

DISTRIBUZIONE DEGLI **INNEVAMENTI** SULLA MONTAGNA FRIULANA

Analisi statistica delle principali variabili nivometriche

Massimiliano Barbolini e Matteo Pagliardi
Università degli Studi di Pavia
Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale
Via Ferrata, 1 - 27100, Pavia
m.barbolini@unipv.it

Francesco Ferro
FLOW-ING s.r.l.
P.za J.F. Kennedy, 27 – 19124 La Spezia
f.ferro@flow-ing.com

Paolo Stefanelli ed Enrico Filaferro
Regione autonoma Friuli Venezia Giulia
Direzione centrale risorse agricole,
naturali, forestali e montagna
Servizio territorio montano e manutenzioni
Via del Cotonificio, 127
I - 33100 Udine
paolo.stefanelli@regione.fvg.it

Con riferimento al territorio alpino e prealpino friulano, in questo lavoro viene presentata l'analisi statistica di due importanti variabili nivometriche: 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 ha consentito di determinarne i valori di progetto di tali variabili, ovvero i valori per prefissata zona geografica, quota e tempo di ritorno. Tali valori sono essenziali sia con riferimento alla progettazione di interventi di difesa dalle valanghe che con riferimento alle simulazioni dinamiche per la mappatura delle aree a rischio. L'utilizzo di tecniche di "regionalizzazione" ha consentito di ottenere risultati affidabili e robusti con riferimento alle estrapolazioni temporali (ovvero per elevati tempi di ritorno) e spaziali (ovvero in siti non strumentati).

I risultati dello studio sono stati implementati in un programma di visualizzazione e di ricerca facilitata (es. per comune, per quota, per tempo di ritorno), che ha reso estremamente semplice e veloce sia la fruizione dei risultati dello studio che la loro divulgazione.



INTRODUZIONE

La conoscenza del legame che sussiste tra una determinata variabile nivometrica ed il tempo di ritorno (ovvero l'intervallo medio di tempo che intercorre tra due superamenti successivi di un determinato valore della variabile) risulta essere di grande importanza pratica poiché permette di valutare l'intensità di eventi di data periodicità (soprattutto con riferimento ad eventi nivometrici "estremi", ovvero rari), e di predisporre adeguati strumenti preventivi.

Generalmente tale legame viene individuato elaborando i massimi annui della variabile nivometrica misurati in una serie di anni, anche non consecutivi. Questa procedura è usualmente definita come elaborazione delle *serie dei massimi annui*. Inoltre, nella pratica comune, la stima della *funzione di probabilità* di

una variabile nivologica (ossia il legame tra la variabile e la probabilità di non superamento di un determinato valore) viene ottenuta elaborando un unico campione di dati misurati nel sito di interesse (o comunque in una stazione di rilevamento ritenuta significativa); questa procedura viene indicata come *stima puntuale*. Tale approccio comporta inevitabilmente due tipologie di problemi:

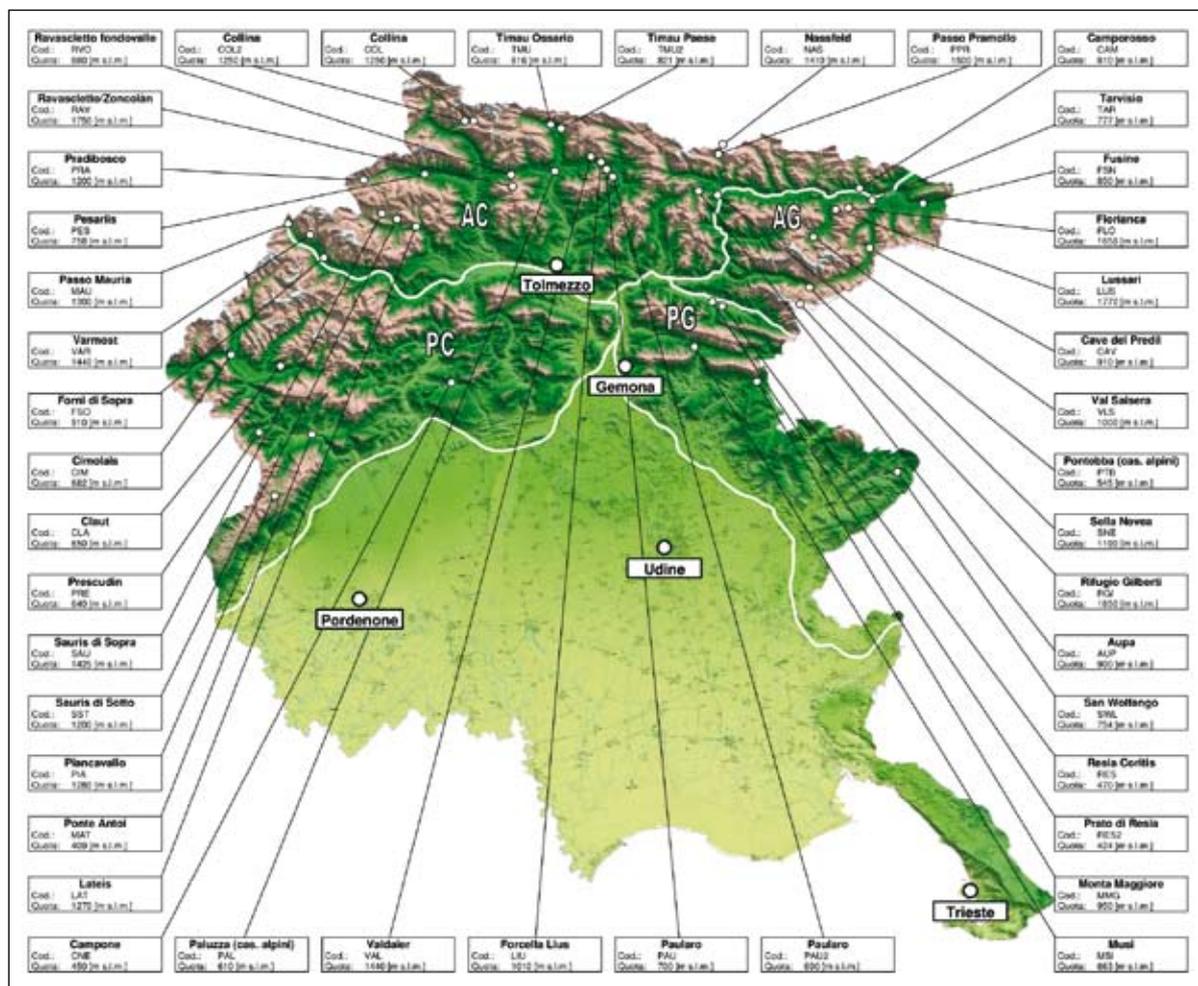
a) i campioni di dati puntuali disponibili sono raramente di dimensione sufficiente da garantire stime affidabili dei *quantili* di interesse in applicazioni ingegneristiche (ove per quantile si intende il valore che la variabile assume per un determinato tempo di ritorno);

