

Validazione di misure **nivo**

**Silvia Terzago¹,
Maria Cristina Prola²,
Simona Fratianni¹,
Roberto Cremonini²,
Secondo Barbero²**

¹ Università di Torino,
Dipartimento di Scienze della Terra
Torino;

² Arpa Piemonte,
Dipartimento Sistemi Previsionali,
Torino

Le reti di stazioni nivometriche automatiche forniscono misure con elevata risoluzione temporale utilizzate per la stima degli apporti nevosi, la valutazione del pericolo valanghe ed una molteplicità di applicazioni in campo idrologico che richiedono osservazioni ad elevata accuratezza ed affidabilità. I dati rilevati attraverso i nivometri ad ultrasuoni possono tuttavia 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.

I dati acquisiti dalla rete nivometrica di ARPA Piemonte vengono regolarmente sottoposti ad un controllo di qualità manuale effettuato ogni giorno dai nivologi che individuano e correggono eventuali anomalie nelle misure. Questo studio si propone di fornire un supporto alla validazione manuale dei dati nivometrici attraverso lo sviluppo di una tecnica di identificazione dei 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 è stato valutato attraverso il confronto delle serie validate automaticamente con quelle validate manualmente dai nivologi ed i risultati dimostrano l'accuratezza del metodo proposto.

implementazione
di un algoritmo per
l'identificazione e
la correzione dei
dati anomali

metriche automatiche



INTRODUZIONE

L'abbondanza dell'innevamento nell'area alpina è strettamente correlata alla disponibilità di acqua per le attività agricole ed industriali nei territori a valle, alla produzione di energia idroelettrica, al turismo invernale e al rischio valanghivo.

Il monitoraggio della neve al suolo risulta dunque di interesse strategico sia per le attività socio-economiche sia per la corretta gestione dei rischi ambientali e negli ultimi decenni ha avuto sempre maggiore considerazione anche grazie all'installazione di stazioni automatiche in ausilio alle tradizionali osservazioni eseguite tramite operatore.

L'utilizzo di stazioni nivo-meteorologiche automatiche in quota presenta notevoli vantaggi quali la possibilità di disporre di misure di precipitazione nevosa e di spessore del manto anche in luoghi remoti, di difficile accesso e dunque non fruibili dagli operatori nivologici.

D'altra parte proprio la completa automatizzazione delle procedure comporta che le misure possano essere alterate da fattori di disturbo quali anomalie, malfunzionamento, instabilità dei sensori, interferenze, e così via, le quali vanno a falsare il reale andamento dei dati.

La disponibilità di osservazioni di elevata qualità, controllate e corrette da eventuali errori è un aspetto di fondamentale im-

portanza nelle applicazioni in campo idrologico, ingegneristico, nella prevenzione dei rischi naturali, nell'analisi climatologica e negli studi sui cambiamenti climatici: per questo motivo negli ultimi anni la comunità scientifica internazionale ha dedicato sempre maggior interesse all'argomento definendo le linee guida per il controllo di qualità dei dati meteorologici (WMO 1982; Zahumensky, I., 2004; Aguilar et al., 2004), sviluppando tecniche di controllo basate sulla plausibilità delle misure e sulla loro consistenza spazio-temporale (Eischeid et al., 1994; Zhang, 2004; Stèpànek, 2009). In Italia i Servizi Nivo-meteorologici regionali hanno già raggiunto importanti risultati per quanto riguarda il controllo di qualità dei dati di temperatura e precipitazione mentre non è ancora stata sviluppata una efficace procedura di controllo dei dati nivometrici (Salvati e Brambilla, 2008).

In Piemonte il Servizio Nivologico presso l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA) si avvale di una Rete di 110 stazioni nivometriche per il monitoraggio delle precipitazioni nevose sull'intero arco alpino piemontese (Figura 1a). La rete è composta da 34 stazioni a rilevamento manuale e 76 a rilevamento automatico dotate di nivometri ad ultrasuoni (Figura 1b): queste ultime effettuano misure di spessore del manto nevoso

ad elevata risoluzione temporale e, grazie ad un sistema di trasmissione dei dati via radio al Centro Funzionale, permettono di avere misure in tempo reale e dunque di monitorare le precipitazioni nevose anche in situazioni di criticità.

Ad oggi, i dati nivometrici registrati dalla rete di ARPA Piemonte vengono controllati manualmente da un operatore che ogni giorno ne verifica la correttezza e conferma/invalida il dato. Questo studio si propone di fornire un supporto alla validazione manuale dei dati nivometrici attraverso lo sviluppo di un algoritmo per l'identificazione dei dati sospetti, quali brusche variazioni nello spessore del manto nevoso, outliers (misure "distanti" dagli estremi climatici di riferimento) oppure valori improbabili data la stagionalità della precipitazione nevosa.

