo superiore (+0.97 °C) rispetto al decennio precedente (+0.84 °C). Inoltre i periodo 2004-2013 evidenzia ancora un andamento più "fresco" in DJF (+0.38 °C) e ancor più mite in MA (+1.13 °C).

Cumulo stagionale di neve fresca

Sul versante meridionale delle Alpi, nel periodo 1990-2009, il cumulo stagionale (DJFMA) di neve fresca, è diminuito, specie fra gli 800 e i 1500 m di quota (Valt e Cianfarra, 2010). Anche la durata del manto nevoso al suolo è diminuita, soprattutto nel periodo MA (Valt e Cianfarra, 2010) come avviene nel NH (Dye, 2002). Per 18 stazioni italiane è stato calcolato l'indice di anomalia standardizzato (SAI Index) (Giuffrida e Conte, 1989) rispetto alla media 1961-90 della precipitazione nevosa e il punto di cambiamento di regime (Bai e Perron, 2003). L'anno più probabile della discontinuità climatica è stato individuato nel 1987 (Fig. 3). Tuttavia proprio dal 1987 in poi e fino al 2002, la media mobile dell'indice è sempre stata negativa. Dal 2003 in poi, l'indice, pur rimanendo confinato nel settore negativo, è in aumento.

E' stata calcolata la variazione quantitativa in cm del cumulo stagionale di neve fresca per le fasce altimetriche 800 - 1500 m e 1500 - 2500 m.

Nella Tab. III sono riportati i valori di precipitazione media per i diversi periodi di DJFMA. E' evidente il grande deficit degli anni '90, il deficit minore degli anni 2000 e i valori quasi nella norma del periodo recente 2004-2013.

Nelle Tab. IV e Tab. V sono riportati i valori di precipitazione media per i diversi periodi di ma divisi per DJF e MA. Le variazioni e i deficit di precipitazione, sia a bassa quota che in quota, non sono molto importanti nella stagione DJF mentre in MA, i deficit rimangono importanti anche nel periodo recente, specie alle basse quote.

Come anche per le temperature, le tendenze più importanti sono nel periodo MA- 2004-2013 e nel caso della precipitazione nevosa, in modo più marcato nella fascia altimetrica 800- 1500 m.

Spessore neve al suolo, quota neve sciabile

Latenser e Schneebeli (2003) hanno individuato a 1300 m la quota minima delle aree sciabili (LAN) in Svizzera.

	DJFMA 800-1500 m (cm)		DJFMA 1500-2500 m (cm)	
1961-1990	218	%	407	%
1991-2010	174	-20%	361	-11%
1991-2000	164	-25%	353	-13%
2001-2010	183	-16%	370	-9%
2004-2013	199	-9%	395	-3%

Tab. III

	DJF 800-1500 m (cm)		DJF 1500-2500 m (cm)	
1961-1990	146	%	233	%
1991-2010	124	-15%	213	-9%
1991-2000	114	-22%	205	-12%
2001-2010	135	-8%	221	-5%
2004-2013	148	1%	231	-1%

Tab. IV

	MA 800-1500 m (cm)		MA 1500-2500 m (cm)	
1961-1990	72	%	174	%
1991-2010	49	-31%	149	-15%
1991-2000	50	-30%	148	-15%
2001-2010	49	-32%	149	-14%
2004-2013	52	-28%	164	-6%