b) i campioni di dati puntuali disponibili sono generalmente misurati in stazioni di rilevamento la cui posizione non coincide con la

zona di interesse (tipicamente le stazioni di rilevamento nivometeorologico risultano ubicate a quote inferiori rispetto alle zone di distacco delle valanghe).

Nel presente studio, al fine di superare i due problemi menzionati, viene fatto ricorso a procedure di *stima regionale* (Cunnane, 1989; Maione e Moisello, 1993; Hosking e Wallis, 1997). L'analisi regionale utilizza una "trasposizione" dell'informazione spaziale in una informazione di tipo temporale: i dati relativi a numerose stazioni di rilevamento sono opportunamente combinati ed utilizzati per stimare le frequenze di accadimento degli eventi in ciascun sito (e più in generale su tutta la regione), una volta verificata l'ipotesi che le funzioni di probabilità relative ai differenti siti non siano troppo dissimili tra loro. In effetti si può intuitivamente sperare che il

Fig. 1 - Distribuzione geografica delle stazioni manuali utilizzate nel presente studio. Sono indicate le quattro zone geografiche in cui viene classicamente studiata la montagna friulana (PC: Prealpi Carniche; AC: Alpi Cariche; AG: Alpi Giulie; PG: Prealpi Giulie)



campione ottenuto raggruppando opportunamente tutte le informazioni disponibili in differenti siti possa consentire una stima accurata del quantile con tempo di ritorno di interesse nella pratica ingegneristica. In realtà un tale assunto non corrisponde al vero, in quanto nella regionalizzazione possono nascere problemi sia in virtù del fatto che le leggi di distribuzione relative ai differenti siti non risultano esattamente le medesime sia per effetto del fatto che le misure non risultano rigorosamente statisticamente indipendenti. Ciò nondimeno è ormai ampiamente dimostrato che analisi regionali adeguatamente condotte forniscono stime dei quantili delle variabili di interesse caratterizzate da un grado di accuratezza decisamente superiore a quello ottenibile mediante stime di tipo puntuale (Cunnane, 1989).

Con riferimento al territorio alpino e prealpino friulano, scopo principale è stata pertanto l'effettuazione di un'analisi statistica di tipo regionale delle seguenti variabili nivometriche:

- altezza del manto nevoso al suolo (nel seguito indicata con H_s);
- incremento dell'altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi di precipitazione nevosa (nel seguito indicata con $DH3gg$).

Tali variabili rivestono una valenza fondamentale sia con riferimento alla progettazione degli interventi di difesa dalle valanghe (siano essi opere di difesa attiva in zona di distacco o opere di difesa passiva in zona di arresto) che con riferimento alle simulazioni dinamiche finalizzate alla mappatura delle aree a rischio. L'analisi statistica delle suddette variabili consente di caratterizzarne i valori di progetto in funzione del luogo (zona, quota) e del tempo di



ritorno. La caratterizzazione della variabilità "spazio-temporale" delle condizioni di innevamento sul territorio oggetto di studio rappresenta inoltre un utile strumento conoscitivo con riferimento alla previsione del pericolo. Risulta infatti possibile: (i) correlare le condizioni nivometeorologiche relative a differenti zone del territorio in esame (ovvero stimare le condizioni nivometriche in varie zone a partire da una o più stazioni rappresentative); (ii) caratterizzare il grado di rarità delle situazioni nivometeorologiche che si verificheranno, e valutarne in prima approssimazione il grado di pericolo in termini di attività valanghiva.