L'algoritmo utilizza una serie di test di soglia sulla temperatura dell'aria per verificare la plausibilità di accumulo/fusione della neve ed invalida i dati anomali. L'accuratezza di questa tecnica è stata valutata confrontando la serie validata automaticamente attraverso l'algoritmo con la corrispondente serie validata manualmente dai nivologi, considerata come "verità".

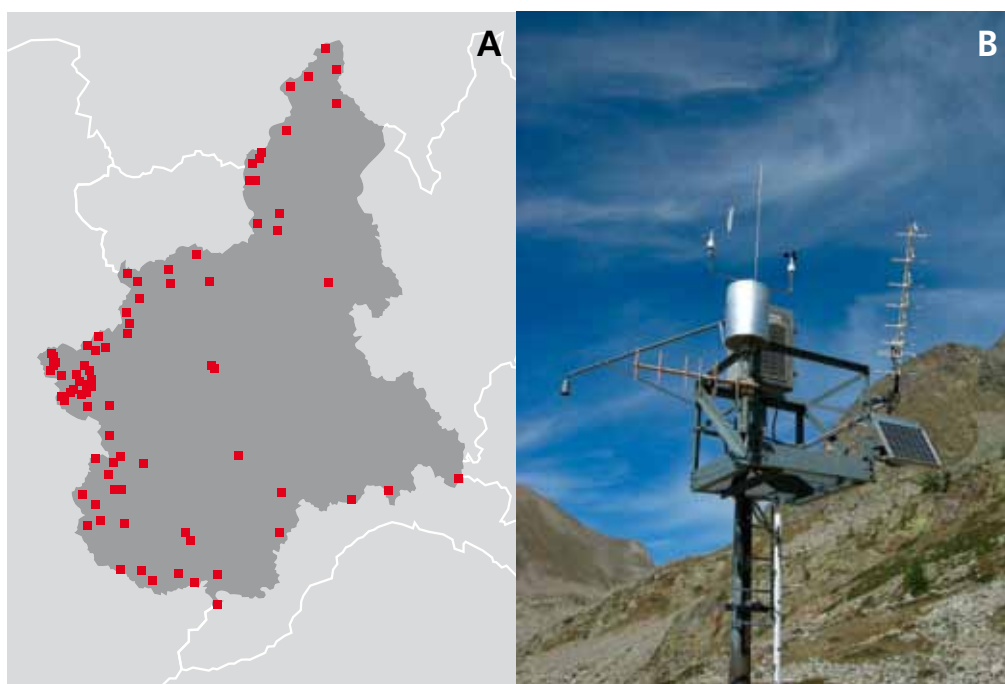
LE MISURE UTILIZZATE

Tra tutte le stazioni automatiche disponibili ne sono state selezionate 43 distribuite omogeneamente sul territorio e rappresentative di quote tra i 150 m s.l.m. e i 2800 m s.l.m. (Figura 2).

Per ognuna di esse sono stati considerati i dati di spessore del manto nevoso rilevati ogni 30', in particolare quelli delle ore 0700 UTC (HS_{mis}) convenzionalmente indicati come rappresentativi della situazione giornaliera, i corrispondenti dati validati manualmente dai nivologi (HS_{val}) ed i valori di temperatura dell'aria T_a registrati ogni 30'.

Ai fini di valutare l'affidabilità delle misure della rete nivometrica attualmente operativa si è ritenuto opportuno concentrarsi sul periodo più recente e si è focalizzata l'attenzione sulle ultime stagioni nivologiche, dal 01/10/2008 al 29/02/2012.

Fig. 1 - Distribuzione spaziale della rete di stazioni nivo-meteorologiche gestite da ARPA Piemonte (a). Stazione meteorologica automatica con sensore nivologico ad ultrasuoni (b).



