

# ANALISI CRITICA DELL'APPROCCIO DI TIPO REGIONALE ALLO STUDIO DEGLI INNEVAMENTI:

## IL CASO

**Massimiliano Barbolini  
e Francesco Ferro**

FLOW-ING s.r.l.  
V.le S. Bartolomeo 777/16  
19126 La Spezia  
e-mail: info@flow-ing.com

**Daniele Moro**

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia  
Direzione Centrale Risorse Rurali  
Agroalimentari e Forestali  
Servizio del Corpo Forestale Regionale  
Settore Neve e Valanghe  
Via Sabbadini, 31  
33100 Udine  
e-mail: daniele.moro@regione.fvg.it

Nel recente passato era stato effettuato a cura degli scriventi uno studio degli innevamenti relativamente al territorio alpino e prealpino friulano, sulla base dei dati relativi a 43 stazioni di rilevamento nivometeorologico di tipo manuale appartenenti alla rete regionale. Nello studio era stata affrontata l'analisi statistica di due variabili nivometriche estremamente importanti sia con riferimento alla progettazione di interventi di difesa dalle valanghe che con riferimento alle simulazioni di dinamica di supporto alla mappatura delle aree a rischio: l'altezza del manto nevoso al suolo (Hs) e l'incremento dell'altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi di precipitazione (DH3gg). L'analisi, condotta con l'ausilio di tecniche di regionalizzazione, aveva consentito di stimare i valori delle variabili citate per prefissata zona geografica, quota e tempo di ritorno. Recentemente, a seguito dell'estensione delle basi di dati disponibili, è stato effettuato un aggiornamento dello studio originario, che ha offerto un'utile occasione per una prima analisi critica dei risultati ottenibili mediante un approccio di tipo "regionale" all'analisi dei dati di innevamento. È risultato così possibile mettere in evidenza come analisi statistiche dei dati di innevamento condotte con l'ausilio di tecniche di regionalizzazione possano fornire stime dei quantili delle variabili di interesse caratterizzate da un grado di accuratezza decisamente superiore a quello ottenibile mediante le più comuni stime di tipo puntuale usualmente adottate nella pratica ingegneristica.



# FRIULANO



## INTRODUZIONE

E' ben nota l'utilità pratica di conoscere i valori che importanti variabili nivometriche quali altezza della neve al suolo e precipitazione nevosa assumono con riferimento a quote e tempi di ritorno prefissati in relazione ad una data area geografica. Infatti l'altezza del manto nevoso al suolo  $H_s$  è il parametro nivometrico di progetto con riferimento al dimensionamento delle opere di difesa attiva nella zona di distacco (Direttive Elvetiche, 1990) e risulta inoltre una grandezza estremamente utile per il dimensionamento delle opere di difesa passiva in zona di arresto (Mears, 1981; Aineva, 2005). La precipitazione nevosa, in particolare quella su tre giorni consecutivi  $DH3gg$ , è invece il parametro nivometrico di riferimento per i calcoli di dinamica delle valanghe di supporto alla mappatura delle aree esposte al pericolo

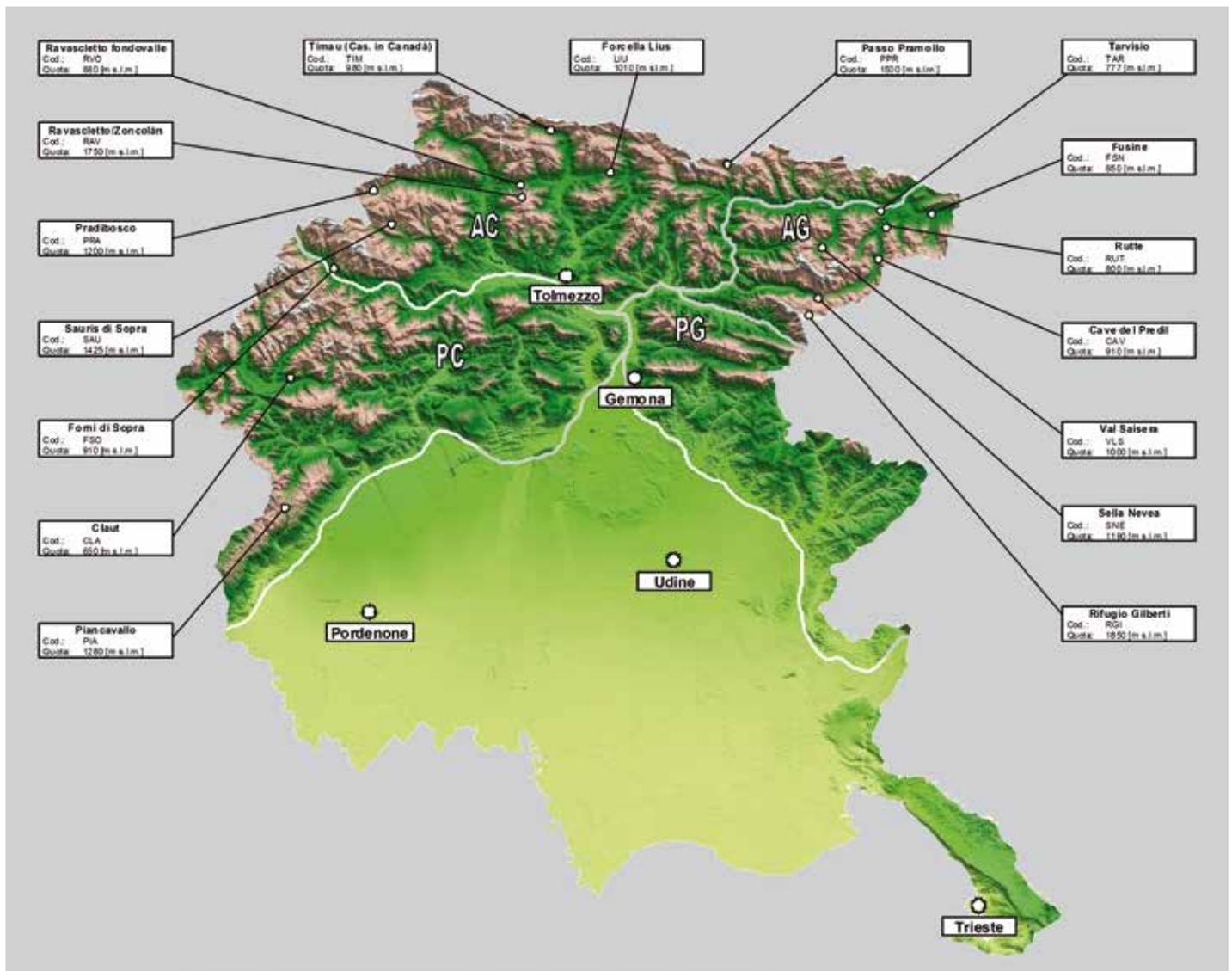
(Salm et al., 1990; Burkard e Salm, 1992; Aineva, 2005).

