



Comune di Livigno

P.Z.E.V.

Piano delle Zone Esposte a Valanga

Oggetto:

ANALISI CLIMATICA E NIVOMETEOROLOGICA

Committente:

COMUNE DI LIVIGNO

Plaza dal Comun, 93

23041 Livigno (SO)

Elaborato nr:

R02

Tipologia elaborato:

Relazione descrittiva

Commessa:

n. 627 del 10/10/2019

CIG:

Z329D2733

Professionisti:

Dott. Fabiano Monti

Ing. Luca Dellarole



ALPsolut S.r.l.

Sede legale: via Saroch, 1098/B
c/o Plaza Plachéda, 23041 Livigno (SO)
C.F. 00964580146
c.s. euro 10.000. Registro Imprese di Sondrio
www.alpsolut.eu

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Luglio 2020	Descrizione climatica e nivometeorologica del territorio di Livigno	L. Dellarole	L. Dellarole	F. Monti

Indice

1	Analisi climatica e nivometeorologica.....	2
1.1	Valutazione climatica dell'area di Livigno.....	2
1.2	Analisi nivometrica.....	9
1.3	Analisi della ventosità.....	16

1 Analisi climatica e nivometeorologica

La presente relazione approfondisce gli aspetti climatici e nivometeorologici del territorio comunale di Livigno per meglio individuare quali siano le caratteristiche nivologiche dell'area. Le analisi sono necessarie per valutare la correttezza dei parametri nivometrici di input utilizzati per effettuare le simulazioni di dinamica delle valanghe e per la valutazione dell'efficienza delle opere paravalanghe.

L'indagine delle condizioni climatiche della valle di Livigno è necessaria in quanto il territorio è situato in una zona di confine tra il tipico clima sud-alpino e quello nord-alpino. Questa configurazione territoriale è il motivo per cui l'area di Livigno riceva eventi nevosi, sia in caso di perturbazioni provenienti dai quadranti Meridionali sia da quelli Nord-Occidentali.

Una volta definita la caratterizzazione climatica del territorio, sono stati analizzati i dati delle stazioni di rilevamento per la valutazione dei parametri necessari da utilizzare nel processo di valutazione delle opere di difesa e nelle simulazioni di dinamica delle valanghe.

1.1 Valutazione climatica dell'area di Livigno

Lo scopo delle analisi è quello di caratterizzare le condizioni di innevamento del territorio di Livigno. Lo studio è stato possibile grazie alla collaborazione del WSL Istituto per la Ricerca Neve e Valanghe SLF di Davos (CH) e del centro ARPA di Bormio, che hanno fornito le serie storiche di dati nivometeorologici delle stazioni di rilevamento manuali presenti attorno all'area di Livigno. In figura 1 e in tabella 3 sono illustrate e riassunte le informazioni generali delle stazioni nivometeorologiche.

I parametri analizzati sono stati: i) altezza di neve al suolo (HS), ii) differenza di altezza di neve al suolo in tre giorni consecutivi (DHS3gg).



Figura 1: mappa del territorio di Livigno ed individuazione delle stazioni di rilevamento; suddivise secondo le due sotto-aree descritte nel seguito.

In tutto, sono disponibili i dati di 13 stazioni, di cui 11 situate in territorio elvetico e 2 in territorio italiano (San Rocco e Cancano). Delle 11 stazioni elvetiche, 2 (Buffalora e Pontresina) fanno parte della rete di rilevamento manuale gestita dall'ufficio federale di meteorologia e climatologia Meteo Svizzera, mentre le restanti sono gestite dal WSL Istituto per la Ricerca Neve e Valanghe SLF di Davos (CH). Le stazioni situate in territorio italiano sono gestite dal Centro Nivometeorologico di Bormio (SO).

Le serie storiche hanno una buona mole di dati e gli anni di osservazioni comprendono tra 34 e 77 stagioni invernali, mentre l'ubicazione altimetrica è distribuita tra i 1415 m e i 2255 m s.l.m. La maggior parte (8) è concentrata tra i 1500 m e i 2000 m s.l.m. e la restante parte è ubicata a quote superiori i 2000 m s.l.m.

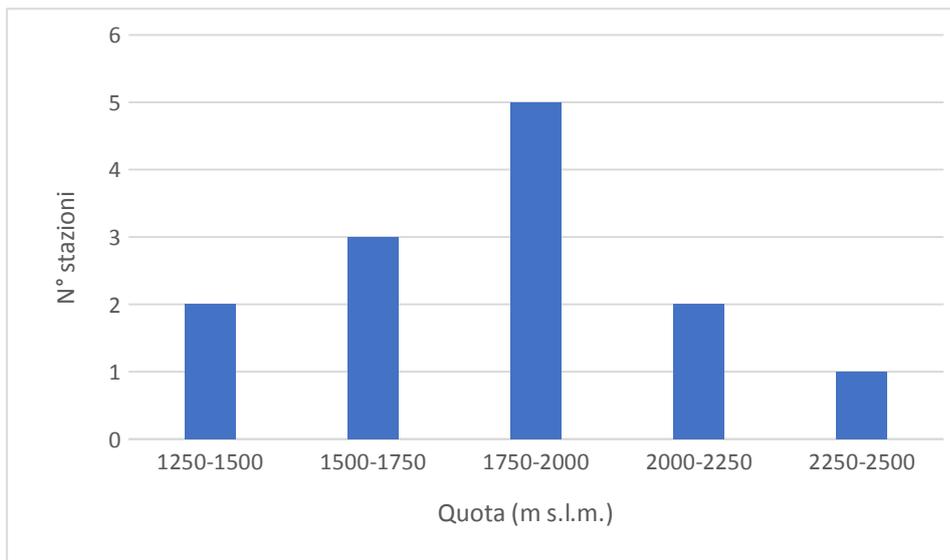


Figura 2: distribuzione altimetrica delle stazioni di rilevamento.

