

Relazione finale del progetto:

Caratterizzazione degli impianti di innevamento programmato nell'ambito dell'uso plurimo della risorsa idrica



Funivie.org

Pierluigi CLAPS
Davide POGGI
Paola ALLAMANO

Finanziato da

**Regione Autonoma Valle d'Aosta
Compagnia Valdostana delle Acque
Associazione Valdostana Impianti a Fune
Unicredit Private Banking**

POLITECNICO DI TORINO
*Dipartimento di Idraulica, Trasporti
ed Infrastrutture Civili*



Con delibera regionale n°2698 dell'8 ottobre 2010, la Regione Autonoma Valle d'Aosta, la Compagnia Valdostana delle Acque (CVA), l'Unicredit S.p.A. e l'Associazione Valdostana Impianti a Fune hanno commissionato al Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili (DITIC) del Politecnico di Torino il progetto "Caratterizzazione degli impianti di innevamento programmato nell'ambito dell'uso plurimo della risorsa idrica".

Il progetto ha avuto una durata di 11 mesi a partire dall'11 novembre 2010, data di firma della Convenzione da parte di tutti i committenti.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano:

- il Presidente dell' Associazione Valdostana Impianti a Fune, Ferruccio Fournier, per la tenacia con la quale ha voluto questo studio;
- il personale della Monterosa Ski per aver messo a disposizione tutte le informazioni relative al funzionamento degli impianti per l'innevamento programmato nel comprensorio di Gressoney La Trinité e per il supporto tecnico in fase di acquisizione dei dati;
- il personale del Dipartimento Trasporti, Servizio Infrastrutture Funiviarie della Regione Valle d'Aosta per il supporto e l'assistenza tecnica al Progetto;
- il Dipartimento Difesa del Suolo e Risorse Idriche della Regione Valle d'Aosta, Ufficio Centro Funzionale, per aver fornito i dati meteorologici usati in questo studio;
- l'Autorità d'Ambito del Servizio Idrico Integrato della Regione Valle d'Aosta, Ufficio Tecnico, per aver contribuito alla definizione del fabbisogno idropotabile nel comprensorio di Gressoney La Trinité;
- il Dipartimento Difesa del Suolo e Risorse Idriche, Servizio Gestione Demanio e Risorse Idriche per aver fornito i dati sulle concessioni per uso idroelettrico nei comuni di Gressoney La Trinité e Gressoney St. Jean;
- l'Ing. Alberto Grimod per aver contribuito alla definizione del quadro complessivo di uso della risorsa nel comprensorio analizzato;
- l'Ing. Claudia Desandrè per aver collaborato alla definizione del caso studio nella fase di avvio del Progetto;

Sommarrio

1. Finalità dello studio.....	p. 8
2. Il caso studio: il comprensorio sciistico di Gressoney la Trinité.....	8
Inquadramento geomorfologico.....	8
Suddivisione in macroaree.....	9
Struttura della rete idraulica per l'innevamento programmato	12
Dati di produzione.....	15
3. Dati idro-meteorologici.....	18
Stazioni meteorologiche.....	18
Strumenti annessi all'impianto di innevamento.....	20
Dati idrometrici.....	21
4. Il modello di accumulo e scioglimento.....	22
Modello digitale del terreno.....	22
Precipitazione.....	22
Temperatura.....	24
Radiazione solare.....	24
Il modulo di accumulo e scioglimento.....	25
Taratura del modello di accumulo e scioglimento.....	26
Il modulo di innevamento.....	27
Applicazione del modello a sequenze meteorologiche storiche.....	34
5. Altre categorie di domanda idrica.....	36
Utenza idropotabile.....	36
Altre categorie di utenza.....	38
Deflusso minimo vitale.....	41
6. Valutazioni preliminari sulla sostenibilità dell'innevamento programmato.....	42
Commento dei risultati.....	46
7. Conclusioni.....	47
Bibliografia.....	48
A. Descrizione tecnica della rete.....	49
B. Caratteristiche degli innevatori alta pressione.....	57
C. Stazioni idro-meteorologiche.....	70
Allegato.....	77

1. Finalità dello studio

Lo studio ha come scopo la definizione del quadro delle modalità di prelievo e di uso della risorsa idrica connesse all'innevamento programmato, affinché esse vengano correttamente collocate nel quadro più generale dei sistemi di utenti della risorsa idrica in Valle d'Aosta.

Tale obiettivo è stato conseguito attraverso:

- a) una fotografia puntuale delle modalità di prelievo e di stoccaggio dell'acqua a scala di comprensorio sciistico;
- b) lo studio delle caratteristiche fisiche e climatiche del comprensorio;
- c) la schematizzazione delle problematiche infrastrutturali.

Le questioni di carattere fisico-climatico attengono in particolare la stima della risorsa idrica direttamente captabile in quota e gli aspetti relativi all'evoluzione del manto nevoso prodotto dagli impianti, con valutazione del tempo medio di residenza della risorsa idrica in forma nevosa.

Le problematiche infrastrutturali riguardano la schematizzazione delle connessioni che gli impianti di innervamento hanno con le altre utenze idriche operanti nel periodo invernale.

Le finalità dello studio sono dunque potenzialmente vaste, sia per la diversità dei fattori da prendere in considerazione per la corretta definizione delle modalità di funzionamento effettivo dell'utenza connessa all'innevamento programmato, sia per l'opportunità di estendere i risultati dello studio a tutto l'insieme degli impianti operanti in regione, al fine di effettuare un bilancio complessivo dell'uso della risorsa idrica.

Le attività condotte nell'ambito di questo studio sono riferite al solo comprensorio sciistico di Gressoney La Trinité e sono presentate secondo le linee di indagine concordate in convenzione e di seguito descritte.

WP1. Schematizzazione tipologica di un impianto di innervamento programmato

Obiettivo della prima fase di attività è stata la valutazione della struttura della domanda idrica per unità di area servita (da innervamento programmato) sia globalmente (a scala annua) che con riferimento alle modalità temporali di spostamento dei volumi idrici dalla stagione invernale a quella primaverile. In questa fase è inclusa la valutazione del consumo idrico netto in riferimento a situazioni climatiche osservate. Le modalità di restituzione dei volumi idrici ai corsi d'acqua sono state oggetto di modellazione matematica relativamente al bilancio di massa e di energia del manto nevoso.

WP2. Schematizzazione delle connessioni tra impianti di innervamento programmato ed altre utenze

Il secondo modulo si è invece focalizzato sull'esame dei possibili conflitti di uso della risorsa idrica nel periodo invernale, quando l'innevamento programmato dipende dal prelievo di portata da sorgenti e corsi d'acqua. Considerati gli aspetti stagionali della domanda per innervamento programmato, in questa fase sono state caratterizzate le condizioni tipiche di prelievo confrontandole con la struttura della domanda di altre utenze.

L'analisi di questi casi si presenta di difficile generalizzazione in quanto la specificità delle configurazioni relative alle fonti idriche ed alle relative captazioni sono determinanti rispetto al potenziale emergere di conflitti. La riconduzione del problema, pertanto, è stata effettuata sul comprensorio sciistico dell'alta valle di Gressoney, individuato di concerto con il committente.

I risultati della ricerca in oggetto sono presentati nel seguito di questa relazione. La relazione prodotta ed i relativi allegati, a seguito dell'approvazione da parte dei committenti, saranno divulgati sul web con modalità da concordarsi.

2. Il caso di studio: il comprensorio sciistico di Gressoney la Trinité

Inquadramento geomorfologico

La zona oggetto dello studio è situata nell'alta Valle di Gressoney, la prima che si incontra dall'imbocco della valle e quella posta più a oriente della regione Valle d'Aosta. La valle prende origine da Pont Saint Martin e si estende fino ai piedi del massiccio del Monte Rosa. Confina a nord col Vallese, ad ovest con la val d'Ayas, a sud-est con la valle principale valdostana, a sud e ad est con le province di Biella e di Vercelli.

La valle di Gressoney è detta anche Valle del Lys poiché solcata dall'omonimo torrente. Il torrente Lys, lungo oltre 38 km, è l'ultimo grande tributario della Dora Baltea in sponda sinistra. Nasce dal Monte Rosa dal ghiacciaio del Lyskamm a quota 2350 m; percorre la Valle di Gressoney in direzione nord-sud, e va a confluire nella Dora Baltea a Pont Saint Martin a quota 312 m s.l.m. E' il meno impetuoso di tutti i torrenti valdostani, avendo una pendenza media del 4.1%. Riceve le acque di numerosi corsi d'acqua a regime torrentizio molto ripidi, originati da laghetti alpini o dalle nevi.



Fig. 2.1: A destra inquadramento geografico della Valle D'Aosta; a sinistra due immagini della Valle di Gressoney: vista della Valle da Alpenzu e vista del ghiacciaio del Lyskamm.

Storicamente l'agricoltura e l'allevamento del bestiame hanno rappresentato le maggiori occupazioni della popolazione gressonara, specialmente nella parte bassa della valle. Tali attività oggi sono state sostituite dal turismo e dalle attività commerciali ad esso inerenti, in special modo nei pianori di Gressoney Saint Jean e Gressoney la Trinité. La valle di Gressoney è infatti inserita nel grande comprensorio sciistico del Monterosa Ski.

Il territorio gestito dal Monterosa Ski abbraccia tre valli ai piedi del massiccio del Monte Rosa: la Valle di Ayas e la Valle di Gressoney in Valle d'Aosta e la Valsesia in Piemonte, quest'ultima entrata a far parte del comprensorio nel 2004.

I collegamenti tra le valli sono garantiti da due valichi: il Colle Bettaforca tra la Valle d'Ayas e la Valle di Gressoney e il Passo dei Salati tra la Valle di Gressoney e la Valsesia. Le località che compongono il comprensorio sono: Ayas - Antagnod, Ayas - Champoluc, Brusson, Gressoney la Trinité, Gressoney Saint Jean in Valle d'Aosta e Alagna Valsesia in Piemonte, per un totale di 35 impianti di risalita (tra seggiovie, tapis roulant, funivie, funicolari e ski-lift) con una portata complessiva di 50729 persone/ora, che partono da una quota minima di 1212 m di Alagna e arrivano fino ai 3275 m della Punta Indren, e 180 km di piste dalle più semplici alle più tecniche (un totale di 67 piste di cui 19 piste blu, 41 piste rosse e 6 piste nere). Sono inoltre presenti 3 baby snow park: ad Antagnod, a Weissmatten e ad Alagna. Nelle stagioni 2007-2008 e 2008-2009 ha fatto parte del comprensorio anche la località di Alpe di Mera (VC).

Fig. 2.2: Panoramica del comprensorio sciistico del Monterosa Ski.

Viste le caratteristiche delle diverse località gestite dal Monterosa Ski, la scelta del sito da analizzare è ricaduta sul comprensorio di Gressoney La Trinité. Questo è stato considerato idoneo per lo svolgimento dello studio per la particolare configurazione degli impianti (sia in destra sia in sinistra orografica del torrente Lys), per la presenza di sorgenti di approvvigionamento idrico eterogenee (da sorgenti naturali, da torrente, da condotta forzata) e soprattutto per la maggiore disponibilità di dati meteorologici e delle serie relative ai consumi dell'impianto di innevamento.

Suddivisione in macroaree

Il comprensorio di Gressoney La Trinité si sviluppa sia in sinistra sia in destra orografica del torrente Lys, rispettivamente fino a Indren (3275 m s.l.m.) e al Colle Bettaforca (2727 m s.l.m.). Nello svolgimento dello studio è stato necessario includere nel comprensorio di Gressoney anche due piste del comprensorio di Champoluc, nella vicina Val d'Ayas, che dal Colle Bettaforca

scendono in sinistra orografica del torrente Evançon verso Frachey: la pista C14, detta Forca, e la pista di collegamento C13. Questo perché il sistema di innevamento programmato di queste due piste è gestito da Gressoney. La superficie innevata totale è di 95 ettari circa (equivalente a circa 1 km²).

Il comprensorio è stato suddiviso in tre macroaree, omogenee per disposizione delle piste su un unico versante e per gestione dell'impianto di innevamento programmato:

- MACROAREA 1: sinistra orografica del torrente Lys (Valle di Gressoney);
- MACROAREA 2: destra orografica del torrente Lys (Valle di Gressoney);
- MACROAREA 3: sinistra orografica del torrente Evançon (Val d'Ayas).

In Figura 2.3 sono rappresentati: la dislocazione delle macroaree sul comprensorio, le zone ricoperte da piste e gli impianti di risalita sono riportati in Figura 2.3.

MACROAREA 1

La prima macroarea si sviluppa in sinistra orografica del torrente Lys, dai 1637 m di Gressoney Saint Jean e i 3275 di Indren, quest'ultima raggiunta solo nel 2010 da un impianto di risalita (funivior di Indren). Passando dal Passo dei Salati è possibile raggiungere la località di Alagna, in territorio piemontese. La sinistra orografica, con i suoi 39.6 km di pista e i 59.5 ettari di area occupata dalle piste, rappresenta la parte più estesa del comprensorio di Gressoney e quella con il dislivello maggiore, pari a 1638 m. Sono presenti 13 piste (1 blu, 10 rosse, 2 nere) e 7 impianti di risalita. Nelle Tabelle 2.1 e 2.2 è riportato il riepilogo degli impianti di risalita e delle piste presenti nella macroarea.

Era presente, fino al 2008, un bacino di raccolta delle acque superficiali in località Alpe Ricka, a 2300 m di altitudine. Oltre a questo, si registra la presenza della diga del Gabiet di proprietà della Compagnia Valdostana delle Acque (C.V.A.), posizionata su uno degli altipiani immediatamente sopra Gressoney la Trinité, sul percorso del sentiero che attraverso il Col d'Olen conduce ad Alagna. I lavori di costruzione dell'invaso hanno avuto inizio nel 1919 e si sono conclusi nel 1922. La diga che forma l'invaso del lago Gabiet è una struttura a gravità massiccia in muratura di pietrame con malta di cemento, il cui sbarramento principale è posto a sud. Il complesso alimenta la centrale di Gressoney, impianto costruito nel 1921 e automatizzato nel 1979 nel comune di Gressoney La Trinité.

Tab. 2.1: Riepilogo degli impianti di risalita presenti in sinistra orografica, macroarea 1.

N.	Impianto	Tipo	Partenza [m]	Arrivo [m]	Lunghezza [m]	Dislivello [m]
20	Stafal - Gabiet	Funivia	1818,79	2318,79	2596,10	500
21	Gabiet - Lago	Seggiovia	2305,05	2393,2	379,96	88,15
22	Tapis Orsia	Tapis roulant	1754	1781	84	27
23	Bedemie - Seehorn	Seggiovia	1908,7	2391,5	1519,34	482,8
24	Punta Jolanda	Seggiovia	1638	2237,72	1319	599,72
25	Gabiet - Passo dei Salati	Telecabina	2311	2970,5	3012,74	659,5
26	Passo dei Salati - Indren	Funivia	2961,8	3275	1569	313,2
24A	Colletesand 1	Tapis roulant	1634	1644	81	10
24B	Colletesand 2	Tapis roulant	1824	1831	60	7

Tab. 2.2: Riepilogo delle piste presenti in sinistra orografica. La dicitura SW si riferisce alle piste di rientro mentre il colore si riferisce alla difficoltà della pista.

N.	Pista	Lunghezza [m]
G2	Orsia	748
G3	Jolanda	3377
G4	Jolanda 1	1173
G5	Alpe Ricka	2672
G6	Moos	3055
G7	Salati	4684
G8	Salati 1	1004
G9	Castore	1952
G10	Chamois – SW	1290
G11	Collegamento Gabiet – SW	704
G12	Collegamento Ricka – SW	460
G13	Seehorn (border cross)	1300
G14	Salati 2 – SW	373
G15	Orsia – SW	513

MACROAREA 2

La seconda macroarea si sviluppa in destra orografica del torrente Lys, dai 1800 m di Stafal ai 2730 m del Colle Bettaforca (dislivello di 930 m), che permette lo scollinamento verso la Valle d'Ayas. Sono presenti 6 piste (1 blu, 4 rosse e 1 nera) dislocate su 19.4 km di piste, con un'area occupata di 26.8 ettari, servite da 3 impianti di risalita. In questa zona, e precisamente in località Sitten, è presente un bacino di raccolta artificiale delle acque superficiali e sorgive, di 900 m³.

Nelle Tabelle 2.3 e 2.4 è riportato il riepilogo degli impianti di risalita e delle piste presenti nella macroarea 2.

Tab. 2.3: Riepilogo degli impianti di risalita presenti in destra orografica, macroarea 2.

N.	Impianto	Tipo	Partenza [m]	Arrivo [m]	Lunghezza [m]	Dislivello [m]
17	S.Anna - Colle Betta	Seggiovia	2175,47	2727	2346,4	551,53
18	Stafal – Sant'Anna	Funivia	1829	2182	744,10	353
19	Tapis Roulant Stafal	Tapis roulant	1824	1831	60	7

Tab. 2.4: Riepilogo delle piste presenti in destra orografica. La dicitura SW si riferisce alle piste di rientro mentre il colore si riferisce alla difficoltà della pista.

N.	Pista	Lunghezza [m]
B1	Pistone Betta	5507
B2	Betta 1	1481
B3	Nera	454
B5	Delle Marmotte – SW	2296
B6	Diretta Stafal	765
B7	Baby Snow Park Stafal	58

MACROAREA 3

La terza macroarea si riferisce al tratto che dal Colle Bettaforca scende, lungo la pista Forca (C14), e si collega, grazie alla pista (C13), al resto del comprensorio di Champoluc, in sinistra orografica del torrente Evançon in Val d'Ayas, con un dislivello di 400 m. Due sono le piste comprese nella

macroarea (rosse) e un solo impianto di risalita, per un'area totale di 9.2 ettari e 6.1 km di piste. Nelle Tabelle 2.5 e 2.6 è riportato il riepilogo degli impianti di risalita e delle piste presenti nella macroarea.

Tab. 2.5: Riepilogo degli impianti di risalita presenti nella macroarea 3.

N.	Impianto	Tipo	Partenza [m]	Arrivo [m]	Lunghezza [m]	Dislivello [m]
16	Bettaforca	Seggiovvia	2297,20	2704,5	1591,83	407,3

Tab. 2.6: riepilogo delle piste presenti nella macroarea 3. La dicitura SW si riferisce alle piste di rientro mentre il colore si riferisce alla difficoltà della pista.

N.	Pista	Lunghezza [m]
C13	Liaison	741
C14	Del Colle	2416

Struttura della rete idraulica per l'innevamento programmato

L'impianto di innevamento programmato ha subito parecchie variazioni nel corso del tempo, passando da una gestione interamente in bassa pressione, fino al 1998, ad una tipologia in alta pressione, che nel 2008 era pari al 37% dell'estensione delle piste e nel 2011 è salita al 70%. Pertanto anche la struttura fisica della rete ha subito notevoli variazioni per adattarsi alle nuove esigenze.

La peculiarità e la complessità della rete di adduzione dell'impianto di innevamento programmato di Gressoney La Trinité risiede nella molteplicità e nella diversità delle fonti di approvvigionamento idrico. Per l'alimentazione della rete l'acqua deriva, infatti, sia da adduzione dal reticolo idrografico (presa sul torrente Lys a Stafal), sia da bacini di raccolta delle acque superficiali e delle sorgenti (bacino di raccolta di Sitten, dell'Alpe Ricka e del Gabiet fino al 2008), sia da prelievo da condotta forzata (derivazione in località Jolanda sul collettore della condotta forzata in arrivo dal bacino artificiale del Gabiet gestito dalla Compagnia Valdostana delle Acque, C.V.A.).

La Figura 2.4 riporta la corografia della zona, in cui oltre all'area occupata dalle piste (alimentata sia in alta che in bassa pressione) sono visualizzate le stazioni meteorologiche prese in considerazione e le varie fonti di approvvigionamento del sistema. La base è data dalla carta tecnica regionale al 10'000.

Nell'Appendice A è riportata la descrizione dello sviluppo della rete per l'innevamento programmato, considerando l'evoluzione delle piste in ogni periodo caratteristico fino alla configurazione attuale.

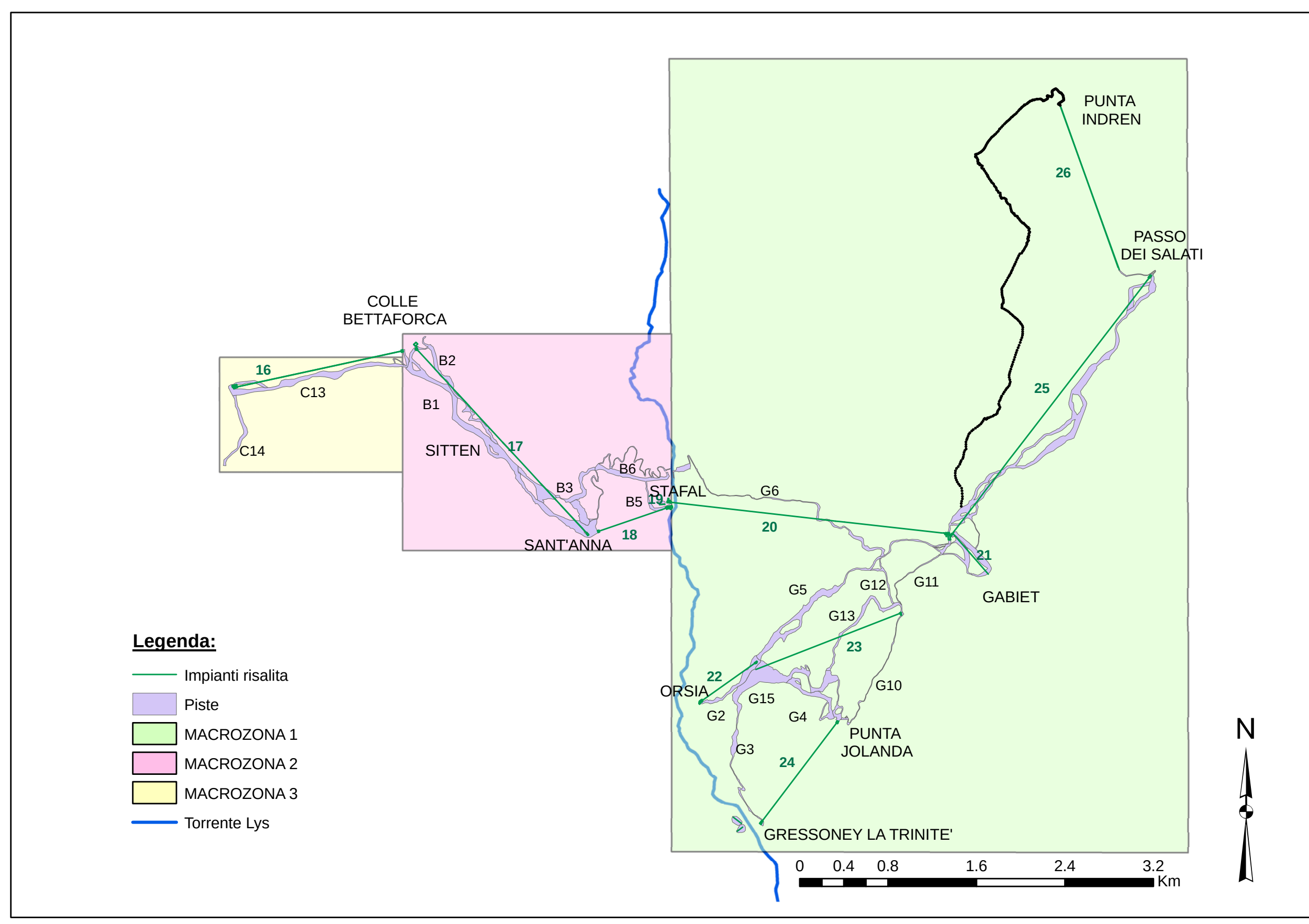


Fig. 2.3: Suddivisione dell'area oggetto dello studio in macroaree. Localizzazione degli impianti di risalita e delle piste.

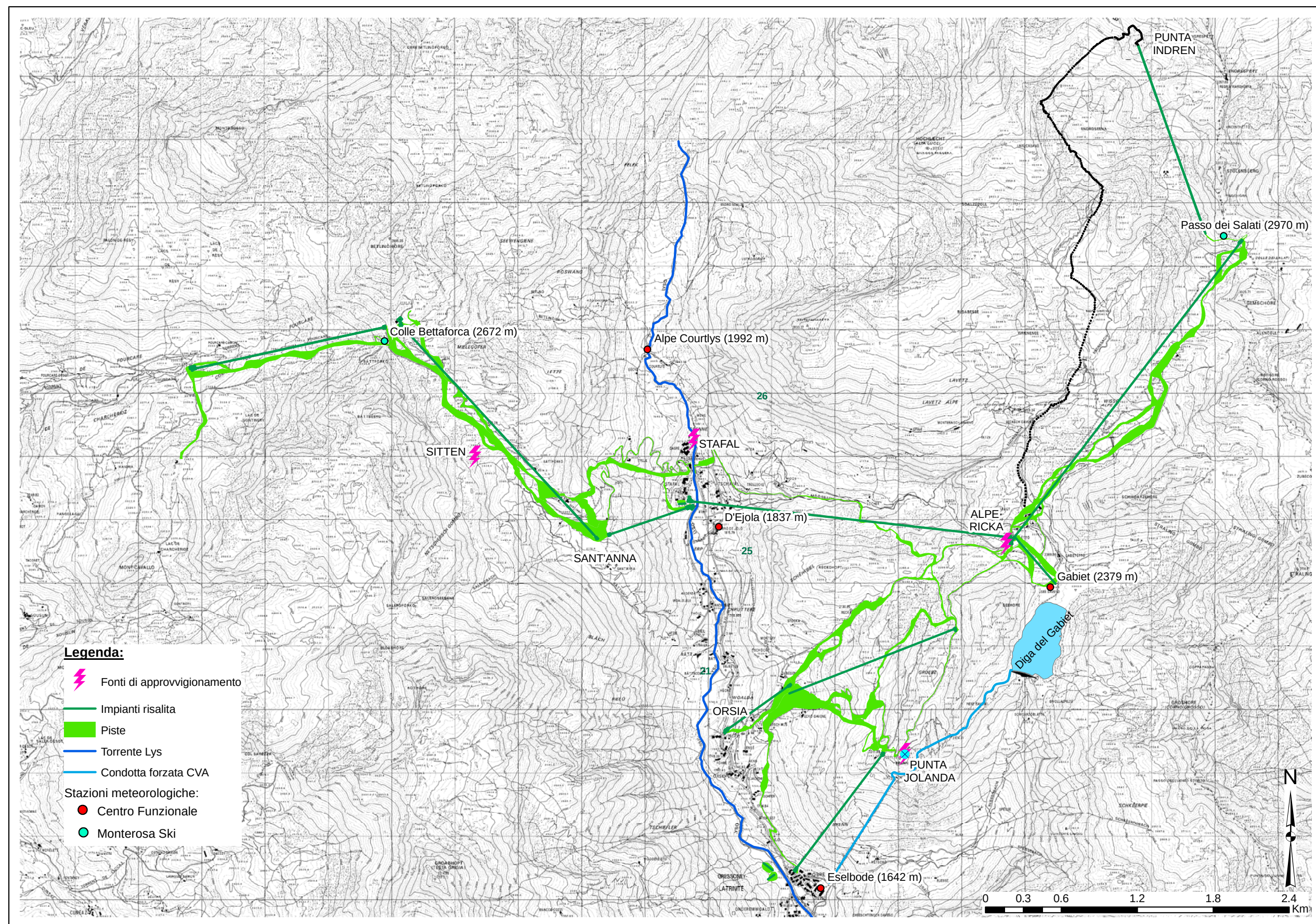


Fig. 2.4: Corografia della zona oggetto di studio

Dati di produzione

I dati di erogazione agli innevatori del circuito *ad alta pressione* sono stati reperiti presso la società francese Jonhson Controls Neige, fornitrice del software di gestione del sistema di innevamento della Monterosa Ski.

Lo storico dei dati disponibili comprende le stagioni 2006-2007, 2007-2008, 2008-2009, 2009-2010, 2010-2011. I dati relativi alle altre stagioni (dal 2001 anno di messa in funzione dei primi tratti del sistema di innevamento programmato in alta pressione) non sono invece disponibili. La descrizione generale delle consistenze di dati è riportata in Tabella 2.7.

Tab. 2.7: Descrizione della disponibilità dei dati di produzione per l'impianto (ad alta pressione) di innevamento programmato.

Stagione	Data di inizio	Data di fine	N° di giorni con dati	N° di innevatori	Vol. erogato m ³
2006-2007	22/11/2006	25/03/2007	50	99	48937
2007-2008	06/11/2007	17/03/2008	51	99	59451
2008-2009	04/11/2008	08/04/2009	19*	99	17197*
2009-2010	03/11/2009	14/04/2010	82	186	226590
2010-2011	15/10/2010	28/04/2011	71	200	236415

* dato ritenuto non affidabile

I prelievi alle varie sorgenti (Torrente Lys, bacini di raccolta delle acque superficiali e presa sul collettore della CVA) per l'intero comprensorio di Gressoney La Trinité (ovvero sia per la rete a bassa che ad alta pressione) sono riportati in Figura 2.5, per le stagioni dal 1996-1997 ad oggi. I dati sono stati forniti dalla Monterosa Ski.

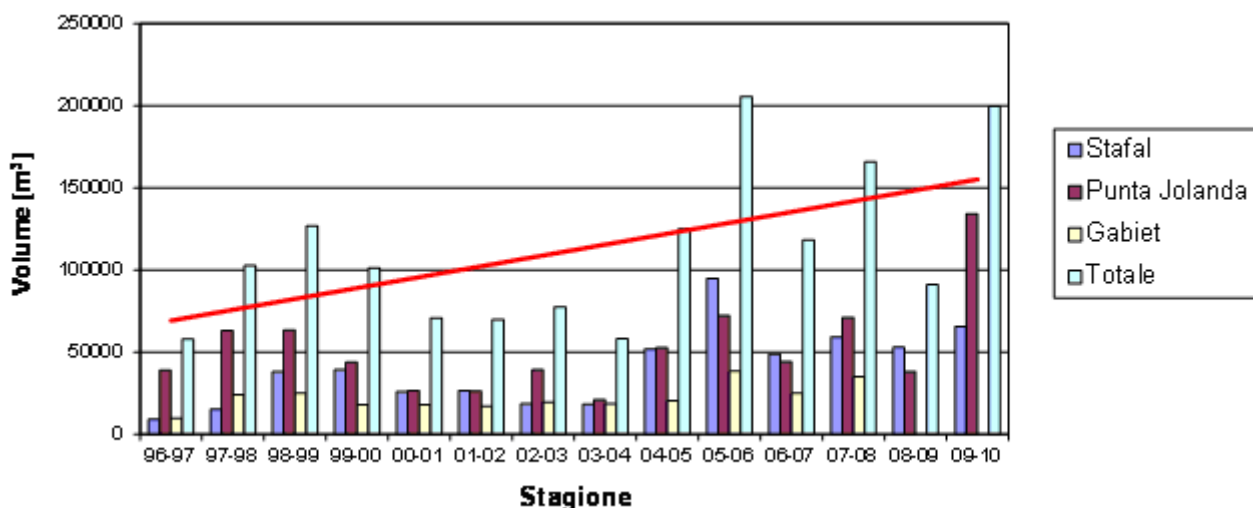


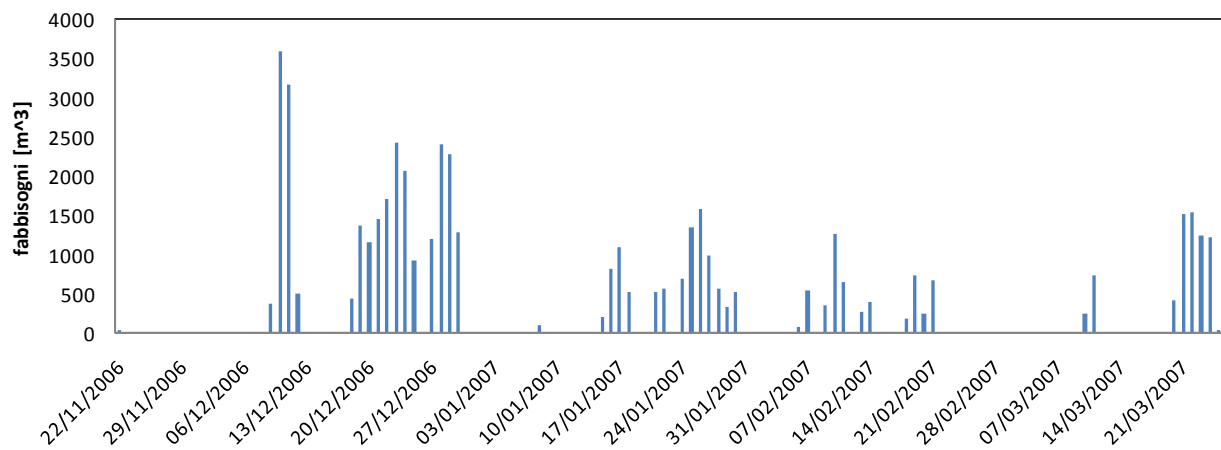
Fig. 2.5: Andamenti per presa e stagionali dei prelievi di acqua per il comprensorio di Gressoney La Trinité (ultima stagione mancante)

Si osserva che fra il dato relativo al dato totale ed il volume totale erogato riportato nell'ultima colonna della Tab. 2.7 vi possono essere delle differenze. Quando il dato in tabella è minore di quello nel grafico tali differenze sono da attribuire al fatto che i dati in tabella sono riferiti alla

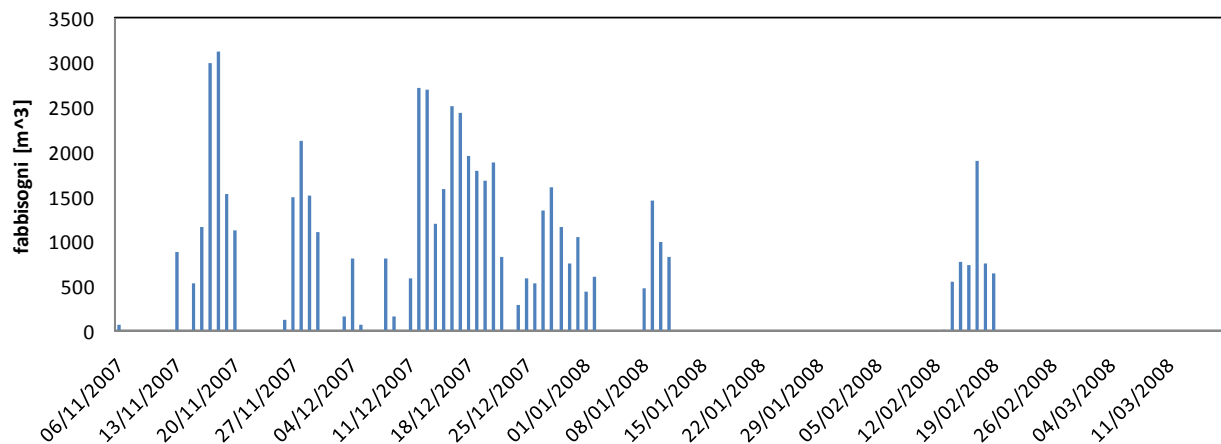
produzione della rete ad alta pressione mentre nel grafico sono riportati i prelievi globali (comprensivi della rete a bassa pressione). Quando invece, come nel caso delle stagioni più recenti, il dato in tabella risulta superiore, è possibile che la discrepanza sia dovuta all'accuratezza dei dati in tabella. In questi ultimi casi riteniamo che sia da considerare maggiormente affidabile il dato in tabella.

Le serie temporali dei volumi erogati per innevamento programmato dalla rete ad alta pressione del comprensorio di Gressoney La Trinitè dal 2006 ad oggi sono riportate nella Figura 2.6.

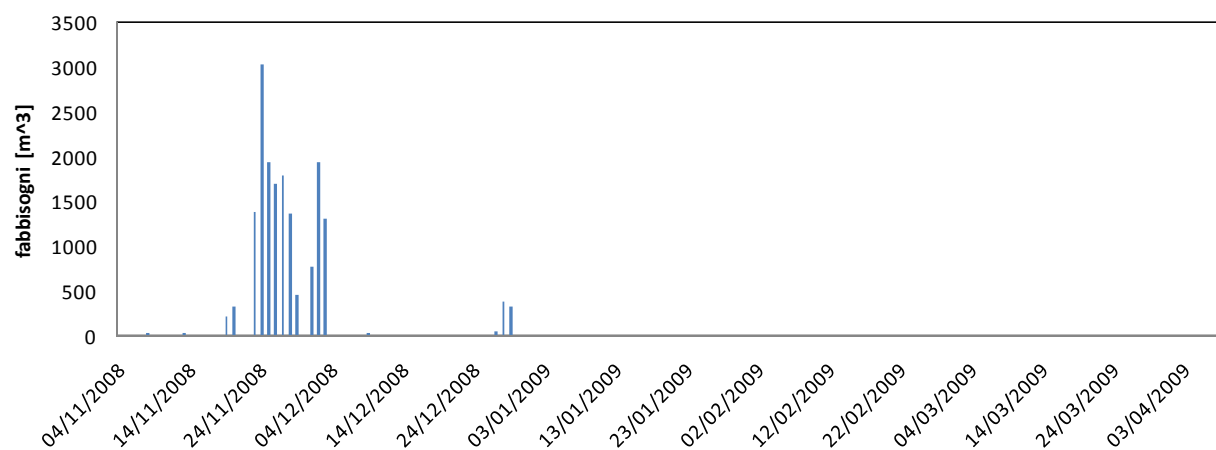
2006/07



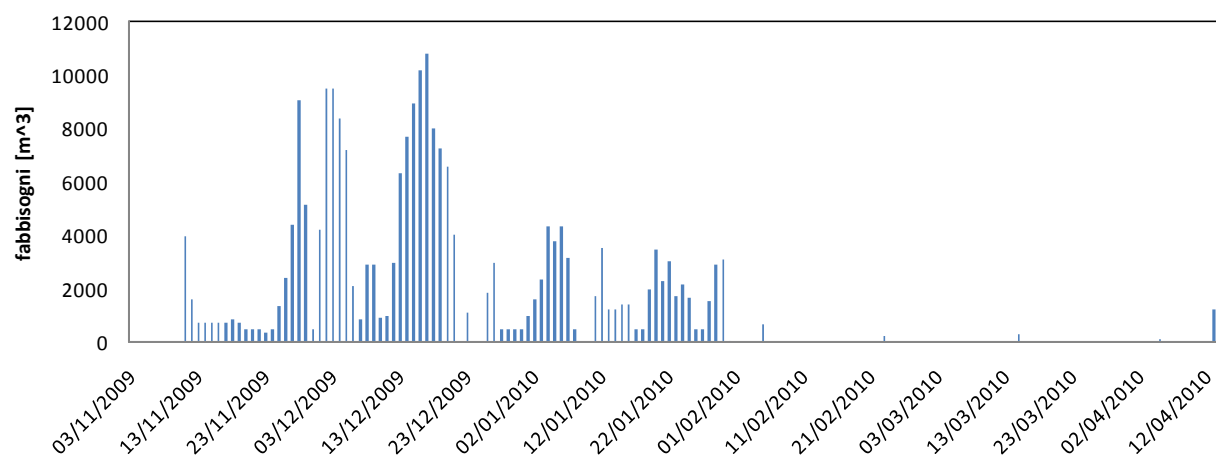
2007/08



2008/09



2009/10



2010/11

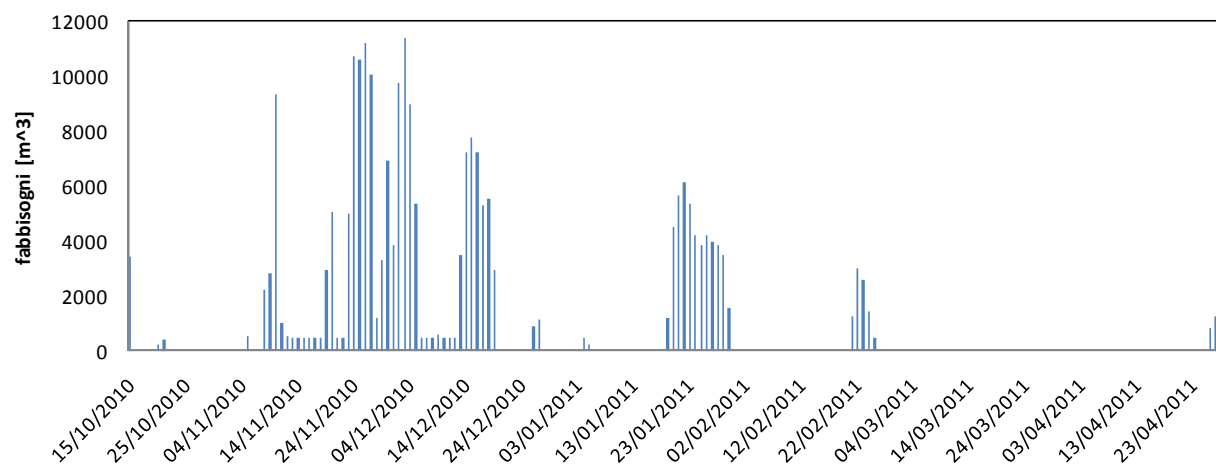


Fig. 2.6: Serie dei fabbisogni giornalieri per innevamento programmato dal 2006 al 2011

3. Dati idrometeorologici

I dati meteorologici utilizzati per la caratterizzazione idroclimatica dell'area di studio sono: temperatura dell'aria, precipitazione, umidità relativa, eliofania, radiazione solare, altezza neve, velocità e direzione del vento. Essi derivano da due differenti fonti:

- stazioni meteorologiche della rete regionale di monitoraggio idrometeorologico;
- sonde di temperatura dislocate lungo le piste da sci.

Stazioni meteorologiche

Le stazioni meteorologiche prese in considerazione nell'area di studio sono sette: cinque afferenti alla rete di monitoraggio idrometeorologico della Valle d'Aosta (Alpe Courtlys, D'Ejola, Gabiet, Eselbode, Bieltschocke e Weissmatten) e due di proprietà della Monterosa Ski, gestite dalla Digiteco s.r.l. (Colle Bettaforca e Passo dei Salati). La localizzazione delle stazioni sul territorio è riportata in Figura 3.1.

Tutte le stazioni considerate sono di tipo automatico, alcune installate nell'ultimo decennio in zone non precedentemente coperte da misurazioni (Alpe Courtlys, Bieltschocke, Weissmatten, Colle Bettaforca e Passo dei Salati), altre posizionate nei pressi delle stazioni storiche manuali, tutt'ora attive o dismesse con l'entrata in funzione di quelle automatiche (D'Ejola, Eselbode e Gabiet) e fanno parte del bacino idrografico del torrente Lys. Le caratteristiche principali delle stazioni e le relative strumentazioni presenti sono riportate in Tabella 3.1 mentre per una descrizione dettagliata si rimanda all'Appendice C.

La rete idrometeorologica è gestita dal Centro Funzionale di protezione civile della Valle d'Aosta. I dati forniti dal Centro Funzionale sono relativi a:

- temperatura media oraria, giornaliera e mensile [$^{\circ}\text{C}$];
- altezza di precipitazione media oraria, giornaliera e mensile [mm];
- livello neve cumulato orario, giornaliero e mensile [cm];
- umidità relativa oraria, giornaliera e mensile [%];
- insolazione oraria, giornaliera e mensile [min];
- radiazione solare oraria, giornaliera e mensile [W/m^2];
- velocità del vento oraria [m/s];
- direzione del vento oraria [$^{\circ}\text{N}$].

I dati giornalieri e mensili sono stati aggregati, a partire dai dati orari, dal Centro Funzionale considerando come soglia una copertura del dato del 90%. Ciò significa che il dato giornaliero viene considerato solo se è presente il 90% dei dati orari, così come viene presentato il dato mensile solo se è presente il 90% dei dati giornalieri.

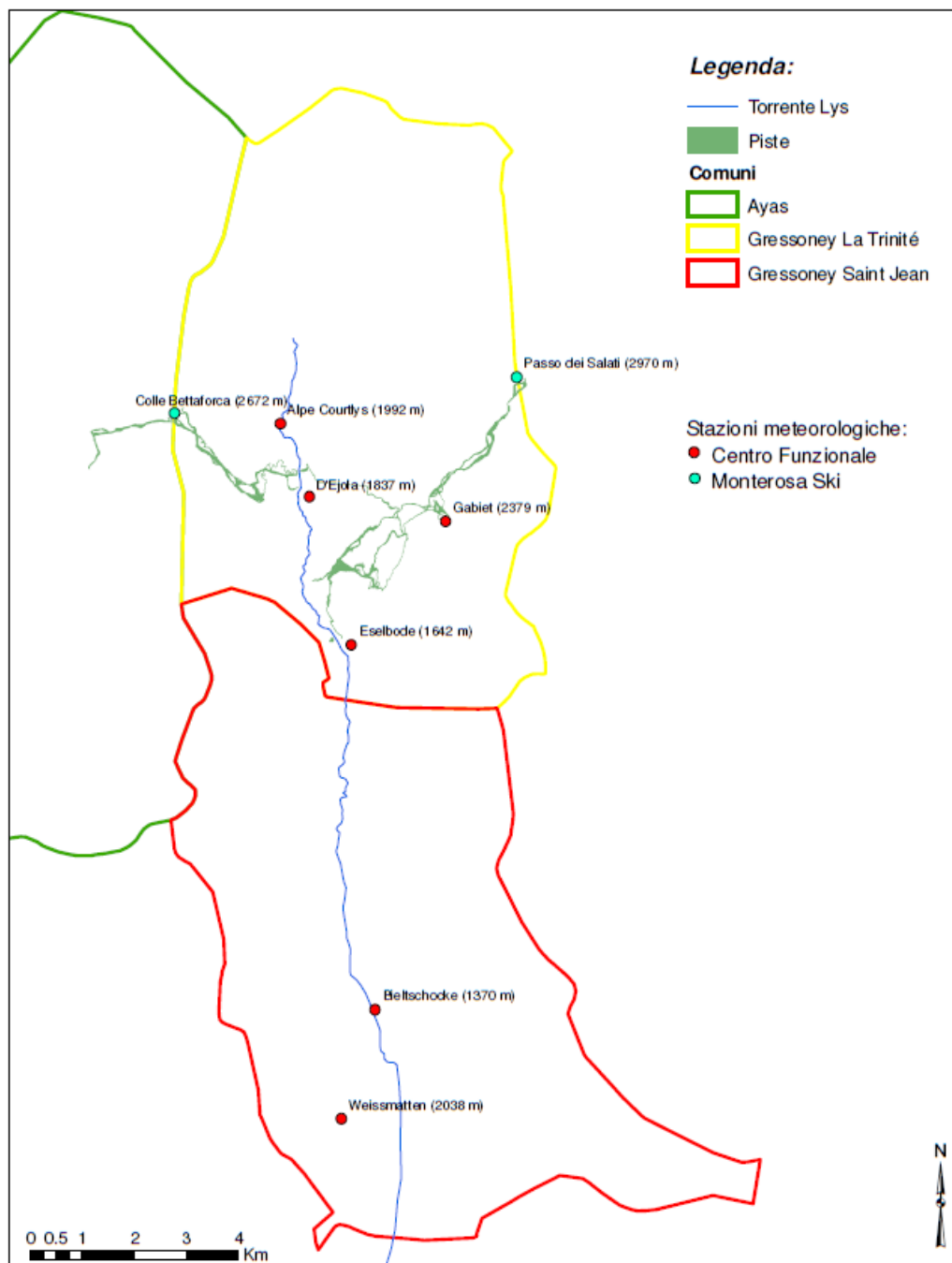


Fig. 3.1: localizzazione delle stazioni meteorologiche considerate

Tab. 3.1: Caratteristiche delle stazioni meteorologiche presenti nell'area di studio. Gli strumenti considerati sono: T termometro, P pluviometro, Pr pluviometro riscaldato, N nivometro, R radiometro, E eliofanometro, V anemometro e UR igrometro.

