



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI TRENTO

Dipartimento di Ingegneria Civile,
Ambientale e Meccanica

OMOGENEIZZAZIONE RICOSTRUZIONE DELLE SERIE STORICHE DEI DATI NEVE DISPONIBILI IN TRENTO



Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica

Alberto Bellin, responsabile scientifico

Giorgia Marcolini

Gabriele Chiogna

Trento, 12 Dicembre 2015

Gruppo di ricerca

Alberto Bellin, responsabilità scientifica del progetto, coordinamento e supervisione

Giorgia Marcolini, Analisi dei dati, omogeneizzazione e ricostruzione delle serie storiche

Gabriele Chiogna, Analisi dei dati, omogeneizzazione e ricostruzione delle serie storiche

Sommario

OSSERVAZIONI GENERALI SUL TRATTAMENTO DI DATI DI NEVE AL SUOLO	4
IL DATASET	5
CORREZIONE DEI VALORI DELLE STAZIONI AUTOMATICHE	6
1. CONTROLLO SECONDO TERZAGO ET AL. (2013)	6
I) CONTROLLO DEGLI INCREMENTI	6
II) CONFRONTO DEGLI INCREMENTI POSITIVI CON I DATI DI TEMPERATURA MINIMA	6
III) CONFRONTO DEGLI INCREMENTI NEGATIVI CON DEI MODELLI DI SCIoglIMENTO	7
2. CONFRONTO CON LE STAZIONI VICINE	7
ALGORITMO	7
ESEMPI DI CORREZIONI	8
BIBLIOGRAFIA	9
ANALISI STATISTICA DI DATI DI NEVE AL SUOLO RELATIVI AL TRENTINO	11
MEDIA STAGIONALE DELLA NEVE AL SUOLO	12
HÖVMÖLLER	12
ANDAMENTO QUINQUENNALE	13
BOXPLOT	14
MASSIMA STAGIONALE DI NEVE AL SUOLO	14
HÖVMÖLLER	14
ANDAMENTO QUINQUENNALE	15
BOXPLOT	16
DURATA DELLA NEVE AL SUOLO	16
HÖVMÖLLER	17
ANDAMENTO QUINQUENNALE	18
BOXPLOT	19
GIORNI NEVOSI	19
HÖVMÖLLER	19
ANDAMENTO QUINQUENNALE	20
BOXPLOT	21
CUMULATA	21
HÖVMÖLLER	22
ANDAMENTO QUINQUENNALE	22
BOXPLOT	23
DIPENDENZA DELLE GRANDEZZE OSSERVATE CON LA QUOTA	24
ALTEZZA – MEDIA STAGIONALE	24
ALTEZZA – MASSIMA STAGIONALE	25
ALTEZZA – DURATA NEVE AL SUOLO	26
ALTEZZA – GIORNI NEVOSI	27
ALTEZZA – CUMULATA	28
DIAGRAMMA HÖVMÖLLER SERIE LUNGHE	29
TEST DI AUTOMOGENEITÀ	30
CASI PARTICOLARI	31
MALGA BISSINA	31
PASSO FEDAIA – PEIO PAESE	31
MARMOLADA E GROSTÉ	31
FOLGARIA – PASSO SOMMO	32
CAORIA	32

Osservazioni generali sul trattamento di dati di neve al suolo

Grazie alle analisi di omogeneità e alla correzione degli errori evidenti e dei dati automatici, il dataset risultante è un dataset affidabile con serie temporali relative a stazioni distribuite in tutto il Trentino. La serie temporale più lunga presenta dati per più di 80 stagioni invernali e circa il 6% delle stazioni riporta dati per più di 60 stagioni.

Nonostante il dataset di dati di neve al suolo di Meteotrentino offra opportunità di analisi molto interessanti, purtroppo abbiamo potuto osservare anche l'interruzione di molte serie lunghe che sarebbero state sicuramente dei casi di studio interessanti, come ad esempio la stazione della diga del Careser. La lunghezza delle serie temporali del dataset e la loro distribuzione spaziale (sia in termini di latitudine e longitudine, che in termini di quota) sono particolarmente importanti per capire l'effettiva presenza di cambiamenti climatici in atto e per stimarne l'entità.

L'analisi di omogeneità, che è stata effettuata sulle stazioni nella prima parte del lavoro, è stata sicuramente importante per l'individuazione di serie adatte all'analisi di cambiamenti di breve o lungo periodo. Ciononostante sarà importante in futuro (circa ogni 10 anni) effettuare nuovamente questo tipo di analisi, ad esempio per valutare l'impatto dell'introduzione dei sensori automatici.

In particolare, sarebbe opportuno, ove possibile, condurre dei periodi di misure in parallelo in tutti i casi in cui si dovessero apportare dei cambiamenti alle procedure di misura, alla strumentazione o a qualunque fattore che possa influenzare le serie di neve al suolo. Infatti, attualmente l'analisi di omogeneità è difficilmente applicabile a valori giornalieri, e la correzione dei dati avviene moltiplicandoli per un fattore di correzione. Questa procedura ha però alcuni limiti, tra cui l'impossibilità di ricreare nuovi giorni di neve. Delle misure in parallelo potrebbero aiutare nella correzione delle serie di dati o quantomeno nel confronto tra nuovi e vecchi dati.

Il dataset

Il dataset a nostra disposizione è composto da 65 serie temporali che si riferiscono a siti distribuiti in tutta la Provincia di Trento. Le serie relative a questi siti sono il risultato dell'analisi di omogeneità condotta negli scorsi due anni. Oltre alle serie relative ai siti sono state messe a disposizione da Meteotrentino altre 45 serie. Queste serie storiche si interrompono generalmente nei primi anni 2000. Per questo motivo, e per il carattere frammentario che le caratterizza, si è ritenuto non fosse opportuno procedere con la loro omogeneizzazione. Per gli stessi motivi, inoltre, tali serie storiche non sono state prese in esame nell'analisi statistica riportata nella sezione "Analisi statistica di dati di neve al suolo relativi al Trentino".

I dati delle serie sono stati ricavati da tre diverse fonti: storiche, automatiche e manuali (vedasi report interno "Ricostruzione delle serie storiche dei dati di neve al suolo del Trentino" Marcolini G., Chiogna G. e Bellin A., 2014). Oltre a questi sono presenti dei dati che sono il risultato del lavoro di interpolazione effettuato grazie all'algoritmo delle Support Vector Regression prendendo in considerazione le serie di riferimento indicate in tabella 1.

SITO	Sito di riferimento 1	Sito di riferimento 2
2	16	27
3	26	27
4	46	50
5	19	51
6	16	46
7	19	51
8	46	51
10	4	51
11	19	51
12	19	51
13	19	49
14	16	50
15	6	51
16	51	50
17	16	50
182	16	20
19	16	46
20	27	50
21	27	16
22	14	21
23	5	25
25	46	51
26	17	18
27	46	50
28	20	27
29	19	51
30	16	27
31	16	21
32	4	51
34	20	26

36	46	50
37	16	39
38	6	16
39	3	17
40	2	21
41	6	51
44	9	46
45	16	26
46	16	27
48	6	49
49	16	46
50	16	27
51	16	46
52	50	16
58	16	46
60	46	51
61	16	46
67	25	20
163	16	46
241	46	25
242	16	20

Tabella 1 Siti di riferimento per il riempimento dei gap nelle serie temporali dei siti.

Correzione dei valori delle stazioni automatiche

La correzione dei valori delle stazioni automatiche avviene seguendo alcuni passaggi: in una prima fase vengono effettuati alcuni controlli similmente a quanto suggerito da Terzago et al. (2013), per poi procedere a una fase di confronto dei valori con stazioni vicine.

1. Controllo secondo Terzago et al. (2013)

I) Controllo degli incrementi

Vengono individuati gli incrementi di neve al suolo superiori a 150 cm e inferiori a 30 cm. Tali valori di soglia sono stati derivati dal modello MOD 1 AINEVA, utilizzato nella prima fase del trattamento del dataset per la correzione degli errori evidenti. I dati raccolti con i rilevatori automatici eccedenti la prima soglia o inferiori alla seconda vengono eliminati.

II) Confronto degli incrementi positivi con i dati di temperatura minima

Se c'è un incremento positivo in una giornata con una temperatura minima superiore a +2°C, i dati dei rilevatori automatici coinvolti nell'incremento vengono eliminati.

In alcuni casi, erano disponibili anche dati di temperatura minima di una stazione vicina. In questi casi essi sono stati utilizzati per riempire eventuali intervalli con assenza di dati nella serie di temperatura minima della stazione in esame, dopo essere stati opportunamente corretti mediante un algoritmo di regressione lineare.

III) Confronto degli incrementi negativi con dei modelli di scioglimento

Nei giorni in cui è stato osservato scioglimento del manto nevoso sono stati calcolati tre possibili valori di scioglimento secondo i seguenti tre modelli:

$$m_1(t) = 25.4 * 0.08 * T_m(t),$$

$$m_2(t) = 25.4 * 0.05 * T_m(t),$$

$$m_3(t) = 25.4 * 0.02 * T_m(t),$$

dove $T_m(t)$ è la temperatura minima del giorno t . I tre modelli sono stati adattati da quelli proposti da Carr (1998), Wiesner (1970) e Bruce e Clark (1966).

Viene quindi calcolata la differenza in valore assoluto tra lo scioglimento osservato e i valori calcolati secondo questi tre modelli. Se tale differenza è inferiore a 20 cm per almeno uno dei modelli, i dati automatici coinvolti nel calcolo dello scioglimento osservato vengono mantenuti. In caso contrario vengono eliminati.

2. Confronto con le stazioni vicine

Vengono selezionate le stazioni contenute all'interno di un cerchio di raggio pari a 100 km centrato nella stazione esaminata e con una differenza in quota non superiore a 200 m. Delle stazioni selezionate per il confronto sono mantenuti solo i dati provenienti da fonti manuali o storiche.

Per ogni dato automatico della serie temporale in esame viene effettuato un confronto con i valori corrispondenti delle altre stazioni selezionate. Se una delle seguenti condizioni è vera, il dato viene eliminato:

- i dati si riferiscono a un giorno tra aprile e ottobre e la percentuale di stazioni che non presenta un valore o presenta un valore minore o uguale a 1 cm è superiore al 90%;
- i dati si riferiscono a un giorno tra novembre e marzo e la percentuale di stazioni che presenta un valore minore o uguale a 1 cm è superiore al 90%.

L'algoritmo sviluppato permette di variare la soglia del 90% descritta in precedenza.

Algoritmo

Per la correzione dei dati automatici è stato sviluppato un programma in Matlab. Esso esegue i controlli e le correzioni descritte precedentemente in maniera automatica. Il programma è indipendente dal dataset in esame e potrà essere riutilizzato in futuro per ulteriori analisi anche su gruppi diversi di stazioni perché permette all'utente di impostare i dati da importare e valutare.

Esempi di correzioni

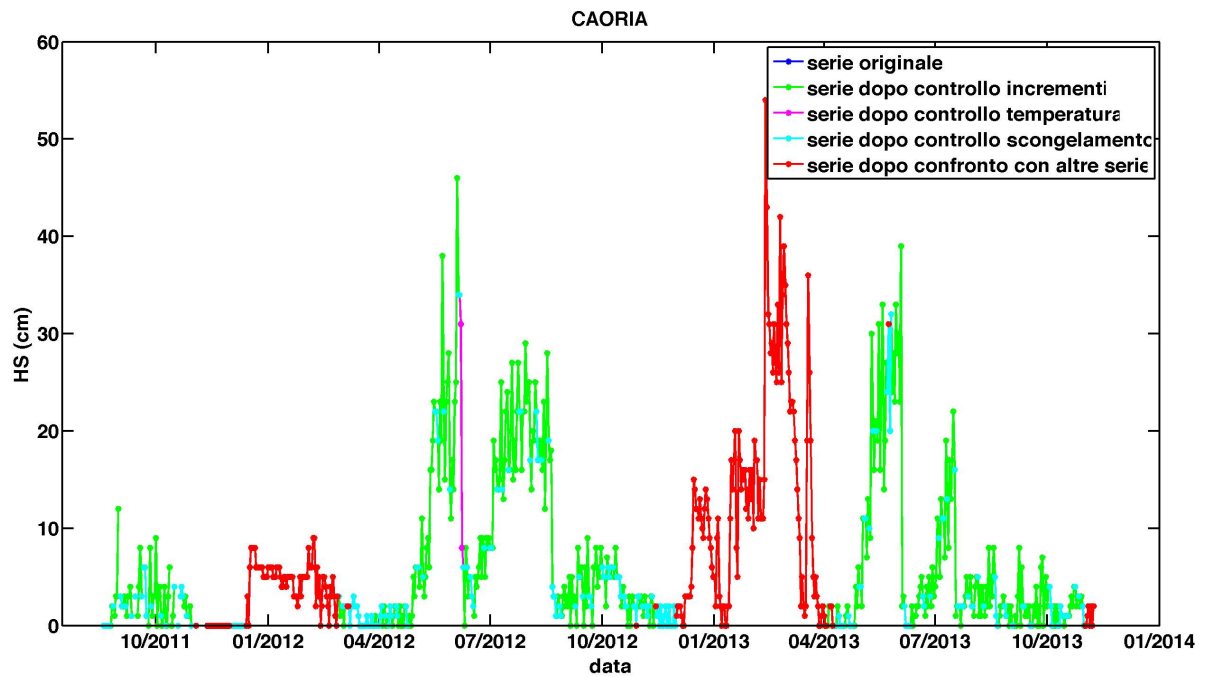


Figura 1 Correzione della serie temporale relativa al sito di Caoria.

