

La neve sulle Alpi Piemontesi

Quadro conoscitivo aggiornato al cinquantennio 1961-2010

PROGETTO E COORDINAMENTO GENERALE:

Secondo Barbero

Arpa Piemonte, Dipartimento Sistemi Previsionali

AUTORI:

Mattia Faletto, Maria Cristina Prola

Arpa Piemonte, Dipartimento Sistemi Previsionali

Fiorella Acquavota, Simona Fratianni, Silvia Terzago

Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra

FOTOGRAFIE IN COPERTINA

Archivio Arpa Piemonte

IMPAGINAZIONE

Marcopolo srl, Torino

Finito di stampare nel mese di luglio 2013 presso la tipografia
Grafica Reventino Srl, Decollatura (CZ)

respecta100

Stampato su carta certificata FSC® recycled credit,
con un contenuto di fibre riciclate del 100%

ISBN 978-88-7479-123-1

©2013, Arpa Piemonte

Via Pio VII, 9 – 10135 Torino – Italia

www.arpa.piemonte.it

PROGETTO COFINANZIATO:



LE OPPORTUNITÀ NON HANNO CONFINI

INDICE

Introduzione	5
1. Contesto geografico e climatico.....	6
2. Stazioni di misura e metodi di rilevamento.....	7
2.1 Localizzazione	7
2.2 Grandezze considerate	11
2.3 Tipologia di misura.....	11
2.4 Consistenza dei dati.....	14
2.5 Metodi di trattamento dei dati	18
2.5.1 Digitalizzazione, controllo della qualità delle Stazioni manuali (SNT)	18
2.5.2 Validazione ed archiviazione dei dati delle Stazioni automatiche (SNA).....	22
2.5.3 Differenze tra stazioni manuali e automatiche	22
3. Analisi dei dati e risultati	25
3.1 Temperature.....	25
3.1.1 Temperatura massima.....	25
3.1.2 Temperatura minima	26
3.1.3 Giorni senza disgelo	28
3.1.4 Giorni di gelo	28
3.2 Neve	28
3.2.1 Altezza di neve fresca	28
3.2.2 Analisi statistica di distribuzione dell'altezza di neve fresca	29
3.2.3 Regime nivometrico	31
3.2.4 Spessore del manto nevoso.....	34
3.2.5 Analisi statistica di distribuzione dello spessore del manto nevoso	35
3.2.6 Giorni con precipitazione nevosa.....	37
3.2.7 Analisi statistica di distribuzione dei giorni nevosi	39
3.2.8 Giorni con copertura nevosa.....	39
3.2.9 Analisi statistica di distribuzione dei giorni con copertura nevosa.....	41
3.2.10 Spessore massimo del manto nevoso	43
3.2.11 Valori di probabilità di diverse altezze di neve al suolo per fasce altimetriche	43
3.3 Correlazione con la quota.....	44
3.3.1 Distribuzione regionale delle precipitazioni nevose	46
4. Evoluzione negli ultimi 50 anni dell'innevamento e delle precipitazioni nevose	48
4.1 Indice di anomalia standardizzata	48
4.1.1 Anomalie dell'altezza di neve al suolo.....	48
4.1.2 Anomalia dell'altezza di neve fresca.....	49

4.1.3	Anomalia dei giorni nevosi	50
4.1.4	SAI giorni con copertura nevosa.....	51
4.1.5	Anomalia delle temperature.....	52
4.2	Trend.....	53
4.2.1	Neve fresca.....	53
4.2.2	Neve al suolo	54
4.2.3	Giorni nevosi.....	55
4.2.4	Giorni con copertura nevosa.....	56
4.2.5	Spessore massimo manto nevoso	56
4.2.6	Temperature massime e minime.....	57
5.	Rischio valanghivo.....	60
5.1	Incremento neve fresca sui 3 giorni.....	61
5.2	Casi critici nivometrici.....	61
5.3	Tempi di ritorno	62
	Ringraziamenti	66
	Bibliografia	67
	Tabelle allegate	69

Introduzione

Il servizio nivologico regionale, affidato ad Arpa Piemonte, garantisce fin dal 1983 la raccolta e l'elaborazione dei dati nivometeorologici sul territorio regionale al fine di fornire un quadro aggiornato sulle caratteristiche dell'innevamento nell'ambiente alpino del Piemonte. La rete di rilevamento nivometrico è organizzata e gestita per la raccolta sistematica di dati rilevati secondo standard definiti e condivisi da parte delle amministrazioni regionali dell'arco alpino italiano aderenti all'AINEVA (Associazione Interregionale Neve e Valanghe).

Questo volume riprende il precedente studio "Le precipitazioni nevose sulle Alpi Piemontesi - Trentennio 1966-1996" pubblicato dalla Regione Piemonte nel 1998 estendendo il periodo analizzato al cinquantennio 1961-2010 con un approfondimento al periodo 1933-2010 per un sottoinsieme di stazioni. Utilizzando poi anche i dati raccolti dalle stazioni nivometriche automatiche, che assicurano una buona distribuzione spaziale ed altimetrica dei punti di misura, è stato possibile valutare meglio la variabilità spazio-temporale dell'estensione della copertura nevosa.

Il lavoro è frutto di una collaborazione scientifica tra Arpa Piemonte ed il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino con l'obiettivo principale di favorire e far progredire l'attività di recupero ed interpretazione dei dati nivo-meteorologici di lungo periodo, per sviluppare serie complete, omogenee, affidabili e di elevata qualità che permettano di disporre di una grande quantità di informazioni sul cambiamento climatico in atto.

Infatti, il ricco patrimonio di lunghe serie di dati nivometrici risulta oggi ancora poco esplorato, nonostante gli sforzi profusi nell'accurato monitoraggio dell'atmosfera e l'attuale urgenza di individuare, comprendere, prevedere e reagire alla variabilità ed al cambiamento climatico globale ed al conseguente impatto sui fragili socio-ecosistemi dell'ambiente alpino. I dataset recuperati e ricostruiti non hanno quindi solamente valore scientifico, ma hanno una ricaduta per lo sviluppo economico del territorio.

La conoscenza della distribuzione e della variabilità delle precipitazioni nevose e della durata della copertura nevosa risulta fondamentale dato il loro forte impatto sul bilancio idrologico con dirette conseguenze non solo sulla disponibilità idrica in agricoltura, nell'industria e nella produzione energetica, ma anche sul turismo invernale durante la stagione sciistica. Tale indagine si rivela inoltre indispensabile anche per fornire valori di riferimento per la pianificazione territoriale e per la realizzazione di opere per la gestione del pericolo valanghivo ed in generale per la gestione del rischio negli ambienti di alta quota.

1. Contesto geografico e climatico

Circondato dalle montagne su tre lati il Piemonte è a tutti gli effetti una regione alpina: il territorio montano è molto esteso, occupa infatti il 42% dell'intera superficie regionale e la maggior parte di questa frazione è costituita dal versante italiano delle Alpi Occidentali, le quali circondano la zona collinare e la Pianura Padana.

Sulle alpi piemontesi si possono distinguere le più alte cime d'Italia e d'Europa tra cui il Monte Rosa (4637 m) e il Gran Paradiso (4061 m) a nord, mentre più a sud si erge il Monviso (3841 m). Le alpi piemontesi, nelle sezioni A.Marittime, A.Cozie e A.Graie, costituite in prevalenza da rocce cristalline, hanno spesso forme aspre e sono incise da numerose valli trasversali. A nord le alpi piemontesi comprendono anche segmenti parziali delle A. Pennine e delle A. Lepontine, separate dal bacino del Toce e dalla valle Ossola.

La posizione topografica, la distanza dal mare e il rapporto con il territorio alpino francese retrostante, definiscono e regolano la peculiarità climatica del Piemonte, zona di scontro delle masse d'aria continentali provenienti dalla pianura, dell'umidità proveniente dal Mediterraneo e delle correnti atlantiche nord-occidentali che interagiscono con i rilievi innescando frequenti circolazioni locali.