I dati a disposizione per la stazione di Livigno (San Rocco) derivano da stazioni poste in due diversi siti, differenti a seconda degli anni di registrazione. Per avere un unico punto di riferimento, le misurazioni sono state calibrate correggendo il gradiente di altezza di neve al suolo in funzione della quota e riportate all'altezza altimetrica di San Rocco.

Codice stazione	Denominazione	Quota [m]	Anni di osservazione	Serie storica
7AG	Alp Grüm	2090	67	1953/54 – 2018/19
7BP	Berninapass	2255	67	1953/54 – 2018/19
7CA	Cavaglia	1690	75	1945/46 – 2018/19
7DI	Bernina Diavolezza	2090	75	1945/46 – 2018/19
7LD	La Drossa	1710	68	1950/51 – 2018/19
7SD	Samedan	1750	76	1950/51 – 2018/19
7ST	Sta.Maria	1415	70	1950/51 – 2018/19
7ZN	Zernez	1475	67	1953/54 – 2018/19
7ZU	Zuoz	1710	77	1943/44 – 2018/19
BUF	Buffalora	1970	54	1963/64 – 2018/19
CAN5	Cancano	1950	34	1984/85 – 2018/19
PON	Pontresina	1840	68	1950/51 – 2018/19
SRO	San Rocco	1875	49	1968/69 – 2017/18

Figura 3: riassunto delle informazioni generali delle stazioni analizzate.

L'approfondimento climatico del territorio di Livigno è stato eseguito considerando due scenari:

- 1) Un'unica macro-area con tutte le stazioni
- 2) Due micro-aree con le stazioni suddivise in funzione della zona (Nord e Sud)

La tabella e la mappa, sopra riportate, mostrano la differenziazione delle stazioni; in rosso le stazioni dell'area Nord e in blu quelle dell'area Sud.

Per ogni stazione, i dati sono stati isolati in maniera da raccogliere esclusivamente i massimi annuali.

1) Unica macro-area

Per ogni stazione è stata calcolata la mediana dei valori massimi annuali di HS e DHS3gg, il rispettivo trend è stato valutato in funzione della quota.

L'andamento della mediana di HS rispetto alla quota è il seguente:

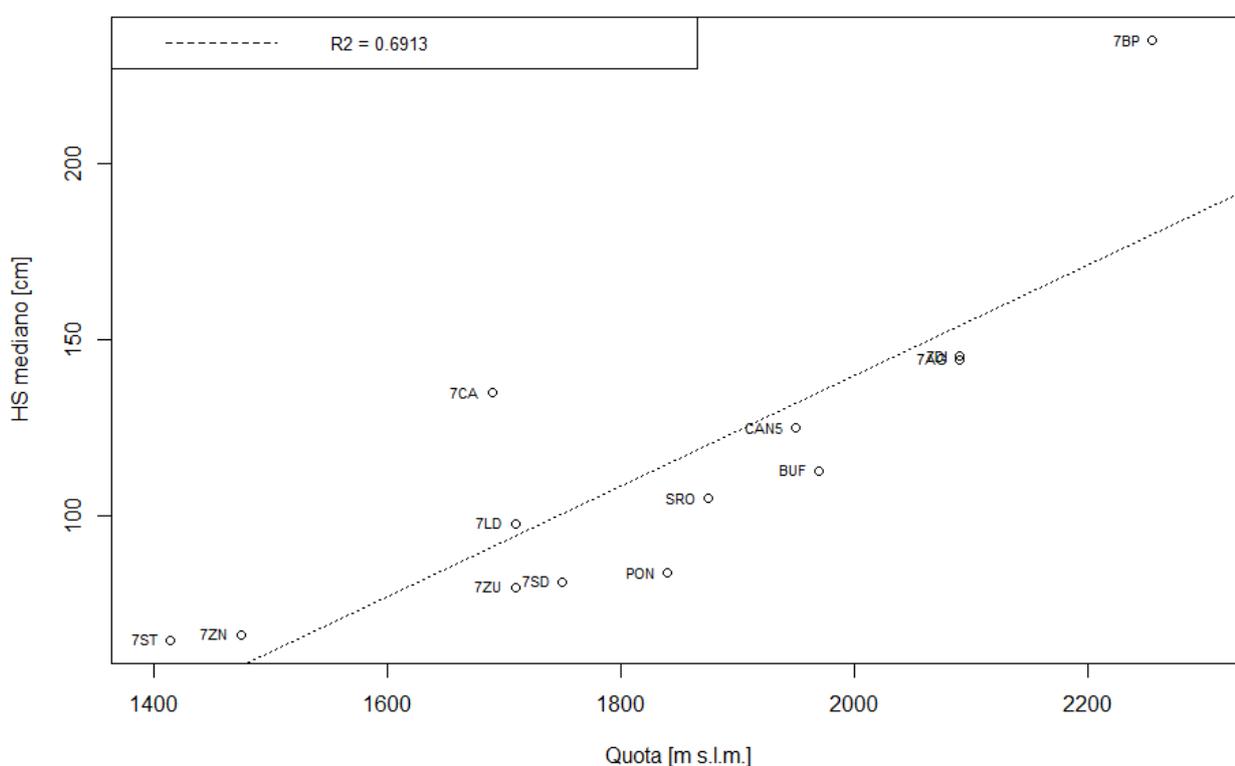


Figura 4: retta di regressione di HS con la quota, per tutte le stazioni, scenario unica area.

