

VARIABILITÀ CLIMATICA e RISCHIO VALANGHIVO in VALLE

**Noemi Canevarolo,
Daniela Testa,
Simona Fratianni,
Fiorella Acquotta
e Silvia Terzago**

Dipartimento di Scienze della Terra,
Università di Torino - Italia

**Con la collaborazione di:
Marco Cordola**

Regione Piemonte,
Settore Protezione Civile, Torino - Italia

Maria Cristina Prola

Agenzia Regionale per la Protezione
Ambientale (ARPA) del Piemonte,
Torino - Italia

Scopo del lavoro è stato quello di analizzare i principali elementi climatici - temperatura, precipitazione liquida e solida - registrati presso tre stazioni meteorologiche della valle Ossola (Alpe Cavalli, Alpe Devero e Formazza Vannino), con l'obiettivo di studiarne la variabilità climatica e di verificare la presenza di variazioni nel tempo dei relativi indici, mediante l'individuazione di tendenze significative.

I dati climatici provengono da Annali cartacei, compilati per conto dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI) e conservati presso gli archivi di Arpa Lombardia di Milano. Le serie sono state recuperate e digitalizzate su foglio elettronico ed i dati giornalieri di temperatura e precipitazione sono stati poi sottoposti al controllo di qualità impiegando il software RCLimDex (Zhang e Yang, 2004). Individuate le disomogeneità, si è proceduto all'omogeneizzazione dei dati di temperatura mediante il metodo SPLIDHOM (Mestre et al., 2009). In seguito i dati sono stati aggregati a livello mensile, stagionale ed annuale. I valori medi sono stati calcolati sia su tutto il periodo di osservazione, sia sull'ultimo periodo trentennale (1971-2000) come definito dalla WMO (2007) e sono stati ricavati i principali parametri e indici climatici e le loro tendenze anche grazie all'utilizzo del software AnClim (Stepanek, 2005). Per verificare la significatività statistica dei trend è stato applicato il test non-parametrico di Mann-Kendall (Sneyers 1990; 1992). Lo studio delle tendenze conferma quanto già emerso in altri lavori che evidenziano come i cambiamenti climatici abbiano comportato, nell'ultimo trentennio, un aumento significativo delle temperature (IPCC 2001; 2007).

L'assenza di tendenze significative per i dati di precipitazione risulta in accordo con risultati pervenuti in altri studi sull'arco alpino (Beniston, 2000; 2005; Ronchi et al., 2008). La copertura di neve al suolo mostra un significativo decremento, evidentemente correlato all'aumento di temperatura.

Lo studio si è poi focalizzato sugli eventi valanghivi verificatisi durante le stagioni invernali 1985/86 e 2008/09, le più nevose dell'ultimo trentennio. Alla luce di questa analisi è stata realizzata la Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (CLPV) dell'Alta Valle Antrona (comune di Antrona Schieranco).



OSSOLA

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni sono nati diversi progetti internazionali, aventi come obiettivo quello di favorire e far progredire l'attività di recupero dei dati climatici. Per cercare di caratterizzare e comprendere la variabilità climatica, sono infatti necessarie serie di dati storici lunghe, affidabili e di elevata qualità (Aguilar et al., 2003). Questo studio, frutto del lavoro di due tesi di laurea magistrale in Analisi e Gestione dell'Ambiente (AGAm) in Scienze Naturali, rientra nell'ambito del progetto internazionale MEditerranean climate DATA Rescue (ME.DA.RE.), mirato a migliorare la disponibilità e l'accessibilità dei dati climatici strumentali per una più corretta ed affidabile interpretazione di trend e scenari futuri.

Nella realizzazione di questo lavoro si è scelto di analizzare le serie di dati provenienti da tre stazioni nivometeorologiche della Valle Ossola: Alpe Cavalli (1500 m), Alpe Devero (1634 m) e Formazza Vannino (2177 m). I dati impiegati riguardano misure giornaliere che coprono un periodo di osservazione pari a 77 anni per Alpe Cavalli e 58 anni per Alpe Devero e Formazza Vannino, soddisfacendo il requisito della World Meteorological Organization

(WMO, 2007) secondo cui sono necessari almeno 30 anni di dati per poter svolgere uno studio rappresentativo delle caratteristiche climatiche dell'area in esame. Scopo del lavoro è stato analizzare i principali elementi climatici - temperatura, precipitazione liquida e solida - registrati presso le tre stazioni meteorologiche, con l'obiettivo di studiare la variabilità climatica della Valle Ossola e di verificare la presenza di variazioni nel tempo dell'andamento di tali parametri e dei relativi indici, mediante l'individuazione di tendenze significative. Il lavoro ha poi assunto un carattere applicativo, concentrandosi sull'analisi del rischio valanghivo in Valle Ossola. Lo studio si è focalizzato sugli eventi valanghivi verificatisi durante le stagioni invernali 1985/86 e 2008/09, le più nevose dell'ultimo trentennio. Alla luce di questa analisi è stata realizzata la Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (CLPV) dell'Alta Valle Antrona (comune di Antrona Schieranco).

AREA DI STUDIO

L'Ossola è un'estesa valle della Provincia del Verbano - Cusio - Ossola, corrispondente al bacino idrografico del fiume Toce. Geograficamente è compresa fra 45° 55'

- 46° 28' di latitudine Nord e 3° 58' - 4° 35' di longitudine Ovest dal meridiano di Monte Mario. Ubicata all'estremità settentrionale del Piemonte, è confinante a Nord, Est ed Ovest con la Svizzera ed a Sud con la Valsesia. E' composta da sette valli laterali: l'area presa in esame è rappresentata dalle Valli Antrona, Formazza e Devero (Fig. 1). La Valle Antrona, orientata Est-Ovest, è compresa nel settore delle Alpi Pennine e si estende per una lunghezza di 23 km. È attraversata dal torrente Ovesca posto alla destra idrografica del fiume Toce. E' caratterizzata da versanti con pendenze medio-elevate e da un substrato composto da rocce cristalline (gneiss, ofiolti, calcescisti, micascisti), appartenenti al dominio Pennidico (AA. VV., 1992). La Val Formazza, orientata Nord-Sud, è compresa nel settore delle Alpi Lepontine e si estende per una lunghezza di 15 km. Percorsa interamente dal fiume Toce, è costituita dal profondo solco vallivo che si incunea nelle Alpi Elvetiche. La Valle Devero, orientata NO-SE, è compresa nel settore delle Alpi Lepontine e si estende per una lunghezza di 12 km. Si dirama dall'estremità inferiore della Val Formazza, dove il torrente Devero si immette nel fiume Toce e si apre alla sommità formando un'ampia conca nota come Piana del Devero.

Le valli in esame presentano una forte predisposizione all'attività valanghiva, dovuta alla morfologia caratteristica delle valli glaciali (con la presenza di ampi bacini di accumulo sulle zone sommitali, sovrastanti versanti ad elevata pendenza) ed alla particolare nevosità della zona.