Denominazione	Quota (m s.l.m.)	Utm_x (m)	Utm_y (m)	Inizio operativita'
ALBANO VERCELLESE	155	452241	5031988	04/08/1988
BRA	285	409096	4950597	05/05/1993
CUNEO CASCINA VECCHIA	575	382741	4914224	30/05/2002
BOVES	575	385442	4910296	14/01/1988
PRIERO	610	429031	4914348	04/08/1993
FEISOGGIO	770	429551	4933078	22/11/1995
PONZONE BRIC BERTON	773	463454	4929755	10/05/1989
CAPANNE MARCAROLO	780	481677	4934651	07/06/1989
SALBERTRAND	1010	334301	4993216	15/11/1990
PIEDICAVALLO	1040	418813	5060264	11/09/1996
VAL CLAREA	1135	340068	5000850	09/02/1996
FORNO ALPI GRAIE	1215	361004	5024732	10/12/1996
COLLERETTO	1240	395253	5033160	09/02/1999
PIANI DI CARREGA	1245	514956	4940241	30/05/2001
PAESANA	1265	362370	4947015	05/12/1993
PRERICHARD	1353	320334	4994017	12/06/1990
PRALY	1385	346730	4974411	27/07/1993
VALDIERI	1390	361709	4896272	29/07/1993
ALPE CHEGGIO	1460	431711	5104080	11/05/1996
BIELMONTE	1480	428083	5057024	29/05/2002
PIAMPRATO	1555	388706	5045997	07/08/1993
PONTECHIANALE	1575	345555	4941889	27/07/1993
ACCEGLIO	1610	339567	4927939	14/06/1989
PALANFRE	1625	379312	4894654	28/06/2001
ALPE DEVERO	1634	443114	5129624	29/10/1991
ARGENTERA	1680	335978	4918048	17/09/1996
CASTELMAGNO	1755	354208	4918133	19/09/1996
RIFUGIO MONDOVI	1760	398757	4894142	15/10/1997
ELVA	1770	348294	4934502	09/06/2001
MALCIAUSSIA	1800	354672	5007898	15/06/2000
SAUZE CESANA	1840	335756	4973540	10/07/1998
DIGA DEL CHIOTAS	2020	366881	4891327	27/06/2001
SESTRIERE	2020	332444	4979926	09/10/1996
PIAN DELLE BARACCHE	2135	351816	4934725	10/08/1987
CLOT DELLA SOMA	2150	337795	4983288	23/10/1996
COLLE BERCIA	2200	325119	4976764	18/10/1996
LAGO PILONE	2280	332693	4985596	21/10/1988
LAGO AGNEL	2304	354620	5036811	10/10/1996
COLLE LOMBARDA	2305	352095	4896831	24/09/1987
BOCCHETTA DELLE PISSE	2410	414792	5081006	21/10/1987
FORMAZZA	2453	450779	5142603	27/10/1988
RIFUGIO GASTALDI	2659	354502	5017939	25/09/1987
PASSO DEL MORO	2820	420822	5094426	11/04/1988

Fig. 2 - Denominazione delle stazioni nivometeorologiche considerate per lo sviluppo e la verifica dell'algoritmo.