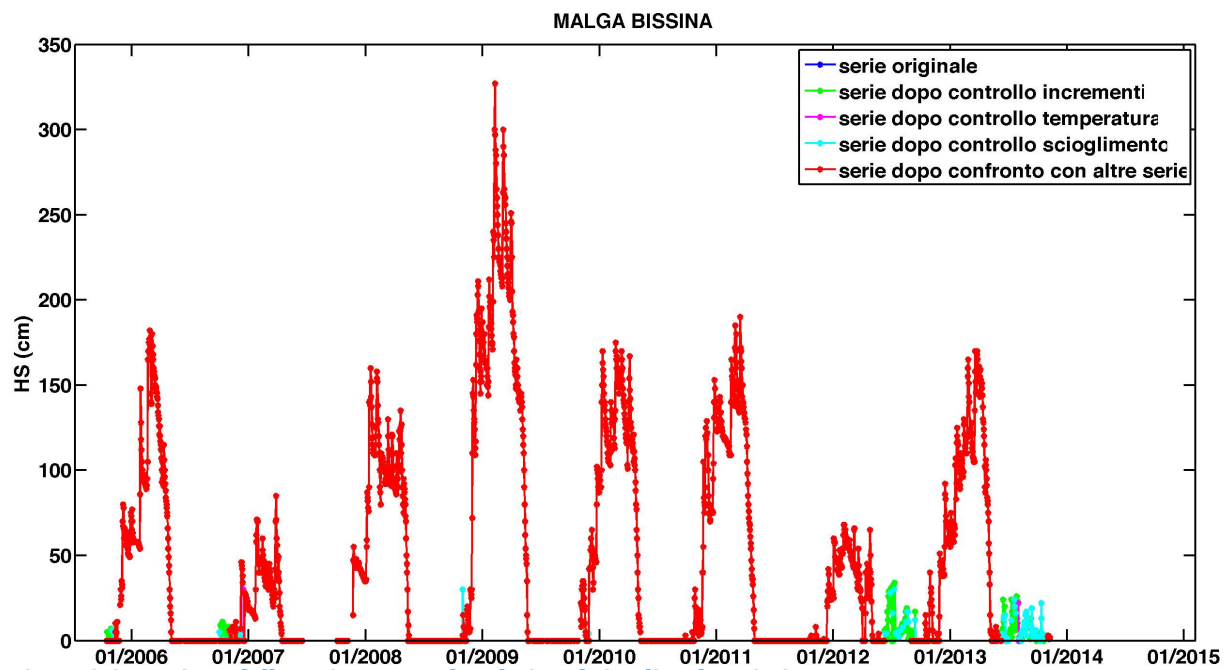


Figura 2 Correzione della serie temporale relativa al sito di Malga Bissina.

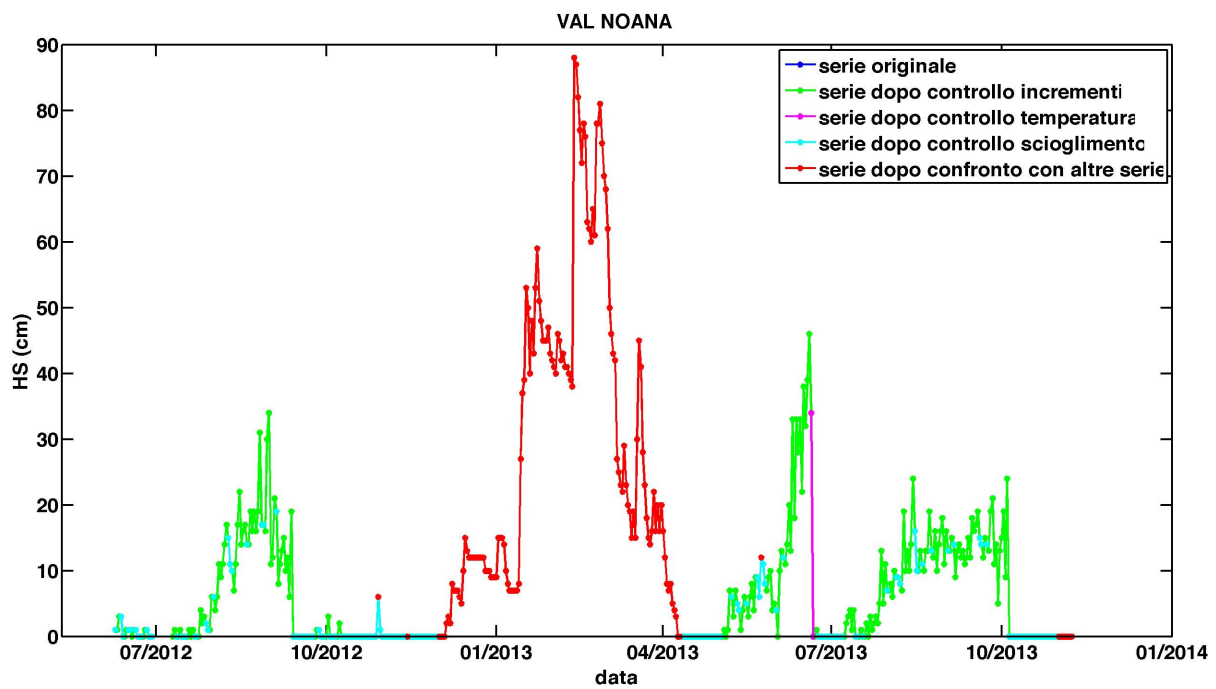


Figura 3 Correzione della serie temporale relativa al sito di Val Noana.

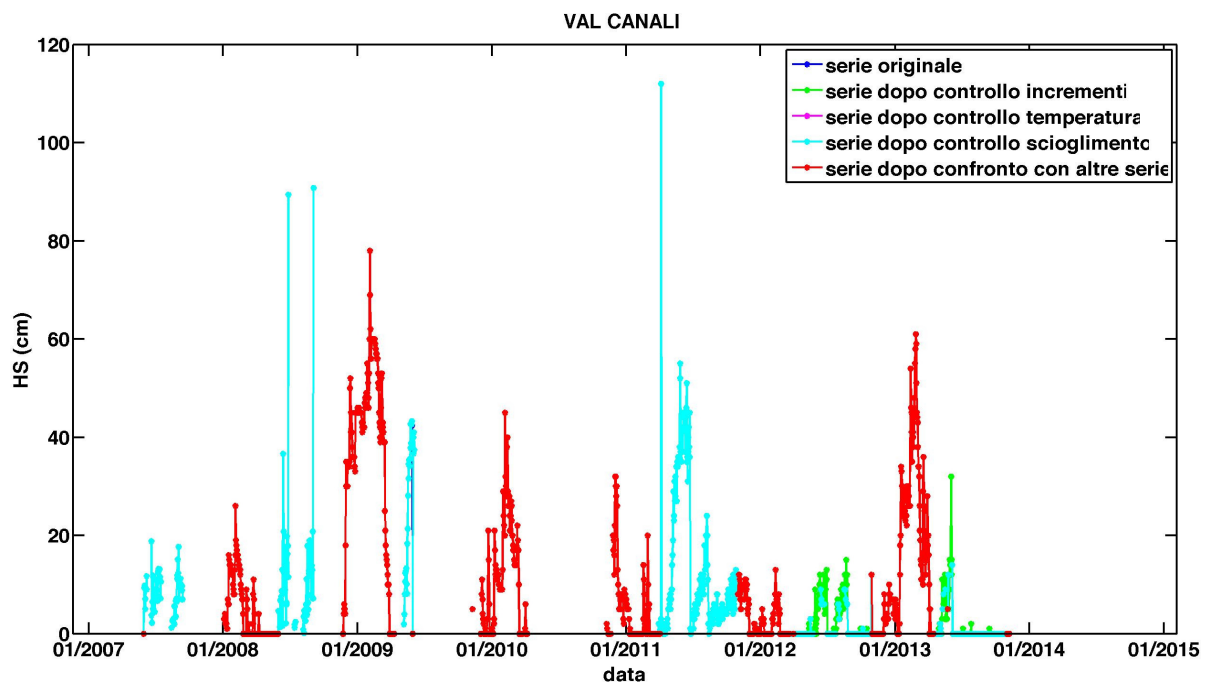


Figura 4 Correzione della serie temporale relativa al sito di Val Canali.

Bibliografia

Bruce, J.P. and Clark, R.H., 1966. Introduction to Hydrometeorology. *Pergamon Press*, 317 pp.

Carr, D.A., 1998. Snowpack modeling using daily climatological data. *Proceedings of the 45th Eastern Snow Conference, Lake Placid, NY, Eastern Snow Conference*, 176–180.

Terzago, S., Faletto, M., Prola, M. C., Fratianni, S., Cremonini, R., & Barbero, S. (2013). An innovative algorithm for unmanned validation of automatic snow depth measurements. *ISSW Proceeding*, 989-993.

Wiesner, C.J., 1970. Hydrometeorology. *Chapman et al., Ltd.*, 232 pp.

Analisi statistica di dati di neve al suolo relativi al Trentino

Il dataset creato con le serie messe a disposizione da Meteotrentino si compone in totale di 109 serie temporali. Per le analisi di seguito riportate è stato deciso di far riferimento solamente ai 14 siti indicati nella Tabella 2. Tali stazioni, infatti, riportano valori per il periodo tra il 1980 e il 2013 senza significative interruzioni, permettendo quindi un'analisi più accurata del cambiamento di comportamento della neve al suolo in Trentino in questi tre decenni. Inoltre queste stazioni sono risultate omogenee nel periodo considerato dopo l'analisi di omogeneità effettuata nella prima parte di questo lavoro.

Le rimanenti serie non sono state quindi utilizzate nell'analisi statistica per i seguenti motivi:

1. E' stato riscontrato uno o più breakpoint (circa l'11% delle serie escluse)
2. Il periodo di rilevamento non copre l'intervallo 1980-2013 senza interruzioni (circa l'85% delle serie escluse)
3. Le serie temporali sono situate troppo a sud rispetto alle altre serie e quindi non sono significativamente correlate con le altre (circa il 4% delle serie escluse)

ID Sito	Nome del Sito
11	Caoria
5	Andalo
15	Malga Baessa
48	Passo S. Valentino
25	Rabbi
8	Pozza di Fassa
49	Monte Bondone
51	Paneveggio
4	Pampeago
52	Panarotta
16	Malga Bissina
20	Passo Tonale
27	Passo Rolle
50	Passo Valles

Tabella 2 Stazioni utilizzate per le analisi

Per poter avere un'analisi più rappresentativa del comportamento della neve al suolo in Trentino, le stazioni sono state talvolta divise nelle seguenti classi a seconda della loro quota:

- Classe 1: Stazioni a una quota inferiore ai 1250 m;
- Classe 2: Stazioni a una quota compresa tra i 1250 m e i 1450 m;
- Classe 3: Stazioni a una quota compresa tra i 1450 m e i 1650 m;
- Classe 4: Stazioni a una quota compresa tra i 1650 m e i 1850 m;
- Classe 5: Stazioni a una quota superiore ai 1850 m.

Come leggere il diagramma di tipo Hövmöller: il colore dipende dalla variabile indicata nel titolo del grafico (nel caso di dato non disponibile il colore è bianco), di cui vengono evidenziate le variazioni in funzione della quota (asse delle ordinate) e dell'anno (asse delle ascisse). Da notare che le quote usate nel diagramma sono riferite

alla media di ognuna delle 5 classi sopra descritte (ovvero i valori a 1000 m s.m.m. si riferiscono alla Classe 1, i valori a 1350 m s.m.m. alla Classe 2, i valori a 1550 m s.m.m. alla Classe 3, i valori a 1750 m s.m.m. alla Classe 4 ed infine i valori a 1950 m s.m.m. alla Classe 5). Nella Figura 5 si nota ad esempio che a quote superiori a 1750 m s.m.m. nel periodo 1981-1987 la media stagionale della neve al suolo era più elevata rispetto al periodo successivo; dal 2006 si osserva un nuovo innalzamento del manto nevoso ad alta quota.

I valori dei diagrammi di tipo Hövmöller sono stati calcolati come media dei valori riportati dalle stazioni appartenenti alla stessa fascia altimetrica.

In alcuni grafici sono stati utilizzati dei valori standardizzati per meglio confrontare il comportamento di stazioni a quote diverse. Questi valori sono stati ottenuti sottraendo il valore medio della serie e dividendo per la deviazione standard.

Allo scopo di evidenziare maggiormente i trend in atto per le varie variabili analizzate, sono state calcolate le loro anomalie sottraendo ad ogni singolo dato il valore medio relativo a tutto il periodo preso in esame. Alle anomalie risultanti è stata poi applicata una media mobile di 5 anni. Per questo motivo nei grafici relativi alle anomalie si presentano dei periodi con assenza di dati all'inizio e alla fine della serie.

Media stagionale della neve al suolo

Per media stagionale si intende la media calcolata sui valori compresi dal primo novembre di un anno al 30 aprile dell'anno successivo.

Hövmöller

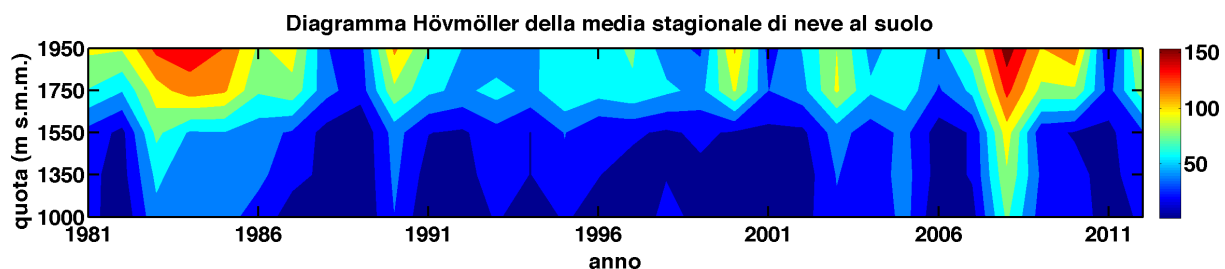


Figura 5 Diagramma Hövmöller della media stagionale di neve al suolo (indicato dal colore).

Nella figura 5 si nota la differenza di comportamento tra le stazioni al di sotto e al di sopra dei 1600 m. Inoltre è possibile osservare come a partire dagli anni '90 ci sia stato un periodo nel quale lo spessore medio del manto nevoso è diminuito. Dopo il 2006 sembra esserci un leggero aumento nella media stagionale di neve al suolo.