STAZIONI NIVOMETEOROLOGICHE E SERIE CLIMATICHE ANALIZZATE

La stazione nivometeorologica di Alpe Cavalli è stata installata nel 1928 a seguito della costruzione della diga omonima da parte della società Edison ed è attualmente gestita dall'ENEL. E' situata a circa cento metri di distanza dal bacino, in un'area aperta in prossimità della casa del guardiano (Fig. 2). La stazione di Formazza

Fig. 1 - Localizzazione geografica dell'area di studio.



Vannino, installata nel 1921, è collocata sull'angolo esterno della balconata dell'edificio dell'ENEL, società di gestione della diga del Lago Vannino (Fig. 3).

Entrambe le stazioni - di tipo manuale - sono dotate di una capannina meteorologica contenente al suo interno il termometro a massima e minima, un pluviografo a bascula in cabina metallica, un'asta graduata fissa per la misura dell'altezza totale della neve al suolo ed una tavoletta da neve in legno per la misura del quantitativo di neve fresca. La stazione dell'Alpe Devero è stata installata nel 1916 presso l'impianto idroelettrico del Devero. La stazione, inizialmente di tipo manuale, era dotata di termometro a massima e minima in capannina meteorologica e pluviografo in cabina metallica. Nel 1992 i rilevamenti manuali sono stati interrotti; nel 1991 è stata installata dalla Regione Piemonte una stazione automatica dotata di termigrometro, pluviometro riscaldato e nivometro ad ultrasuoni, a poca distanza da quella manuale, in un'area aperta nella Piana del Devero (Fig. 4). Pertanto, dopo opportune valutazioni sulla correlazione esistente tra le due serie, si è utilizzata la serie della nuova stazione automatica per il periodo recente. Le informazioni relative alla localizzazione ed alle principali caratteristiche delle stazioni sono riportate nella tabella di Fig.5. I dati meteorologici giornalieri delle stazioni manuali provengono da schede presenti solo su supporto cartaceo dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI). Le serie di dati, digitalizzate su foglio elettronico, riguardano valori giornalieri di temperatura massima e minima (°C), precipitazione liquida (mm), spessore del manto nevoso (cm) ed altezza della neve fresca (cm), ricavata per differenza giornaliera



Fig. 2 - Stazione nivometeorologica manuale di Alpe Cavalli - cabina meteorologica e pluviografo.



Fig. 3 - Stazione nivometeorologica manuale di Formazza Vannino - cabina meteorologica e pluviografo.



Fig. 4 - Stazione nivometeorologica automatica di Alpe Devero.

LOCALIZZAZIONE E CARATTERISTICHE DELLE STAZIONI CONSIDERATE IN VAL D'OSSOLA

STAZIONI	TIPO DI STAZIONE	QUOTA (m)	COMUNE	BACINO PRINCIPALE	LATITUDINE N	LONGITUDINE E	PERIODO SERIE DATI
Alpe Cavalli	Manuale	1500	Antrona Schieranco (VB)	Ticino	46°05'	08°07'	1932-2008
Alpe Devero	Manuale	1634	Baceno (VB)	Ticino	46°19'	08°15'	1951-1992
Alpe Devero	Automatica	1640	Baceno (VB)	Ticino	46°19'	08°15'	1991-2008
Formazza Vannino	Manuale	2177	Formazza (VB)	Ticino	46°23'	08°24'	1951-2008

© AINEVA

Fig. 5

PRINCIPALI PARAMETRI CLIMATICI CALCOLATI PER LA STAZIONE ALPE CAVALLI (1500 m) NEL PERIODO 1932-2008, PER LA STAZIONE ALPE DEVERO (1634 m) E PER LA STAZIONE FORMAZZA VANNINO (2177 m) NEL PERIODO 1951-2008

ALPE CAVALLI	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp	Hs	HsM	Hn	Gn
Gennaio	1,9	-5,9	29	10	51	6	61	93	67	5
Febbraio	3,1	-5,6	26	8	50	6	73	104	62	5
Marzo	6,1	-3,1	23	4	89	8	71	110	63	5
Aprile	8,8	0,0	13	2	147	10	43	80	47	4
Maggio	12,8	4,2	3	0	193	13	8	25	7	2
Giugno	17,3	8,2	2	0	150	11	0	0	0	1
Luglio	20,4	11,0	0	0	94	9	0	0	0	0
Agosto	19,6	10,8	1	0	129	10	0	0	0	0
Settembre	15,1	7,9	1	0	147	9	0	0	0	1
Ottobre	10,1	4,0	5	2	181	9	1	7	8	2
Novembre	5	-0,3	15	3	137	8	13	39	49	5
Dicembre	2,9	-4,2	26	7	69	7	38	70	66	6
DEVERO	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp	Hs	HsM	Hn	Gn
Gennaio	1,2	-9,8	30	11	70	9	104	139	81	6
Febbraio	2,5	-9,4	28	8	81	8	125	161	84	6
Marzo	6	-5,7	28	2	104	10	125	166	79	5
Aprile	8,3	-2,4	22	0	149	11	99	143	63	4
Maggio	11,8	1,4	8	0	185	13	33	73	11	1
Giugno	15,9	4,2	3	0	153	12	2	7	0	0
Luglio	18,1	6,3	0	0	108	10	0	0	0	0
Agosto	17,6	5,9	0	0	140	11	0	0	0	0
Settembre	12,4	3	5	0	143	9	0	1	1	0
Ottobre	8,4	-0,7	17	0	193	10	2	12	14	1
Novembre	3,8	-5	26	4	157	10	25	63	75	6
Dicembre	1,8	-8,2	30	10	89	9	67	107	86	6
VANNINO	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp	En	EnM	Hn	Gn
Gennaio	-2,7	-11,5	31	22	60	9	161	200	95	7
Febbraio	-1,3	-11,6	28	16	62	8	195	234	92	7
Marzo	0,1	-9,8	31	15	65	9	207	249	87	6
Aprile	3,4	-6,7	29	7	101	11	205	255	89	6
Maggio	6,8	-2,2	23	2	134	13	144	203	30	3
Giugno	11,2	1	11	0	134	13	33	80	3	0
Luglio	14,1	4,2	4	0	103	11	1	6	1	0
Agosto	13,5	4,6	3	0	145	13	0	0	0	0
Settembre	9,5	0,7	12	0	140	11	1	5	7	1
Ottobre	5,6	-2,7	24	3	151	10	9	32	39	4
Novembre	0,5	-7,5	29	12	105	11	54	99	102	8
Dicembre	-2,2	-10	31	20	68	9	112	156	99	7

TM = Temperatura massima (°C), Tm = Temperatura minima (°C), Gg = Giorni di gelo, Gsd = Giorni senza disgelo, P = Precipitazioni (mm), Gp = Giorni piovosi, Hs = Altezza della neve al suolo (cm), HsM = Altezza massima della neve al suolo (cm), Hn = Altezza della neve fresca (cm), Gn = Giorni nevosi.