Le configurazioni sinottiche a larga scala influenzano maggiormente gli eventi di nevicata significative e diffuse sull'arco alpino nord occidentale (Esteban, 2005). Va considerato che, data la disposizione orografica delle alpi piemontesi, le precipitazioni nevose vengono innescate da flussi umidi e freddi di natura ed origine molto variegata, avendo la catena alpina una disposizione sud-ovest-nord che abbraccia più di due quadranti della rosa dei venti (Ronchi et Nicoletta, 2011). In Piemonte le nevicata superiori ai 20 cm sono determinate da 7 principali configurazioni meteorologiche. La maggior parte delle masse d'aria identificate nelle 7 caratterizzazioni sinottiche ha un'origine atlantica e/o subtropicale (sei su sette), mentre in un solo caso si tratta di masse d'aria d'origine scandinava o continentale. L'aspetto che le differenzia maggiormente sono la formazione o meno di cut-off in quota e dei minimi barici al suolo e il loro posizionamento, spesso dipendente dal tipo di blocco di alta pressione presente sull'est e sul nord dell'Europa. Le nevicata mediamente meno intense si misurano quando le masse d'aria coinvolte sono di origine scandinava o continentale e sono più frequenti nei mesi di dicembre e gennaio. Viceversa, le nevicata mediamente più significative si osservano quando in quota si origina un cut-off tra la Francia e la Penisola Iberica, associato ad un minimo di pressione centrato rispettivamente su golfo Ligure ed Isole Baleari. Infine le nevicata più copiose in termini di "estremi", si registrano ancora quando in quota si forma un cut-off tra Francia ed Italia ed al suolo un minimo sul Golfo del Leone, ma sono associati a venti di scirocco e ad un intenso blocco di alta pressione che dal Mediterraneo orientale si estende fino alla Penisola Scandinava. Quest'ultima configurazione, che si verifica in prevalenza nei mesi di transizione verso o in uscita dall'inverno, è molto simile a quella che si può riconoscere spesso nei casi di eventi alluvionali sul Piemonte.

Il Piemonte è dunque una regione caratterizzata da pronunciati contrasti climatici la cui conseguenza è una particolare ricchezza di ambienti diversi. Sono presenti quasi tutte le tipologie ambientali ad esclusione di quelle caratteristiche del Mediterraneo.

L'obiettivo dello studio in oggetto è di intraprendere una completa analisi climatologica delle caratteristiche dell'innescamento e della sua variabilità in Piemonte anche in funzione dell'andamento della temperatura.

2. Stazioni di misura e metodi di rilevamento

I dati analizzati in questo studio derivano dalla rete nivometrica regionale che comprende stazioni manuali e stazioni automatiche. Attualmente sono attivi 109 punti fissi di rilevamento di cui 32 sono stazioni nivometriche tradizionali - di seguito indicate SNT - e 77 sono stazioni nivometriche automatiche - di seguito SNA

Le SNT, sono gestite da alcuni Enti Locali, Parchi, Enel, Iren e, recentemente, sono coinvolti anche gestori di rifugi e comprensori sciistici. Tutti sono coordinati da ARPA Piemonte ed effettuano, durante il periodo invernale, i rilievi giornalieri di parametri nivometeorologici finalizzati alla valutazione della stabilità del manto nevoso e del pericolo valanghivo. Le modalità operative e di raccolta dati dalle SNT vengono svolte secondo le specifiche tecniche adottate a livello di AINEVA, Associazione interregionale di coordinamento per i problemi inerenti alla neve e alle valanghe.

Le SNA fanno parte della Rete Meteoidrografica regionale gestita dal Centro Funzionale di ARPA Piemonte, la cui realizzazione è stata avviata nel 1988 e oggi è costituita da oltre 400 stazioni di rilevamento in teletrasmissione ed in tempo reale. Di queste, 77 sono dotate di nivometro a ultrasuoni che misura l'altezza del manto nevoso (HS) con cadenza semioraria.

Le stazioni automatiche sono generalmente dislocate in siti non facilmente accessibili da un operatore, soprattutto durante l'inverno, sono quindi indispensabili per ampliare il dettaglio spaziale della rete di rilevamento e risultano importanti per la valutazione dell'innnevamento medio e della distribuzione delle nevicate (Frigo et al., 2012).

2.1 Localizzazione

Le stazioni nivo-meteorologiche manuali scelte per lo studio sono distribuite uniformemente su tutto l'arco alpino piemontese, a quote comprese tra i 700 metri e i 2412 metri, sono rappresentative di tutti i settori alpini, ad eccezione delle Alpi Liguri (**Fig. 2.1** e **Tab. 2.1**).

Su tutto il Piemonte sono state selezionate 16 stazioni meteorologiche con l'obiettivo di valutare le caratteristiche climatiche e i relativi cambiamenti del territorio piemontese a partire dall'analisi delle serie nivo-termometriche più lunghe e complete disponibili, aggiornando, altresì, quanto già pubblicato nel volume 2 della collana "Studi Climatologici in Piemonte" edito dalla Regione Piemonte e dalla Università degli Studi di Torino nel 1997.

Delle 16 stazioni meteo-nivometriche manuali analizzate in suddetta pubblicazione, 6 sono state escluse per limitatezza o incompletezza delle serie termo-nivometriche disponibili, dovute a lacune nella raccolta dei dati - Lago Moncenisio, Lago della Rossa, Oropa e Formazza Ponte -, a dismissione della stazioni stessa - Combamala, sospesa nel 1997- e per la non disponibilità dei dati giornalieri antecedenti al 1971 - Riofreddo-. Al fine di intensificare le serie analizzate sul contesto territoriale sono state aggiunte alcune stazioni quali Alpe Devero delle Alpi Lepontine, Agaro e Camposecco delle Alpi Pennine, Malciaussia e Telessio delle Alpi Graie e Acceglio Saretto delle Alpi Cozie.

Le Stazioni Nivometriche Automatiche analizzate in questo studio sono 46 e fanno parte di un sottoinsieme delle 77 stazioni attive della Rete Meteo Idrologica (**Fig. 2.2**), di cui 39 si trovano a quota superiore ai 1000 metri, distribuite in modo pressoché uniforme in tutti i settori alpini ad eccezione del settore delle Alpi Cozie Nord, dove è presente una maggiore concentrazione di stazioni. Le 7 stazioni dislocate al di sotto dei 1000 metri di quota sono rappresentative del territorio collinare dell'Ap-



0 12.5 25 50 75 100
km

Fig.2.1 Mappa delle Stazioni Nivometriche Tradizionali (SNT) utilizzate nello studio.

Settore alpino	Nome stazione	Provincia	Quota	Periodo raccolta dati
A. Lepontine	Formazza - Lago Vannino	VB	2177 m	1951-2010
	Formazza - Lago Toggia		2165 m	1932-2010
	Baceno - Alpe Devero		1634 m	1951-2010
	Premia - Agaro		1600 m	1961-2010
A. Pennine	Antrona - Camposecco		2316 m	1951-2010
	Antrona - Alpe Cavalli		1500 m	1924-2010
A. Graie	Locana - Valsoera	TO	2412 m	1959-2010
	Ceresole Reale - Lago Serrù		2283 m	1961-2010
	Locana - Telessio		1940 m	1959-2010
	Usseglio - Malciaussia		1800 m	1936-2010
	Ceresole Reale - Capoluogo		1573 m	1914-2010
	Rosone - Capoluogo		701 m	1938-2010
A. Cozie N	Bardonecchia - Lago Rochemolles		1950 m	1925-2011
A. Cozie S	Pontechianale - Castello	CN	1589 m	1943-2010
	Acceglio - Saretto		1540 m	1925-2010
A. Marittime	Entracque - Diga La Piastra		960 m	1926-2010

Tab 2.1 Elenco SNT utilizzate nello studio.

pennino piemontese (Priero 610 m, Feisoglio 770 m, Bric Berton 773 m e Capanne Marcarolo 780 m) e del settore di pianura (Albano Vercellese 155 m, Bra 298 m, Boves 600 m). Il maggior numero di stazioni si ha nella fascia altimetrica 1400-1800 metri, importante per la necessità di monitorare le nevicate, in relazione ai problemi che possano derivare da esse alla viabilità alpina e di fondo valle. Delle 9 stazioni poste al di sopra dei 2200 metri, 3 sono oltre i 2500 metri, Rifugio Gastaldi (2659 m), Rifugio Vaccarone (2755 m) e Passo del Moro (2823 m) (Fig. 2.2 e Tab. 2.2).

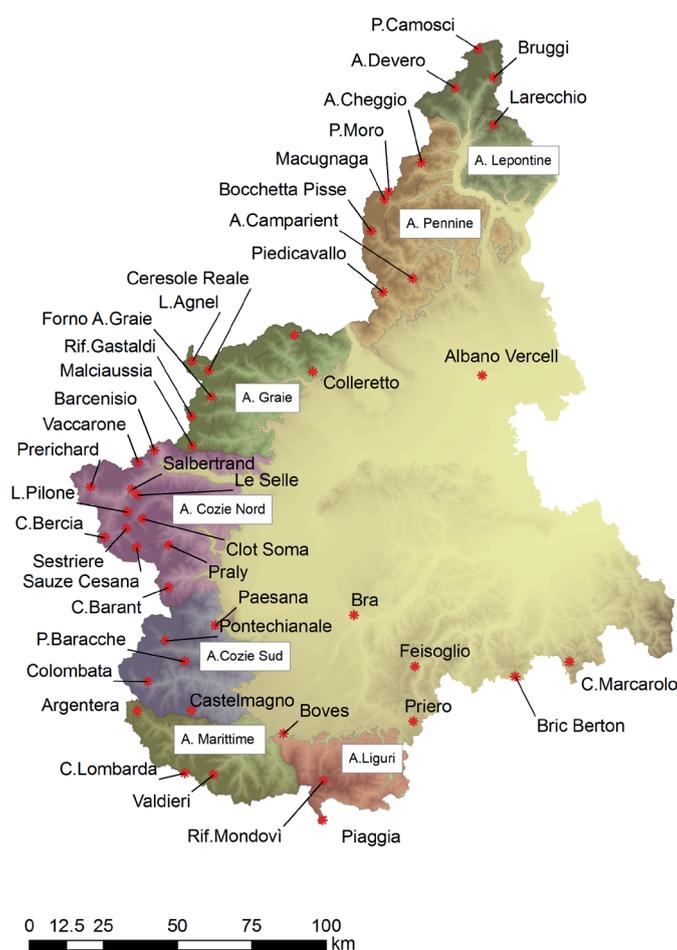


Fig.2.2 Mappa delle Stazioni Nivometriche Automatiche (SNA) della rete meteo idrologica di Arpa Piemonte utilizzate nello studio.