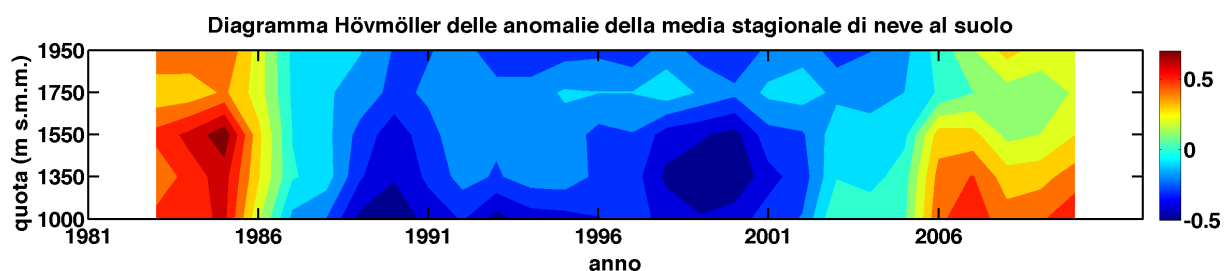


Figura 6 Diagramma Hövmöller delle anomalie della media stagionale di neve al suolo (indicato dal colore).

I cambiamenti del comportamento della neve al suolo a quote più basse sono più significativi rispetto a quelli evidenziati a quote più alte (si veda la figura 6). Anche in questo caso la quota 1600 m s.m.m. divide i due diversi andamenti.

Andamento quinquennale

Allo scopo di osservare i cambiamenti nel comportamento delle variabili escludendo le variazioni osservabili da un anno all'altro, abbiamo calcolato le medie quinquennali dei valori di media stagionale di neve al suolo nelle stazioni appartenenti alle 5 classi sopra descritte.

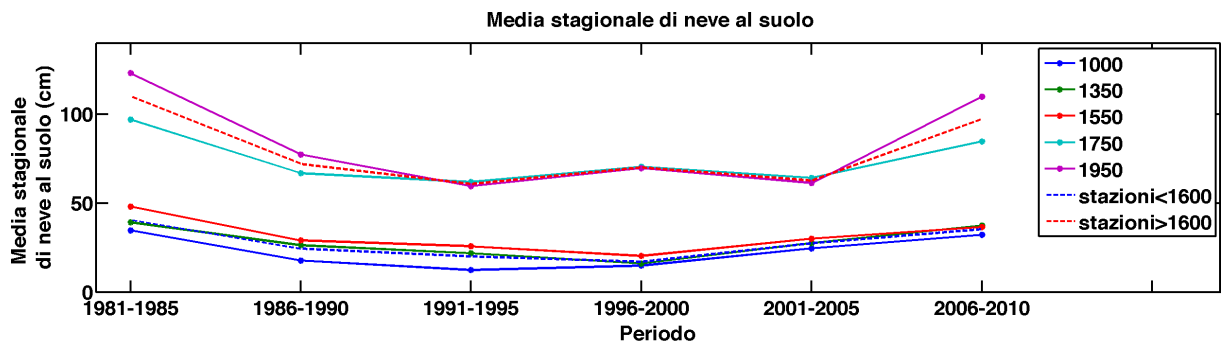


Figura 7 Media quinquennale (nei quinquenni indicati) dell'altezza di neve al suolo rappresentativa delle stazioni appartenenti alle 5 classi di quota indicate nella legenda (per altezza rappresentativa si intende la media delle altezze nelle stazioni appartenenti alla stessa classe di quota). Le linee tratteggiate rappresentano le medie calcolate su tutte le stazioni al di sotto (linea tratteggiata blu) e al di sopra (linea tratteggiata rossa) di 1600m s.m.m

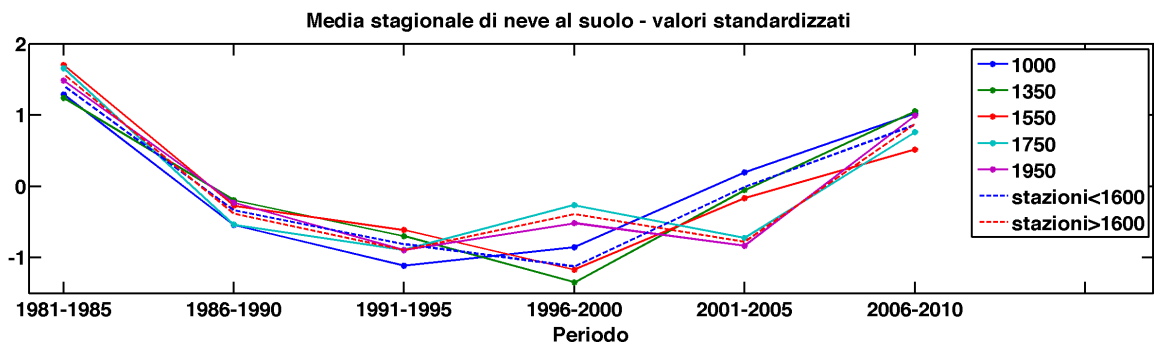


Figura 8 Media quinquennale (nei quinquenni indicati) dell'altezza standardizzata di neve al suolo rappresentativa delle stazioni appartenenti alle 5 classi di quota indicate nella legenda (per altezza rappresentativa si intende la media delle altezze nelle stazioni appartenenti alla stessa classe di quota). Le linee tratteggiate rappresentano le medie calcolate su tutte le stazioni al di sotto (linea tratteggiata blu) e al di sopra (linea tratteggiata rossa) di 1600m s.m.m..

Anche in questo caso la quota di 1600 m s.m.m. segna la differenza di comportamento fra le stazioni poste a bassa ed ad alta quota (figura 7). Se si confrontano i valori standardizzati (figura 8), la differenza si evidenzia nei periodi dal 1996 al 2000 e dal 2001 al 2005. Si nota inoltre come i cambiamenti di comportamento tra il 1981 il 2010 siano stati più significativi per le stazioni a quote più basse. A partire dal 2005 tutte le stazioni sembrano mostrare un incremento dell'altezza media di neve al suolo.

Boxplot

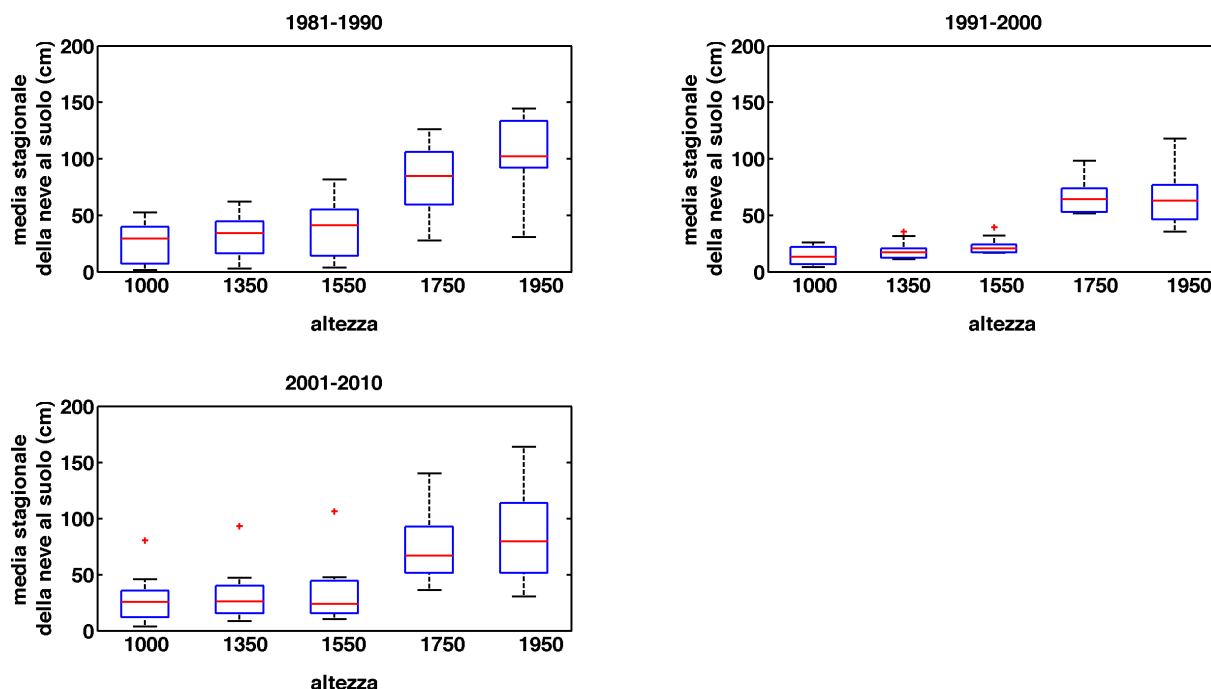


Figura 9 Box plot relativi alla media stagionale dell'altezza di neve al suolo relativa alle 5 classi di quota indicate nell'asse delle ascisse, rispettivamente negli anni '80, '90 e '2000.

Nei box plot riportati nella Figura 9 sono ben visibili i cambiamenti dell'andamento dell'altezza media di neve al suolo negli anni '80, '90 e 2000. Si osserva una riduzione del manto nevoso nel periodo 1991-2000, seguito da un incremento, che recupera in parte la notevole riduzione che ha caratterizzato gli anni 90. Si nota, inoltre, come nel periodo 1991-2000 la neve al suolo mostri una variabilità inter-annuale molto meno marcata che nel periodo precedente, ed in quello successivo. Inoltre, nello stesso periodo la mediana (il tratto orizzontale all'interno del rettangolo) mostra un più contenuto aumento con la quota.

Massima stagionale di neve al suolo

Per massima stagionale di neve al suolo si intende il valore di neve al suolo massimo tra il primo novembre di un anno ed il 30 aprile dell'anno successivo.

Hövmöller

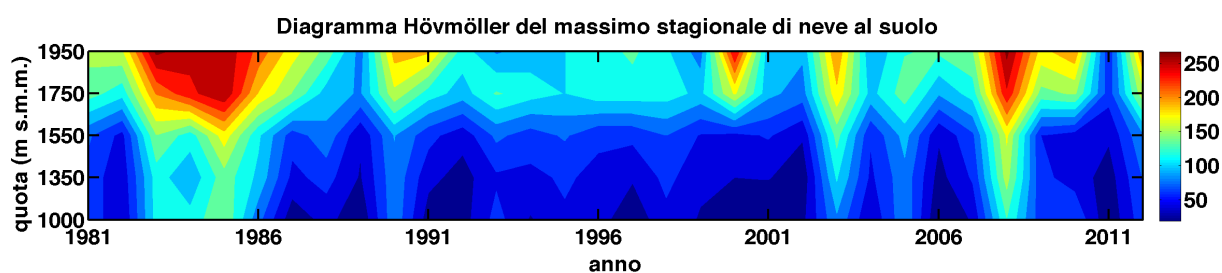


Figura 10 Diagramma di tipo Hövmöller relativo alla massima stagionale di neve al suolo.

L'andamento evidenziato nella figura 10 per i valori di massima stagionale è simile a quanto riportato per i valori di media stagionale di neve al suolo ed anche in questo caso la quota di 1600 m s.m.m. segna un cambiamento nel comportamento.

Andamento quinquennale

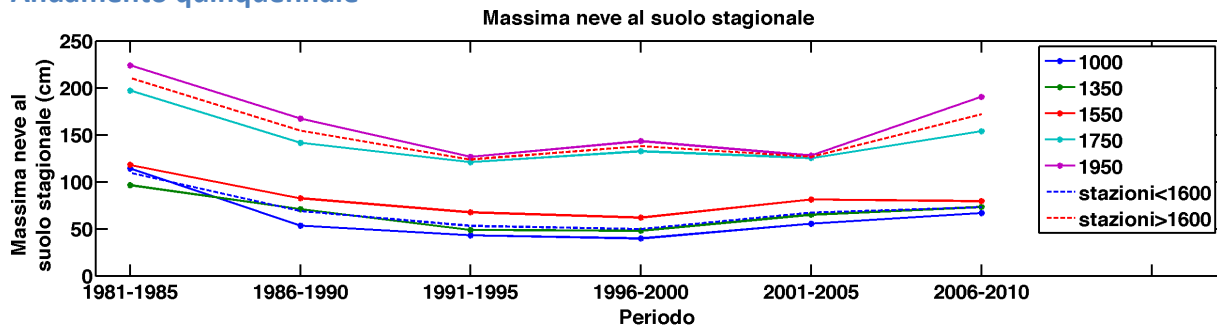


Figura 11 Massima quinquennale (nel quinquennio indicato) dell'altezza di neve al suolo relativa alle stazioni appartenenti a 5 classi di quota indicate nella legenda. Le linee tratteggiate rappresentano le media calcolate su tutte le stazioni al di sotto (linea tratteggiate blu) e al di sopra (linea tratteggiate rossa) di 1600m s.m.m

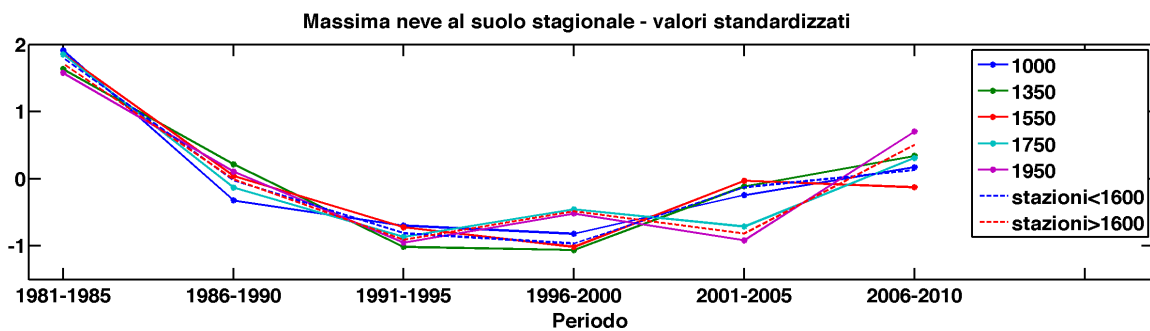


Figura 12 Massima quinquennale (nel quinquennio indicato) dell'altezza di neve al suolo standardizzata relativa alle stazioni appartenenti a 5 classi di quota indicate nella legenda. Le linee tratteggiate rappresentano la media della massima neve al suolo standardizzata calcolata su tutte le stazioni al di sotto (linea tratteggiate blu) e al di sopra (linea tratteggiate rossa) dei 1600m.