Per tali ragioni nel recente passato (2004) fu sviluppato dagli scriventi uno studio finalizzato a caratterizzare i valori di progetto delle citate variabili nivometriche ( $H_s$  e  $DH3gg$ ) con riferimento al territorio alpino e prealpino friulano. Lo studio si era basato sui dati di innevamento relativi a 43 stazioni di rilevamento di tipo manuale che, dalla stagione invernale 1972/73 alla stagione invernale 2003/04 avevano operato, anche in modo parziale e/o discontinuo, sul territorio regionale. Le analisi statistiche furono condotte utilizzando tecniche di regionalizzazione, al fine di ottenere risultati maggiormente affidabili e robusti con riferimento sia alle estrapolazioni temporali (ovvero per elevati tempi di ritorno) che spaziali

(ovvero in siti non strumentati). In particolare, poiché la base di dati disponibile era caratterizzata da stazioni con serie storiche di lunghezza  $L$  abbastanza contenuta (solo 4 stazioni con  $L > 25$  anni di cui una sola con  $L > 30$  anni), un'analisi di tipo regionale era stata ritenuta opportuna al fine di caratterizzare in maniera maggiormente accurata il comportamento delle variabili nivometriche con riferimento ai tempi di ritorno di maggiore interesse pratico, tipicamente superiori ai 30 anni. Per una descrizione del lavoro citato, ed in particolare delle tecniche di regionalizzazione utilizzate, si rimanda ad una precedente pubblicazione sulla rivista Neve e Valanghe (Barbolini et al., 2006).

A fronte di un successivo incremento della base di dati disponibile, è stato recentemente effettuato un aggiornamento dello

Fig. 1 - Rete di rilevamento manuale attualmente operativa sul territorio regionale (fanno eccezione la stazione di Pradibosco e Valsaisera, le cui registrazioni si sono interrotte rispettivamente alla stagione 2008/09 e 2009/10, riportate comunque in figura in quanto considerate nelle analisi).



STAZIONE	CODICE	COMUNE	QUOTA	N. DATI STUDIO 2004	N. DATI AGGIORNAMENTO
Cave del Predil	CAV	Tarvisio (UD)	910	16	23
Claut	CLA	Claut (PN)	650	29	36
Forcella Liûs	LIU	Ligosullo (UD)	1010	10	17
Forni di Sopra	FSO	Forni di Sopra (UD)	910	32	39
Fusine	FSN	Tarvisio (UD)	850	21	28
Passo Pramollo	PPR	Pontebba (UD)	1500	16	23
Piancavallo	PIA	Aviano (PN)	1280	27	34
Pradibosco	PRA	Prato Carnico (UD)	1200	10	15
Ravaschetto fondovalle	RVO	Ravaschetto (UD)	880	16	23
Ravaschetto Zoncolan	RAV	Sutrio (UD)	1750	25	32
Rifugio Gilberti	RGI	Chiusaforte (UD)	1850	31	38
Sauris di Sopra	SAU	Sauris (UD)	1425	22	29
Sella Nevea	SNE	Chiusaforte (UD)	1190	25	32
Tarvisio	TAR	Tarvisio (UD)	777	24	31
Val Saisera	VLS	Malborghetto Val. (UD)	1000	8	14

© AINEVA

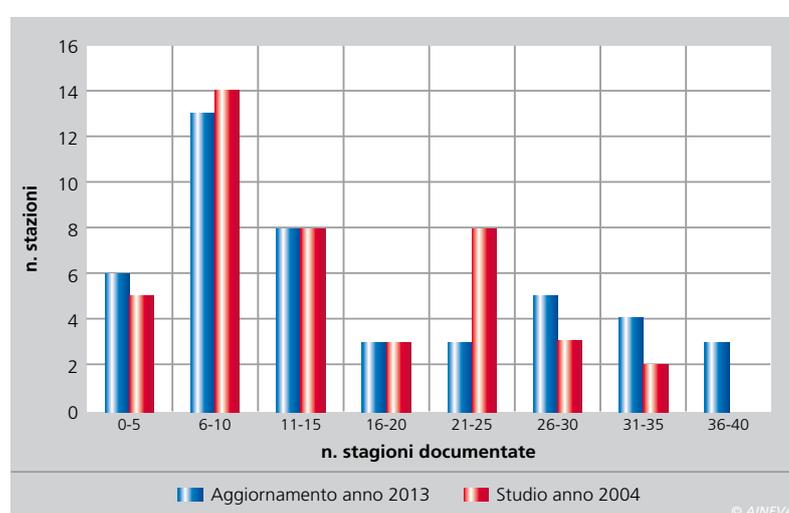
Tab. 1 - Stazioni di rilevamento manuali già utilizzate nel precedente studio (2004) per le quali si sono rese disponibili nuove stagioni documentate.

studio originario, aggiungendo ai dati di innevamento precedentemente considerati i dati raccolti presso stazioni di tipo manuale nel corso di sette stagioni invernali, a partire dalla stagione 2004/05 fino alla stagione 2010/11. I dati aggiuntivi - che ammontano a complessive 113 stagioni documentate - hanno riguardato 17 stazioni di rilevamento manuale, di cui 15 stazioni già censite e considerate nel precedente studio.

La filosofia dell'aggiornamento condotto è stata quella di rivisitare le analisi statistiche a suo tempo svolte, mantenendo invariato l'approccio metodologico e aggiornando la base di dati ed i valori di progetto delle variabili nivometriche di interesse (*Hs* e *DH3gg*) in ragione del maggior numero di stagioni documentate disponibili (di cui una, la stagione invernale 2008/09, particolarmente nevosa). L'aggiornamento condotto ha rappresentato anche un'utile occasione per valutare le potenzialità dell'approccio di tipo regionale all'analisi statistica dei dati di innevamento, ed effettuare un confronto tra tale metodologia e le più tradizionali tecniche di analisi di tipo puntuale.

## AGGIORNAMENTO DELLA BASE DI DATI

La base di dati di partenza utilizzata per l'aggiornamento dello studio fa riferimento ad un totale di 45 stazioni di rilevamen-



© AINEVA

Fig. 2 - Confronto tra le distribuzioni delle serie storiche disponibili nello studio originario (2004) e nel successivo aggiornamento (2013).