Stazione		Quota	UTM X	UTM Y	Inizio attività	SENSORE INSTALLATO							
						T	P	Pr	N	R	E	V	UR
Alpe Courtlys	Centro funzionale	1992	407521	5080341	2001	x	x						
D'Ejola	Centro funzionale	1837	408085	5078941	2002	x	x						x
Eselbode	Centro funzionale	1642	408890	5076090	2001	x		x	x				

Gabiet	Centro funzionale	2379	410705	5078465	2002	×	×		×				
Bieltshocke	Centro funzionale	1370	409345	5069066	2002	×		×	×	×	×	×	×
Colle Bettaforca	Monterosa Ski	2672	405497	5080541	2001	×						×	×
Passo dei Salati	Monterosa Ski	2970	412079	5081238	2001	×						×	×

Per quanto riguarda le stazioni del Monterosa Ski, Passo dei Salati e Colle Bettaforca, i dati rilevati sono:

- temperatura minima, media e massima oraria e giornaliera [°C];
- umidità relativa media oraria e giornaliera [%];
- velocità del vento media e massima [km/h].

Strumenti annessi all'impianto di innevamento

Oltre ai dati rilevati alle stazioni meteorologiche è stato possibile utilizzare anche i dati acquisiti dalle sonde annesse all'impianto di innevamento programmato, disponibili nel periodo di funzionamento dello stesso (mediamente da metà novembre a fine marzo). Lungo le piste sono disposte delle sonde di temperatura, una ogni 5-6 postazioni, posizionate nelle vicinanze del cannone (Fig. 3.2). Le parti di comprensorio gestite in bassa pressione non dispongono di serie di dati meteorologici.

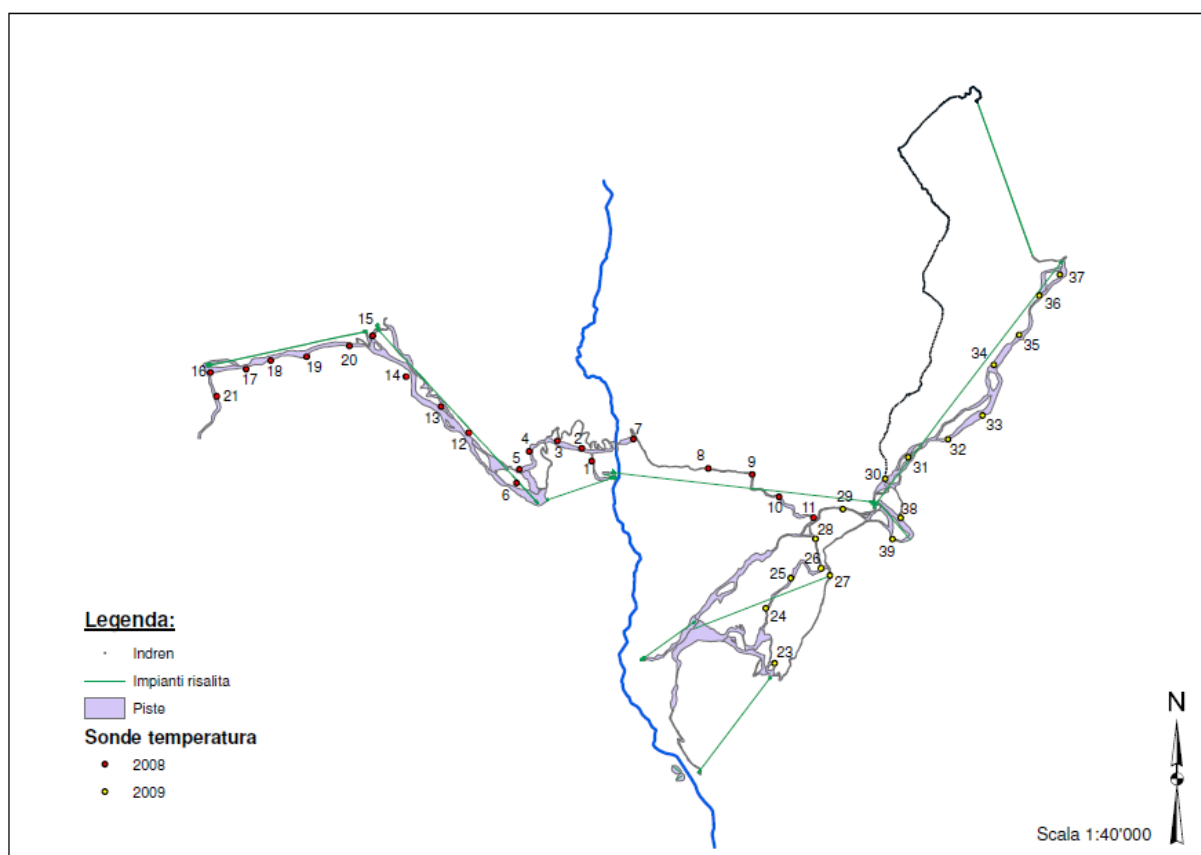


Fig. 3.2: Localizzazione delle sonde di temperatura all'interno del comprensorio.

Fino alla stagione 2007/2008 le sonde presenti erano 21, posizionate lungo le pista nelle macrozone 2 e 3. Con l'estensione dell'impianto avvenuta nel 2008 si sono aggiunte anche le sonde in sinistra orografica (macrozona 1) raggiungendo un numero di 48, di cui 10 afferenti alla rete in bassa pressione e perciò non prese in considerazione.

Dati idrometrici

L'unica sezione di misura delle portate utile ai fini dello studio è situata a D'Ejola, a 1840 m s.l.m. La stazione, che ha funzionato negli anni compresi tra il 1932 ed il 1950 (con un'interruzione tra il 1943 ed il 1948), sottende un bacino di 30.4 km², provvisto di aree glaciali estese e pari al 50% circa della sua superficie. I dati relativi a questa stazione sono stati reperiti sulla Pubblicazione Speciale N17 del Ministero LL.PP. (1939-1970). In Tabella 3.2 è riportato il regime medio delle portate mensili (e le deviazioni standard) per la suddetta stazione.

Tab. 3.2: Portate medie mensili e relative deviazioni standard per la stazione idrometrica Lys a D'Ejola

	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago
medie	2.78	1.19	0.39	0.21	0.14	0.13	0.16	0.45	1.40	3.72	4.78	4.55
dev. st.	0.97	0.43	0.17	0.09	0.06	0.07	0.09	0.21	0.67	1.05	0.85	1.27

Le caratteristiche salienti della stazione e del bacino sono riportate nell'Appendice C di questa relazione.

Sullo stesso corso d'acqua sarebbero anche disponibili i dati relativi alla stazione idrometrica sul Lys a Gressoney St Jean, Questi però non sono stati presi in considerazione poiché il bacino sotteso non è stato ritenuto rappresentativo per il comprensorio di Gressoney La Trinité.

4. Il modello di accumulo e scioglimento della neve

Per effettuare le valutazioni relative alla domanda idrica del sistema di innevamento si è realizzato un modello matematico su base GIS. Il modello riproduce le dinamiche di accumulo e scioglimento del manto nevoso naturale ed artificiale, ricevendo in ingresso mappe giornaliere di precipitazione e di temperatura. Alle forzanti meteorologiche naturali il modello sovrappone i volumi di innevamento programmato, misurati o simulati secondo criteri di produzione stabiliti (e ripetibili). L'automatizzazione delle strategie di innevamento consente di simulare i relativi fabbisogni idrici in tutti gli anni per cui si hanno a disposizione dati giornalieri di precipitazione (solida e liquida) e temperatura. La struttura del modello è descritta nel seguito.

Modello digitale del terreno

Il modello matematico descritto nel seguito ha carattere distribuito, ovvero si appoggia su una discretizzazione del territorio a maglia quadrata. Il dettaglio spaziale è mutuato dalla risoluzione del modello digitale del terreno fornito dalla Regione Valle d'Aosta. Tale modello, caratterizzato da una accuratezza elevata, discretizza il territorio regionale secondo una rete a maglie quadrate di lato 10 m.

Precipitazione

La precipitazione, intesa come altezza di precipitazione liquida e/o solida, costituisce un dato fondamentale per il modello. Il dettaglio temporale richiesto è quello giornaliero, sia per mantenere la compatibilità con le serie storiche, sia perché la scala giornaliera consente una buona accuratezza di rappresentazione per finalità per le quali la scala di interesse sia quella stagionale. Il dettaglio spaziale del modello è quello del modello digitale del terreno, ovvero il dato è elaborato come precipitazione giornaliera riferita a celle quadrate di lato 10 m. Nella pratica, il modello elabora mappe giornaliere di precipitazione derivanti dall'interpolazione del dato di precipitazione liquida misurata dai pluviometri disponibili nella regione di interesse (Gabiet, D'Ejola, Eselbode e Alpe Courtlys) e mappe di spessore di neve fresca rilevato nelle stazioni Gabiet ed Eselbode. Quest'ultimo dato è ottenuto come incremento giornaliero di spessore di neve al suolo, sotto le ipotesi che i) la neve possa essere considerata "fresca" entro 24 ore dalla sua deposizione (trascurando dunque i fenomeni di compattazione, scioglimento e metamorfismo infra-giornalieri); e ii) l'azione di redistribuzione del vento possa essere mediamente trascurata a scala di bacino (ovvero che lo spostamento dei volumi di neve per azione eolica abbia effetti trascurabili). Nella pratica, i passi che consentono la definizione della mappa di precipitazione giornaliera a partire dalle misure puntuali sono:

1. l'interpolazione spaziale, secondo il metodo della distanza inversa pesata, del dato di precipitazione liquida osservata;

2. l'interpolazione, secondo il medesimo algoritmo, del dato di equivalente liquido dello spessore di neve fresca giornaliero. Si assume un valore di densità di neve fresca costante e pari a 120 kg/m^3 (p.es. Judson and Doesken, 2000);
3. l'attribuzione a ciascuna cella di un unico valore di precipitazione equivalente (indicata nel seguito con la sigla PREC) scegliendo il massimo tra i due possibili valori di cella derivati, rispettivamente, ai passi 1 e 2. Si assume che possano essere assimilati a pioggia liquida i fenomeni di pioggia mista a neve e di pioggia su neve.

In Fig. 4.1 sono riportate, a titolo di esempio, le mappe della precipitazione liquida (grafico a sinistra) e dell'equivalente liquido della neve fresca (grafico a destra) per un dato giorno. Le scale cromatiche riportate in basso sono espresse in millimetri e sono riferite alle altezze di precipitazione (equivalente) nel caso nevoso. Nel caso specifico di Fig. 4.1, poiché l'interpolazione dei dati pluviometrici produce valori di entità inferiore a quelli ottenuti dai dati nivometrici, la precipitazione giornaliera sarà tutta attribuita all'evento nevoso.

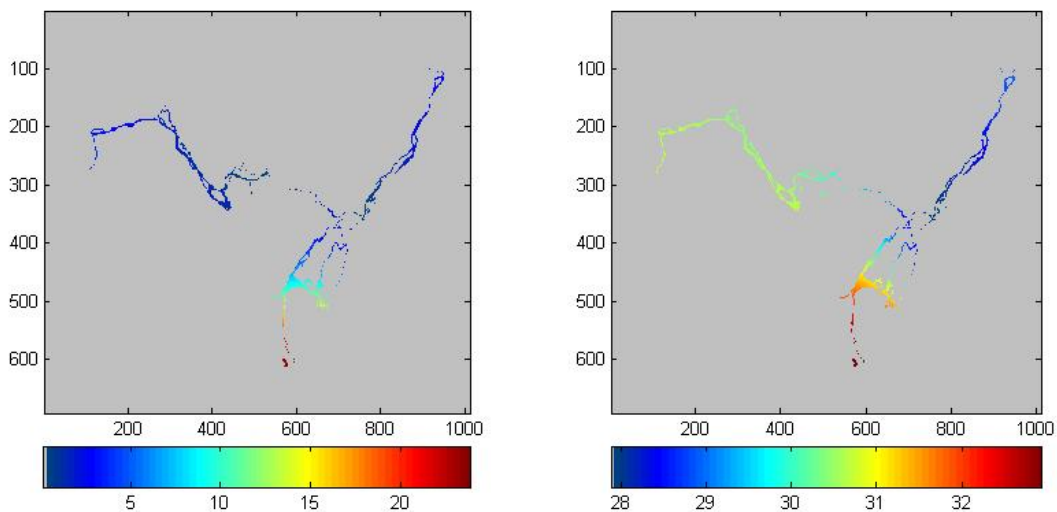


Fig. 4.1: Esempio di mappe della precipitazione liquida [mm] (grafico a sinistra) e dell'equivalente liquido della neve fresca [mm] (grafico a destra) calcolate il 25 marzo 2007. La scala di colori è riferita ai valori espressi in mm.

La definizione, cella per cella, dello stato (solido o liquido) della precipitazione si basa sulla combinazione della mappa della precipitazione con la mappa dello zero termico di ogni giorno considerato. La derivazione di quest'ultima mappa, descritta nel prossimo paragrafo, attiene alla partizione del comprensorio in due zone: una posta al di sotto della quota di zero termico (ovvero avente temperature medie $> 0^\circ\text{C}$) e una posta al di sopra della quota di zero termico (con temperature $\leq 0^\circ\text{C}$). La precipitazione è considerata nevosa in tutte le celle poste al di sotto della quota di zero termico, mentre essa sarà liquida nelle restanti celle dell'area considerata.

Temperatura

Il dato di temperatura media giornaliera (TEMP) viene impiegato nel modello per discernere, a scala di cella, tra precipitazione liquida e solida. Inoltre, la temperatura influisce sui processi di scioglimento e di accumulo del manto nevoso naturale e artificiale.

La variabilità della temperatura è ottenuta, in analogia con il caso della precipitazione, interpolando i valori delle misure puntuali di temperatura (media giornaliera) pesando i valori puntuali con l'inverso della distanza. Il numero di termometri presenti nella zona ammonta a sei: alle quattro stazioni già dotate di pluviometro, si aggiungono i termometri al Colle Bettaforca e al Passo dei Salati. L'interpolazione è fatta senza considerare la dipendenza della temperatura dalla quota, ovvero senza impiegare un gradiente termico nella distribuzione del dato termometrico. Solo nel caso in cui il dato di temperatura sia mancante il gradiente termico è assunto pari a $6.5^{\circ}/1000$ m. Questo modo di procedere si basa sulla considerazione che, in diversi giorni dell'anno, il gradiente termico giornaliero è soggetto a variazioni anche cospicue, tipiche nelle zone ad elevata complessità morfologica come le valli alpine. Un esempio è riportato in Figura 4.2, in cui la scala cromatica (riportata in basso) si riferisce ai valori di temperatura espressi in gradi centigradi. Sebbene non sia stato introdotto nessun gradiente termico, si osserva una marcata dipendenza delle temperature dalla quota. La distribuzione delle stazioni di misura appare quindi adeguata a descrivere la variabilità termometrica all'interno della regione di interesse.

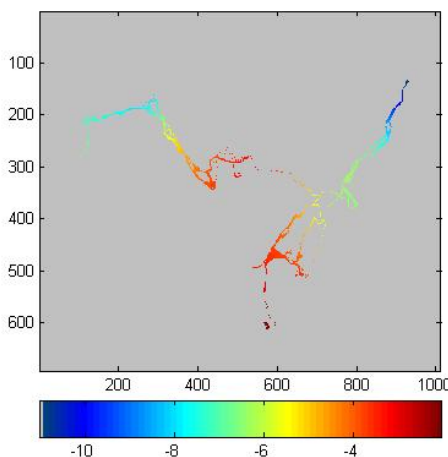


Fig. 4.2: Esempio di mappa delle temperature (25 marzo 2007) riferita alla zona occupata dalle piste. La scala di colori è espressa in gradi centigradi [$^{\circ}\text{C}$].

Radiazione solare

La radiazione solare interviene come fattore amplificante dello scioglimento nelle zone di pista molto esposte. In analogia con quanto riportato in letteratura (p. es. Cazorzi e Dalla Fontana, 1996; Pellicciotti et al., 2005) il modello ricostruisce in ciascuna cella il valore di radiazione giornaliera partendo dal valore potenziale (funzione esclusivamente della data e della latitudine) e poi attenuandolo in base all'ombreggiamento della cella od eventualmente amplificandolo di una quantità proporzionale alla radiazione diffusa. L'attenuazione dovuta alla posizione di una

24

determinata cella è computata tramite opportune relazioni geometriche per la proiezione delle ombre. Il modulo per il calcolo della radiazione è applicato ad una porzione di territorio più ampia della zona occupata dalle sole piste, al fine di descrivere gli effetti della proiezione dei coni d'ombra delle vette e dei versanti. Il calcolo è fatto integrando le mappe orarie di radiazione alla scala del giorno. Un esempio è riportata in Figura 4.3.

La nuvolosità, che pure costituisce un importante fattore di attenuazione della radiazione, non viene considerata per mancanza di dati storici. Ne risultano valutazioni a vantaggio di sicurezza (ai fini della permanenza del manto).

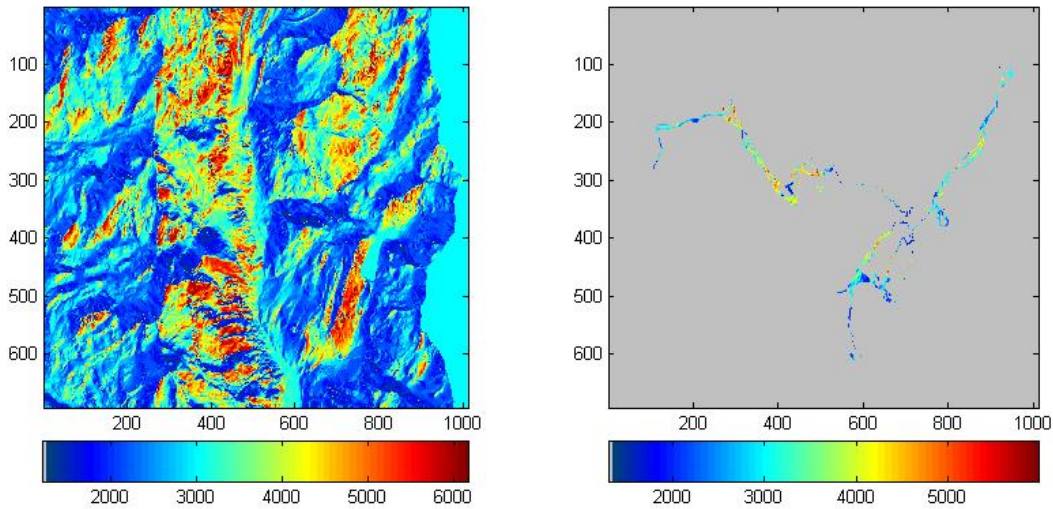


Fig. 4.3: Esempio di mappa della radiazione (25 marzo 2007) riferita a tutta l'alta valle (sinistra) ed alla sola zona occupata dalle piste (destra). La scala di colori è riferita ai valori espressi in W/m^2

Il modulo di accumulo e scioglimento

L'evoluzione giornaliera della quantità di neve (SNOW, espressa in mm equivalenti) viene concettualizzata per mezzo di un modello che esemplifica le modalità di riempimento/svuotamento del serbatoio costituito dalla quantità di neve in ogni cella. Il serbatoio riceve in input la precipitazione giornaliera, espressa in mm equivalenti. Le perdite dal serbatoio, in termini di evaporazione/sublimazione e scioglimento, sono espresse in funzione della temperatura media giornaliera e della radiazione totale nel giorno. Le equazioni che regolano il bilancio del serbatoio della generica cella i nel generico giorno t sono:

$$SNOW_i(t) = SNOW_i(t-1) + PNEG_i(t) - MELT_i(t) \quad (4.1)$$

dove $SNOW_i(t-1)$ è il livello [mm] del serbatoio neve nella cella i nel giorno precedente e $PNEG_i(t)$ è la precipitazione solida giornaliera [mm] ottenuta a partire dalla precipitazione giornaliera $PREC_i(t)$ come:

$$PNEG_i(t) = \begin{cases} 0 & \text{se } TEMP_i(t) > 0 \text{ } ^\circ C \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\text{PREC}_i(t) \quad \text{se } \text{TEMP}_i(t) \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lo scioglimento $\text{MELT}_i(t)$ relativo al giorno t è espresso come funzione quadratica della temperatura media giornaliera e lineare della radiazione totale giornaliera, secondo quanto suggerito in Bartolini et al. (2011):

$$\text{MELT}_i(t) = 0.35 \text{ DD}_i(t)^2 - 0.0006 \text{ RAD}_i(t) \quad (4.3)$$

La struttura del modello è mutuata dalla letteratura specifica (p.es. Hock, 2003; Pellicciotti et al., 2005). I coefficienti invece sono tarati localmente, come specificato nel seguito.

Il simbolo $\text{DD}_i(t)$ nella (3) indica i “gradi giorno” relativi al giorno t . Essi forniscono una misura della quantità di energia disponibile allo scioglimento nel giorno t . In particolare, per tenere conto dell’escursione termica intra-giornaliera, i gradi giorno sono definiti come

$$\text{DD}_i(t) = \begin{cases} 0 & \text{se } \text{TEMP}_i(t) < -2 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 0.25 & \text{se } \text{TEMP}_i(t) = -2 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 0.5 & \text{se } \text{TEMP}_i(t) = -1 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 0.75 & \text{se } \text{TEMP}_i(t) = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{TEMP}_i(t) & \text{se } \text{TEMP}_i(t) > 0 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases} \quad (4.4)$$

ovvero, la quantità di energia disponibile per lo scioglimento è assunta non nulla anche per temperature medie giornaliere leggermente inferiori allo zero. I gradi giorno così definiti, moltiplicati per un fattore di proporzionalità pari a 0.35, intervengono nel processo di scioglimento secondo una proporzionalità quadratica.

Il simbolo $\text{RAD}_i(t)$ indica invece la radiazione totale giornaliera espressa in W/m^2 . Anche la radiazione interviene nel processo di scioglimento del manto nevoso, amplificando l’effetto della temperatura tramite un coefficiente di proporzionalità pari a 0.0006 (nell’Eq. 4.3). Si ricorda che la radiazione giornaliera è sempre pari al valore potenziale massimo, ovvero non è attenuata per effetto della nuvolosità.

Taratura del modello di accumulo e scioglimento

I parametri del modello sottoposti a calibrazione sono:

- i due coefficienti e l’esponente della relazione (4.3);
- le soglie di temperatura ed i pesi della relazione (4.4).

Il modello viene calibrato in due punti del comprensorio: nella stazione di D’Ejola e nella stazione presso il lago Gabiet. Per queste due stazioni sono disponibili serie lunghe di precipitazione, temperatura e spessori di neve al suolo (dal 1913 ad oggi).

Il modello è stato applicato nei due punti, lasciando variare i parametri entro i rispettivi domini di esistenza. In particolare per ciascuna stagione è stato estratto come “punto di controllo” il giorno del completo esaurimento della copertura nevosa al suolo. La scelta del set ottimale di parametri è ricaduta sulla combinazione che minimizza lo scarto (espresso in giorni) tra l’istante di esaurimento effettivo della copertura nevosa e quello simulato.

In Figura 4.4 sono riportate, a titolo di esempio, le curve relative ad alcuni anni all'interno del periodo di calibrazione.

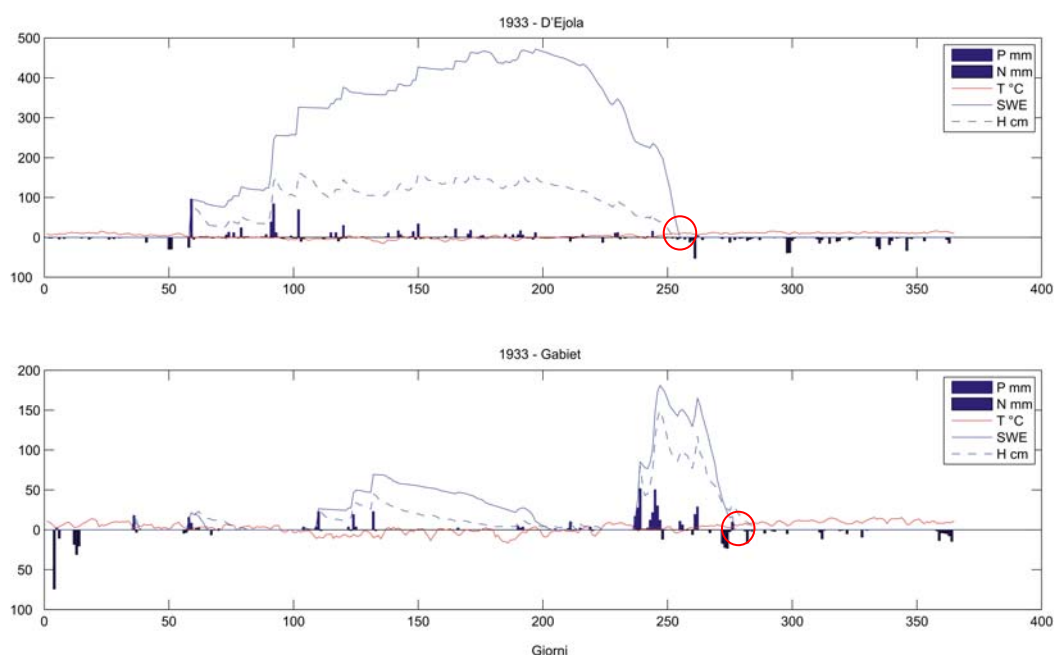


Fig. 4.4: Esempio relativo all'anno 1933, il riquadro in alto è riferito a D'Ejola, quello in basso a Gabiet. Gli spessori di neve osservati (H, cm) sono riportati in blu a tratteggio, gli Snow Water Equivalent simulati (in millimetri) in blu continuo, le temperature (T, °C) in rosso, le precipitazioni liquide e solide (P e N, mm) come barrette negative e positive rispettivamente. Il cerchietto rosso evidenzia la differenza tra l'istante di esaurimento osservato e simulato.

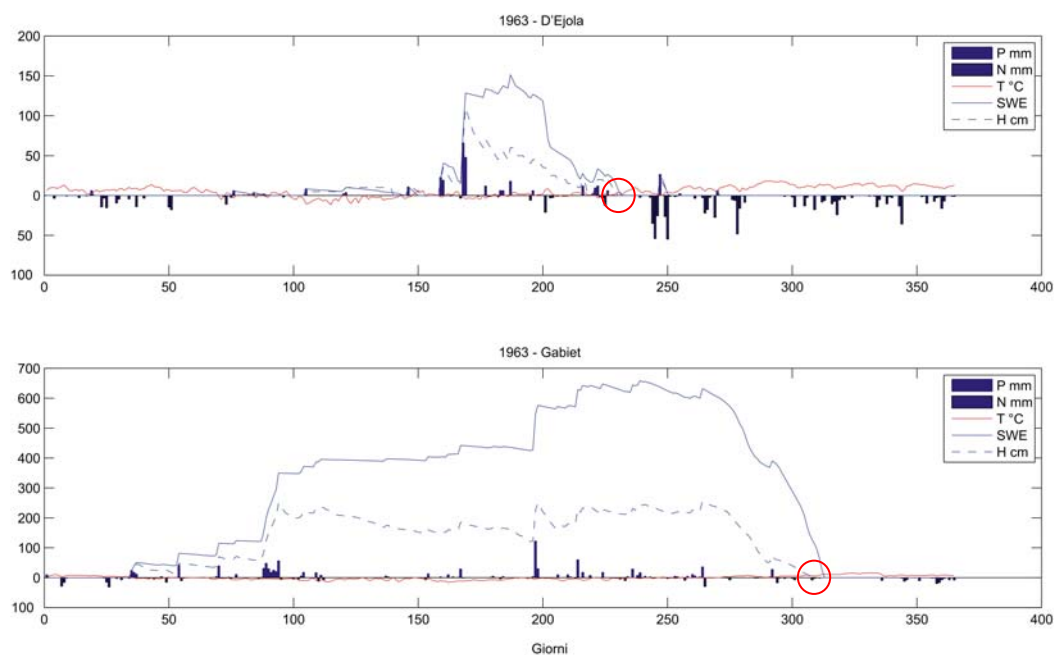
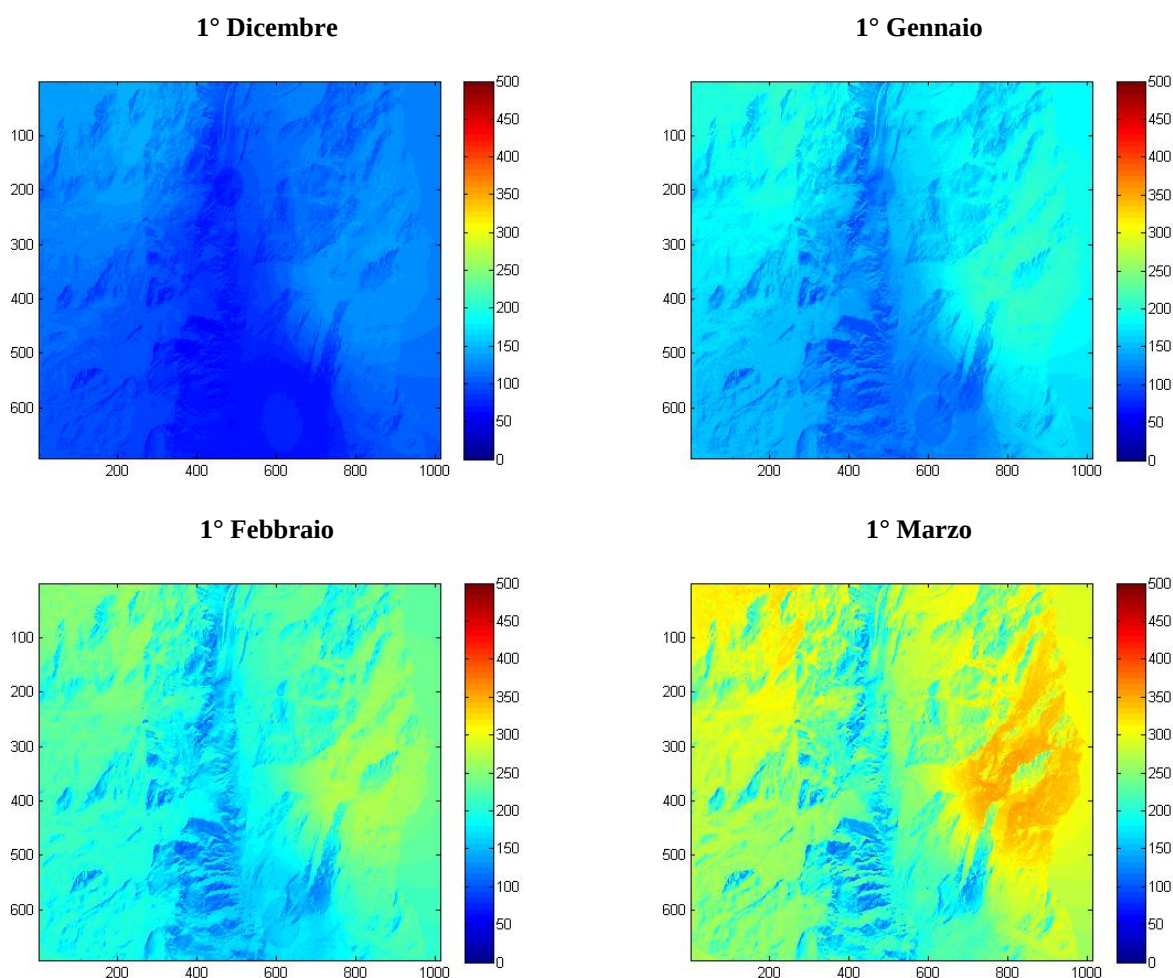


Fig. 4.5: Esempio relativo all'anno 1963, il riquadro in alto è riferito a D'Ejola, quello in basso a Gabiet. Gli spessori di neve osservati (H, cm) sono riportati in blu a tratteggio, gli Snow Water Equivalent simulati (in millimetri) in blu continuo, le temperature (T, °C) in rosso, le precipitazioni liquide e solide (P e N, mm) come barrette negative e positive rispettivamente. Il cerchietto rosso evidenzia la differenza tra l'istante di esaurimento osservato e simulato.

Sullo stesso grafico sono riportati: gli spessori di neve (in centimetri) con la linea tratteggiata blu, gli snow water equivalent simulati (in millimetri) con la linea continua blu, le temperature (in gradi) con la linea rossa, le precipitazioni liquide e solide (in millimetri) con le barrette negative e positive rispettivamente. Pertanto le curve non sono tra loro confrontabili in valore assoluto; l'unico punto di controllo è rappresentato dall'istante di esaurimento del manto nevoso. Gli istanti di esaurimento osservati e simulati sono evidenziati in Fig. 4.4 e 4.5 con il cerchietto rosso.

Il modello consente di produrre mappe giornaliere di spessori e snow water equivalent di neve al suolo con lo stesso dettaglio spaziale del DEM utilizzato (ovvero su maglia quadrata di 10 m di lato). In Fig. 4.6 sono riportate, a titolo di esempio, alcune mappe relative alla stagione 2009-10 (dicembre - maggio).



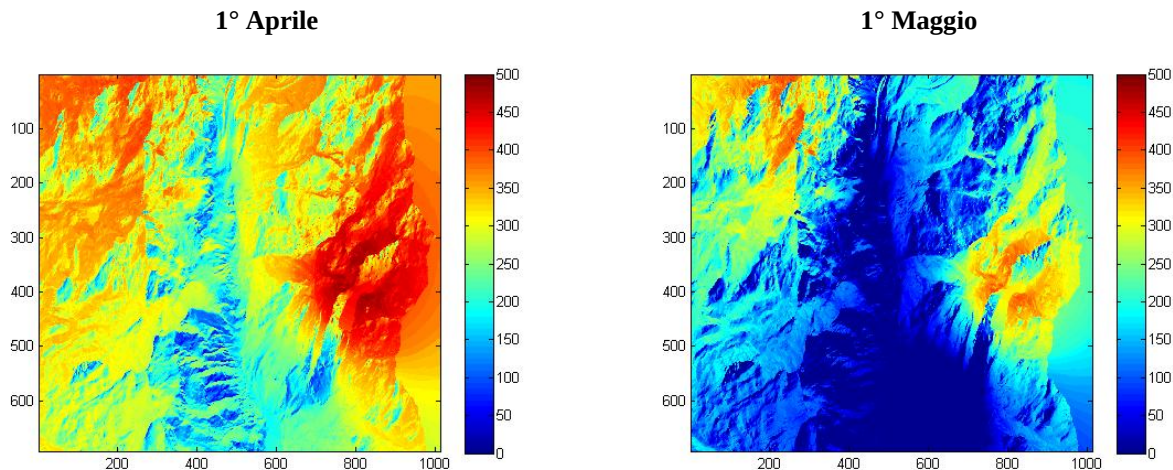


Fig. 4.6: Mappe di copertura nevosa naturale (espressa in mm equivalenti) nel primo giorno di ogni mese tra dicembre 2009 e maggio 2010.

Le mappe di Fig. 4.6 sono riferite ai soli apporti nevosi naturali, ovvero in assenza di innevamento programmato.

Il modulo di innevamento

Il modello di accumulo e scioglimento della neve naturale è stato integrato con un modulo che simula gli effetti delle regole gestionali adottate per l'innnevamento programmato. Tali regole sono state desunte dall'analisi delle serie dei volumi erogati nel comprensorio tra il 2006 ed il 2011 e sulla base delle informazioni fornite dal personale tecnico che si occupa della gestione delle piste. I criteri su cui si basa il modulo che simula l'innnevamento sono elencati nel seguito. In particolare il modello si basa sulle seguenti assunzioni:

- per il funzionamento della pista esiste uno spessore di neve ottimale al suolo (anche detto TARGET) tale per cui la condizione di fallanza di porzioni di pista possa essere identificata come quella in cui per una cella si abbia uno spessore di neve al suolo inferiore al TARGET;
- la neve artificiale è distribuita (e compattata) uniformemente su tutta l'estensione della pista e assume (istantaneamente) una densità di 400 kg/m^3 (vedi p.es., Steiger, 2010 o de Jong, 2011);
- la rete di innevamento, nella configurazione raggiunta nel corso della stagione invernale 2010/2011, è caratterizzata da un volume potenziale di innevamento erogabile giornaliero (BOUND) pari a 11000 m^3 ;
- il sistema degli erogatori può funzionare al massimo del suo potenziale solo se la temperatura media giornaliera è inferiore ai -2°C ; per temperature comprese tra i -2 e i 2°C il sistema può erogare al massimo il 66% del potenziale erogabile; per temperature comprese tra i 2 e i 5°C il massimo volume erogabile è pari al 33% di BOUND;

L'unico parametro del modello che è stato sottoposto a taratura è lo spessore TARGET (di cui al punto a). Per la taratura del valore di spessore ottimale il modello è stato utilizzato in ricostruzione nelle stagioni per le quali si disponeva delle erogazioni effettive. Il parametro TARGET ottimale è stato definito, per ciascuna stagione, andando a ricercare il valore che, a parità di tutti gli altri

parametri, rendesse minima la differenza tra i volumi effettivamente erogati nel corso della stagione ed il fabbisogno ricostruito dal modello.

I valori di spessore ottimale si sono rivelati nettamente diversi entro il periodo di osservazione, con differenze apparentemente riconducibili all'ampliamento della pista occorso nel 2008. In particolare si sono ottenuti valori di spessore ottimale dell'ordine dei 50 cm per le stagioni antecedenti i lavori di ampliamento. Il valore del parametro TARGET assume invece un valore di 80 cm per le stagioni invernali post-ampliamento.

A questo proposito è importante osservare che le regole di innevamento adottate dal modello non sono direttamente confrontabili con quelle adottate dai gestori delle piste. Le differenze sono da attribuirsi alla discrezionalità delle scelte che vengono fatte giorno per giorno dagli "snow makers", laddove il modello adotta regole rigide e sicuramente semplificate per la definizione dei volumi e degli istanti di innevamento. Tali differenze risultano evidenti qualora si pongano a confronto le serie delle erogazioni effettive e simulate (si veda la Fig. 4.7 a titolo di esempio).

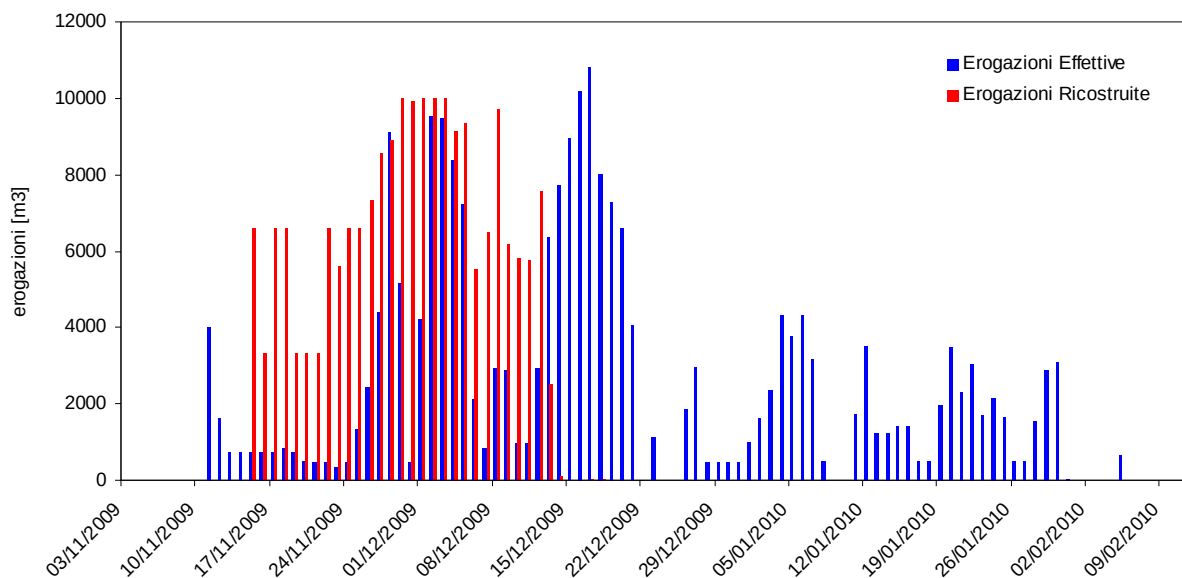


Fig. 4.7: Confronto tra le erogazioni simulate (rosso) ed effettive (blu) per la stagione 2009-2010

Tuttavia, al di là delle differenze nella distribuzione temporale delle erogazioni, le mappe di copertura risultante dalle erogazioni effettive (Fig. 4.8) e simulate (Fig. 4.9) appaiono sufficientemente simili, e tali da supportare le analisi ed i risultati che saranno presentati nel seguito della relazione. Si noti come le mappe siano analoghe a quelle presentate in Fig. 4.6 fatta salva l'area interessata dall'innevamento programmato.

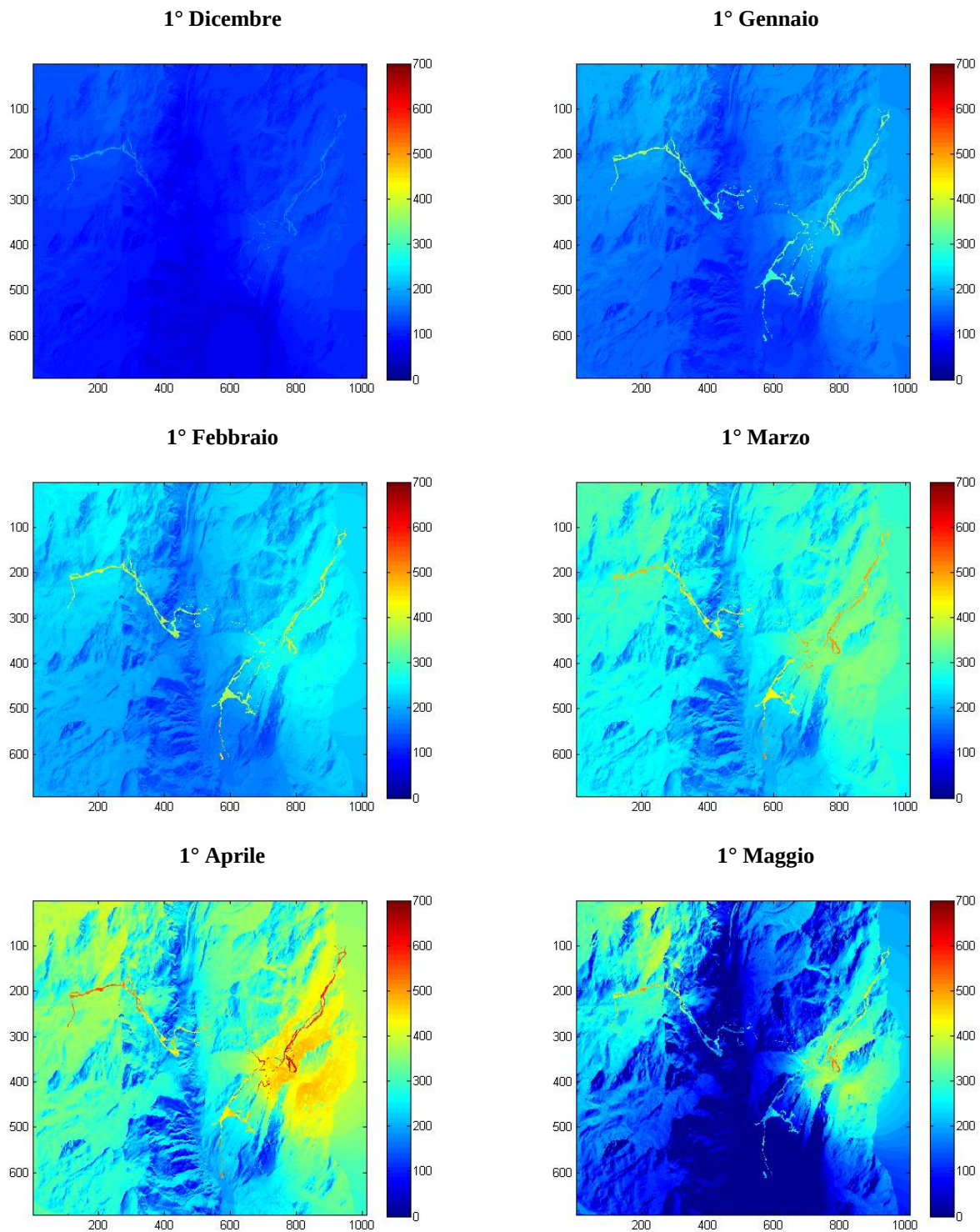


Fig. 4.8: Mappe di copertura nevosa naturale ed artificiale (espressa in mm equivalenti) nel primo giorno di ogni mese tra dicembre 2009 e maggio 2010 derivate dalle erogazioni effettive.

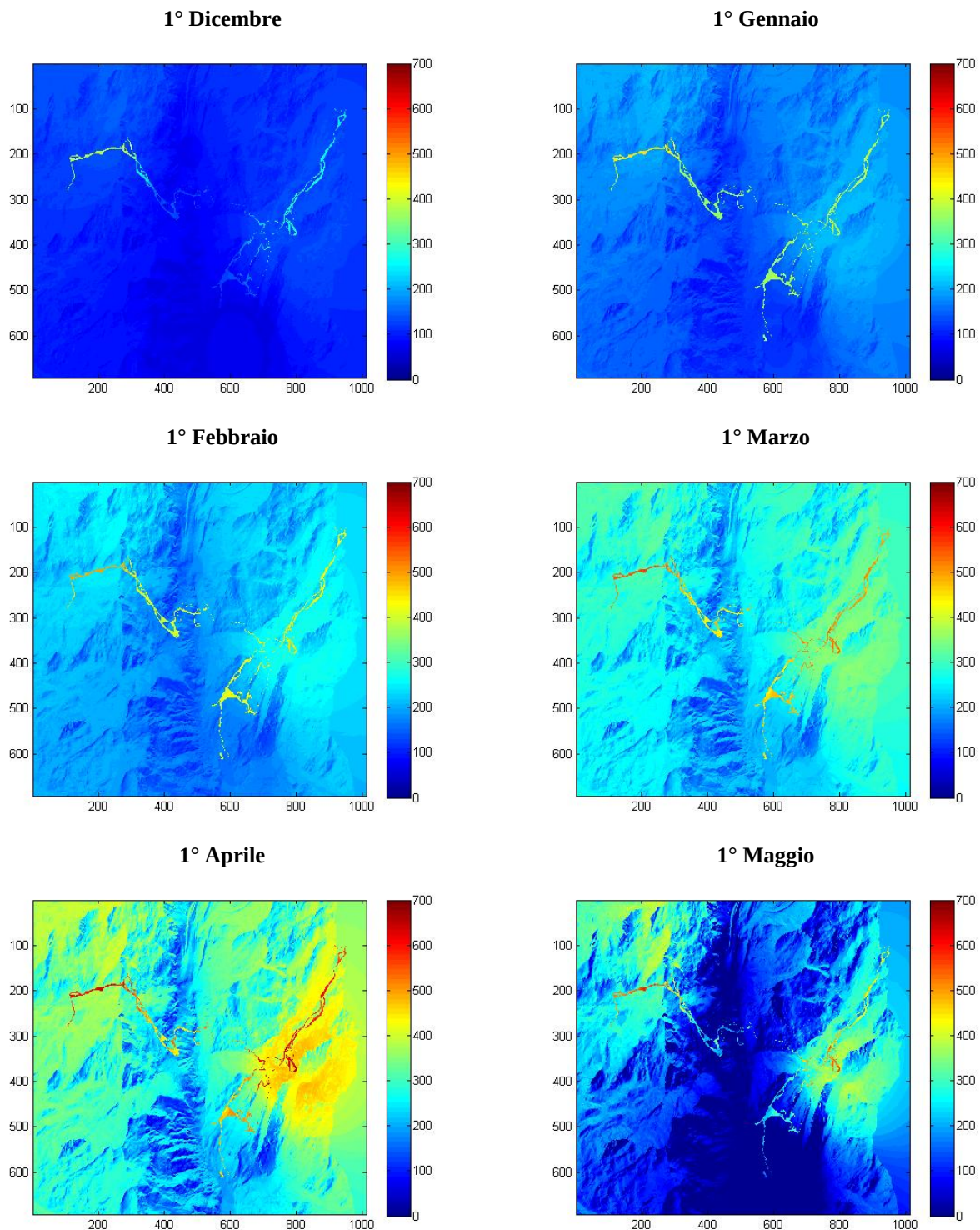


Fig. 4.9: Mappe di copertura nevosa naturale ed artificiale (espressa in mm equivalenti) nel primo giorno di ogni mese tra dicembre 2009 e maggio 2010 derivate dalle erogazioni simulate.