© AINEVA

PRINCIPALI PARAMETRI CLIMATICI CALCOLATI PER LA STAZIONE ALPE CAVALLI (1500 m), PER LA STAZIONE ALPE DEVERO (1634 m) E PER LA STAZIONE FORMAZZA VANNINO (2177 m) NEL PERIODO 1971-2000

ALPE CAVALLI	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp	Hs	HsM	Hn	Gn
Gennaio	1,8	-5,2	29	9	59	6	56	93	79	5
Febbraio	2,2	-5,5	26	9	50	6	75	107	70	5
Marzo	4,8	-3,0	23	4	96	8	74	118	73	4
Aprile	7,0	-0,6	14	0	149	10	51	94	60	4
Maggio	11,6	3,9	1	0	193	14	10	29	7	1
Giugno	15,9	7,8	0	0	146	11	0	0	0	0
Luglio	19,5	10,7	0	0	99	9	0	0	0	0
Agosto	18,9	10,9	0	0	126	11	0	0	0	0
Settembre	14,8	7,7	0	0	158	8	0	1	1	0
Ottobre	10,1	3,8	3	0	217	9	1	6	7	1
Novembre	5,0	-0,6	15	3	97	8	10	34	43	3
Dicembre	2,9	-3,9	26	7	61	6	30	63	60	5
DEVERO	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp	Hs	HsM	Hn	Gn
Gennaio	1,0	-10,1	31	11	72	9	98	141	97	7
Febbraio	2,2	-9,8	28	8	81	9	122	161	90	7
Marzo	5,5	-6,3	29	2	118	10	126	173	91	6
Aprile	7,3	-3,4	25	0	171	11	105	156	78	4
Maggio	10,7	0,6	12	0	199	14	40	79	13	2
Giugno	15,1	3,0	4	0	146	12	2	10	0	0
Luglio	17,6	5,5	0	0	115	10	0	0	0	0
Agosto	17,5	5,3	1	0	124	11	0	0	0	0
Settembre	12,1	2,3	6	0	164	9	0	2	2	0
Ottobre	7,9	-1,2	19	1	227	11	3	14	16	1
Novembre	3,5	-5,7	27	6	119	9	21	57	67	5
Dicembre	1,7	-8,2	30	10	81	8	59	101	83	6
VANNINO	TM	Tm	Gg	Gsd	P	Gp	En	EnM	Hn	Gn
Gennaio	-2,5	-11,1	31	21	61	10	125	169	102	7
Febbraio	-1,3	-11,6	28	16	53	8	162	201	88	7
Marzo	0,1	-9,7	31	15	69	9	182	228	99	6
Aprile	2,7	-6,9	30	9	110	11	196	248	95	6
Maggio	6,7	-2,1	24	2	137	14	147	202	35	3
Giugno	10,9	1,0	10	0	124	13	40	93	5	1
Luglio	14,3	4,5	3	0	100	11	1	8	0	0
Agosto	14,2	5,1	2	0	124	12	0	0	0	0
Settembre	9,8	0,9	12	0	150	10	1	7	9	1
Ottobre	5,4	-2,7	25	3	167	11	10	34	44	4
Novembre	0,4	-7,6	30	13	85	10	41	81	82	7
Dicembre	-1,6	-9,7	31	19	58	9	84	122	84	7

TM = Temperatura massima (°C), Tm = Temperatura minima (°C), Gg = Giorni di gelo, Gsd = Giorni senza disgelo, P = Precipitazioni (mm), Gp = Giorni piovosi, Hs = Altezza della neve al suolo (cm), HsM = Altezza massima della neve al suolo (cm), Hn = Altezza della neve fresca (cm), Gn = Giorni nevosi.

© AINEVA

Da sinistra, fig. 6 e 7

dai cm di neve al suolo. La serie di Alpe Cavalli interessa un periodo di 77 anni, che va dal 1932 al 2008; le serie dell'Alpe Devero e Formazza Vannino interessano un periodo di 58 anni, dal 1951 al 2008.

METODI DI ANALISI

La percentuale minima dei dati necessaria affinché le serie possano essere impiegate per l'analisi climatica è dell'80% a livello mensile, stagionale ed annuale (Sneyers, 1990). Pertanto si è proceduto alla valutazione della consistenza delle serie, calcolando la percentuale dei dati presenti per ogni mese, stagione ed anno. Per la stazione Alpe Cavalli, gli unici dati

invalidati sono stati quelli relativi al mese di marzo del 1946 per le temperature ed ai mesi di luglio, agosto, settembre del 1944 per la precipitazione solida. Per la precipitazione liquida la serie è risultata completa anche per quanto riguarda tutti i valori giornalieri. La serie della stazione Vannino è risultata completa, mentre quella dell'Alpe Devero presenta due lacune nei periodi compresi tra settembre 1972 e maggio 1973 e tra agosto 1976 e settembre 1976. I dati giornalieri di temperatura e precipitazione liquida sono stati sottoposti al controllo di qualità impiegando RCLimDex (Zhang e Yang, 2004). Il software ha verificato la pre-

senza di valori "non ragionevoli" (valori giornalieri di temperatura massima minori o uguali a quelli di temperatura minima e dati di precipitazione liquida negativi) e di "outliers" (valori di temperatura che ricadono al di fuori dell'intervallo definito dalla media ± 3 volte la deviazione standard). I valori "non ragionevoli" frutto di errori di digitalizzazione sono stati corretti riconfrontandoli con gli originali cartacei, mentre quelli già presenti nelle trascrizioni originali sono stati invalidati; gli "outliers" sono stati accuratamente controllati attraverso una ricerca storica. Successivamente sono state rilevate le disomogeneità basandosi sull'analisi de-

gli Annali Idrografici, dell'inventario delle stazioni di misura del SIMI e sulle testimonianze orali degli operatori delle stazioni. La ricerca è stata completata utilizzando il software AnClim (Stepanek, 2005), mediante l'applicazione del t Test di Student iterato. Individuate le disomogeneità, si è proceduto all'omogeneizzazione dei dati mediante il metodo SPLIDHOM (Mestre et al., 2009), che effettua una correzione a livello giornaliero dei dati, sulla base di una serie di riferimento costruita mediante in maniera opportuna i dati omologhi di sei stazioni presenti nelle vicinanze delle stazioni considerate. Le tecniche di omogeneizzazione sono state applicate ai dati giornalieri di temperatura massima e minima, non ai dati di precipitazione per i quali non sono ancora stati sviluppati metodi attendibili. In seguito i dati sono stati aggregati a livello mensile, stagionale ed annuale. I valori medi sono stati calcolati sia su tutto il periodo di osservazione, sia sull'ultimo periodo trentennale (1971-2000) come definito dalla WMO (2007) e sono stati ricavati i seguenti parametri (tabelle di Fig. 6 e 7):

- TM e Tm = temperatura massima e minima mensile (°C);
- Gg = numero giorni di gelo ($T_{Mg} < 0^{\circ}C$);
- Gsd = numero giorni senza disgelo ($T_{Mg} < 0^{\circ}C$);
- P = precipitazione liquida cumulata mensile (mm);
- Gp = numero giorni piovosi ($P_g \geq 1mm$);
- Hs = altezza media mensile di neve al suolo (cm);
- HsM = altezza massima mensile di neve al suolo (cm);
- Hn = altezza cumulata mensile di neve fresca (cm);
- Gn = numero giorni nevosi ($G_n \geq 1cm$).