© AINEVA

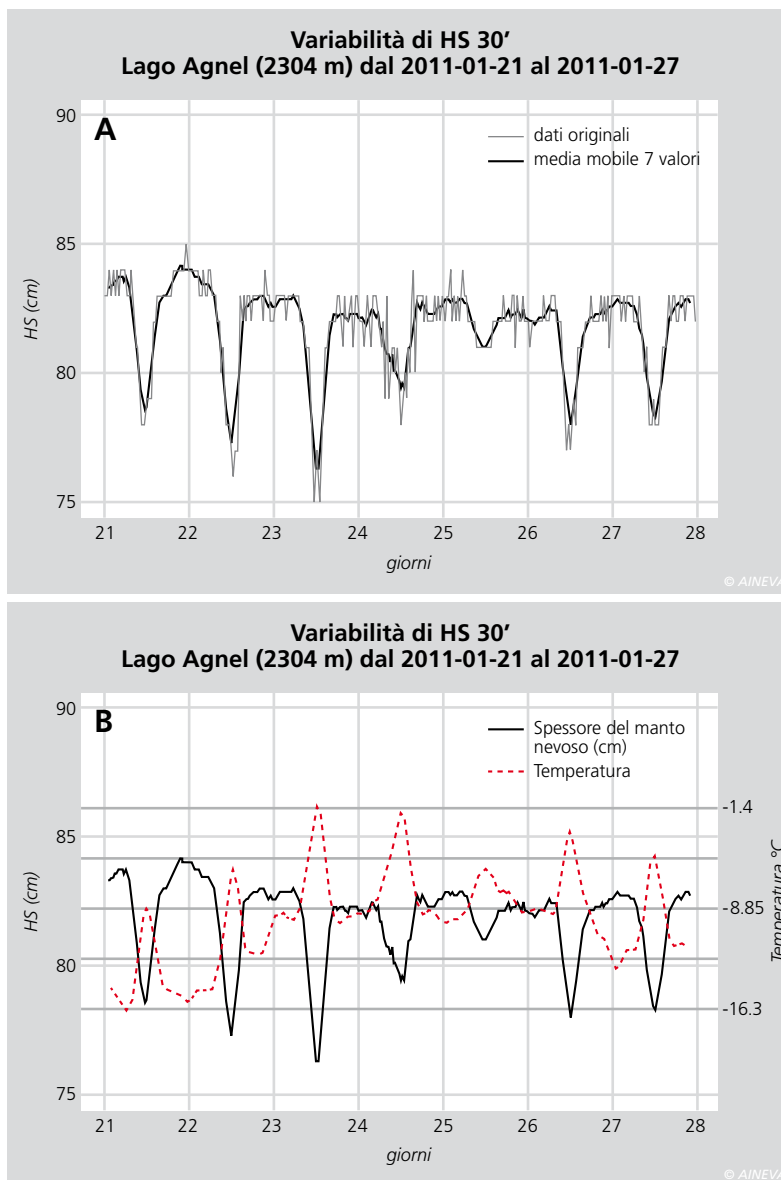
CRITICITÀ NEL RILEVAMENTO DELLA NEVE AL SUOLO CON I NIVOMETRI AD ULTRASUONI

Inizialmente sono state considerate le serie nivometriche a risoluzione di 30' per valutare l'evoluzione giornaliera dello spessore del manto nevoso e per evidenziare eventuali aspetti critici legati al rile-

vamento attraverso i sensori automatici. L'analisi ha messo in luce la variabilità delle misure di spessore del manto nevoso (HS) in un range di ± 3 cm imputabile alla precisione dello strumento. Questo effetto può essere attenuato applicando ai dati misurati la media mobile, come mostrato nella Figura 3a che riporta il caso della stazione di Lago Agnel (2304 m s.l.m.) nel periodo tra il 21 ed

il 27 Gennaio 2011: la media mobile a 7 valori permette di ridurre le fluttuazioni delle misure. Sono poi state messe in relazione le serie filtrate di HS e di temperatura dell'aria (Figura 3b): da quest'ultimo grafico risulta evidente la dipendenza di HS dalla temperatura: in condizioni di manto nevoso stabile (nessuna precipitazione, fusione trascurabile) il valore misurato di HS di-

Fig. 3 - Spessore del manto nevoso registrato dalla stazione nivometrica automatica di Lago Agnel (2304 m s.l.m.) tra il 21 ed il 27 gennaio 2011: (A) confronto tra le misure originali a risoluzione temporale di 30' (grigio) ed i valori ottenuti applicando la media mobile a 7 valori (nero) e (B) confronto tra lo spessore del manto nevoso e la temperatura dell'aria: in corrispondenza del picco termico diurno e si osserva una diminuzione di HS.



minuisce al crescere della temperatura e si osserva una chiara corrispondenza tra la curva termica giornaliera (ciclo diurno) e la diminuzione di HS di circa 5 cm nelle ore più calde del giorno per poi attestarsi nuovamente sui valori iniziali. Dopo aver messo in luce alcune caratteristiche generali delle serie nivometriche delle stazioni automatiche, è stata effettuata un'analisi sistematica al fine di confrontare i dati misurati di spessore del manto nevoso alle ore 0700 UTC ed i corrispondenti dati validati manualmente dai nivologi ("verità") ed evidenziarne le differenze. Questo tipo di approccio ha permesso di individuare i valori errati e rilevare le situazioni di criticità nella misura di HS. Tra esse riveste particolare importanza l'azione delle raffiche di vento: esse possono accumulare o disperdere la

neve al suolo ed in questi casi il sensore effettua una misura precisa localmente ma non rappresentativa delle condizioni del manto nevoso nell'area circostante. Tale eventualità può inoltre indurre in errore qualora si voglia stimare la quantità di neve fresca o di neve fusa a partire dalla differenza di valori giornalieri consecutivi di HS. Un'ulteriore criticità si presenta alla fine della stagione nivale dopo la completa fusione del manto, oppure, per le stazioni a bassa quota, in caso di prolungata assenza di neve al suolo. In questi casi sotto al sensore può crescere vegetazione e dunque il nivometro misura l'altezza dell'erba piuttosto che l'effettivo spessore del manto nevoso. Infine un'altra possibile fonte di errore di misura consiste nell'interferenza di ostacoli che coprono temporaneamente il sensore e

dunque provocano picchi isolati nella serie di misure.

In base alle criticità evidenziate sono stati elaborati dei criteri per filtrare i dati anomali e sono stati implementati in un algoritmo sviluppato in R (R, 2010).