Un confronto analogo tra spessori di neve al suolo (cm) derivanti dalle erogazioni effettive e simulate è riportato in Fig. 4.10 per tre punti caratteristici della zona piste, posti rispettivamente alla quota massima, minima e media.

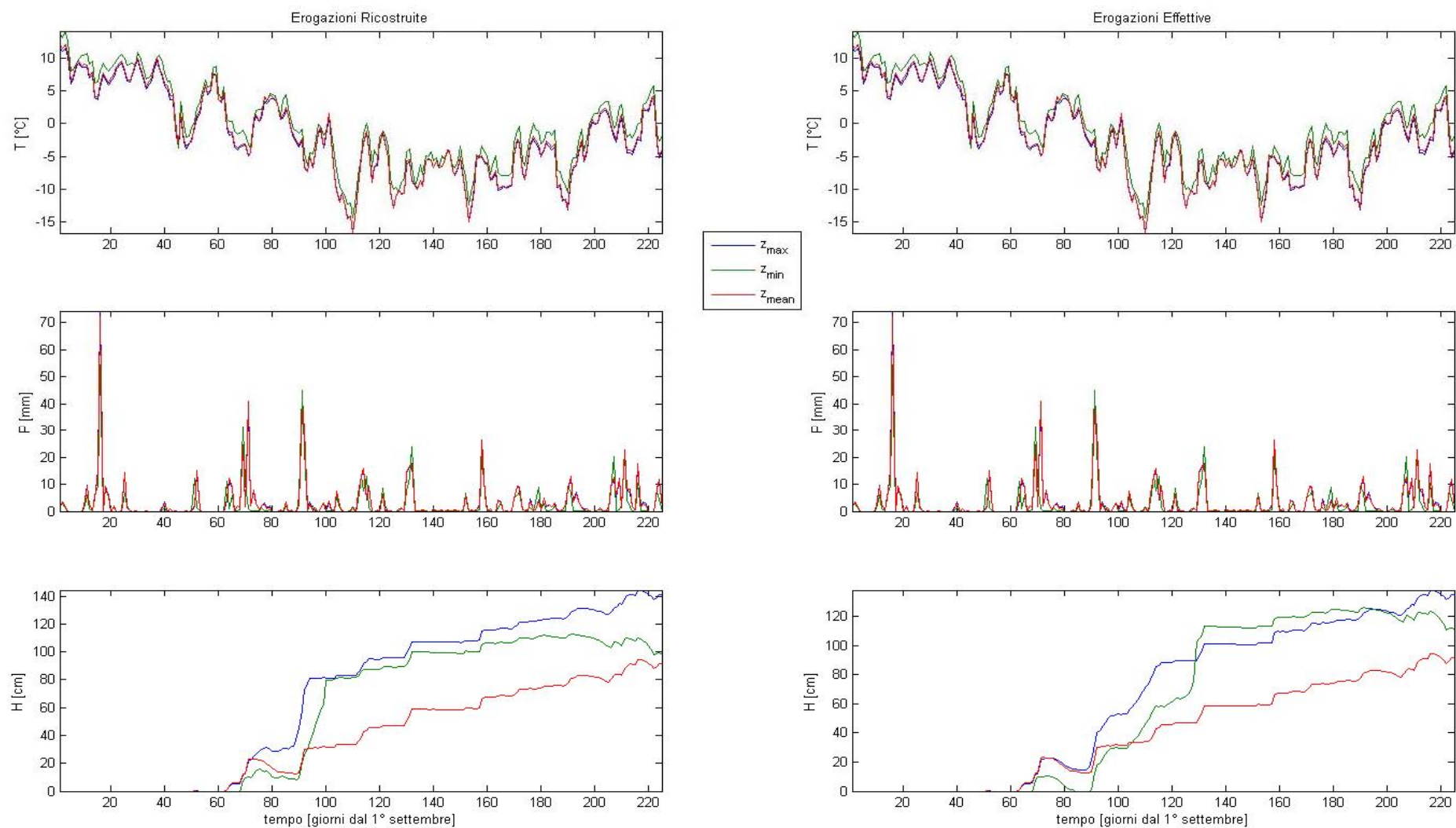


Fig. 4.10: 1/9/2009- 30/4/2010 - andamenti degli spessori di neve al suolo (grafici in basso a dx e sx) in un punto posto alla quota massima (blu), uno alla quota minima (verde) e uno alla quota media (rosso) ottenuti rispettivamente in base alle precipitazioni e temperature reali (uguali nei due casi) ed alle erogazioni ricostruite (sx) e simulate (dx).

Applicazione del modello a sequenze meteorologiche storiche

La serie dei fabbisogni idrici (per innevamento) relativa alle stagioni comprese tra l'inverno 1928/29 e l'inverno 2010/2011 è stata ottenuta applicando il modello descritto in questo capitolo su tutto il periodo di osservazione. Il modello è stato applicato a tutti gli anni per i quali vi fosse disponibilità di dati giornalieri di precipitazione, temperatura e spessori di neve (si vedano il Capitolo 3 e l'Appendice C per dettagli). La consistenza dei dati è risultata adeguata per l'applicazione negli anni compresi tra il 1928 ed il 2011 (con un'unica eccezione nell'anno 2002/03, per il quale l'applicazione non è stata possibile).

La parametrizzazione adottata è quella descritta nel capitolo precedente. Inoltre, affinché le ricostruzioni dei fabbisogni potessero essere confrontate fra loro, l'estensione delle piste è stata mantenuta costante e pari alla massima estensione raggiunta dal comprensorio di Gressoney la Trinitè nell'anno 2011 e il massimo volume erogabile è stato fissato pari a 11000 m³/giorno. Anche la durata della stagione di innevamento è stata mantenuta costante e pari al periodo compreso tra il 15 novembre ed il 15 aprile dell'anno successivo.

Il risultato dell'applicazione del modello consiste nelle serie mensili dei fabbisogni per innevamento (espressi in m³) riferita agli anni di osservazione (si vedano gli Allegati per dettagli). L'andamento medio mensile del fabbisogno presenta un massimo assoluto nel mese di novembre ed un massimo relativo tra marzo ed aprile, di poco antecedente la fine della stagione sciistica. Il massimo fabbisogno si ha in corrispondenza della stagione 1948/49, il minimo nel 1934/35. Le serie ricostruite dei fabbisogni per tutti gli anni sono riportate in Tabella 4.1.

Tab. 4.1: Valori mensili dei fabbisogni ricostruiti, espressi in m³, per gli anni dal 1928 al 2011. Nella prima colonna è riportato l'anno di inizio di ciascuna stagione invernale.

anni	volumi											
	set	ott	nov	dic	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago
1928	0	0	129740	51838	0	95	13145	20342	0	0	0	0
1929	0	0	133610	85278	0	0	0	0	0	0	0	0
1930	0	0	99271	144200	0	0	259	2623	0	0	0	0
1931	0	0	119530	73249	4239	153	115	809	0	0	0	0
1932	0	0	125950	104090	429	905	150	12347	0	0	0	0
1933	0	0	82247	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1934	0	0	50972	6804	316	447	1824	4387	0	0	0	0
1935	0	0	100390	2705	0	0	0	0	0	0	0	0
1936	0	0	146100	67042	718	197	0	187	0	0	0	0
1937	0	0	120850	63468	2762	57	3691	34270	0	0	0	0
1938	0	0	134260	96613	3550	5344	4304	6477	0	0	0	0
1939	0	0	120680	161440	116	4042	18521	6537	0	0	0	0
1940	0	0	134150	78010	0	0	0	226	0	0	0	0
1941	0	0	111370	82747	7311	3467	11479	22901	0	0	0	0
1942	0	0	104820	126200	2	1032	10875	28482	0	0	0	0
1943	0	0	154990	23054	3523	3354	5337	22549	0	0	0	0
1944	0	0	85361	5058	0	0	9670	14006	0	0	0	0
1945	0	0	101690	103390	106	0	0	0	0	0	0	0
1946	0	0	144520	100110	1	0	221	1356	0	0	0	0
1947	0	0	106300	120210	10569	1326	47930	44392	0	0	0	0
1948	0	0	80617	232890	13786	24853	35837	36410	0	0	0	0
1949	0	0	151700	42252	0	8	3574	12450	0	0	0	0
1950	0	0	130640	54475	1019	1083	1586	987	0	0	0	0
1951	0	0	97395	47326	634	603	24254	23354	0	0	0	0
1952	0	0	140210	39809	0	505	19485	25992	0	0	0	0
1953	0	0	87989	190180	22238	0	794	8263	0	0	0	0
1954	0	0	157850	70957	0	0	0	534	0	0	0	0
1955	0	0	143740	131910	1	0	2611	1220	0	0	0	0
1956	0	0	144390	106750	8509	8559	38698	28522	0	0	0	0
1957	0	0	97059	83159	19	8313	847	1457	0	0	0	0
1958	0	0	110900	69000	0	413	1890	10970	0	0	0	0
1959	0	0	119210	13946	314	460	884	1207	0	0	0	0
1960	0	0	109700	52802	3652	4213	26449	20862	0	0	0	0
1961	0	0	114880	23831	177	1036	79	282	0	0	0	0
1962	0	0	118110	16061	0	0	2	0	0	0	0	0
1963	0	0	134320	107430	4520	9275	1144	4633	0	0	0	0
1964	0	0	99718	167110	149	86	3965	32914	0	0	0	0
1965	0	0	159760	37208	874	3883	3995	7476	0	0	0	0
1966	0	0	149540	18834	6271	8262	17449	8675	0	0	0	0
1967	0	0	100860	204380	3086	46	7	5914	0	0	0	0
1968	0	0	87454	78220	3652	3461	4218	2272	0	0	0	0
1969	0	0	156260	89271	0	0	1	42	0	0	0	0
1970	0	0	115860	166240	0	0	0	8	0	0	0	0
1971	0	0	114540	10056	4474	4352	5043	2479	0	0	0	0
1972	0	0	153120	112090	4135	3897	4878	4394	0	0	0	0
1973	0	0	108610	167190	0	0	0	0	0	0	0	0
1974	0	0	141600	32996	4708	1931	2525	1441	0	0	0	0
1975	0	0	110970	3610	5182	3580	4622	10512	0	0	0	0
1976	0	0	73329	1737	1777	1768	2344	1358	0	0	0	0
1977	0	0	159630	67397	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	141460	115090	316	448	883	647	0	0	0	0
1979	0	0	99471	42072	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	124510	125770	5340	1548	19319	13691	0	0	0	0
1981	0	0	139840	97928	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0	0	145470	19244	734	580	1661	1079	0	0	0	0
1983	0	0	154150	111650	595	0	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	142200	67395	0	0	0	52	0	0	0	0
1985	0	0	160000	74506	0	0	0	0	0	0	0	0
1986	0	0	157240	123110	995	1061	1562	975	0	0	0	0
1987	0	0	136420	6835	368	0	85	344	0	0	0	0
1988	0	0	128110	83684	14444	17991	12390	16853	0	0	0	0
1989	0	0	159740	114940	1626	12	4630	2630	0	0	0	0
1990	0	0	149340	78823	3864	3652	4431	2948	0	0	0	0
1991	0	0	142950	105060	420	56	7910	0	0	0	0	0
1992	0	0	110910	78037	7481	9940	883	1312	0	0	0	0
1993	0	0	138330	28595	0	0	174	207	0	0	0	0
1994	0	0	79735	137470	5	0	345	7025	0	0	0	0
1995	0	0	154610	52987	0	0	0	245	0	0	0	0
1996	0	0	89908	3015	3056	2922	6396	7092	0	0	0	0
1997	0	0	145860	92578	0	682	10002	7040	0	0	0	0
1998	0	0	160000	137680	24	0	0	109	0	0	0	0
1999	0	0	160000	57481	0	0	3002	0	0	0	0	0
2000	0	0	89855	1609	1479	1498	2045	1438	0	0	0	0
2001	0	0	151080	139860	10671	5910	5113	4549	0	0	0	0
2002	0	0										
2003	0	0	115760	10373	0	0	0	145	0	0	0	0
2004	0	0	136710	83132	0	0	920	1966	0	0	0	0
2005	0	0	159460	120390	336	0	0	0	0	0	0	0
2006	0	0	121310	124690	13921	0	4205	71	0	0	0	0
2007	0	0	149140	85851	56	0	1176	4242	0	0	0	0
2008	0	0	140820	35488	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	0	0	103110	98218	0	0	0	1	0	0	0	0
2010	0	0	153880	6862	0	0	75	24836	0	0	0	0

5. Altre categorie di domanda idrica

Al fine di fornire un inquadramento completo della domanda idrica nella zona dell'alta valle di Gressoney, in questa sezione vengono descritte le altre categorie di utenze insistenti sul comune di Gressoney la Trinitè. In particolare verrà fornita una descrizione quantitativa del fabbisogno idropotabile comunale e delle concessioni per uso idroelettrico presenti nella zona di interesse. Le informazioni sul fabbisogno idropotabile sono state fornite dall'Autorità d'Ambito del Servizio Idrico Integrato (BIM) della Valle d'Aosta. Per quanto riguarda i dati di concessione è stato fatto riferimento alle informazioni trasmesse dal Servizio Gestione Demanio e Risorse Idriche della Regione Valle d'Aosta.

Utenza idropotabile

La distribuzione idropotabile nel comune di Gressoney La Trinitè consta di due unità impiantistiche indipendenti: 1) l'acquedotto comunale principale e 2) l'acquedotto comunale delle località "basse". Tutte le frazioni sono raggiunte dalla rete acquedottistica comunale, tranne le località Bettaforca, Sant'Anna e Punta Jolanda che utilizzano acquedotti privati.

Le fonti di approvvigionamento della prima unità sono ubicate presso le sorgenti Bettolina, Gabiet e Moss; la popolazione residente totale servita è di circa 200 abitanti (circa il 66% della popolazione residente del Comune). Tuttavia, trattandosi di una località fortemente turistica, la popolazione presente nella zona può subire fluttuazioni molto significative. Si stima che la popolazione possa arrivare a superare le 2000 unità nei periodi di maggiore affluenza.

Le località asservite alla seconda unità sono le località di Underwoald, Tache, Sandmatto e Edelboden inferiore. L'unica fonte di approvvigionamento è data dalla sorgente Tschiefler. La popolazione totale asservita di circa 100 unità, la popolazione fluttuante media di circa 150 abitanti e massima di circa 900 abitanti. Il servizio copre circa il 34% della popolazione residente.

Poiché gli acquedotti comunali non dispongono di contatori, non è possibile redigere il bilancio idrico effettivo dei due impianti. Il bilancio idrico nella situazione futura a 5 anni è stato redatto stimando una dotazione idrica potabile giornaliera per gli utenti domestici di 200 l/ab*d e adottando, per i consumi non domestici, una percentuale sui consumi domestici in analogia con i comuni aventi caratteristiche simili a Gressoney La Trinitè. Per entrambe le unità, tenendo conto delle ingenti perdite per la vetustà delle condotte e sulla base dei dati di riferimento per le regioni del Nord Italia, si stima che le perdite raggiungano il 35% della risorsa captata.

Il bilancio idrico stimato per il comune di Gressoney la Trinitè sulla base delle informazioni fornite dal Servizio Idrico Integrato regionale è riportato nella Tabella 5.1.

Tab. 5.1: Bilancio idrico nel comune di Gressoney la Trinité (dati forniti dall'Autorità d'Ambito del Servizio Idrico Integrato della Valle d'Aosta)

UNITA' IMPIANTISTICA	SITUAZIONE FUTURA (5 ANNI) *																
	Popolazione residente	Popolazione fluttuante + turistica media	Popolazione fluttuante + turistica massima	Dotazione idrica procapite giornaliera (l/ab d)		Consumi medi da uso domestico (l/s)	Consumi massimi da uso domestico (l/s)	Consumi da uso pubblico (l/s)	Consumi da uso artig./ind. /comm. (l/s)	Consumi da uso zootec. /agricolo (l/s)	% perdite in rete	Richiesta idrica media giornaliera (l/s)	Richiesta idrica massima giornaliera (l/s)	Risorse idriche disponibili da sorgenti (l/s)	Diff. tra risorse sorgive e richiesta media giornaliera (l/s)	Diff. tra risorse sorgive e richiesta massima giornaliera (l/s)	Livello di criticità
				Resid.	Flutt.												
Comunali																	
Acquedotto comunale principale	210	410	2,690	200	200	1.43	6.71	0.35	0.22		35%	3.08	11.20	17.00	13.92	5.80	B
Acquedotto delle località 'basse'	110	215	1,075	200	200	0.75	2.74	0.14	0.11		35%	1.54	4.61	7.50	5.96	2.89	S
Totale	320	624	3,766	200	200	2.19	9.46	0.49	0.33		35%	4.62	15.81	24.50	19.88	8.69	
	(1)	(2)	(3)			(4)	(5)	(6)	(7)		(8)	(9)	(10)				(11)

Note:

* Poiché gli acquedotti comunali non dispongono di contatori, non è stato possibile redigere il bilancio idrico della situazione attuale, per il quale occorrerebbe tenere conto dei consumi effettivi. Il bilancio idrico nella situazione futura a 5 anni è stato redatto stimando una dotazione idrica potabile giornaliera per gli utenti domestici di 200 l/ab*d e adottando, per i consumi non domestici, una percentuale sui consumi domestici in analogia con Comuni aventi caratteristiche analoghe a quelle di Gressoney La Trinité.

- (1): Dato stimato mediante il metodo dell'incremento composto, a partire dalla popolazione residente attuale
- (2): Il valore totale è stato dedotto dallo studio "Stima della presenza turistica in Valle d'Aosta sulla base della produzione di rifiuti" ed è stato ragionevolmente aumentato del 20% per la situazione futura a 5 anni. La suddivisione della popolazione media nelle varie unità impiantistiche è stata fatta in relazione alla vocazione turistica delle frazioni servite da ogni unità.
- (3): Sono stati considerati i valori forniti dal Comune di Gressoney La Trinité suddivisi per frazioni (anno 2002), aumentati del 20% per la situazione futura a 5 anni.
- (4): Valori calcolati considerando la popolazione residente più la fluttuante e turistica media in ciascuna unità impiantistica.
- (5): Valori ottenuti considerando il valore di popolazione turistica massima in ciascuna unità impiantistica.
- (6): Consumi calcolati considerando un funzionamento dei fontanili di 24 ore/giorno per 365 giorni/anno, con un consumo d'acqua medio pari a 0,07 l/s per ogni fontanile (7 fontanili allacciati agli acquedotti comunali, di cui 2 nelle località 'basse')
- (7): Poiché non si dispone di dati relativi ai consumi non domestici, in prima approssimazione sono stati ipotizzati, per ogni unità impiantistica, consumi medi giornalieri pari al 15% dei consumi medi da uso domestico, in analogia ai consumi per uso artigianale - industriale - commerciale e zootecnico - agricolo riscontrati in Comuni aventi caratteristiche analoghe a quelle di Gressoney la Trinité.
- (8): Poiché non si dispone di misure atte a quantificare le reali perdite in rete, si stima una percentuale del 35%: tale valore tiene conto delle ingenti perdite per la vecchiaia delle reti. Il valore include anche eventuali allacci abusivi.
- (9): (4) + (6) + (7)
- (10): (5) + (6) + (7)
- (11): Livelli di criticità (B = Buono, S = Sufficiente, I = Insufficiente, C = Cattivo)

Sulla base delle informazioni reperite su fabbisogno pro-capite e fluttuazioni di popolazione legate ai flussi turistici nel comune di Gressoney la Trinitè, è possibile ipotizzare un regime medio mensile del fabbisogno idro-potabile. Tale regime, riportato in Fig. 5.1, sarà utilizzato nel seguito del lavoro per effettuare le analisi sul rischio di fallanza di cui al Capitolo 6. Le relative fluttuazioni di popolazione ipotizzate sono riportate in Tabella 5.2.

Tab. 5.2: Popolazione media mensile ipotizzata

	Set	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago
ab.	1000	320	1600	3000	2000	1300	800	500	320	600	1200	1800

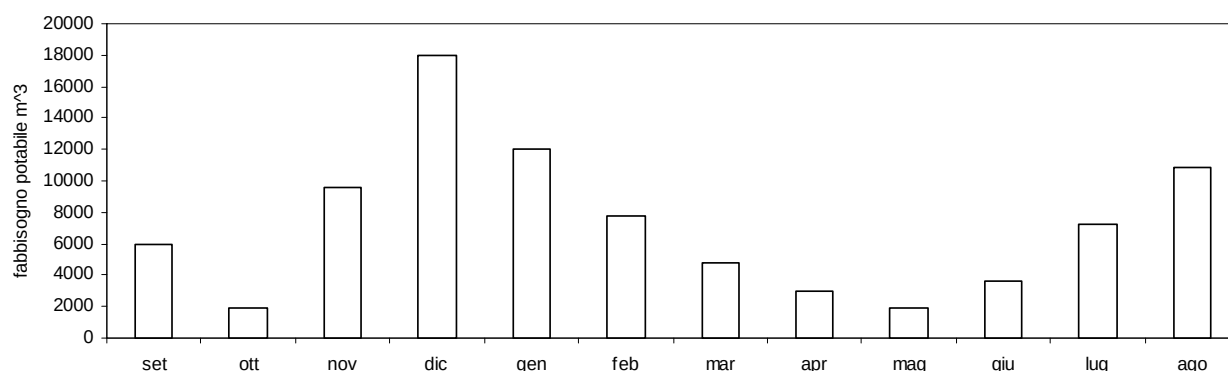


Fig.5.1: Regime medio del fabbisogno idropotabile nel comune di Gressoney La Trinitè.

Altre categorie di utenza

Per un inquadramento completo della domanda idrica nella zona del comprensorio di Gressoney La Trinitè, tutte le derivazioni idriche sul torrente Lys nei comuni di Gressoney La Trinitè e Gressoney St. Jean sono state mappate. In particolare, l'interesse è ricaduto sulle derivazioni esistenti (o su quelle non ancora in funzione per cui la concessione fosse già in essere) a monte del prelievo sul Lys da parte della Monterosa SpA, autorizzato in data 8 luglio 1998, con concessione di 153600 m³ annui da novembre a marzo. Tutte le derivazioni registrate presso il Servizio Gestione Demanio e Risorse Idriche della Regione Valle d'Aosta dal 1948 ad oggi sono riportate in Tabella 3.

Tra le derivazioni riportate in Tabella 5.3, le uniche che potenzialmente potrebbero arrecare variazioni significative alla disponibilità di risorsa in alveo nel periodo di interesse sono:

- le concessioni annuali per uso idroelettrico a "The Power Company" (Rif. 482, 552);
- la concessione per uso idroelettrico a Rial Ervin (Rif. 731).

Su questi casi, ritenuti potenzialmente capaci di entrare in conflitto con la domanda per innevamento programmato sono state fatte alcune analisi ulteriori. Le derivazioni ad uso irriguo non sono tenuto in considerazioni poiché il periodo su cui esse gravano non ha nessuna sovrapposizione col periodo di funzionamento (e prelievo) degli impianti di innevamento programmato.

Tab. 5.3: Derivazioni idriche sul torrente Lys nei comuni di Gressoney La Trinité e Gressoney St. Jean dal 1948 ad oggi (1 modulo = 100 l/s)

Riferimento archivio regionale	Corso d'acqua	Richiedente	Luogo dell'opera di presa	Derivazione	Periodo di prelievo	Uso	Superficie irrigata
373	Lys	Monterosa SpA	Gressoney La Trinité	153600 mc annui	da novembre a marzo	Innevamento	-
482	Lys	The Power Company	Gressoney La Trinité-STAFFAL	max. 1.7 moduli	annuale	Idroelettrico	-
552	Lys	The Power Company	Gressoney La Trinité-STAFFAL	max. 25.1 moduli	annuale	Idroelettrico	-
692	Lys	The Power Company	Gressoney La Trinité-STAFFAL	n.a.	annuale	Idroelettrico	-
731	Lys	sig. Rial Ervin	Gressoney La Trinité	max 40 e medi 16.5 moduli	annuale	Idroelettrico	-
78	Lys	sig. Filippa Augusto	Gressoney St. Jean	n.a.	annuale	Idroelettrico	-
125	Lys	sig. Aramino Michele	Gressoney St. Jean	0.71 moduli	annuale	Piscicoltura	-
		ENEL - Centrale Sendren	ENEL - Gressoney St. Jean	30.08 moduli			
142	Lys	Centrale di Zuino	Gressoney St. Jean	40.53 moduli	annuale	Idroelettrico	-
369	Lys	Comune di Gressoney S.Jean	Gressoney St. Jean	0.0025 moduli	annuale	Piscicoltura	-
638	Lys	sig. Villermoz Edi	Gressoney St. Jean	max. 43 moduli	annuale	Idroelettrico	-
	Lys	CVA - Sendren	Gressoney St. Jean	max. 60 - med 30.080 mod.	annuale	Idroelettrico	-
Antichi Diritti							
2859	Lys	Stevenin Vittoria	Gressoney La Trinité	0.18 moduli	dal 1/5 al 30/9	Irriguo	1.6871
2861	Lys	Linty Pietro e Carlo	Gressoney La Trinité	1.90 moduli	del 1/10 al 30/11	Mulino	-
				1.10 moduli	dal 1/10 al 30/11 dal		0.92
2864	Lys	Laurenti Ferdinando	Gressoney St. Jean	moduli (irriguo)	1/5 al 30/9	Mulino Irriguo	
2867	Lys	Lateltn Ulrico	Gressoney St. Jean	2.67 moduli	-	DIRITTO PERSO	-
				0.02 moduli		canale Cendren	1.4
2869	Lys	Liscoz Eugenio	Gressoney St. Jean	moduli (irriguo)	dal 1/6 al 30/9 annuale	usi civici	
2871	Lys	Peccoz C., Lettry F. e Stevenin G.	Gressoney St. Jean	0.02 moduli	annuale	usi domestic	-
2858	Lys	Laurent Ferdinando	Gressoney St. Jean	0.83 moduli	annuale	Irriguo	3.6
2860	Lys	utenti canale Mettlen	Gressoney St. Jean	4.00 moduli	annuale	Irriguo	8.7
2862	Lys	utenti canale Boden	Gressoney St. Jean	0.50 moduli	annuale	Irriguo	1.3
2863	Lys	utenti canale Defabiani	Gressoney St. Jean	0.25 moduli	annuale	Irriguo	3.75
2865	Lys	utenti canale Fabbrica	Gressoney St. Jean	0.50 moduli	annuale	DIRITTO PERSO	-

Le derivazioni sono state localizzate su corografia in Figura 2 (ritaglio della corografia riportata in Fig. 5.4, Capitolo 2), da cui risulta che i) il prelievo della derivazione 482 è a monte del prelievo Monterosa con restituzione a Stafal; ii) i prelievi della 552 sono uno a Stafal ed uno sul torrente Moosbach (in sinistra orografica del torrente Lys, a valle di Stafal) e la restituzione è posizionata molto più a valle presso il capoluogo di Gressoney La Trinitè; iii) i prelievi del Rial sono a valle di Gressoney La Trinitè.

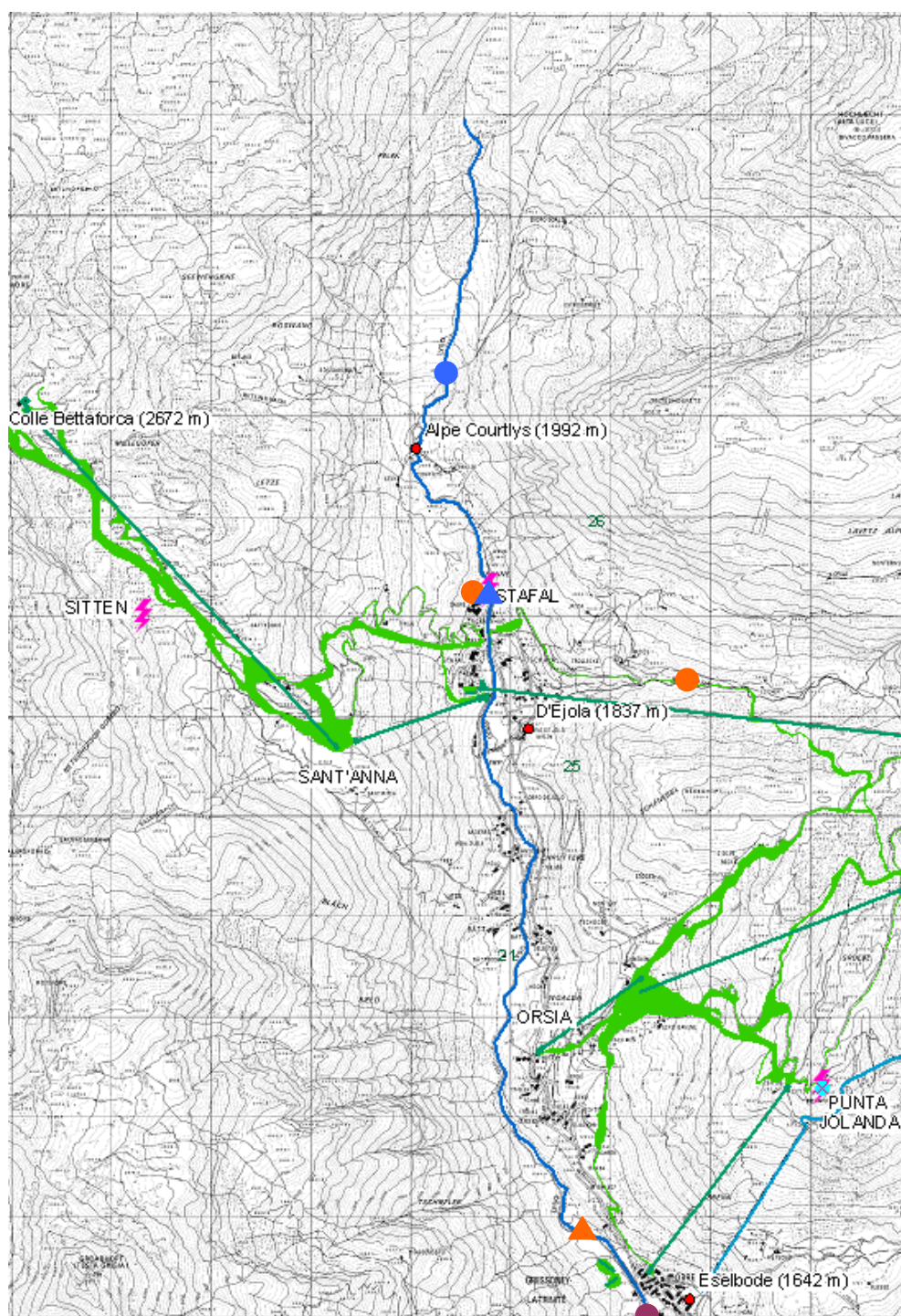


Fig. 5.2: Localizzazione di prelievi (cerchietto) e restituzioni (triangolo) delle derivazioni 552 (in arancione), 482 (in azzurro) e 731 (in viola).

La dislocazione dei punti di prelievo non appare in conflitto con i punti di prelievo Monterosa. Infatti, l'unico impianto posto a monte della derivazione di Stafal è il 482, la cui restituzione tuttavia risulta compatibile con il prelievo Monterosa.

Pertanto, nelle analisi che seguono, ed in particolare nel Capitolo 6, non terremo conto di tali quantità nel computo del rischio di fallanza del sistema con riferimento al comprensorio di Gressoney La Trinité.

Deflusso minimo vitale

I criteri di calcolo del deflusso minimo vitale per i corsi d'acqua naturali della regione Valle d'Aosta sono stati stabiliti in linea con gli obiettivi di qualità del Piano di tutela delle acque. In particolare, in base a quanto definito dalla norma di attuazione del Piano in Valle d'Aosta, reperibile sul sito della regione, il deflusso minimo vitale per il torrente Lys nella sezione di D'Ejola può essere valutato applicando la relazione

$$DMV_{mensile} = q_{MED,mensile} \cdot S \cdot Z_{decimale} \quad [l/s] \quad (5.1)$$

dove:

- $q_{MED,mensile}$ è la portata media mensile per unità di superficie del bacino, calcolata per la sezione di interesse a partire dai dati mensili relativi ai mesi di novembre e dicembre riportati in tabella 3.2, e pari rispettivamente a 24 e 16 l/s/km²;
- S è la superficie del bacino sottesa dalla sezione del corpo idrico, pari a 30.4 km²;
- Z è un parametro che quantifica la qualità ambientale complessiva del tratto di corso d'acqua considerato, assunto pari a 0.3 per qualità ecosistemiche molto elevate;

L'applicazione della relazione (5.1) nella sezione di D'Ejola porta ad un valore di deflusso minimo vitale pari a 140 l/s (0.14 m³/s) per il mese di novembre e ad un valore di deflusso minimo vitale pari a 75 l/s (0.075 m³/s) per il mese di dicembre.

6. Valutazioni preliminari sulla sostenibilità dell'innevamento programmato

In questa sezione verranno messi a confronto i risultati delle elaborazioni effettuate mediante il modello di accumulo e scioglimento nivale con le condizioni di idroesigenza evidenziate nella sezione precedente, allo scopo di definire un indicatore di sostenibilità della domanda idrica per innevamento.

A tal fine vengono considerati tutti i dati a disposizione, onde tentare di verificare per il periodo temporale massimo possibile le condizioni di soddisfacimento dell'utenza di innevamento. La condizione che, come intuibile, risulta critica per il sistema delle utenze del Lys, è relativa alla carenza idrica contemporanea sul comprensorio sciistico (carenza di neve) e per il corso d'acqua (magra invernale). Le modalità con le quali tali condizioni sono state osservate e poi ricostruite sono esposte nel seguito.

Va qui subito precisato che l'entità dell'incidenza del fabbisogno idrico per innevamento rispetto alla disponibilità idrica naturale è stata quantificata mediante la grandezza "Fabbisogno Relativo":

$$FREL = FASS / (VM - DMV) \quad (6.1)$$

che indica il rapporto tra il fabbisogno assoluto dell'utenza innevamento (FASS, in m³) rispetto al volume mensile (osservato o calcolato) di deflusso naturale in alveo (VM, m³) diminuito del volume mensile di deflusso minimo vitale, calcolato a partire dal valore istantaneo calcolato in precedenza.

Tale indice è stato calcolato con riferimento alla sequenza mensile di domanda idrica per innevamento ricostruita mediante il modello esposto nel cap. 4. Si richiama il fatto che i volumi riportati in Tabella 4.1 rappresentano la quantità di risorsa che sarebbe stata necessaria (per innevamento programmato) nei vari anni, assumendo una regola di gestione della rete rigida e ripetibile come quella adottata nell'applicazione del modello. Tali valori rappresentano certamente uno solo fra i molti possibili scenari; essi sono infatti legati alle ipotesi modellistiche ed alla regola gestionale adottate. Tuttavia riteniamo che essi possano essere utilizzati per formulare alcune considerazioni preliminari sugli impatti dell'innevamento programmato in un ambito di uso plurimo della risorsa.

Negli anni di funzionamento della stazione idrometrica del Lys a D'Ejola (1931-1942 e 1949-1950, si veda Cap. 3), la risorsa disponibile è stata valutata usando la portata media mensile riportata nella Pubblicazione Speciale N 17 del Ministero LL.PP. (1939-1970). Per gli stessi anni, i fabbisogni relativi risultano dal rapporto tra il volume che sarebbe stato necessario per innevamento nei mesi di massimo fabbisogno, ovvero novembre e dicembre, ed il volume della risorsa idrica disponibile negli stessi mesi. Ne risultano percentuali di utilizzo variabili tra il 5% ed il 19%.

L'ampiezza del periodo di registrazione delle portate non è ovviamente sufficiente per consentire di formulare qualsiasi considerazione di tipo statistico sul rischio di fallanza del sistema, ovvero sulla probabilità che vi siano incompatibilità tra i fabbisogni legati all'innevamento programmato e le altre utenze idriche. A tale scopo sarebbe invece necessario disporre di valori di portata media mensile in tutti gli anni nel periodo 1928-2011.

In mancanza di sistematica disponibilità di questi dati, si è deciso di procedere ad un'analisi molto semplificata per fornire indicazioni preliminari sulla probabilità che emergano condizioni di incompatibilità tra gli usi della risorsa presenti nell'alta valle di Gressoney.

Al fine di estendere l'informazione relativa alle portate medie mensili del Lys a D'Ejola, è stata ricercata l'esistenza di una relazione tra i fabbisogni relativi e le condizioni di abbondanza/scarsità di risorsa nei singoli anni. Tale relazione è stata ricercata mediante regressione lineare o con legge di potenza. Tra le possibili variabili esplicative solo la precipitazione liquida cumulata nei mesi di novembre e dicembre (PLIQ) è risultata significativamente correlata al fabbisogno relativo, secondo una legge di potenza. La quantità PLIQ viene valutata, alla scala giornaliera, come l'altezza della precipitazione liquida, espressa in millimetri, affluita sul comprensorio. L'esistenza di una relazione tra la quantità di precipitazione liquida e la percentuale di utilizzo della risorsa, ovvero il fabbisogno relativo, non deve stupire. Infatti la precipitazione liquida fornisce una misura indiretta della quantità di risorsa immediatamente disponibile per la formazione del deflusso. La relazione trovata, tra precipitazione liquida e fabbisogno relativo è mostrata in Figura 6.1. Tale funzione garantisce che il fabbisogno relativo tenda a zero in anni con precipitazioni estremamente abbondanti e che lo stesso fabbisogno tenda al 100% in anni nei quali si sono avuti meno di 10 mm di precipitazione liquida nei mesi di novembre e dicembre.

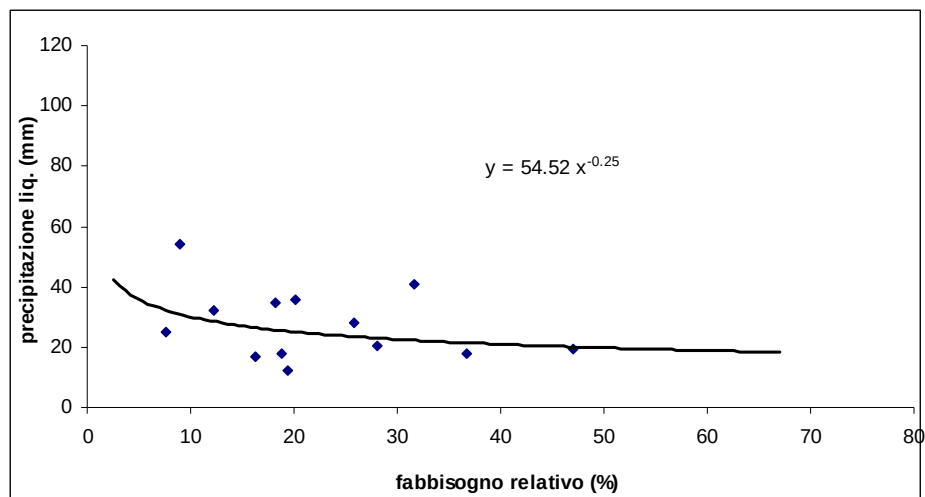


Fig. 6.1: Relazione empirica tra precipitazione liquida nei mesi di novembre e dicembre (mm) e fabbisogno relativo (%)

Sulla base della relazione riportata in Fig. 6.1, è stato possibile ricostruire la serie storica dei fabbisogni relativi per gli anni dal 1928 al 2011 come:

$$FREL = (54.52 / PLIQ)^4 \quad (6.2a)$$

In altre parole la sussistenza di tale relazione consente di partire dalla serie storica delle precipitazioni (nota) per ricostruire la serie storica dei fabbisogni relativi.

La relazione 6.2a si basa sull'ipotesi che tutta la domanda idrica per innevamento sia soddisfatta dal prelievo in alveo. Nella realtà tuttavia, solo una parte della risorsa necessaria per innevamento viene prelevata dal corso d'acqua. La rimanente viene invece derivata da altre fonti di approvvigionamento (lago Gabiet o condotta CVA). Per consentire un inquadramento di queste

diverse modalità di gestione, in Figura 6.2 sono riportate le serie dei fabbisogni relativi nell'ipotesi che:

- a) tutto il prelievo gravi sulla risorsa disponibile in alveo;
- b) 50% del prelievo gravi sulla risorsa disponibile in alveo (e la restante parte sia invece prelevata da lago);
- c) solo il 30% del prelievo gravi sulla risorsa disponibile in alveo.

Nei casi b e c la relazione riportata nell'Equazione 6.2a diventa rispettivamente:

$$FREL = (45.56 / PLIQ)^4 \quad (6.2b)$$

$$FREL = (39.91 / PLIQ)^4 \quad (6.2c)$$

Si osserva che, nei tre casi, il sistema raggiunge percentuali di utilizzo della risorsa pari al 100%, ovvero ricade in condizioni di evidente criticità in un numero di casi che è riportato in funzione delle sopra dette ipotesi di prelievo:

- a) in 36 degli 83 anni;
- b) in 29 degli 83 anni;
- c) in 23 degli 83 anni.

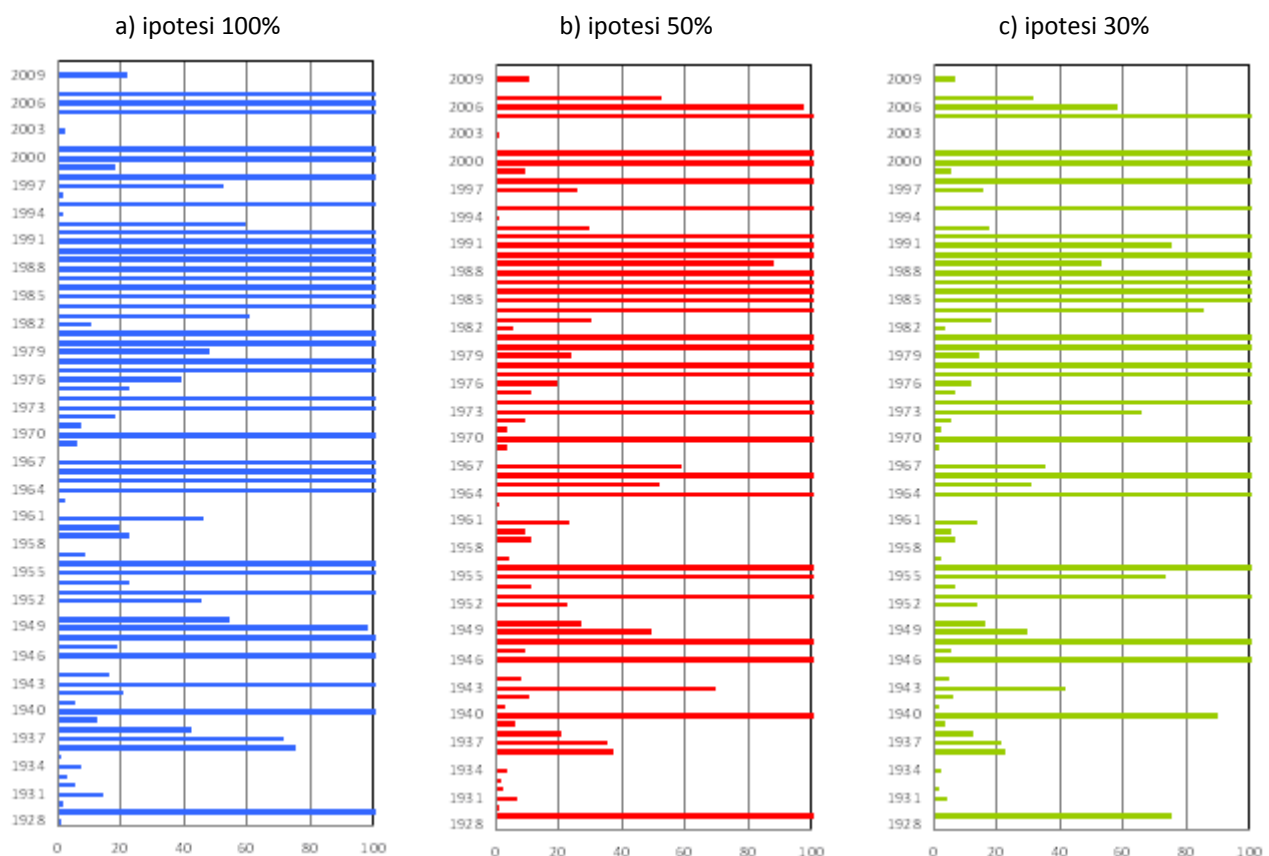


Fig. 6.2: Serie storica dei fabbisogni relativi ricostruiti per gli anni 1928-2011 nel caso a) prelievo gravante tutto sul corso d'acqua, b) 50% del prelievo gravante sul corso d'acqua; c) 30% del prelievo gravante sul corso d'acqua

I volumi corrispondenti alle suddette condizioni di criticità sono stati ricostruiti aggiungendo ai fabbisogni idrici per innevamento quantità pari ai fabbisogni per uso idropotabile (POT), stimate in

base all'andamento riportato nella Fig. 5.1. I corrispondenti volumi di deficit (D) sono definiti come:

$$D = (V_M - DMV) - FASS - POT \quad (6.3)$$

dove $(V_M - DMV)$, in m^3 , è il deflusso ottenuto a partire dai fabbisogni relativi stimati nei tre casi con le Equazioni 6.2 e dai fabbisogni assoluti ottenuti dall'applicazione del modello come $(V_M - DMV) = 100 FASS / FREL$. Così facendo si ottengono, per gli anni critici identificati, volumi di deficit variabili. Tali volumi sono riportati, per i tre casi considerati, in Tabella 6.2, commentata nel paragrafo che segue.

Tab. 6.2: Volumi di deficit negli anni critici nelle tre ipotesi considerate

Stagione	a) Deficit [m^3]	b) Deficit [m^3]	c) Deficit [m^3]
1929/30	151384	41941	-
1940/41	161280	55200	-
1943/44	70119	-	-
1946/47	264338	142023	93097
1948/49	280351	123598	60897
1949/50	16613	-	-
1953/54	297260	158176	102542
1955/56	183067	45243	-
1956/57	257419	131850	81622
1964/65	278353	144939	91574
1965/66	26699	-	-
1966/67	138560	54373	20699
1967/68	66770	-	-
1970/71	231064	90015	33595
1973/74	169768	31869	-
1974/75	160763	73465	38546
1977/78	228626	115113	69708
1978/79	246914	118640	67330
1980/81	270122	144982	94926
1981/82	203214	84330	36777
1984/85	156006	51209	-
1985/86	233223	115970	69069
1986/87	297296	157121	101051
1987/88	150163	78536	49885
1988/89	223673	117776	75418
1989/90	139445	-	-
1990/91	234093	120011	74379
1991/92	169394	45390	-
1992/93	159141	64668	26879
1995/96	207346	103547	62028
1998/99	317642	168802	109266
2000/01	86548	40836	22544
2001/02	293828	148358	90170
2005/06	229826	89902	33932
2006/07	139837	-	-
2007/08	31146	-	-

Commento dei risultati

Il grafico di Fig. 6.2. riporta sinteticamente il risultato di tutte le elaborazioni sin qui condotte e, in quanto riassuntivo, andrebbe commentato in relazione agli effetti delle varie semplificazioni adottate.

In primo luogo, considerando il dato più cautelativo di 36 fallanze su 83 anni, si può concludere che –ovemai tutte le assunzioni fatte dovessero essere confermate – i livelli di probabilità di deficit per i volumi di innevamento fin qui valutati risulterebbero essere abbastanza elevati, nonostante i volumi di deficit risultino solo in un caso superiori ai 300.000 m³. Risulta infatti una probabilità di fallanza pari al 43%. Tale valore può essere confrontato, ad esempio, con quelli previsti per utenze irrigue nelle quali risulterebbe adeguata al tipo di danno conseguente al mancato soddisfacimento dell'utenza una probabilità di fallanza del 10%.