Nel seguito sono presentate le analisi effettuate allo scopo di determinare i valori di progetto dall'altezza del manto nevoso al suolo (H_s). Elaborazioni del tutto analoghe sono state condotte anche con riferimento all'incremento dell'altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi di precipitazione ($DH3gg$); per ragioni di sintesi tali elaborazioni non vengono nel seguito presentate. In conclusione all'articolo si riportano comunque

i risultati finali relativi sia a H_s che a $DH3gg$.

Infine si descrive brevemente l'implementazione software dei risultati dello studio. L'applicativo realizzato costituisce un utile strumento per la gestione e la visualizzazione dei valori di progetto delle variabili nivometriche studiate, rendendo semplice e veloce sia la fruizione dei risultati dello studio sia la loro divulgazione, anche in ambito professionale.

BASE DI DATI

Sono stati elaborati dati relativi ad una rete di rilevamento nivometeorologico comprendente stazioni di tipo sia manuale che automatico.

La rete delle stazioni di rilevamento di tipo manuale è gestita dal Servizio territorio montano e manutenzioni della Regione autonoma Friuli Venezia Giulia con l'ausilio di collaboratori esterni (guardie forestali, gestori di impianti di risalita o rifugi, privati) che giornalmente effettuano il rilevamento e la trasmissione dei dati alla centrale operativa di Udine. Ulteriori rilevamenti manuali dei parametri nivometrici di interesse nel presente

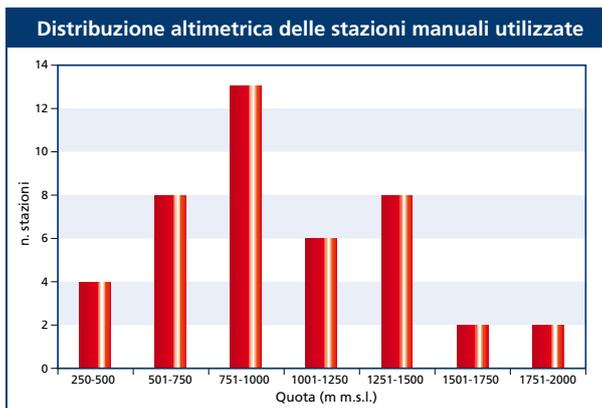


Fig. 2

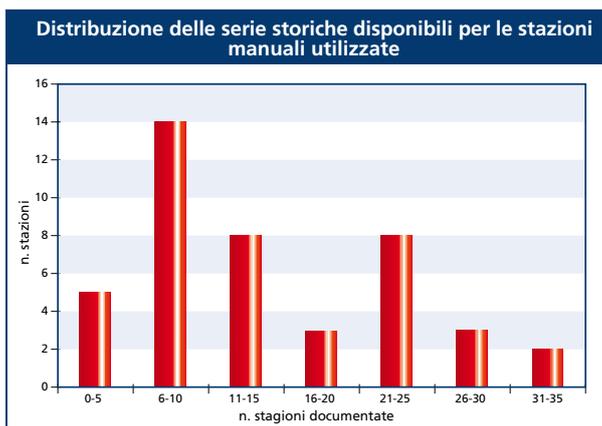


Fig. 3



studio sono stati compiuti anche su stazioni di pertinenza dell'ex Magistrato alle Acque. I dati disponibili relativi a tali stazioni sono stati utilizzati per integrare i dati della rete di rilevamento regionale, soprattutto con riferimento alle aree meno coperte da quest'ultima. Nel complesso

il numero di stazioni di rilevamento manuale considerate è risultato pari a 43.

Le stazioni di rilevamento di tipo automatico permettono l'acquisizione quotidiana dei dati nivometeorologici in modo autonomo e continuativo. I dati sono registrati in loco e trasmessi con cadenza temporale variabile da 30' a 300' alla Centrale operativa di Visco (UD) dell'OSMER FVG. In molti casi tali stazioni sono solo di recente installazione ed in taluni altri, sebbene abbiano operato per periodi più prolungati, si sono talvolta verificati problemi nel funzionamento del nivometro e pertanto per nessuna delle stazioni automatiche si ha di fatto a disposizione un numero di stazioni utili superiore a quattro.

Le analisi statistiche sono state quindi condotte sulla base dei dati nivometrici relativi alle sole stazioni di tipo manuale (vedi fig. 1 pagina 36), di cui si riporta in Figura 2 la distribuzione con la quota ed in Figura 3 la distribuzione del numero di stagioni disponibili.

VARIABILITÀ SPAZIALE

L'analisi della variabilità spaziale del valore medio di H_s (nel seguito indicato con la dicitura $\overline{H_s}$) risulta essenziale complemento delle analisi inferenziali condotte al paragrafo successivo in quanto consente di caratterizzare la variabilità di $\overline{H_s}$ in funzione di posizione geografica e quota. Come meglio esposto nel seguito, detti valori sono necessari per scalare opportunamente le curve di crescita regionale, ovvero le curve che forniscono i valori adimensionali delle variabili in funzione del tempo di ritorno.