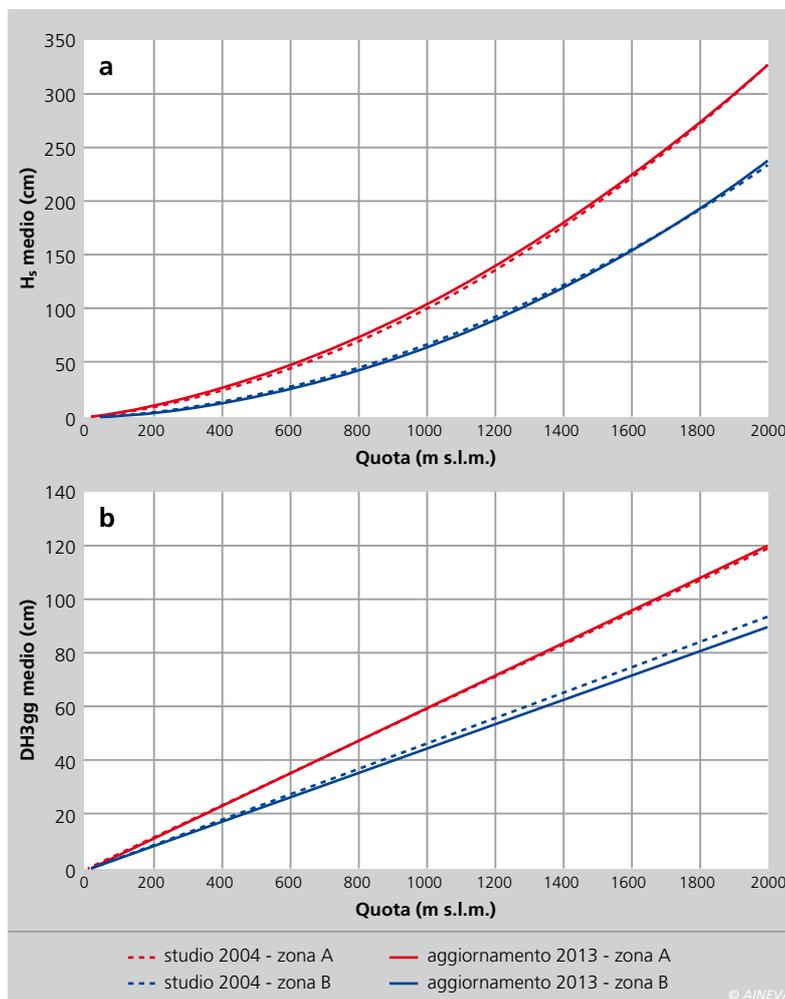
to nivometeorologico di tipo manuale; delle 45 stazioni, 43 sono le medesime già utilizzate nello studio originario, a cui si vanno ad aggiungere due stazioni di tipo manuale di nuova installazione: "Rutte" (denominazione: RUT), ubicata nel comune di Tarvisio ad una quota di 800 m s.l.m., operativa dalla stagione invernale 2004/05 e "Timau Casetta in Canada" (denominazione: TIM), ubicata nel comune di Paluzza ad una quota di 980 m s.l.m., operativa dalla stagione invernale 2007/08. In relazione alle 43 stazioni precedentemente considerate, per 15 stazioni si sono resi disponibili nuove stagioni documentate, così come riassunto in Tabella 1. Tali stazioni - assieme alle due stazioni di nuova installazione sopra menzionate - sono rappresentative della rete di rilevamento manuale attualmente operativa a livello regionale (Figura 1).

Nel contesto dell'aggiornamento dello studio sono state aggiunte complessivamente 113 stagioni invernali (102 per le 15 stazioni già utilizzate in precedenza, più 11 stagioni relative alle due nuove stazioni); il numero totale di stagioni documentate disponibili è passato pertanto dalle 612 del precedente studio alle 725 del presente aggiornamento, con un incremento significativo (18.5% circa) dell'estensione complessiva della base di dati.

In Figura 2 è rappresentato l'aggiornamento della distribuzione della lunghezza delle serie storiche in funzione del numero di stazioni. Nella maggioranza dei casi le serie storiche mantengono una lunghezza variabile tra 5 ed 15 anni, sebbene rispetto al precedente studio si registri un aumento del numero di stazio-



Fig. 3 - Confronto tra gli andamenti dei valori medi di  $H_s$  (a) e  $DH3gg$  (b) con la quota nelle zone nivometriche A e B ottenute nello studio originario (2004) e nel successivo aggiornamento (2013).



ni con serie storiche di dati di lunghezza compresa tra 25 e 40 anni (che risultano più che raddoppiate, passando da 5 a 12, vedi Figura 2). In particolare, le serie storiche più lunghe ( $L > 30$  anni) sono relative alle seguenti sette stazioni:

- Forni di Sopra (FSO): 39 anni;
- Rifugio Gilberti (RGI): 38 anni;
- Claut (CLA): 36 anni;
- Piancavallo (PIA): 34 anni;
- Ravascletto Mt. Zoncolan (RAV): 32 anni;
- Sella Nevea (SNE): 32 anni;
- Tarvisio (TAR): 31 anni

## AGGIORNAMENTO DELLO STUDIO

Nell'approccio di tipo regionale all'analisi statistica dei dati di innevamento, il valore di progetto di una generica variabile nivometrica, nel seguito indicata con  $x$ , ovvero il valore che la variabile  $x$  assume in relazione a prefissate posizione geografica  $P$  e tempo di ritorno  $T$ , è esprimibile come:

$$x(P, T) = \overline{x(P)} \cdot x^*(T) \quad [1]$$

dove  $\overline{x(P)}$  indica il valore medio della variabile  $x$  relativo alla posizione  $P$ , mentre  $x^*(T)$  descrive l'andamento del valore adimensionale della variabile  $x$  in funzione del tempo di ritorno (tale funzione viene generalmente denominata "curva di crescita regionale", nel seguito per semplicità indicata con la dicitura CCR).

Nello studio originario, a cui si rimanda per ogni necessario dettaglio (Barbolini et al., 2006), i valori medi delle due variabili di interesse ( $H_s$  e  $DH3gg$ ) erano stati caratterizzati, per due distinte zone nivometriche (denominate Zona A e Zona B, rispettivamente a maggior e minor innevamento) in funzione della quota di progetto  $z$ , ovvero:

$$\overline{x_A} = \overline{x_A(z)} \quad [2a]$$

$$\overline{x_B} = \overline{x_B(z)} \quad [2b]$$

mentre per le curve di crescita regionale si era ritenuto di attuare una regionalizzazione su due intervalli altimetrici distinti,

rispettivamente inferiori ai 1000 m s.l.m. (basse quote, BQ) e superiori ai 1000 m s.l.m. (alte quote, AQ):

$$x_{BQ}^* = x_{BQ}^*(T) \quad [3a]$$

$$x_{AQ}^* = x_{AQ}^*(T) \quad [3b]$$

Pertanto, a titolo esemplificativo, il valore di progetto per la variabile nivometrica  $x$  (che può indicare sia  $Hs$  sia  $DH3gg$ ) in un comune appartenente alla zona nivometrica "A" per una quota di progetto  $z > 1000$  m s.l.m. e per un tempo di ritorno  $T'$  era ottenuto mediante la seguente espressione:

$$x(z', T') = \overline{x_A(z')} \cdot x_{AQ}^*(T') \quad [4]$$

In relazione alla nuova base di dati sono stati aggiornati per le due variabili nivometriche  $Hs$  e  $DH3gg$  sia gli andamenti dei valori medi con la quota, ovvero le relazioni  $\overline{x_A(z)}$  e  $\overline{x_B(z)}$ , sia le curve di crescita regionale, ovvero le relazioni  $x_{BQ}^*(T)$  e  $x_{AQ}^*(T)$ .