Va però considerato che – da diversi anni – una parte cospicua del prelievo idrico per l'innervamento viene effettuato dal lago Gabiet. Essendo il bacino idrografico sotteso dal lago del tutto esterno al bacino del Lys a D'Ejola, tale spostamento del prelievo rappresenta un sollievo rilevante per le altre utenze delle acque del Lys. Parimenti, tale circostanza riduce senz'altro la probabilità di fallanza, anche per il fatto che la presenza di una capacità di invaso determina una disponibilità idrica non più strettamente connessa al regime idrologico del corso d'acqua. Tale scenario è stato considerato a fronte di due diverse ipotesi di prelievo relative, rispettivamente, al fatto che solo il 50 o il 30% del prelievo gravi sulla risorsa disponibile in alveo. Le probabilità di fallanza sotto tali ipotesi si riducono rispettivamente al 34 e al 27%, rimanendo però sempre piuttosto elevate.

Il modello matematico qui presentato -una volta riconfigurato per l'utilizzo in tempo reale- fornisce, in ogni caso, la possibilità di valutare, con l'andamento della stagione, le possibili evoluzioni della domanda idrica di innevamento, in modo tale da consentire una gestione condivisa della risorsa.

7. Conclusioni

Lo studio fin qui presentato rappresenta, a conoscenza degli scriventi, il primo caso di approccio sistematico alla schematizzazione idrologica di un comprensorio servito da un sistema di innevamento programmato. Come proposto nei documenti di convenzione, e come avvenuto in casi simili relativi ad utenze irrigue, è risultata di cruciale importanza la fase iniziale di costruzione dello schema di funzionamento del sistema infrastrutturale. Il completamento di questa fase ha richiesto tempi molto lunghi e ripetute verifiche, sia per le fisiologiche difficoltà di acquisizione dei dati grezzi, sia per la necessità di definire in modo sistematico le funzionalità degli elementi del sistema. Un risultato di notevole utilità di questo lavoro è quindi senz'altro rappresentato dalla definizione dello schema infrastrutturale, che -opportunamente riscontrato con i soggetti gestori- può rappresentare lo schema-tipo da adottare in eventuali future indagini da effettuarsi su altri comprensori.

Di non trascurabile importanza, per eventuali ampliamenti di indagine, risulta la possibilità di indirizzare in modo opportuno l'ambito di monitoraggio meteorologico, con riferimento ai dati da rilevare ed alla loro risoluzione spaziale. Lo stesso può dirsi anche relativamente ad alcuni parametri inseriti nella modellazione matematica degli spessori di neve. Il modello qui proposto rappresenta quindi un sistema di simulazione degli effetti dell'innervamento che può avere ricadute pratiche di estremo interesse, sia per un singolo impianto sia su vasta scala, nell'ambito delle necessità gestionali e di previsione dei fabbisogni a medio termine.

L'applicazione del modello idrologico ha consentito di effettuare una prima stima dei livelli di deficit attualmente associati ai fabbisogni dell'utenza di innevamento programmato. Sebbene non sempre di elevata entità, le condizioni deficitarie appaiono piuttosto frequenti, particolarmente qualora si trascurasse il contributo fornito dall'invaso del Lago Gabiet. Le modalità con le quali questa riserva idrica consente di attenuare le fallanze del sistema di innevamento sono piuttosto evidenti, anche per l'assenza di interferenza rispetto al reticolo idrografico a monte della presa principale che serve il sistema idrico. Non sarebbe difficile, né privo di utilità, verificare gli effetti positivi che si avrebbero grazie a tale capacità di invaso anche se il lago fosse posizionato all'interno del bacino sotteso dalla presa sul Lys. Si parla infatti dei tipici effetti di dislocazione di volumi idrici, tra una stagione ed un'altra, con i quali gli invasi artificiali compensano i deficit idrici. Nel caso particolare delle utenze per l'innervamento programmato si possono, peraltro, facilmente riconoscere due ulteriori aspetti positivi connessi alla disponibilità di capacità di accumulo di volumi idrici in quota. Il primo riguarda la facilità con la quale le riserve idriche consentono al sistema di soddisfare punte anche molto intense di prelievo. Questo aspetto non è stato esplicitamente considerato in questo studio, ma rappresenta un elemento cruciale da considerare, nella prospettiva che il riscaldamento globale possa determinare finestre temporali utili per l'innervamento sempre più rade ed irregolari. L'altro aspetto che rende gli accumuli in quota, ove possibili, grandemente efficienti è quello relativo all'efficienza energetica. E' infatti evidente come l'uso temporaneo di volumi prelevati direttamente in quota rappresenti l'opzione ideale dal punto di vista energetico per sistemi idrici di questa natura.

Gli aspetti appena evidenziati sono senz'altro meritevoli di approfondimento, sia tecnico che scientifico. In tal senso, lo studio appena condotto pone solide basi per la definizione delle modalità di misura ed elaborazione dei dati necessari per gli ulteriori affinamenti di indagine.

Bibliografia

Ministero LL.PP. Servizio Idrografico, Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani, Pubbl. N. 17, Roma, Istituto Poligrafico dello Stato, 1939-1970.

Bartolini E., Allamano P., Laio F. & Claps P. Runoff regime estimation at high-elevation sites: a parsimonious water balance approach, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15: 1661-1673, 2011.

Cazorzi F., Dalla Fontana G. Snowmelt modelling by combining air temperature and a distributed radiation index, *Journal of Hydrology* 181: 169-187, 1996

De Jong, C. Artificial Production of Snow, in *Encyclopedia of Snow, Ice and glaciers*, 61-66, Ed. V.P. Singh, P. Singh and U. K. Haritashya, Springer, The Netherlands, 2011.

Hock, R. Temperature index melt modelling in mountain areas, *Journal of Hydrology*, 282 (1-4): 104-115, 2003.

Judson, A. and Doesken, N. Density of freshly fallen snow in the central Rocky Mountains. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(7):1577–1587, 2000.

Pellicciotti F.; Brock B.; Strasser U.; et al. An enhanced temperature-index glacier melt model including the shortwave radiation balance: development and testing for Haut Glacier d'Arolla, Switzerland, *Journal of Glaciology*, 51 (175): 573-587, 2005.

Steiger R., The impact of climate change on ski season length and snowmaking requirements in Tyrol, Austria, *Climate Research*, 43: 251-262, 2010

APPENDICE A

Descrizione tecnica della configurazione evolutiva della rete di innevamento programmato del comprensorio sciistico Monterosa Ski

1989 – 1999: GESTIONE IN BASSA PRESSIONE

Fino al 1989 l'intero comprensorio non era attrezzato con l'impianto di innevamento programmato. A cavallo degli anni '90, vengono realizzate le prime due parti del sistema di innevamento programmato in bassa pressione:

1- linea Punta Jolanda: in sinistra orografica (MACROAREA 1), per caduta da Punta Jolanda all'hotel Jolanda, con adduzione dalla vasca di accumulo di capacità di 1200 m³, realizzata a Punta Jolanda e alimentata dall'acqua in arrivo dalla condotta forzata della C.V.A.; nel 1991 la condotta forzata garantiva una portata di 7 l/sec, aumentata poi nel 1996 a 14 l/sec, con una tubazione di 125 mm di diametro;

2- linea Sitten - Sant'Anna: in destra orografica (MACROAREA 2) sulla linea che collega Sitten a Sant'Anna, per caduta dal bacino di raccolta delle acque superficiali e di sorgente, con capacità di 900 m³.

Successivamente, ma sempre nei primi anni '90, vengono realizzati il terzo e il quarto tronco dell'impianto in bassa pressione:

3- linea Alpe Ricka: in sinistra orografica (MACROAREA 1) lungo la pista omonima (G5), per caduta dal bacino di raccolta delle acque sorgive dell'Alpe Ricka ;

4- linea Salati: in sinistra orografica (MACROAREA 1) per caduta dal bacino di raccolta dell'Alpe Ricka verso la pista dei Salati per un tratto di circa 500 m lineari.

1999 – 2008: GESTIONE MISTA IN BASSA E ALTA PRESSIONE

Alla fine degli anni '90 inizia lo sviluppo dell'impianto in alta pressione. E' per questo che nel 1998 iniziano gli studi di fattibilità per la costruzione di una sala macchine in località Staffal con adduzione sul torrente Lys. A cavallo del nuovo secolo vengono realizzate le prime linee in alta pressione (le numerazioni si riferiscono alla Figura A1):

1- linea Staffal - Sitten: realizzata nell'autunno del 1999 in destra orografica (MACROAREA 2); questa linea è stata poi ampliata nel 2001 realizzando il collegamento tra Sitten e la località San'Anna (precedentemente gestita in bassa pressione);

2- linea Sitten - Bettaforca: nel 2001-2002 viene completata la posa delle tubazioni fino al Colle Bettaforca (MACROAREA 2). Tuttavia, la linea viene gestita parallelamente in bassa ed in alta pressione fino al 2005 quando l'intera linea viene attrezzata con innevatori per l'alta pressione;

3- linea Staffal - Moos: in sinistra orografica (MACROAREA 1). Nel 2000 vengono realizzati i primi tre pozzetti (YA301-YA303) lungo il muro finale della pista del Moos (G6) di rientro verso Staffal; nel 2003 viene completata la posa dei tubi di alimentazione su tutta la pista del Moos e la realizzazione dei pozzetti fino al numero YA315. L'installazione dei pozzetti nel tratto più a monte (dal YA316 - al YA324) avviene, invece, nel 2005;

4- linea Forca: realizzata nel 2006 (MACROAREA 3) come prosecuzione della linea in arrivo al Colle Bettaforca, in corrispondenza del pozzetto YA120 è presente una valvola di smistamento che consente di attivare la linea Forca quando si rende necessario l'innervamento;

Il resto del comprensorio è ancora gestito in bassa pressione. La Figura A1 riporta lo schema idraulico del sistema nella configurazione ante-2008. L'acqua, prelevata dal torrente Lys tramite una presa sullo stesso, viene convogliata nella sala macchine di Staffal (1), dopo aver attraversato un filtro, e successivamente inviata in sinistra e/o in destra orografica lungo le linee Staffal-Moos e Staffal-Sitten. In caso di necessità è possibile pompare acqua direttamente dalla sala macchine di Staffal a quella di Sitten (2) e riempire la vasca di carico in essa presente. Questo avviene quando il bacino di raccolta di Sitten (2) non riesce a soddisfare la richiesta di acqua per l'innervamento delle linee a monte di Sitten. Le linee Colle Bettaforca, Forca e Collegamento vengono gestite esclusivamente dalla sala macchine di Sitten.

Le linee sono attrezzate con:

- pozzetti: ogni 5-6 metri lungo la linea sono stati realizzati dei pozzetti che raccolgono le tubazioni dell'acqua e dell'aria. Alcuni di questi sono poi stati dotati di innevatore (riportati in Figura A1 come pozzetti con innevatore);

- XM: valvole utilizzate per vari scopi. Alcune (2, 3, 4, 5 e 6) servono ad inizio stagione per testare il buon funzionamento dell'impianto. Per simulare l'avvio delle operazioni di innervamento e la messa in funzione del sistema nonostante le non ottimali condizioni meteorologiche (non è ancora possibile, ad inizio stagione, produrre neve artificiale), vengono aperte le suddette valvole e viene testato l'impianto. La valvola 1 serve invece a provvedere al riempimento della vasca di carico della stazione di Sitten, quando il bacino di raccolta non può provvedere da solo al fabbisogno di acqua. Infine la valvola 7 permette di provvedere ai fabbisogni di acqua dei rifugi presenti al Colle Bettaforca.

L'aria compressa viene prodotta esclusivamente nella sala macchine di Staffal (1), per mezzo di due pompe per l'aria compressa, e successivamente inviata lungo le piste.

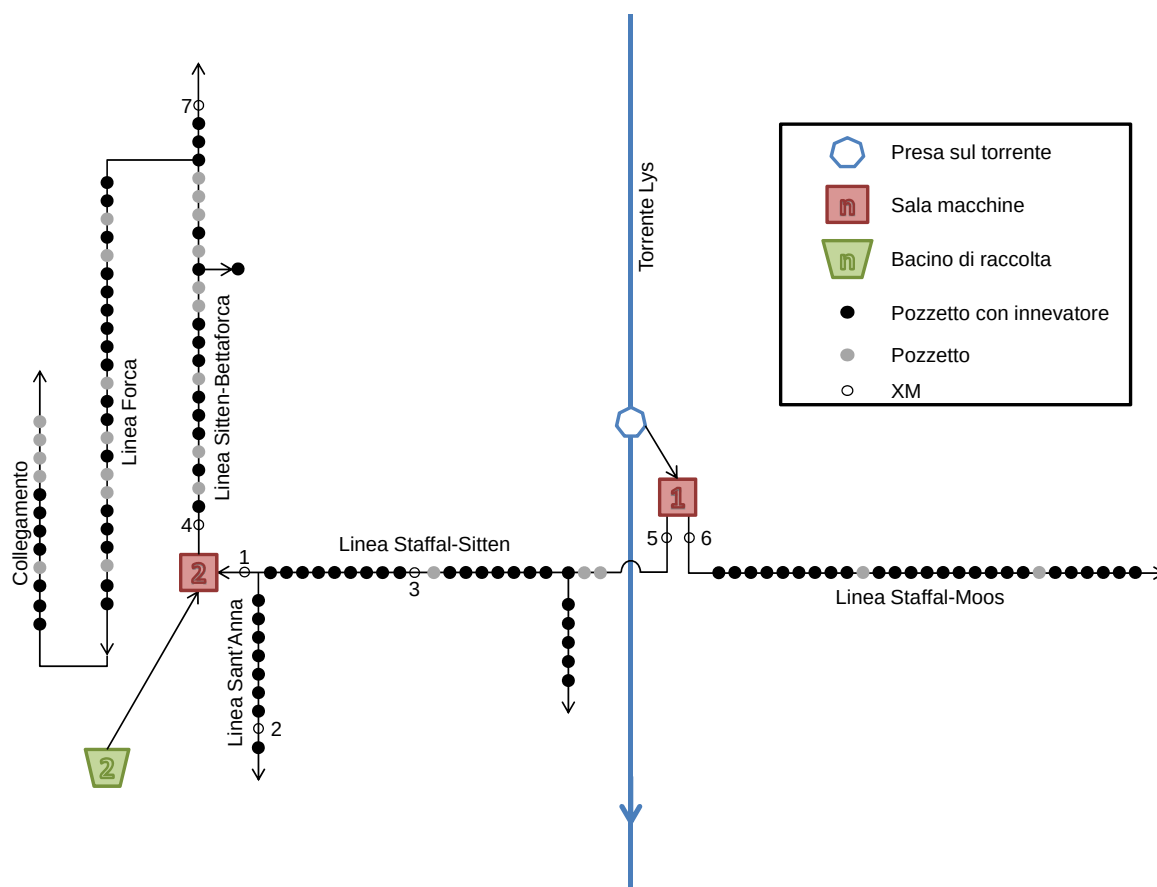


Fig. A1: Schema idraulico del sistema di innevamento in alta pressione ante-2008.

CONFIGURAZIONE ATTUALE - GESTIONE IN ALTA PRESSIONE

La configurazione attuale del sistema ha avuto origine da alcuni lavori di ampliamento iniziati e portati a termine nell'estate del 2008 (luglio-ottobre). A seguito dei lavori vengono realizzate due nuove linee in alta pressione (le numerazioni si riferiscono alla Figura A2):

1- linea Punta Jolanda - Passo dei Salati: i lavori hanno interessato principalmente la sinistra orografica (MACROAREA 1) con la dismissione e la trasformazione in due nuove sale macchine dei due bacini di raccolta delle acque a Punta Jolanda (3) e all'Alpe Ricka (4) e la realizzazione di una sala macchine al Passo dei Salati (5). Quest'ultima consente l'innervamento di tutta la pista dei Salati e il riempimento periodico della vasca di accumulo di 5000 m³ che serve in comprensorio di Alagna;

2- linea delle Marmotte: realizzata del 2009 in destra orografica (MACROAREA 2). Nel 2008 la pista nera (B3) è stata interessata da un fenomeno franoso, ancora in essere, che ha portato, in quella stagione, alla chiusura della linea da Staffal a Sitten, danneggiata dalla frana. Nel 2009 è stato quindi realizzato un bypass alla pista nera sulla pista di collegamento della Marmotte, pista B6,

E' operativo dalla stagione 2010-2011, un bypass nella stazione di Staffal che permette, in caso di necessità, l'innervamento e/o il trasporto dell'acqua da Punta Jolanda a Sitten solo per caduta. Nella configurazione attuale sono gestite ancora in bassa pressione le piste G3, G4, per caduta dalla sala macchine di Punta Jolanda, e la pista G5 servita in gravitativo dalla sala macchine dell'Alpe Ricka-Gabiet.

Legenda:

- Presa sul torrente
- Presa su condotta forzata
- Sala macchine
- Bacino di raccolta
- Pozzetto con innervatore
- Pozzetto
- XM

Diagramma:

Il diagramma illustra la rete idrica della Municipalità di Sestri-Castore. La rete è alimentata da diverse sorgenti: la Presa sul torrente (1), la Presa su condotta forzata (2), la Sala macchine (3), il Bacino di raccolta (4), il Pozzetto con innervatore (5), il Pozzetto (6) e l'XM (7). La rete è composta da diverse linee: Linea Sitten-Bettaforca, Linea Forca, Linea Staffal-Sitten, Linea dei Salati, Linea Santa Anna, Linea delle Marmotte, Linea Staffal-Mos, Linea Punta Jolanda, Linea del Castore e Condotta forzata CVA. La rete è suddivisa in diverse sezioni numerate (1-11) e include diverse strutture (1-5). La rete è alimentata da diverse sorgenti: la Presa sul torrente (1), la Presa su condotta forzata (2), la Sala macchine (3), il Bacino di raccolta (4), il Pozzetto con innervatore (5), il Pozzetto (6) e l'XM (7).

52

Descrizione del circuito dei fluidi del sistema in alta pressione

Gli impianti di innevamento del comprensorio di Gressoney sono della casa produttiva YORK. I circuiti degli impianti di innevamento automatico YORK possono essere suddivisi in tre circuiti principali.

IL CIRCUITO DELL'ACQUA DI RAFFREDDAMENTO

Il circuito dell'acqua di raffreddamento può svolgere le seguenti funzioni:

- eliminazione delle calorie prodotte dalle unità di compressione dell'aria;
- raffreddamento dell'aria compressa;
- raffreddamento dell'acqua di innevamento.

A tale scopo il circuito è dotato di:

- una pompa di raffreddamento a bassa pressione, sommersa nella vasca fredda, che garantisce la circolazione dell'acqua nei raffreddatori dell'aria dei compressori. Successivamente l'acqua di raffreddamento viene scaricata nella rete fognaria o riciclata in torri di raffreddamento specifiche dei compressori;
- un raffreddatore atmosferico costituito da una torre in muratura o metallica, che poggia su un serbatoio d'acqua dotato di due vasche:
 - a. la vasca calda, che riceve il rabbocco d'acqua attraverso un sistema di regolazione del livello (valvola, pompa, rubinetto con galleggiante, ecc.);
 - b. la vasca fredda che funge da riserva d'acqua per l'innervamento.
- una pompa di ritorno, sommersa nella vasca calda, convoglia l'acqua nella parte superiore della torre, dove un sistema di ripartizione nebulizza l'acqua trasformandola in microgocce sulle superfici di scambio

Un ventilatore situato nella parte inferiore della torre fornisce aria fredda all'interno del raffreddatore mentre un separatore di gocce posto nella parte superiore della torre evita il convogliamento dell'acqua nell'atmosfera.

L'acqua così raffreddata cade a pioggia nella vasca fredda o nei bacini delle torri dei compressori.

IL CIRCUITO DELL'ARIA COMPRESSA

Il circuito dell'aria compressa è costituito da:

- una o più unità di compressione d'aria. Ogni unità è a sua volta costituita da un compressore azionato da un motore elettrico, da un raffreddatore dell'olio, da un raffreddatore dell'aria primario e da separatori intermedi/separatori finali dell'olio. Tutti questi elementi sono racchiusi sotto una copertura insonorizzante;
- un raffreddatore dell'aria costituito da uno scambiatore multitubolare. L'aria che deve essere raffreddata circola attraverso i tubi, mentre l'acqua di raffreddamento circola nella boccia intorno ai tubi;

- un separatore costituito da un serbatoio saldato. La separazione delle microgocce d'acqua e di olio ancora presenti nell'aria avviene tramite impatto su un deflettore contenuto nel separatore. Il prodotto della separazione viene evacuato ciclicamente all'esterno da un sistema di scarico automatico. L'aria, dopo essere stata sottoposta a questo trattamento, viene convogliata nelle tubazioni che alimentano la valvola modulatrice di ogni singolo riparo.

IL CIRCUITO DELL'ACQUA DI INNEVAMENTO

Le pompe di innevamento possono essere:

- sommerse nella vasca fredda, per gli impianti meno recenti;
- in superficie e alimentate da pompe a bassa pressione sommerse nella vasca fredda;
- in superficie e con aspirazione diretta nella vasca fredda;
- in superficie e funzionanti direttamente su un bacino di ritenuta (se l'acqua è fredda).

All'uscita di ciascuna pompa è situata una valvola di ritegno. Se l'impianto include diverse piste, le valvole delle antenne automatiche consentono, se necessario, di mettere in funzione separatamente ciascuna pista. Tali valvole sono situate nella sala macchine oppure nelle camere delle valvole previste per tale scopo.

In ogni punto basso delle piste, una valvola automatica consente lo scarico delle tubazioni all'arresto dell'impianto. Tali valvole sono situate nelle sale macchine (piste di salita) o nella camera di scarico (pista di discesa).

La valvola modulatrice, presente in ogni riparo e dotata di modulo elettronico, comunica con il computer e regola la portata d'acqua necessaria a ciascun innevatore. In alcune casi, le valvole di regolazione controllano la pressione dell'acqua di mandata delle pompe, durante le fasi di riempimento o durante la fase in cui la portata è ridotta.

Principio di funzionamento del sistema di innevamento

La neve artificiale YORK viene ottenuta mediante cristallizzazione in atmosfera fredda di microgocce di acqua finemente nebulizzata dai cannoni sparaneve YORK.

Tale nebulizzazione viene ottenuta grazie ad una miscela ben amalgamata di acqua pressurizzata e di aria compressa, prodotte in una sala macchine (o skid di unità di piccole dimensioni).

La sala macchine possono contenere pertanto:

- il/i compressore/i d'aria;
- le apparecchiature di controllo e regolazione necessarie al corretto funzionamento dell'impianto;
- l'unità di trattamento dell'aria;
- il /i gruppo/i motopompa/e ad alta pressione, sommersi o in superficie;
- un raffreddatore atmosferico che raffredda l'acqua portandola ad una temperatura più vicina possibile a 0°C.

Lungo la pista sono situati i ripari all'interno dei quali sono montate le valvole motorizzate YORK che alimentano con aria e acqua i cannoni YORK. I cannoni sparaneve possono essere montati indifferentemente su asta, slitta o slittino.

Alcuni moduli di comunicazione, situati sempre all'interno di ciascun riparo, consentono di dialogare costantemente con il computer centrale, posto nella sala macchine di Staffal.

L'acquisizione e la trasmissione ininterrotta al computer dei dati termici ed igrometrici avvengono tramite sonde situate in prossimità dei cannoni sparaneve ogni 5 o 6 postazioni.

I dati di temperatura secca e di umidità relativa acquisiti vengono aggregati in un parametro, la temperatura umida, che gestisce l'avvio o l'arresto del sistema.

Giornalmente, prima dell'inizio dell'innevamento e al termine delle operazioni di innervamento, gli operatori provvedono a due azioni fondamentali, rispettivamente:

- riempimento delle tubazioni delle linee. Questa operazione viene effettuata mandando il linea l'acqua con portate minori attraverso dei bypass delle tubazioni principali per evitare che pressioni troppo elevate danneggino i tubi. Solo al termine di questa operazione vengono messe in funzione le tubazioni principali che fanno raggiungere all'acqua la pressione necessaria al funzionamento;
- svuotamento completo di tutte le linee per evitare fenomeni di congelamento dell'acqua all'interno delle tubazioni stesse, che comprometterebbe il proseguimento delle operazioni sul sistema durante il proseguimento della stagione.

L'operatore seleziona sulla tastiera del terminale le zone che devono essere innervate, il loro ordine di priorità e la qualità della neve desiderata, quindi mette il computer in modalità di attesa. Quando, in una o più zone, le condizioni relative alla temperatura e all'igrometria sono favorevoli, il computer trasmette l'ordine di avvio all'impianto, tenendo conto delle priorità richieste dall'utente. Uno o più compressori, a seconda del numero di cannoni che si trovano nella o nelle zone favorevoli, vengono messi in funzione ed erogano l'aria compressa precedentemente raffreddata all'interno della rete. A loro volta, le pompe ad alta pressione immettono l'acqua raffreddata nel circuito di alimentazione delle piste.

Le valvole poste nei pozzetti ricevono costantemente le istruzioni di regolazione da parte del computer. Il computer calcola le portate di aria ed acqua che ogni singola valvola deve lasciar passare, a seconda della temperatura e dell'igrometria indicate dalla sonda più vicina ai cannoni utilizzati e dalla qualità della neve selezionata. Il computer controlla costantemente, per ciascuna valvola, le portate e a pressione dell'aria e dell'acqua inviate al cannone.

Se la zona favorevole si estende, il computer comanda l'apertura delle nuove valvole in questione e, all'occorrenza, l'avviamento di compressori e pompe supplementari.

In caso di abbassamento della temperatura o dell'igrometria in una determinata zona, il computer comanda, a ciascuna valvola interessata, di aumentare la portata dell'acqua e pertanto la qualità della neve prodotta. In tal modo, in qualsiasi momento, ogni singolo cannone in funzione produce la quantità massima di neve corrispondente alla temperatura e all'igrometria del punto in cui si trova.

La decisione delle zone da innervare viene presa dalla direzione del comprensorio a seconda delle necessità man mano riscontrate sulle piste.

Ad inizio stagione, ad esempio, la priorità risulta essere quella di creare una strato base di neve (dello spessore di 20-30 cm) sull'intera estensione delle piste, e specialmente nelle zone di

collegamento tra le tre macrozone individuate, per garantire l'apertura parziale o totale del comprensorio anche in caso di scarsità delle precipitazioni naturali.

Durante il corso della stagione, la priorità risulta essere quella del mantenimento dello stato di innevamento delle piste. A seconda dell'esposizione, della configurazione morfologica e dello stato di innevamento delle piste, vengono decise man mano le strategie da assumere, ovvero le porzioni di comprensorio da innevare.

APPENDICE B

Caratteristiche degli apparati innevatori

Nell'impianto di innevamento di Gressoney sono disponibili due tipologie di innevatori, entrambi utilizzati nelle reti ad alta pressione, prodotti dalla Johnson Controls. Le caratteristiche tecniche degli apparati innevatori sono riportate nel seguito.

INNEVATORI BORAX

Gli innevatori alta pressione BORAX fanno parte della famiglia degli innevatori del tipo alta pressione o bi-fluido, montati su torre. Essi sono composti da 4 sottogruppi:

- il gruppo colonna fissa: il quale posiziona la base dell'innevatore alta pressione a circa due metri al di sopra del terreno;
 - il gruppo colonna girevole: il quale permette il posizionamento in azimuth su 360° e l'installazione regolabile (e posizioni a scelta) dell'innevatore alta pressione sulla pista mediante l'aiuto di un gruppo pompa-martinetto smontabile;
 - il gruppo pertica: il quale trasporta l'acqua e l'aria nella parte alta della pertica dove si trova l'innevatore che assicurerà il seguito la produzione di neve;
 - il gruppo del martinetto di sollevamento: costituito da una pompa, un serbatoio ed un martinetto ad olio, che permette di portare l'innevatore alta pressione nella posizione di produzione neve.
- Una volta installato, l'innevatore viene collegato alle tubature dell'acqua e dell'aria mediante tubi flessibili.

I tipi di innevatori BORAX presenti sono BORAX B6, BORAX 2B6 e BORAX 10. L'innevatore alta pressione 2B6 è identico all'innevatore alta pressione B6, salvo che per la pertica che è attrezzata alla sua estremità con una lamina speciale permettendo di adattare e teste d'innevatore alta pressione B6. Le Tabelle B1 e B2 riportano le caratteristiche tecniche mentre la Tabella B3 riporta le prestazioni degli innevatori.

Tab. B1: Caratteristiche tecniche degli innevatori BORAX B6 e 2B6.

Altezza	6.8 m	Sporgenza	1.34 m
	6.2 m		2.6 m
Pressione aria	6.5÷10 bar		
Pressione acqua	11.2 bar (massimo necessario)		
Livello sonoro	85 dBA per B6 e 88 dBA per 2B6 (parte anteriore, a 10 m)		
	80 dBA per B6 e 83 dBA per 2B6 (parte anteriore, a 20m)		
	72 dBA per B6 e 75 dBA per 2B6 (parte anteriore, a 50 m)		

Tab. B2: Caratteristiche tecniche degli innevatori BORAX B10.

Altezza	9.7 m	Sporgenza	2.13 m
	8.9 m		4.15 m
Pressione aria	6.5÷10 bar		
Pressione acqua	11.2 bar (massimo necessario)		
Livello sonoro	83 dBA (parte anteriore, a 10 m)		
	79 dBA (parte anteriore, a 20m)		
	72 dBA (parte anteriore, a 50 m)		

Tab. B3: Prestazioni degli innevatori B6, 2B6 e B10.

T_{umida} [°C]	Portata d'acqua [m³/h]			Pressione acqua [bar assoluti]		Portata d'aria [Nm³/h]			RA/E	
	B6	2B6	B10	B6 e 2B6	B10	B6	2B6	B10	B6 e 2B6	B10
-4	6.9	13.8	8.1	8.7	9.3	255	510	224	37	28
-9	10.1	20.2	11.6	9.8	10.3	178	356	151	18	13

Le prestazioni sopra riportate sono riferite a:

- qualità della neve =5
- temperatura dell'acqua < 2.8 °C
- temperatura dell'aria <20°C
- pressione aria = 8.5 bar
- umidità relativa = 60%
- pressione atmosferica = 900 hpa

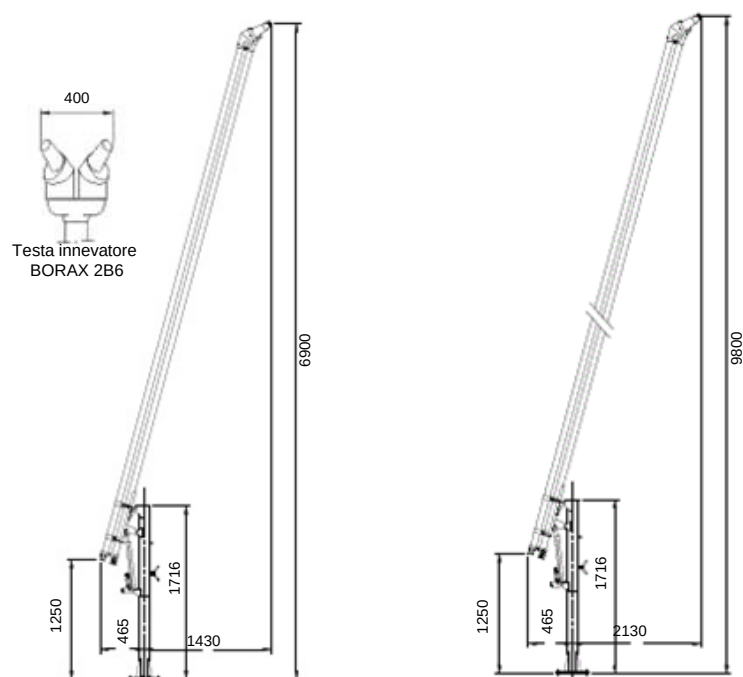


Fig. B1: A destra, schema del BORAX B6 con dettaglio della testa del Borax 2B6; a sinistra, schema del Borax B10 (Jonhson Controls).

INNEVATORI RUBIS

I Rubis sono innevatori ad alta pressione o bi-fluido, montati su un insieme di supporto, che impiegano il principio della polverizzazione diretta dell'acqua tramite 3 circuiti idraulici, detti corone, dotati in uscita di ugelli calibrati. La trasformazione dell'acqua polverizzata in neve è garantita da due nucleatori a miscela interna aria/acqua. Il primo degli ugelli (corona 1) è alimentato dalla valvola del pozzetto pista, il secondo e il terzo (corone 2 e 3) sono alimentati in funzione delle temperature umide da uno dei tre sistemi seguenti, a scelta, posizionato a valle della valvola del pozzetto:

- due valvole aggiuntive V2000 (clarinetto) poste nel pozzetto a valle della valvola del pozzetto;
- una Valvola Automatica Rubis (VAR) posta all'esterno del pozzetto a livello della parte inferiore dell'asta dell'innervatore;
- una Valvola Manuale Rubis (VMR) isentica alla VAR, ma a comando manuale.

Esistono varie versioni degli innevatori Rubis, riportati in Tabella B4, che differiscono per altezza dell'asta, per indice di portata (clima freddo, clima caldo e clima molto caldo) e per angolo di polverizzazione (80° per la versione standard e 30° per quella "Single Throw").

Tab. B4: Versioni disponibili per gli innevatori Rubis.

	TIPI DI RUBIS					
Altezza	4 m	6 m		10 m		
Portata	Clima caldo	Clima caldo	Clima freddo	Clima freddo	Clima caldo	Clima molto caldo
Angolo	Single Throw ⁽⁴⁾	Standard	Single Throw	Standard	Single Throw	CT
Titolo	VA4 ST	R6 CC ⁽²⁾	R6 ST	R10 ⁽¹⁾	R10ST	R10CT ⁽³⁾

- ⁽¹⁾ questo modello si comporta meglio a basse temperature; la sua portata totale è quindi più elevata;
- ⁽²⁾ questo modello esiste unicamente in versione “clima caldo” e presenta ugelli più piccoli a indice più basso, che gli permettono di funzionare a temperature più elevate rispetto all’R10 e di massimizzare la portata tra -4°C e -6°C;
- ⁽³⁾ questo modello presenta ugelli più piccoli a indice due volte più basso che l’R6CC che gli permettono di funzionare a temperature più elevate e di massimizzare la portata fra -2°C e -4°C;
- ⁽⁴⁾ il getto di questo tipo di innevatore è particolarmente adatto alle piste strette e ai sentieri. Le loro particolarità si trovano a livello dell’angolo degli ugelli di polverizzazione (riduzione dell’angolo da 80° a 30°), del tipo di ugelli di polverizzazione più compatti e dei nucleatori specifici con inclinazione di 10° degli ugelli rispetto all’asse dei nucleatori (angolo di 60° tra ognuno degli ugelli dei due nucleatori).

L’innervatore RUBIS è composto dai seguenti sottogruppi:

- il gruppo di supporto che posiziona la base dell’innervatore a circa 2 metri dal suolo e ne consente la rotazione in tutti i sensi su 360° nonché il posizionamento dell’innervatore nella pista tramite un martinetto di sollevamento rimovibile. Sono attualmente disponibili due supporti: supporto PFE (supporto per pozzetto in cemento o Passaggio dei Flessibili Esterno) e supporto PFI (supporto per pozzetto in acciaio o Passaggio dei Flessibili Interno);
- l’asta, fissata sul supporto d’inclinazione, porta l’acqua attraverso i tre condotti (un condotto per ogni corona) e l’aria (un condotto centrale) fino all’innervatore alta pressione situato in cima all’asta;
- il distributore d’acqua delle corone 2 e 3;
- la testa dell’innervatore. L’innervatore Rubis Clima Freddo, Clima Caldo o Single Throw garantisce la produzione di neve a partire da tre corone dotate di due ugelli di polverizzazione e di due nucleatori.

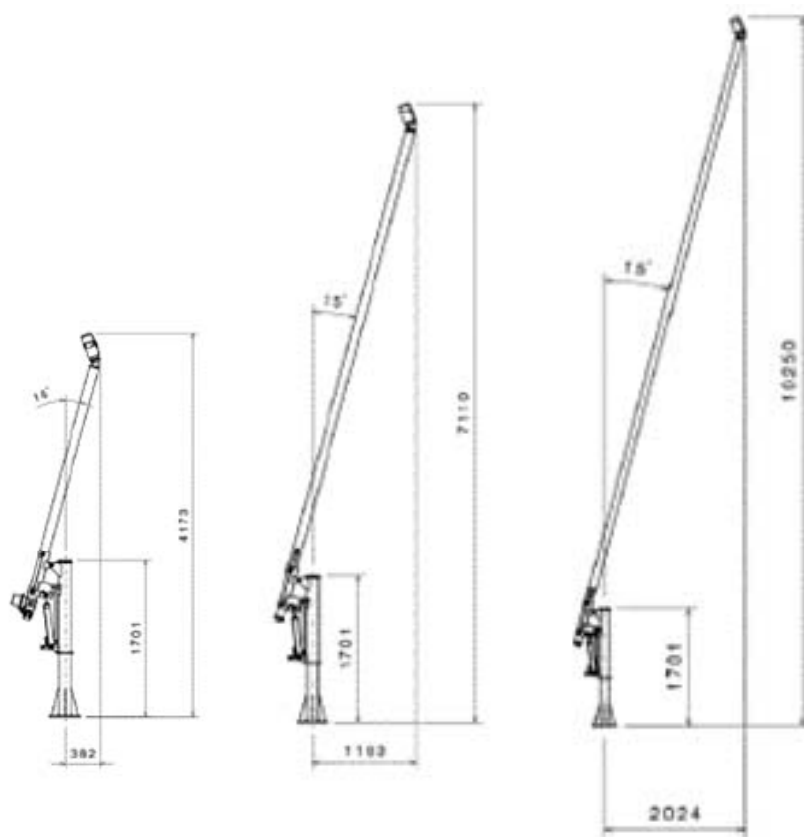


Fig. B2: Schema degli innevatori RUBIS, da sinistra rispettivamente 4 m, 6 m e 10 m, con supporto PFE (Jonhson Controls).

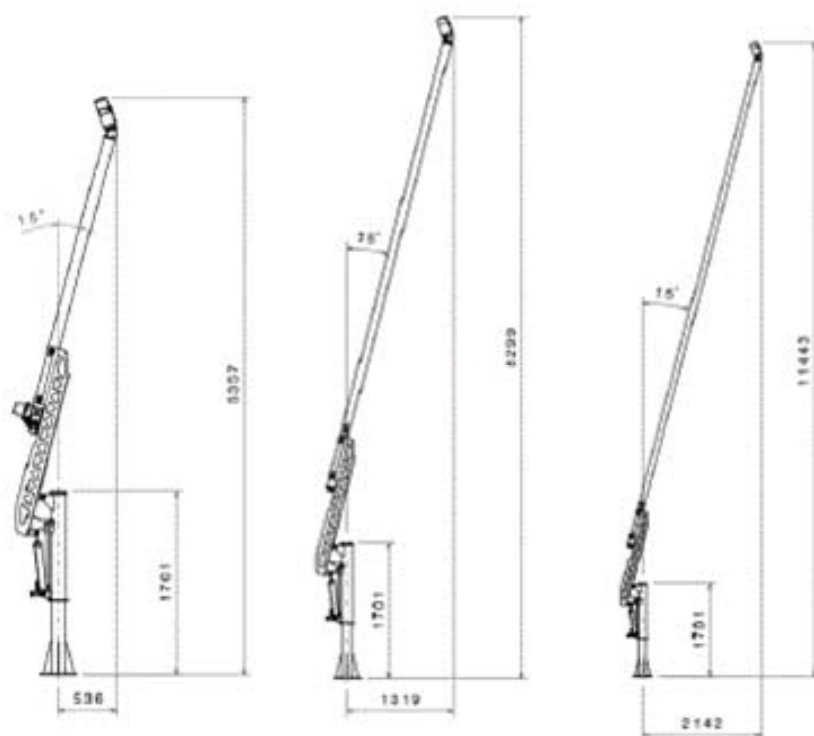


Fig. B3: Schema degli innevatori RUBIS, da sinistra rispettivamente 4 m, 6 m e 10 m, con supporto PFI (Jonhson Controls).

Tab. B5: Caratteristiche tecniche degli innevatori RUBIS.

	Distanza	VA4 ST	R6 CC e R6 ST	R10 e R10 ST	R10 CT
Massa		33.8 kg	44 kg	64 kg	64 kg
Pressione Acqua		da 20 a 100 bar	da 20 a 100 bar	da 20 a 100 bar	da 20 a 100 bar
Pressione Aria		da 6 a 10 bar assoluti	da 6 a 10 bar assoluti	da 6 a 10 bar assoluti	da 6 a 10 bar assoluti
Livello sonoro	20 m	72 dBA (parte anteriore)	72 dBA (parte anteriore)	69 dBA (parte anteriore)	70 dBA (parte anteriore)
	50 m	64 dBA (parte anteriore)	64 dBA (parte anteriore)	62 dBA (parte anteriore)	63 dBA (parte anteriore)

Tab. B6: Prestazioni degli innevatori RUBIS.

T _{umida} [°C]	Portata d'acqua [m ³ /h]					Pressione acqua [bar assoluti]					Portata d'aria [Nm ³ /h]					RA/E				
	VA4 ST	R6 CC e R6 ST	R10 CT	R10 ST	R10	VA4 ST	R6 CC e R6 ST	R10 CT	R10 ST	R10	VA4 ST	R6 CC e R6 ST	R10 CT	R10 ST	R10	VA4 ST	R6 CC e R6 ST	R10 CC	R10 ST	R10
-4	3.3	3.3	3.3	6.6	5	40	40	40	40	40	90	90	55	42	42	27	27	17	6	9
-10	13.3	13.3	6.6	13.2	19.9	40	40	40	40	40	90	90	55	42	42	7	7	8.5	3	2

Le prestazioni sopra riportate sono riferite a:

- qualità della neve = 5
- temperatura dell'acqua < 4 °C
- temperatura dell'aria < 20°C
- pressione aria = 8.5 bar
- umidità relativa = 60%
- pressione atmosferica = 900 hpa

L'innervatore Rubis Evolution appartiene alla famiglia dei Rubis ad alta pressione o bi-fluido e ne rappresenta una evoluzione. I miglioramenti riguardano:

- presenza di tre nucleatori a miscela interna aria/acqua per la trasformazione dell'acqua polverizzata in neve;
- funzionamento ottimizzato in condizioni marginali (temperatura di avviamento);
- pressione minima di funzionamento ridotta;
- ottimizzazione della qualità della neve sull'intervallo operativo globale;
- riduzione dell'angolazione degli ugelli di ciascuna corona, che consente di coprire profili e ampiezze di pista estremamente vari;
- miglioramento della protezione contro la formazione di ghiaccio;
- facilità di trasporto e di stoccaggio;

- facilità di montaggio.

Per la stagione 2009/2010 il Rubis Evolution è disponibile in un'unica altezza (10 m) e in versione "Clima Caldo", dotato di tre nucleatori NR6 che formano un angolo di 50° tra di essi. L'angolo di polverizzazione tra ciascun ugello di corone diverse è di 60°. L'R10 CC Evolution presenta ugelli a indice di portata più basso rispetto al Rubis R10 (Clima Freddo) che gli permettono di funzionare a temperature più elevate e di massimizzare la portata fra -3°C e -6°C.

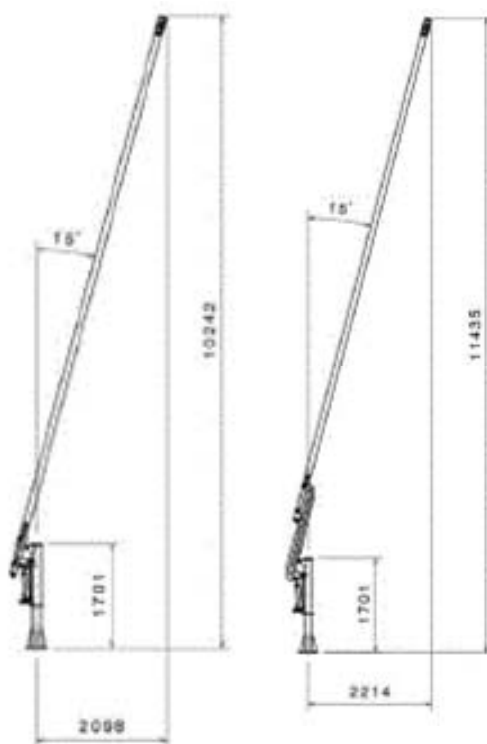


Fig. B4: Schema dell'innervatore Rubis Evolution, con supporto PFE a sinistra e PFI a destra (Jonhson Controls).

Le caratteristiche e le prestazioni dell'innervatore Rubis Evolution sono riportate nelle Tabelle B7 e B8.

Tab. B7: Caratteristiche tecniche dell'innervatore Rubis Evolution.

	Distanza	R10 CC Evolution
Massa		64 kg
Pressione Acqua		da 20 a 100 bar
Pressione Aria		da 6 a 10 bar assoluti
Livello sonoro	20 m	69 dBA (parte anteriore)
	50 m	62 dBA (parte anteriore)

Tab. B8: Prestazioni dell'innervatore Rubis Evolution.

T_{umida} [°C]	Portata d'acqua [m ³ /h]	Pressione acqua [bar assoluti]	Portata d'aria [Nm ³ /h]	RA/E
-4	6.6	40	42	6.4
-10	13.2	40	42	3.2

Anche in questo caso le prestazioni si riferiscono alle seguenti condizioni:

- qualità della neve = 5
- temperatura dell'acqua < 4 °C
- temperatura dell'aria < 20°C
- pressione aria = 8.5 bar
- umidità relativa = 60%
- pressione atmosferica = 900 hpa

Le figure seguenti riportano il posizionamento degli innovatori lungo le piste, nei diversi anni analizzati.

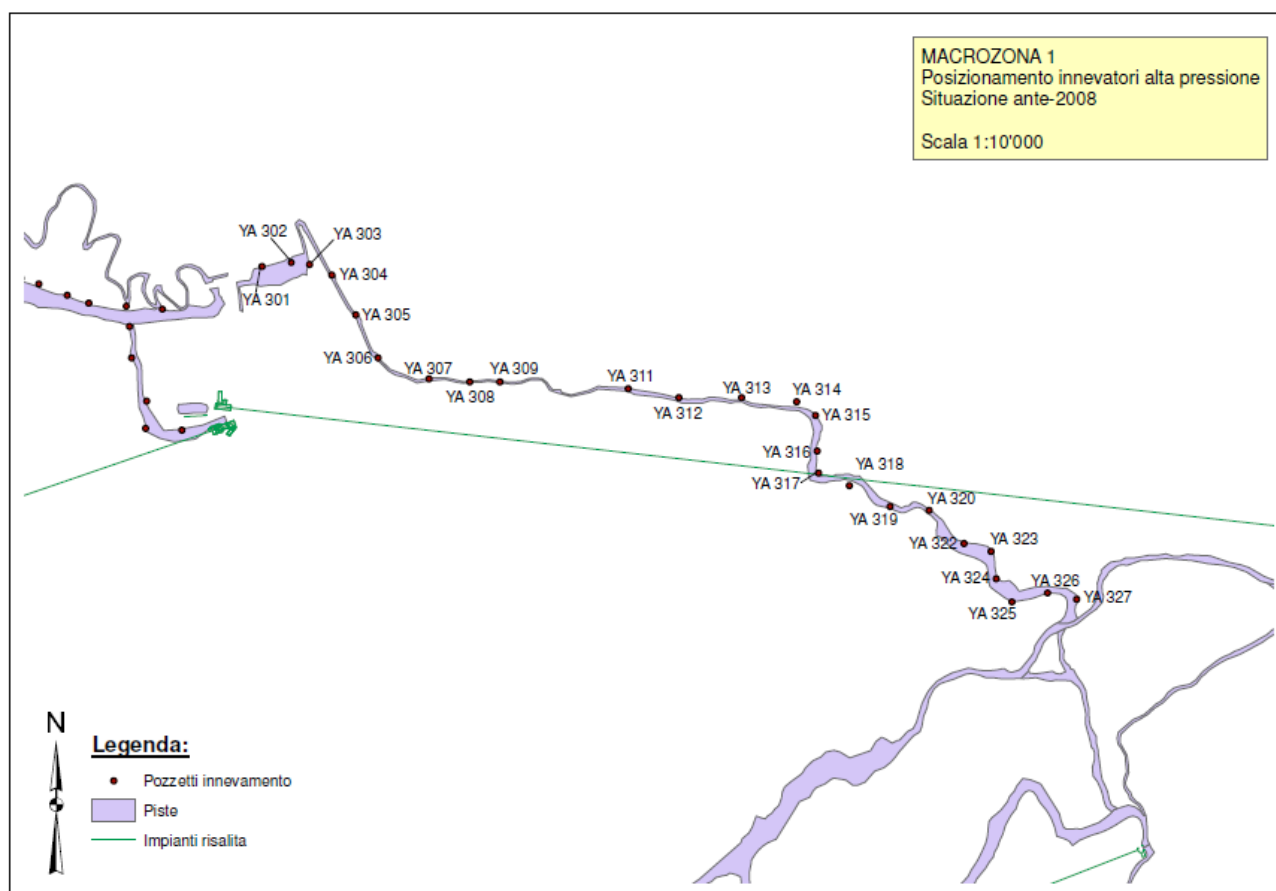


Fig. B5: Posizionamento degli innevatori ad alta pressione lungo le piste della macrozona 1, nelle stagioni 2006-2007 e 2007-2008.