DESCRIZIONE DELL'ALGORITMO DI VALIDAZIONE

L'algoritmo presentato si propone di validare le misure di spessore del manto nevoso a livello giornaliero ed utilizza i seguenti dati:

- HS misurato (HS_{mis}) delle ore 0700 UTC; se il dato non fosse presente viene considerato quello precedente o quello successivo;
- HS validato manualmente (HS_{val});
- Temperatura media, massima e minima (T_m, T_{max}, T_{min})

ed effettua una serie di test che mirano ad identificare i dati anomali.

Inizialmente vengono invalidati i dati negativi e rimpiazzati con valore zero. Successivamente vengono identificate ed invalidate le variazioni brusche di HS_{mis} , ovvero vengono classificati come *outliers* tutti quei valori che presentano uno scarto dal valore validato del giorno precedente superiore ad una determinata soglia. I valori di soglia sono derivati dall'analisi climatica dell'innevamento sulle Alpi Piemontesi sul periodo 1925-2010 (Terzago, 2012) e sono fissati rispettivamente a 150 cm per il massimo accumulo giornaliero di precipitazione nevosa e 50 cm per la massima fusione giornaliera.

Nella seconda fase viene effettuato un controllo sull'accumulo di neve tramite il confronto con i dati di temperatura. In particolare vengono invalidati gli aumenti di spessore del manto nevoso rispetto ad HS_{val} del giorno precedente se, nell'arco delle 24 ore si è registrata una temperatura dell'aria minima $T_{min} > 2^\circ\text{C}$.

Data la forte variabilità delle misure viene accettata come verosimile una discrepanza massima di 3 cm tra i due valori di HS. Un caso particolare si verifica quando HS_{val} al tempo $t-1$ è nullo: in questi casi,

se nelle 24 ore successive $T_{min} > 2^{\circ}C$ per continuità nell'assenza del manto nevoso si dovrà avere $HS_{mis} = 0$ al tempo t . In caso contrario HS_{mis} viene invalidato e posto a zero.

Nella terza fase viene effettuato un controllo sulla fusione del manto nevoso. L'ipotesi è che si abbia fusione quando $HS_{val}(t-1) > 0$ e la temperatura media $T_m(t) > 0$ (dove t è il tempo espresso in giorni). In questi casi viene stimata la quantità di neve fusa $m_i(t)$ ($i=1,2,3$), con tre differenti modelli (Schmidlin et al., 1995):

$$m_1(t) = 25.4 * 0.08 * T_m(t) \quad (\text{Carr, 1998})$$

$$m_2(t) = 25.4 * 0.05 * T_m(t) \quad (\text{Wiesner, 1970})$$

$$m_3(t) = 25.4 * 0.02 * T_m(t) \quad (\text{Bruce and Clark, 1966})$$

Dalla stima della quantità di neve fusa viene calcolato lo spessore "teorico" del manto nevoso $HS_{prev,i}$ per ognuno dei tre modelli come:

$$HS_{prev,i}(t) = HS_{val}(t-1) - m_i(t)$$

Se $HS_{prev,i} < 0$ viene imposto $HS_{prev,i} = 0$.

Sono state confrontate le tre serie di $HS_{prev,i} - HS_{mis}$ relative alla stazione campione di Elva e si è appurato che il modello di Bruce and Clark (1966) fornisce un Residual Mean Error leggermente inferiore rispetto agli altri due. Tuttavia, siccome non si sono riscontrate differenze sostanziali nell'accuratezza dei modelli si è deciso di utilizzare la combinazione dei tre piuttosto che limitare la scelta ad uno solo.

Viene quindi considerata, al tempo t , la differenza tra HS previsto e HS misurato:

$$\Delta HS_i = HS_{prev,i} - HS_{mis}$$

Se per almeno uno dei tre modelli la differenza ΔHS è in valore assoluto inferiore o uguale ad un valore di soglia stimato

empiricamente di 12 cm il dato è considerato valido

$$|\Delta HS_i| \leq 12 \Rightarrow HS_{mis} \text{ OK}$$

altrimenti viene effettuato un controllo sulla temperatura per verificare se è possibile che abbia nevicato. Se:

$$\begin{cases} -\Delta HS_i > 12 \text{ cm (ovv. } HS_{mis} > HS_{prev} + 12) \\ HS_{mis}(t) - HS_{val}(t-1) > 3 \text{ cm} \\ T_{min} < 2^{\circ}C \end{cases}$$

$$\Rightarrow HS_{mis} \text{ OK, precip. nevosa}$$

si suppone che vi sia stata precipitazione nevosa ed il dato viene confermato.