Come mostrato nella Figura 11, anche nell'osservazione dei massimi stagionali di neve al suolo nei 5 quinquenni che si individuano a partire dal 1981 (1981-1985, 1986-1990, 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005) si vede una netta differenza della neve al suolo che caratterizza le stazioni poste a quota inferiore rispetto a quelle poste a quota superiore a 1600 m s.m.m.. In termini relativi, l'andamento delle varie stazioni è molto simile fino al quinquennio 1991-1995 (figura 12), mentre si nota una differenza significativa nei quinquenni successivi ed un comune incremento nell'ultimo periodo (a partire dal 2005).

Boxplot

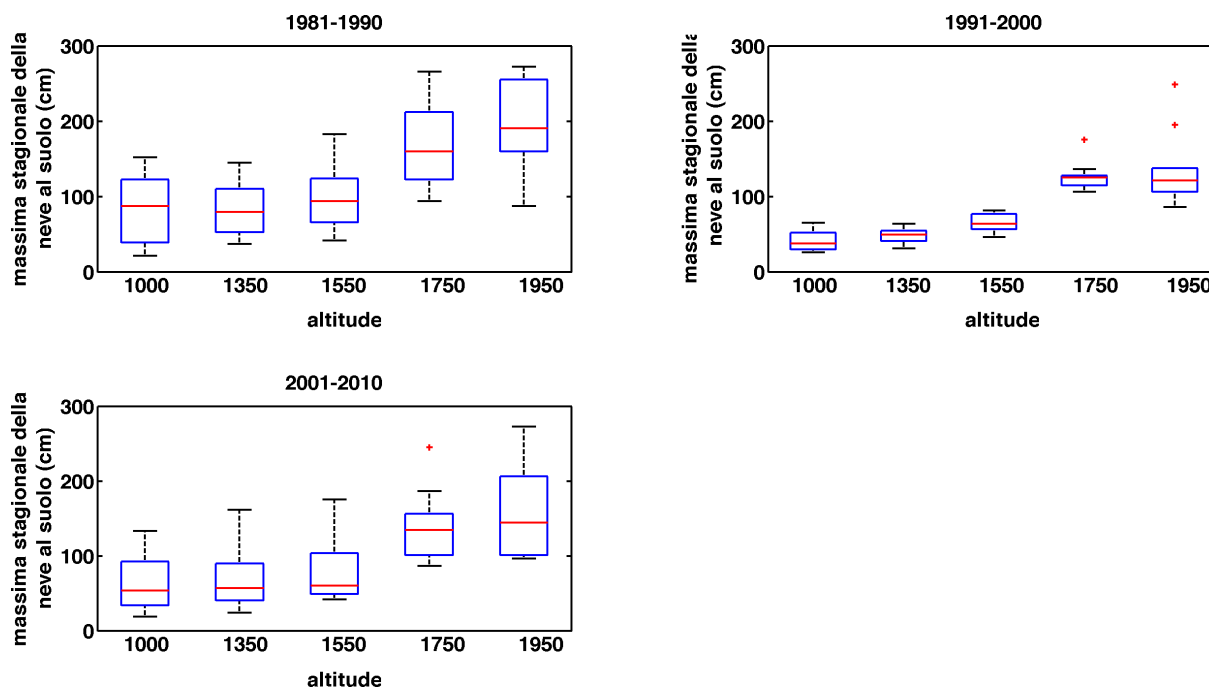


Figura 13 Box plot relativi alla massima stagionale della neve al suolo a diverse quote rispettivamente negli anni '80, '90 e '2000.

I boxplot dei valori massimi stagionali di neve al suolo (Figura 13) evidenziano la differenza di comportamento nei tre decenni presi in esame, con una diminuzione della massima stagionale negli anni '90 e una ripresa negli anni 2000. Inoltre, negli anni '80, appare chiara la differenza di comportamento tra le stazioni poste al sotto e al di sopra dei 1600m s.m.m.. È inoltre evidente una minore variabilità nella distribuzione statistica del dato (estensione in verticale del box) negli anni '90.

Durata della neve al suolo

La durata della neve al suolo è determinata individuando la data di inizio e di fine della copertura nevosa, nel seguente modo:

- INIZIO: il primo giorno della serie con più di un centimetro di neve al suolo che è seguito da almeno 8 giorni consecutivi di valori uguali o maggiori.
- FINE: l'ultimo giorno della serie con almeno un centimetro di neve al suolo che è preceduto da almeno 8 giorni consecutivi di valori uguali o maggiori

Hövmöller

Questa sezione riporta i diagrammi di Hövmöller della durata della neve al suolo.

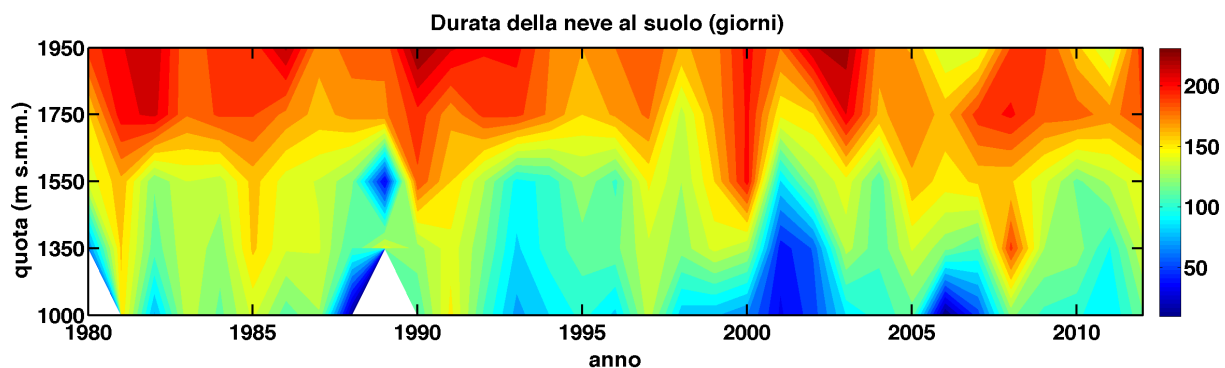


Figura 14 Diagramma di Hövmöller della durata della neve al suolo espressa in giorni.

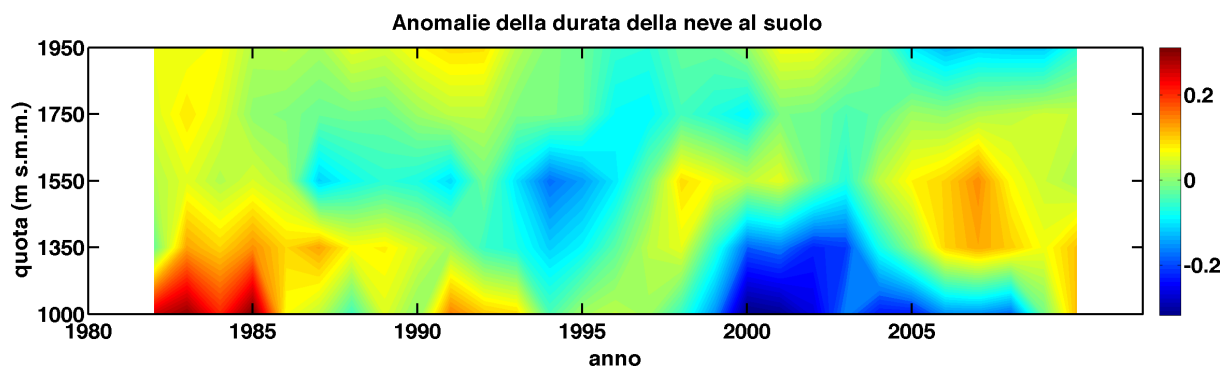


Figura 15 Diagramma di Hövmöller delle anomalie della durata della neve al suolo.

A differenza dell'altezza media di neve al suolo che mostra un brusco cambiamento rispettivamente al di sotto ed al di sopra di 1600 m s.m.m., nel diagramma di Hövmöller della durata della neve al suolo, mostrato nella Figura 14, si osserva un cambiamento più graduale. Ciononostante la durata della neve a quote inferiori a 1200 m s.m.m. è nettamente inferiore alla durata a quote maggiori, specialmente negli anni '90. Inoltre, come è possibile osservare nella Figura 15, in termini di durata del manto nevoso le stazioni a quota inferiore a 1200 m s.m.m. mostrano delle anomalie negative alla fine degli anni '90 e delle anomalie positive nei primi anni '80, mentre la durata della neve al suolo a quote più elevate varia meno nel periodo considerato.

Andamento quinquennale

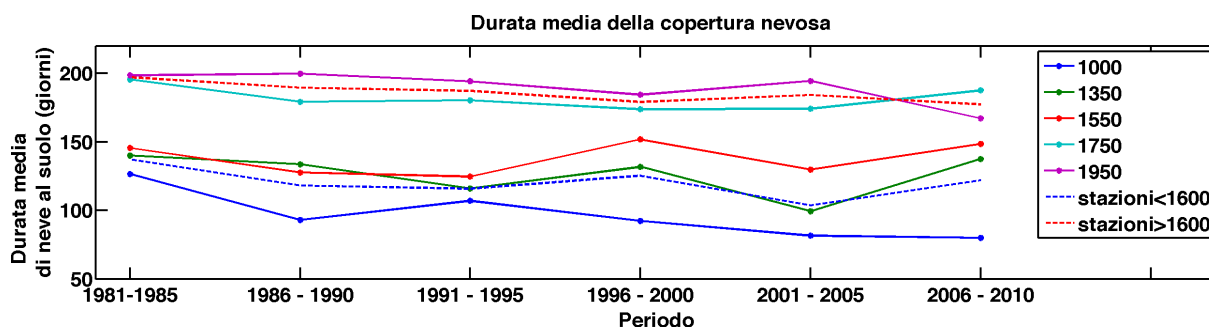


Figura 16 Media quinquennale (nei quinquenni indicati) della durata di neve al suolo rappresentativa delle stazioni appartenenti alle 5 classi di quota indicate nella legenda. Le linee tratteggiate rappresentano la durata media di neve al suolo calcolata con riferimento alle stazioni poste a quota inferiore (linea tratteggiata blu) e superiore (linea tratteggiata rossa) a 1600m s.m.m.

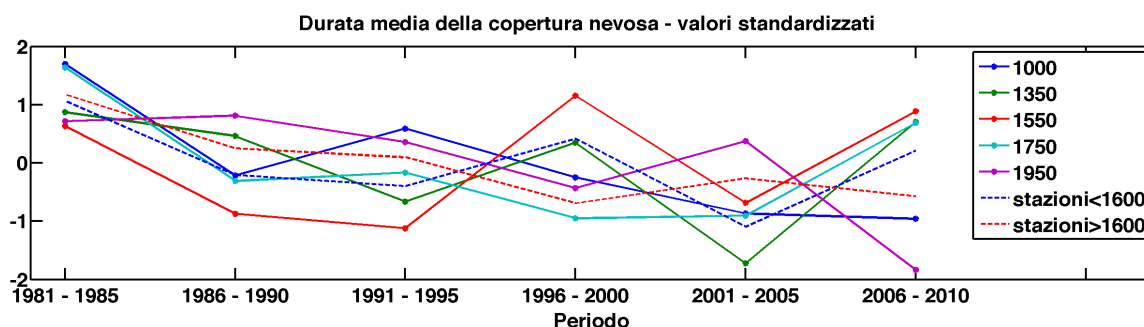


Figura 17 Media quinquennale (nei quinquenni indicati) della durata standardizzata di neve al suolo rappresentativa delle stazioni appartenenti alle 5 classi di quota indicate nella legenda. Le linee tratteggiate rappresentano la media della durata standardizzata di neve al suolo calcolata con riferimento alle stazioni poste a quota inferiore (linea tratteggiata blu) e superiore (linea tratteggiata rossa) a 1600 m s.m.m..

Gli andamenti della durata media della neve al suolo nei 5 quinquenni che si individuano a partire dal 1981 (1981-1985, 1986-1990, 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005) variano in maniera continua con l'aumento della quota (Figura 16). Una riprova di ciò si ha nel confronto dei valori standardizzati mostrati nella Figura 17.

Boxplot

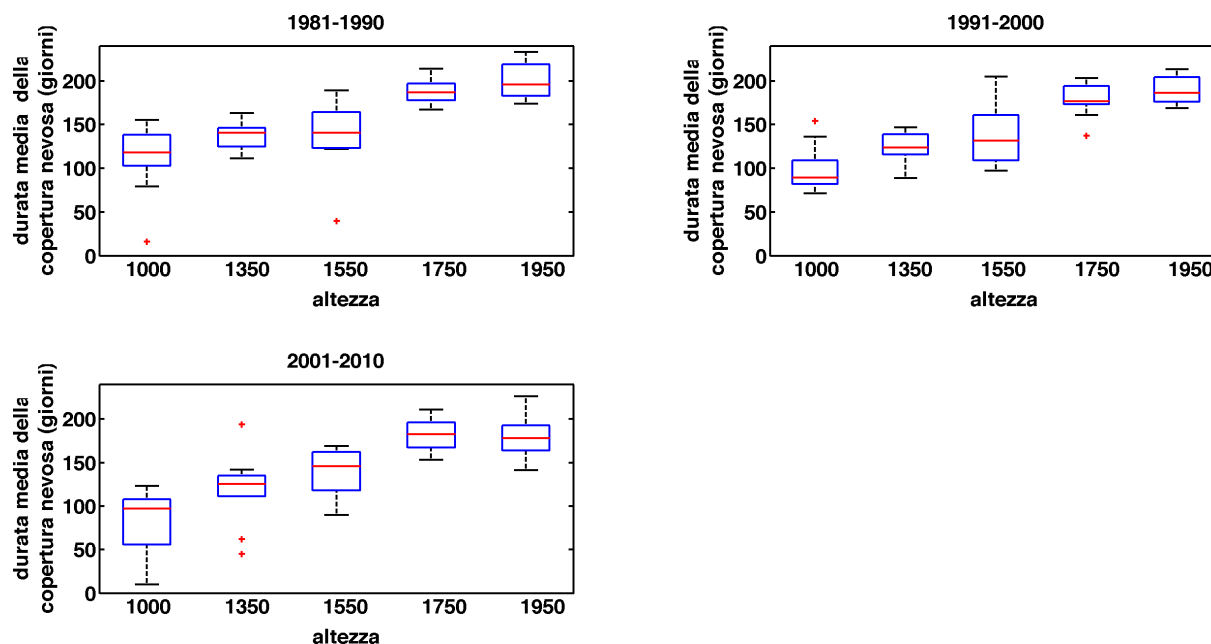


Figura 18 Box plot relativi alla durata media della copertura nevosa a diverse quote rispettivamente negli anni '80, '90 e '2000.