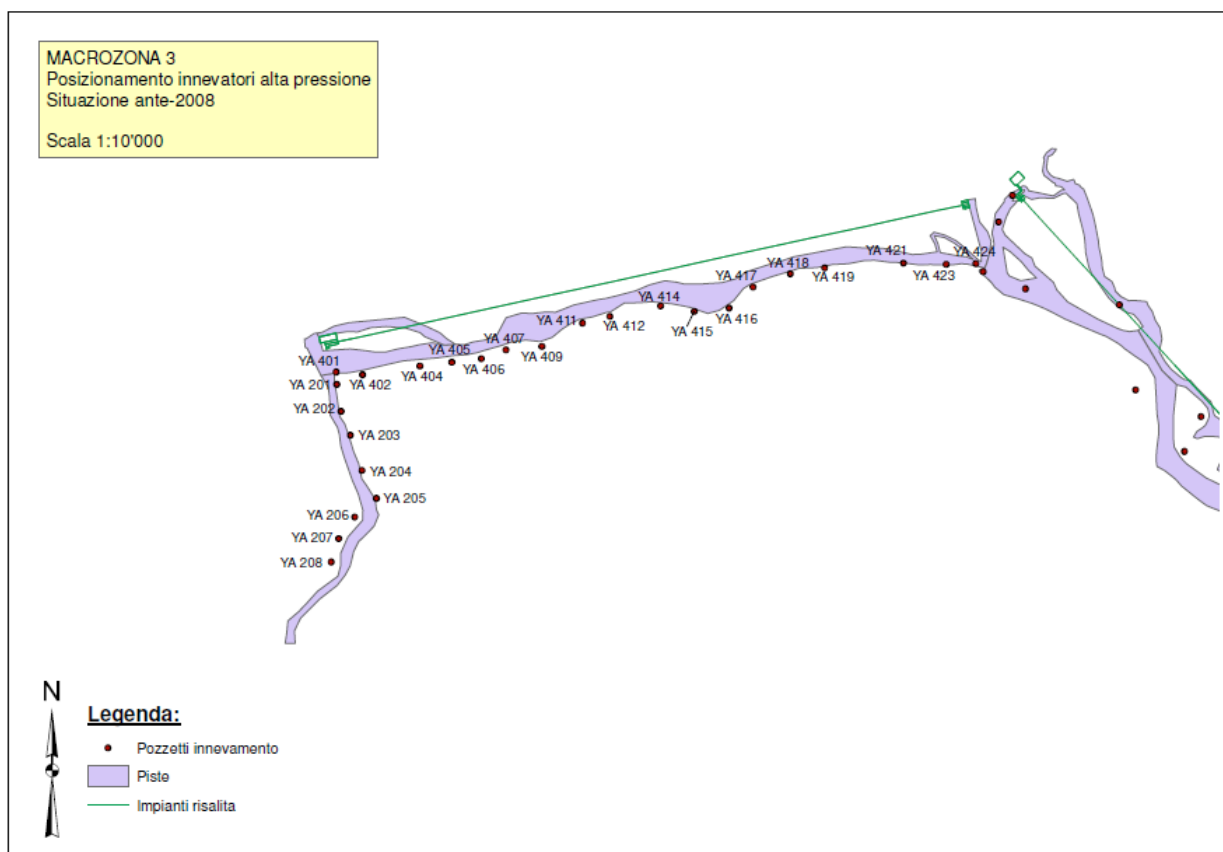


Fig. B6: Posizionamento degli innevatori ad alta pressione lungo le piste della macrozona 3, stagioni 2006-07 e 2007-08.

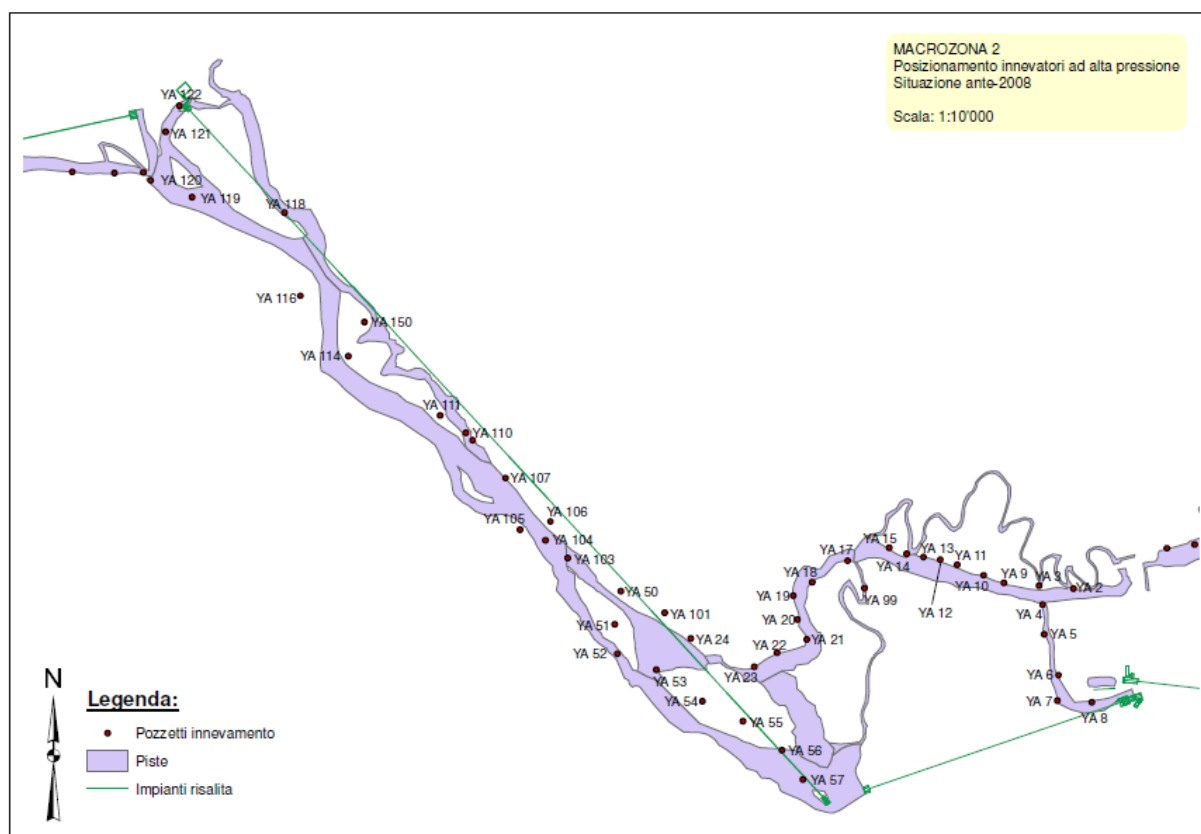


Fig. B7: Posizionamento degli innevatori lungo le piste della macrozona 2, stagioni 2006-07 e 2007-08.

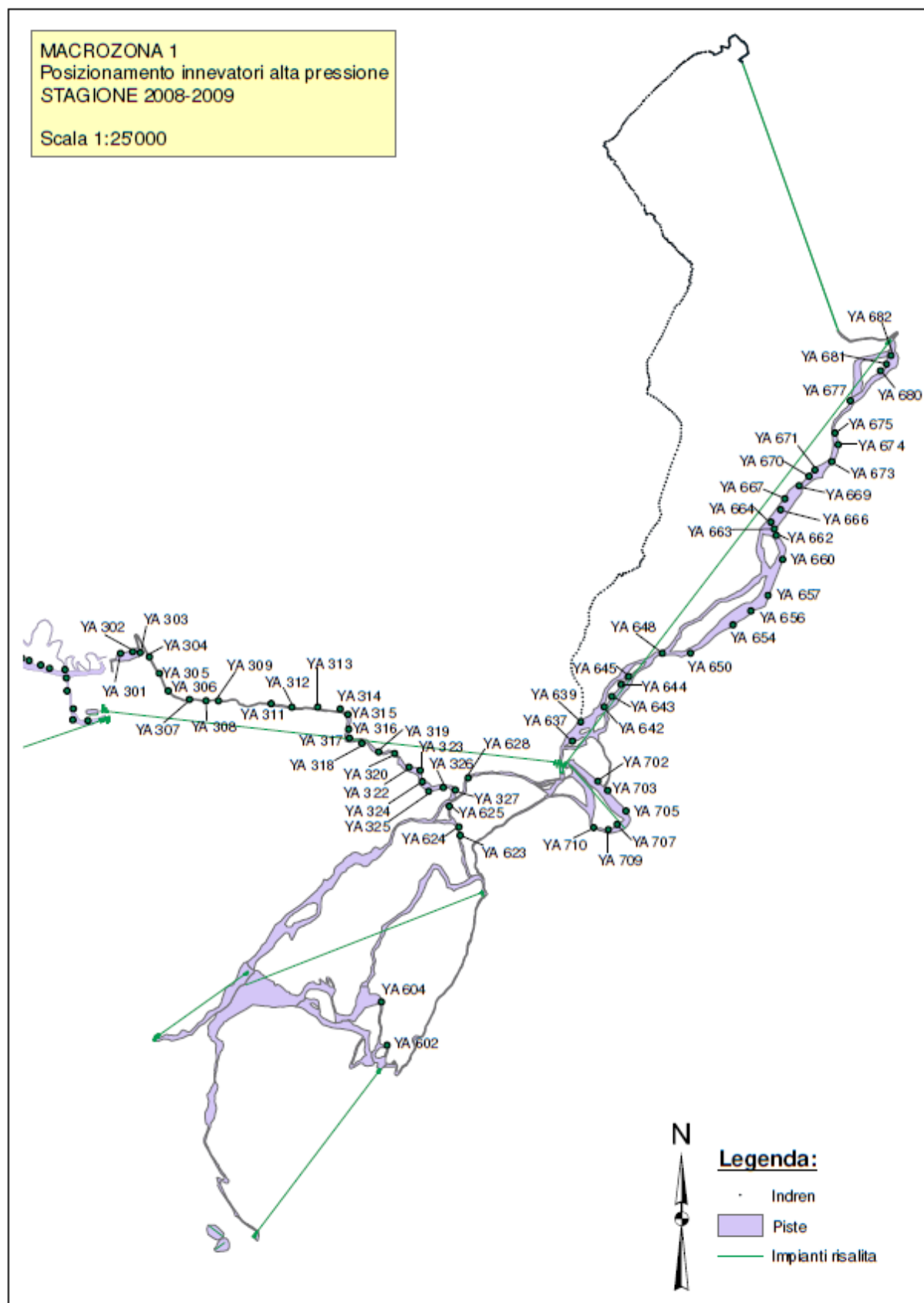


Fig. B8: Posizionamento degli innevatori ad alta pressione lungo le piste della macrozona 1, nella stagione 2008-2009.

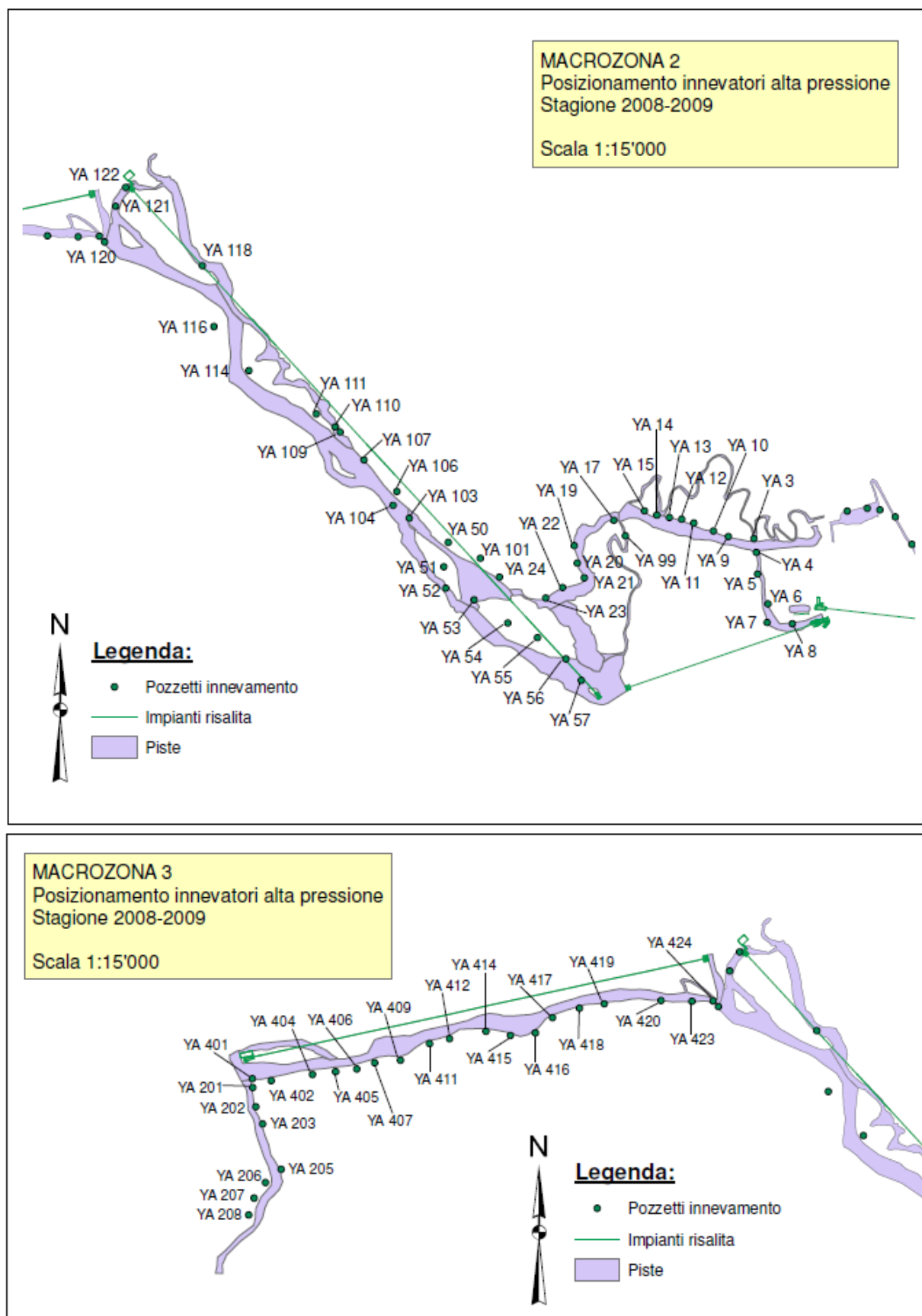


Fig. B9: Posizionamento degli innevatori ad alta pressione lungo le piste delle macrozone 2 e 3, nella stagione 2008-2009.

SDM2 - SITTEN
YPLC + MMI 760
Alt. 2300m

SDM1 - STAFFAL
YPLC + MMI 760
Alt. 1850m

G6 – Pista del Moos

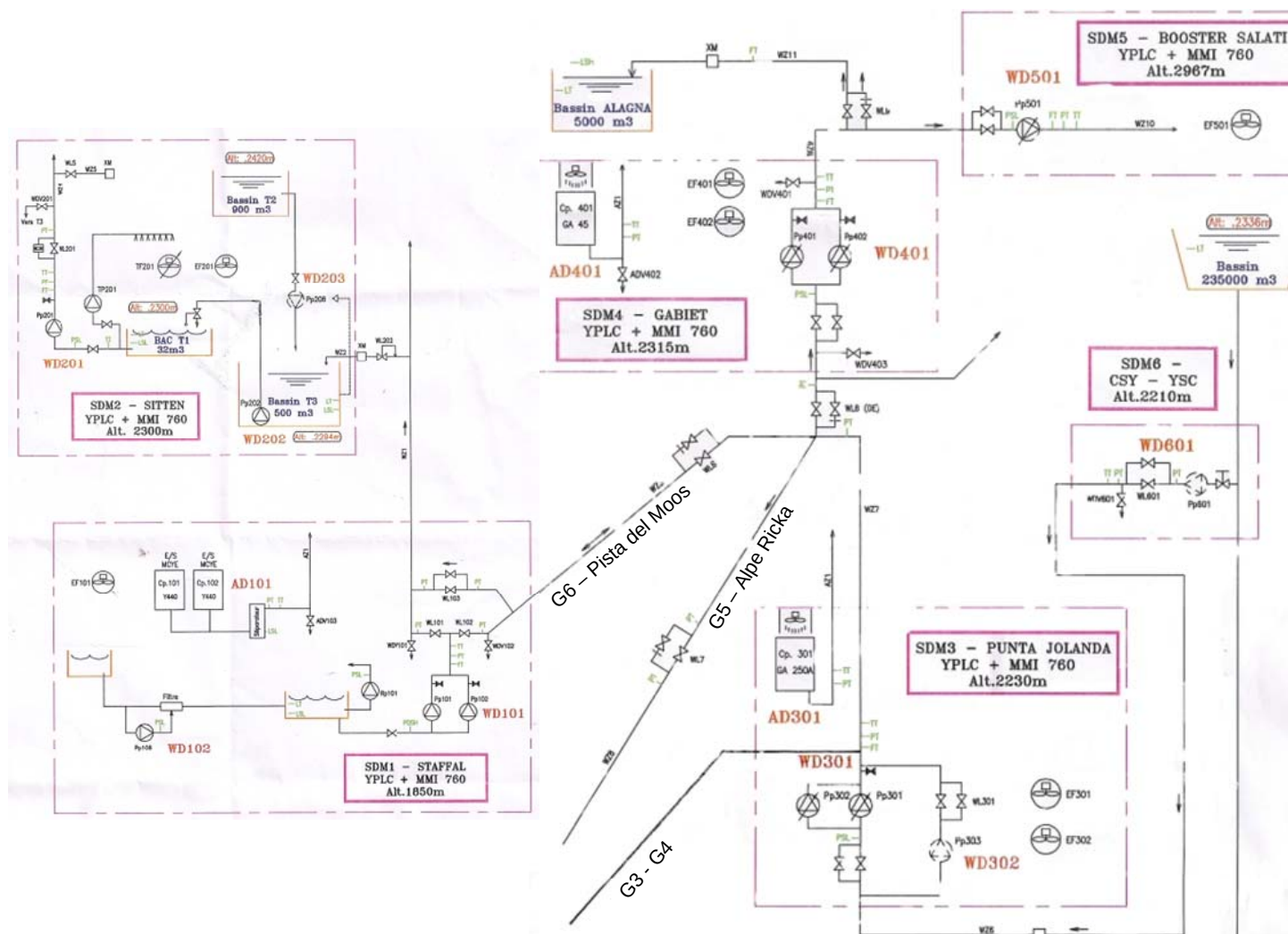


Fig. B11: Circuito idraulico per l'alta pressione e per la produzione di aria compressa – situazione post 2008, dettaglio.

APPENDICE C

Stazioni idro-meteorologiche

Le stazioni di misura prese in considerazione in questo studio afferiscono in parte alla rete di monitoraggio idro-meteorologico della regione Valle d'Aosta e in parte alla Monterosa Ski (gestione affidata alla Digiteco s.r.l.). Le caratteristiche delle stazioni sono riportate nelle tabelle che eguono.

Tab. C1: Caratteristiche della stazione di Alpe Courtlys

Alpe Courtlys	
Tipo	Automatico
Gestione	Centro Funzionale
Codice stazione	1260
Comune	Gressoney La Trinité
Comunità montana	Walser – Alta Valle del Lys
Provincia	AO
Zona	B
Bacino idrografico	Torrente Lys
Quota	1992 m s.l.m.
UTM X	407521
UTM Y	5080341
Anno di installazione	2001
Strumentazione	Termometro
	Pluviometro
	Idrometro
Descrizione generale	Sensore idrometrico posizionato sul ponte in legno, in prossimità dell'argine sinistro. Sezione stabile completamente arginata
Modalità di accesso	Unicamente a piedi su sentiero che parte dal parcheggio di Staffal

Tab. C2: Caratteristiche della stazione di D'Ejola

D'Ejola	
Tipo	Automatico
Proprietà	ARPA
Codice stazione	3550
Comune	Gressoney La Trinité
Comunità montana	Walser – Alta Valle del Lys
Provincia	AO
Zona	B
Bacino idrografico	Torrente Lys
Quota	1837 m s.l.m.
UTM X	408085
UTM Y	5078941
Anno di installazione	2002
Strumentazione	Termometro
	Pluviometro
	Igrometro
	Barometro
Descrizione generale	Stazione ubicata in corrispondenza di quella storica manuale "D'Ejola-Orsia" tutt'oggi attiva
Modalità di accesso	Strada di accesso all'abitazione privata n°1 della feazione D'Ejola Superiore

Tab. C3: Caratteristiche della stazione di Eselbode

Eselbode	
Tipo	Automatico
Proprietà	ARPA
Codice stazione	1270
Comune	Gressoney La Trinité
Comunità montana	Walser – Alta Valle del Lys
Provincia	AO
Zona	B
Bacino idrografico	Torrente Lys
Quota	1642 m s.l.m.
UTM X	408890
UTM Y	5076090
Anno di installazione	2001
Strumentazione	Termometro
	Pluviometro riscaldato
	Nivometro
Descrizione generale	Situata a poca distanza dalla stazione storica manuale (ubicata nei pressi della centrale CVA)
Modalità di accesso	Strada asfaltata di accesso alla centrale idroelettrica di Eselbode

Tab. C4: Caratteristiche della stazione di Bieltschocke

Bieltschocke	
Tipo	Automatico
Proprietà	ARPA
Codice stazione	3040
Comune	Gressoney Saint Jean
Comunità montana	Walser – Alta Valle del Lys
Provincia	AO
Zona	B
Bacino idrografico	Torrente Lys
Quota	1370 m s.l.m.
UTM X	409345
UTM Y	5069066
Anno di installazione	2002
Strumentazione	Termometro
	Pluviometro riscaldato
	Nivometro
	Eliofanometro
	Solarimetro
	Anemometro
	Igrometro
Descrizione generale	Stazione ubicata su area prativa recintata
Modalità di accesso	Strada comunale che costeggia il bacino artificiale

Tab. C5: Caratteristiche della stazione di Gabiet

Gabiet	
Tipo	Automatico
Proprietà	ARPA
Codice stazione	1280
Comune	Gressoney La Trinité
Comunità montana	Walser – Alta Valle del Lys
Provincia	AO
Zona	B
Bacino idrografico	Torrente Lys
Quota	2379 m s.l.m.
UTM X	410705
UTM Y	5078465
Anno di installazione	2002
Strumentazione	Termometro
	Pluviometro
	Nivometro
Descrizione generale	Stazione ubicata su area prativa in fregio al lago artificiale
Modalità di accesso	Pista di servizio degli impianti sciistici

Tab. C6: Caratteristiche della stazione di Weissmatten

Weissmatten	
Tipo	Automatico
Proprietà	ARPA
Codice stazione	1300
Comune	Gressoney Saint Jean
Comunità montana	Walser – Alta Valle del Lys
Provincia	AO
Zona	B
Bacino idrografico	Torrente Lys
Quota	2038 m s.l.m.
UTM X	408692
UTM Y	5066969
Anno di installazione	2002
Strumentazione	Termometro
	Pluviometro riscaldato
	Nivometro
	Anemonetro
Descrizione generale	La stazione è ubicata sul versante appena a valle dell'impianto di risalita della pista "Weissmatten".
Modalità di accesso	Pista di servizio degli impianti sciistici

Tab. C7: Caratteristiche della stazione di Colle Bettaforca

Colle Bettaforca	
Tipo	Automatico
Proprietà	Monterosa Ski
Provincia	AO
Bacino idrografico	Torrente Lys
Quota	2672 m
UTM X	405438.429
UTM Y	5081409.169
Anno di installazione	2002
Strumentazione	Termometro
	Igrometro
	Anemometro
Modalità di accesso	Pista di servizio degli impianti sciistici

Tab. C8: Caratteristiche della stazione di Passo dei Salati

Passo dei Salati	
Tipo	Automatico
Proprietà	Monterosa Ski
Provincia	AO
Bacino idrografico	Torrente Lys
Quota	2970 m
UTM X	412075.392
UTM Y	5081235.970
Anno di installazione	2002
Strumentazione	Termometro
	Igrometro
	Anemometro
Modalità di accesso	Pista di servizio degli impianti sciistici

Tab C9: Caratteristiche della stazione di Lys D'Ejola

D'Ejola - Lys	
Proprietà	SIMN
Provincia	AO
Bacino idrografico	Torrente Lys
Estensione bacino	30.4 km ² (aree glaciali 47.4%)
UTM X	408085
UTM Y	5078941
Anni di funzionamento	1932-42; 1949-50
Strumentazione	Idrometro

Consistenza dei dati

Di seguito vengono proposte le tabelle di consistenza dei dati meteorologici per gli anni di funzionamento delle stazioni considerate.

TEMPERATURA

[illegible]

ALTEZZA DEL MANTO NEVOSO

[illegible]

UMIDITA' RELATIVA

[illegible]

VELOCITA' DEL VENTO

[illegible]

PRECIPITAZIONE

[illegible][illegible]

ELIOFANIA E RADIAZIONE SOLARE

STAZIONE AUTOMATICA	Gressoney La Trinité - Bieltschocke	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		2002								2010

ALLEGATO

In questa sezione sono riportate, per gli anni dal 1928 al 2011, le serie di precipitazione liquida in mm (barre istogramma azzurre), precipitazione solida e innevamento programmato (simulato) in mm equivalenti (barre bicolore verdi e blu, ovvero le quantità si sommano), temperatura in °C (linea continua rossa), spessore del manto nevoso naturale in decimetri (linea continua blu), snow water equivalent (naturale e artificiale) del manto in centimetri equivalenti (rispettivamente linea tratteggiata e continua verde). I grafici sono tutti riferiti ad un punto posto alla quota media dell'are considerata (circa 2350 m s.l.m.)