Settore wlpino	Denominazione	Provincia	Quota	Inizio attività	
A. Lepontine	Formazza - Pian dei Camosci	VB	2470 m	10/27/1988	
	Montcrestese - Diga di Larecchio		1878 m	9/11/1999	
	Baceno - Alpe Devero		1644 m	10/29/1991	
	Antrona Schieranco - Alpe Cheggio		1479 m	11/6/1996	
	Formazza - Bruggi		1248 m	9/10/1999	
A. Pennine	Macugnaga - Passo del Moro	VC	2823 m	11/4/1988	
	Alagna Valsesia - Bocchetta Pisse		2428 m	10/22/1987	
	Trivero - Alpe Camparient		BI	1450 m	9/10/1999
	Macugnaga - Pecetto		VB	1360 m	11/11/1999
	Piedicavallo - Capoluogo		BI	1090 m	11/9/1996

Continua

Segue

Settore Alpino	Denominazione	Provincia	Quota	Inizio attività
A. Graie	Balme - Rifugio Gastaldi	TO	2672 m	9/26/1987
	Ceresole Reale - Lago Agnel		2300 m	10/11/1996
	Usseglio - Malciaussia		1800 m	6/16/2000
	Ceresole Reale - Villa		1583 m	9/8/1999
	Valprato Soana - Piamprato		1558 m	7/8/1993
	Groscavallo - Forno Alpi Graie		1223 m	10/12/1996
	Colleretto - Santa Elisabetta		1220 m	9/3/1999
A. Cozie N	Giaglione - Rifugio Vaccarone	TO	2755 m	9/7/1996
	Bobbio Pellice - Colle Barant		2302 m	12/1/2012
	Sauze D'oulx - Lago Pilone		2286 m	10/22/1988
	Cesana Torinese - Colle Bercia		2211 m	10/19/1996
	Pragelato - Clot della Soma		2160 m	10/24/1996
A. Cozie N	Sestriere-Principi di Piemonte	TO	2035 m	9/11/1996
	Salbertrand - Le Selle		2012 m	7/26/1991
	Sauze Di Cesana - Valle Argentera		1882 m	10/8/1998
	Venaus-Barcenisio		1530 m	11/17/1994
	Praly-Villa		1375 m	7/27/1993
	Bardonecchia - Prerichard		1338 m	12/6/1990
	Salbertrand - Graviere		1010 m	11/15/1990
A. Cozie S	Sampeyre-Pian delle Baracche	CN	2144 m	10/9/1987
	Castelmagno - San Magno		1661 m	9/20/1996
	Pontechianale - Castello		1614 m	7/27/1993
	Acceglio - Colombata		1610 m	6/14/1989
	Paesana - Bric Barsaia		1279 m	5/12/1993
A. Marittime	Vinadio - Colle Lombarda	CN	2316 m	9/25/1987
	Argentera - Capoluogo		1671 m	9/18/1996
	Valdieri - Terme		1410 m	7/29/1993
A. Liguri	Roccaforte Mondovì - Rif. Mondovì	CN	1761 m	10/16/1997
	Briga Alta - Piaggia Pian del Guso		1658 m	9/2/1999
Appennino	Bosio - Capanne Marcarolo	AL	790 m	7/6/1989
	Feisoglio - Bric Della Chiesa	CN	774 m	11/22/1995
	Ponzone - Bric Berton	AL	773 m	10/5/1989
Pianura	Priero - Cascina Borgnia	CN	607 m	4/8/1993
	Boves - Cascina Borelli		575 m	1/15/1988
	Bra - Museo Craveri		290 m	5/5/1993
	Albano Vercellese - Vivaio Forestale	VC	155 m	4/9/1988

Tab 2.2 Elenco SNA utilizzate nello studio.

2.2 Grandezze considerate

I parametri analizzati sono i valori giornalieri di temperatura massima e minima dell'aria (T_{max} , T_{min} in °C), l'altezza della neve al suolo (HS in cm). L'altezza della neve fresca (HN in cm) è stata stimata giornalmente per differenza di HS, al fine di uniformare i valori di tutte le stazioni manuali, poiché solo in alcune di esse e per un limitato arco temporale il valore fu misurato. Questo approccio ha permesso inoltre il confronto con le stazioni automatiche riportato nel presente studio.

L'HS e l'HN sono i principali parametri analizzati in nivologia poiché, pur essendo misure puntuali ed avendo una grande variabilità spaziale, definiscono la quantità di neve presente al suolo e precipitata. Per altezza totale del manto nevoso (HS) infatti si intende la distanza, misurata verticalmente, fra la superficie del suolo e la superficie del manto nevoso, mentre per altezza della neve fresca (HN) si intende la misura verticale della precipitazione nevosa caduta in un determinato periodo di tempo, per convenzione nelle ultime 24 ore. L'unità di misura è il cm per entrambe le grandezze. Sono parametri utili per determinare le condizioni di innevamento, la sua evoluzione temporale, ma anche per la progettazione di opera di difesa dalle valanghe e per la valutazione delle risorse idriche.

Con il termine "temperatura dell'aria" (T_a) si indica lo stato termico dell'aria, misurato ad una certa altezza dal suolo; lo studio della temperatura in un contesto nivologico è indispensabile per correlare dati di precipitazione nevosa ai giorni di neve al suolo e all'andamento dell'innnevamento alle diverse fasce altimetriche. La temperatura degli strati più superficiali del manto nevoso sono per altro molto condizionati dall'andamento della temperatura dell'aria e, conseguentemente, anche i processi metamorfici degli stessi. Le altre grandezze considerate che ne derivano sono i giorni nevosi, ovvero i giorni in cui l'altezza della neve fresca (HN) è stata maggiore o uguale a 1 cm, i giorni con copertura nevosa al suolo, ovvero i giorni in cui l'altezza della neve al suolo (HS) è stata maggiore o uguale a 1 cm.

2.3 Tipologia di misura

La temperatura dell'aria può essere misurata con differenti tipologie di termometri secondo diverse modalità: nelle stazioni manuali si utilizzano termometri a liquido (mercurio o alcool) per la misurazione delle temperature massime e minime giornaliere, bimetallici oppure elettrici con lettura digitale. Qualsiasi strumento deve essere posizionato all'interno di una capannina meteorologica, in legno con pareti a "persiana" per una buona aerazione, di colore bianco per la totale riflessione delle radiazioni solari. (Fig. 2.3) (Cagnati, 2003).

L'altezza del manto nevoso -HS- viene misurata oggettivamente utilizzando strumenti in grado di rilevare distanze. A tale scopo si possono utilizzare, per le misurazioni manuali, le sonde graduate portatili (metodo distruttivo, sconsigliato quando è necessario effettuare misurazioni giornaliere) o le aste graduate fisse (impiegate in aree di studio di notevoli dimensioni, al fine di determinare le condizioni medie di innevamento). Presso le stazioni analizzate in questo studio si utilizza l'asta graduata fissa (Fig. 2.4).

Per l'altezza della neve fresca si utilizza comunemente la tavoletta da neve, ovvero una tavoletta di legno dalle dimensioni di 40x40 cm, di colore bianco, che viene appoggiata sulla superficie del manto nevoso, su cui si esegue ogni 24 ore la lettura della neve caduta dalla misura precedente, utilizzando l'asta graduata di cui è dotata, ovvero con un sondino graduato trasportabile se ne è priva. Dopo ogni misurazione viene ripulita della neve appena caduta e rimessa sulla superficie del manto nevoso (Fig. 2.5).



Fig. 2.3 Capannina meteorologica con termometro a massima e minima (a mercurio) e pluviografo presso la stazione manuale del Lago Vannino.



Fig. 2.4 Asta graduata in un campo neve per la misurazione dell'altezza di neve al suolo.



Fig. 2.5 Tavoletta per misura della neve fresca (HN) con asta graduata.