Al fine di analizzare l'andamento nel tempo delle variabili climatiche e di determinare la presenza di tendenze è stato applicato il metodo dei minimi quadrati grazie all'utilizzo del software AnClim (Stepanek, 2005). Per verificare la significatività statistica dei trend è stato applicato il test non-parametrico di Mann-Kendall (Sneyers, 1990; 1992).

La verifica della presenza di tendenze è stata effettuata sui dati annuali di temperatura, precipitazione liquida e solida, dei giorni piovosi e nevosi. Per ciò che concerne il risvolto applicativo del lavoro, è stata effettuata la ricerca storica relativa agli eventi valanghivi del passato. L'attenzione è stata rivolta alle stagioni invernali 1985/86 e 2008/09, molto significative sia dal punto di vista della quantità di precipitazione nevosa registrata, sia dei fenomeni verificatisi. Sono stati dunque

analizzati e descritti i principali eventi valanghivi, utilizzando anche i dati di precipitazione e temperatura, al fine di individuare un'eventuale correlazione tra il dato climatico e il fenomeno osservato. Per la Valle Antrona, le valanghe cadute nelle due stagioni esaminate sono state riportate ex-novo sulla CLPV in scala 1:25.000, concentrando l'attenzione sui versanti orientati verso le strade provinciali SP67 e SP141 nel comune di Antrona Schieranco.

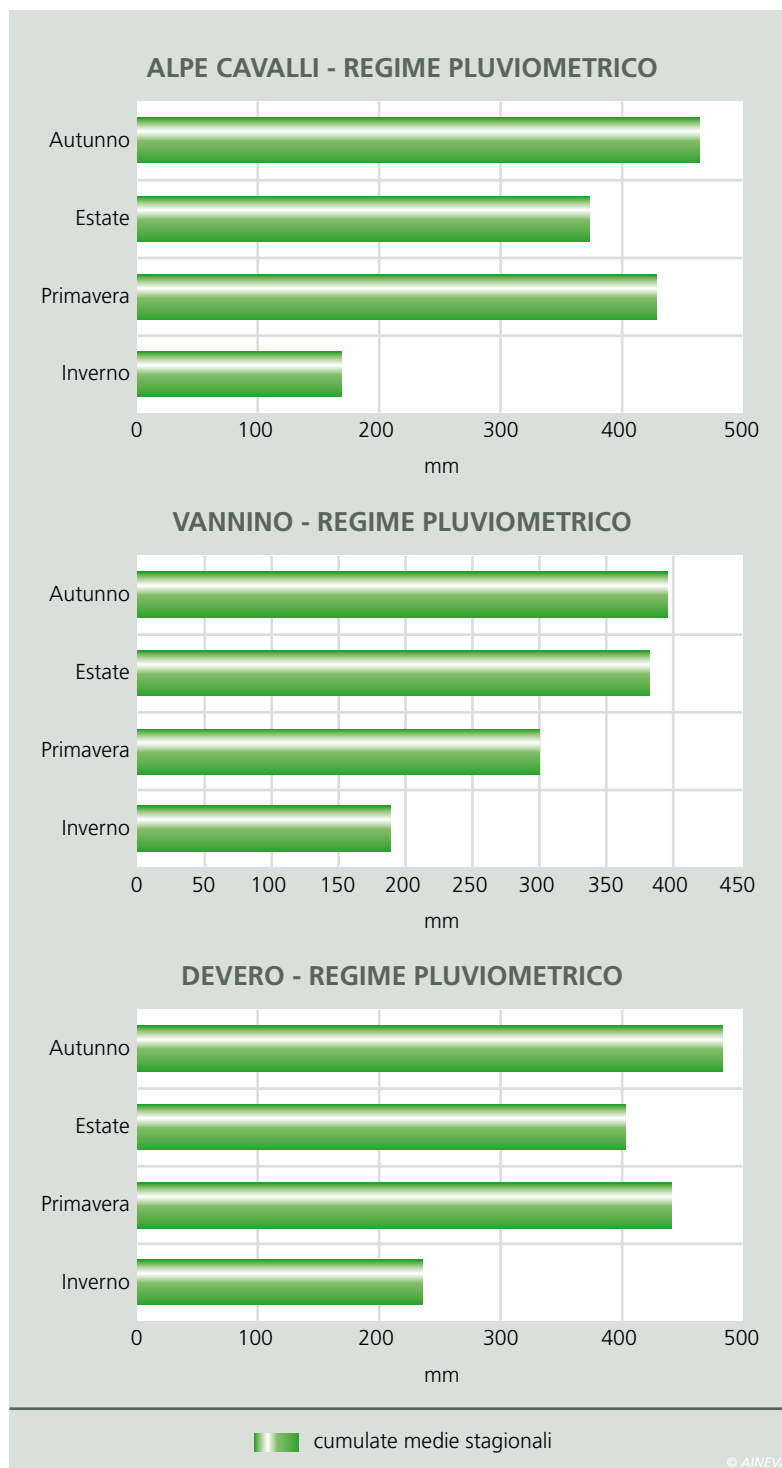
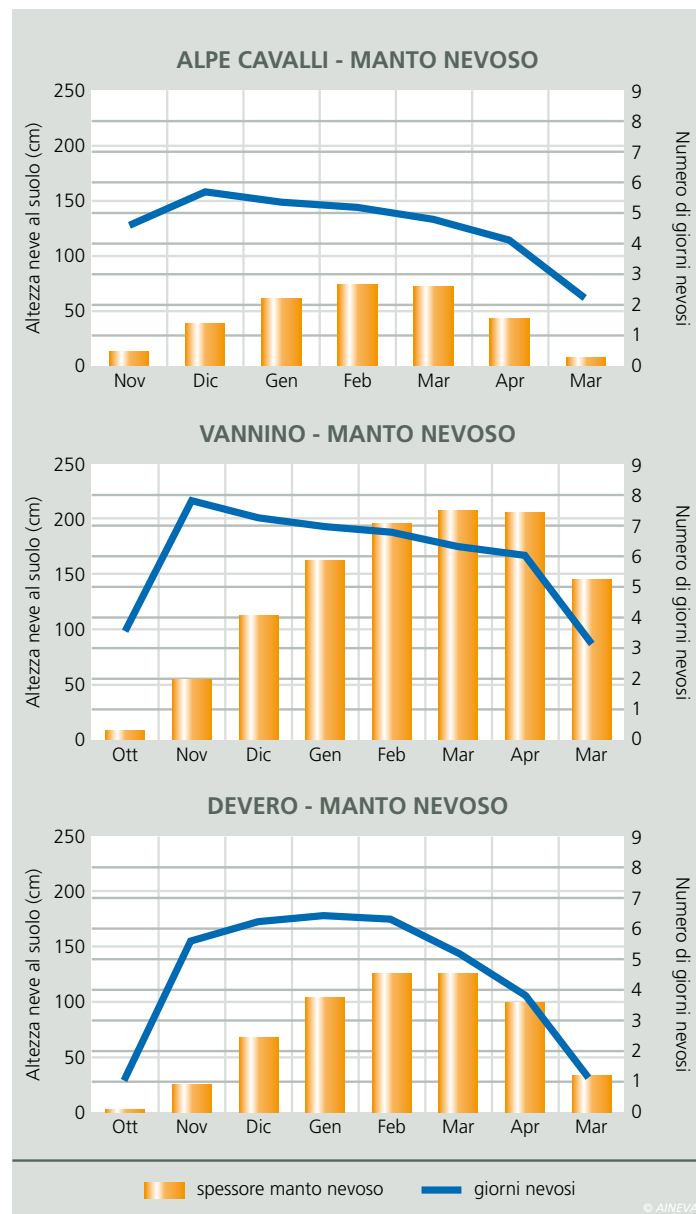
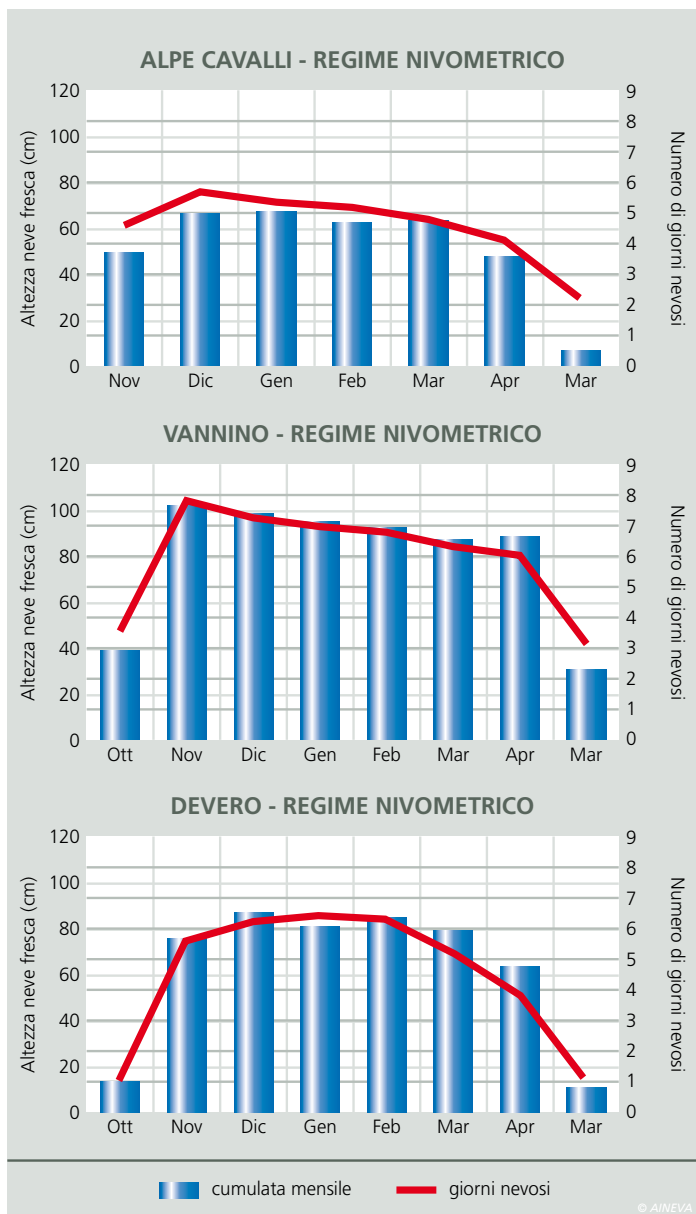