Tab. V

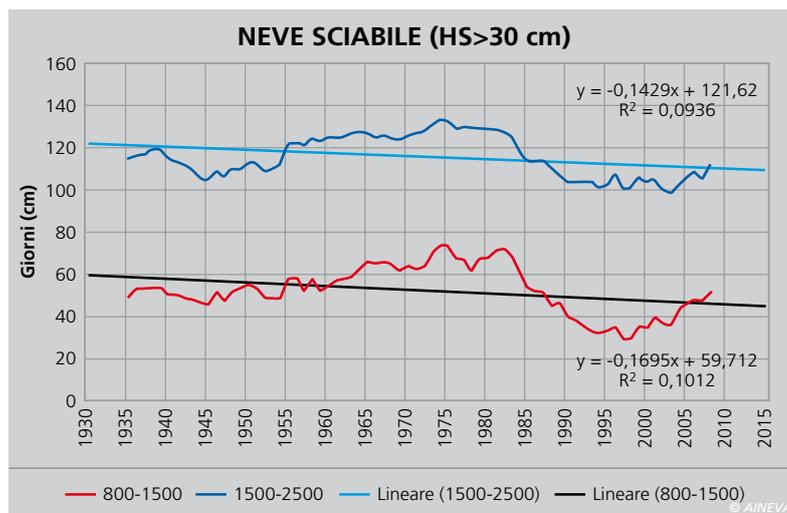


Fig. 4

Questo limite altimetrico è riferito alla quota dove si hanno almeno 100 giorni con una altezza delle neve naturale al suolo di 30 cm nel periodo DJFMA.

Questa quota non è fissa ma varia nel tempo e geograficamente in funzione delle aree climatiche.

Ad esempio Wielke et al. (2004), ha comparato la durata del manto nevoso fra Austria e Svizzera e ha individuato una quota di 1050 m per Austria orientale. Questa differenza altimetrica è da attribuire alla transizione fra il clima atlantico marittimo della Svizzera occidentale e il continentale dell'Austria orientale.

Oltre ad una variazione ovest - est della quota della neve sciabile, Marty (2008) ha evidenziato una variazione fra il versante nord e sud delle Alpi Svizzere.

Utilizzando un livello minimo di altezza neve di 50 cm, ha riscontrato una diminuzione di circa il 20% di giornate sul versante sud, rispetto al versante nord delle Alpi.

Questo indica che la quota della neve sciabile sul versante meridionale delle Alpi, influenzato dal clima mediterraneo, è più elevata rispetto al versante settentrionale delle Alpi.

Per le Alpi italiane, OECD (2007) ha posi-

Tab. VI

	DJFMA 800-1500 m (giorni)		DJFMA 1500-2500 m (giorni)	
1961-1990	61	%	123	%
1991-2010	42	-31%	107	-13%
1991-2000	36	-41%	105	-15%
2001-2010	49	-21%	109	-11%
2004-2013	56	-9%	112	-9%

© AINEVA

Tab. VII

	DJF 800-1500 m (giorni)		DJF 1500-2500 m (giorni)	
1961-1990	40	%	72	%
1991-2010	31	-21%	66	-9%
1991-2000	28	-29%	65	-10%
2001-2010	35	-12%	67	-7%
2004-2013	39	-1%	70	-3%

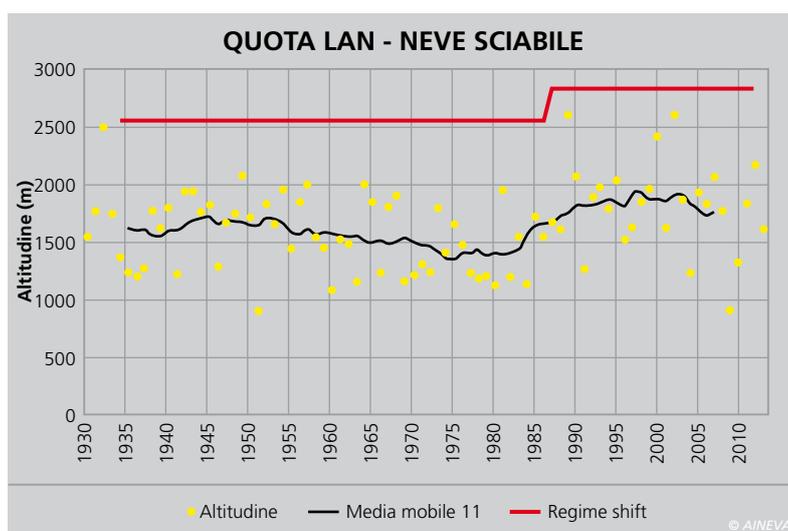
© AINEVA

Tab. VIII

	MA 800-1500 m (giorni)		MA 1500-2500 m (giorni)	
1961-1990	22	%	51	%
1991-2010	11	-50%	41	-19%
1991-2000	8	-64%	40	-22%
2001-2010	14	-36%	42	-17%
2004-2013	16	-24%	42	-17%