Il sensore per la misura della neve al suolo nelle SNA è il nivometro a ultrasuoni (**Fig. 2.6**). Il nivometro a ultrasuoni è costituito da una coppia di trasduttori ultrasonici in aria che misurano il tempo di percorrenza dell'impulso dalla trasmissione alla ricezione, dopo essere stato riflesso dalla superficie del manto nevoso. Tale valore viene compensato con il dato di temperatura dell'aria, con margine di incertezza di $\pm 1,5$ cm. Per questo motivo anche in assenza di variazioni di spessore del manto nevoso il grafico del valore di HS può riportare oscillazioni di alcuni cm. Si tratta, per esempio, di situazioni

legate a brusche variazioni di temperatura, che si possono registrare nell'arco diurno nelle giornate di tempo sereno e stabile, o durante il passaggio di fronti perturbati (Frigo et al., 2012).

Il dato misurato dal sensore è unicamente il dato di HS, per cui il dato della neve fresca deve essere calcolato per differenza di HS nell'arco temporale di interesse, di solito dalle ore 8.00 locali rispetto alle 24 ore precedenti. In questo modo tuttavia il processo di assestamento, ovvero la riduzione di spessore per diminuzione degli spazi vuoti tra i cristalli a cui è soggetto il manto nevoso non viene separato dalla neve fresca, come invece succede con la misura manuale attraverso l'utilizzo della tavoletta della neve fresca nelle SNT. Gli incrementi di spessore del manto nevoso registrati dal nivometro a ultrasuoni incorporano il dato dell'assestamento e pertanto sottostimano nella maggior parte dei casi il reale apporto nevoso in corso di nevicata. Tale sottostima è particolarmente evidente quando le nevicatae sono molto abbondanti e si impongono su un manto nevoso a debole coesione asciutto. I dati di HN ottenuti dalle differenze di altezza del manto nevoso vanno quindi letti non come altezza della neve fresca effettiva ma come altezza della neve fresca stimata, derivante dalla differenza dell'andamento dell'altezza del manto nevoso.

Il dato di HS viene campionato ogni 30 min, quindi in corso di nevicata si può seguire l'intensità della precipitazione e cogliere eventuali disturbi dovuti all'innescarsi di attività eolica durante o dopo la precipitazione. In caso di tormenti di neve e di forte ventilazione, successiva alle precipitazioni nevose, il dato di HN misurato ogni 24 h nei campi neve può invece risultare sfalsato, in positivo, in negativo e, in casi estremi di vento molto forte, essere addirittura nullo.

Nonostante queste problematiche, per ottenere serie di dati uniformi e confrontabili, nel presente studio si è utilizzato il solo dato di HS misurato alle ore 8.00 di ogni giorno e si è calcolato per differenza rispetto al giorno precedente il valore di HN.

La presenza di altri sensori (come termometro aria, anemometro, radiazione diretta, riflessa, pluviometro riscaldato) è indispensabile per comprendere i fattori che determinano le variazioni di spessore del manto nevoso in quel punto. Infatti, soprattutto in alta quota, oltre alle precipitazioni nevose, gli incrementi di spessore del manto nevoso sono anche dovuti in buona parte dall'azione del vento, ma in tal caso non devono essere considerati come apporti nevosi dovuti a precipitazioni.



Fig. 2.6 Stazione meteorologica automatica di Alpe Devero; sulla sinistra, in primo piano, è possibile visualizzare il nivometro ad ultrasuoni.

2.4 Consistenza dei dati

I dati delle Stazioni Nivometriche Tradizionali, impiegati nel presente studio, soddisfano il requisito della World Meteorological Organization (WMO, 2011) secondo cui sono necessari almeno 30 anni di dati per poter svolgere uno studio rappresentativo delle caratteristiche climatiche dell'area in esame. La percentuale minima dei dati necessaria affinché le serie possano essere impiegate per l'analisi climatica è dell'80% a livello mensile (Sneyers, 1990), ovvero per ogni singolo mese non devono esserci lacune superiori a 6 giorni consecutivi. Anche per i valori stagionali calcolati direttamente dai dati giornalieri è necessario avere a disposizione almeno l'80% dei dati e quindi non possono essere utilizzate le serie con una lacuna non superiore ai 18 giorni non consecutivi. I dati annuali determinati sempre dai valori giornalieri si considerano completi se si hanno a disposizione almeno il 94% dei dati giornalieri (Klein Tank et al., 2002), corrispondente ad una lacuna non superiore ai 20 giorni non consecutivi. Pertanto, in prima istanza si è proceduto alla valutazione della consistenza delle serie, calcolando la percentuale dei dati presenti per ogni mese, stagione ed anno.

Le serie nivometriche selezionate risultano essere per la maggior parte continue sul periodo di attività della stazione (**Fig. 2.7**).

Le eventuali lacune sono spesso "isolate", relative a singoli giorni o a pochi giorni consecutivi. Le lacune più rilevanti si trovano nel primo periodo di osservazione o a cavallo della Seconda Guerra Mondiale. A titolo di esempio citiamo la serie di Rochemolles, attiva dal 1925, per la quale manca il periodo dall'01/04 al 31/05/1931 e dall'01/10/1944 al 31/03/1946 e la serie di Lago Piastra, per cui manca l'anno 1952. La stazione di Lago Vannino, attiva nel periodo tra il 1951 e il 2010, presenta una lacuna di 7 giorni nel maggio 1960 per le variabili di neve al suolo, temperatura massima e minima. La serie di Alpe Devero presenta invece due lacune importanti, nel periodo compreso tra settembre 1972 e maggio 1973 e tra agosto e settembre 1976 di tutte le variabili registrate. Per quanto riguarda la stazione di Alpe Cavalli, sebbene gli annali cartacei fossero disponibili a partire dal 1929 – anno di attivazione della stazione meteorologica – si è potuto iniziare l'analisi dei dati a partire dal 1932 per la presenza di molte interruzioni nella serie dei dati raccolti nei primi anni di attività. Non sono inoltre presenti dati dal 4 al 16 marzo del 1946 per le temperature a causa della rottura del termometro.

Le misurazioni di HS e HN presso l'invaso artificiale di Ceresole Reale iniziarono dal 1914 e nel 1931 è stato installato il termografo per il rilevamento della temperatura massima e minima. Si sottolinea come dal 1914 al 1926 i dati di neve siano discontinui, mentre dopo tale anno le registrazioni

Denominazione	Quota	Periodo	1915	1920	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	
Locana - Valsoera	2412	1959-2010																					
Antrona - Camposecco	2316	1951-2010																					
Ceresole Reale - Lago Serrù	2283	1961-2010																					
Formazza - Lago Vannino	2177	1951-2010																					
Formazza - Lago Toggia	2165	1932-2010																					
Bardonecchia - Lago Rochemolles	1950	1925-2011																					
Locana - Telessio	1940	1959-2010																					
Usseglio - Malciaussia	1800	1936-2010																					
Baceno - Alpe Devero	1634	1951-2010																					
Premia - Agaro	1600	1961-2010																					
Pontechianale - Castello	1589	1943-2010																					
Ceresole Reale - Capoluogo	1573	1914-2010																					
Acceglio - Saretto	1540	1925-2010																					
Antrona - Alpe Cavalli	1500	1924-2010																					
Entracque - Diga La Piastra	960	1926-2010																					
Rosone - Capoluogo	701	1938-2010																					

Fig. 2.7 Continuità delle SNT nel periodo 1926-2010 (in verde i dati completi, in giallo gli anni con lacune e in rosso gli anni con dati completamente mancanti).

continuano fino ai giorni nostri senza particolari lacune. Le serie di dati del Lago Serrù partono dal 1955, anno in cui è entrata in funzione la diga. I primi anni sono caratterizzati da lacune nel periodo invernale.

Presso Rosone i dati sono stati registrati dal 1938 fino a oggi. In questa serie si hanno diversi dati mancanti tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90, tuttavia la percentuale di dati validi a livello mensile è sempre superiore all'80%, dunque la serie può essere considerata continua per gli studi climatici; presso Lago Valsoera le registrazioni iniziano dal 1959 e sono continue fino ad oggi.

I dati relativi alla stazione di Acceglio - Saretto provengono in parte da Annali conservati presso la sede dell'Arpa Piemonte (periodo dal 1923 al 1958 e dal 1971 al 2000) e in parte (anni dal '59 al '70) da Annali conservati presso la sede dell'Enel di San Damiano Macra in provincia di Cuneo: la serie risulta essere pertanto completa anche se in alcuni casi mancano i dati relativi a qualche parametro, come ad esempio le condizioni del cielo. Dagli anni Ottanta la stazione è stata spostata dalla posizione di origine, nei pressi della diga sul versante nord a una piazzola di cemento esposta a sud, sul terrazzo della casa del rilevatore del sito di misura (**Fig. 2.8**).



Fig. 2.8 Stazione di Acceglio Saretto.