Se non si ricade in uno di questi due casi si assume che la discrepanza sia imputabile all'azione del vento ed il dato viene invalidato. Tutti i dati che non sono stati invalidati dai test sopra descritti vengono confermati. Alla fine di questo processo si ottiene una serie filtrata HS_{mod} , derivata da HS_{mis} , in cui sono stati invalidati tutti i dati anomali e sono stati posti a zero i falsi positivi registrati in assenza di manto nevoso ed i dati negativi. Ad ogni valore di HS_{mis} è associato un flag di validazione che indica se il dato è confermato o, altrimenti, per quale test è stato invalidato.

VALUTAZIONE DELL'ALGORITMO

Il procedimento di validazione automatica sopra descritto è stato applicato a tutte le 43 serie nivometriche di Figura 2 sul massimo periodo considerato (dal 01/10/2008 al 29/02/2012): per ogni stazione sono state ottenute una serie filtrata HS_{mod} ed una serie con i flag di validazione. L'ampio dataset a disposizione ha permesso di valutare l'accuratezza dell'algoritmo testandolo su più di 40.000 dati. Inizialmente è stata calcolata la frequenza di occorrenza dei flag di validazione (frequenza totale, relativa a tutti i casi di studio, Figura 4): il 55% dei dati invalidati è stato individuato attraverso il test sulla temperatura che scarta i casi in cui si è registrato un aumento di spessore del manto nevoso in assenza di precipitazione.

Segue il test "logico" che impone la non negatività dei dati nivometrici (43%). Meno del 2% dei dati invalidati è stato scartato perché indicava una eccessiva fusione del manto nevoso mentre è esiguo, ma non per questo trascurabile, il numero di outliers. Sono poi state confrontate le serie filtrate HS_{mod} sia con il dato originale misurato HS_{mis} che con le serie validate manualmente dai nivologi HS_{val} ("verità"). Nelle Figure 5 e 6 è riportato il caso relativo alla stazione di Elva. Dal confronto di HS_{mod} con i dati originali si evince che il procedimento applicato risulta efficace nell'individuare e correggere i falsi positivi nella stagione di assenza del manto nevoso. Se si confronta la serie filtrata con quella osservata ("verità") emerge un buon accordo lungo tutto il periodo di osservazione, fatta eccezione per alcuni dati erroneamente invalidati (falsi allarmi) nella stagione invernale 2008-09 ed altri erroneamente accettati nella stagione estiva 2010. L'analisi qui descritta è stata ripetuta per tutte le stazioni. In particolare per ogni stazione, ogni valore HS_{mod} è stato validato tramite confronto con il corrispondente valore osservato HS_{val} . Alla fine del procedimento è stata costruita una tabella di contingenza (Figura 7) che conteggia il numero di valori correttamente invalidati, correttamente confermati, erroneamente invalidati (falsi allarmi) ed erroneamente confermati (misses). Dalla somma dei risultati parziali delle singole stazioni viene calcolata una tabella di

Fig. 4 - Risultati della validazione automatica dei dati nivometrici di 43 stazioni sul periodo 01/10/2008-29/02/2012: il grafico riporta le frequenze dei flag associati ai dati validati. Il test in base al quale vengono invalidati più dati è quello sulla temperatura (flag=3), seguito dal criterio di "non negatività" dei dati di HS (flag=1).

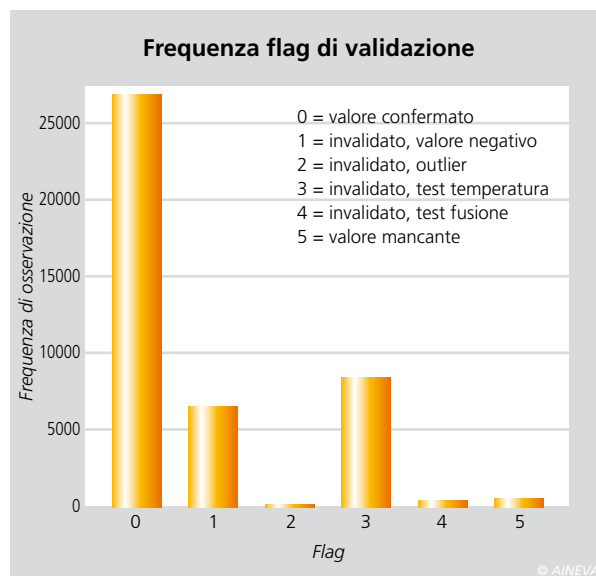




Fig. 5 - Confronto tra la serie di spessore del manto nevoso filtrata attraverso l'algoritmo di validazione (rosso) e la serie originale misurata (grigio) nella stazione di Elva (1770 m): l'algoritmo individua e corregge efficacemente i falsi positivi nella stagione di assenza del manto nevoso.