In relazione alla variabilità spaziale delle grandezze di interesse sono risultati sostanzialmente confermati i risultati dello studio del 2004, sia in termini di definizione delle regioni nivometriche a maggiore e minore innevamento (zone nivometriche A e B) che in termini di andamento dei valori medi di  $Hs$  e  $DH3gg$  con la quota per le due regioni nivometriche (Figura 3); si è riscontrata solo una lieve riduzione del tasso di crescita di  $DH3gg$  con la quota nella zona nivometrica B (da 4.7 cm/100m a 4.5 cm/100m, vedi Figura 3b).

Anche con riferimento alle curve di crescita regionale sono risultati sostanzialmente confermati, per entrambe le variabili, gli andamenti relativi allo studio del 2004 (differenze percentuali mai superiori al 2.5%, vedi Figura 4); fa eccezione la CCR di  $Hs$  ad alte quote, che nell'aggiornamento al 2013 risulta caratterizzata, per i tempi di ritorno più elevati, da valori significativamente maggiori rispetto a quanto ottenuto nello studio del 2004

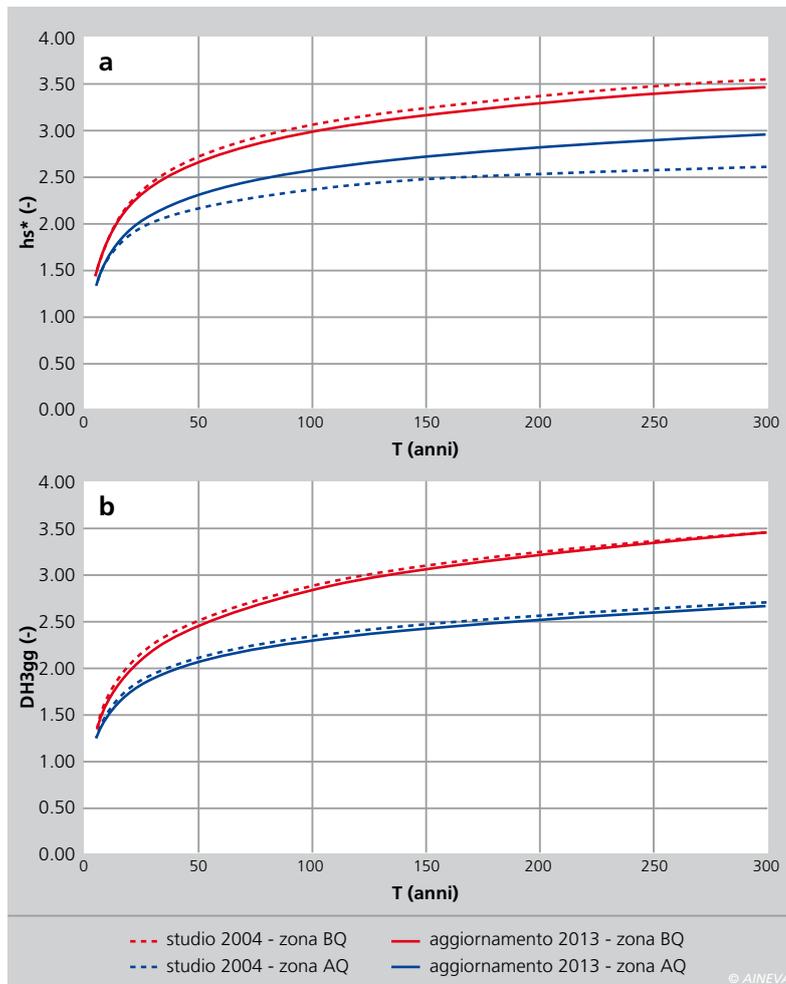


Fig. 4 - Confronto tra le Curve di Crescita Regionale di  $Hs$  (a) e  $DH3gg$  (b) valide rispettivamente per le alte quote (AQ) e basse quote (BQ), ottenute nello studio originario (2004) e nel successivo aggiornamento (2013).

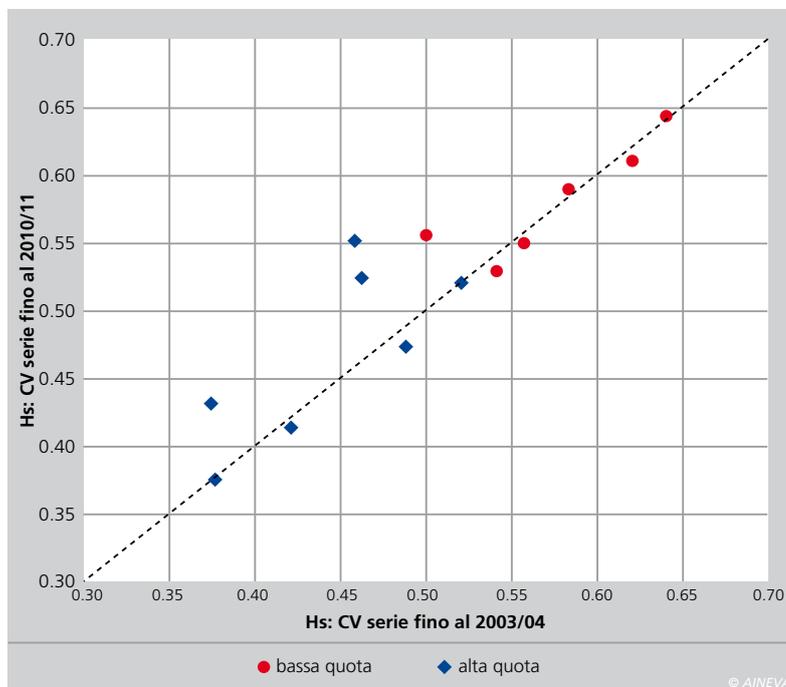


Fig. 5 - Confronto dei valori dei coefficienti di variazione relativi alla variabile  $Hs$  per le differenti stazioni di rilevamento, distinte in relazione alla loro quota, in funzione della lunghezza dei dati campionari utilizzati.

(differenze dell'ordine del 12-13% per tempi di ritorno superiori ai cento anni, vedi Figura 4a). Come si evince dall'analisi di Figura 5 in effetti per 3 delle 7 stazioni considerate per la derivazione della CCR di  $Hs$  ad alta quota (Passo Pramollo, Ra-

vaschetto Zoncolan e Forcella Lius) l'aggiornamento delle serie di dati ha comportato un significativo incremento del coefficiente di variazione, che spiega la modifica intervenuta nella curva di crescita regionale. Tale tipo di problematica

è da ricondursi alla lunghezza contenuta delle serie di dati disponibili: l'aggiunta di nuovi dati in tale caso può comportare modifiche anche significative dei valori dei momenti campionari, soprattutto per quelli di ordine superiore al primo, e quindi dei valori dei parametri caratteristici delle curve di distribuzione di probabilità utilizzate per adattare i dati campione.