Fig. 8 - Distribuzione trimestrale delle precipitazioni presso le stazioni.



Sopra da sinistra, fig. 9 - Regime nivometrico registrato presso le tre stazioni.

Fig. 10 - Andamento medio dello spessore del manto nevoso presso le tre stazioni.

Il lavoro di realizzazione della carta si è composto di tre fasi: la foto-interpretazione, l'inchiesta sul terreno e la restituzione cartografica, secondo la metodologia adottata dall'AINEVA. Per lo studio del rischio valanghivo in Valle Formazza è stata utilizzata la CLPV (Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe) redatta nel 1994 (Prola, inedita), resa fruibile da Arpa Piemonte attraverso il SIVA, [Sistema Informativo Valanghe], e aggiornata dall'Agenzia nella primavera del 2009 alla luce degli eventi valanghivi eccezionali avvenuti nella stagione invernale appena trascorsa (Prola et al., 2009). Contestualmente sono state tratte le informazioni necessarie all'analisi degli eventi valanghivi della stagione invernale 1985-86. In ultimo sopralluoghi approfonditi sono

stati fatti per la raccolta delle informazioni necessarie allo studio degli eventi più recenti, relativi alla stagione 2008-09.

RISULTATI

Dall'analisi climatica si evince come le stazioni siano situate in una regione climatica axerica fredda (Bagnouls e Gausson, 1957). Dall'analisi dei dati di precipitazione si ricava che il regime pluviometrico (Mori, 1969) di Alpe Cavalli e Devero è subalpino (andamento bimodale con un massimo principale in inverno, minimo principale in primavera e minimo secondario in estate), mentre al Vannino il regime è subcontinentale (andamento bimodale con massimo principale in inverno, massimo secondario

in estate e minimo secondario in primavera) (Fig. 8). Presso tutte le stazioni, la densità di precipitazione è massima nella stagione autunnale (Alpe Cavalli registra una densità pari a 18 mm, Alpe Devero 17 mm e Vannino 12,5 mm). L'analisi dei dati di neve ha evidenziato un regime nivometrico di tipo maximum étalé (Besancenot, 1990) per tutte e tre le stazioni considerate, con precipitazioni nevose quasi equivalenti nei mesi di dicembre, gennaio, febbraio e marzo (Fig. 9). La copertura nevosa al suolo è assicurata durante tutta la stagione invernale e si protrae da novembre a maggio (Fig. 10). La stessa analisi è stata effettuata sul periodo di riferimento 1971-2000 e i risultati ottenuti sono comparabili a quelli relativi all'intero periodo di osservazione.