Si è ottenuta una correlazione pari a: $R^2 = 0,6913$

Allo stesso modo l'elaborazione è stata eseguita anche con le mediane di DHS3gg.

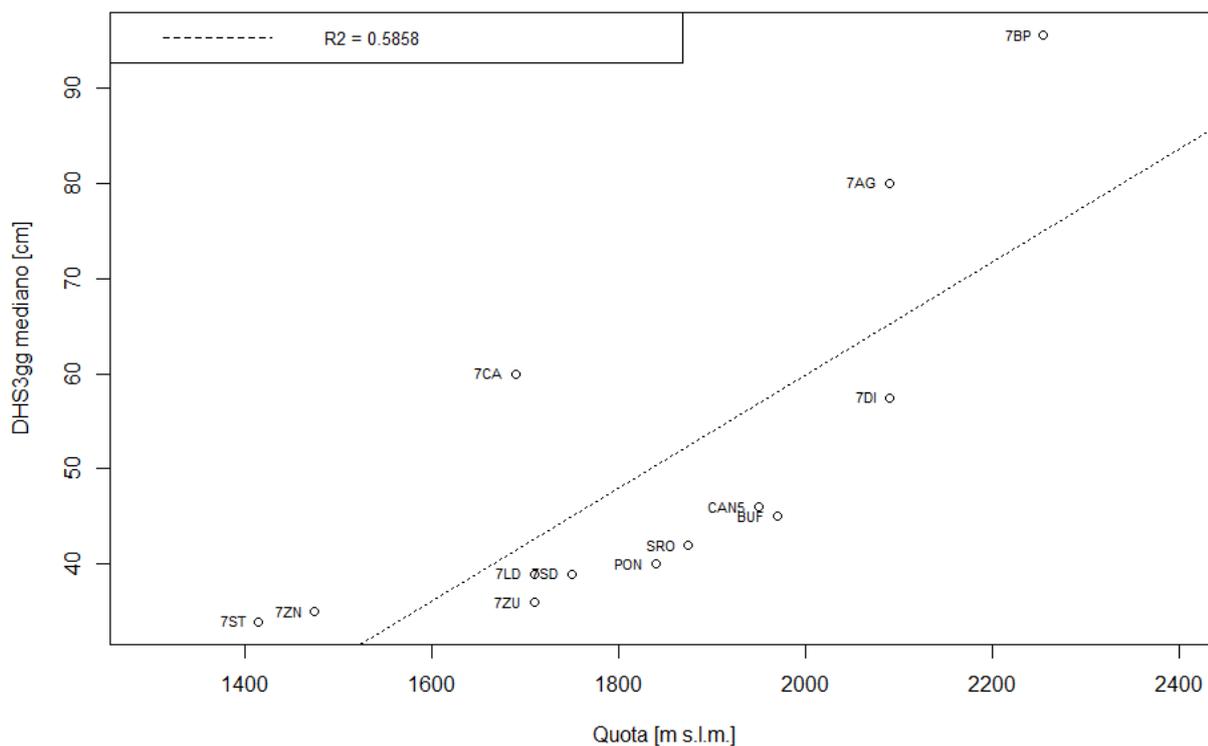


Figura 5: retta di regressione di DHS3gg rispetto alla quota, per tutte le stazioni, scenario unica area.

Si è ottenuta una correlazione pari a: $R^2 = 0,5858$

2) Due micro-aree

Il secondo approccio suddivide il territorio di Livigno in due sotto-aree. A seconda della zona e delle relative stazioni, si ottengono due rette di interpolazione che portano ad un miglioramento dei coefficienti di correlazione.