I box plot riportati nella Figura 18 confermano quanto discusso in precedenza. Si nota un incremento graduale con la quota della mediana della durata del manto nevoso. I cambiamenti più importanti si osservano per le stazioni a quota più bassa. La variabilità inter-annuale, così come descritta dall'ampiezza del rettangolo è maggiore per le stazioni poste tra 1450 m s.m.m. e 1650 m s.m.m. e per le stazioni poste a quote più basse di 1250 m s.m.m. negli anni 2000.

Giorni nevosi

I giorni nevosi sono stati calcolati come il numero di incrementi di neve al suolo superiori a 5 cm nel periodo settembre – agosto di due anni consecutivi.

Hövmöller

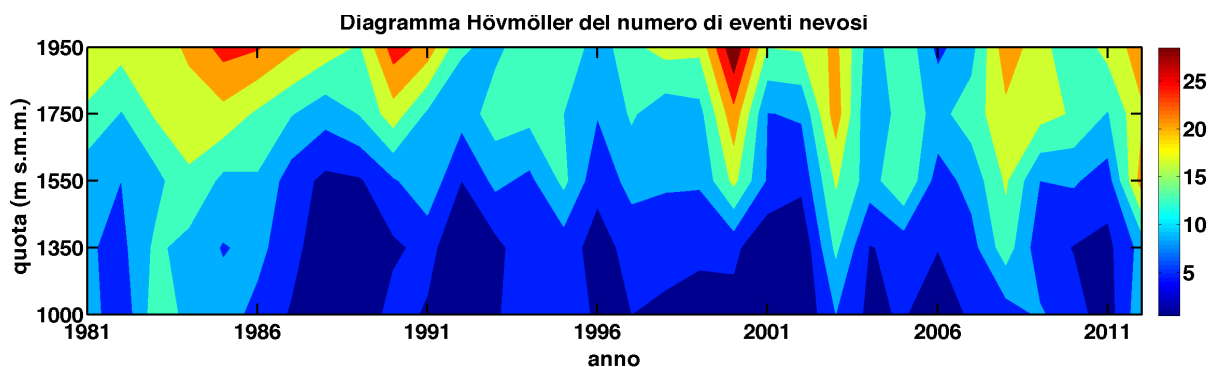


Figura 19 Diagramma di Hövmöller del numero di eventi nevosi in un anno (da settembre ad agosto dell'anno successivo).

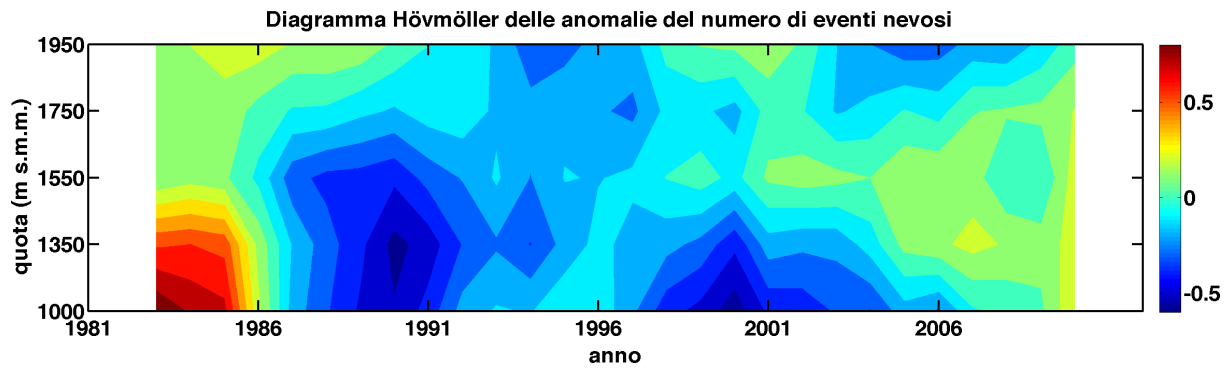


Figura 20 Diagramma di Hövmöller delle anomalie del numero di eventi nevosi in un anno (da settembre ad agosto dell'anno successivo).

Alle quote superiori a 1600 m s.m.m. il numero dei giorni nevosi varia principalmente alle scale temporali contenute (di anno in anno), mentre per le stazioni a quota più bassa si osserva maggiore persistenza e le variazioni si osservano principalmente alle scale temporali lunghe (Figura 19). Infatti, per quanto i giorni nevosi delle stazioni a quota inferiore a 1600 m s.m.m. siano nettamente inferiori a quelli delle stazioni a quota più elevata di 1600 m s.m.m., si osservano anomalie negative all'inizio degli anni '90 e tra la fine degli anni '90 e i primi anni 2000 (Figura 20). Si notano inoltre delle anomalie positive nei primi anni '80.

Andamento quinquennale

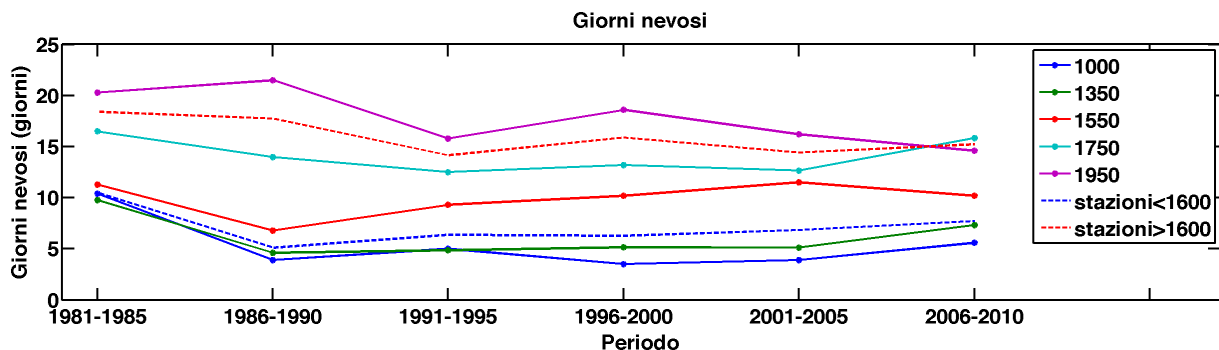


Figura 21 Media quinquennale (nei quinquenni indicati) del numero di giorni nevosi rappresentativa delle stazioni appartenenti alle 5 classi di quota indicate nella legenda. Le linee tratteggiate rappresentano il numero medio di giorni nevosi calcolato con riferimento alle stazioni poste a quota inferiore (linea tratteggiata blu) e superiore (linea tratteggiata rossa) a 1600m s.m.m.

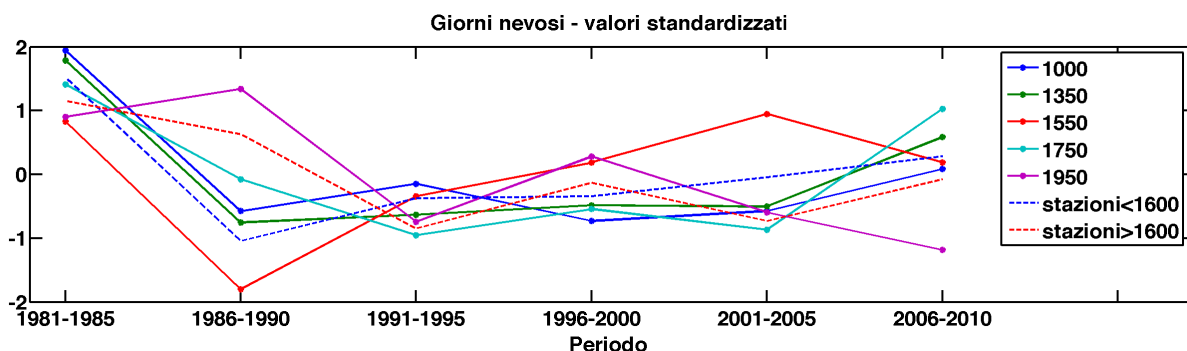


Figura 22 Media quinquennale (nei quinquenni indicati) del numero standardizzato di giorni nevosi rappresentativa delle stazioni appartenenti alle 5 classi di quota indicate nella legenda. Le linee tratteggiate

rappresentano la media del numero standardizzato di giorni nevosi calcolata con riferimento alle stazioni poste a quota inferiore (linea tratteggiata blu) e superiore (linea tratteggiata rossa) a 1600 m s.m.m..

Il numero di giorni nevosi nelle stazioni a quota più bassa è molto simile in tutto il periodo preso in considerazione (Figura 21). Alle quote maggiori di 1400 m s.m.m. si nota un cambiamento graduale fino al raggiungimento dei valori caratteristici delle quote più elevate. La Figura 22 ripete la Figura 21, ma con riferimento al numero di giorni nevosi standardizzati, definiti come la differenza fra il numero di giorni nevosi e la media diviso per la deviazione standard. La standardizzazione pone in evidenza andamenti simili in tutto il periodo d'osservazione, ad esclusione del quinquennio 1986-1990 nel quale si osserva una maggiore differenziazione con la quota.

Boxplot

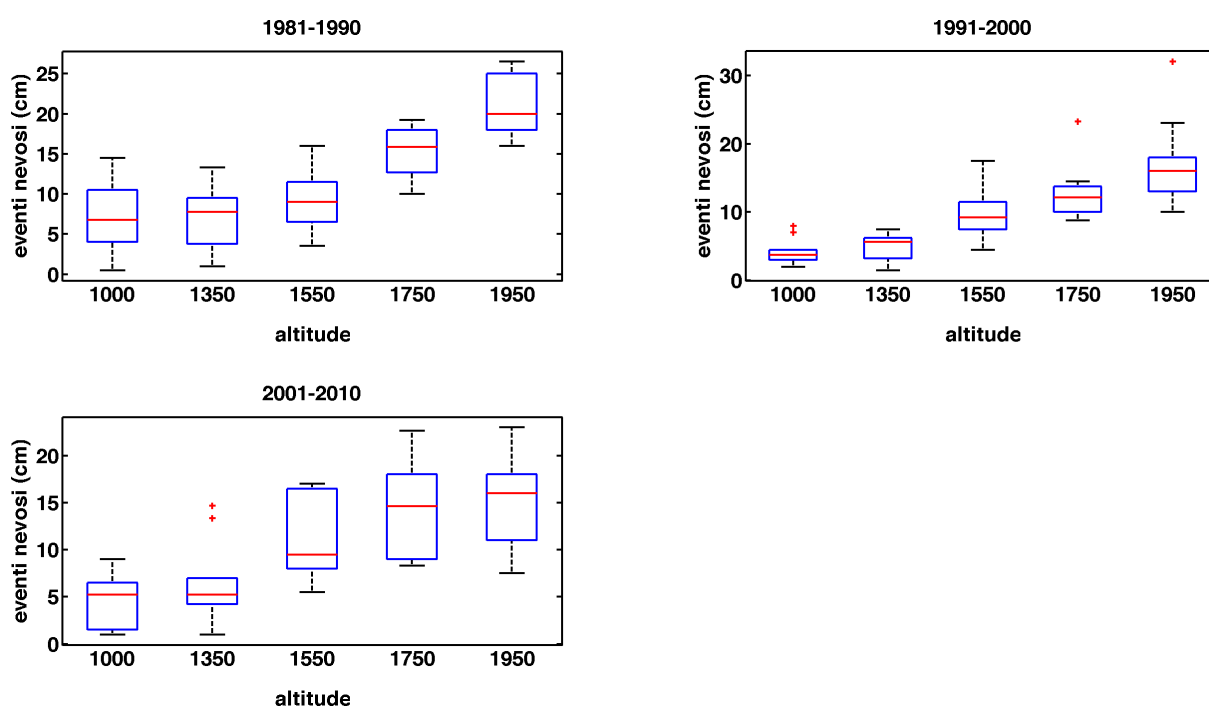


Figura 23 Box plot relativi al numero medio di eventi nevosi a diverse quote rispettivamente negli anni '80, '90 e '2000.

Nella Figura 23 si ritrova la crescita graduale del numero di giorni nevosi a partire dalla quota di 1400 m s.m.m. circa, già osservata nella Figura 21. Si nota inoltre come già osservato in precedenza per altre variabili, una ridotta variabilità dei dati negli anni '90 rispetto agli altri periodi.

Cumulata

I valori di neve cumulata vengono calcolati come somma degli incrementi positivi della neve al suolo nel periodo compreso tra il 1 settembre ed il 31 agosto di due anni successivi.

Hövmöller

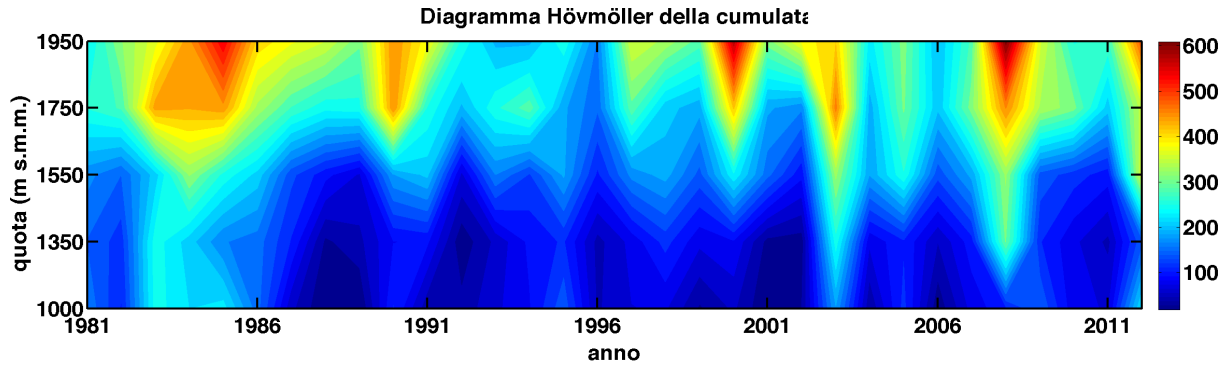


Figura 24 Diagramma di Hövmöller della cumulata annuale di neve al suolo.