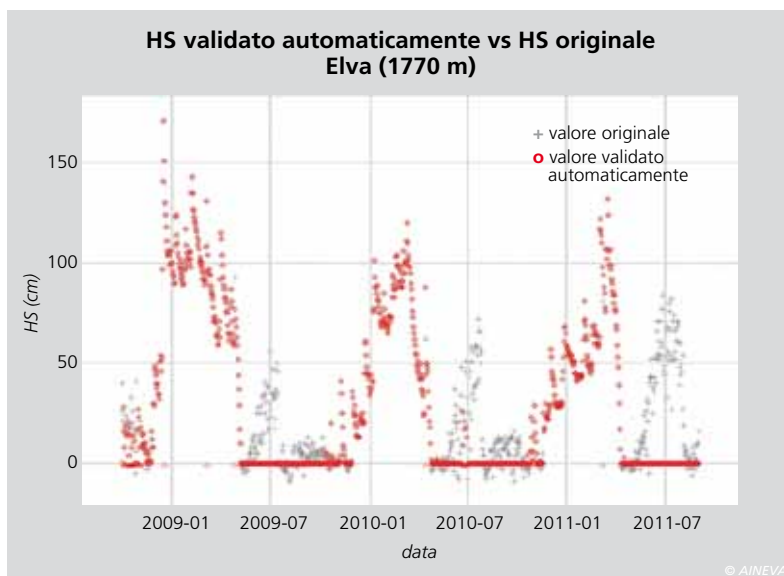
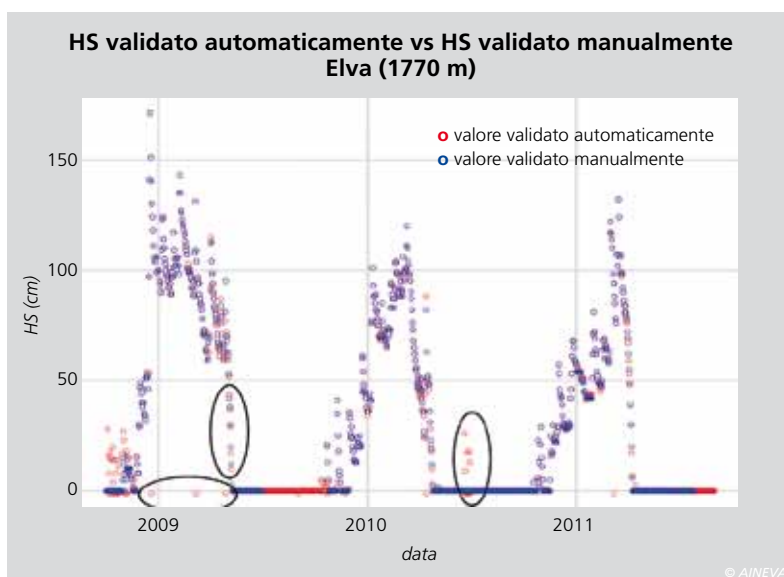


Fig. 6 - Confronto tra la serie di spessore del manto nevoso filtrata attraverso l'algoritmo di validazione (rosso) e la serie dei dati validati manualmente (blu) per la stazione di Elva (1770 m). La corrispondenza tra le serie è buona, le discrepanze sono messe in evidenza.



contingenza *totale* ed i relativi indici statistici che descrivono le proprietà medie dell'algoritmo (Figura 7). L'accuratezza del metodo proposto, ovvero la probabilità che l'algoritmo classifichi correttamente i dati nivometrici, è del 98%, dunque molto elevata. La probabilità di avere un falso allarme, cioè la probabilità che venga invalidato un dato corretto, è dello 0,7%, mentre la probabilità di commettere l'errore opposto, ovvero di confermare un dato sbagliato, è di poco superiore, infatti il bias è leggermente inferiore a zero. L'algoritmo si rivela quindi affidabile nell'identificazione dei valori anomali e tende ad essere conservativo, ovvero l'errore più frequente è di confermare un dato anomalo piuttosto che invalidarne uno corretto. Continuando l'analisi degli errori di validazione si trova che il 17% degli errori sono falsi allarmi (dati erroneamente invalidati), i rimanenti sono errori di misura non identificati. Di questi, nel 64% dei casi lo spessore del manto nevoso HS_{val} è inferiore a 10 cm e nel 45% dei casi $HS_{val} < 10$ cm e la differenza tra il valore misurato e quello osservato è in valore assoluto minore di 10 cm. Di conseguenza le discrepanze tra le serie validate automaticamente e quelle sottoposte a validazione automatica si riscontrano soprattutto quando l'innevamento è scarso.