© AINEVA

Fig. 5



© AINEVA

Tab. IX

	LAN (quota m)	+/- (m) RISPETTO AL 1961-1990
1961-1990	1534	
1991-2010	1774	240
1991-2000	1834	300
2001-2010	1714	180
2004-2013	1665	131

© AINEVA

zionato la LAN a 1500 m di quota, come per il Ticino nelle Alpi Svizzere. Fhoen (1990) e Haeberli e Beniston (1998) hanno anche stimato una variazione di 150 m di quota per ogni 1 °K di

riscaldamento delle Alpi. Nel presente studio sono state presi in considerazione i valori di altezza neve giornaliera di 22 stazioni delle Alpi meridionali dislocate fra i 850 e i 2600 m di quota.

Molte serie storiche iniziano già dagli anni '30 ma sono stati considerati i valori dal 1950 al 2013 che sono disponibili per le 22 stazioni analizzate.

Per tali stazioni è stato calcolato il numero di giorni con un'altezza della neve al suolo maggiore di 30 cm e sono stati raggruppati per mesi DJFMA (Fig. 4), DJF e MA e per due fasce altimetriche 800-1500 m e 1500-2500 m.

Per ogni raggruppamento è stato calcolato lo scarto dalla media 1961-90 rispettivamente per le due decadi seguenti e per il periodo recente 2004-2013.

E' stata inoltre calcolata la media mobile e la sua linea di tendenza che è risultata decrescente per tutte e due le fasce altimetriche.

In Tab. VI sono riportati i valori medi per fascia altimetrica della durata del manto nevoso rispettivamente per il periodo 1961-90, 1991-2000, 1991-2010, 2001-2010 e 2004-2013.

I valori calcolati di DJFMA evidenziano la carenza di neve del periodo 1991-2000, caratterizzata da minor precipitazione nevosa e la ripresa della decade successiva 2001-2010. Il periodo recente 2004-2013 evidenzia una ripresa ancora maggiore, seppur inferiore alla media 61-90.

Per il periodo DJF Tab. VII, oltre ai deficit riscontrati nei decenni 1991-2000 e 2001-2010, si osserva per il periodo recente uno scarto minimo di -3/-2 giorni di permanenza della neve

Per il periodo MA Tab. VIII, si osservano poche variazioni in quota, dove il deficit rimane quasi stazionario e maggiore del periodo DJF. Il deficit è sempre importante della fascia altimetrica 800-1500 e nel periodo 2004-2013 è attenuato dai nevosi inverni fino a bassa quota del 2008 e del 2013.

Sulla base di questi dati è stata elaborata la LAN per il versante meridionale delle Alpi (Fig. 5).

In Tab.IX è riportata la quota per singolo periodo.

Rispetto al periodo di riferimento 1961-1990, la quota si è alzata fino a oltre i 1834 m di quota nei decenni successivi e dopo aver raggiunto il suo massimo

nel periodo 1991-2000 è in leggera diminuzione.

CONCLUSIONE

Nel presente lavoro sono stati analizzati i dati di temperatura, precipitazione nevosa, durata del manto nevoso con spessore superiore ai 30 cm, di una serie di stazioni del versante meridionale delle Alpi.

Le analisi condotte hanno evidenziato nel periodo 1987-1988 un cambiamento di regime di tutti e tre i parametri analizzati e nel periodo 1991-2000 il deficit è stato più importante che nei periodi successivi. Nel periodo recente, 2004-2013, si osserva un minor incremento della temperatura nel periodo dicembre-febbraio rispetto alla media 1961-1990 e precipitazioni nevose quasi nella norma.

Invece, nel periodo MA, le temperature sono in netto aumento e il deficit della precipitazione nevosa rimane importante (-30% circa) specie alle basse quote con conseguente minor durata del manto nevoso al suolo.

Per quanto riguarda la linea della neve sciabile (LAN), la quota si è innalzata di oltre 300 m a fronte di un aumento stagionale della temperatura di 0.7 °C, pari ad un innalzamento molto maggiore di quello indicato in altri studi 150 m per 1.0 °C.