Gli aggiornamenti intervenuti hanno avu-

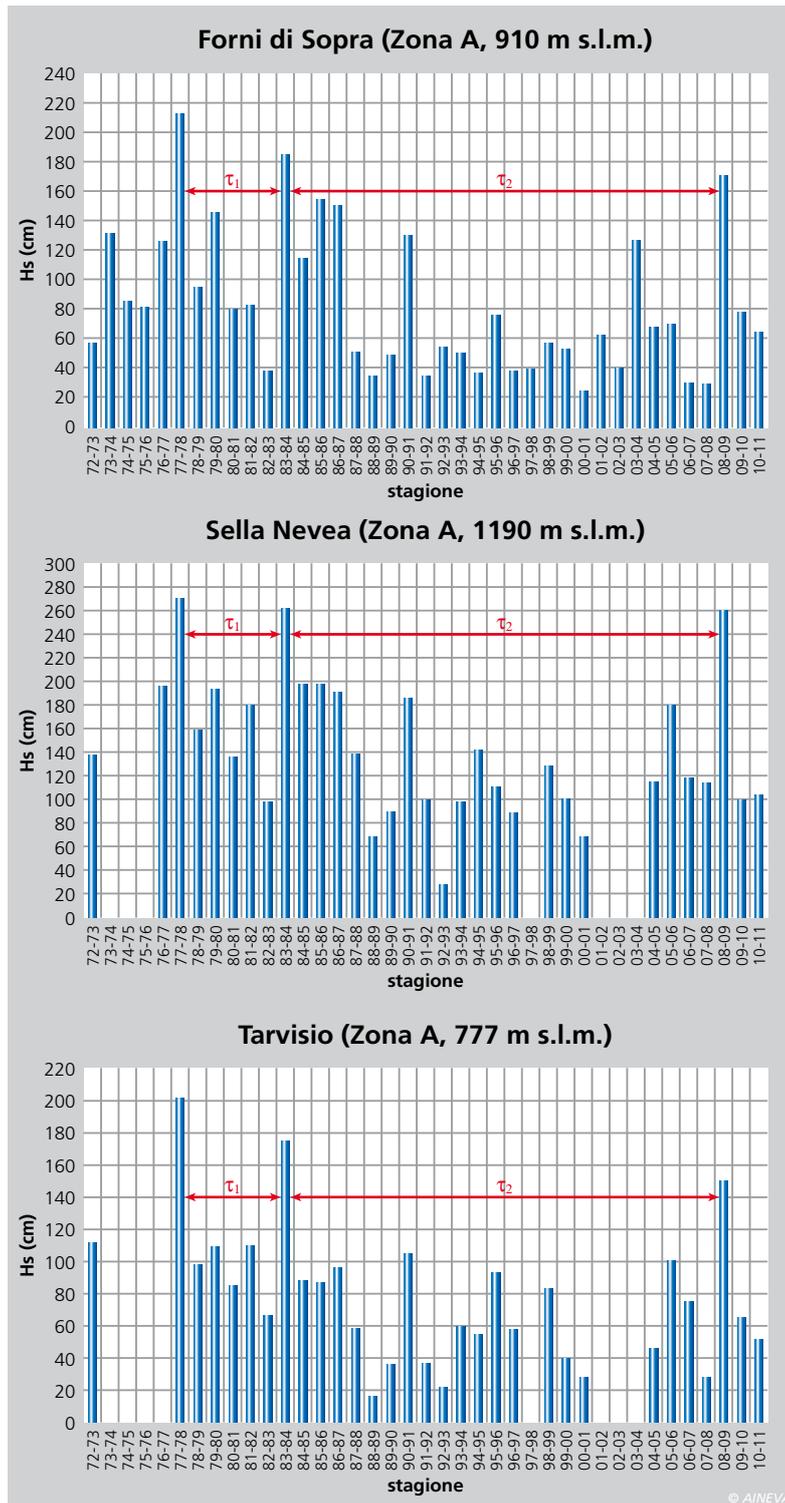
to i seguenti effetti sui valori di progetto delle due variabili di interesse: (a) nel caso di *DH3gg*, per la zona A i valori risultano sostanzialmente invariati rispetto allo studio originario, mentre per la zona B si hanno contenute variazioni in diminuzione (differenze massime relative alle quote e tempi di ritorno maggiori comunque contenute entro il 5%); (b) nel caso di *Hs* gli effetti delle variazioni intervenute sulle CCR comportano differenze dei valori

di progetto che, sia per la zona A che per la zona B, arrivano ad essere dell'ordine del 10% dei valori originari.

## ANALISI CRITICA DEI RISULTATI DELLO STUDIO

Le analisi riportate nel presente paragrafo sono riferite alla variabile *Hs*, caratterizzata da basi di dati maggiormente estese e affidabili.

Fig. 6 - Istogrammi dei valori massimi di *Hs* per le stazioni Forni di Sopra, Sella Nevea e Tarvisio. (cfr. eq. [5]:  $\tau_1=6$  anni;  $\tau_2=25$  anni,  $N=2, T15$  anni).



Ai fini di una preliminare validazione dello studio su base regionale, utilizzando le stazioni con le serie storiche più consistenti di rilevazioni (ovvero quelle caratterizzate da un numero di stagioni documentate  $L$  maggiore o uguale a 30), si è stimato il valore del tempo di ritorno dell'evento relativo alla stagione invernale 2008/09. La stima è stata effettuata utilizzando la definizione di tempo di ritorno di un evento, che può essere definito come l'intervallo di tempo medio in cui l'evento si ripete (Cunnane, 1989):

$$T = \frac{\sum \tau_i}{N} \quad [5]$$

dove con  $\tau_i$  si è indicato la lunghezza (in anni) dell'*i*-esimo intervallo di tempo e con  $N$  il numero di intervalli. Al fine di aumentare il numero di stazioni relative alla zona nivometrica B, è stata inclusa in tale analisi anche la stazione Sauris di Sopra (SAU), caratterizzata da una serie storica di 29 anni.

Applicando l'equazione [5] alle serie storiche dei massimi anni di *Hs* si è potuto stimare un tempo di ritorno relativo all'evento del 2008/09 compreso approssimativamente tra 15 e 30 anni, con il valore inferiore che appare preferibilmente riferibile alla zona nivometrica A ed alla quote più basse (es. Forni di Sopra, Sella Nevea e Tarvisio, vedi Figura 6) e il valore maggiore alla zona nivometrica B o alle quote più elevate (es. Rifugio Gilberti, Ravascletto Mt. Zoncolan e Sauris di Sopra, Figura 7). Occorre evidenziare che la stima del tempo di ritorno dell'evento del 2008/09, sebbene risulti giocoforza approssimata (in ragione

del limitato numero di intervalli di tempo su cui è stato possibile effettuare la stessa e della qualità ed incertezza di alcuni specifici dati rilevati, quali ad esempio il valore assunto dalla variabile  $H_s$  per l'anno 2008/09 alla stazione Ravaschetto Mt. Zoncolan), è comunque sufficientemente rappresentativa ai fini delle analisi di seguito condotte.