Dipendenza dalla quota

In Figura 4 è riportato l'andamento di $\overline{H_s}$ con la quota su tutto il territorio montano friulano. Appare

evidente un generale incremento con la quota della grandezza nivometrica considerata; un'analisi più accurata di tale incremento porta a stimare un tasso medio di crescita pari a circa 15 cm ogni 100 metri di dislivello. Si può peraltro osservare che, almeno limitatamente all'intervallo di quote coperto dalle rilevazioni disponibili (approssimativamente 500-2000 m s.l.m.), la crescita appare "più che lineare", e ben rappresentata da una polinomiale del secondo ordine passante per l'origine (curva continua di Figura 4). Ciò nondimeno non si ritiene che tale tipo di andamento possa garantire una buona rappresentazione dei valori di $\overline{H_s}$ a quote superiori ai 2000 m s.l.m., comportando sovrastime eccessive della variabile.

Dipendenza dalla zona

Al fine di valutare l'eventuale dipendenza del valore medio del massimo stagionale di H_s ($\overline{H_s}$) dal fattore geografico (ossia di individuare l'esistenza di sottozone geografiche con differenze significative in termini di $\overline{H_s}$), si è proceduto ad un'analisi più approfondita della serie di $\overline{H_s}$ che ha evidenziato la possibilità di suddividere il territorio montano friulano in due sottozone (Zona A e Zona B di Figura 5) in cui la curva interpolante di $\overline{H_s}$ con la quota fornisce complessivamente sovrastime o sottostime del reale valore di $\overline{H_s}$. Ciò dimostra che le due sottozone presentano caratteristiche nivometriche significativamente differenti (in termini di innevamento medio) e pertanto, se studiate separatamente, possono fornire curve di crescita di $\overline{H_s}$ con la quota più accurate (vedi Figura 6).

Le due sottozone "nivometriche" risultano:

- Zona A: la zona comprende le Prealpi Carniche, con: (i) un'estensione verso Nord ad

includere il massiccio montuoso comprensivo del Crodon di Tiarfin (2413 m s.l.m.) e il M.te Bivera (2474 m s.l.m.); (ii) un restringimento ad Est-NordEst ad escludere i massicci del M.te Verzegnis (1914 m s.l.m.), M.te Piombada (1744 m s.l.m.), M.te Piciat (1615 m s.l.m.), M.te San Simeone (1505 m s.l.m.) e M.te Cuâr (1478 m s.l.m.); (iii) un restringimento a Sud ad escludere i versanti meridionali del M.te Cavallo (2251 m s.l.m.), M.te Ciastelat (1641 m s.l.m.), M.te Fara (1342 m s.l.m.), M.te Joûf (1224 m s.l.m.) e M.te Ciaurlec (1148 m s.l.m.). Include inoltre le Alpi Giulie con estensioni verso Nord (M.te Sci-

nauz, 1999 m s.l.m.), Nord-Ovest (M.te Cavallo di Pontebba, 2239 m s.l.m.) ed Ovest (Zuc dal Bôr, 2195 m s.l.m.);

- Zona B: la zona comprende le Alpi Carniche a meno delle porzioni incluse nella Zona A, le Prealpi Giulie e la porzione delle Prealpi Carniche esclusa dalla Zona A.

Alle Tabelle di figura 7 e 8 sono elencati i comuni friulani appartenenti rispettivamente alle zone nivometriche "A" e "B". In figura 6 sono riportate le correlazioni Quota - \overline{Hs} medio relative alle due zone nivometriche, valide per l'intervallo di quota 500 - 2000 m s.l.m..

ANALISI REGIONALE

Scopo dell'analisi statistica "a scala regionale" è la caratterizzazione del legame tra la variabile di interesse ed il tempo di ritorno. Come anticipato, un approccio di tipo "regionale" all'analisi statistica dei dati di innevamento consente di combinare i dati relativi a differenti stazioni di rilevamento nivometeorologico. Rispetto alla classica statistica inferenziale "sito-specifica" (ovvero basata sull'elaborazione dei dati registrati da un'unica stazione di misura), si ottiene pertanto il vantaggio di estendere il campione di dati migliorando l'accuratezza della

Fig. 5 - Delimitazione delle due sottozone nivometriche caratterizzate dalle correlazioni quota- \overline{Hs} di fig. 6.