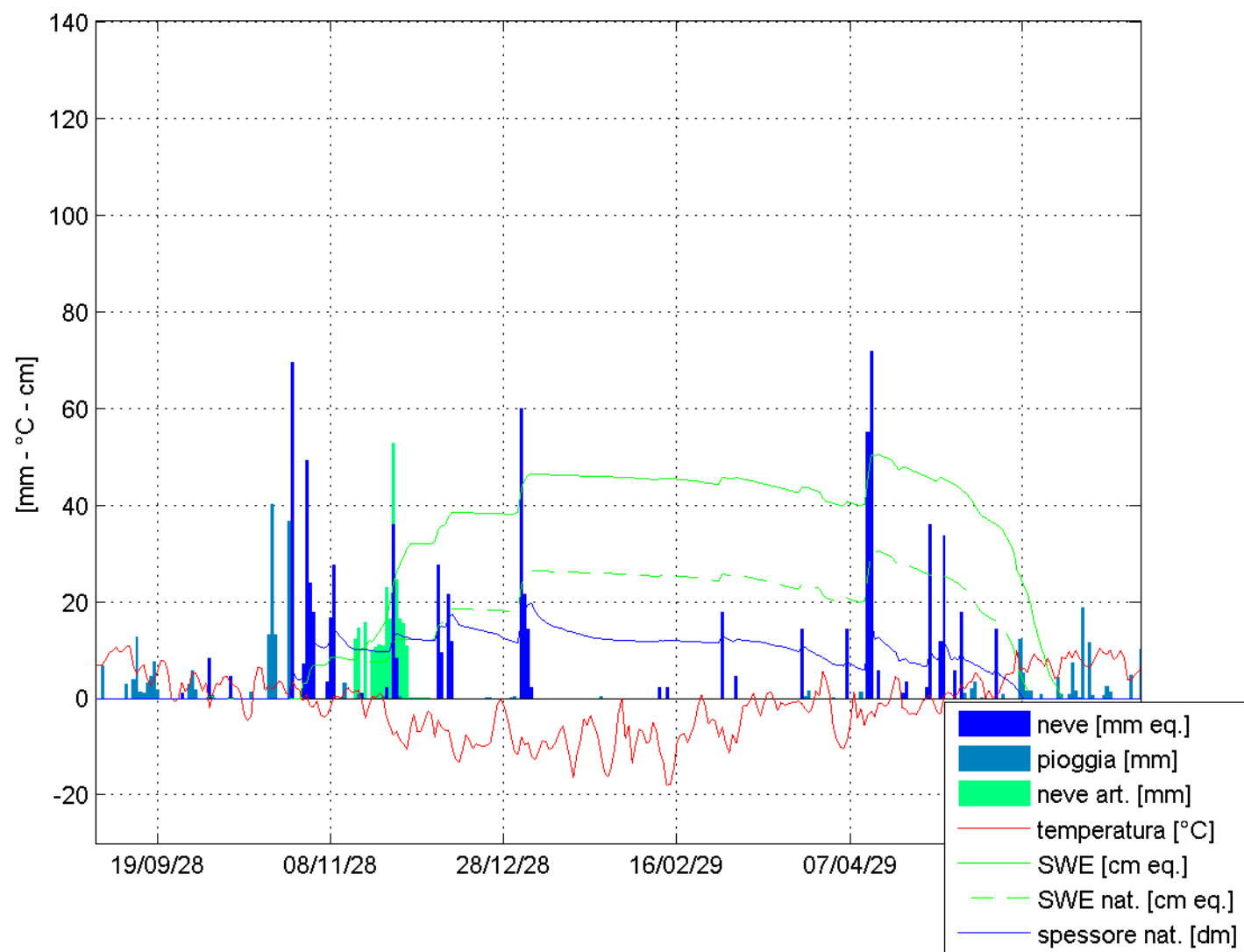


Fig. D1: Serie meteorologiche Anno 1928/1929

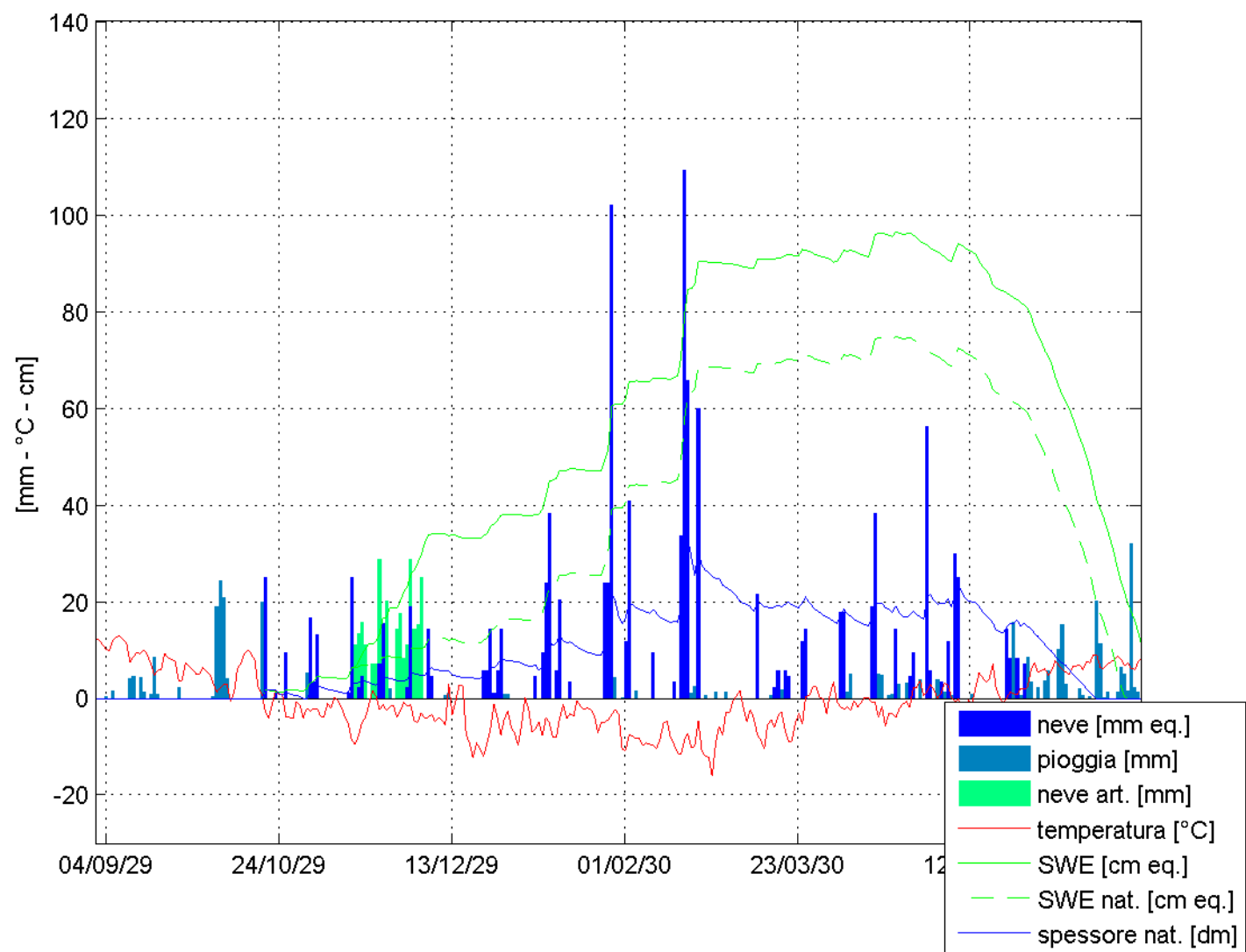


Fig. D2: Serie meteorologiche Anno 1929/1930

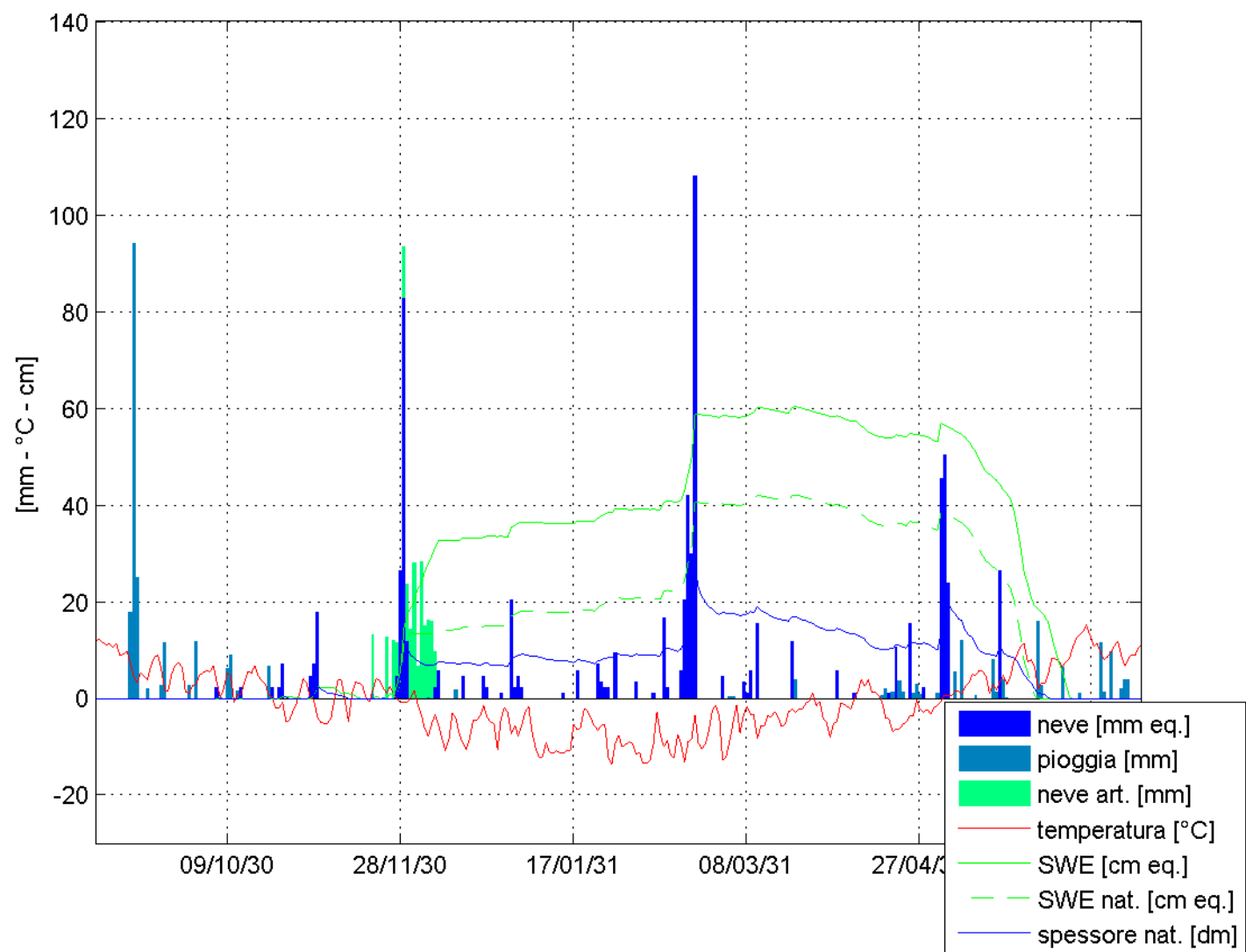


Fig.D3: Serie meteorologiche Anno 1930/1931

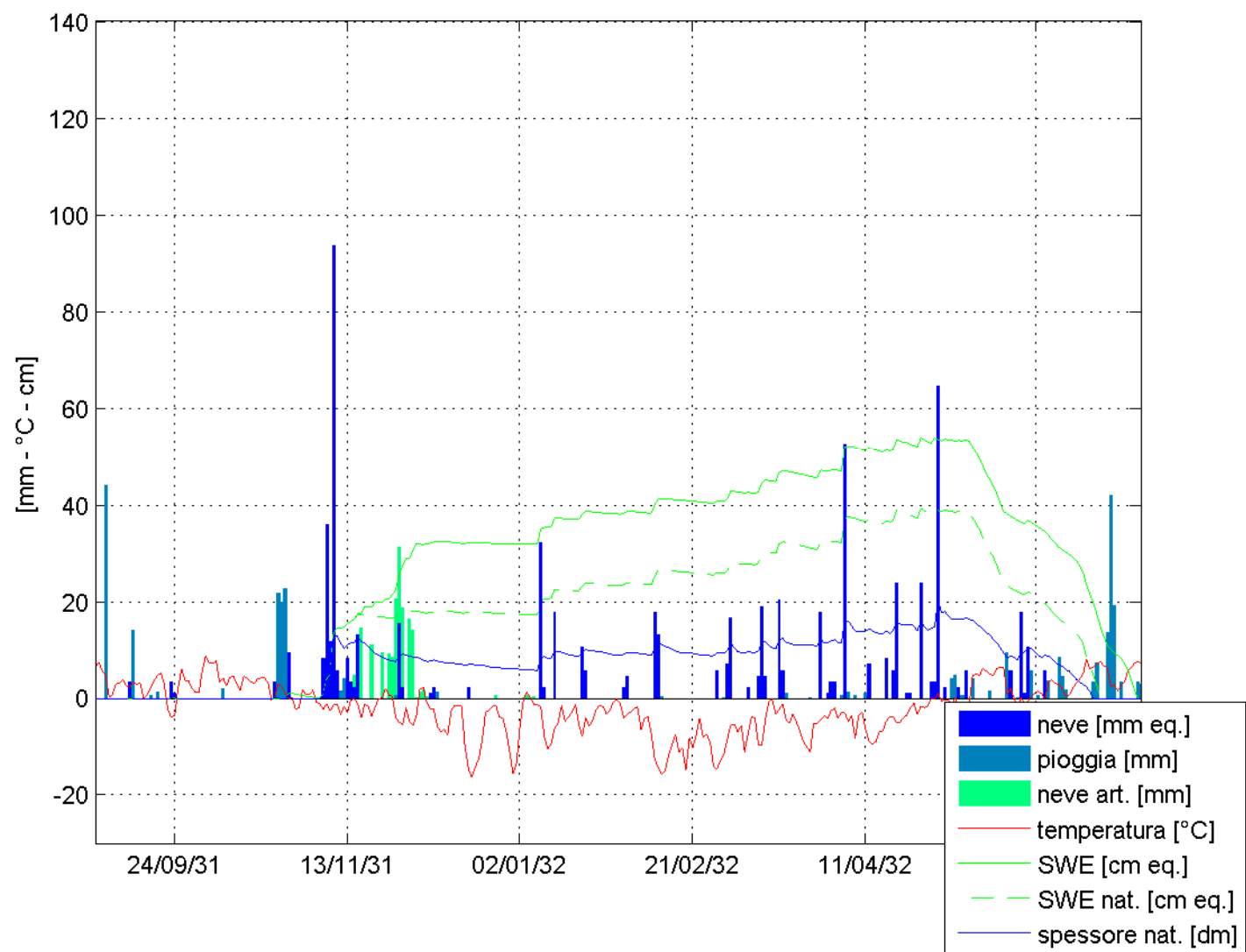


Fig. D4: Serie meteorologiche Anno 1931/1932

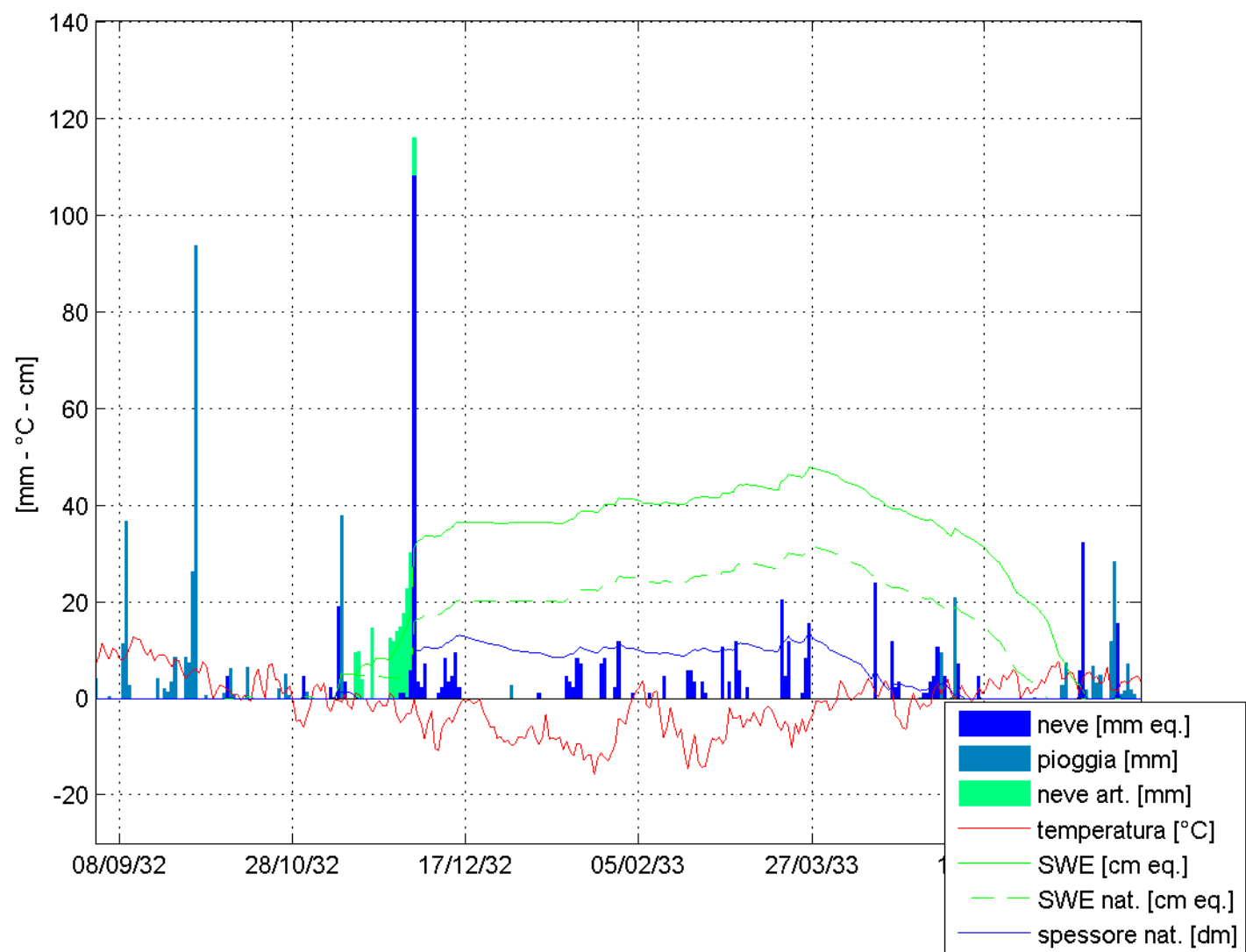


Fig. D5: Serie meteorologiche Anno 1932/1933

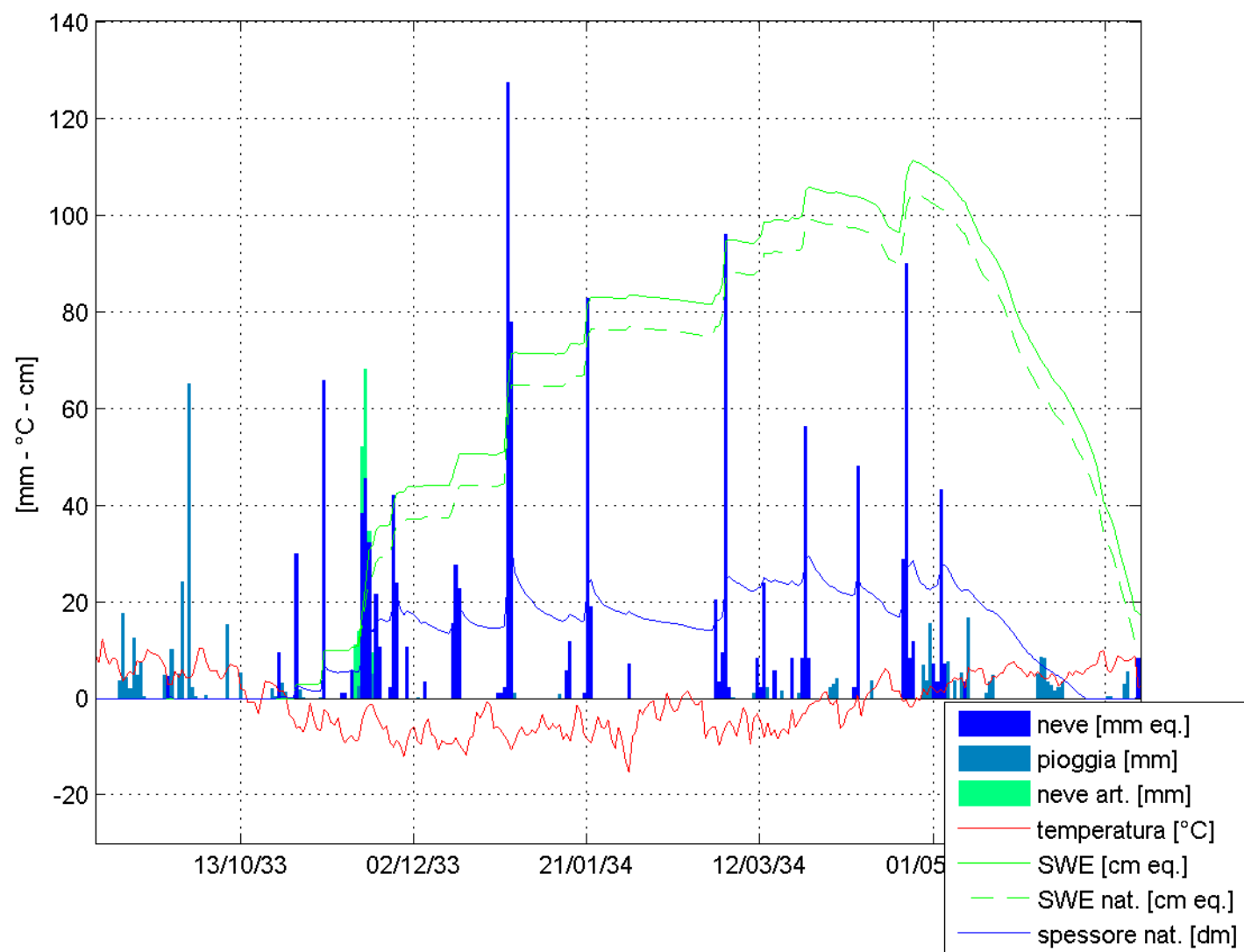


Fig. D6: Serie meteorologiche Anno 1933/1934

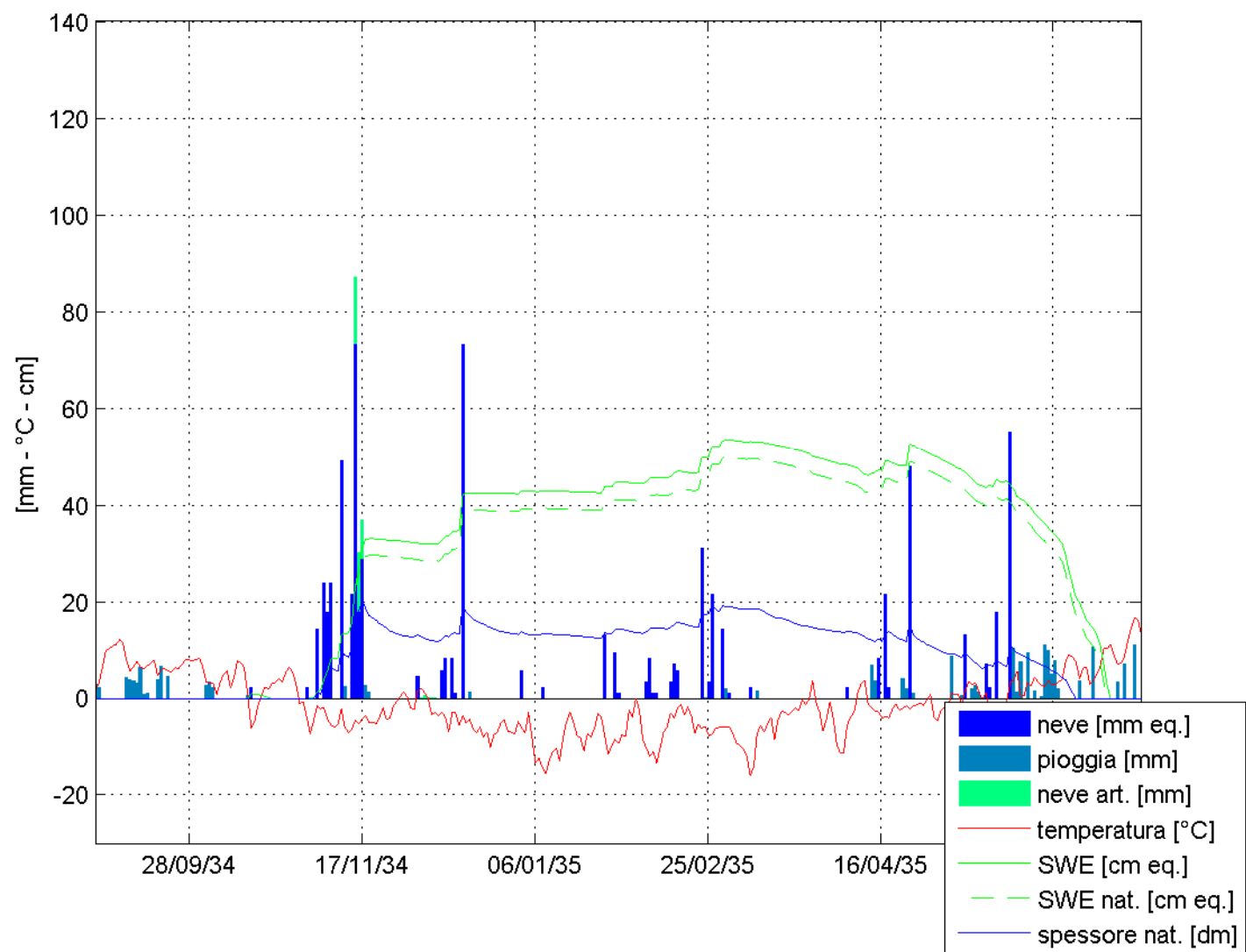


Fig. D7: Serie meteorologiche Anno 1934/1935

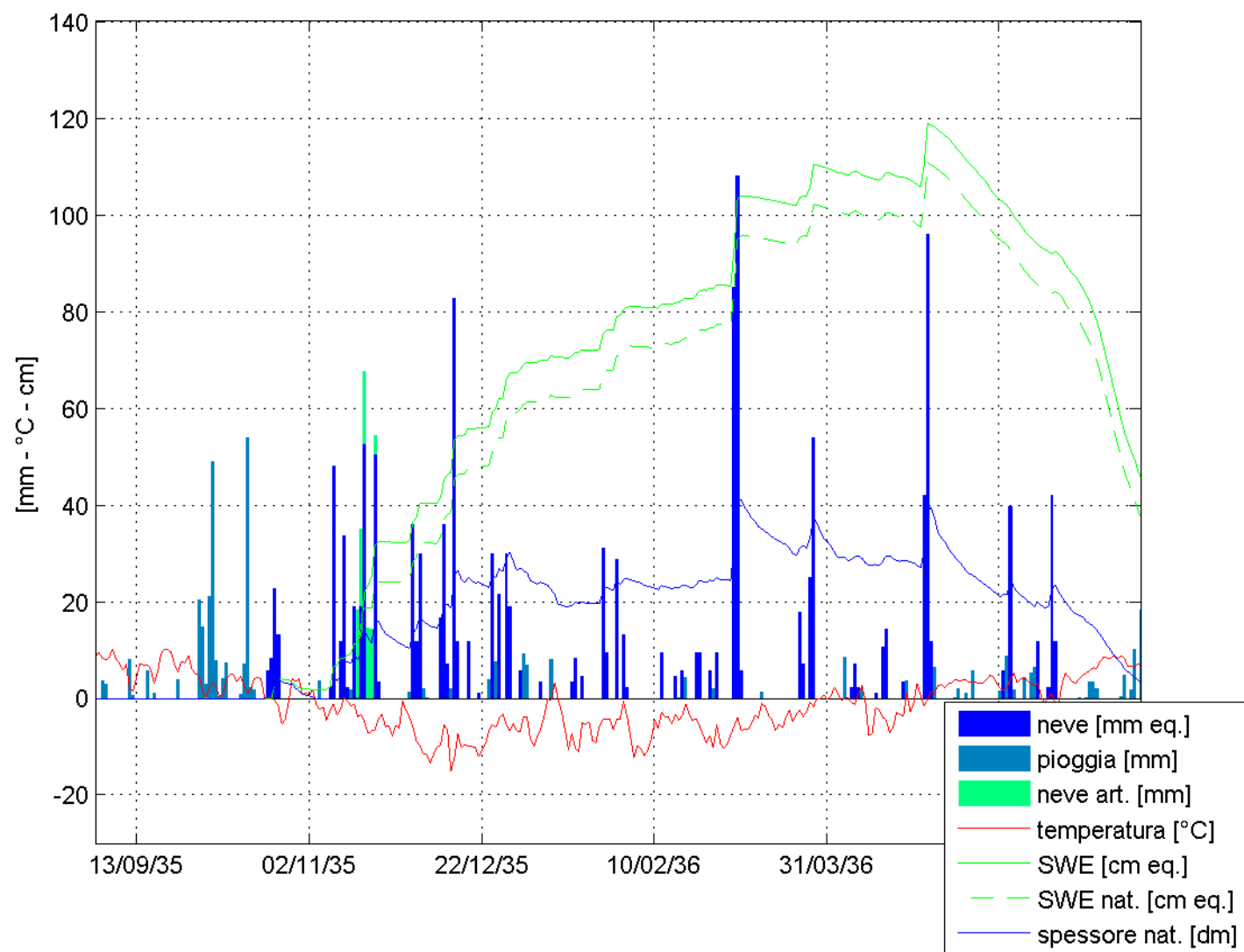


Fig. D8: Serie meteorologiche Anno 1935/1936

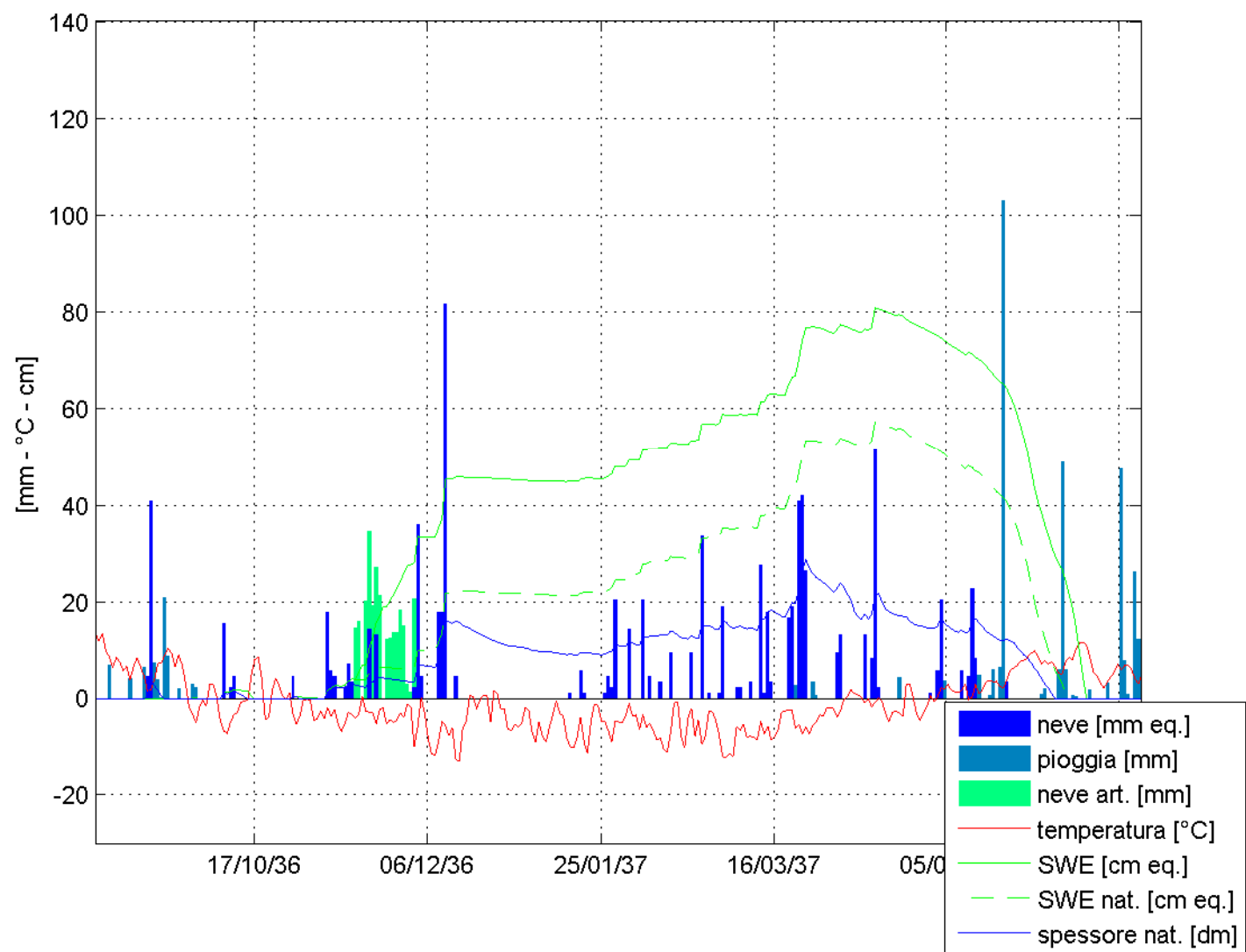


Fig. D9: Serie meteorologiche Anno 1936/1937

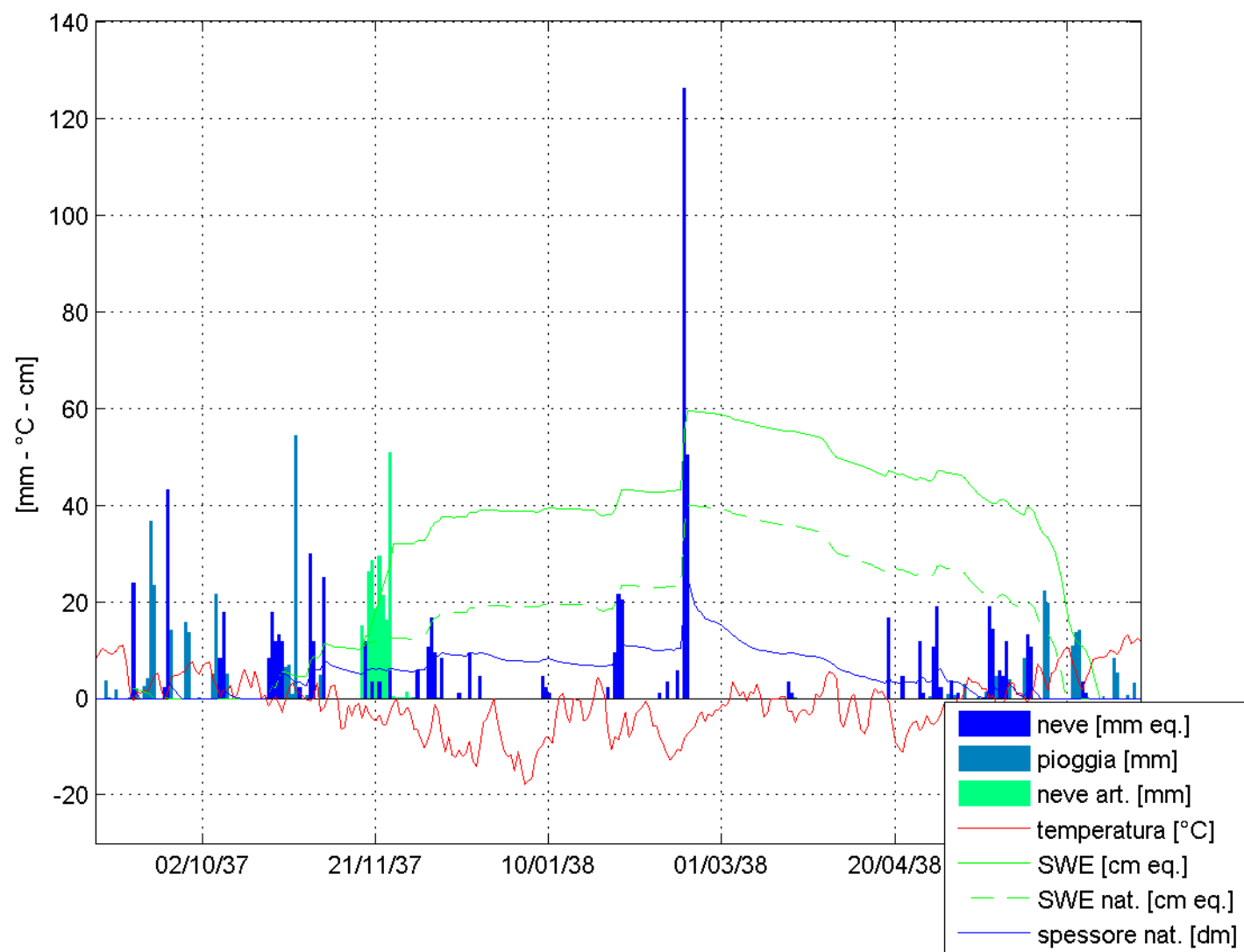


Fig. D10: Serie meteorologiche Anno 1937/1938

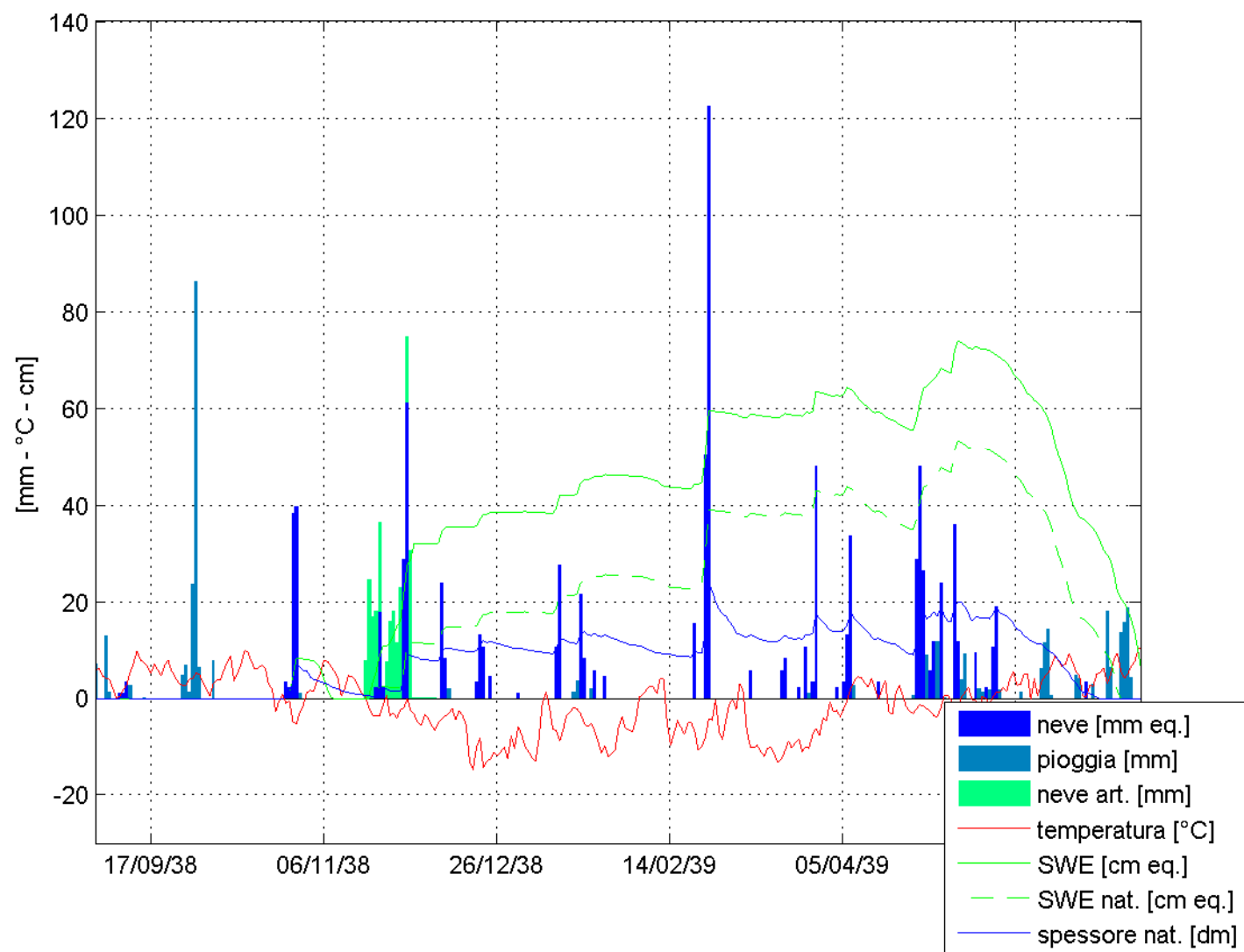


Fig. D11: Serie meteorologiche Anno 1938/1939

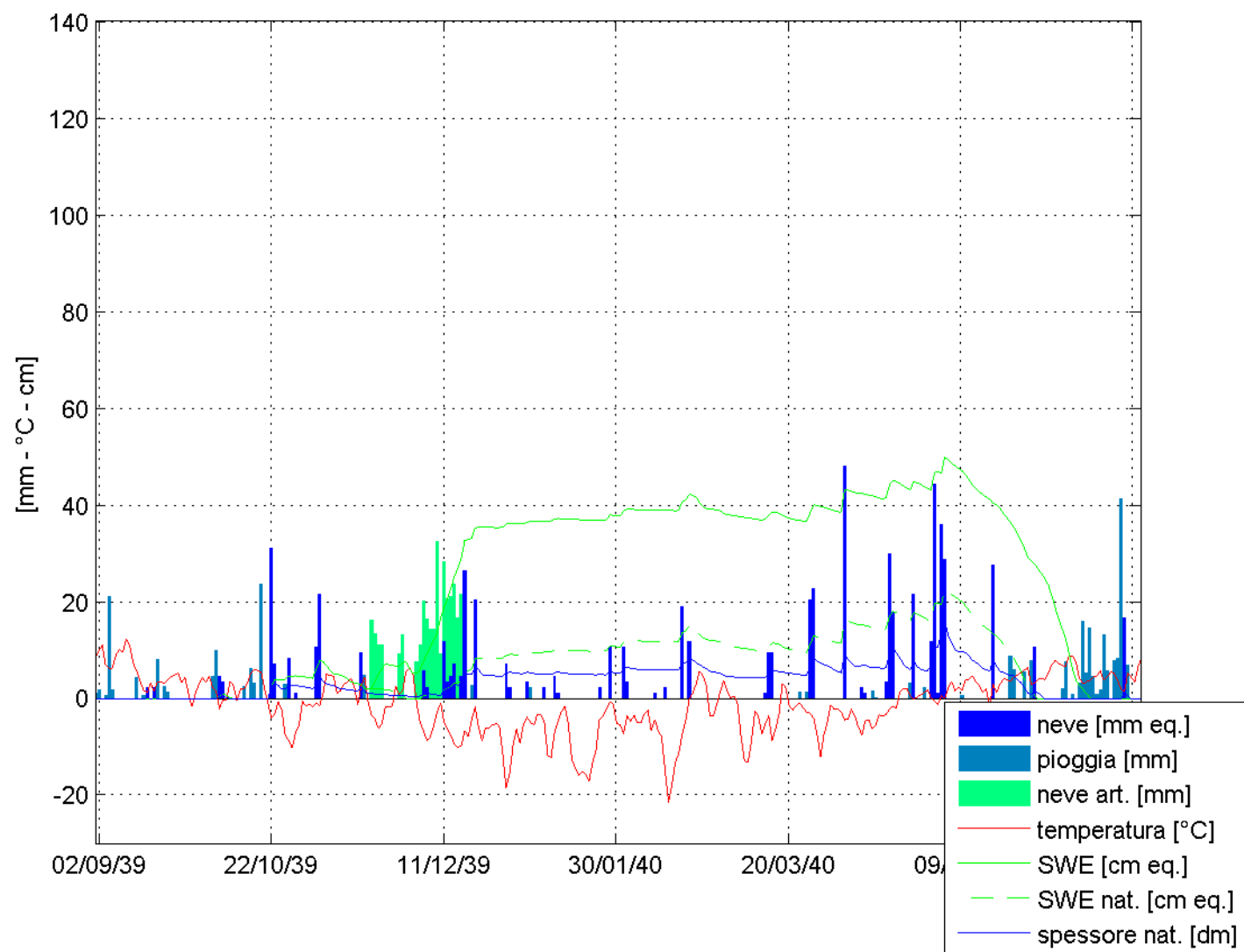


Fig. D12: Serie meteorologiche Anno 1939/1940

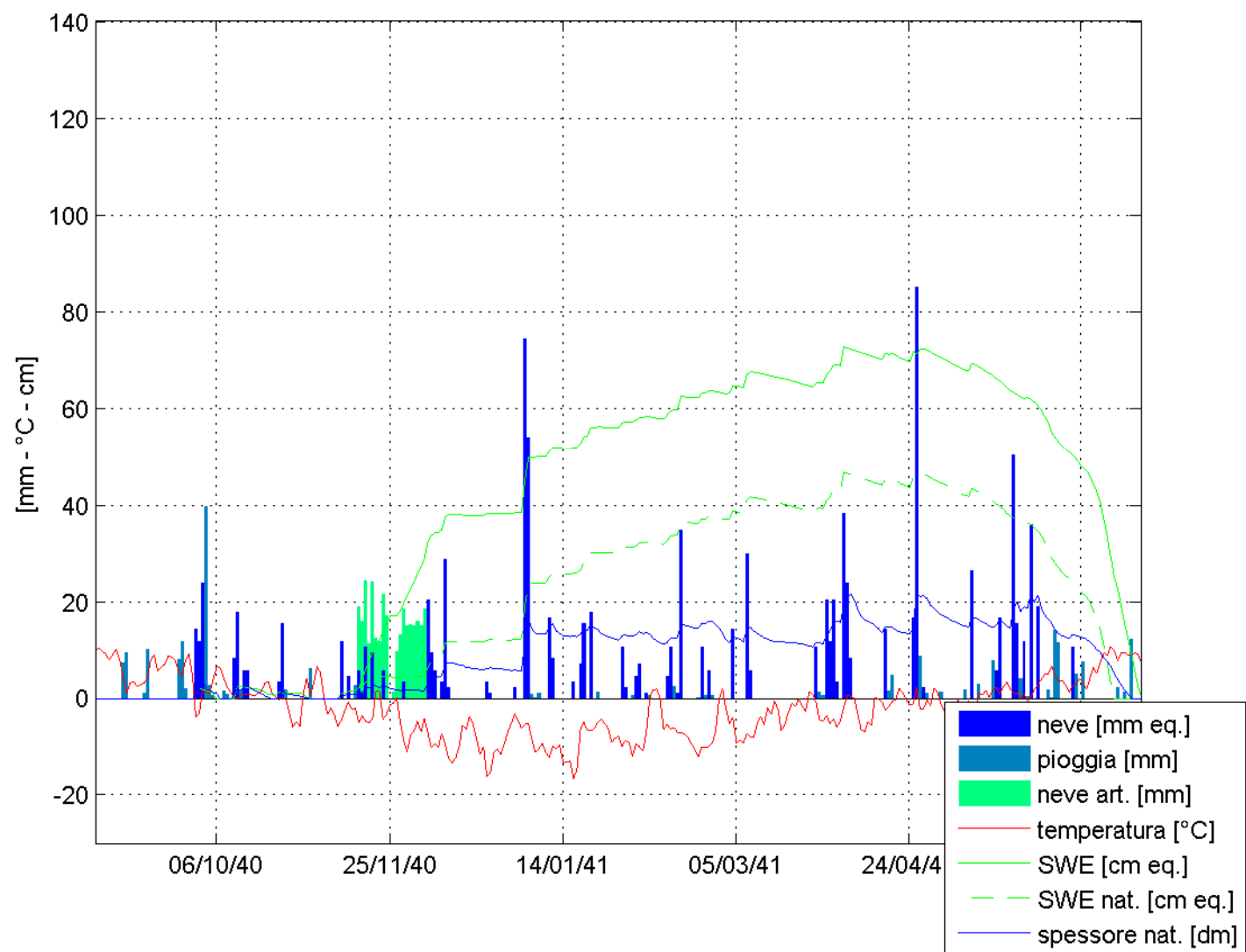


Fig. D13: Serie meteorologiche Anno 1940/1941

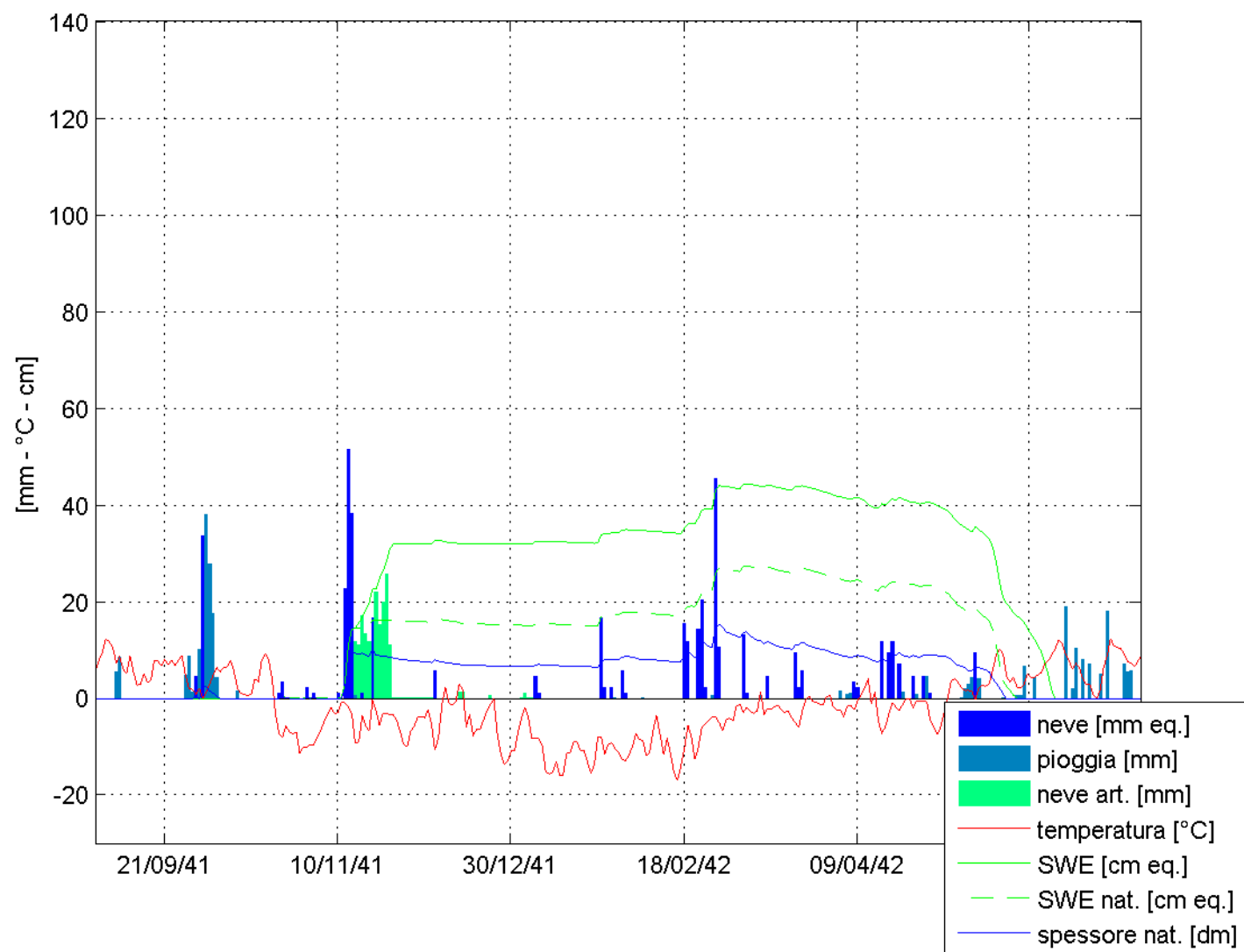


Fig. D14: Serie meteorologiche Anno 1941/1942

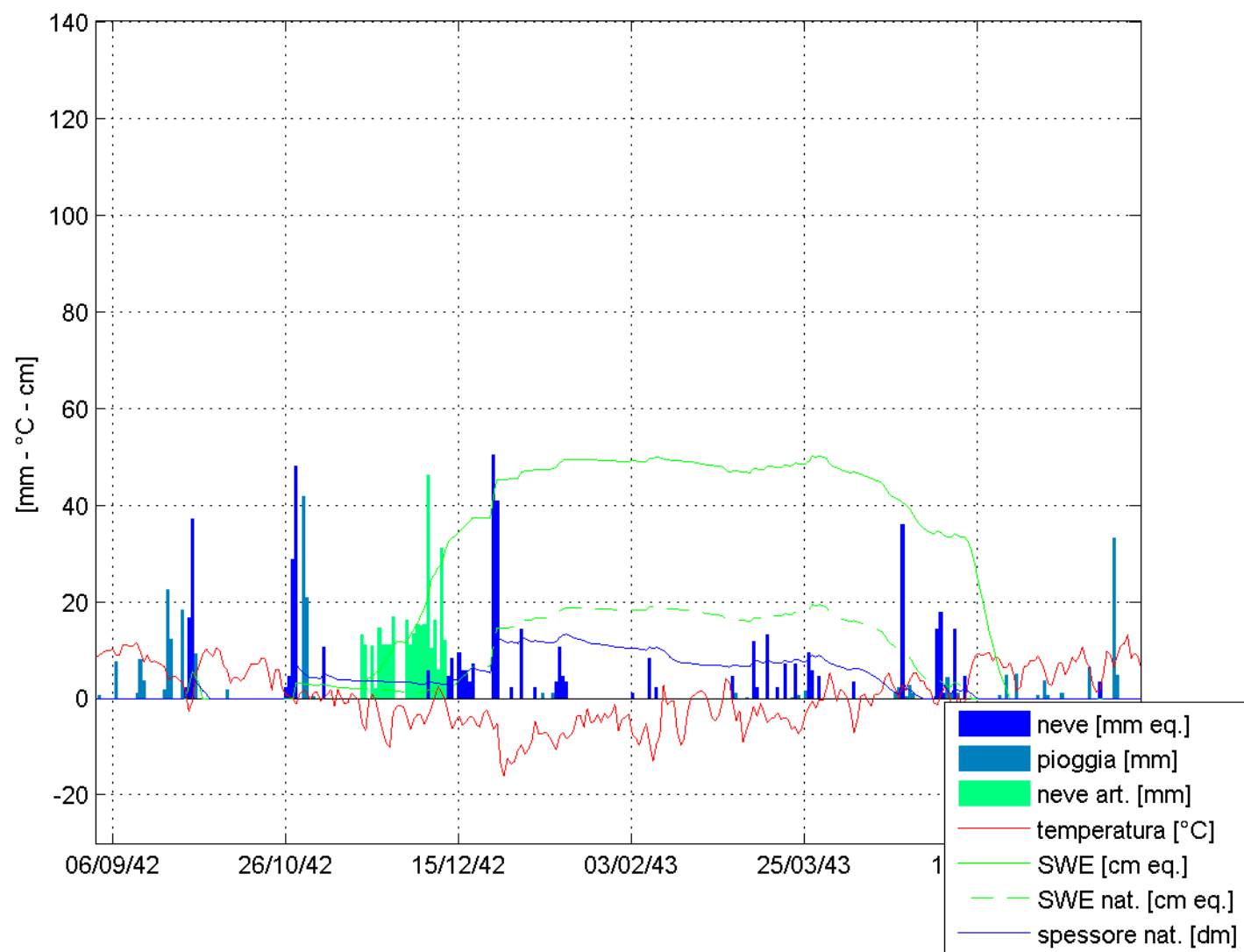


Fig. D15: Serie meteorologiche Anno 1942/1943