Per un'analisi comparativa dei risultati dello studio condotto con un approccio di tipo regionale è interessante osservare le Figure da 8 a 11 in cui, con riferimento ad alcune stazioni di rilevamento nivometrico, sono mostrati gli andamenti della variabile  $H_s$  in funzione del tempo di ritorno ottenuti sulla base delle seguenti metodologie di analisi:

- analisi statistica della serie storica di dati puntuali disponibili fino alla stagione 2003/04, adattando i dati campione con la distribuzione di Gumbel (EV1);
- analisi statistica della serie storica di dati puntuali estesi includendo le sette stagioni dal 2004/05 al 2010/11, adattando i dati campione con la distribuzione di Gumbel (EV1);
- analisi regionale dei dati di innevamento, sia nella versione originaria (studio 2004) che nella versione aggiornata (al 2013).

Si può osservare quanto segue.

Stazione Forcella Lius, zona nivometrica B,  $z=1010$  m s.l.m. (Figura 8): il valore massimo di altezza di neve al suolo misurato nel 2008/09, pari a 134 cm, sulla base dell'analisi regionale risulta avere un tempo di ritorno pari a circa 20 anni, indipendentemente dal fatto che si consideri lo studio del 2004 o il successivo aggiornamento, valore compatibile con la stima effettuata sulla base delle serie storiche più lunghe (vedi Figura 7); è invece interessante notare come il tempo di ritorno associato a tale valore sulla base di analisi di dati puntuali risulti fortemente influenzato dalla serie storica considerata (dati fino al 2003/04 oppure fino al 2010/11) e comunque in ogni caso notevolmente sovrastimato (circa 300 anni nel caso della

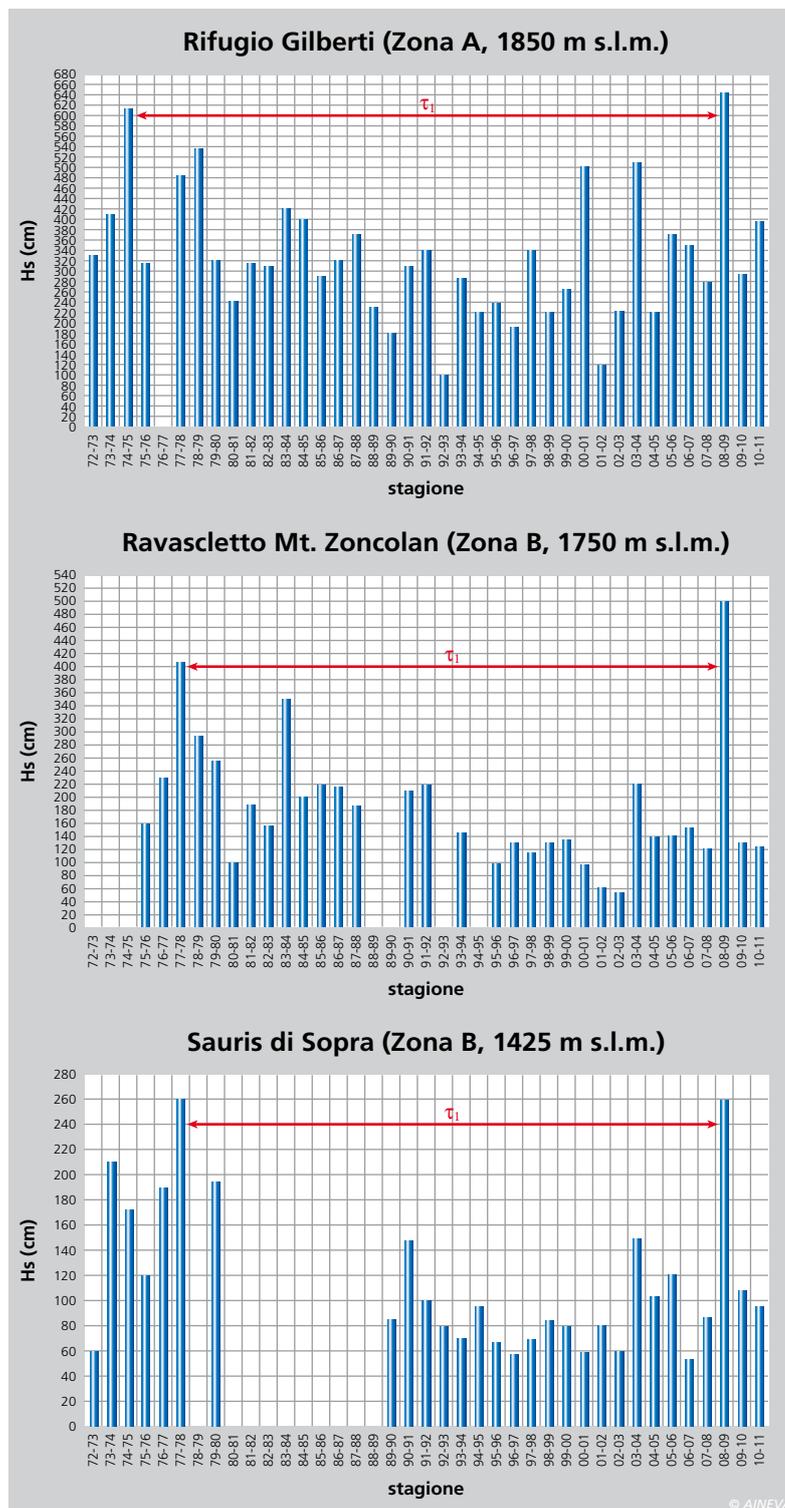


Fig. 7 - Istogrammi dei valori massimi di  $H_s$  per le stazioni di Rifugio Gilberti, Ravaschetto Mt. Zoncolan e Sauris di Sopra (cfr. eq. [5]:  $\tau_1 = T 30$  anni).

serie di registrazioni fino al 2003/04, circa 70 anni considerando la serie aggiornata ed estesa).

Stazione Pradibosco, zona nivometrica B,  $z=1200$  m s.l.m. (Figura 9): il valore massimo di altezza di neve al suolo misurato nel 2008/09, pari a 196 cm, sulla base dell'analisi regionale risulta avere un tempo di ritorno pari a circa 30 anni, con differenze trascurabili tra lo studio del

2004 e il successivo aggiornamento, valore pienamente in linea con la stima effettuata sulla base delle serie storiche più lunghe (Figura 7); anche in questo il tempo di ritorno associato a tale valore sulla base di analisi di dati puntuali risulta fortemente influenzato dalla serie storica considerata e comunque notevolmente sovrastimato (sopra 300 anni nel caso della serie di registrazioni fino al 2003/04, circa 85 anni considerando la serie opportunamente

Fig. 8 - Valori della variabile  $H_s$  in funzione del tempo di ritorno  $T$  per la stazione Forcella Lius, ottenuti con differenti metodi di stima.