Per la maggior parte delle SNT utilizzate in questo studio è stato possibile recuperare le serie giornaliere di temperatura massima e minima. Le serie analizzate sono 32, 16 per le temperature massime e 16 per le temperature minime. La stazione con il maggior numero di anni di funzionamento è Rochemolles, dove si iniziò a registrare le temperature nel 1926, seguono Alpe Cavalli nel 1930 e Ceresole Reale nel 1932. Un buon numero di stazioni iniziarono a misurare le temperature a partire dal 1938. Da quell'anno si hanno a disposizione 7 SNT dotate di termometri a massima e minima ma solo dal 1961 se ne hanno a disposizione 15 (**Fig. 2.9**).

Al fine di effettuare una corretta analisi climatica, volta a caratterizzare il clima delle stazioni nivometriche di alta quota, è stato selezionato un periodo comune di funzionamento, dal 1961 al 2010.

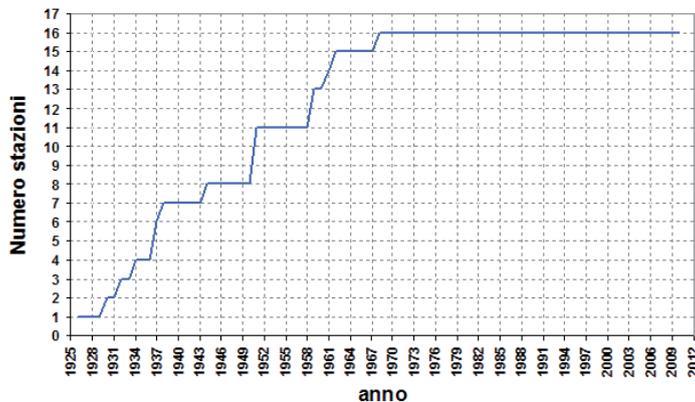


Fig. 2.9 Numero delle stazioni che iniziarono a misurare la temperatura massima e minima nel corso degli anni, dal 1926 al 2010.

Su questo intervallo temporale sono stati calcolati i valori medi di temperature massima e minima, i valori estremi e gli indici climatici.

Dal 1961 al 2010 le serie delle temperature massime e minime presentano alcune lacune. Il maggior numero di dati mancanti (4% delle registrazioni giornaliere) si individua nelle stazioni di Rochemolles, con interruzioni nel 1963, 1969 e nel 2009, e Rosone che non raccoglie dati dal 1989 al 1991 e nel 1993, seguite da Devero con il 2% di giorni misurati, riferiti agli anni 1972 e 1973 (**Fig. 2.10**).

Denominazione	Quota	Periodo	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Locana - Valsoera	2412	1959-2010										
Antrona - Camposecco	2316	1951-2010										
Ceresole Reale - Lago Serrù	2283	1961-2010										
Formazza - Lago Vannino	2177	1951-2010										
Formazza - Lago Toggia	2165	1932-2010										
Bardonecchia - Lago Rochemolles	1950	1925-2011	■	■								■
Locana - Telessio	1940	1959-2010										
Usseglio - Malciaussia	1800	1936-2010										
Baceno - Alpe Devero	1634	1951-2010										
Premia - Agaro	1600	1961-2010										
Pontechianale - Castello	1589	1943-2010										
Ceresole Reale - Capoluogo	1573	1914-2010										
Acceglio - Saretto	1540	1925-2010										
Antrona - Alpe Cavalli	1500	1924-2010										
Entracque - Diga La Piastra	960	1926-2010	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Rosone - Capoluogo	701	1938-2010										

Fig. 2.10 Continuità delle serie termometriche dal 1961 al 2010, e le relative interruzioni.

L'arco temporale di analisi dei dati delle stazioni nivometriche automatiche analizzate fa riferimento ad un periodo di 10 anni che va dal 2001 al 2010. La scelta di questo periodo è dovuta essenzialmente al maggior numero di stazioni disponibili, viceversa la scelta di un numero di anni maggiore avrebbe comportato una notevole riduzione delle stazioni operative (**Fig. 2.11**). La scelta è stata fatta partendo da quelle attualmente attive in modo da avere la possibilità di effettuare ulteriori confronti in futuro. L'estensione temporale limitata agli ultimi 10 anni, non consente la caratterizzazione climatica e l'analisi del regime di precipitazioni nevose dei punti stazione analizzati, ma permette di effettuare alcune valutazioni generali sull'andamento medio dell'innnevamento delle ultime stagioni invernali.

Inoltre è stato possibile effettuare alcune considerazioni sui differenti metodi di misura (automatico e manuale).

I dati raccolti prendono in considerazione tutta la durata dell'anno anche se alcune elaborazioni sono state compiute per il solo periodo stagionale di interesse che convenzionalmente è compreso tra il mese di novembre di un anno e il mese di maggio dell'anno successivo. I dati delle SNA presentano sempre una percentuale di dati sufficiente da essere considerati completi.

DENOMINAZIONE	QUOTA	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
FORMAZZA-PIANO DEI CAMOSCI	2470																								
FORMAZZA-BRUGGI	1248																								
BACENO-ALPE DEVERO	1644																								
VARZO-ALBERGO MONTE LEONE	1740																								
MONTECRETESE-DIGA DI LARECCHIO	1878																								
CHEGGIO	1479																								
MACUGNAGA-PASSO DEL MORO	2823																								
MACUGNAGA-PECETTO	1360																								
MACUGNAGA RIFUGIO ZAMBONI	2075																								
ALAGNA VALSESIA- BOCCHETTA PISSE	2428																								
ALAGNA VALSESIA- MINIERE	1347																								
TRIVERO-ALPE CAMPARIENT	1450																								
PIEDICAVALLO	1090																								
PIATTO-BIELMONTE POGGIO BIELLA	1480																								
FORESTALE	155																								
GRAGLIA	1025																								
VALPRATO SOANA-PIAMPATO	1558																								
CERESOLE REALE-LAGO AGNEL	2300																								
CERESOLE REALE-VILLA	1583																								
COLLERETTO-SANTA ELISABETTA	1220																								
ROSONE CENTRALE IDROELETTRICA	700																								
CALUSO	271																								
GROSCAVALLO-FORNO ALPI GRAIE	1223																								
BALME-RIFUGIO GASTALDI	2672																								
USSEGLIO-MALCIAUSSIA	1800																								
LAGO DIETRO LA TORRE	2360																								
VENAUS-BARCENISIO	1530																								
GIAGLIONE-RIFUGIO VACCARONE	2755																								
BARDONECCHIA-PRERICHARD	1338																								
SALBERTRAND-GRAVIERE	1010																								
SALBERTRAND - LE SELLE	2012																								
OULX-CHATEAU BEAULARD	1846																								
SAUZE D'OULX-LAGO PILONE	2288																								
CESANA TORINESE-SAN SICARIO	2112																								
SESTRIERE-PRINCIPI DI PIEMONTE	2035																								
CESANA TORINESE-COLLE BERZIA	2211																								
SAUZE DI CESANA-VALLE ARGENTERA	1882																								
BARDONECCHIA-PIAN DEL SOLE	1599																								

DENOMINAZIONE	QUOTA	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
SESTRIERE- BANCHETTA	2490																								
BARDONECCHIA PRANUDIN	2045																								
VAL CLAREA	1050																								
SOMMEILLER	2981																								
BERGA MARTINA	1967																								
PRAGELATO - TRAMPOLINO A VALLE	1552																								
PRAGELATO-CLOT DELLA SOMA	2160																								
PRALI-VILLA	1375																								
BOBBIO PELLICE-COLLE BARANT	2302																								
CRISSOLO-PIAN GIASSET	2181																								
PAESANA-BRIC BARSAIA	1279																								
TORINO GIARDINI REALI	239																								
PONTECHIANALE-CASTELLO	1614																								
SAMPEYRE-PIAN DELLE BARACCHE	2144																								
COLLE DELL'AGNELLO	2885																								
ELVA-MARTINI	1637																								
ACCEGLIO-COLOMBATA	1610																								
CANOSIO-GARDETTA	2320																								
CASTELMAGNO-SAN MAGNO	1661																								
ACCEGLIO COLLET	2010																								
ARGENTERA	1671																								
CUNEO-CASCINA VECCHIA	574																								
BOVES-CASCINA BORELLI	575																								
VINADIO-COLLE LOMBARDA	2316																								
VALDIERI/TERME	1410																								
VERNANTE-PALANFRE'	1626																								
ENTRACQUE-DIGA DEL CHIOTAS	2010																								
BRA-MUSEO CRAVERI	290																								
PRIERO-CASCINA BORGNA	607																								
ROCCAFORTE MONDOVI'	1761																								
BRIGA ALTA-PIAGGIA PIAN DEL GUSO	1658																								
SETTEPANI	1375																								
LIMONE PIEMONTE-PANCANI	1875																								
BOSIO-CAPANNE MARCAROLO	790																								
FEISOGGIO-BRIC DELLA CHIESA	774																								
PONZONE-BRIC BERTON	773																								
ASTI	175																								
BRIC CASTELLARO	415																								
CARREGA LIGURE-PIANI DI CARREGA	1252																								

Fig. 2.11 Consistenza rete SNA dal 1990 al 2010.