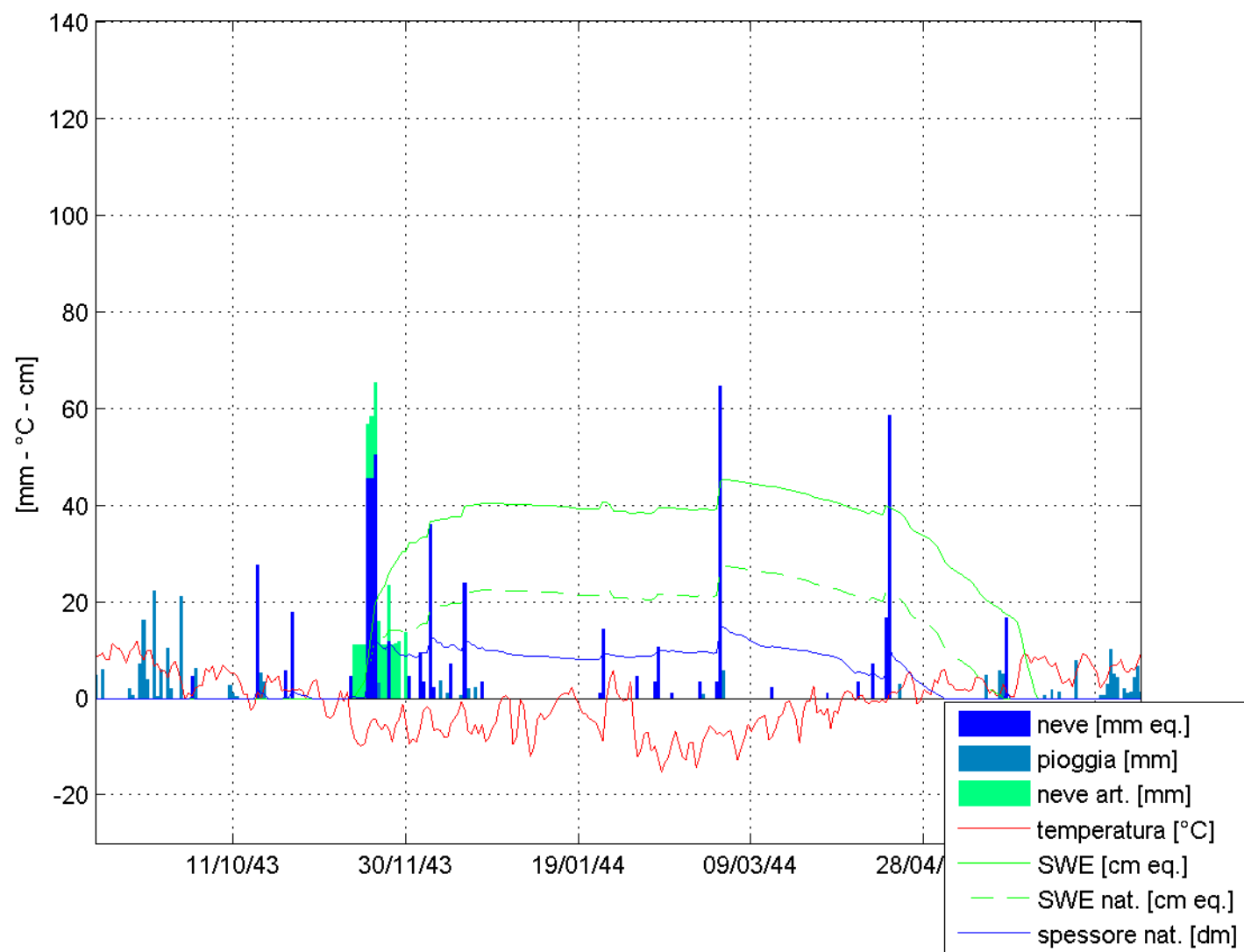


Fig. D16: Serie meteorologiche Anno 1943/1944

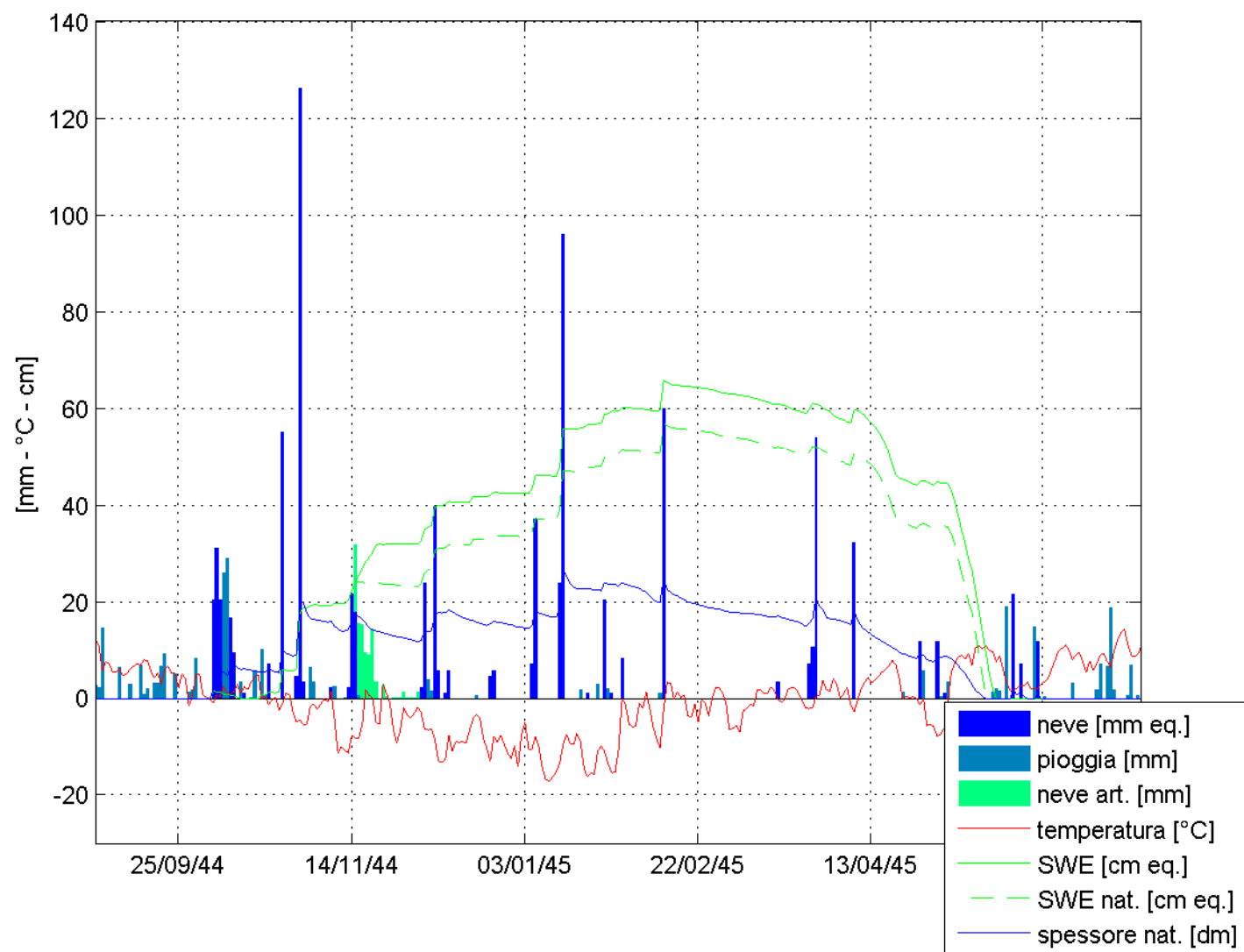


Fig. D17: Serie meteorologiche Anno 1944/1945

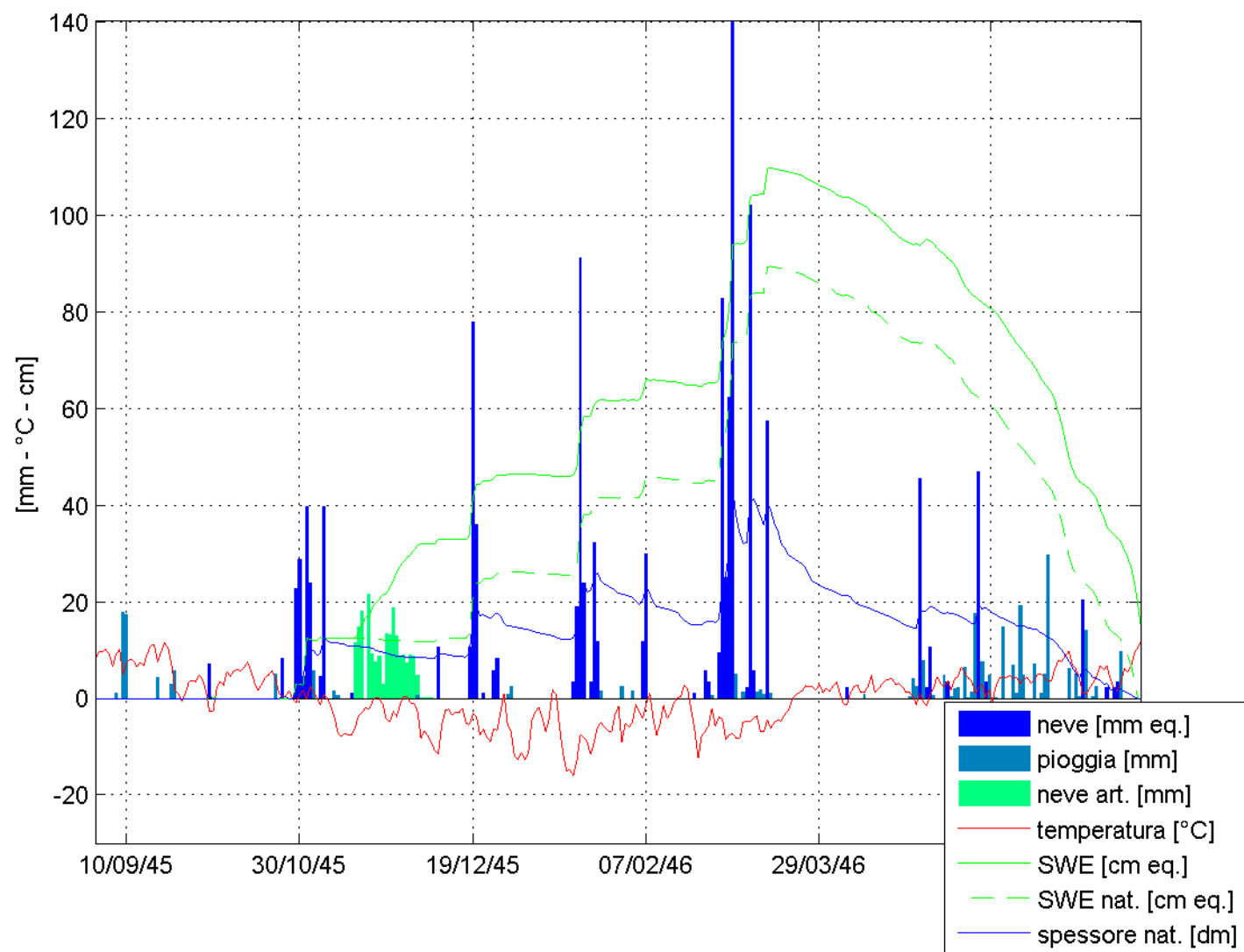


Fig. D18: Serie meteorologiche Anno 1945/1946

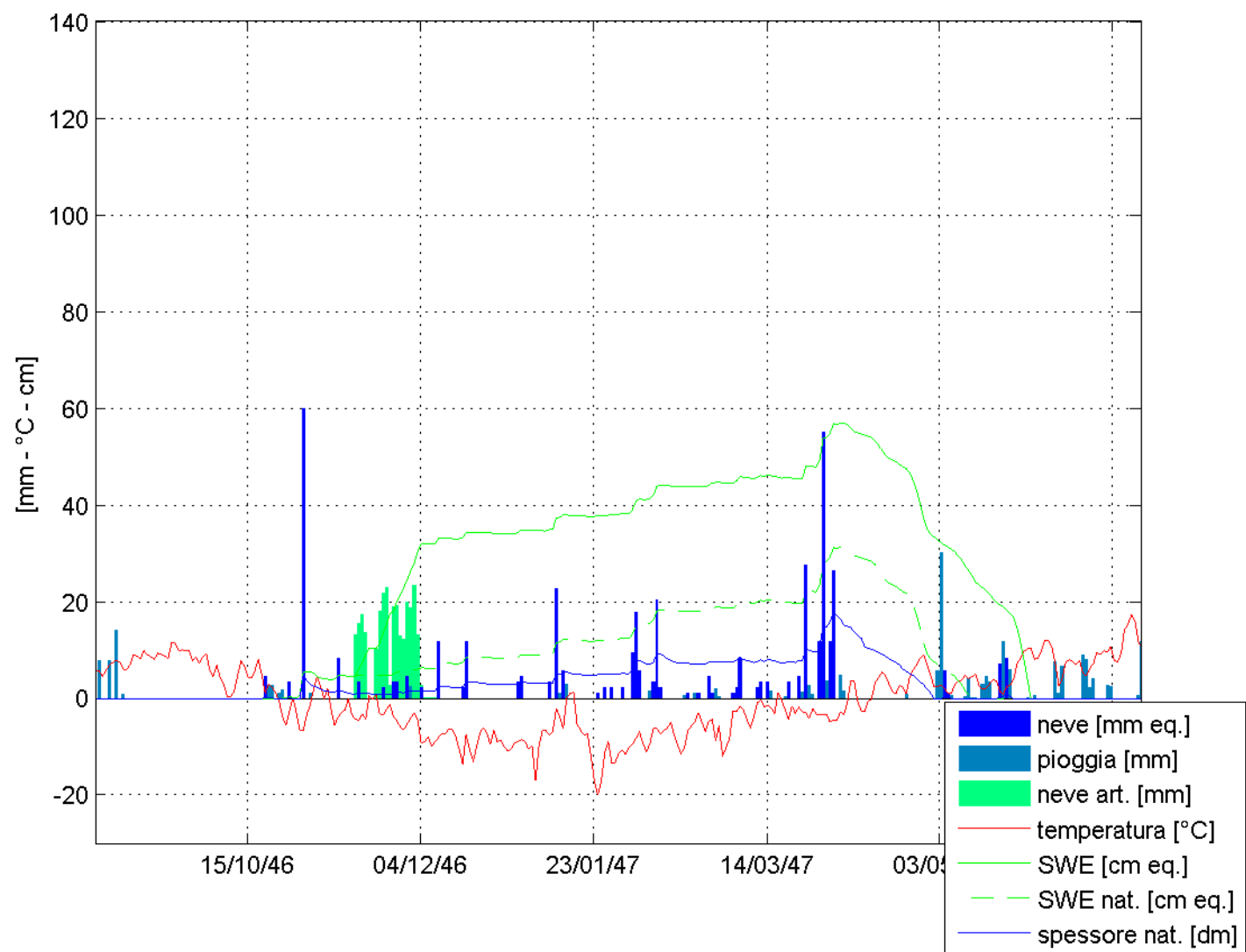


Fig. D19: Serie meteorologiche Anno 1946/1947

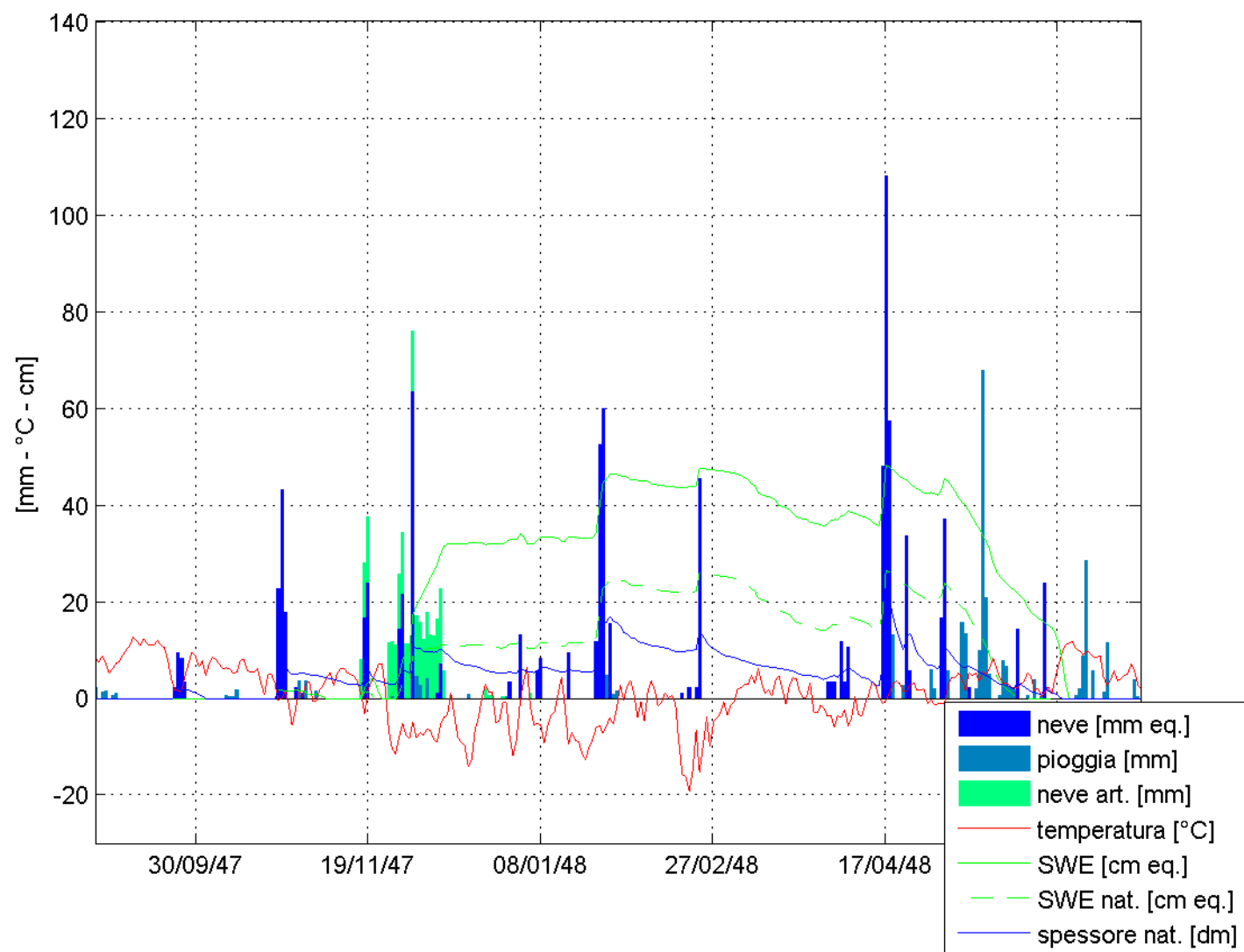


Fig. D20: Serie meteorologiche Anno 1947/1948

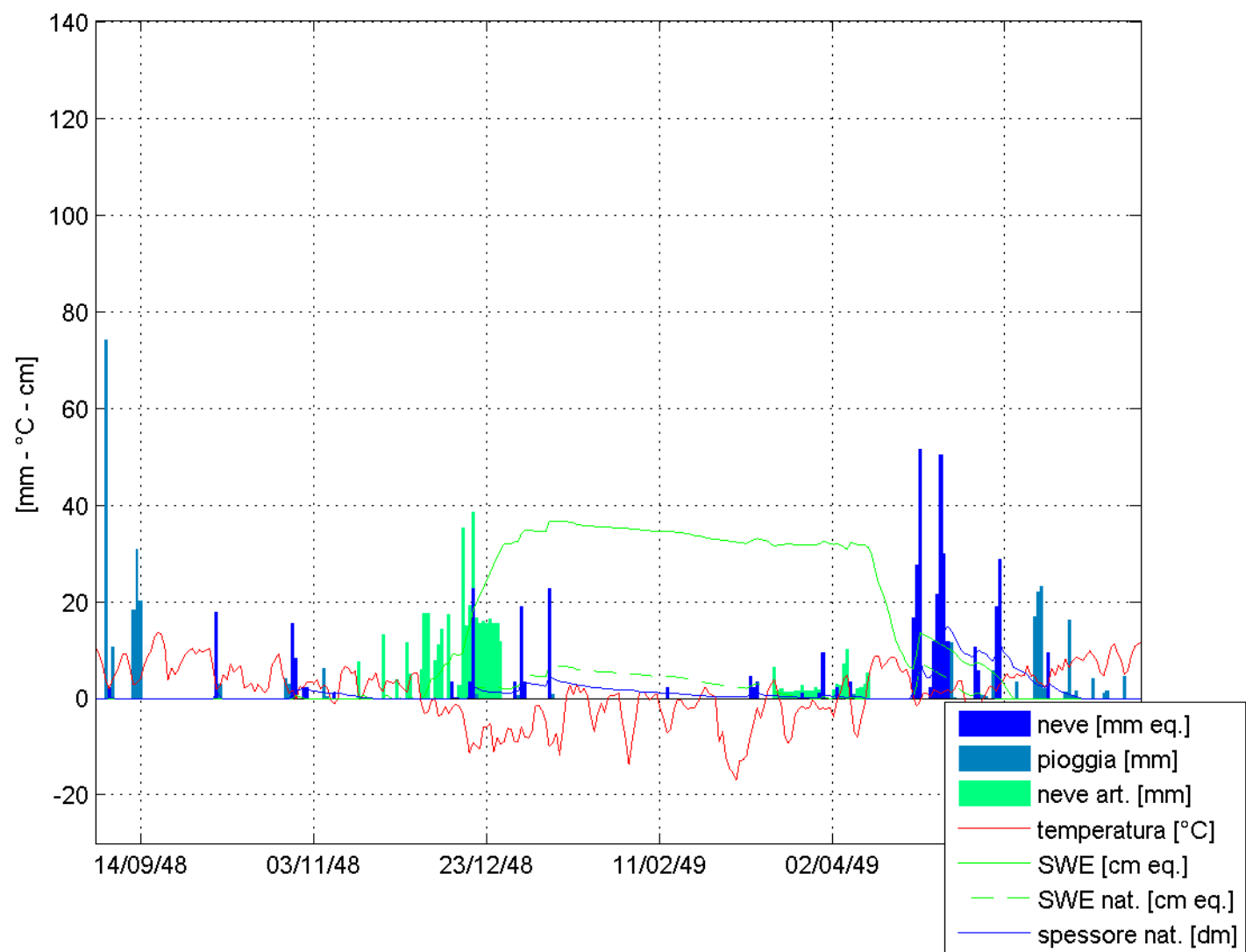


Fig. D21: Serie meteorologiche Anno 1948/1949

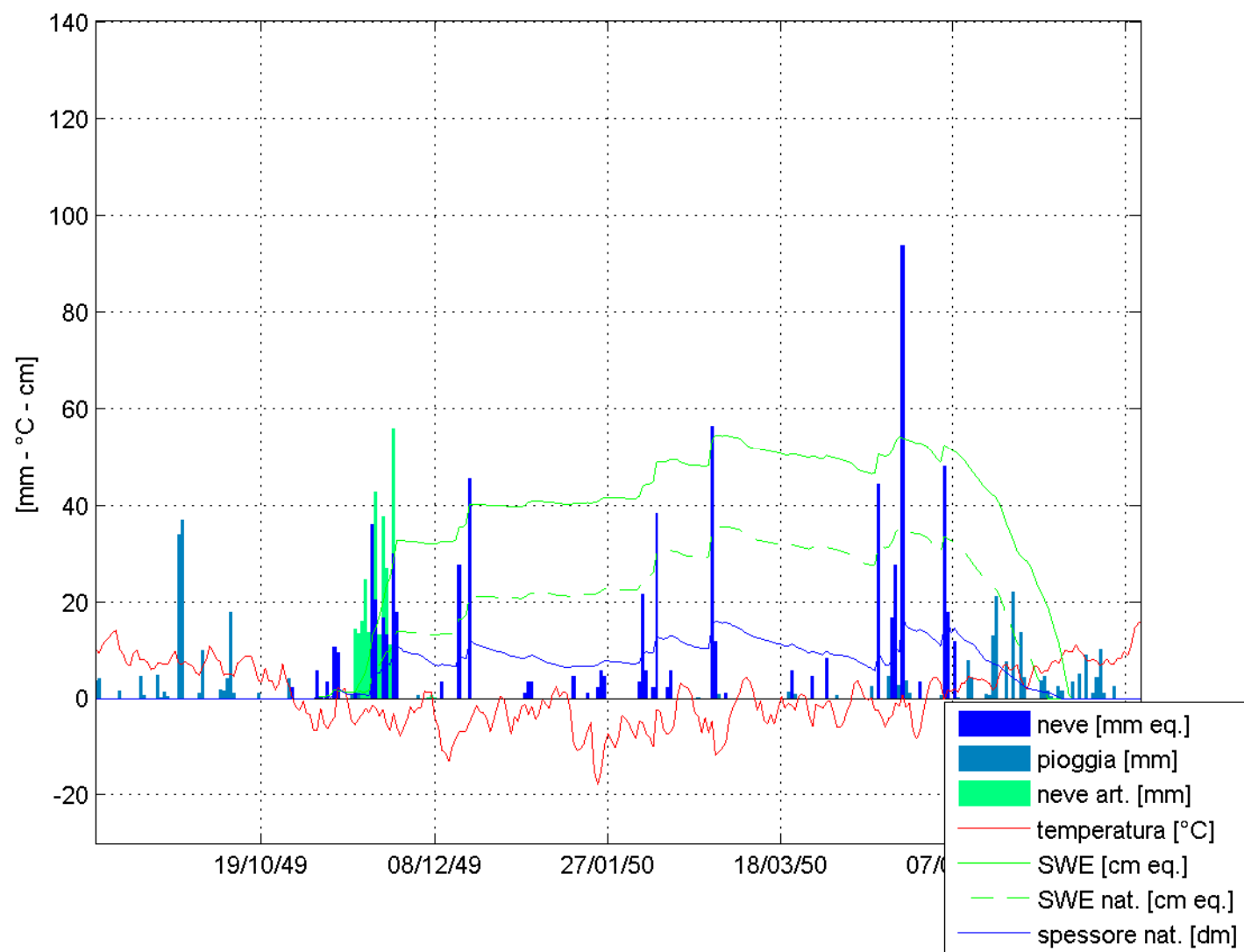


Fig. D22: Serie meteorologiche Anno 1949/1950

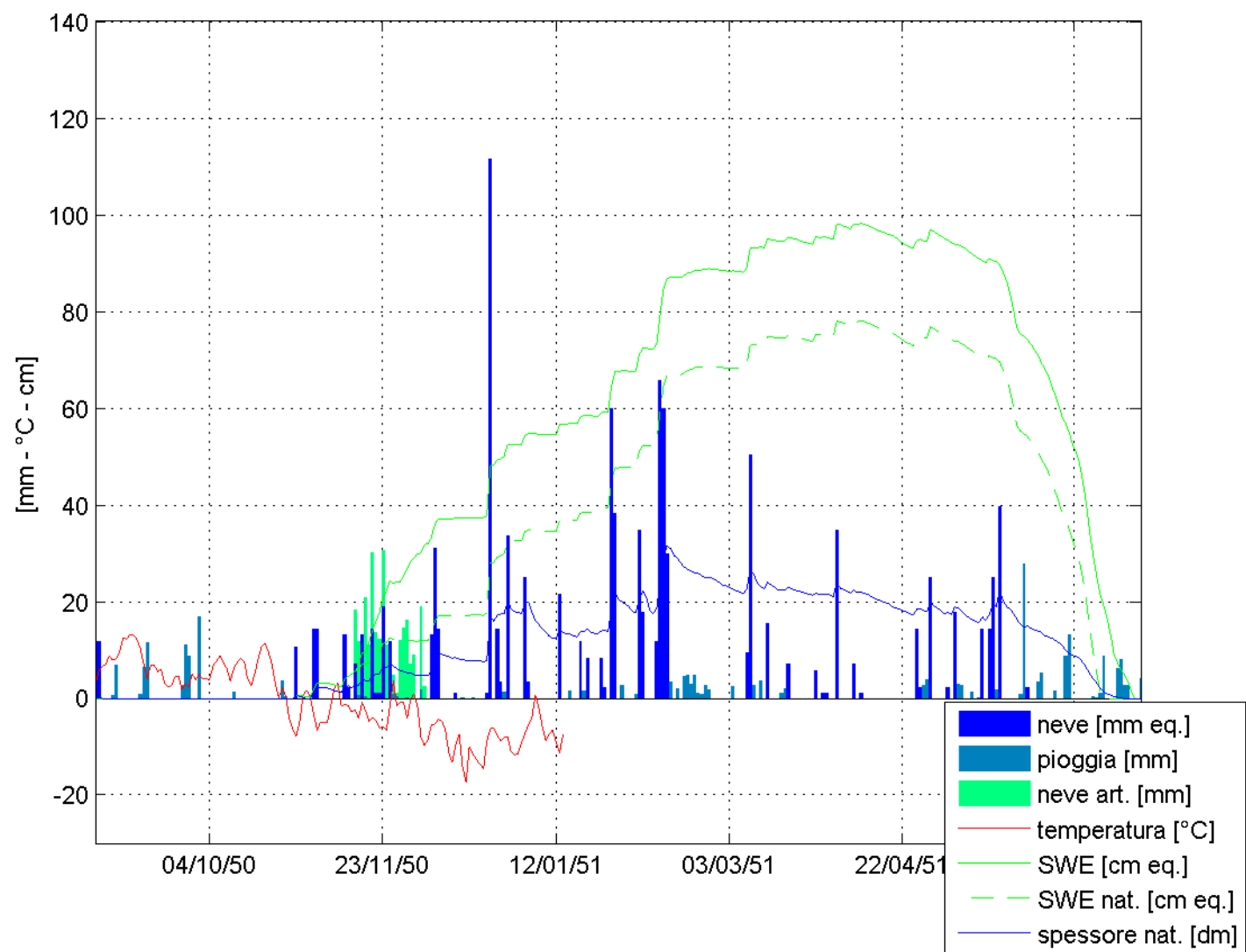


Fig. D23: Serie meteorologiche Anno 1950/1951

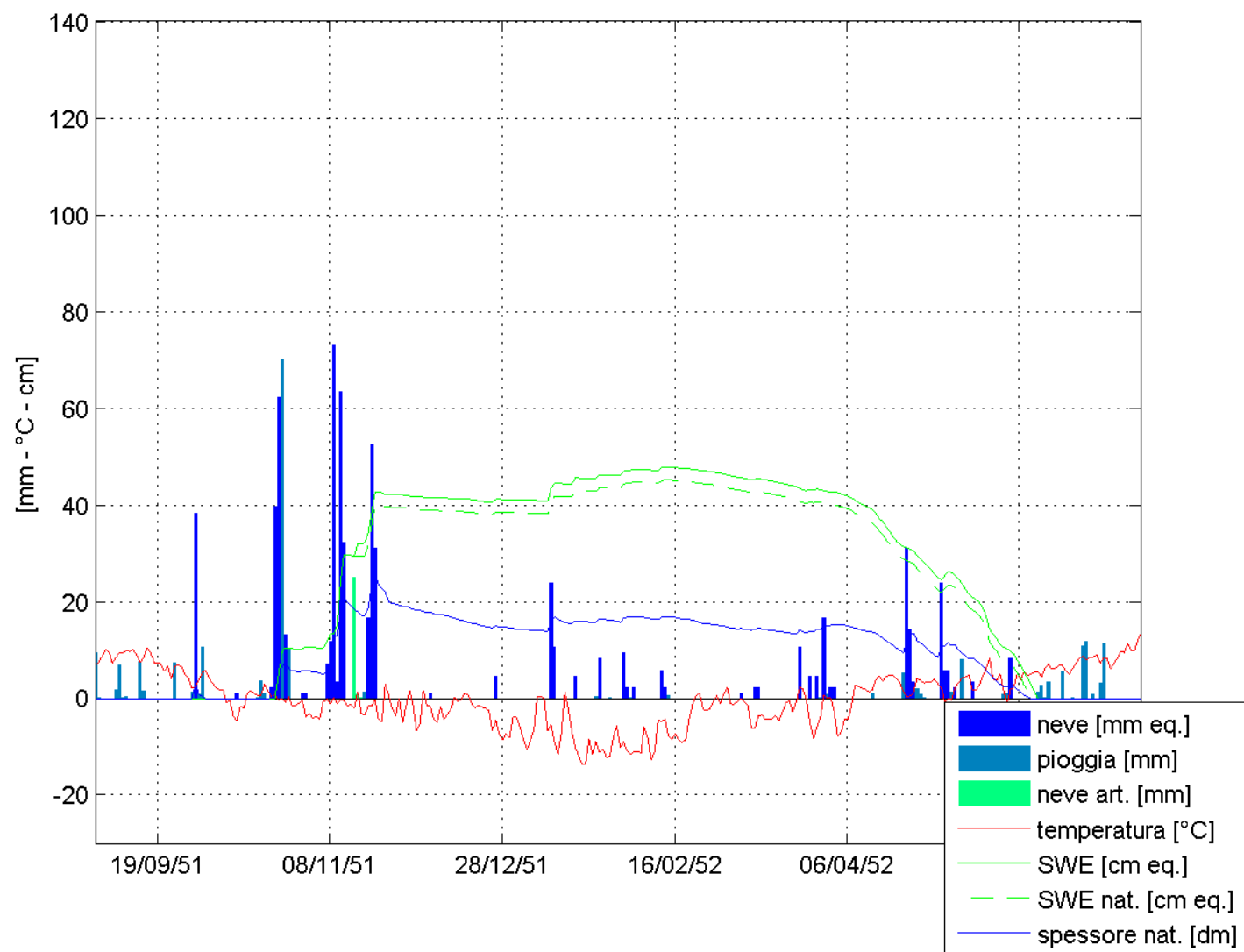


Fig. D24: Serie meteorologiche Anno 1951/1952

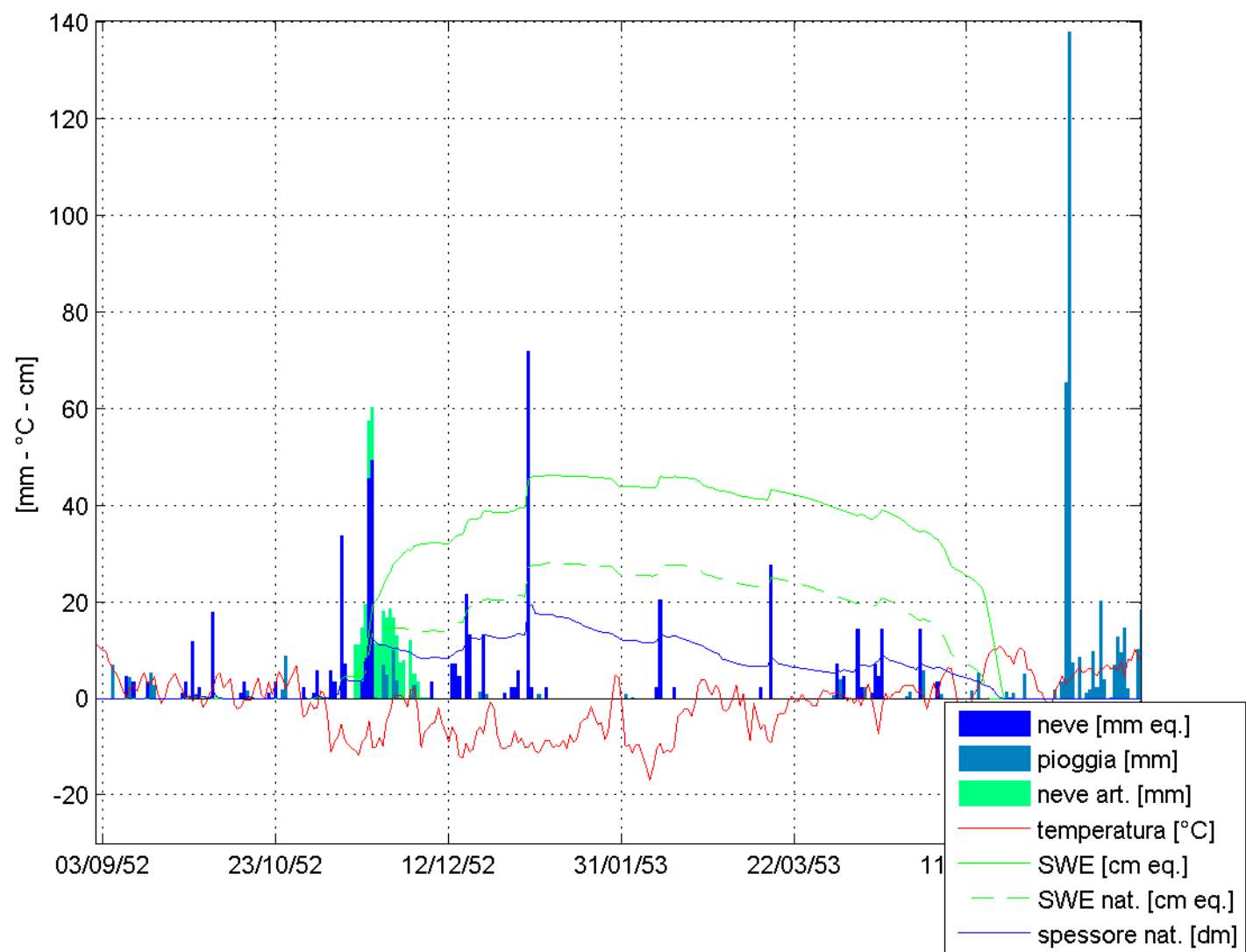


Fig. D25: Serie meteorologiche Anno 1952/1953

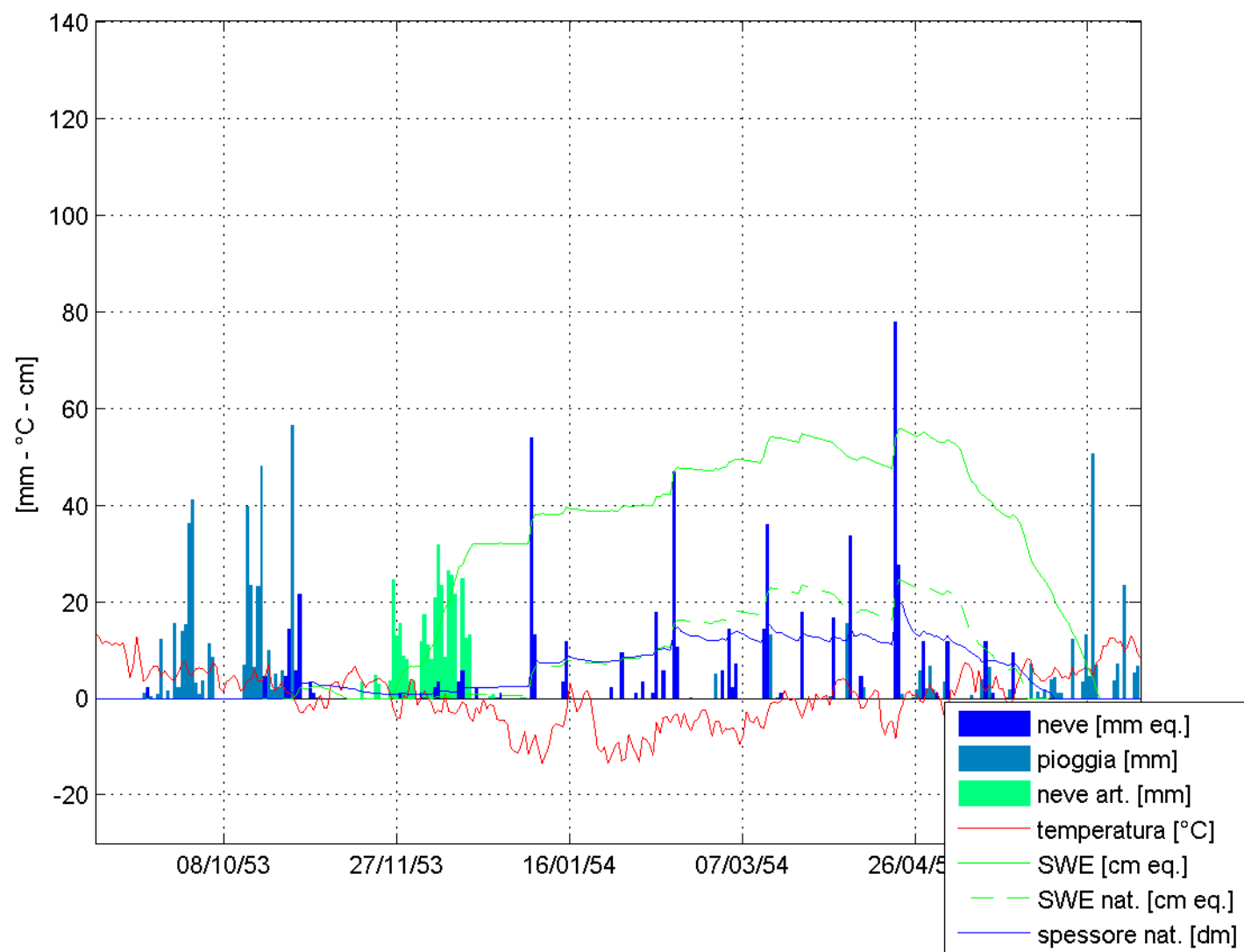


Fig. D26: Serie meteorologiche Anno 1953/1954

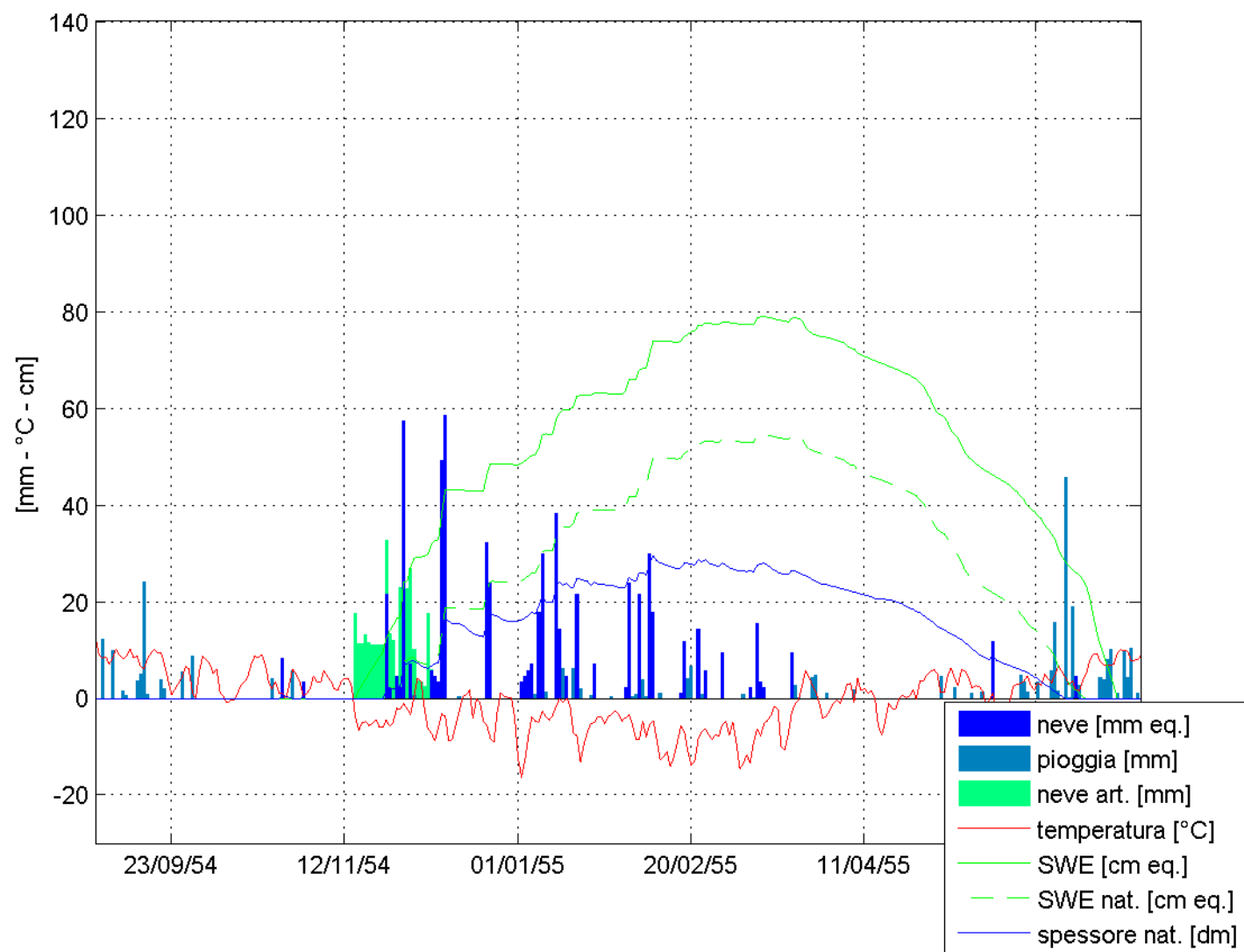


Fig. D27: Serie meteorologiche Anno 1954/1955

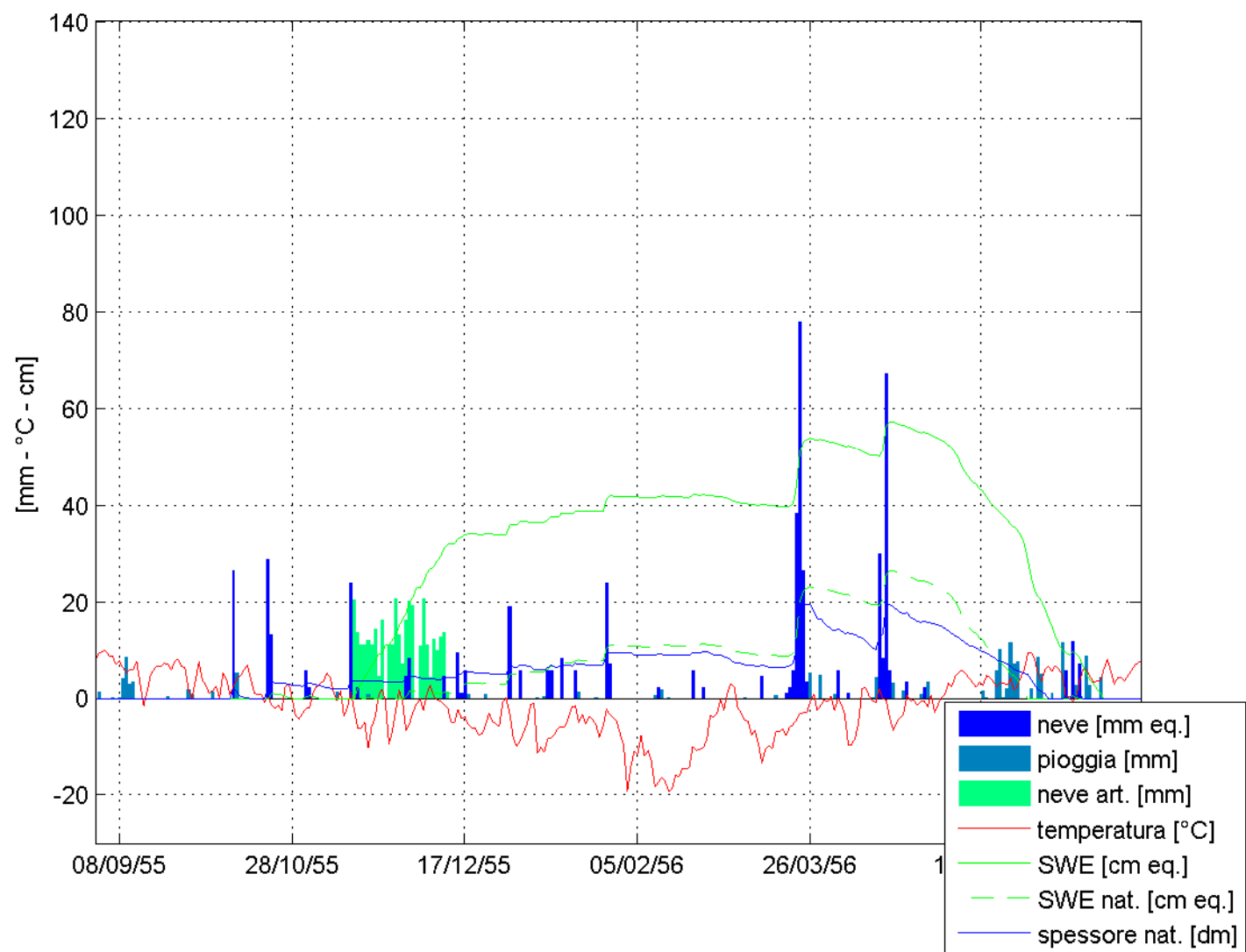


Fig. D28: Serie meteorologiche Anno 1955/1956

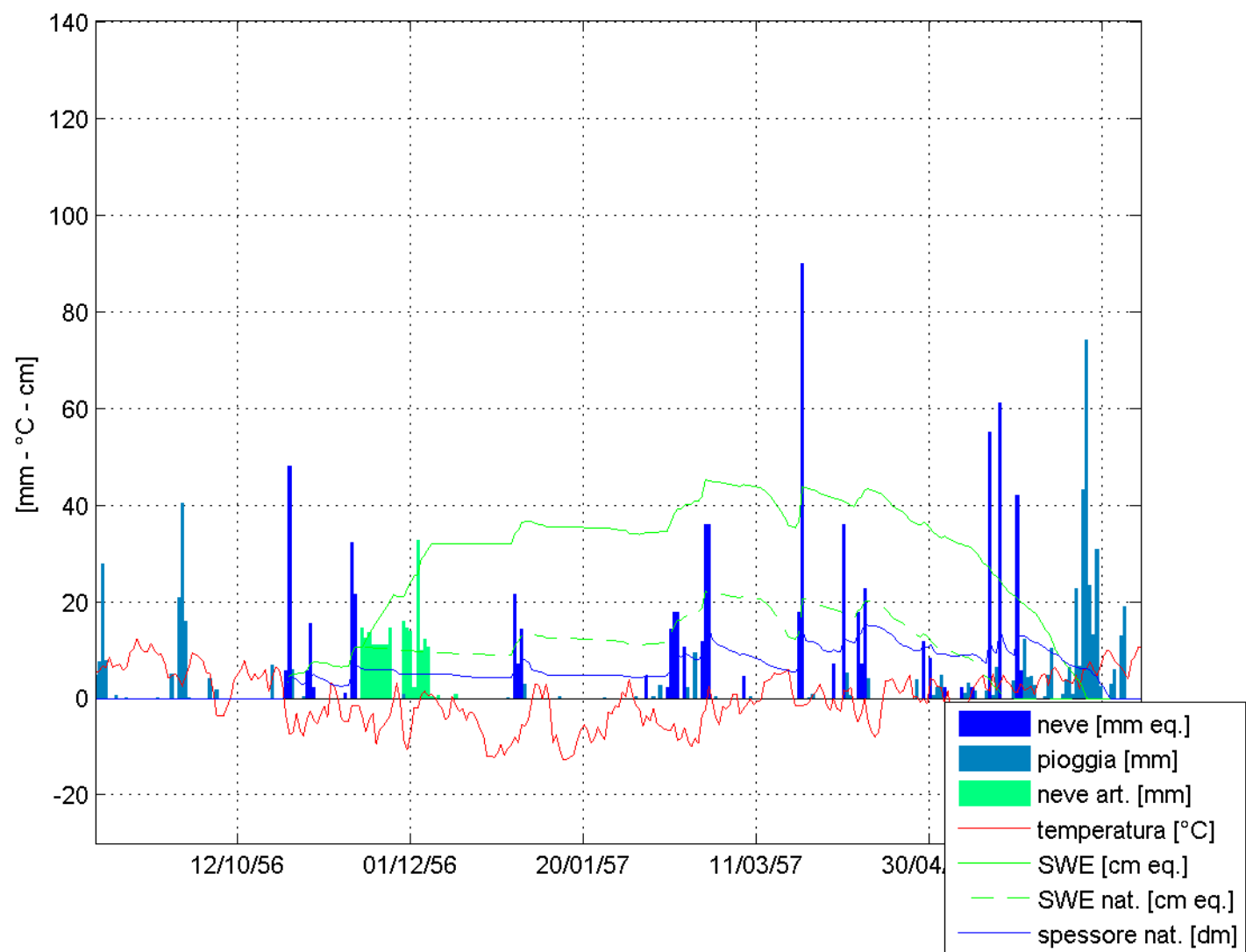


Fig. D29: Serie meteorologiche Anno 1956/1957

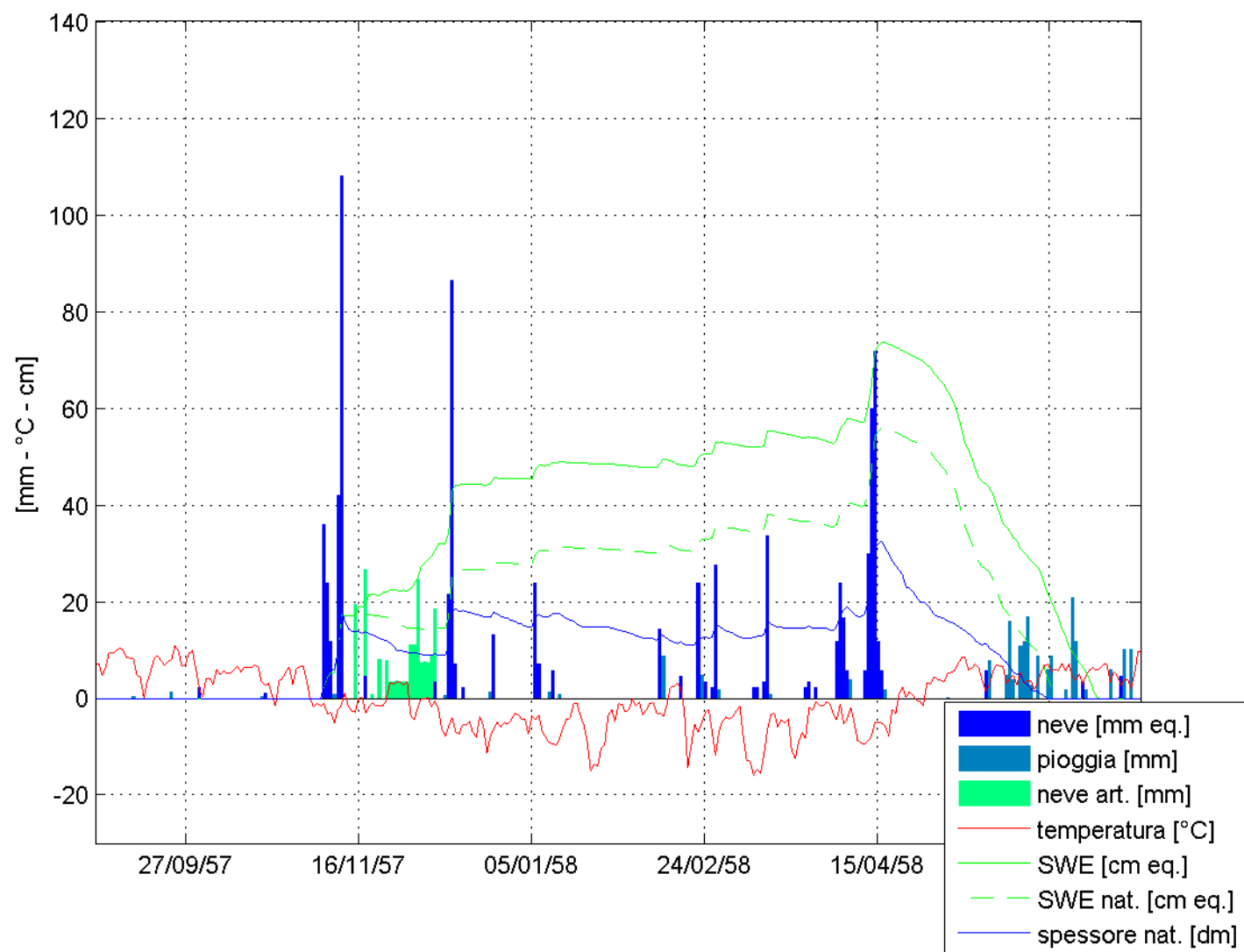