Per tutti gli indici è stata considerata la differenza "valor medio sull'intero periodo" - "valor medio 1971-2000". Per le temperature sono stati messi in evidenza i mesi in cui tale differenza, in valore assoluto, è maggiore di 0.5° C. Più in dettaglio, le differenze maggiori sui valori medi di temperatura si registrano alle quote più basse: nella stazione di Devero, la temperatura minima relativa al trentennio 1971-2000 è inferiore di più di 0.5°C rispetto a quella calcolata sull'intero periodo da marzo a novembre, la temperatura massima è invece più bassa da marzo a giugno; nella stazione di Alpe Cavalli la temperatura massima calcolata sul trentennio è inferiore di più di 0.5°C da febbraio ad agosto, mentre le temperature minime sono circa equivalenti.

Per quanto riguarda le precipitazioni liquide, sul trentennio 1971-2000 esse sono state più abbondanti in settembre-ottobre e più scarse in novembre-dicembre; anche le precipitazioni solide sono più scarse in novembre-dicembre ma sono più intense verso la fine della stagione nivologica (marzo-aprile), anche grazie alle temperature più rigide. Tracciando i diagrammi relativi all'andamento nel tempo delle temperature e delle precipitazioni medie annue è stato possibile valutare la presenza di tendenze significative (Fig. 11). È stato considerato il massimo periodo di osservazione privo di discontinuità climatiche importanti, rappresentate da una marcata variazione del valor medio. Per questo motivo, l'andamento delle temperature è stato valutato nel periodo 1978-2008 per la serie di Alpe Cavalli, nel periodo 1974-2008 per Alpe Devero, mentre è stata conservata la serie completa (1951-2008) per Formazza Vannino. Nel periodo considerato, tutte le stazioni esaminate registrano un incremento significativo delle temperature (Fig. 12). In particolare tale aumento è compreso tra 0,04 e 0,05 ± 0,01 °C/anno per le temperature massime, mentre per le minime tra 0,03 e 0,07 ± 0,01 °C/anno. L'andamento nel tempo della precipitazione liquida e solida mostra tendenze statisticamente non significative ed evi-

denza un'elevata variabilità interannuale di tali parametri. L'altezza di neve al suolo ed il numero di giorni nevosi registrano una tendenza negativa statisticamente significativa; questa varia da -0,35 ± 0,10 a -1,44 ± 0,41 cm/anno per la neve al suolo, mentre per i giorni nevosi da -0,08 ± 0,06 a -0,10 ± 0,04 giorni/anno.

Per quanto riguarda l'analisi dei fenomeni valanghivi si è analizzata la relazione tra

precipitazioni nevose ed eventi valanghivi delle stagioni più nevose degli ultimi 30 anni. Durante la stagione invernale 1985/86 i primi eventi sono stati registrati in Val Formazza a partire dal 31 gennaio, sottoforma di due valanghe di neve polverosa che hanno danneggiato il bosco e le urbanizzazioni nelle varie frazioni del comune di Formazza. Nel mese di aprile 1986, sia in Valle Antrona che in Val

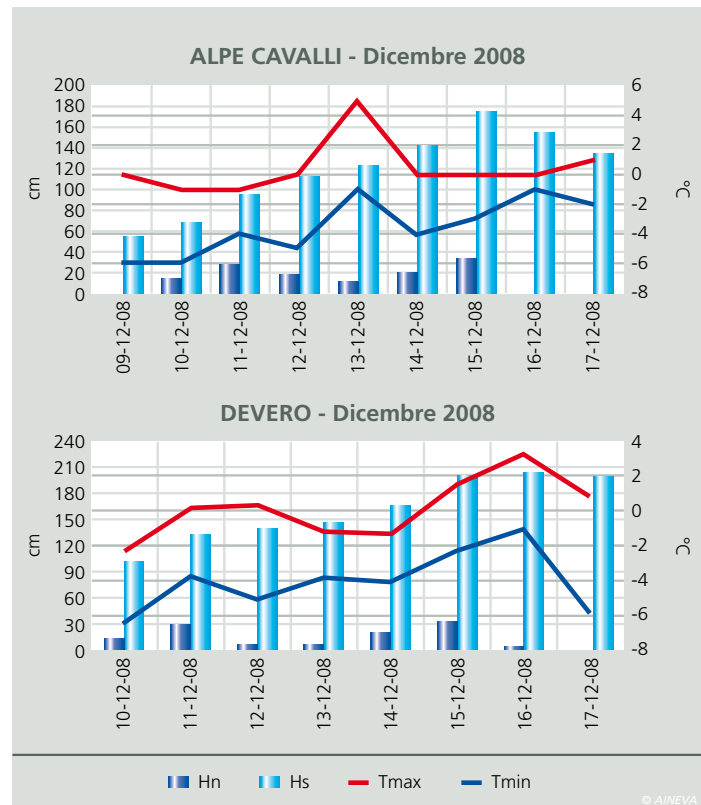
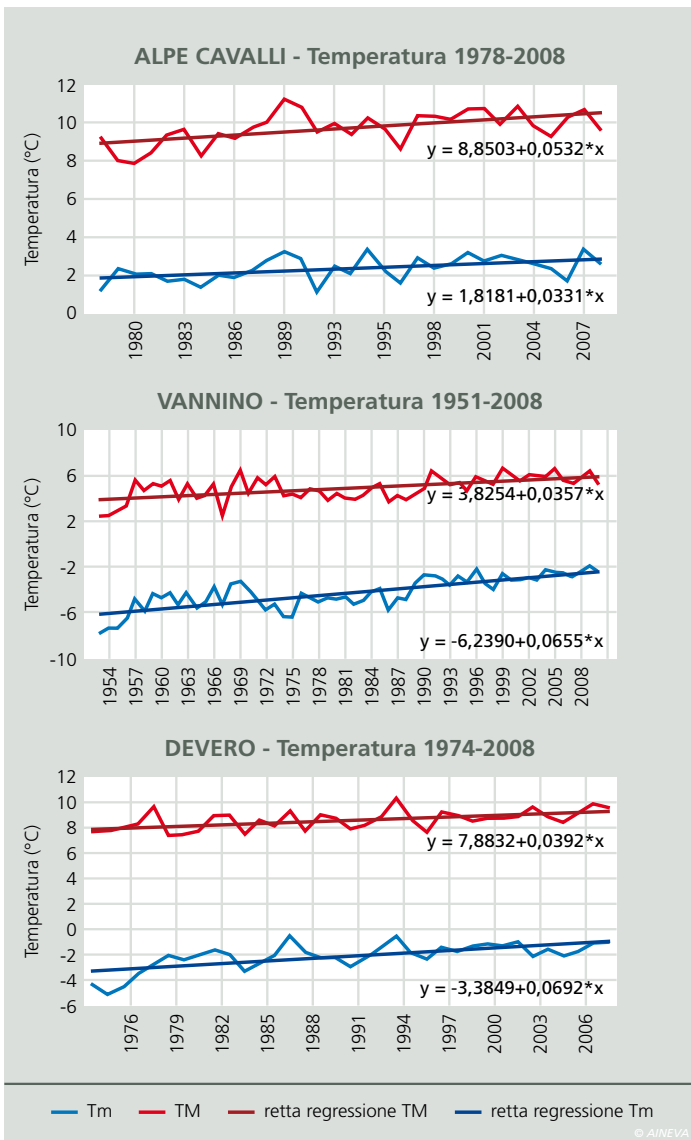
Fig. 11