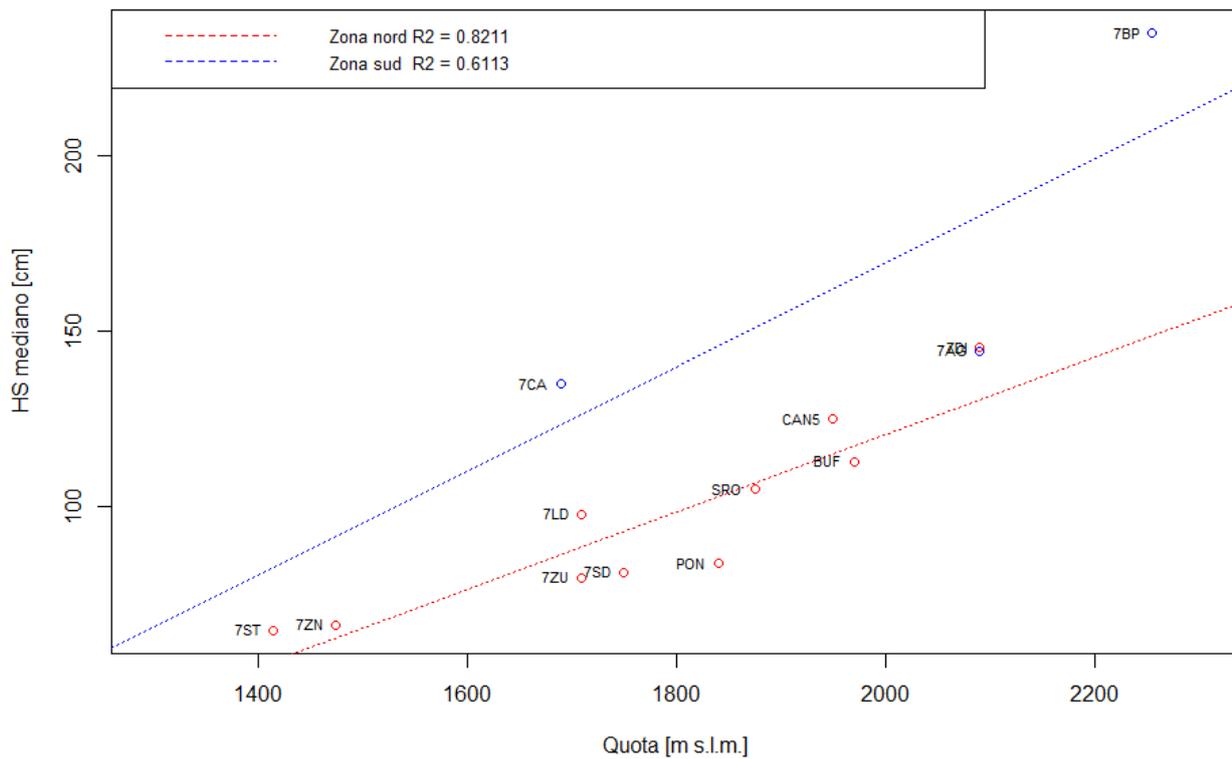


Figura 6: retta di regressione di HS con la quota, scenario due micro-aree.

I coefficienti di correlazione ottenuti per HS sono rispettivamente:

Micro-area Nord: $R^2 = 0,8211$

Micro-area Sud: $R^2 = 0,6113$

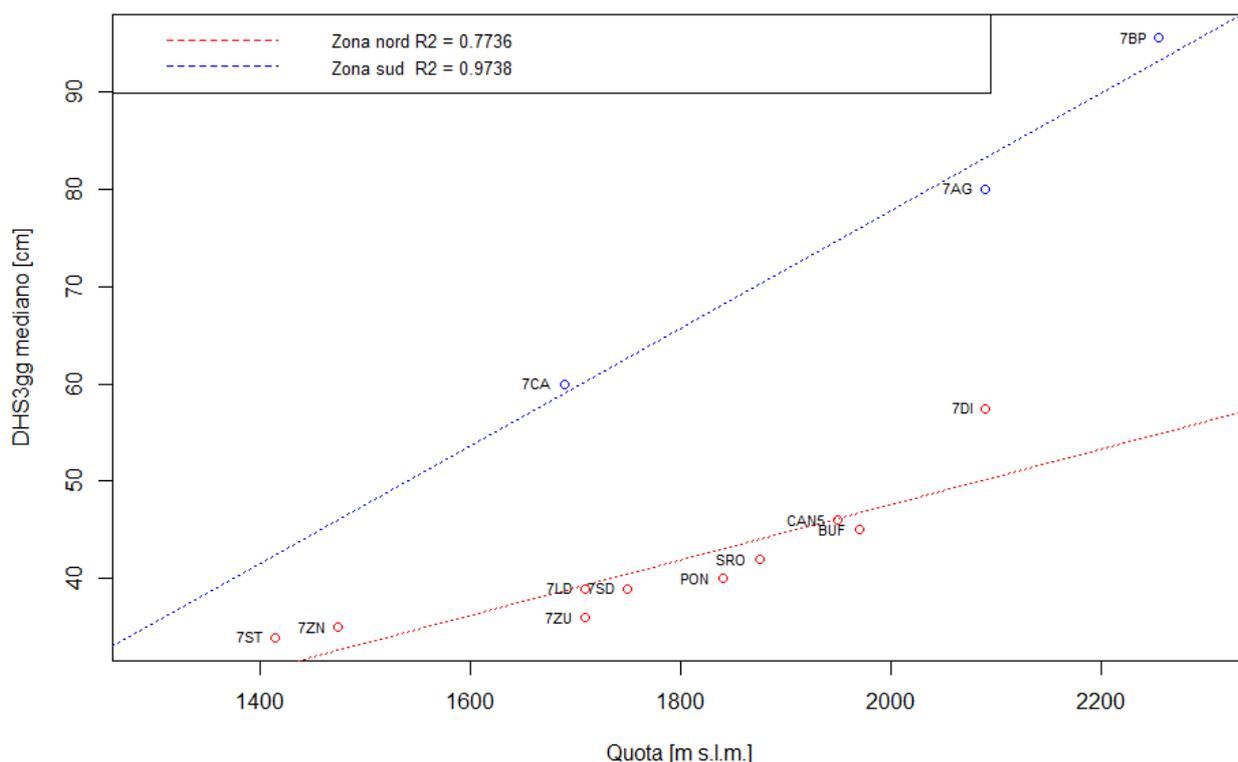


Figura 7: retta di regressione di DHS3gg con la quota, scenario due micro-aree.

I coefficienti di correlazione ottenuti per DHS3gg sono rispettivamente:

Micro-area Nord: $R^2 = 0,7736$

Micro-area Sud: $R^2 = 0,9738$

L'analisi mostra un gradiente molto più marcato per la sotto-area Sud, tuttavia le stazioni che rientrano nella medesima zona sono solamente 3, di cui una, 7BP (Ospizio Bernina), è fortemente esposta all'attività eolica e quindi meno rappresentativa delle reali condizioni di innevamento.

Per questo motivo, si è deciso di analizzare il territorio di Livigno come un'unica area, vista l'assenza di basi solide per effettuare la separazione in due sotto-aree climatiche. I siti valanghivi oggetto del presente Piano sono distribuiti lungo tutta la valle di Livigno e l'approccio dello scenario 1, con due sotto-aree, porterebbe ad una sovrastima dei parametri nivometeorologici che non è giustificabile con le osservazioni locali di cui si è in possesso.