		VALIDAZIONE MANUALE "OSSERVAZIONE"	
		OK	INVALIDATO
VALIDAZIONE AUTOMATICA	OK	Confermati corretti (Correct Negatives, CN)	Falsi negativi (Misses, M)
	INVALIDATO	Falsi allarmi (False Alarm, FA)	Invaldati Corretti (Hits, H)
$ACC = \frac{H + CN}{H + M + FA + CN}$		Accuratezza: percentuale di classificazioni corrette Valore teorico: ACC = 1	
$POD = \frac{H}{H + FA}$		Probabilità di rilevare correttamente la neve Valore teorico: POD = 1	
$CSI = \frac{H}{H + M + FA}$		Indice di successo critico Valore teorico: CSI = 1	
$FAR = \frac{FA}{H + FA}$		Probabilità di avere un falso allarme Valore teorico: FAR = 0	
$BIAS = \frac{H + FA}{H + M}$		Rapporto tra sovrastima e sottostima Valore teorico: BIAS = 1	
		VALIDAZIONE MANUALE "OSSERVAZIONE"	
		OK	INVALIDATO
VALIDAZIONE AUTOMATICA	OK	26171 (CN)	565 (M)
	INVALIDATO	113 (FA)	15033 (H)
ACC		0.98	
POD		0.96	
CSI		0.96	
FAR		0.007	
BIAS		0.97	

© AINEVA

CONCLUSIONI

In questo studio viene proposto un metodo per identificare automaticamente i valori anomali delle serie nivometriche delle stazioni meteorologiche automatiche.

La tecnica si basa su una serie di test di soglia che permettono di individuare i valori non verosimili, *outliers* e valori che implicano precipitazione nevosa/fusione non compatibile con la temperatura.

L'algoritmo, testato su più di 40.000 dati, dimostra un'accuratezza media del 98% mentre la probabilità di invalidare un dato corretto è dello 0,7%: grazie alla sua elevata affidabilità si rivela dunque un efficace strumento di validazione dei dati nivometrici e potrà essere utilizzato a supporto del lavoro svolto dagli operatori nivologici.

La semplicità dei test logici proposti permette di applicare l'algoritmo anche ad altre realtà territoriali ove siano presenti stazioni nivo-meteorologiche automatiche che effettuano misure di temperatura dell'aria contestualmente a quelle di spessore del manto nevoso: sarà sufficiente adattare i valori climatologici di riferimento in base all'area considerata e determinare i valori di soglia relativi alla precisione dei sensori nivometrici.

A sinistra, fig. 7 - Tabella di contingenza utilizzata per la valutazione dell'algoritmo e relativi indici statistici.

Bibliografia

- Aguilar E., Auer I., Brunet M., Peterson T., Wieringa J. (2004) - Guidance on metadata and homogenization. Technical report, WMO-TD No. 1186.
- Carr D.A. (1998) - Snowpack modeling using daily climatological data. Processing of the 45th Eastern Snow Conference, Lake Placid, NY, Eastern Snow Conference, 176-180.
- Bruce J.P., Clark R.H. (1966) - Introduction to Hydrometeorology. Pergamon Press, 317 pp.
- Eischeid J.K., Baker C.B., Karl T.R., Diaz H.F. (1995) - The Quality Control of Long-Term Climatological Data Using Objective Data Analysis. Journal of Applied Meteorology, 34, 2787-2795.
- Salvati M., Brambilla E. (2008) - Data quality control procedures in Alpine meteorological services. FORALPS Technical Report, 1. Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Trento, Italy, 28 pp.
- Terzago S., 2012. Climate change in the Alps: analysis of snow precipitation variability during the period 1926-2010 using historical and satellite series. Tesi di Dottorato Università di Torino Dip. Scienze della Terra, 217 pp.
- Schmidlin T.W., Wilks D.S., McKay M., Cember R.P. (1995) - Automated quality control procedure for the "water equivalent of snow on the ground" measurement. Journal of Applied Meteorology, 34 (1), 143-151.
- Wiesner. C.J. (1970) - Hydrometeorology. Chapman et al., Ltd., 232 pp.
- R Development Core Team. (2010) - R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0
- Štěpánek P., Zahradníček P., Skalák P. (2009) - Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961-2007, Advances in Science and Research, 3, 23-26.
- WMO, 1982: Guide on the global data-processing system. World Meteorological Organization, WMO (Series); no. 305; 1982 edition.
- Zahumensky, I., 2004: World Guidelines on Quality Control Procedures for Data from Automatic Weather Stations. World Meteorological Organization.
- Zhang X., Yang F. (2004) - RClimDex (1.0) User Manual. Climate Research Branch Environment Canada, Downsview, Ontario, Canada.