PRINCIPALI TENDENZE CALCOLATE PER I DIVERSI PARAMETRI CLIMATICI						
ALPE CAVALLI	Periodo	Retta regressione	Err. a	Sign 95%	Media	Dev.st.
TM	1978-2008	$y=8,85+0,05*x$	0,01	*	9,7°C	0,8
Tm	1978-2008	$y=1,82+0,03*x$	0,01	*	2,3°C	0,6
P	1932-2008	$y=1436,3+0,24*x$	1,84		1436 mm	357
Gp	1932-2008	$y=108,52-0,02*x$	0,07		108 gg	13
Hn	1932-2008	$y=386,07-0,65*x$	0,81		361 cm	159
Gn	1932-2008	$y=33,07-0,10*x$	0,04	*	30 gg	8
Hs	1932-2008	$y=57,24-0,35*x$	0,10	*	44 cm	27
ALPE DEVERO	Periodo	Retta regressione	Err. a	Sign 95%	Media	Dev.st.
TM	1974-2008	$y=7,88+0,04*x$	0,01	*	8,6°C	0,8
Tm	1974-2008	$y=-3,38+0,07*x$	0,01	*	-2,1°C	1,1
P	1951-2008	$y=1704,99-5,07*x$	2,73		1561 mm	353
Gp	1951-2008	$y=128,58-0,28*x$	0,10	*	121 gg	14
Hn	1951-2008	$y=472,44+0,01*x$	1,11		473 cm	143
Gn	1951-2008	$y=34,89-0,02*x$	0,06	*	34 gg	7
Hs	1951-2008	$y=104,25-0,81*x$	0,28		81 cm	38
F. VANNINO	Periodo	Retta regressione	Err. a	Sign 95%	Media	Dev.st.
TM	1951-2008	$y=3,82+0,04*x$	0,01	*	4,9°C	1,1
Tm	1951-2008	$y=-6,24+0,07*x$	0,01	*	-4,3°C	1,4
P	1951-2008	$y=1396,75-4,51*x$	2,24		1264 mm	293
Gp	1951-2008	$y=133,23-0,13*x$	0,11		129 gg	14
Hn	1951-2008	$y=650,66-1,99*x$	1,04	*	591 cm	139
Gn	1951-2008	$y=46,43-0,08*x$	0,06		44 gg	7
Hs	1951-2008	$y=193,70-1,44*x$	0,41	*	151 cm	57

TM = Temperatura massima (°C), Tm = Temperatura minima (°C), P = Precipitazioni (mm), Gp = Giorni piovosi, Hs = Altezza della neve al suolo (cm), Hn = Altezza della neve fresca (cm), Gn = Giorni nevosi, Retta regressione: $y=ax+b$, Err. a = errore relativo al parametro a dell'equazione della retta di regressione, Sign 95% = livello di confidenza del test di Mann-Kendall pari al 95% (* = trend statisticamente significativo), Dev.st = deviazione standard

© AINEVA





Sopra da sinistra, fig. 12 - Andamento dei valori medi delle temperature massime e minime per le tre stazioni.

Fig. 13 - Dati nivometrici (Hn e Hs) e termometrici (Tmax e Tmin) in occasione dell'evento valanghivo del dicembre 2008.

Formazza, sono stati individuati eventi valanghivi che hanno coinvolto i tracciati stradali. Si è trattato di valanghe di neve umida, dovute alle abbondanti precipitazioni nevose miste a pioggia ed abbinate al repentino innalzamento dei valori di temperatura. La stagione 2008/09 è stata caratterizzata da intense nevicate durante il mese di dicembre 2008, le quali si sono imposte su di un territorio montano già decisamente innevato in rapporto alla stagione: le abbondanti nevicate, abbinate alle frequenti variazioni giornaliere di temperatura massima e minima, hanno determinato una situazione di elevata criticità per pericolo valanghe (Fig. 13). In Val Formazza, il primo evento valanghivo, legato ad intense precipitazioni nevose è stato registrato il 15 dicembre, mentre l'evento principale è avvenuto il 28 febbraio, giorno in cui si è registrato

un repentino aumento della temperatura massima. In Valle Antrona sono stati individuati quattro eventi valanghivi che hanno coinvolto il tracciato stradale che collega il centro abitato di Antronapiana con la diga di Alpe Cavalli (Fig. 14). Attraverso uno studio fotointerpretativo e indagini d'archivio e di terreno, e anche alla luce degli eventi riscontrati, è stata redatta la CLPV del Comune di Antrona Schieranco, a scala 1:25.000, focalizzando l'attenzione sui versanti orientati verso le strade provinciali SP67 e SP141 che collegano la frazione di San Pietro alla diga di Alpe Cavalli (Fig. 15). Sono stati riportati sulla CLPV 139 eventi, comprendenti le valanghe, le zone pericolose e le zone di pericolo localizzato. La CLPV redatta per il comune di Antrona Schieranco è stata di seguito integrata nel Sistema Informativo VALanghe (SIVA) dell'Arpa Piemonte.

CONCLUSIONI

Lo studio del clima richiede la disponibilità di dataset climatici completi e di elevata qualità. Grazie a questo lavoro sono state reperite e digitalizzate tre nuove serie di dati climatici della Valle Ossola ed è stata realizzata una completa analisi climatica. Dai dati termometrici delle tre stazioni è possibile individuare le caratteristiche climatiche della zona alle diverse quote e in base ai fattori geografici. I valori di precipitazione cumulata mensile e stagionale sono molto elevati, carattere questo che rispecchia l'andamento delle precipitazioni tipico del bacino del Toce (Biancotti et al., 1998). La registrazione di un diverso regime pluviometrico tra le stazioni è dovuta alla variazione di quota: il regime subalpino è infatti tipico delle stazioni poste a quote inferiori (Alpe Cavalli e Devero), il subcontinentale di quel-

le a quote superiori (Formazza Vannino). L'analisi dei dati nivometrici mostra come il regime sia di tipo equilibrato per tutte le stazioni e come la copertura nevosa al suolo sia garantita da novembre a maggio. Lo studio delle tendenze conferma quanto già emerso in altri lavori che evidenziano come i cambiamenti climatici abbiano comportato, nell'ultimo trentennio, un aumento significativo delle temperature (IPCC 2001; 2007). L'assenza di tendenze significative per i dati di precipitazione risulta in accordo con risultati pervenuti in altri studi sull'arco alpino (Beniston, 2000; 2005; Ronchi et al., 2008). La copertura di neve al suolo mostra un significativo decremento, evidentemente correlato all'aumento di temperatura. E' stata poi indagata ed individuata una correlazione tra i dati climatici di temperatura e precipitazione e gli eventi valanghivi studiati.