Infine sussiste un'elevata correlazione fra l'andamento delle temperature in primavera e il cumulo di neve fresca ($R=0.81$) e la permanenza della neve con spessore superiore ai 30 cm ($R=0.90$) nel periodo 1961-2013.

In sintesi, molti parametri analizzati nel presente lavoro seguono gli stessi andamenti di quanto succede nel NH e sembra che negli ultimi 10 anni ci sia una variazione delle tendenze generali in atto ascrivibili per ora alla variabilità climatica ma che forse, i ghiacciai del versante meridionale delle Alpi, abbiano già iniziato a risentirne.

RINGRAZIAMENTI

Un particolare ringraziamento a Emanuele Eccel e a Daniele Cat Betto per i suggerimenti e i consigli forniti.

Bibliografia

- AAVV. (2007). Il Piemonte nel cambiamento climatico. Arpa Piemonte. Torino, pp 155
- Barbi A., Cagnati A., Cola G., Checchetto F., Chiaudani A., Crepez A., Delillo I., Mariani L., Marigo G., Meneghin P., Parsi S. G. Rechi F., Renon B. Robert-Luciani T. (2013). Atlante climatico del Veneto. Precipitazioni – Basi informative per l'analisi delle correlazioni tra cambiamenti climatici e dinamiche forestali nel Veneto. Regione del Veneto, Mestre, pp2 96
- Bai J., Perron P. (2003). Computation and Analysis of Multiple Structural Change Models, *Journal of Applied Econometrics*, 18, 122
- Bellin A., Zardi D. (2004). Analisi climatologica di serie storiche delle precipitazioni e temperature in Trentino. Quaderni di idronomia montana n. 23. Provincia Autonoma di Trento. Trento pp 256
- Brown, R. D., and D. A. Robinson. (2011). Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty. *The Cryosphere*, 5, 219–229 258. doi:10.1007/s00704-009-0105-1
- Cacciamani C., Lavezzi M., Selvini A., Tomozeiu R., Zuccherelli A. (2001). Evidenza di cambiamenti climatici sul Nord Italia. Parte 1: Analisi delle temperature e delle precipitazioni, *Quaderno Tecnico ARPA SMR 04/2001*, 43 pp
- A. Chiaudani et al.. (2008). Due metodi di analisi di discontinuità a confronto: Piecewise and Strucchange in funzione agroclimatica. *Atti del Convegno nazionale AIAM, "Innovazione agrometeorologica per i servizi e per la ricerca"*. San Michele All'Adige, 10-12 giugno 2008 in *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, anno 13, n.1 pp. 88-90. (www.agrometeorologia.it/rivista.shtml)
- Di Piazza A., Eccel E. (2012). Analisi di serie giornaliere di temperatura e precipitazione in trentino nel periodo 1958-2010. Provincia Autonoma di Trento e Fondazione Edmunf MUnch. Trento, 88 pp
- 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
- Durand Y., Giraud G., Laternser M., Etchevers P., Merindol L., Lesaffre B. (2009). Reanalysis of 47 years of climate in the French Alps (1958–2005): climatology and trends for snow cover. *J Appl Meteorol Climatol* 48(12):2487–2512. doi:10.1175/2009jmc1810.1
- Giuffrida A. e M.Conte. (1989). Variations climatiques en Italie: tendencies des temperatures et des precipitations. *Publ. Ass. Int. Climatologie*, 2. 209-216.
- Faletto M., Prola M.C., Acquaoita F., Fratianni S., Terzago S. (2013). La neve sulle alpi piemontesi quadro conoscitivo aggiornato al cinquantennio 1961-2010. Arpa Piemonte, Torino, pp 97
- Foehn, P.M., 1990: Schnee und Lawinen. In: Schnee, Eis und Wasser in der Alpen in einer waermeren Atmosphaere, *Mitteil. VAW/ETH Zuerich*, Nr. 108, S. 33–48
- Hantel M, Hirtl-Wielke LM. (2007). Sensitivity of Alpine snow cover to European temperature. *Int J Climatol* 27(10):1265–1275. doi:10.1002/joc.1472
- Haeberli, W., and Beniston, M., (1998). Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio*, 27, 258 265
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.