2.5 Metodi di trattamento dei dati

2.5.1 Digitalizzazione, controllo della qualità delle Stazioni manuali (SNT)

I dati delle stazioni manuali analizzate in questo studio provengono in parte da registri cartacei (Fig. 2.12), compilati da operatori di diversi enti e società, in passato gestite dal SIMN (Servizio Idrografico Mareografico Nazionale), in parte dall'archivio informatico di ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale). Il SIMN venne istituito nel 1917 dall'allora Ministero dei Lavori Pubblici con lo scopo di uniformare, organizzare e rendere disponibili le misurazioni pluviometriche, idrometriche e mareografiche in Italia. Negli anni precedenti queste misurazioni erano eseguite in maniera non coordinata da singole strutture che avevano svolto il medesimo compito negli stati prae-unitari. Il Servizio Idrografico ha anche proceduto, fino alla sua dismissione, alla pubblicazione dei cosiddetti Annali Idrologici, relativi ai vari compartimenti in cui era stato diviso il territorio. La divisione compartimentale ricalcava i bacini idrografici dei principali fiumi italiani. Attualmente gli annali ed i registri cartacei sono conservati presso gli archivi regionali di Arpa a cui sono state trasferite le competenze dal 2002.

Le variabili riportate sui registri cartacei comprendevano: lo stato dell'atmosfera, la temperatura massima e minima, la quantità di pioggia e neve fusa, l'altezza della neve al suolo. Altre informazioni riguardavano talvolta l'ora di osservazione del fenomeno meteorologico ed eventuali osservazioni dell'operatore riguardanti principalmente l'usura e la sostituzione dei sensori. Per ogni stazione meteorologica tutti i dati giornalieri di temperatura massima e minima e di precipitazione solida sono stati digitalizzati su un foglio elettronico seguendo il seguente schema:

- data nel formato gg/mm/aaaa;
- temperatura massima in °C;
- temperatura minima in °C;
- spessore del manto nevoso in centimetri;
- precipitazione solida HN in centimetri, ricavato per differenza giornaliera di altezza neve al suolo HS;
- quota in metri: il dato della quota costituisce una prova importante di eventuali cambiamenti di posizione della stazione meteorologica;
- campo osservazioni, dove sono state riportate eventuali informazioni annotate dall'osservatore inerenti alla manutenzione della strumentazione;
- ora in cui l'operatore ha rilevato dati.

Su ogni singola serie considerata completa è stato applicato un controllo di qualità con l'utilizzo del software RClindex (Zhang et al., 2004) che permette di individuare gli errori di trascrizione del dato ed eventuali valori anomali detti outliers. Essi sono valori giornalieri di temperatura massima e minima che cadono al di fuori di un intervallo definito che deriva dalla media $\pm n$ volte la deviazione standard del dato giornaliero calcolata su una finestra di 5 giorni. In questo studio il valore di n è stato posto uguale a 4 in modo da individuare solo i valori estremi che ricadono nelle code della funzione di distribuzione.

RClindex accetta come input i valori giornalieri di precipitazione e di temperatura in un file con estensione *.txt (Fig. 2.13).

Il programma fornisce i files in cui sono riportati gli outliers ed i dati errati di temperatura e precipitazione che vengono controllati uno ad uno. Questi possono essere frutto di disattenzioni di digitalizzazione e quindi corretti riconfrontando i valori digitalizzati con i fogli cartacei; qualora in-

vece gli errori fossero già presenti nel cartaceo originale, si è valutato singolarmente ogni caso. Inoltre RCLimDex consente un'elaborazione grafica dei dati su tutto il periodo che permette di individuare visivamente la presenza di lacune ed eventuali picchi anomali, anch'essi verificati con il cartaceo (Fig. 2.14).

UFFICIO IDROGRAFICO DEL GENIO CIVILE
PER GLI STUDI DEL BACINO DEL PO

SEZIONE DI TORINO

Ufficio del *Genio Civile* Stazione di *Malciaussia*
anno 1978, mese di *Luglio*

Ore dell'Osserv.	Stato dell'atmosfera e direzione del vento	TEMPERATURA			Ore in cui è avvenuta la precipitazione e la durata del fenomeno	Quantità di pioggia e neve fusa			Altezza in mm. della pioggia e neve fusa	Altezza in cm. della neve sul suolo	Osservazioni
		massima	minima	media		litri	mezzi litri	decilitri			
1	sereno. Abito	-5	-16	-10.5						34	
2	sereno. sereno	-8	-19	-13.5						34	
3	sereno. sereno	-9	-21	-15						34	
4	sereno. sereno	-16	-24	-20						33	
5	sereno. sereno	-15	-22	-18.5						33	
6	sereno. sereno	-8	-20	-14						33	
7	nuvoloso. vario	-5	-18	-11.5						32	
8	nuvoloso. sereno	-4	-11	-7.5						32	
9	nuvoloso. sereno	-2	-12	-4						32	
0	nebbia. Tormentata	-5	-14	-8	9 ÷ 13	0	0	2	2	32	
Somma 1a dec.						0	0	2	2		
1	nuvoloso. Tormentata	-3	-12	-7.5						30	
2	nuvoloso. vario	-4	-7	-1.5						28	
3	sereno. sereno	-5	-4	0.5						25	
4	sereno. vario	-6	-3	1.5						20	
5	sereno. Tormentata	-2	-2	-4.5						18	
6	sereno. sereno	-2	-8	-5						18	
7	sereno. nuvoloso	-6	-8	-1						12	
8	sereno. sereno	-3	-6	-1.5						10	
9	nuvoloso. sereno	-5	-6	-0.5						10	
0	nuvoloso. sereno	0	-6	-3						10	
Somma 2a dec.											
1	sereno. sereno	0	-2	-3.5						10	
2	nuvoloso. sereno	-3	-6	-1.5						9	
3	sereno. sereno	-4	-5	-0.5						9	
4	sereno. sereno	-8	-3	2.5						8	
5	nuvoloso. nuvoloso	9	2	5.5						8	
6	sereno. sereno	6	-3	1.5						8	
7	nuvoloso. Tormentata	11	11	11	24 ÷ 5	0	1	0	5	11	
8	nuvoloso. sereno	-4	-11	-7.5						4	
9	nuvoloso. Tormentata	-6	-12	-9						4	
0	nuvoloso. Tormentata	-7	-12	-9.5	9 ÷ 9	0	1	4	9	2.5	
1	Tormentata. sereno	-1	-10	-4.5						20	
Media						-1.4	-9.9	-9.0			
L'OSSERVATORE											
Totale mensile						0	2	14	14		

Fig. 2.12 Esempio di scheda cartacea delle stazioni gestite dal SIMI.

anno	mese	giorno	pioggia	Tmax	Tmin
1974	6	25	0.0	15.9	2.7
1974	6	26	0.0	8.2	5.1
1974	6	27	29.0	11.5	1.4
1974	6	28	2.4	10.4	6.3
1974	6	29	3.8	8.0	6.0
1974	6	30	13.2	15.9	7.5
1974	7	1	0.0	21.3	7.0
1974	7	2	0.0	18.3	11.2
1974	7	3	0.0	16.5	7.0
1974	7	4	0.0	16.5	4.8

Fig. 2.13 Esempio il file organizzato in sei colonne con indicazione dell'anno, mese, giorno, precipitazione, temperatura massima e minima. I dati mancanti vengono codificati con -99.9.

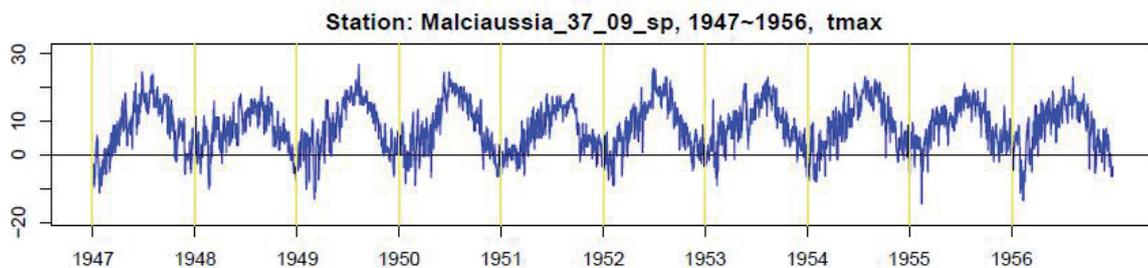


Fig. 2.14 Andamento giornaliero dei dati di temperatura massima dal 1947 al 1956 della stazione di Malciaussia, con alcuni picchi anomali.