Le correlazioni di HS e DHS3gg con la quota, relative allo scenario 1, forniscono indicazioni utili relativamente ai gradienti dei due parametri nivometrici, per cui si hanno i seguenti valori:

Gradiente di HS = 15,7 cm ogni 100 metri

Gradiente di DHS3gg = 5,9 cm ogni 100 metri

Nei grafici seguenti sono illustrati i boxplot di HS e DHS3gg dei massimi annuali per ogni stazione, ordinati in funzione dell'ubicazione altimetrica.

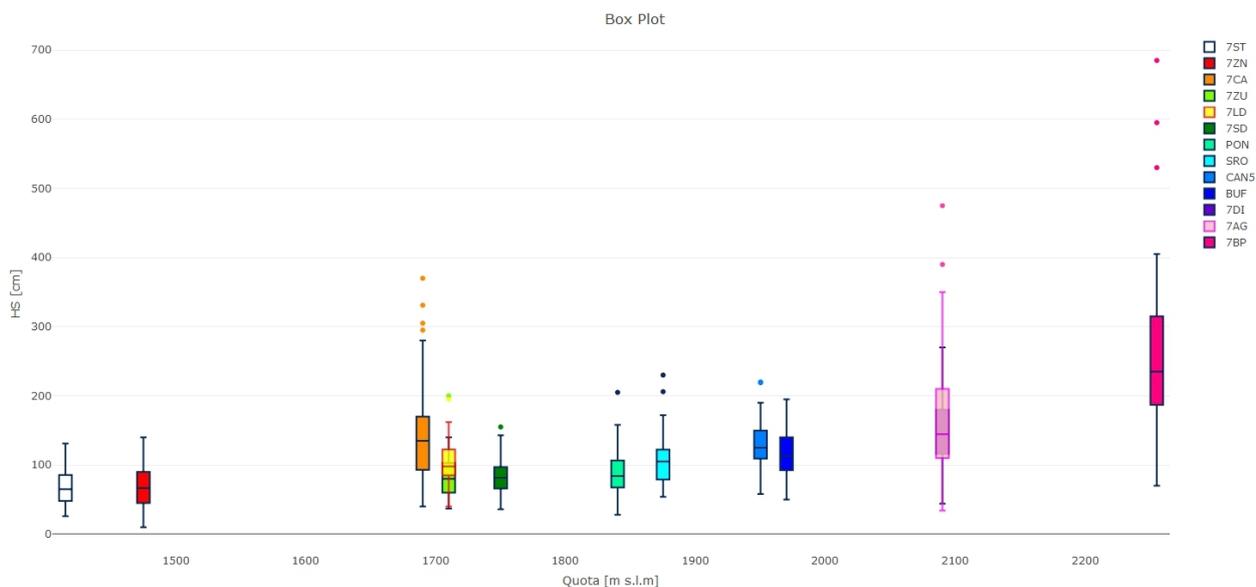


Figura 8: boxplot dei valori di HS per ogni stazione, rappresentate per quota altimetrica.

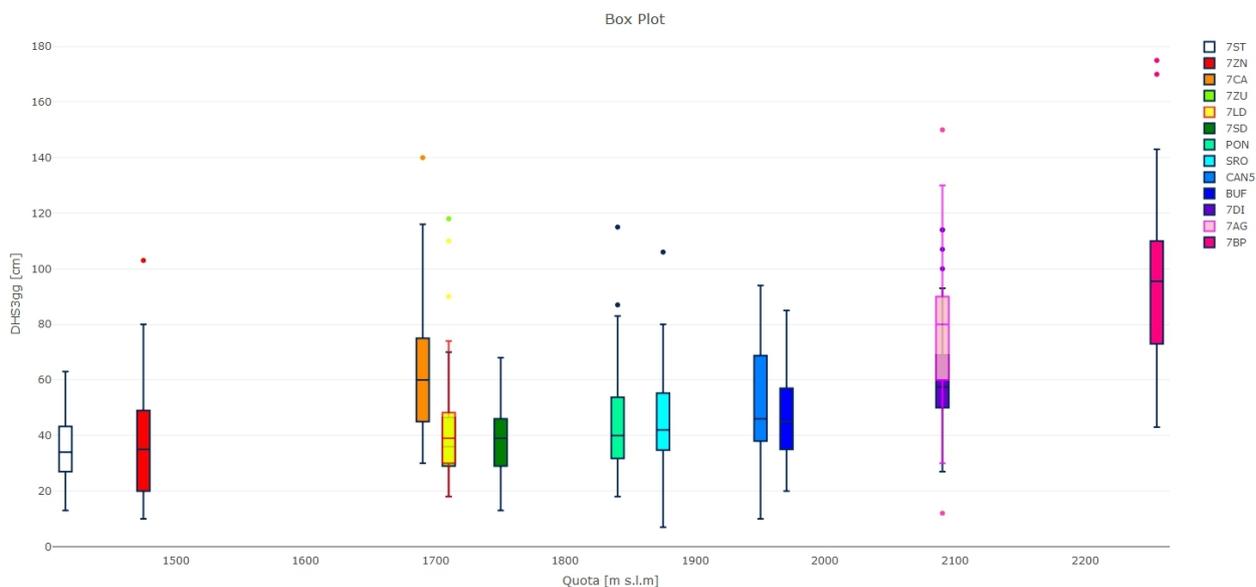


Figura 9: boxplot dei valori di DHS3gg per ogni stazione rappresentate per quota altimetrica.