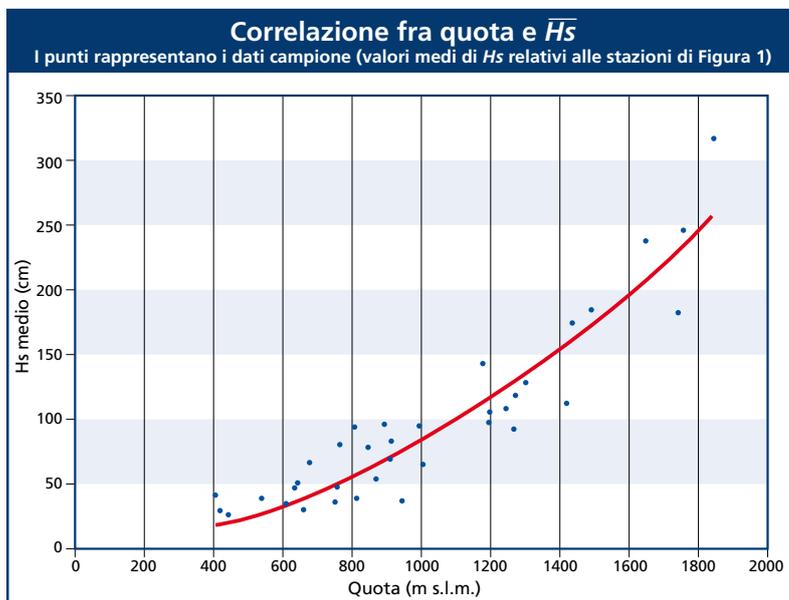


Fig. 4

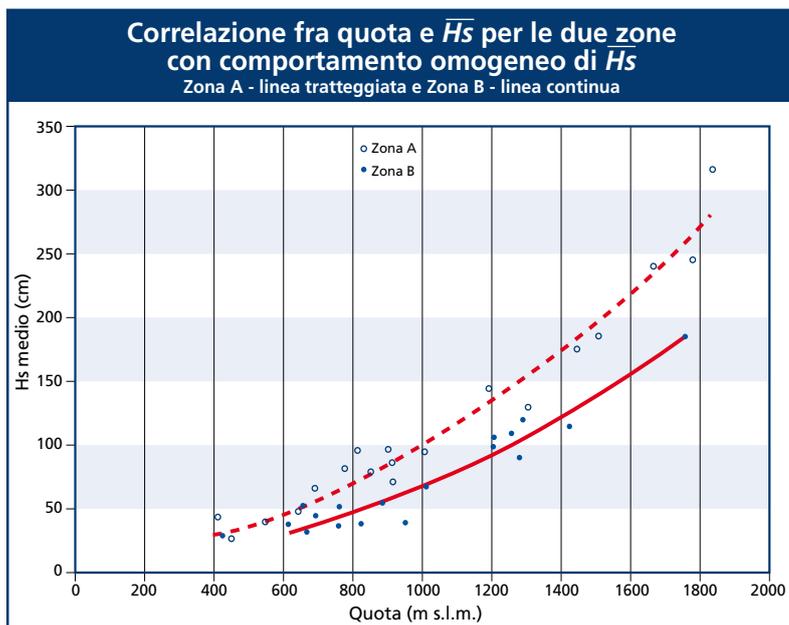


Fig. 6



Elenco dei comuni alpini e prealpini friulani appartenenti alla zona nivometrica "A"

ID	comune	provincia
1	Andreis	PN
2	Barcis	PN
3	Cimolais	PN
4	Claut	PN
5	Erto e Casso	PN
6	Frisanco	PN
7	Tramonti di Sopra	PN
8	Tramonti di Sotto	PN
9	Chiusaforte	UD
10	Dogna	UD
11	Forni di Sopra	UD
12	Forni di Sotto	UD
13	Malborghetto Valbruna	UD
14	Moggio Udinese	UD
15	Pontebba	UD
16	Tarvisio	UD
17	Resia	UD
18	Resiutta	UD

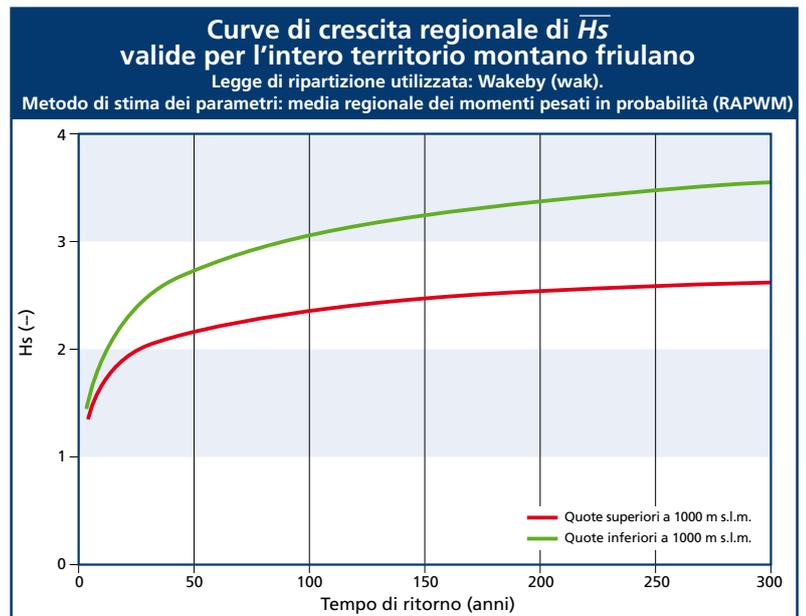
Fig. 7

Fig. 8

Elenco dei comuni alpini e prealpini friulani appartenenti alla zona nivometrica "B"