RCLimDex svolge il controllo di qualità solo sui valori giornalieri di precipitazione liquida e temperatura, non sui dati di neve, per i quali è stato adottato un metodo diverso, studiato appositamente ad-hoc. A partire dalla serie di spessore del manto nevoso $HS(t)$ vengono calcolate le serie di accumulo $HN(t)$ e di “fusione” e/o assestamento $d(t)$ giornalieri come segue:

$$\begin{aligned} HN(t) &= HS(t) - HS(t-1) && \text{se } HS(t) - HS(t-1) > 0 \\ HN(t) &= 0 && \text{se } HS(t) - HS(t-1) \leq 0 \\ d(t) &= HS(t-1) - HS(t) && \text{se } HS(t-1) - HS(t) > 0 \\ d(t) &= 0 && \text{se } HS(t-1) - HS(t) \leq 0 \end{aligned}$$

I valori di $HN(t)$ e $d(t)$ che eccedono la soglia del 99° percentile (calcolato sui dati non nulli) corrispondono a variazioni brusche dello spessore del manto nevoso e pertanto vengono controllati prima consultando i bollettini cartacei per verificare eventuali errori di trascrizione e poi tramite il confronto con le altre variabili meteorologiche misurate nella stazione stessa ed in quelle limitrofe. I valori non plausibili vengono infine invalidati e considerati come “dato mancante”.

L'estensione temporale della serie meteorologica, purtroppo, non costituisce di per sé una condizione sufficiente per poter procedere alla ricostruzione del clima dell'area in esame (Aguilar, 2003). È sufficiente, per esempio, che negli anni di funzionamento siano state fatte delle sostituzioni dei sensori di misura con caratteristiche diverse per produrre delle disomogeneità. È necessario quindi, disporre di tecniche di omogeneizzazione che consentano di “modellare” la serie, rendendola il più possibile priva di influenze extra climatiche.

Una serie si definisce omogenea quando il suo andamento temporale è determinato unicamente da variazioni imputabili a cause meteo-climatiche. Una serie perfettamente omogenea rappresenta una condizione ideale, raramente riscontrabile nelle serie storiche di dati meteorologici: è infatti molto improbabile che osservazioni raccolte nell'arco di più secoli, siano direttamente confrontabili (Sancrotti & Pastorelli, 2004). I segnali climatici possono essere alterati da fattori antropici che possono avere origine dalle diverse fasi del processo di acquisizione ed elaborazione dei dati. La posizione delle stazioni di misura, la tipologia degli strumenti usati, le formule utilizzate per calcolare alcune grandezze, il territorio e le pratiche di rilevamento dell'osservatore costituiscono un sistema complesso di fattori che condiziona i valori misurati e registrati (Peterson et al., 1998). Le disomogeneità si manifestano essenzialmente in due modi: discontinuità netta del valor medio dovuta ad un cambio di posizione o di strumentazione; variazione graduale del valore medio provocata da un lento cambiamento dell'ambiente circostante (Venema et al., 2012).

I metodi di omogeneizzazione possono essere suddivisi in metodi diretti e indiretti. I primi si basano su dati oggettivi, di solito ricavati da studi di carattere storico: i metadata. Un metadatum (dal greco meta “oltre, dopo” e dal latino datum “informazione”, letteralmente “dato su un (altro) dato”), è l'informazione che descrive un insieme di dati. I metodi indiretti fanno uso di tecniche statistiche, generalmente basate sul confronto con altre serie storiche, e del supporto dei metadata, se disponibili, a conferma dei risultati ottenuti attraverso le analisi statistiche.

I metadata di ogni stazione sono stati individuati grazie ad una accurata ricerca storica. Come primo passo sono stati visionati i registri cartacei rintracciando appunti di mal funzionamento o di sostituzione della strumentazione compilati dai vari osservatori. Successivamente sono stati consultati, per

tutti gli anni analizzati, gli Annali del Servizio Idrografico che riportano per ogni stazione la strumentazione, la quota sul mare, la quota dell'apparecchio al suolo e l'anno di attivazione delle osservazioni.

Nel caso in cui la ricerca storica non evidenzia alterazioni nella registrazione della variabile è necessario applicare il T-test iterato (Wang et al., 2007), utilizzando il software AnClim (Štěpánek, 2008) che permette di individuare repentini cambiamenti del valor medio della serie. È possibile così evidenziare per ogni stazione le discontinuità presenti, informazioni fondamentali per una corretta applicazione del test di omogeneizzazione.

Il test di omogeneizzazione utilizzato per rendere le serie giornaliere di temperatura massima e minima omogenee è lo SPLIDHOM (SPLine Daily HOMogenization) (Mestre et al., 2011), metodo innovativo basato sulla spline cubica che permette non solo di correggere i valori medi della serie ma anche i più alti ordini dei quantili e dei momenti della serie perturbata. Al fine di ottenere una correzione realistica della serie candidata (Y), serie da omogeneizzare, è necessario calcolare la funzione di trasferimento grazie all'utilizzo di serie di riferimento (X), serie registrate da stazioni limitrofe che si correlano bene con la serie candidata. Le serie di riferimento non devono essere necessariamente omogenee su tutto il periodo analizzato ma omogenee nei sottoperiodi in cui la serie candidata presenta delle discontinuità (Fig. 2.15). Come primo passo il test calcola la funzione di regressione non lineare (mYXj_{aft}) di Y su X dopo la jth discontinuità, la funzione di regressione non lineare (mYXj_{bef}) di Y su X prima della jth discontinuità e poi la funzione non lineare (mXYj_{bef}) di X su Y prima della jth discontinuità.

Le discontinuità vengono corrette sequenzialmente dalla più recente alla più vecchia. Il fattore di correzione è dato da

$$Y_t = \text{valori della serie candidata nell'intervallo HSP}_{Yj+1}$$

La funzione di regressione si calcola grazie ad una classica smoothing spline cubica (Hastie et al., 1990). I smoothing parametri della spline cubica sono stimati, per ciascuna regressione, con una tecnica standard di cross-validazione.

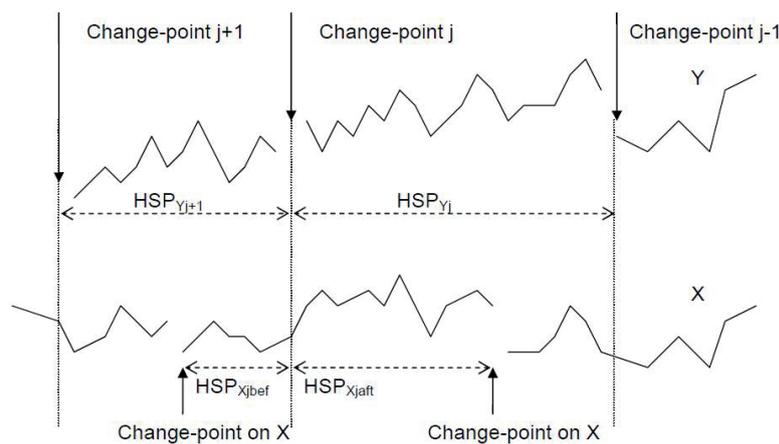


Fig. 2.15 Definizione dei sottoperiodi omogenei della serie candidata Y e della serie di riferimento X. HSP_{Xj aft} = sottoperiodo omogeneo di X dopo la jth discontinuità, HSP_{Xj bef} = sottoperiodo omogeneo di X prima della jth discontinuità, HSP_{Yj} = sottoperiodo omogeneo di Y tra la j e la j-1 discontinuità.

2.5.2 Validazione ed archiviazione dei dati delle Stazioni automatiche (SNA)

Il dato dell'altezza di neve al suolo viene acquisito con nivometro a ultrasuoni, memorizzato su una memoria locale (moduli EPROM, Flash Cards) e trasmesso ogni 30 minuti, al centro di elaborazione e acquisizione dati del Centro Funzionale di Arpa Piemonte, dove viene archiviato in un database relazionale. Essi vengono visualizzati in forma grafica in tempo reale e sottoposti a processi di verifica. Per ogni punto di misura si ha un'elevata risoluzione temporale, tuttavia i dati nivometrici, per la natura stessa dello strumento di misura, possono essere falsati da una serie di fattori, legati alle condizioni meteorologiche (accumulo/dispersione della neve per effetto eolico) e a possibili interferenze durante la misura, come ad esempio ostacoli che coprono temporaneamente il sensore oppure la crescita dell'erba dopo la fusione completa del manto nevoso, ma anche dalle variazioni di temperatura e umidità. I dati neve, utilizzati dalla valutazione del pericolo valanghe alle analisi in campo idrologico e climatologico, richiedono invece un'elevata accuratezza ed affidabilità. Essi vengono quindi quotidianamente sottoposti ad un controllo di qualità semi-automatico per individuare le eventuali anomalie nelle misure, attraverso anche l'utilizzo di un algoritmo (Terzago et al., 2013) che identifica i dati "sospetti", come possibili outliers, picchi isolati oppure valori improbabili data la stagionalità della precipitazione nevosa. La procedura consiste in una serie di controlli sulla temperatura dell'aria ed implementa un modello di fusione del manto nevoso per verificare la compatibilità del dato nivometrico con le altre variabili meteorologiche misurate. L'algoritmo viene applicato sul dato aggregato delle ore 8.00 locali, risultato già di una media mobile di 5 dati, adottata per togliere i disturbi di misura del sensore e utilizza una serie di test logici, di valori soglia e, in base anche ai dati di temperatura, viene effettuata una verifica sulla plausibilità di accumulo/fusione della neve invalidando i dati anomali. Alla fine di questo processo si ottiene una serie filtrata di altezza di neve al suolo, derivata dal valore misurato originale, in cui sono stati invalidati tutti i dati anomali e sono stati posti a zero i falsi positivi ed i dati negativi. Ad ogni valore viene associato un flag di validazione che indica se il dato è confermato. Il dato così validato automaticamente dall'algoritmo viene ulteriormente sottoposto a una verifica quotidiana manuale da parte di tecnico nivologico con il confronto incrociato dei dati delle stazioni nivometriche manuali vicine e con i dati in tempo reale di pioggia, vento e temperatura della rete automantica.