I parametri meteorologici analizzati hanno permesso quindi, da un lato, di arricchire il patrimonio di dati storici al fine di comprendere meglio i cambiamenti climatici in atto e dall'altro di caratterizzare i principali eventi valanghivi dell'area in esame, attraverso la redazione e l'aggiornamento delle CLPV, utile strumento per una corretta gestione del rischio valanghivo nei settori alpini.



Fig. 14 - Dicembre 2008, Maggio 2009, Giugno 2009 - le 3 fotografie testimoniano l'evoluzione nel tempo del sito valanghivo riportato nella CLPV con il numero 6. La valanga è caduta nel mese di dicembre 2008 nei pressi della stazione di Alpe Cavalli.

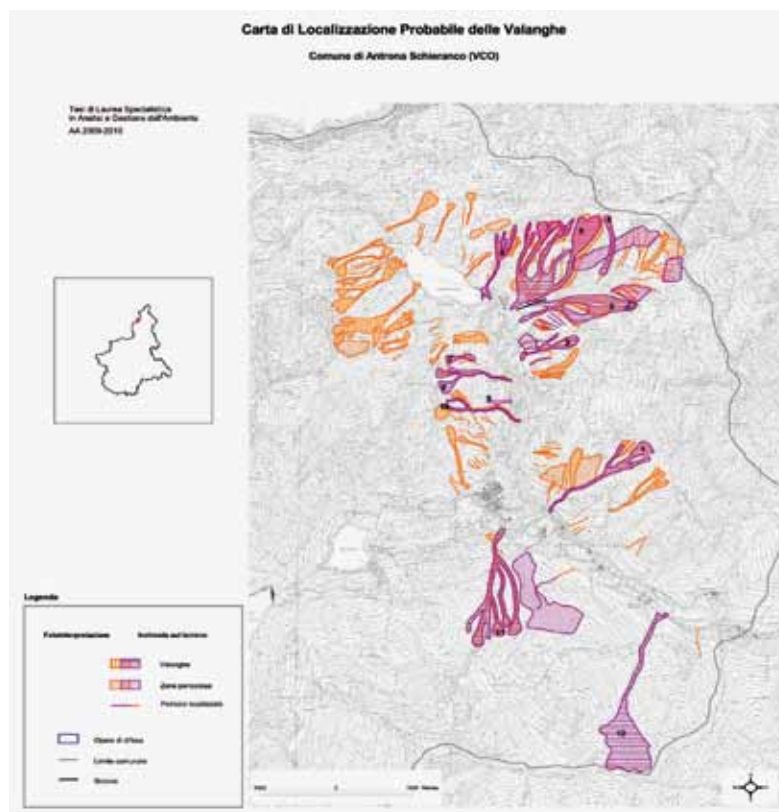


Fig. 15 - CLPV in scala 1:25.000. Sono riportati i siti valanghivi dei versanti orientati verso la diga di Alpe Cavalli e verso le strade provinciali SP67 e SP141 del comune di Antrona Schierano. I siti valanghivi desunti da fotointerpretazione sono stati riportati in arancione; quelli derivanti dall'inchiesta sul terreno in viola.

Bibliografia

- AGUILAR E., AUER I., BRUNET M., PETERSON T.C., WIERINGA J., Guidelines on Climate Metadata and Homogenization, World Climate Programme Data and Monitoring WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. Geneva, WMO, 2003.
- AA.VV., "Le Alpi dal M.Bianco al Lago Maggiore", Guide Geologiche Regionali, a cura della Società Geologica Italiana, 1992, pp. 159-165.
- BAGNOULS F., GAUSSEN H., "Les climats biologiques et leur classification", Annales de Geographie, 66, 1957, pp. 193-22.
- BENISTON M., Environmental change in mountains and uplands, New York, Oxford University Press, 2000.
- BENISTON M., "Mountain climates and climatic change: An overview of processes focusing on the European Alps", Pure and Applied Geophysics, 192, 2005, pp. 1587-1606.
- BESANCENOT J.P., Climat et tourisme, Paris, Masson, 1990, p.224.
- BIANCOTTI A., BELLARDONE G., BOVO S., CAGNAZZI B., GIACOMELLI L., MARCHISIO C., Distribuzione regionale di piogge e temperature, "Studi climatologici in Piemonte 1", a cura di Biancotti A., Bovo S., Torino, Regione Piemonte, 1998, p.80.
- DELLA-MARTA P.M., WANNER H., "A method of Homogenizing the Extremes and Mean of Daily Temperature Measurements", Journal of Climate, 19, 2006, pp. 4179-4197.
- IPCC, Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, 2007.
- IPCC, Climate Change 2001: the Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, a cura di Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001.
- MESTRE O., PRIEUR C., GRUBER C., CAUSSINUS H., JOURDAIN S., "A method for homogenization of daily temperature observations", submitted to JAMC, 2009.
- MORI A., "Carta del regime delle precipitazioni", Roma, CNR, 1969.
- RONCHI C., CICCARELLI N., VON HARDENBERG J., PROVENZALE A., "La variabilità climatica nell'Italia nordoccidentale. Analisi statistica di temperature e precipitazioni giornaliere su Piemonte e Valle D'Aosta nella seconda metà del XX secolo", Neve e Valanghe, 63, 2008, pp. 28-33.
- PROLA M.C., ALIBRANDO M., LORUSSO B., CASSULO R. "10 anni di esperienza del SIVA di Arpa Piemonte", Neve e valanghe, 68, 2009, pp. 30-37.
- PROLA M.C. - Fenomenologia Valanghiva in Val Formazza", Tesi di laurea inedita aa 1993-94. Università degli studi di Torino, Facoltà di Scienze MFN, pp 387-396, 401-418, allegato cartografico.
- SNEYERS R., On the statistical Analysis of series of observations, WMO No.415, Geneva, WMO, 1990.
- SNEYERS R., "Use and misuse of statistical methods for the detection of climate change", American Meteorological Society 12th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences, Toronto, 1992, Boston, American Meteorological Society.
- STEPANEK P., AnClim – software for time series analysis. Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, Masaryk University, Brno, 2005.
- WANG X.L., WEN Q.H., WU Y., "Penalized Maximal t Test for Detecting Undocumented Mean Change in Climate Data Series", Journal of Applied Meteorology and Climatology, 46, 2007, pp. 916-931.
- WMO, Guide to climatological practices. Third edition, WMO No.100, Geneva, WMO, 2007.
- ZHANG X., YANG F., "RCLimDex (1.0) user manual", 2004.