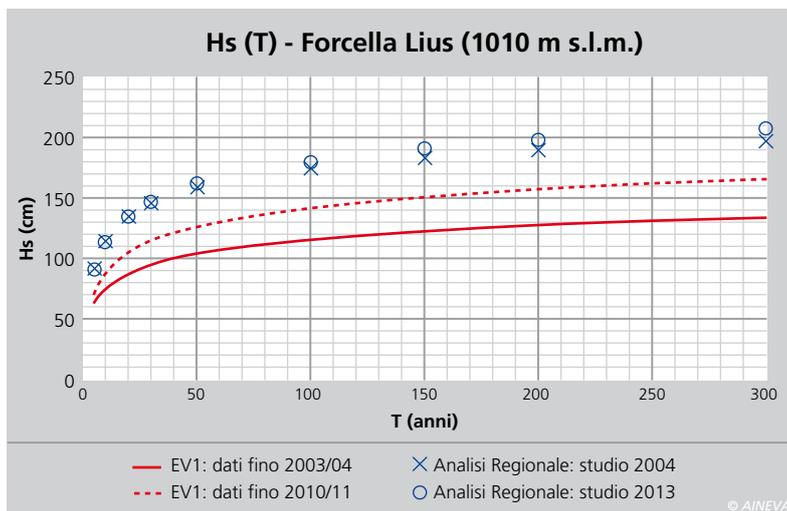
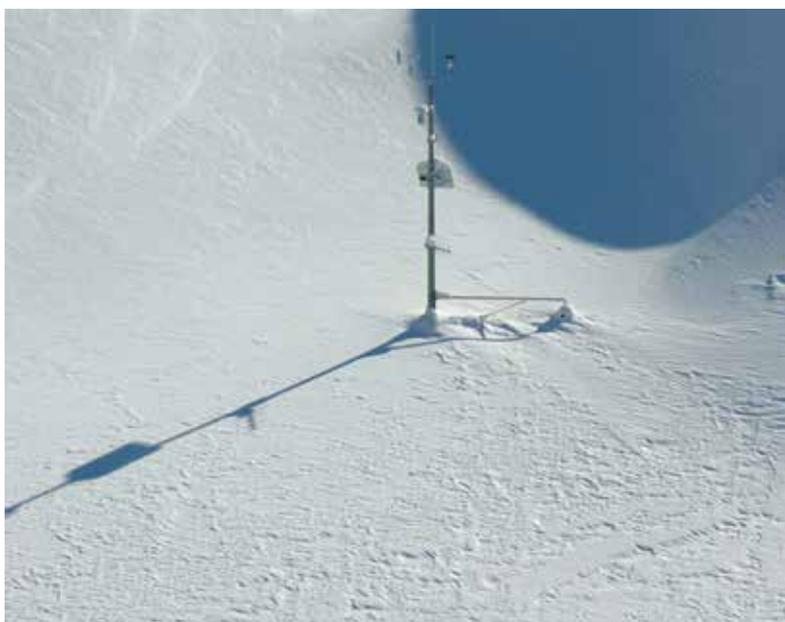
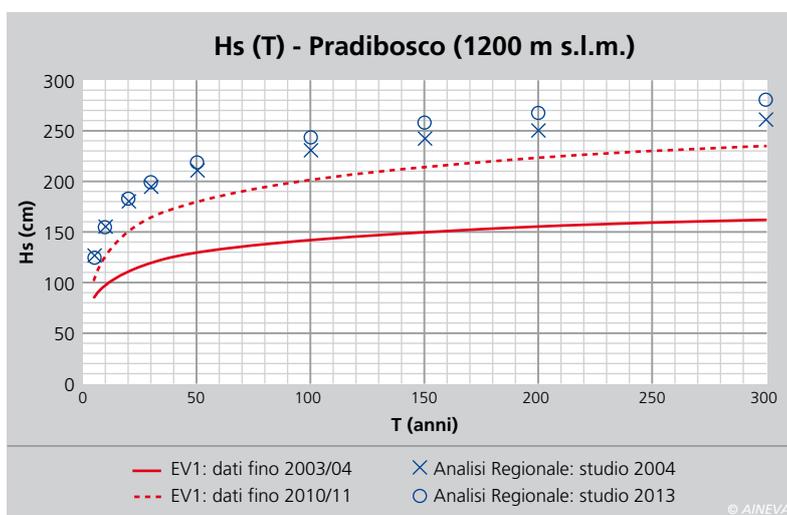


Fig. 9 - Valori della variabile  $H_s$  in funzione del tempo di ritorno  $T$  per la stazione Pradibosco, ottenuti con differenti metodi di stima.



aggiornata ed estesa).

Stazione Passo Pramollo, zona nivometrica A,  $z=1500$  m s.l.m. (Figura 10): il valore massimo di altezza di neve al suolo misurato nel 2008/09, pari a 380 cm, sulla base dell'analisi regionale risulta avere un

tempo di ritorno pari a circa 20 anni, con differenze minime tra lo studio del 2004 e il successivo aggiornamento, valore che risulta compatibile con la stima effettuata sulla base delle serie storiche più lunghe (vedi Figura 6); viceversa, il tempo di ri-

torno associato a tale valore sulla base di analisi di dati puntuali risulta notevolmente sovrastimato (160 anni circa nel caso della serie di registrazioni fino al 2003/04, circa 75 anni considerando la serie opportunamente aggiornata ed estesa) e comunque fortemente influenzato dalla serie storica considerata.

Stazione Valsaisera, zona nivometrica A,  $z=1000$  m s.l.m. (Figura 11): il valore massimo di altezza di neve al suolo misurato nel 2008/09, pari a 192 cm, sulla base dell'analisi regionale risulta avere un tempo di ritorno pari a circa 15 anni, con differenze minime tra lo studio del 2004 e il successivo aggiornamento, valore pienamente in linea con la stima effettuata sulla base delle serie storiche più lunghe (Figura 6); il tempo di ritorno associato a tale valore sulla base di analisi di dati puntuali risulta influenzato dalla serie storica considerata e comunque in ogni caso sovrastimato (circa 40 anni nel caso della serie di registrazioni fino al 2003/04, circa 25 anni considerando la serie opportunamente aggiornata ed estesa).

## CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato descritto l'aggiornamento dello studio degli innevamenti relativo al territorio friulano. Tanto lo studio originario (2004) quanto il successivo aggiornamento (2013) sono stati condotti utilizzando tecniche di analisi regionale sui dati registrati dalla rete di rilevamento nivometeorologico regionale (stazioni di tipo manuale). L'aggiornamento ha offerto l'occasione di effettuare un'analisi critica dei risultati dello studio.

Da un lato si è cercato di effettuare una prima validazione dei valori di progetto che lo studio restituisce. Sulla base dei dati delle stazioni di rilevamento che presentano le serie storiche più consistenti è stato stimato per via empirica il tempo di ritorno della variabile nivometrica "altezza massima del manto nevoso al suolo" relativamente al valore raggiunto nel corso della stagione invernale 2008/09, particolarmente significativa in termini di innevamento. Si

è quindi osservato come i risultati dello studio condotto nel 2004, pertanto prima del verificarsi dell'evento in esame, fossero in grado di caratterizzare in maniera sostanzialmente corretta il grado di rarità di tale evento, e come tale caratterizzazione si mantenga robusta anche in relazione al successivo aggiornamento dello studio.