ID	comune	provincia
1	Aviano	PN
2	Budoia	PN
3	Caneva	PN
4	Castelnovo del Friuli	PN
5	Cavasso Nuovo	PN
6	Clauzetto	PN
7	Fanna	PN
8	Maniago	PN
9	Meduno	PN
10	Monteale Valcellina	PN
11	Pinzano al Tagliamento	PN
12	Polcenigo	PN
13	Travesio	PN
14	Vito d'Asio	PN
15	Amaro	UD
16	Ampezzo	UD
17	Arta Terme	UD
18	Artegna	UD
19	Attimis	UD
20	Bordano	UD
21	Cavazzo Carnico	UD
22	Cercivento	UD
23	Cividale del Friuli	UD
24	Comeglians	UD
25	Drenchia	UD
26	Enemonzo	UD
27	Faedis	UD
28	Forgaria nel Friuli	UD
29	Forni Avoltri	UD
30	Gemona del Friuli	UD
31	Grimacco	UD
32	Lauco	UD
33	Ligosullo	UD
34	Lusevera	UD
35	Magnano in Riviera	UD
36	Montenars	UD
37	Nimis	UD
38	Ovaro	UD
39	Paluzza	UD
40	Paularo	UD
41	Prato Carnico	UD
42	Preone	UD
43	Prepotto	UD
44	Pulfero	UD
45	Ravascletto	UD
46	Raveo	UD
47	Rigolato	UD
48	San Leonardo	UD
49	San Pietro al Natisone	UD
50	Sauris	UD
51	Savogna	UD
52	Socchieve	UD
53	Stregna	UD
54	Sutrio	UD
55	Taipana	UD
56	Tarcento	UD
57	Tolmezzo	UD
58	Torreano	UD
59	Trasaghis	UD
60	Treppo Carnico	UD
61	Venzona	UD
62	Verzegnis	UD
63	Villa Santina	UD
64	Zuglio	UD

Fig. 9



stima dei valori che le variabili nivometriche possono assumere per determinati tempi di ritorno di progetto che, nella pratica, sono tipicamente superiori al secolo.

Lo studio si è basato sulla tecnica cosiddetta del "valore indice" (Kite, 1988; Cunnane, 1989; Maione e Moisello, 1993) che, proposta originariamente con il nome di "metodo della piena indice" (*index flood procedure*) per l'elaborazione delle serie dei valori massimi annui delle portate di piena, può essere estesa all'elaborazione di qualsiasi variabile casuale e pertanto anche all'elaborazione delle variabili nivologiche oggetto del presente studio.

Il metodo del "valore indice" ammette che i valori della variabile adimensionale ottenuta dividendo i singoli dati delle serie storiche di ciascuna stazione di rilevamento della regione "omogenea" per la rispettiva media, abbiano la medesima distribuzione di probabilità, usualmente denominata "curva di crescita regionale". In realtà un grado di disomogeneità relativamente limitato è ritenuto ammissibile. Il test più comune e semplice per verificare che il grado di disomogeneità delle

stazioni sia accettabile è quello effettuabile sul coefficiente di variazione CV definito, per un dato campione, come il rapporto tra la sua deviazione standard (σ) e il valore assoluto della sua media aritmetica (μ). Considerando pertanto la serie di dati formata dai CV delle serie storiche di ogni stazione di rilevamento, è sufficiente verificare che il CV di detta serie, ovvero il CV dei CV, sia minore di un certo limite soglia ritenuto accettabile. Nel caso in esame le analisi condotte hanno evidenziato che, sebbene già a scala regionale il CV dei CV sia minore del valore limite considerato, un notevole miglioramento in termini di omogeneità si ottiene suddividendo il campione complessivo nelle seguenti due classi distinte: (i) Classe 1: stazioni poste a quote inferiori ai 1000 m s.l.m.; (ii) Classe 2: stazioni poste a quote superiori ai 1000 m s.l.m. Il grado di omogeneità statistica delle due classi così definite risulta infatti essere notevolmente accresciuto rispetto al campione regionale. Ritenuto pertanto più che accettabile il grado di omogeneità delle stazioni di rilevamento considerate, e suddivise nelle due classi indicate, si è proceduto alla definizione delle due curve di

crescita regionale che descrivono la dipendenza della variabile nivometrica (H_s) adimensionale dal tempo di ritorno. Si è optando per l'adozione della legge di distribuzione di probabilità denominata Wakeby, usualmente indicata con la dicitura WAK, caratterizzata da 5 parametri (m, a, b, c, d). Tali parametri sono stati determinati seguendo l'approccio basato sulle medie regionali dei momenti pesati in probabilità (*regional averaging of probability weighted moments*, RAPWM). In base a tale metodologia è necessario stimare i momenti pesati in probabilità (PWM) per ogni serie adimensionale relativa a ciascun sito e i momenti della distribuzione a scala regionale (cioè della curva di crescita regionale) si ottengono come media pesata dei momenti relativi alle serie di ogni stazione, dove i pesi sono funzione del numero di osservazioni di ogni serie. Noti i momenti pesati in probabilità della curva di crescita regionale, la determinazione dei suoi parametri è facilmente ottenibile mediante semplici relazioni algebriche. In definitiva, nel presente lavoro, si è scelto di utilizzare la legge Wakeby e di adottare il metodo *regional averaging of moments* per la definizione dei parametri della Wakeby (metodo WAK/RAPWM). L'applicazione della metodologia WAK/RAPWM ha pertanto consentito di caratterizzare le curve di crescita regionale relative alle due classi citate e valide per tutto il territorio friulano (vedi Figura 9).