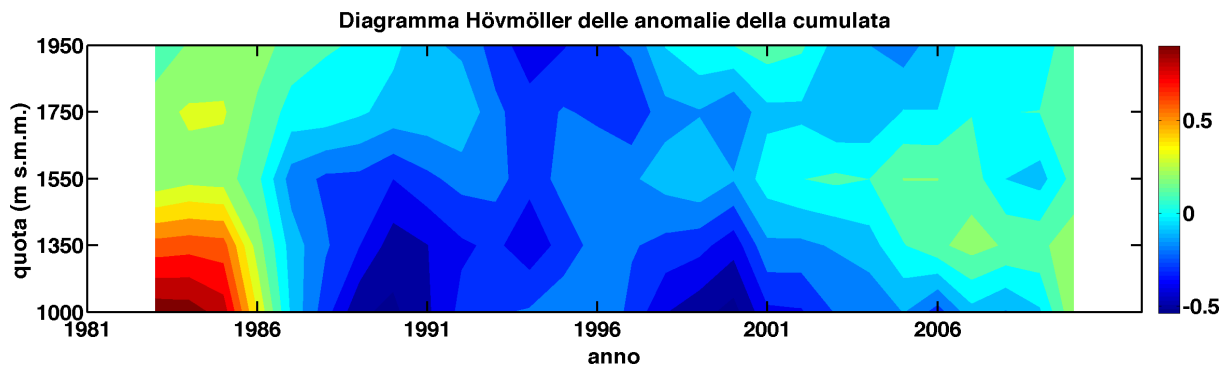


Figura 25 Diagramma di Hövmöller delle anomalie della cumulata di neve al suolo.

La figura 24 mostra una netta differenza nella cumulata annuale fra le stazioni a bassa (sotto i 1600 m s.m.m.) ed alta (sopra 1600 m s.m.m.) quota. A tutte le quote si ritrovano delle anomalie negative negli anni '90 (Figura 25), più marcate e prolungate al di sotto dei 1600 m s.m.m., dove si osservano anche della anomalie positive nei primi anni '80.

Andamento quinquennale

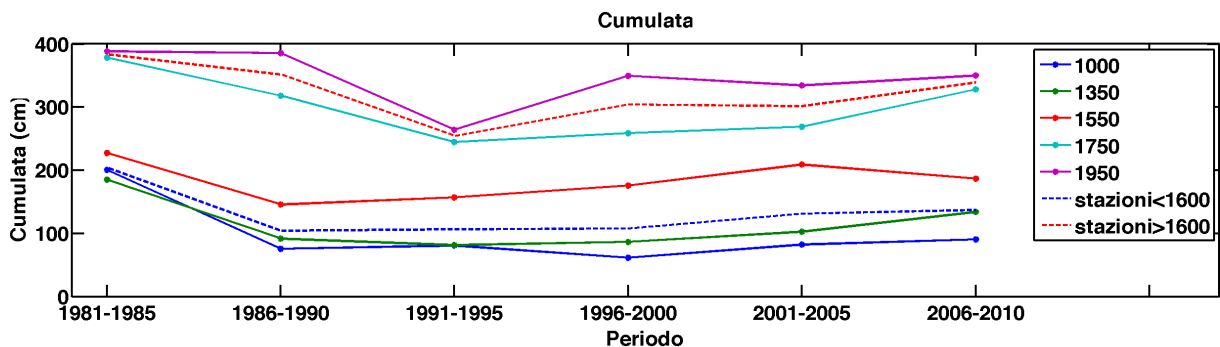


Figura 26 Media quinquennale (nei quinquenni indicati) dei valori medi di cumulata di neve al suolo rappresentativa delle stazioni appartenenti alle 5 classi di quota indicate nella legenda (per altezza rappresentativa si intende la media delle altezze nelle stazioni appartenenti alla stessa classe di quota). Le linee tratteggiate rappresentano le medie calcolate su tutte le stazioni al di sotto (linea tratteggiate blu) e al di sopra (linea tratteggiate rossa) di 1600m s.m.m

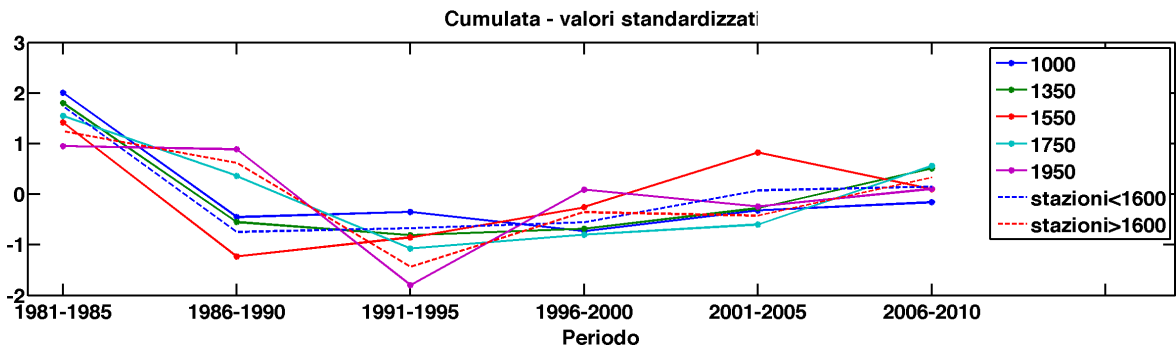


Figura 27 Media quinquennale (nei quinquenni indicati) dei valori standardizzati della cumulata rappresentativi delle stazioni appartenenti alle 5 classi di quota indicate nella legenda (per altezza rappresentativa si intende la media delle altezze nelle stazioni appartenenti alla stessa classe di quota). Le linee tratteggiate rappresentano le medie calcolate su tutte le stazioni al di sotto (linea tratteggiate blu) e al di sopra (linea tratteggiate rossa) di 1600m s.m.m..

Nella Figura 26 si osserva molto chiaramente un maggiore gradiente della cumulata con la quota nell'intervallo fra 1550 m s.m.m. e 1750 m s.m.m. che fra 1750 e 1950. La cumulata standardizzata, invece, essendo attraverso l'operazione di standardizzazione depurata dall'effetto della media, mostra minore variabilità con la quota ad esclusione del quinquennio 1986-1990 (Figura 27).

Boxplot

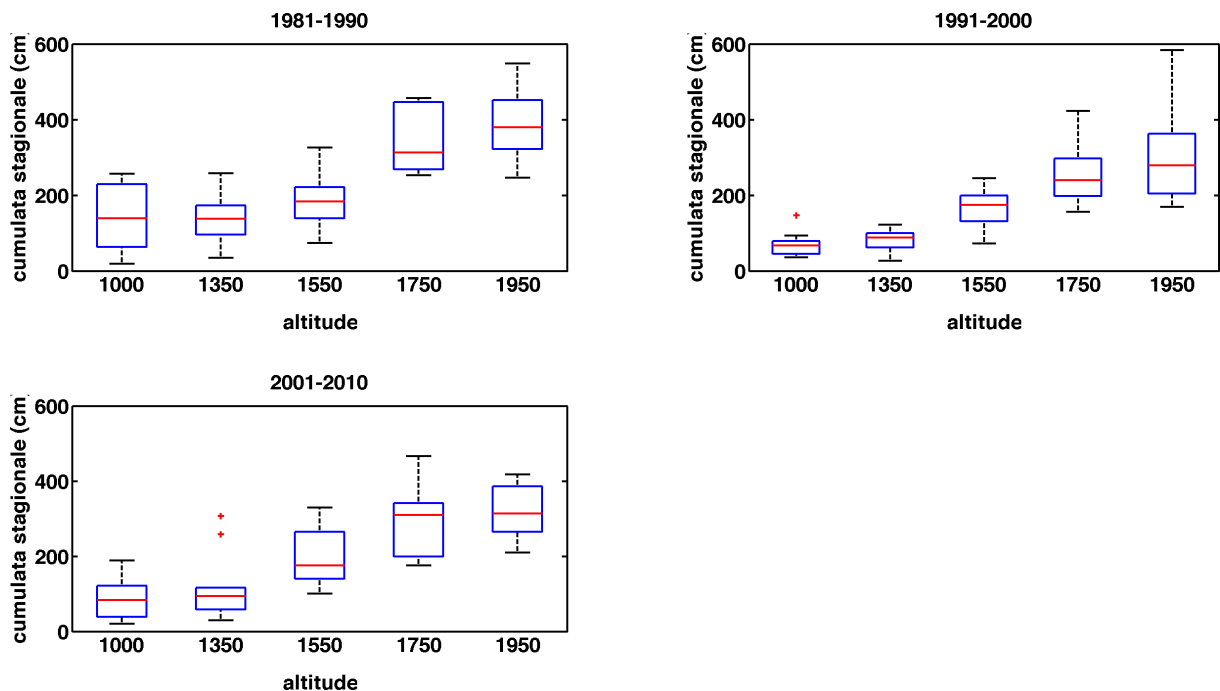


Figura 28 Boxplot relativi alla cumulata a diverse altezze rispettivamente negli anni '80, '90 e 2000.

Anche i box plot evidenziano un comportamento differenziato alle quote superiori a 1600 m s.m.m., rispetto a quanto si osserva per le quote inferiori. Nuovamente si nota una maggiore variabilità (testimoniata dall'altezza maggiore dei rettangoli) sia alle quote basse che alle quote elevate nel periodo 1981-1990 e minore variabilità nel periodo 1991-2000. Fanno eccezione a questa regola le quote attorno ai 1550 m s.m.m

per le quali la variabilità è simile nei periodi 1981-1990 e 1991-2000 per poi aumentare nel periodo successivo (Figura 28).

Dipendenza delle grandezze osservate con la quota

Altezza – Media stagionale

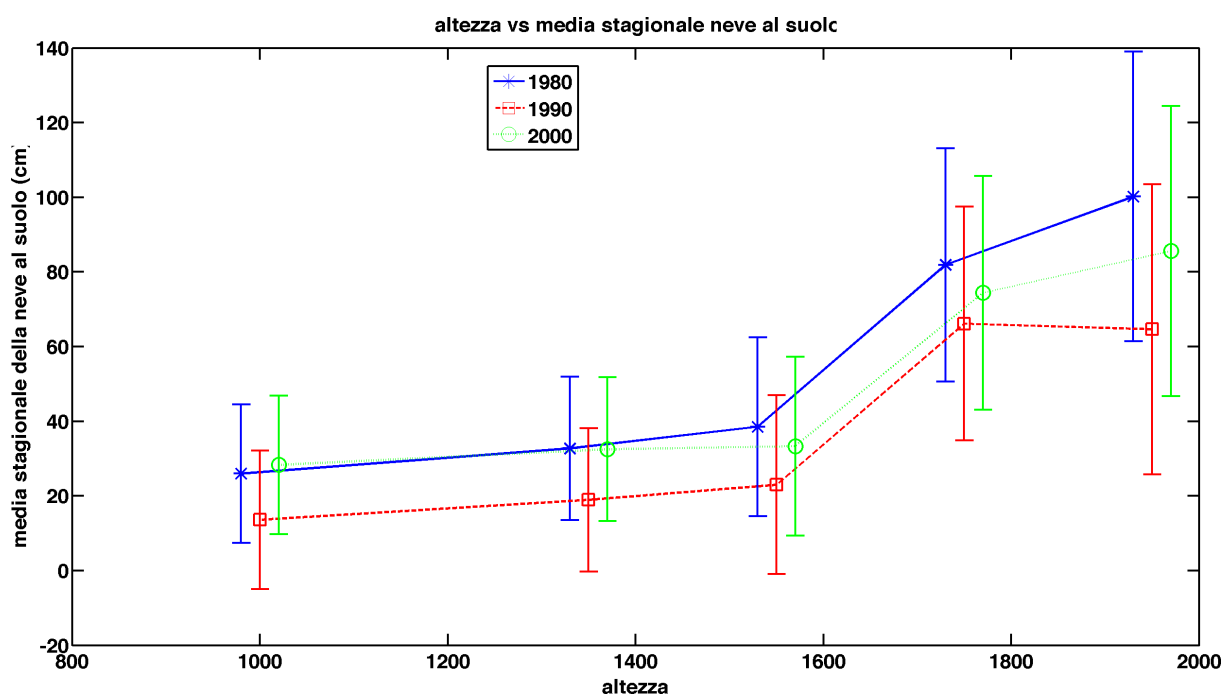


Figura 29 Media stagionale di altezza di neve al suolo in funzione della quota nei periodi 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010.

La Figura 29, oltre ad evidenziare un brusco incremento dell'altezza media di neve al suolo fra 1550 e 1750 m s.m.m. mostra una riduzione a tutte le quote dell'altezza media di neve al suolo nel periodo 1991-2000, ed una successiva ripresa negli anni successivi, che appare completa (cioè tale da raggiungere valori paragonabili a quelli del periodo 1981-1990) solo alle quote inferiori. Il recupero appare modesto, ancorché apprezzabile alle quote intermedie (1550 e 1750 m s.m.m.)