Al tempo stesso si è ritenuto utile effettuare un confronto tra risultati ottenibili elaborando i dati di innevamento con metodologie di analisi di tipo "regionale" e di tipo "puntuale". In effetti, nella pratica comune, la stima della curva di distribuzione di probabilità di una variabile nivologica è generalmente ottenuta elaborando un unico campione di dati misurati nel sito di interesse (o comunque in una stazione di rilevamento ritenuta significativa). Per questa procedura, indicata appunto come stima puntuale, vale la regola generale che un quantile con tempo di ritorno  $T$  può essere stimato in maniera affidabile da un campione di dimensione  $L$  solo se  $T \leq L$  (Hosking e Wallis, 1997). Le analisi comparative condotte hanno in effetti evidenziato come le analisi puntuali su serie storiche di dimensione limitata risultino effettivamente sia poco accurate (ovvero affette da consistenti errori di stima) sia poco robuste (ovvero affette da forte variabilità in funzione della serie campionaria utilizzata), mentre l'utilizzo di tecniche di "regionalizzazione" consente di migliorare sia l'accuratezza che la robustezza dei risultati. Ciò è tanto più vero con riferimento alla stima dei quantili di interesse in applicazioni ingegneristiche, caratterizzati da tempi di ritorno significativamente elevati (tipicamente  $100 \leq T \leq 300$ ) soprattutto in rapporto alla lunghezza caratteristica delle serie storiche usualmente disponibili (tipicamente  $L \leq 50$ ).

Giova altresì ricordare come l'utilizzo di tecniche di analisi di tipo regionale consenta di rendere disponibili i valori di progetto delle variabili analizzate per ogni zona del territorio regionale (ovvero per ogni comune e quota altimetrica) indipendentemente dalla presenza o meno di

stazioni di misura nella zona di interesse, aspetto che assume particolare rilevanza in considerazione del fatto che la posizione delle stazioni di rilevamento generalmente non coincide con quella delle zone di maggiore interesse pratico (tipicamente le stazioni di rilevamento nivometeorologico risultano ubicate a quote inferiori rispetto alle zone di distacco delle valanghe).

Infine si ritiene di evidenziare come l'aggiornamento condotto abbia riguardato sostanzialmente stazioni già considerate nel precedente studio (vedi Tabella 1), ubicate approssimativamente nell'intervallo di quote  $500 \div 2000$  m s.l.m. Pertanto il limite legato all'assenza di dati misurati a quote superiori ai 2000 m s.l.m. permane ed i valori di progetto forniti per le quote superiori ai 2000 m s.l.m. mantengono pertanto valore puramente indicativo. Un'analisi più approfondita del comportamento alle quote più elevate, che si ritiene

estremamente importante, dovrà essere necessariamente preceduta da una adeguata raccolta di dati.

## Bibliografia

- Aineva, 2005. Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe.
- Barbolini, M., Pagliardi, M., Ferro, F., Stefanelli, P. e Filaferro, E. 2006. Distribuzione degli innevamenti sulla montagna friulana: analisi statistica delle principali variabili nivometriche. Neve e Valanghe n.58, pp 34-43.
- Burkard, A. e Salm, B. 1992. Die Bestimmung der Mittleren Anrismächtigkeit  $d_0$  zur Berechnung von Fließlawinen. Internal Report of the Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research, No. 668, Davos, Switzerland, 18 pp.
- Cunnane, C. 1989. Statistical Distribution for Flood Frequency Analysis. WMO-Operational Hydrology Report, No. 33, 61 pp.
- Direttive Elvetiche. 1990. Direttive per la Costruzione delle Opere di Premunizione Valangaria nella Zona di Distacco, UFAFP-FNP, Berna (CH), 75 pp.
- Hosking, J.M.R. e Wallis J.R. 1997. Regional Frequency Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 224 pp.
- Mears, A. 1981. Design criteria for avalanche control structures in the runout zones, USDA Forest Service General Technical Report, RM-84, 28 pp.
- Salm, B., Burkard, A. e Gubler, H. 1990. Berechnung von Fließlawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen, Eidg. Inst. Schnee- und Lawinenforsch. Mitt., 47, 41 pp. ("Calcul des Avalanches: Une Methode pour le Praticien avec des Exemples"; SFISAR Message No 47 - Translated in French by Ancey C., 1994).

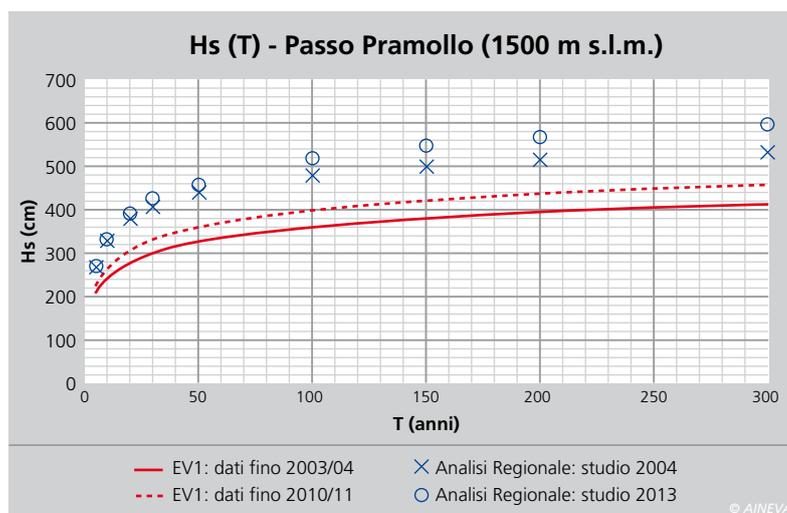


Fig. 10 - Valori della variabile  $H_s$  in funzione del tempo di ritorno  $T$  per la stazione Passo Pramollo, ottenuti con differenti metodi di stima.

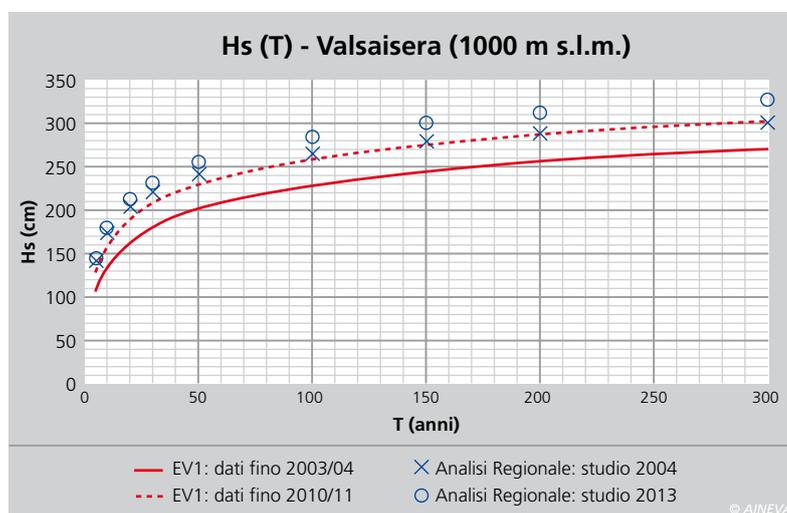


Fig. 11 - Valori della variabile  $H_s$  in funzione del tempo di ritorno  $T$  per la stazione Valsaisera, ottenuti con differenti metodi di stima.