Una volta determinate le curve di crescita regionale, il valore effettivo della variabile nivometrica, per un determinato tempo di ritorno, ed in corrispondenza di una determinata stazione di rilevamento, si ottiene moltiplicando il valore che la curva di crescita regionale assume per quel tem-

po di ritorno per il valore medio della variabile misurata nella stazione considerata. In altre parole si ha che, detta $y=y(T)$ la curva di crescita regionale, il valore $x_j(T)$ della variabile x per il tempo di ritorno T in corrispondenza della j -esima stazione, si ottiene dalla relazione:

$$x_j(T) = y(T) \cdot \bar{x}_j$$

Per i siti strumentati il valore di \bar{x}_j è direttamente disponibile e potrebbe essere utilizzato per ottenere l'andamento locale di H_s con T . D'altro canto si osserva che il metodo del "valore indice" appena descritto ben si presta



Altezze del manto nevoso al suolo (H_s) sul territorio montano friulano (espressa in cm) per prefissate quote e tempi di ritorno
(tecnica di regionalizzazione di tipo "index-flood", metodo di stima della curva di crescita regionale di tipo WAK/RAPWM)

	Quota [m s.l.m.]	Tempi di ritorno [anni]								
		5	10	20	30	50	100	150	200	300
ZONA A	500	50	64	77	84	93	105	111	115	121
	600	65	82	98	107	118	132	140	145	152
	700	81	102	122	132	145	162	171	177	186
	800	99	124	147	160	175	194	204	211	221
	900	119	148	174	189	206	228	240	248	259
	1000	140	173	203	220	240	264	278	287	299
	1100	163	200	235	253	275	303	318	328	342
	1200	187	229	268	289	313	344	360	371	386
	1300	213	260	303	326	353	386	405	417	433
	1400	241	293	340	365	395	432	451	465	482
	1500	270	328	379	407	439	479	500	515	534
	1600	301	364	420	450	485	529	551	567	587
	1700	333	402	463	496	534	580	605	621	643
	1800	367	442	508	544	584	634	661	678	702
	1900	402	484	555	593	637	690	719	737	762
	2000	440	527	604	645	692	749	779	799	825
2100	456	547	627	670	718	778	809	829	857	
2200	473	567	650	694	745	806	839	860	889	
2300	489	587	674	719	772	835	869	891	921	
2400	506	607	697	744	798	864	899	922	953	
2500	523	628	720	768	825	893	929	953	984	
ZONA B	500	30	38	46	51	56	63	67	69	73
	600	40	50	60	66	73	81	86	89	94
	700	51	64	76	83	91	102	107	111	117
	800	63	79	94	102	112	124	131	135	141
	900	77	96	113	123	134	148	156	161	168
	1000	92	114	134	145	158	174	183	189	197
	1100	109	134	157	169	184	202	212	219	228
	1200	127	155	181	195	211	232	243	250	261
	1300	146	178	207	223	241	264	276	284	295
	1400	166	202	235	252	272	298	311	320	332
	1500	188	228	264	283	306	333	348	358	371
	1600	211	256	295	316	341	371	387	398	412
	1700	236	284	328	351	378	411	428	440	455
	1800	261	315	362	387	416	452	471	483	500
	1900	288	347	398	426	457	495	516	529	547
	2000	317	380	436	465	500	541	563	577	596
2100	327	393	451	481	516	559	582	597	616	
2200	338	406	465	497	533	577	601	616	637	
2300	348	418	480	512	550	596	620	636	657	
2400	359	431	495	528	567	614	639	655	677	
2500	369	444	509	544	584	632	658	675	697	

fig. 10

Incremento di altezza del manto nevoso su tre giorni consecutivi (DH3gg) sul territorio montano friulano (espresso in cm) per prefissate quote e tempi di ritorno										
(tecnica di regionalizzazione di tipo "index-flood", metodo di stima della curva di crescita regionale di tipo WAK/RAPWM)										
Quota [m s.l.m.]	Tempi di ritorno [anni]									
	5	10	20	30	50	100	150	200	300	
ZONA A	500	38	46	54	59	64	72	76	79	83
	600	46	55	65	70	77	86	91	95	100
	700	53	65	76	82	90	100	107	111	117
	800	61	74	86	94	103	115	122	127	134
	900	69	83	97	105	116	129	137	142	150
	1000	76	92	108	117	128	144	152	158	167
	1100	84	102	119	129	141	158	167	174	184
	1200	92	111	130	141	154	172	183	190	200
	1300	99	120	140	152	167	187	198	206	217
	1400	107	129	151	164	180	201	213	222	234
	1500	115	138	162	176	193	215	228	237	250
	1600	122	148	173	187	205	230	244	253	267
	1700	130	157	184	199	218	244	259	269	284
	1800	138	166	194	211	231	258	274	285	300
	1900	145	175	205	222	244	273	289	301	317
2000	153	185	216	234	257	287	304	317	334	
2100	160	194	227	246	270	301	320	332	350	
2200	168	203	238	258	282	316	335	348	367	
2300	176	212	248	269	295	330	350	364	384	
2400	183	222	259	281	308	344	365	380	401	
2500	191	231	270	293	321	359	381	396	417	
ZONA B	500	30	36	43	46	51	57	60	62	66
	600	36	44	51	55	61	68	72	75	79
	700	42	51	60	65	71	79	84	87	92
	800	48	58	68	74	81	90	96	100	105
	900	54	66	77	83	91	102	108	112	118
	1000	60	73	85	92	101	113	120	125	132
	1100	66	80	94	102	111	124	132	137	145
	1200	72	87	102	111	121	136	144	150	158
	1300	78	95	111	120	132	147	156	162	171
	1400	84	102	119	129	142	158	168	175	184
	1500	90	109	128	138	152	170	180	187	197
	1600	96	116	136	148	162	181	192	200	210
	1700	102	124	145	157	172	192	204	212	224
	1800	108	131	153	166	182	203	216	224	237
	1900	114	138	162	175	192	215	228	237	250
2000	120	146	170	185	202	226	240	249	263	
2100	126	153	179	194	213	237	252	262	276	
2200	132	160	187	203	223	249	264	274	289	
2300	138	167	196	212	233	260	276	287	302	
2400	144	175	204	222	243	271	288	299	316	
2500	151	182	213	231	253	283	300	312	329	