Altezza – Massima stagionale

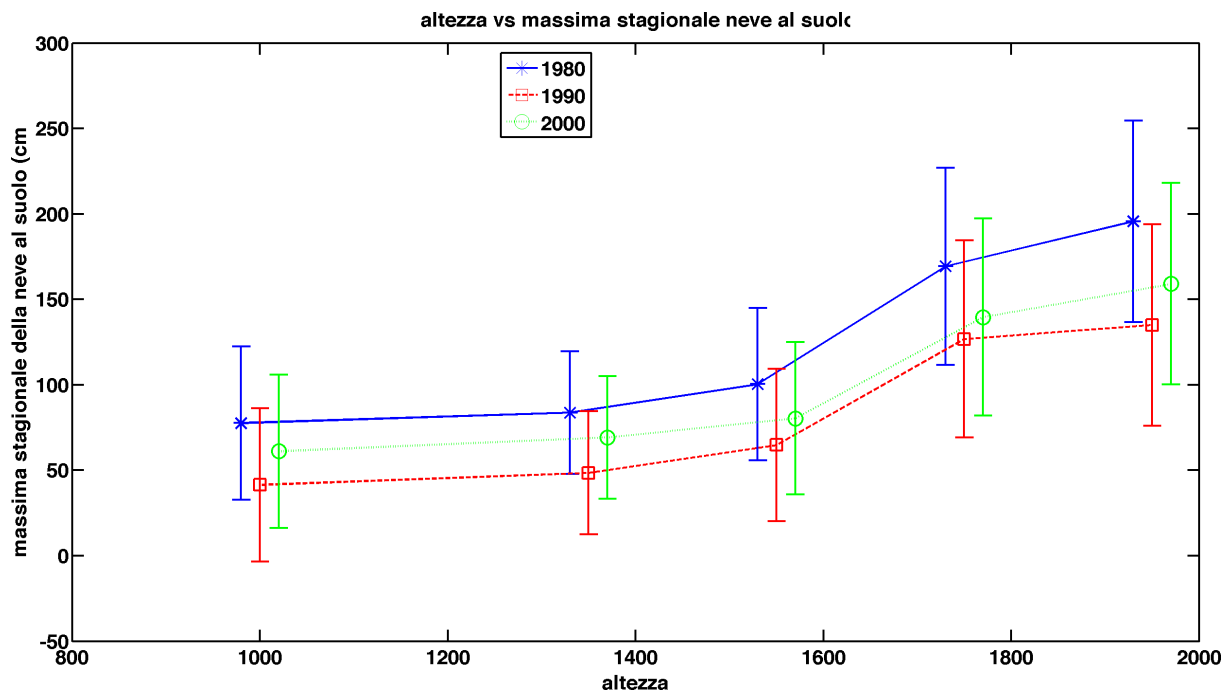


Figura 30 Grafico della massima stagionale di neve al suolo in funzione dell'altezza nei periodi 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010.

La massima stagionale (Figura 30), come la media stagionale di neve al suolo, evidenzia ancora una volta la differenza di comportamento delle stazioni a quota inferiore e superiore a 1600 m s.m.m.. Anche per questa grandezza caratteristica si osserva una marcata riduzione nel periodo 1981-1990, mentre la ripresa nel periodo successivo (1991-2000) appare molto più contenuta rispetto a quanto osservato nella Figura 29 per la media stagionale.

Altezza – Durata neve al suolo

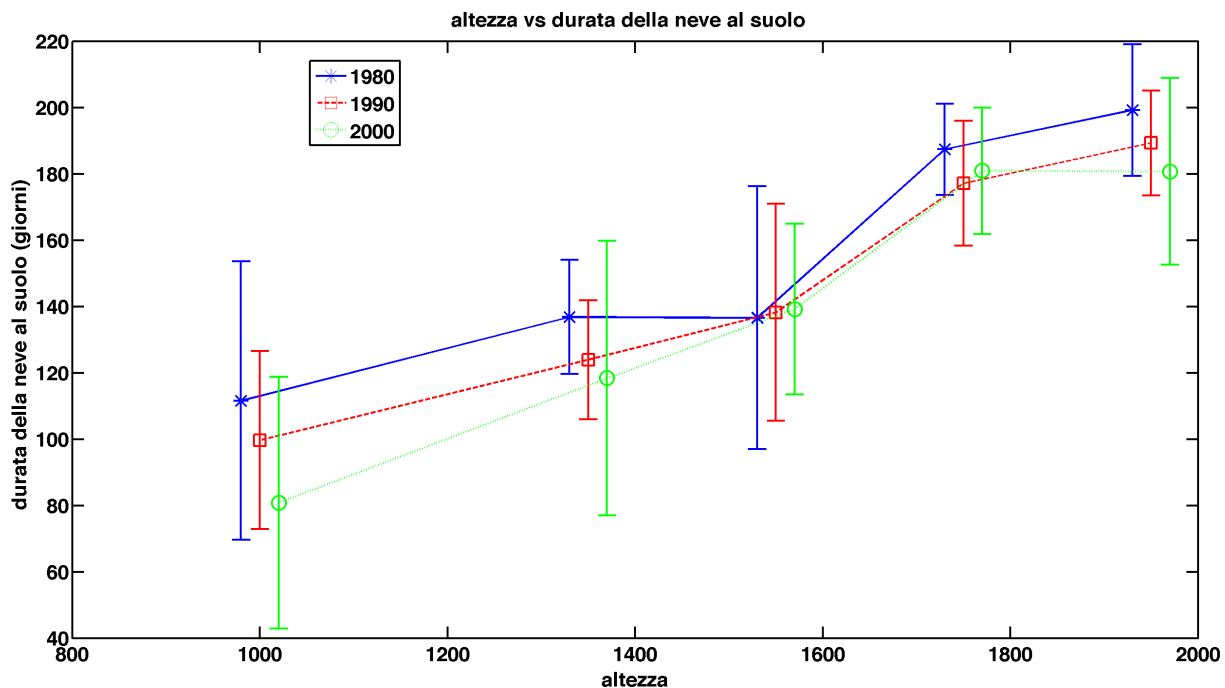


Figura 31 Durata della neve al suolo in funzione della quota nei periodi nei periodi 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010.

A differenza dell'altezza media e della massima stagionali di neve al suolo, la durata della neve al suolo (Figura 31) non mostra un incremento repentino alle quote intermedie. Anche per la durata della neve al suolo si osserva una riduzione nel periodo 1991-2000, rispetto al decennio precedente, ma meno significativa. Inoltre mentre nel periodo 2001-2010 nulla cambia alle quote superiori a 1600 m s.m.m., alle quote inferiori si osserva una ulteriore diminuzione che si riduce di entità all'aumentare della quota. Si nota quindi una continua e marcata riduzione dei giorni di neve al suolo alle quote attorno a 1000 m s.m.m., che si attenua con la quota fino ad annullarsi a 1550 m s.m.m., per poi accentuarsi nuovamente alle quote superiori.

Altezza – Giorni nevosi

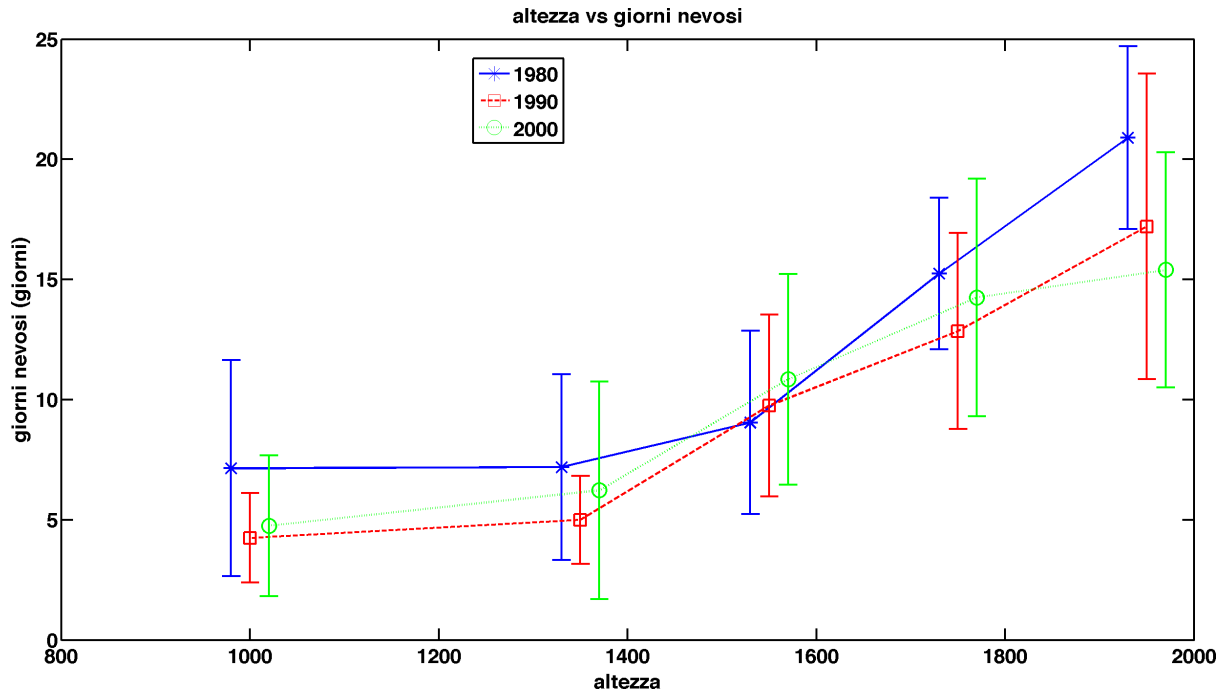


Figura 32 Numero di giorni nevosi stagionali in funzione della quota nei periodi 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010.

E' interessante osservare nella Figura 32 come il numero di giorni nevosi sia insensibile alla quota fino a circa 1400 m s.m.m. per poi aumentare alle quote superiori. Si nota una netta riduzione dei giorni nevosi nel periodo 1991-2000 sia a bassa quota (inferiore a 1400 m s.m.m. circa) ed ad alta quota (superiore a 1750 m s.m.m.) ed un comportamento meno chiaro alle quote intermedie.

Altezza – Cumulata

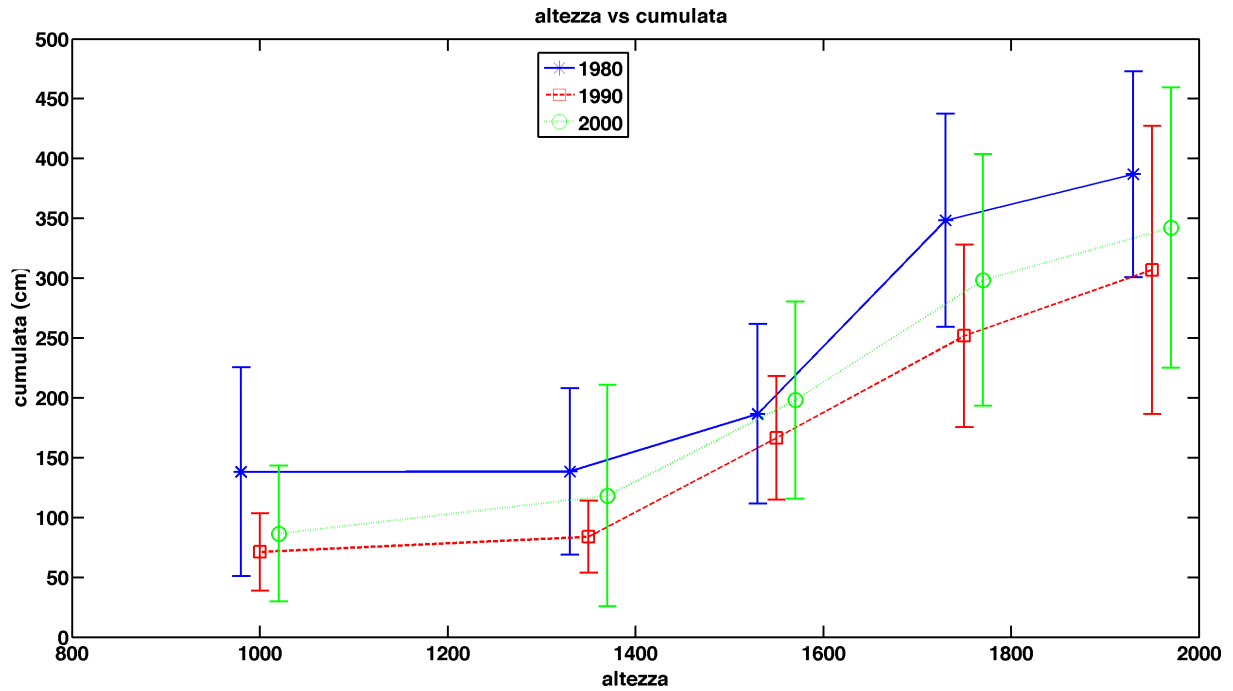


Figura 33 Cumulata di neve al suolo in funzione della quota nei periodi 1981-1990, 1991-2000 e 2001-2010.

L'andamento della cumulata annuale è del tutto simile all'andamento del numero di giorni nevosi (Figura 33).

Diagramma Hövmöller serie lunghe

Le figure 34 e 35 mostrano i diagrammi Hövmöller di serie particolarmente lunghe (rispettivamente tra il 1911 ed il 2013 e il 1980 ed il 2013) a diverse quote altimetriche (circa 1500 m s.m.m. o circa 2000m s.m.m.). L'analisi dei diagrammi mostra come le serie situate a 1500 m s.m.m. siano più variabili delle serie sopra i 2000 m s.m.m. e come gli anni '50 e gli anni '90 rappresentino decenni caratterizzati da copertura nevosa particolarmente carente.