- Haubner-Köll, E. (2002). I Cambiamenti climatici e le Alpi: una relazione specifica. CIPRA Internationale Alpenschutzkommission Internet, pp. 12
- Jones, P. D., D. H. Lister, T. J. Osborn, C. Harpham, M. Salmon, and C. P. Morice (2012). Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 117, D05127.
- Laternser M, Schneebeli M. (2003). Long-term snow climate trends of the Swiss Alps (1931–99). *Int J Climatol* 23(7):733–750. doi:10.1002/joc.912
- Marty C. (2008). Regime shift of snow days in Switzerland. *Geophys Res Lett* 35(12):L12501. doi:10.1029/2008gl033998
- Marty C., Blanchet J. (2012). Long-term changes in annual maximum snow depth and snowfall in Switzerland based on extreme value statistics. *Clim Change* 111(3–4):705–721. doi:10.1007/s10584011-0159-9
- Marty, C., and R. Meister. (2012) Long-term snow and weather observations at Weissfluhjoch and its relation to other high-altitude observatories in the Alps. *Theoretical and Applied Climatology*, 110, 573-583.
- 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.
- Micu D. (2009). Snow pack in the Romanian Carpathians under changing climatic conditions. *Meteorol Atmos Phys* 105(1–2):1–16. doi:10.1007/s00703-009-0035-6
- Morin J, Block P, Rajagopalan B, Clark M. (2008). Identification of large scale climate patterns affecting snow variability in the eastern United States. *Int J Climatol* 28(3):315–328. doi:10.1002/joc.1534
- OECD. (2007). *Climate change in the European Alps*. S. Agrawala (ed.), OECD Publications, Paris, 127 pp.
- Scherrer SC, Appenzeller C. (2006). Swiss Alpine snow pack variability: major patterns and links to local climate and large-scale flow. *Clim Res* 32(3):187–199
- Scherrer SC, Appenzeller C, Laternser M. (2004). Trends in Swiss Alpine snow days: the role of local-and large-scale climate variability. *Geophys Res Lett* 31(13):L13215. doi:10.1029/2004gl020255
- Schoner W, Auer I, Bohm R. (2009). Long term trend of snow depth at Sonnblick (Austrian Alps) and its relation to climate change. *Hydrol Process* 23(7):1052–1063. doi:10.1002/hyp.7209
- Serquet G, Marty C, Dulex J-P, Rebetez M. (2011). Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation-day ratio in Switzerland. *Geophys Res Lett* 38:L07703. doi:10.1029/2011GL046976
- Stockinger F. (2009). *Historical Snow Trends in Carinthia. Dal Cristallo alla Valanga. La neve senza confini*, Unione Meteorologia del Friuli Venezia Giulia, Malborghetto, pp36-45
- Tarolli M., Rea R., Zardi D. (2007). Il clima della Val di Fiemme- temperature e precipitazioni dal 1882 al 2006. *Meteotrentino*. Trento. pp 91
- Uhlmann, B., S. Goyette, and M. Beniston. (2008). Sensitivity analysis of snow patterns in Swiss ski resorts to shifts in temperature, precipitation and humidity under conditions of climate change. *International Journal of Climatology*, 2008
- Valt, M., and P. Cianfarra, (2010). Recent snow cover variability in the Italian Alps. *Cold Regions Science and Technology*, 64, 146-157.
- Werner P.C, Gerstengarbe F.W., Friedrich K., Oesterle H., (2000). Recent climate change in the North Atlantic/European Sector, *International Journal of Climatology*, Vol. 20, Issue 5, 463471.
- Wielke LM, Haimberger L, Hantel M. (2004). Snow cover duration in Switzerland compared to Austria. *Meteorol Z* 13(1):13–17. doi:10.1127/0941-2948/2004/0013-0013
- Xu CC, Chen YN, Li WH, Chen YP, Ge HT. (2008). Potential impact of climate change on snow cover area in the Tarim River basin. *Environ Geol* 53(7):1465–1474. doi:10.1007/s00254-007-0755-1
- Zeileis A., Kleiber C., Krämer W., Hornik K., (2003). Testing and Dating of Structural Changes in Practice, *Computational Statistics and Data Analysis*, 44, Issues 12, 109123.