1.2 Analisi nivometrica

In questo capitolo è illustrata l'elaborazione statistica dei parametri nivologici (HS e DHS3gg) tramite due differenti approcci. L'obiettivo è la definizione delle altezze di neve

al suolo rapportate ai tempi di ritorno rappresentativi per le valutazioni, sia delle opere di difesa presenti lungo i siti valanghivi, sia per le simulazioni di dinamica delle valanghe. Le elaborazioni statistiche sono state intraprese considerando la serie dei massimi annuali relativamente alle misurazioni presenti. Gli anni di dati disponibili variano da un minimo di 34 ad un massimo di 77 stagioni.

I due approcci utilizzati sono:

1- Metodo della regionalizzazione

Il primo approccio, noto con il nome di Analisi Regionale, è stato condotto utilizzando il “metodo del valore indice” che permette di analizzare i dati provenienti da più stazioni e definire una curva di crescita regionale, che racchiude tutto il campione di dati e che è la funzione base per determinare i valori della variabile casuale a quote e/o siti specifici.

Come primo step, è stata eseguita una verifica dei dati (massimi annuali) delle stazioni, analizzando il coefficiente di variazione (CV) tra tutti i CV determinati per ogni singola stazione. L'approccio ipotizza che i campioni delle serie adimensionali, di ogni stazione, abbiano la medesima distribuzione di probabilità.

Affinché il grado di disomogeneità tra le stazioni di rilevamento sia limitato, il valore di CV deve essere inferiore a 0.4.

I valori di CV tra i singoli CV sono rispettivamente:

CV di HS = 0,19

CV di DHS3gg = 0,16

I parametri della curva di crescita regionale ($y=y(F)$) sono stati determinati con l'approccio dei momenti pesati in probabilità “PWM”.

L'elaborazione della serie adimensionale dei massimi annui di HS e DHS3gg è stata eseguita tramite l'impiego della legge generale del massimo valore (Generalised Extreme Value, GEV).

Le formulazioni della legge sono necessarie anche per calcolare i valori delle grandezze nivologiche in funzione di determinati tempi di ritorno. La variabile casuale, riferita ad una determinata quota e tempo di ritorno, si ottiene dalla formula:

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

Ove, $y(T)$ rappresenta la variabile ridotta relativa al tempo di ritorno scelto e X_j è il valore mediano della variabile riferito alla quota di riferimento individuata. Nello specifico si è definita una quota altimetrica di riferimento pari a 2000 m s.l.m..

In figura si riporta la Curva di Crescita Regionale ottenuta per DHS3gg.

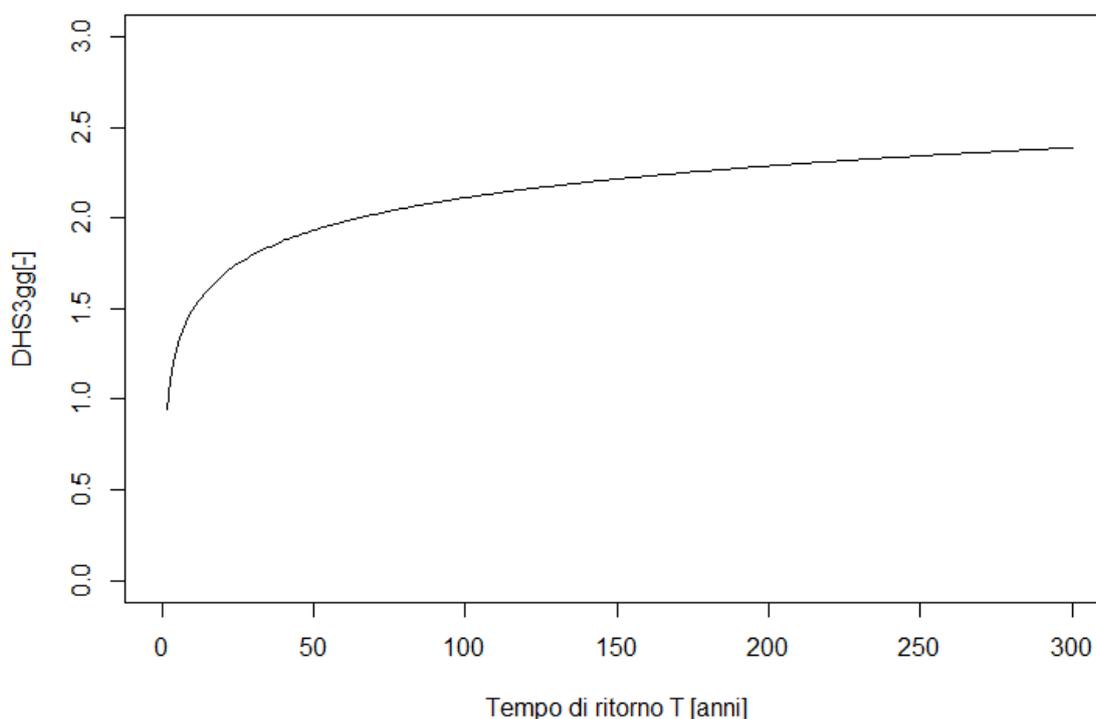


Figura 10: curva di crescita regionale per DHS3gg, definita tramite la legge di ripartizione GEV, metodo di stima dei parametri: momenti pesati in probabilità (PWM).

2- Metodo di Gumbel puntuale e mediato

Il secondo approccio utilizza la prima legge asintotica del massimo valore (o di Gumbel) associata ad ogni serie temporale di ogni stazione di rilevamento. L'analisi riceve come dati di ingresso i massimi annuali, suddivisi per stazione e, tramite il metodo di Gumbel, determina i parametri nivologici associati ai tempi di ritorno di interesse.