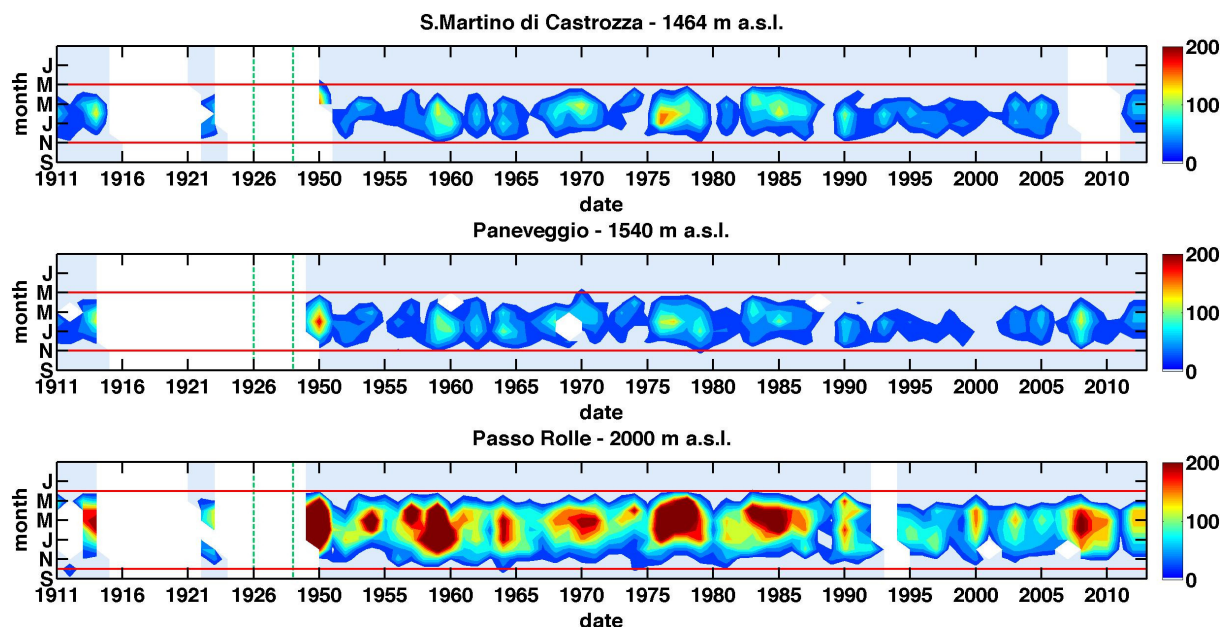


Figura 34 Questi diagrammi di tipo Hövmöller mostrano le medie mensili di neve al suolo registrate nei siti di S. Martino di Castrozza, Paneveggio e Passo Rolle. Per chiarezza, si è preferito escludere da questa rappresentazione un lungo periodo nel quale nessuna di queste stazioni aveva riportato dei dati, indicato in figura con due linee verdi verticali tratteggiate.

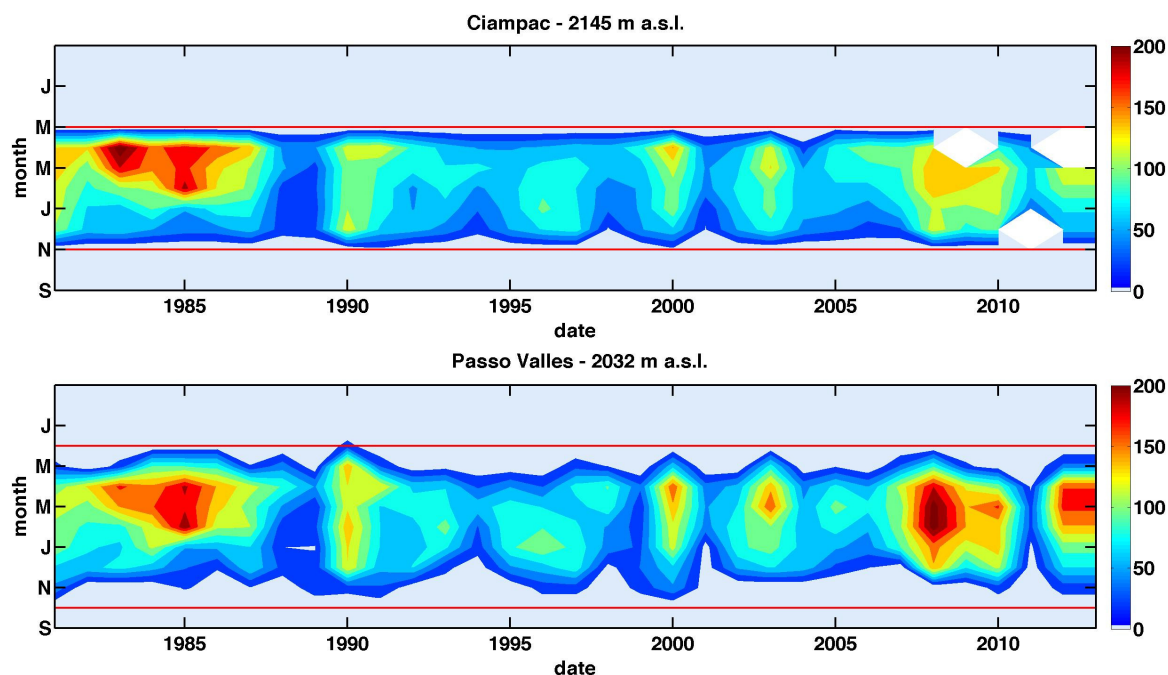


Figura 35 Diagramma di tipo Hövmöller relativo ai siti Ciampac e Passo Valles.

Test di Automogeneità

Il test di automogeneità di seguito riportato si basa sull'analisi della cosiddetta serie T, che viene calcolata nel seguente modo (vedasi report interno "Ricostruzione delle serie storiche dei dati di neve al suolo del Trentino" Marcolini G., Chiogna G. e Bellin A., 2014):

- sia X la serie di cui si vuole studiare l'automogeneità;
- sia Y la serie X standardizzata, ovvero $Y_i = (X_i - \bar{X})/\sigma_X$, dove l'indice i indica la data cui si riferisce il dato, \bar{X} e σ_X sono rispettivamente la media e la deviazione standard della serie temporale X ;
- la serie T viene calcolata come $T_i = i\bar{Y}_1 + (n - i)\bar{Y}_2$, dove l'indice i indica la data cui si riferisce il dato, n è la lunghezza della serie Y e \bar{Y}_1 e \bar{Y}_2 sono rispettivamente la media della serie Y fino alla data i e dopo la data i .

Lo scopo della serie T è sostanzialmente quello di valutare la differenza delle medie prima e dopo una certa data i in modo da poter evidenziare dove questa sia maggiore.

Negli esempi riportati nella Figura 36 si vedono alcuni picchi verso la fine degli anni '80 e verso il 2005, che potrebbero essere un'ulteriore conferma di quanto osservato in precedenza. In pochi casi però, questi picchi superano la linea rossa che indica la soglia oltre la quale è possibile stabilire statisticamente la presenza di un'effettiva discontinuità nella serie temporale.

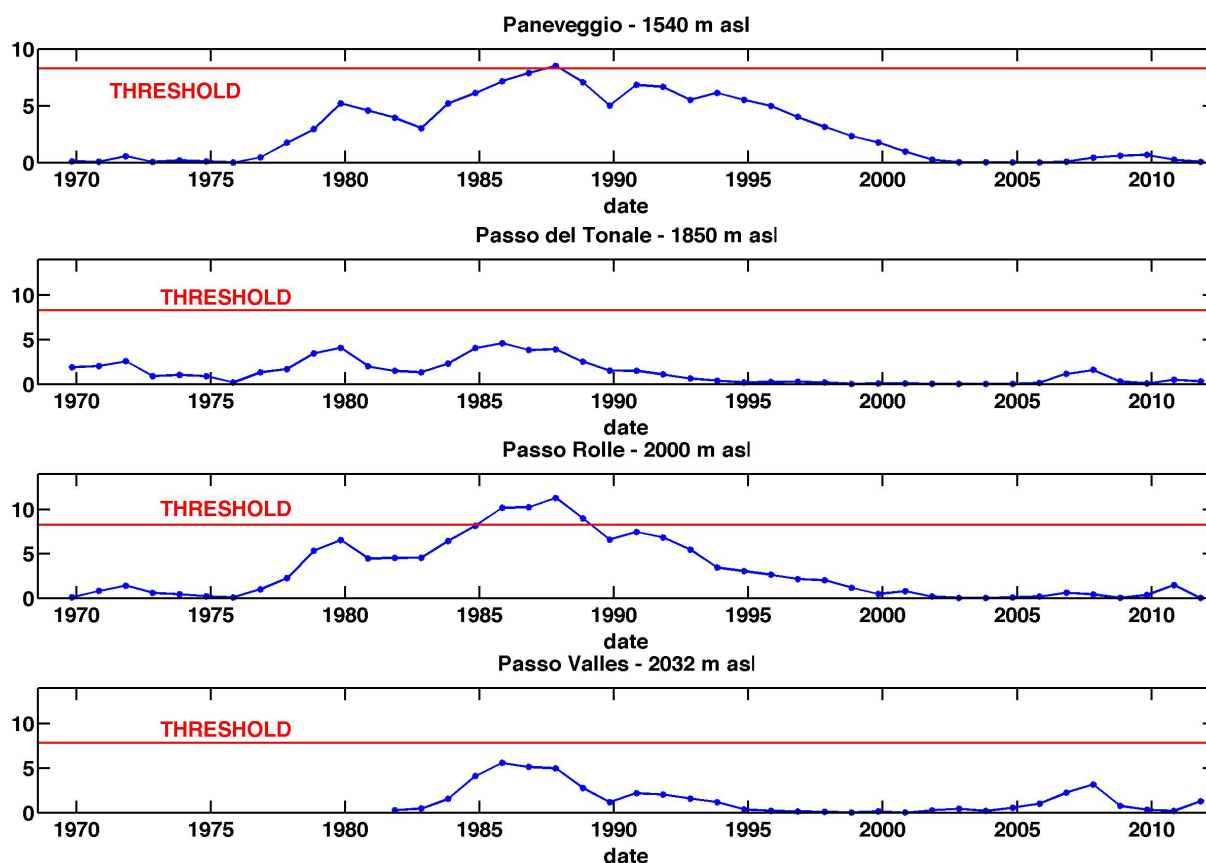


Figura 36 Esempi di serie T per siti a diverse quote tra i 1500 m e i 2032 m.

Casi particolari

Alcune stazioni hanno mostrato un comportamento particolarmente complesso che ha richiesto un trattamento ad hoc.

Malga Bissina

I dati di neve storici relativi a questa stazione sono traslati indietro di alcuni mesi nel periodo dal 1996/7 al 2001/02, come mostrato in figura 37. Per questo motivo tali dati sono stati rimossi.

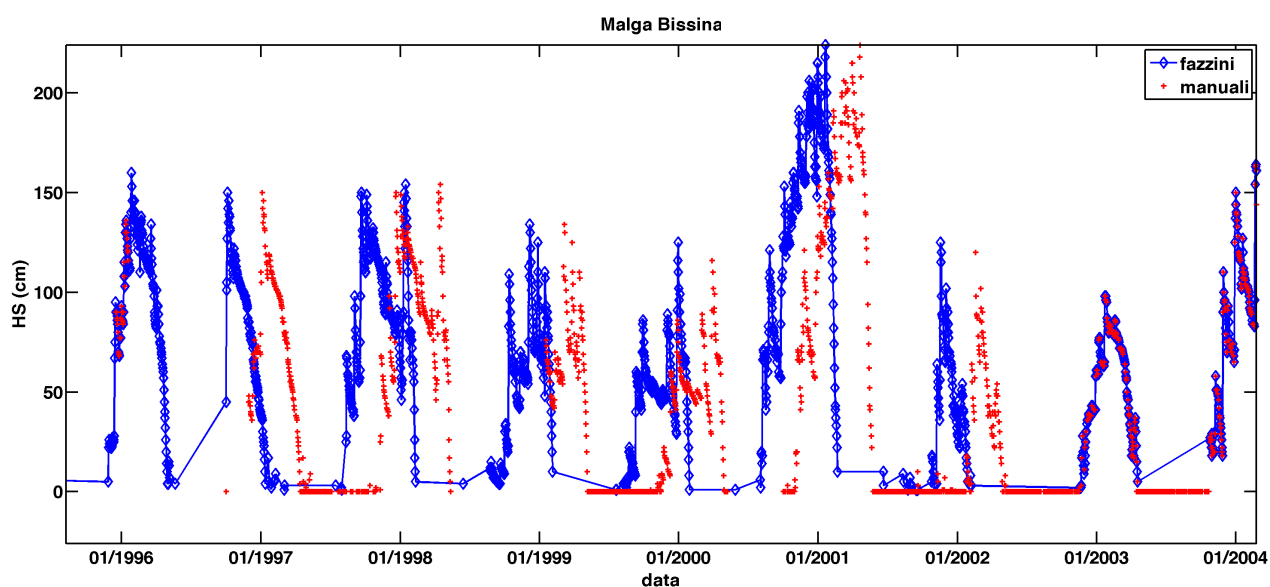


Figura 37 Confronto dei dati storici della stazione di Malga Bissina con quelli rilevati manualmente nella stessa stazione. Si nota la traslazione dei dati storici rispetto a quelli manuali nel periodo 1996-2002 ed un completo accordo negli altri periodi.

Passo Fedaia – Peio Paese

Entrambi questi siti sono composti anche da dati di stazioni storiche. In particolare la stazione storica 623 (dati dal 1911 al 1990) fa parte del sito di Peio Paese e la stazione storica 638 (dati dal 1950 al 1990) fa parte del sito di Passo Fedaia. Le due serie sono identiche a partire dal 31/12/1950, evidenziando quindi un possibile errore di trascrizione.

Marmolada e Grosté

In questi due siti è stato effettuato il merge tra dati manuali e dati storici. Da una seconda analisi è però risultato che i dati delle due stazioni non sono consistenti tra loro. Per questo motivo è stata generata per ognuna di queste due stazioni una serie con soli dati automatici, indicati con gli ID 471 (Marmolada) e 381 (Grosté). I dati del sito 471 sono stati a loro volta corretti, ma per via dell'altezza cui è posto questo sito non è stato

possibile fare un confronto con stazioni in un raggio di 100km e con una differenza di quota di meno di 200m. Per questo motivo sono stati effettuati solamente i controlli indicati nella sezione “Controllo secondo Terzago et al. (2013)” e poi sono stati eliminati degli outliers che eccedevano addirittura i 750 cm e che erano quindi evidentemente errati.

Folgaria – Passo Sommo

Nonostante la stazione automatica e la stazione manuale si trovino nello stesso posto, in alcuni anni i dati delle due fonti non sono consistenti tra loro. In tali anni i dati presentano differenze visibili osservando la serie, ma che non vengono rilevati dai controlli introdotti in quanto non si trovano delle differenze superiori ai 30cm. Si è deciso perciò di lasciare la serie nel suo stato attuale.

Caoria

In alcune stagioni i dati manuali e storici presentano delle differenze. Esse sono chiaramente visibili nella stagione 1981/1982. Anche in questo caso, essendo le differenze inferiori ai 30 cm si è deciso di mantenere la stazione nello stato attuale. Tuttavia, nell’analisi del numero di giorni nevosi e della neve cumulata di questa serie, abbiamo eliminato i dati storici della stagione 1981/82.