Le serie complete digitalizzate sono state poi inserite nella banca dati di Arpa Piemonte ad integrazione dei dati già presenti, raccolti a partire dal 1983, anno in cui ebbe inizio la rete nivometrica regionale, e resi disponibili attraverso il servizio di distribuzione dati di Arpa Piemonte. Accedendo al sito www.arpa.piemonte.it è possibile eseguire il download dei dati nivometrici nonché dei valori giornalieri e mensili di temperatura, precipitazione, neve, umidità, radiazione, velocità e direzione vento, elaborati a partire dai dati rilevati dalle stazioni automatiche della rete al suolo.

2.5.3 Differenze tra stazioni manuali e automatiche

Nel 1983, in seguito alla costituzione dell'AINOVA, ebbe inizio l'attività della rete nivometrica regionale. Durante i primi anni era costituita quasi esclusivamente da stazioni manuali, mentre le prime stazioni automatiche (Sauze d'Oulx - Lago Pilone e Macugnaga - Passo del Moro) furono attivate nella seconda metà degli anni '80 a titolo sperimentale, per diventare presto parte integrante della rete. Verso la metà degli anni '90 il numero delle stazioni automatiche iniziò ad aumentare notevolmente, mentre le stazioni manuali al contrario si sono ridotte. Attualmente la rete di rilevamento nivometrica regionale è composta in prevalenza da stazioni automatiche e per una quota minore da stazioni manuali (Fig. 2.16).

Le informazioni che derivano dai due sistemi di raccolta non sono del tutto equiparabili, quanto meno vanno letti e utilizzati conoscendone la provenienza e quindi la modalità di acquisizione.

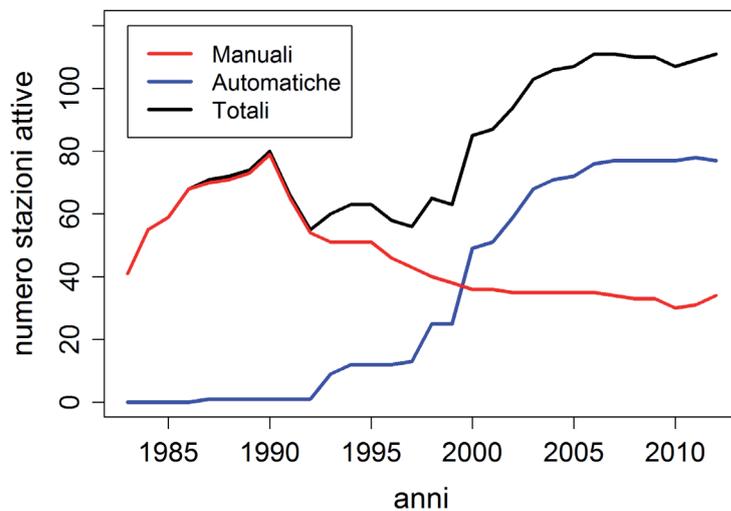


Fig. 2.16 Variazioni negli anni della configurazione delle rete nivometrica piemontese.

Nelle SNT della rete piemontese i dati sono misurati e registrati una volta al giorno, utilizzando il modello 1 AINEVA, nelle SNA il valore di HS è campionato ogni 30 min; nel primo caso si ha un dato ogni 24 ore, nel secondo 48 valori al giorno, fatto che permette di seguire l'intensità della precipitazione in corso di nevicata e cogliere eventuali disturbi dovuti all'innescarsi di attività eolica durante o dopo la precipitazione (Frigo et al, 2012). Invece, in caso di tormente di neve e di forte ventilazione, successiva alle precipitazioni nevose, il dato di HN misurato ogni 24 h nei campi neve può risultare falsato, in positivo o in negativo e, in casi estremi di vento molto forte, essere addirittura nullo.

Le SNA consentono inoltre di disporre in continuo e in tempo reale di dati relativi a diversi parametri, in relazione a come è configurata la sensoristica di ogni punto stazione (e.g., altezza del manto nevoso, temperatura dell'aria e del manto nevoso, direzione e velocità del vento, radiazione solare incidente e riflessa, umidità relativa, pressione atmosferica, e così via). Valore aggiunto delle stazioni automatiche è che possono essere dislocate in luoghi difficili da raggiungere quotidianamente da un operatore, soprattutto in pieno inverno. Quindi oltre ad infittire i punti di misura alle quote di media montagna vanno a coprire quelle fasce altimetriche non rappresentate dalle SNT, ovvero le quote oltre i 2500 metri e nelle zone dove, per motivi morfologici, i dati nivometrici per la previsione del pericolo valanghe non verrebbero raccolti (zona collinare e pianure). Così come evidenziato nel manuale "Valutazione della stabilità del manto nevoso, linee guida per la raccolta e l'interpretazione dei dati" (Frigo et al., 2012) le stazioni nivometriche automatiche presentano, tuttavia, alcune problematiche di lettura ed interpretazione del dato. Le difficoltà maggiori si hanno in caso di precipitazione nevose di intensità minore ai 5-10 cm, soprattutto su suolo senza neve: è molto difficile definire in tali casi la quota delle nevicata autunnali e primaverili, in particolare se avvengono alle fasce medio basse dove il dato rilevato dal nivometro è disturbato dalla presenza di erba. Altra problematica, arginabile, ma non superabile completamente, è la sottostima di HN che deriva dalla differenza di HS, dato che incorpora anche il processo di assestamento che il manto nevoso subisce per ridefinizione degli spazi tra i grani per motivi meccanici e metamorfici. La media di sottostima annuale si aggira mediamente tra il 20% e il 40%, tuttavia questa percentuale varia in funzione della quantità di neve che si registra durante una precipitazione, ovvero in relazione alla durata della precipitazione; varia inoltre se si mettono a confronto le singole precipitazioni nei diversi periodi della stagione invernale o ancora se si prendono in considerazione i valori stagionali.

Se il manto nevoso è compatto, ad elevata densità, la nuova nevicata che si registra non andrà ad influenzare l'assestamento del manto nevoso preesistente, i valori di HN risulteranno quindi molto simili o uguali; viceversa se il manto nevoso ha una densità bassa (valori indicativi possono essere $<250 \text{ kg/m}^3$) la nuova neve, depositandosi, andrà ad influire meccanicamente sulla diminuzione di spessore del manto nevoso preesistente e quindi il valore di HN calcolato come differenza di HS sarà molto sottostimato. La discrepanza si evidenzia maggiormente durante le precipitazioni nevose di più giorni consecutivi (di 2 o più), per effetto del forzato assestamento indotto alla neve fresca di inizio nevicata dalla pressione esercitata dall'accumulo della neve dei giorni successivi. A titolo di esempio, utilizzando i dati raccolti presso due campi neve, uno nel nord e l'altro del sud della regione, durante la stagione invernale 2011-2012 e confrontando la differenza di HS con il valore di HN misurato sulla tavoletta si trova che a Formazza-Lago Vannino (2170 m) a fronte di un valore di HN cumulato misurato di 880 cm, la somma della differenza di HS è di soli 644 cm, il 35% in meno, mentre a Vinadio-Lago Rifreddo (1210 m) il valore di HN misurato è di 200 cm e il valore ricavato dalla differenza di HS è di 161 cm, circa il 25% in meno. Da questi due esempi si evince che parlare di sottostima media risulta difficile e fonte di errate conclusioni se applicate nel campo della valutazione del pericolo valanghe, dove è fondamentale sapere con precisione quanta neve fresca insiste sui pendii già instabili e quanta può essere movimentata da eventuale attività eolica, perché dipende da caso a caso, tipo di neve durante la precipitazione, durata della precipitazione, ventilazione durante o dopo la precipitazione e, soprattutto, struttura del manto nevoso preesistente alla nevicata. A fronte di quanto esposto ne deriva che una completa analisi dell'innnevamento di un definito contesto territoriale non può prescindere dall'utilizzo di entrambe le reti, automatica e manuale, ed è per questo motivo che in questo studio sono state inserite anche le analisi delle stazioni automatiche ben distribuite sull'intero territorio, seppur limitato agli ultimi 10 anni.