I valori nivologici di tutte le stazioni, calcolati con il metodo di Gumbel, sono stati mediati, suddividendo gli scenari in funzione del tempo di ritorno.

Di seguito, si riporta la tabella riassuntiva con i valori determinati per mezzo dell'analisi regionale e con il metodo di Gumbel mediato.

Gli output della legge di Gumbel sono stati corretti in funzione della quota e riportati tutti all'altitudine di riferimento di 2000 m s.l.m.. La correzione è stata fatta con i seguenti gradienti altimetrici:

Gradiente di HS = 15,7 cm ogni 100 metri

Gradiente di DHS3gg:

Grad1 = 5,7 cm ogni 100 metri

Grad2 = 5,0 cm ogni 100 metri

Il gradiente di HS è definito tramite le valutazioni descritte nel capitolo 1.1, per lo scenario unica area, mentre per DHS3gg sono stati utilizzati due gradienti differenti. Il primo riferito

alle valutazioni del capitolo 1.1, il secondo seguendo le indicazioni riportate all'interno delle Linee Guida Svizzere (Salm et al., 1990) e delle Linee Guida AINEVA.

HS a 2000 m									
Codice stazione	Nome stazione	Quota (m)	N° stagioni documentate	TR = 3	TR = 10	TR = 30	TR = 60	TR = 100	TR = 300
7AG	Alp Grüm	2090	66	171	256	327	371	403	472
7BP	Berninapass	2255	66	238	355	453	514	558	654
7CA	Cavaglia	1690	74	210	279	337	372	399	455
7DI	Bernina Diavolezza	2090	74	152	206	252	281	302	346
7LD	La Drossa	1710	69	156	188	214	230	242	267
7SD	Samedan	1750	70	130	158	182	197	207	231
7ST	Sta.Maria	1415	69	167	196	220	235	246	269
7ZN	Zernez	1475	66	157	190	217	234	246	273
7ZU	Zuoz	1710	76	136	165	190	205	216	240
BUF	Buffalora	1970	56	128	162	191	209	222	251
CANV2	Cancano	1950	35	149	190	224	245	261	295
PON	Pontresina	1840	69	122	156	185	203	216	244
SRO	San Rocco	1875	49	135	175	208	228	244	276
Gumbel mediato				158	206	246	271	289	329

Tabella 1: rappresentazione di HS in funzione del tempo di ritorno, per ogni stazione e valore mediato su tutte le stazioni.

DHS3gg 2000 m									
Codice stazione	Nome stazione	Quota (m)	N° stagioni documentate	TR = 3	TR = 10	TR = 30	TR = 60	TR = 100	TR = 300
7AG	Alp Grüm	2090	66	78	105	127	141	151	173
7BP	Berninapass	2255	66	86	117	142	158	170	194
7CA	Cavaglia	1690	74	86	108	126	138	146	164
7DI	Bernina Diavolezza	2090	74	59	79	95	106	113	129
7LD	La Drossa	1710	69	63	81	95	104	111	125
7SD	Samedan	1750	70	56	69	79	86	91	101
7ST	Sta.Maria	1415	69	75	90	102	110	116	128
7ZN	Zernez	1475	66	73	93	110	120	128	144
7ZU	Zuoz	1710	76	61	77	91	100	106	120
BUF	Buffalora	1970	56	53	70	85	93	100	114
CANV2	Cancano	1950	35	61	82	100	111	119	137
PON	Pontresina	1840	69	59	77	93	103	110	125
SRO	San Rocco	1875	49	58	78	95	106	113	130
Gumbel mediato (Grad1)				67	87	103	114	121	137
Analisi regionale				67	91	109	121	129	146

Tabella 2: rappresentazione di DHS3gg, in funzione del tempo di ritorno, riassunto delle analisi statistiche tramite i due metodi (analisi regionale e metodo di Gumbel mediato, gradiente di DHS3gg con la quota pari a 5,7 cm / 100 m).

DHS3gg 2000 m									
Codice stazione	Nome stazione	Quota (m)	N° stagioni documentate	TR = 3	TR = 10	TR = 30	TR = 60	TR = 100	TR = 300
7AG	Alp Grüm	2090	66	79	105	128	142	152	174
7BP	Berninapass	2255	66	89	119	145	160	172	197
7CA	Cavaglia	1690	74	83	105	124	135	143	161
7DI	Bernina Diavolezza	2090	74	60	80	96	106	114	130
7LD	La Drossa	1710	69	60	78	92	101	108	122
7SD	Samedan	1750	70	54	66	77	83	88	99
7ST	Sta.Maria	1415	69	69	84	97	105	110	123
7ZN	Zernez	1475	66	68	88	105	115	123	139
7ZU	Zuoz	1710	76	58	75	89	97	104	117
BUF	Buffalora	1970	56	53	70	84	93	99	113
CANV2	Cancano	1950	35	60	82	99	111	119	136
PON	Pontresina	1840	69	57	76	92	101	108	124
SRO	San Rocco	1875	49	57	77	94	104	112	129
Gumbel mediato (Grad2)				65	85	102	112	119	136
Analisi regionale				67	91	109	121	129	146

Tabella 3: rappresentazione di DHS3gg, in funzione del tempo di ritorno, riassunto delle analisi statistiche tramite i due metodi (analisi regionale e metodo di Gumbel mediato, gradiente di DHS3gg con la quota pari a 5,0 cm / 100 m).

Come si evince dai risultati, la differenza tra i due metodi aumenta con il crescere del tempo di ritorno. Le differenze massime si ottengono per tempi di ritorno di 300 anni in cui la differenza è pari a 10-11 cm.