Fig. 11
Fig. 12



anche per il calcolo di $x(T)$ in siti non strumentati (quale risultano tipicamente le zone di distacco delle valanghe). In questi casi il valore medio della variabile

(\bar{x}_T) da introdurre nella relazione sopra riportata, ovvero il fattore di scala locale della curva di crescita regionale, è ottenibile mediante analisi regressive sui parametri morfometrici della zona di distacco (quali ad esempio quota ed esposizione). Nel contesto delle analisi condotte, la quota si è dimostrata una variabile estremamente significativa al fine di spiegare le differenze tra i valori medi delle variabili nivometriche registrate in stazioni di misura differenti e si è pertanto preferito utilizzare direttamente la correlazione quota-Hs per ottenere gli opportuni fattori di scala. In effetti, sebbene in tale maniera con riferimento ai siti strumentati si possa perdere in accuratezza, la valenza

notevolmente più generale dello studio così condotto giustifica ampiamente, ad opinione degli scriventi, tale scelta.

I valori di progetto delle due variabili nivometriche analizzate (H_s e $DH3gg$), ovvero i valori attesi per fissata zona geografica, quota e tempo di ritorno, sono presentati alle tabelle delle figure 10 e 11.

APPLICATIVO DI GESTIONE E VISUALIZZAZIONE DEI VALORI DI PROGETTO

I risultati dello studio sono stati implementati in un programma di visualizzazione e di ricerca facilitata che ha reso estremamente semplice e veloce sia la fruizione dei dati sia la loro divulgazione.

Da una schermata iniziale di presentazione (Figura 12) è possibile accedere alla sezione di ricerca dei valori di progetto delle variabili nivometriche considerate ovvero di H_s e $DH3gg$. All'interno di tale sezione, dopo aver selezionato il territorio comunale di interesse per mezzo di un apposito menù a tendina, è necessario impostare i dati relativi a quota e tempo di ritorno per cui si desidera effettuare la ricerca dei risultati (Figura 13). Dopo aver inserito le informazioni richieste è infine possibile procedere al calcolo di H_s o, in alternativa, di $DH3gg$, relativi pertanto a comune, quota ed tempo di ritorno impostati. I risultati vengono visualizzati in una casella di testo e possono pertanto essere selezionati e copiati per eventuali ulteriori usi.

Il programma descritto può essere eseguito per mezzo di comuni navigatori di rete (*web browser*) richiedendo pertanto strumenti largamente diffusi e non ostacolando di conseguenza la possibilità di divulgazione

dei risultati dello studio che, in questo modo, possono essere registrati su un qualsiasi supporto digitale e facilmente consultati, non precludendo peraltro la possibilità del loro inserimento in siti web.

Bibliografia

- Burkard, A. e Salm, B. 1992. Die Bestimmung der Mittleren Anrissmächtigkeit 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, UFAPP-FNP, Berna (CH), 75 pp.
- Greenwood, J.A., Landwehr, J.M., Matalas, N.C. e Wallis, J.R. 1979. "Probability Weighted Moments: Definition and Relation to Parameters of Several Distribution Expressible in Inverse Form". Water Resources Research, 15(5), 1049-1054
- Hosking, J.M.R. e Wallis J.R. 1997. Regional Frequency Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 224 pp.
- Hughton, J.C. 1978. "Birth of a Parent: the Wakeby Distribution for Modelling Flood Flows". Water Resources Research, 14(6), 1105-1109.
- Kite, G.W. 1988. Frequency and Risk analysis in Hydrology, Littleton, CO, Water Resources Publications, No. 224.

- Landwehr, J.M., Matalas, N.C. e Wallis, J.R. 1979a. "Estimation of Parameters and Quantiles of Wakeby Distribution: Known Lower Bounds". Water Resources Research, 15(6), 1361-1372.
- Landwehr, J.M., Matalas, N.C. e Wallis, J.R. 1979b. "Estimation of Parameters and Quantiles of Wakeby Distribution: Unknown Lower Bounds". Water Resources Research, 15(6), 1373-1379.
- Lu, L.H. e Stedinger R. 1992. "Variance of Two- and Three-Parameter GEV/PWM Quantile Estimator: Formulae, Confidence Intervals and a Comparison". Journal of Hydrology, 138, 247-267.
- Maione, U. e Moisélo, U. 1993. Elementi

di statistica per l'idrologia. La Goliardica Pavese Ed., Pavia, 299 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 Méthode pour le Praticien avec des Exemples"; SFISAR Message No 47 - Translated in French by Ancey C., 1994).

Fig. 13