A seguito di scambi di pareri con i tecnici del WSL Istituto per la Ricerca Neve e Valanghe SLF di Davos (CH), si è deciso di utilizzare il metodo di Gumbel mediato. La regionalizzazione ha maggiori incertezze e risulta meno robusta rispetto alle analisi effettuate mediando i valori riferiti ad ogni stazione.

Nello specifico del metodo di Gumbel, le differenze che si hanno tra i calcoli con un gradiente di 5,7 cm rispetto ai 5,0 cm definito nelle Linee Guida, sono molto ridotte (1-2 cm). Viste le limitate differenze tra le due opzioni, si è scelto il risultato fornito con il gradiente indicato dalle Linee Guida.

I parametri fin qui definiti sono la base per le valutazioni delle opere di difesa e per le simulazioni di dinamica delle valanghe.

L'ultimo grafico riporta le stime degli errori relativi al parametro DHS3gg suddivise in funzione del tempo di ritorno per tutte le stazioni analizzate.

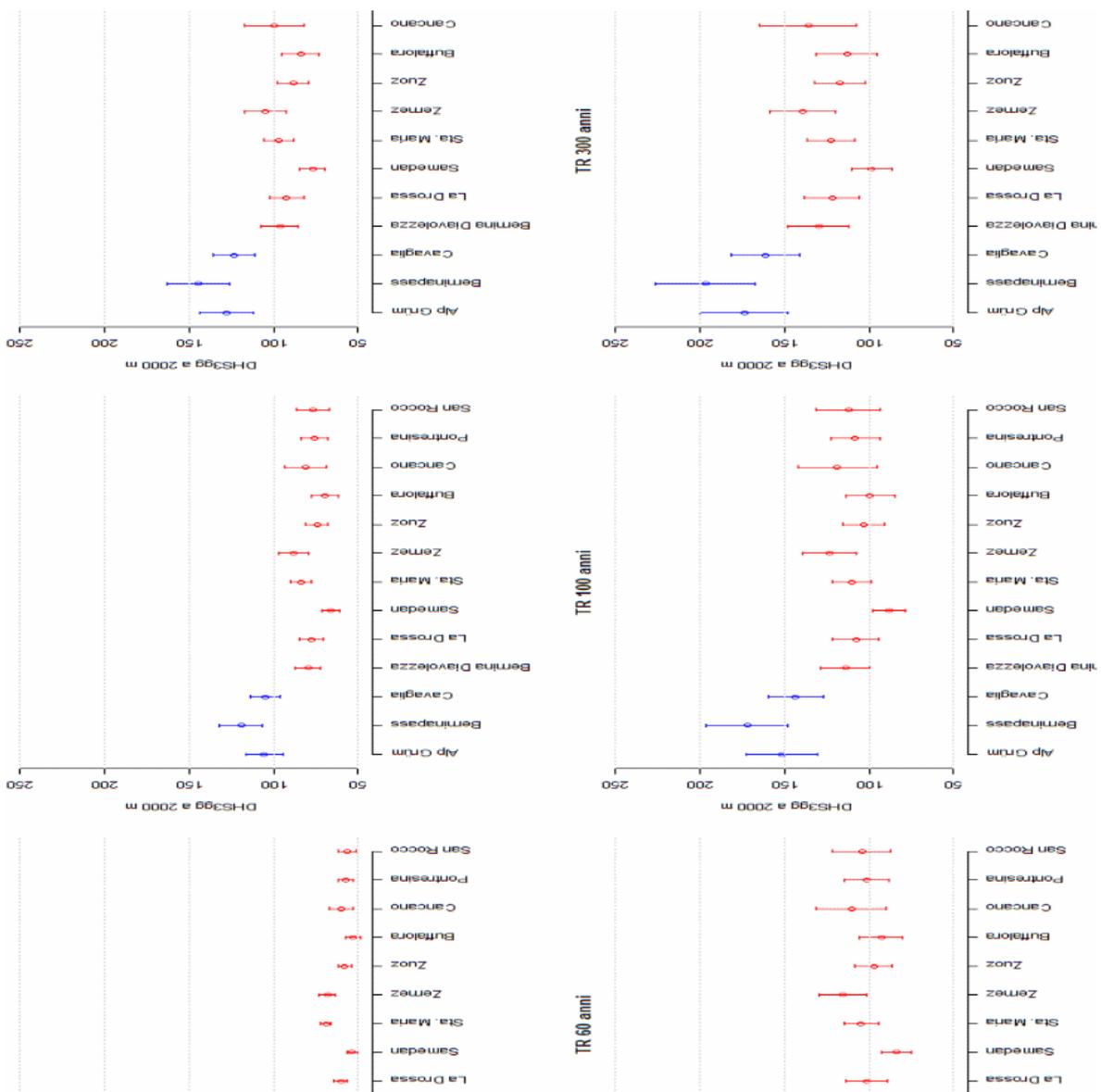


Figura 11: stime degli errori di DHS3gg suddivise in funzione del tempo di ritorno per tutte le stazioni analizzate.

1.3 Analisi della ventosità

Le stazioni di rilevamento non forniscono dati di velocità e direzione del vento, se non per gli anni più recenti; per questo motivo, non è stato possibile ricostruire delle serie storiche significative ed eseguire le analisi di dettaglio.

Si è deciso di valutare la conformazione sito specifica e, in funzione della quota, dell'esposizione e delle osservazioni dirette, di includere o meno il sovraccarico di neve dovuto all'azione eolica.

Queste informazioni sono quindi descritte nelle analisi delle simulazioni di dinamica delle valanghe e all'interno della caratterizzazione dei singoli siti valanghivi.