Fig. D30: Serie meteorologiche Anno 1957/1958

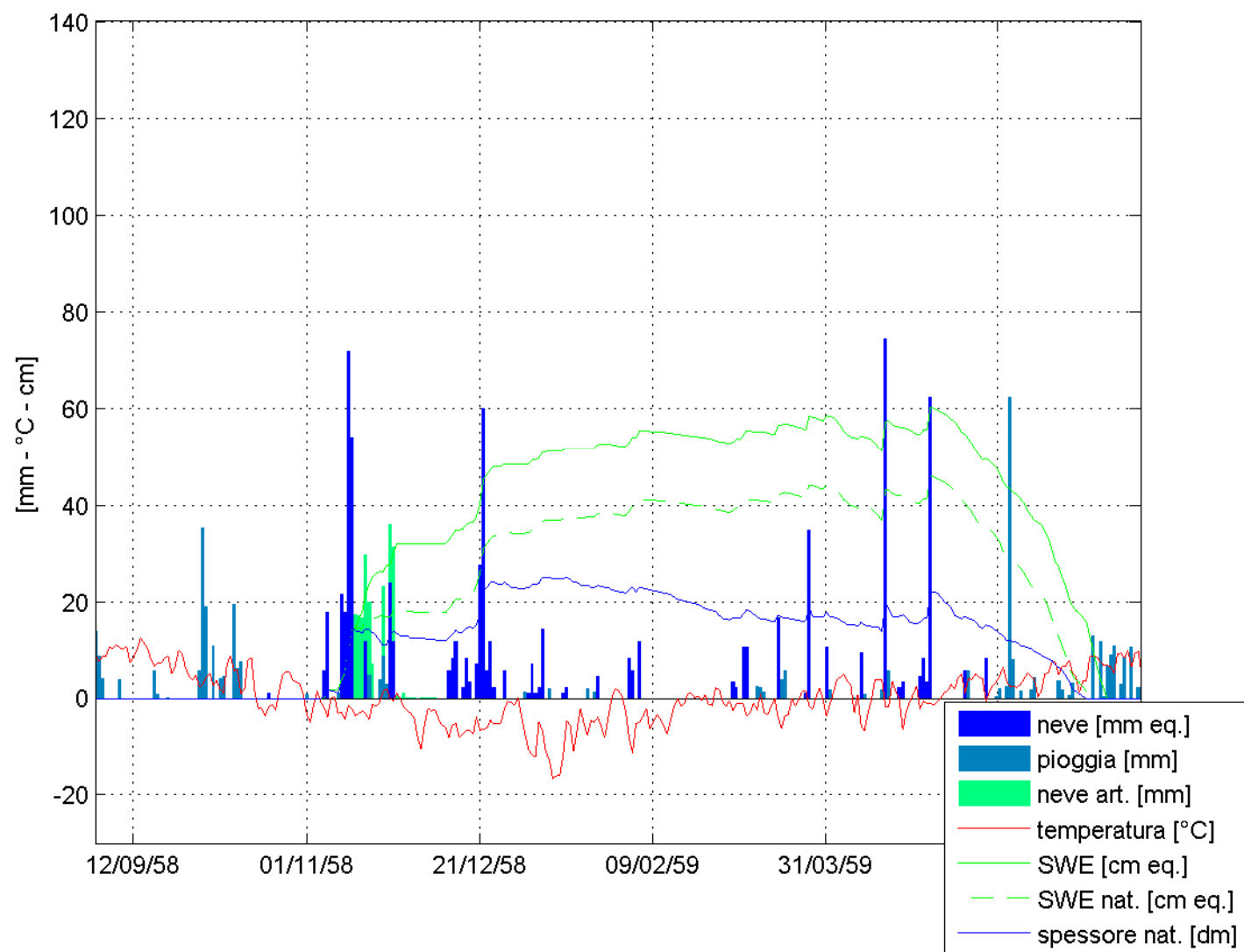


Fig. D31: Serie meteorologiche Anno 1958/1959

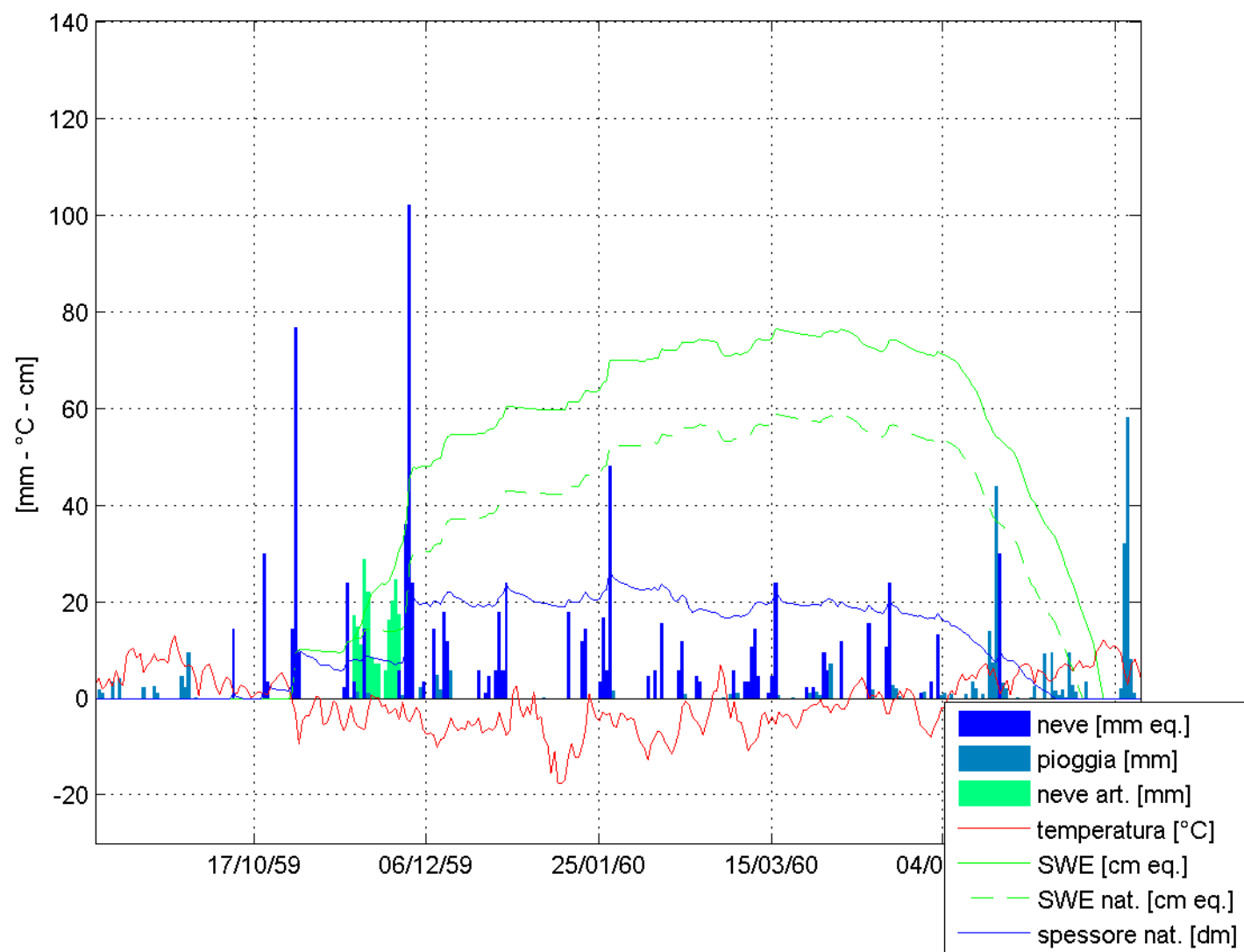


Fig. D32: Serie meteorologiche Anno 1959/1960

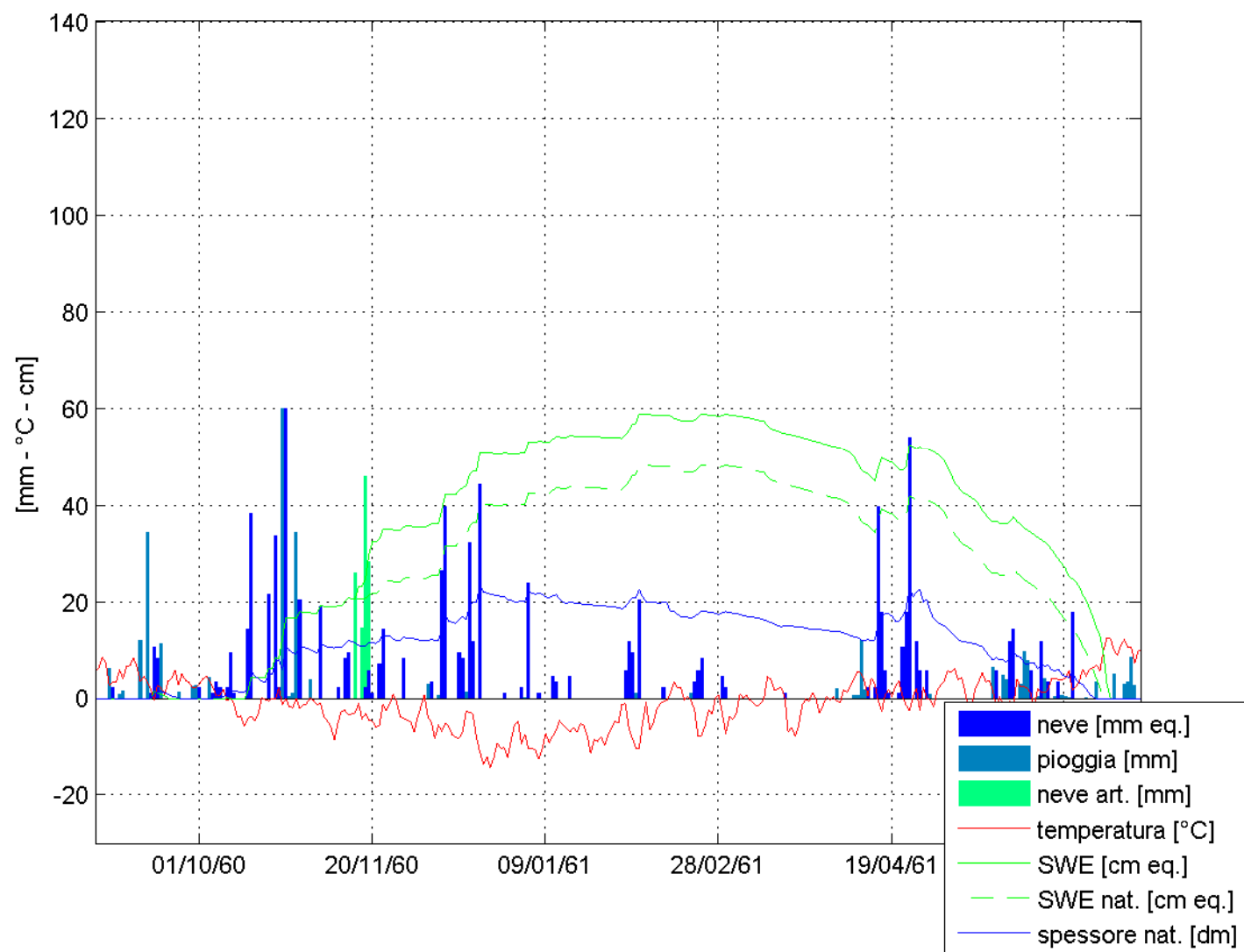


Fig. D33: Serie meteorologiche Anno 1960/1961

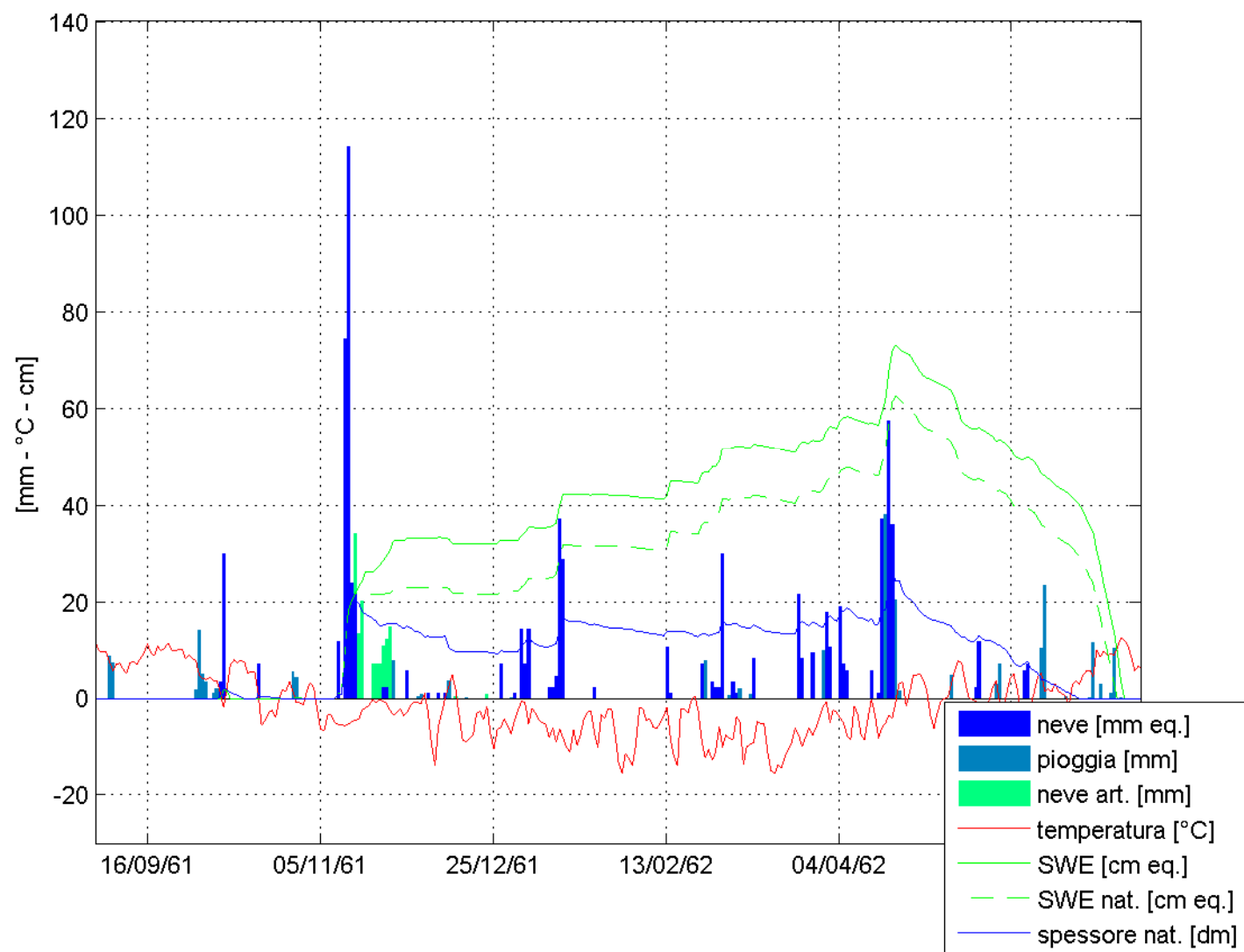


Fig. D34: Serie meteorologiche Anno 1961/1962

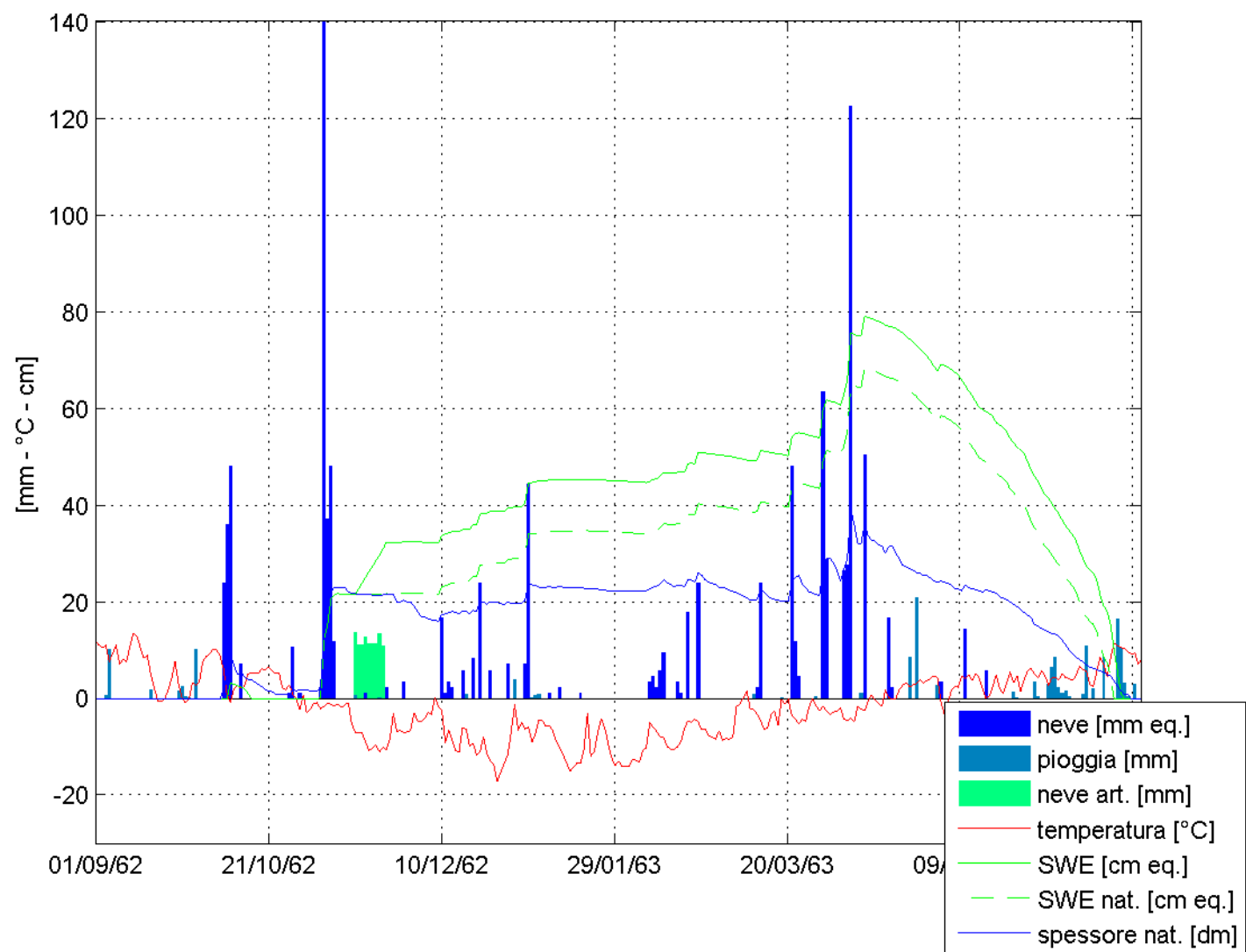


Fig. D35: Serie meteorologiche Anno 1962/1963

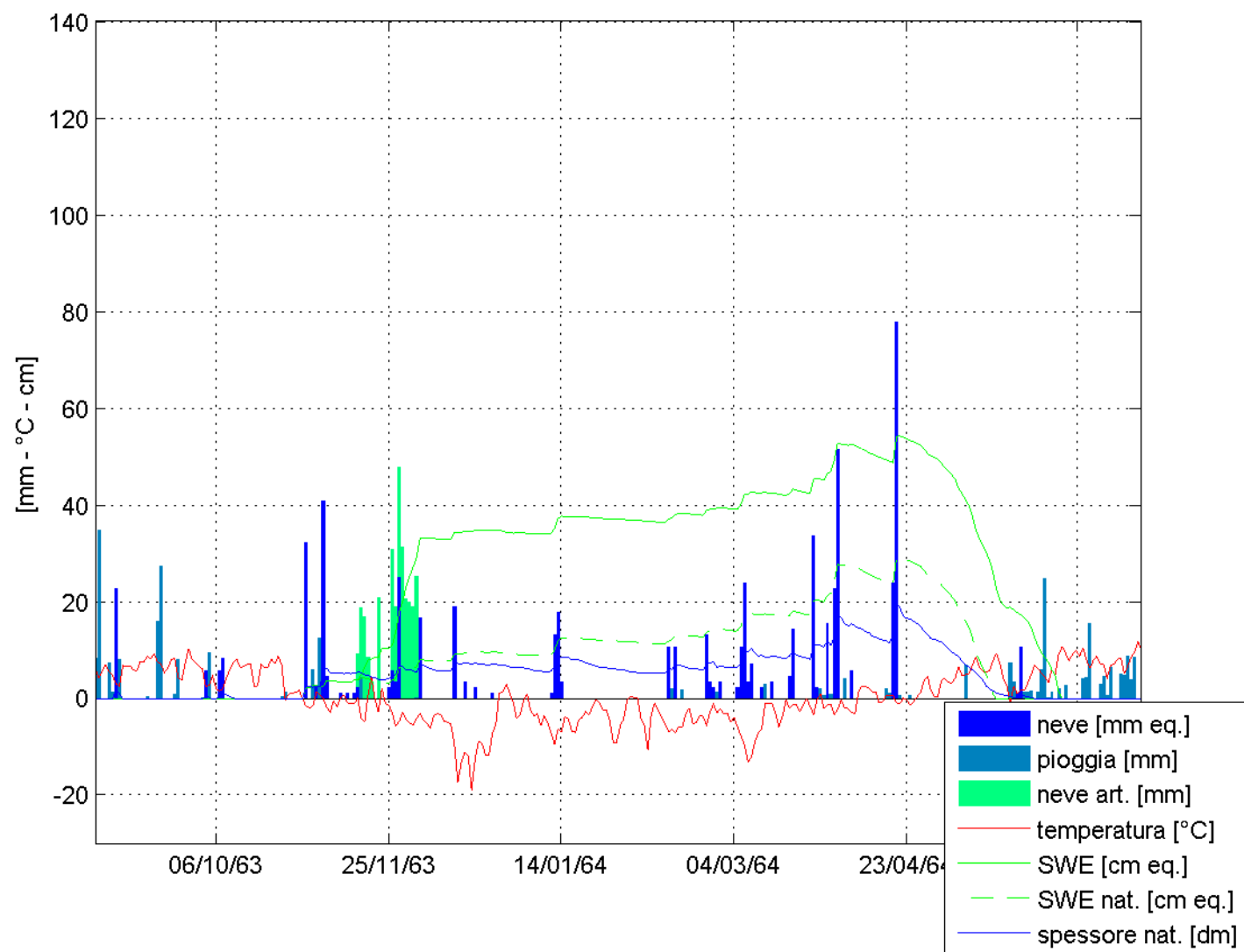


Fig. D36: Serie meteorologiche Anno 1963/1964

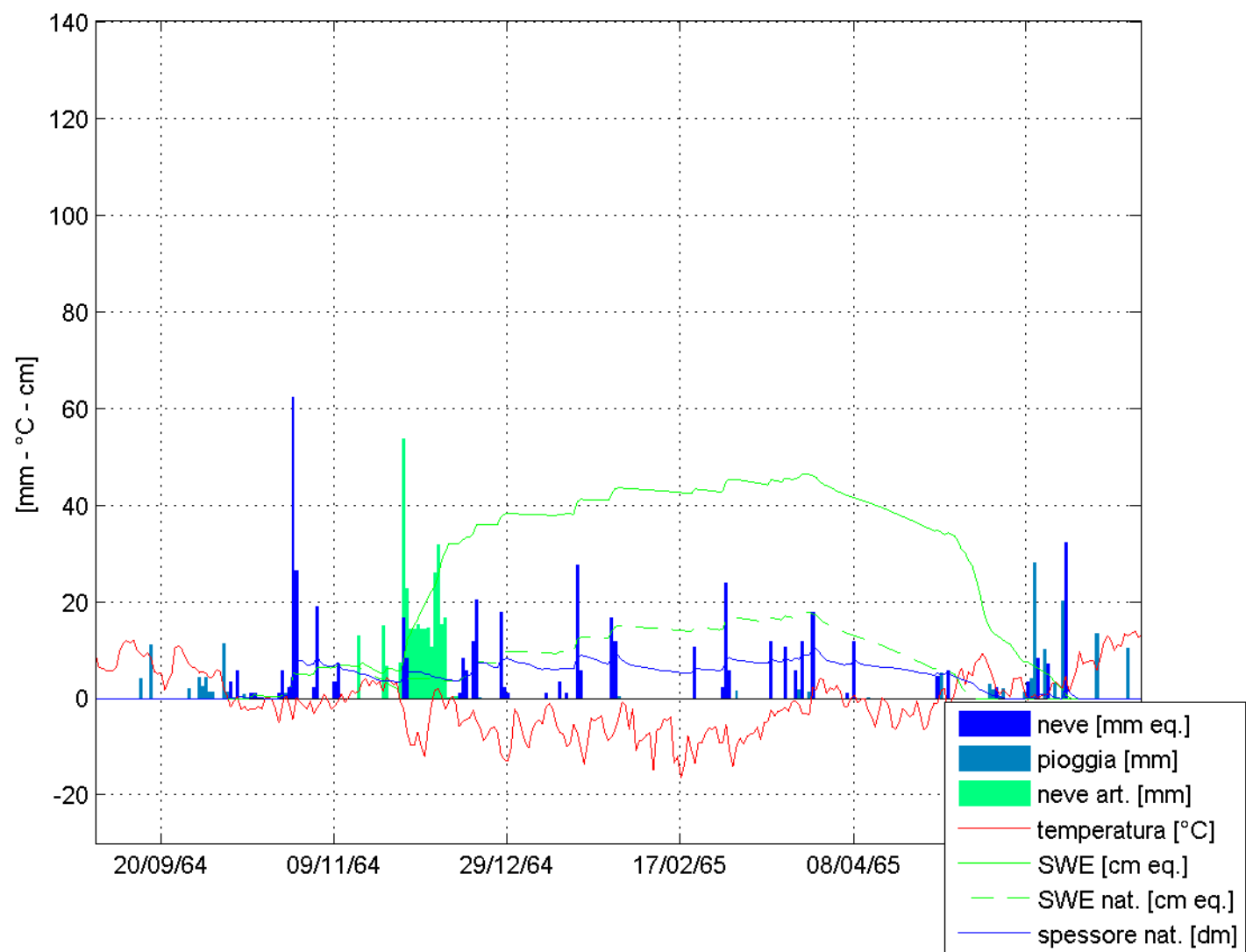


Fig. D37: Serie meteorologiche Anno 1964/1965

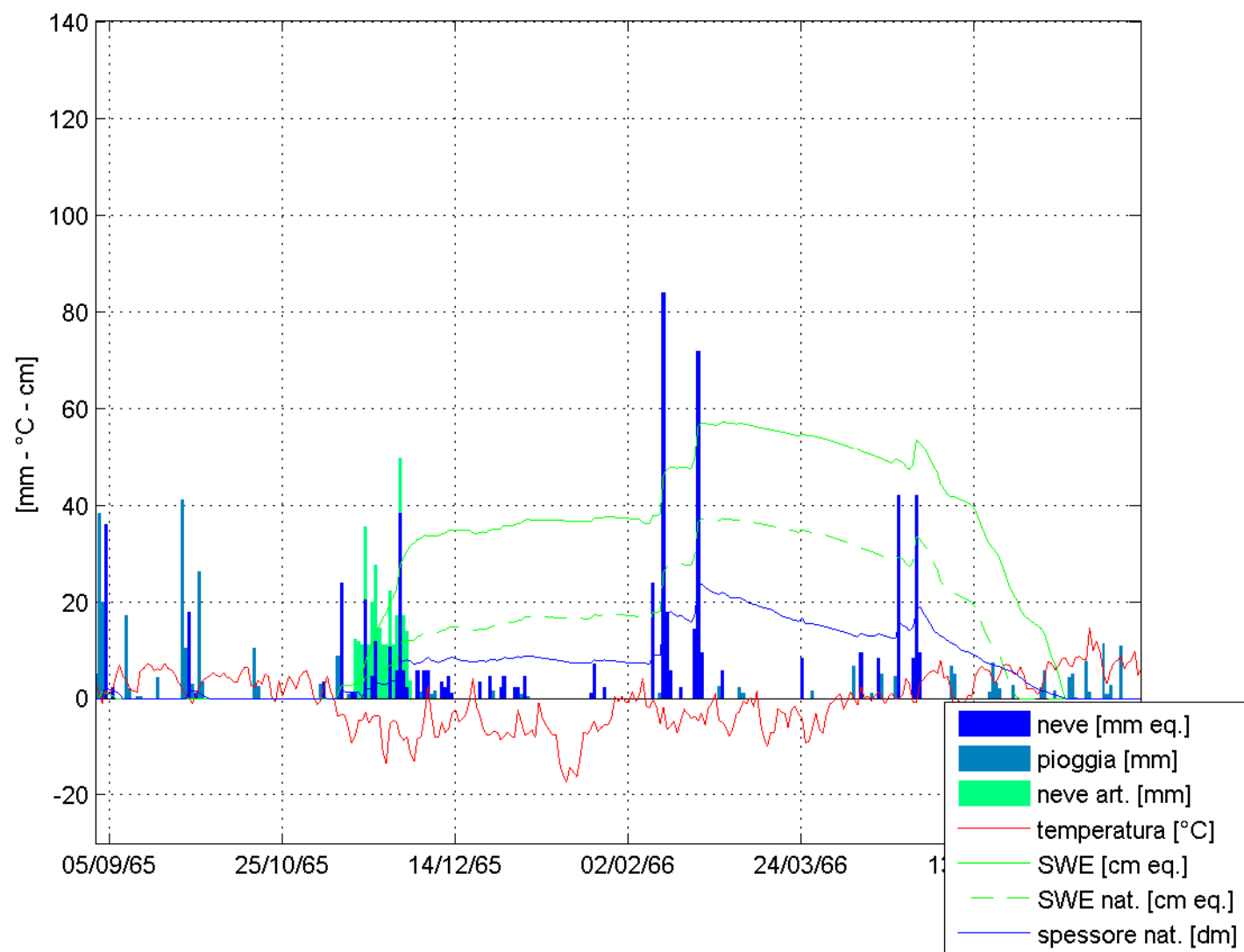


Fig. D38: Serie meteorologiche Anno 1965/1966

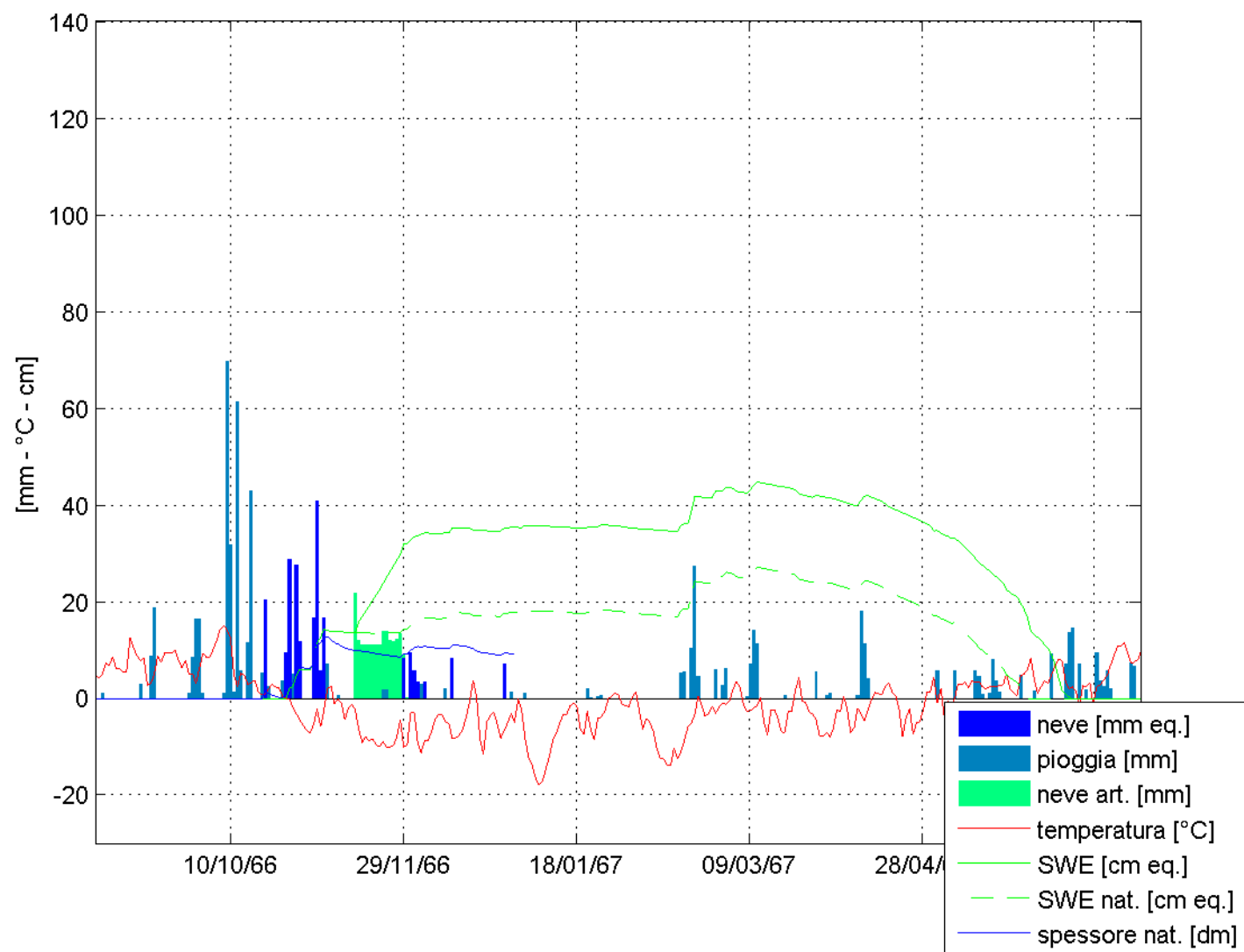


Fig. D39: Serie meteorologiche Anno 1966/1967

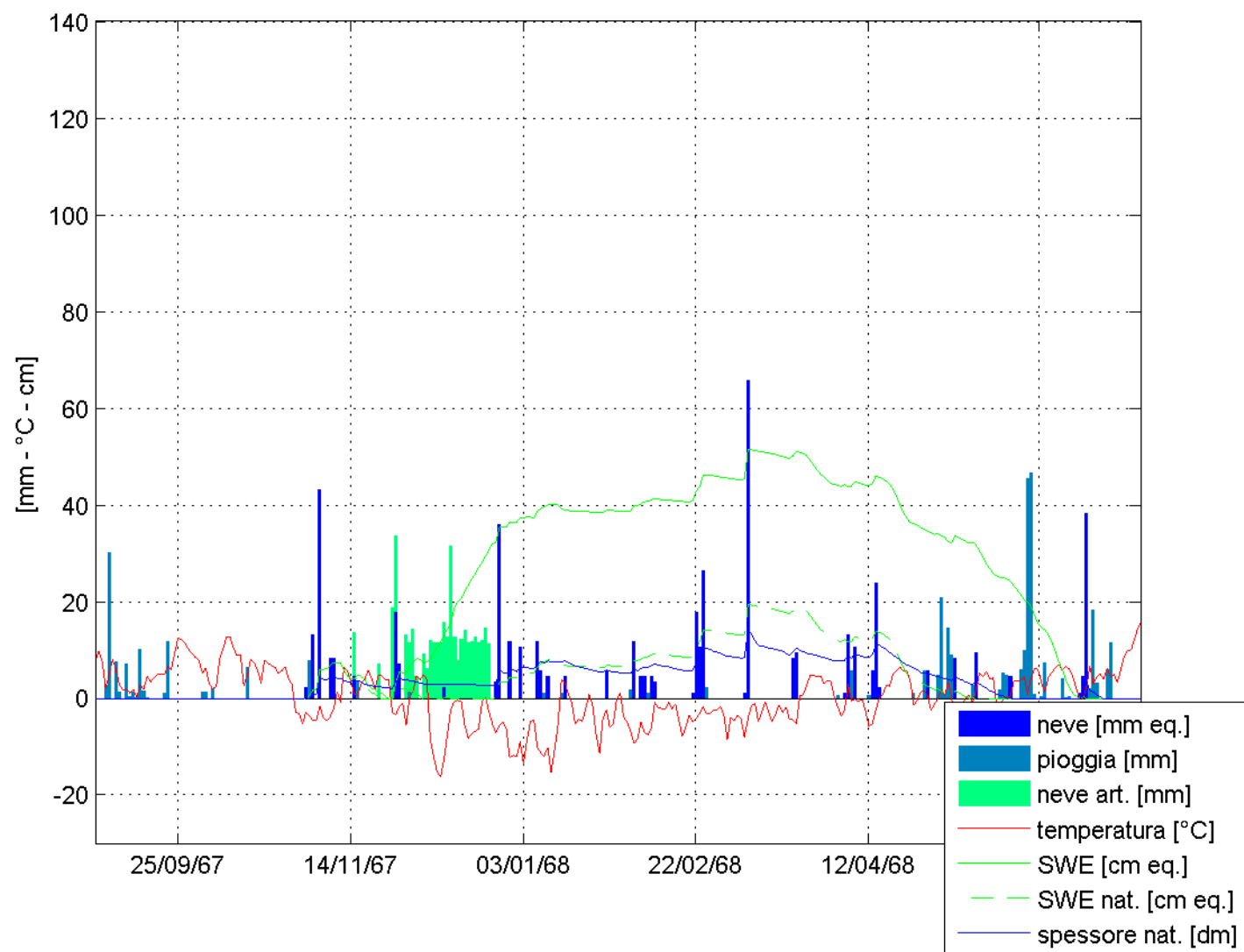


Fig. D40: Serie meteorologiche Anno 1967/1968

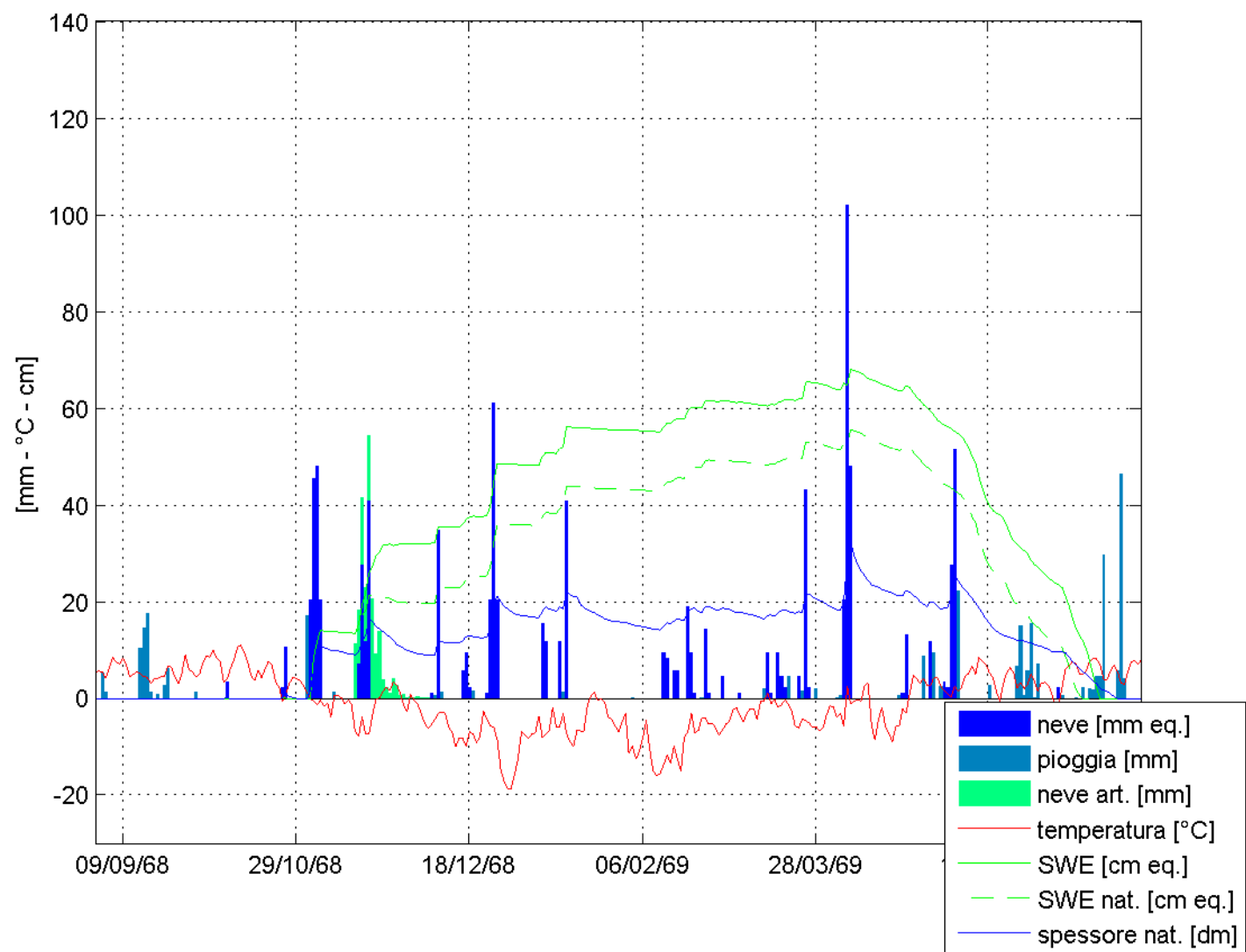


Fig. D41: Serie meteorologiche Anno 1968/1969

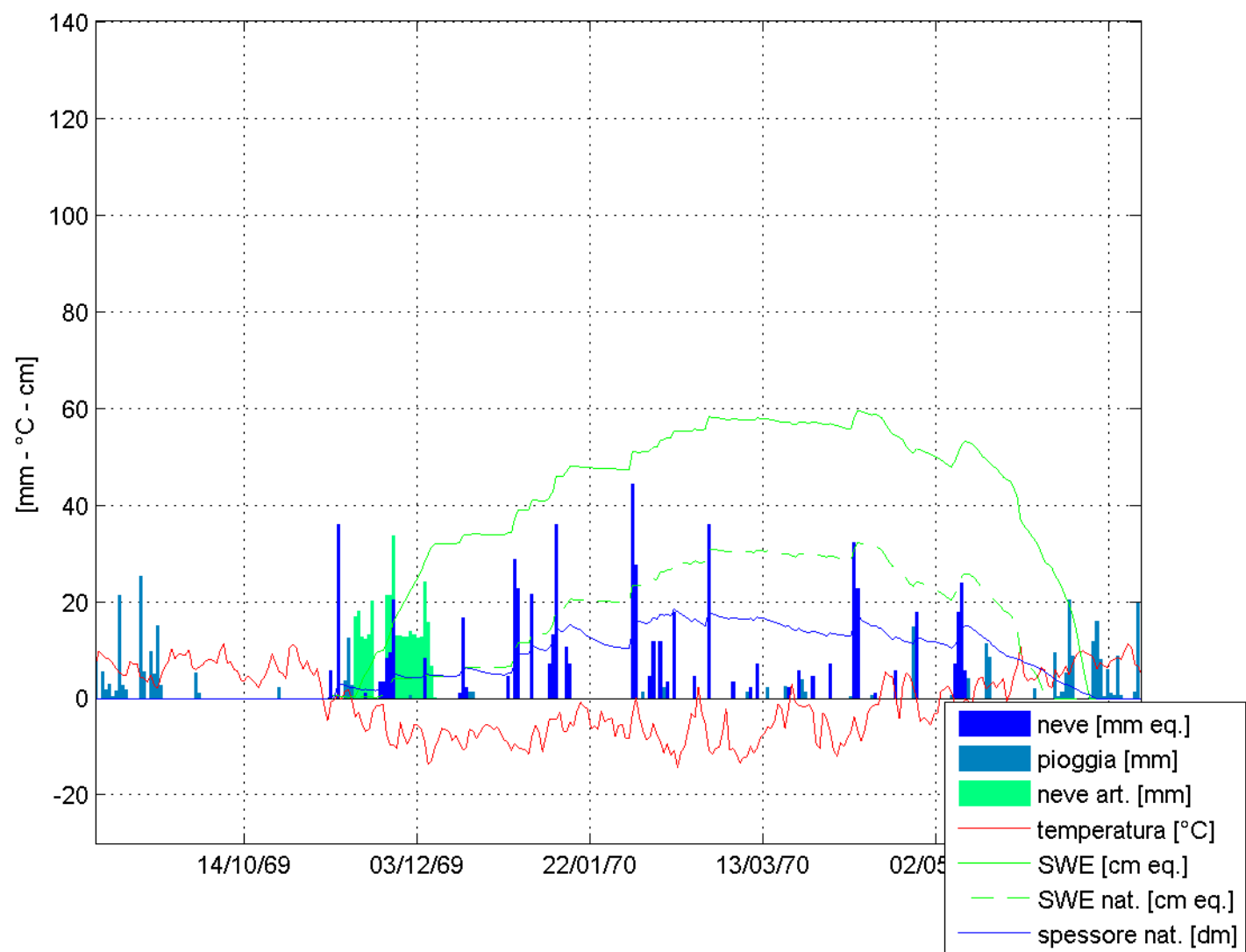


Fig. D42: Serie meteorologiche Anno 1969/1970

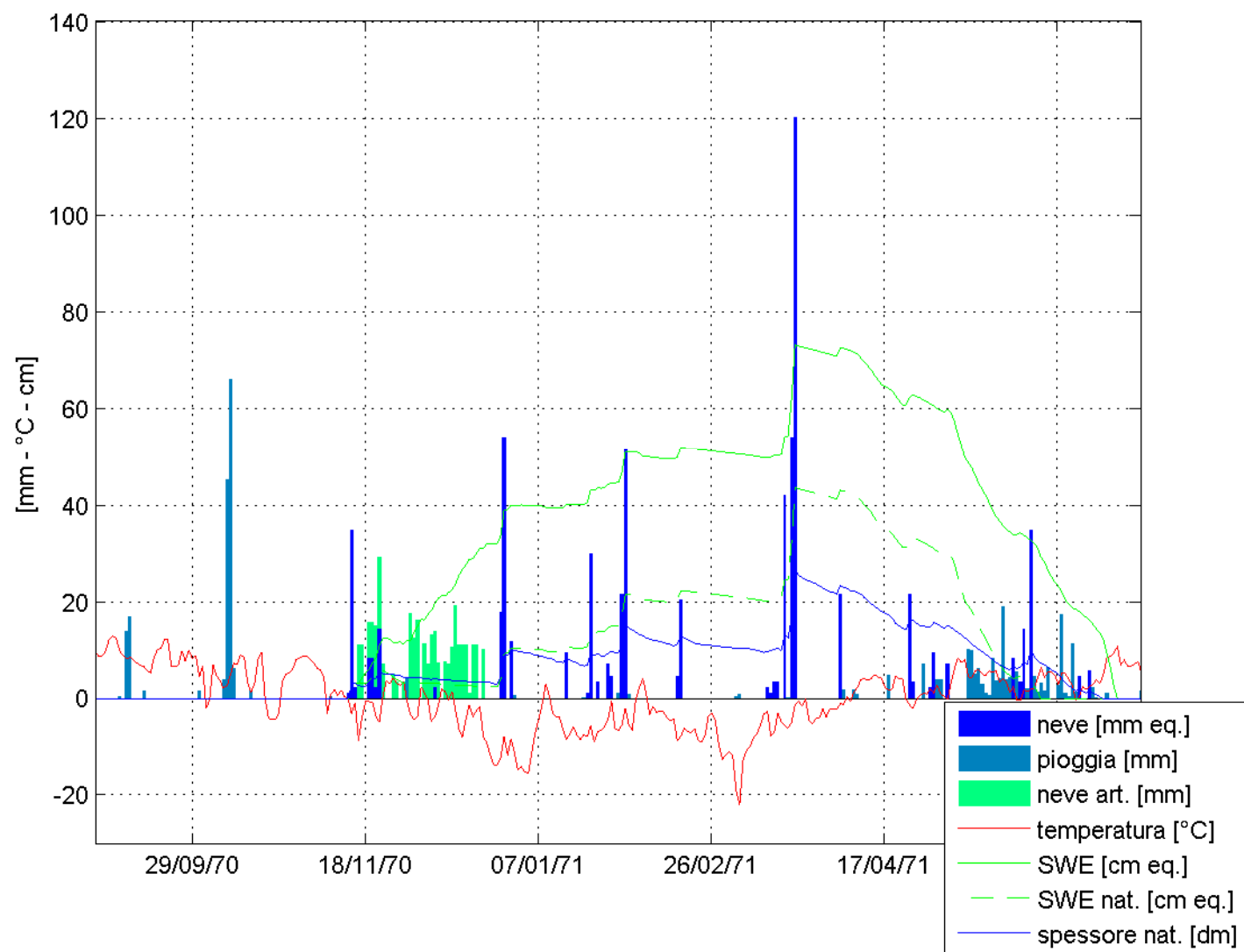


Fig. D43: Serie meteorologiche Anno 1970/1971

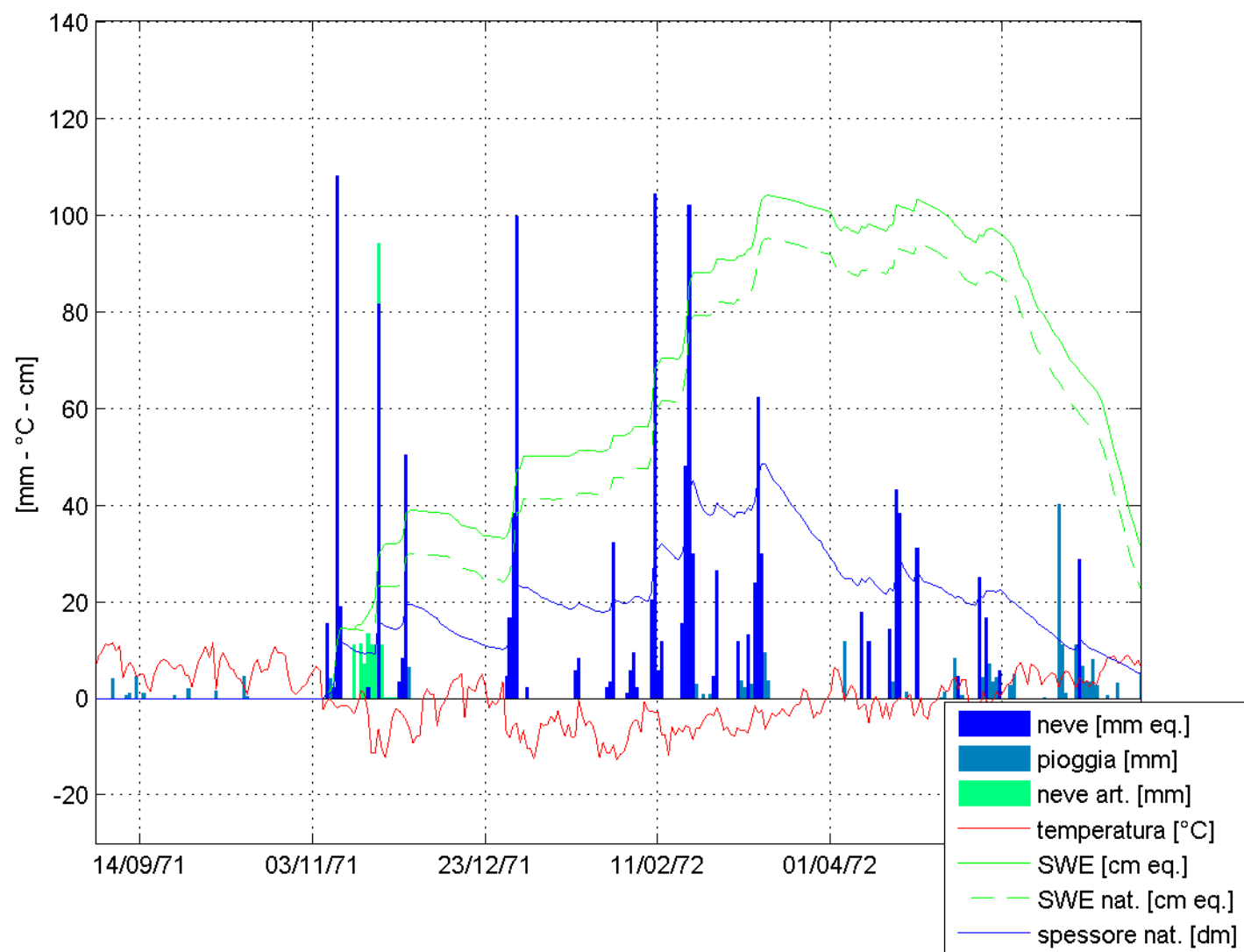


Fig. D44: Serie meteorologiche Anno 1971/1972

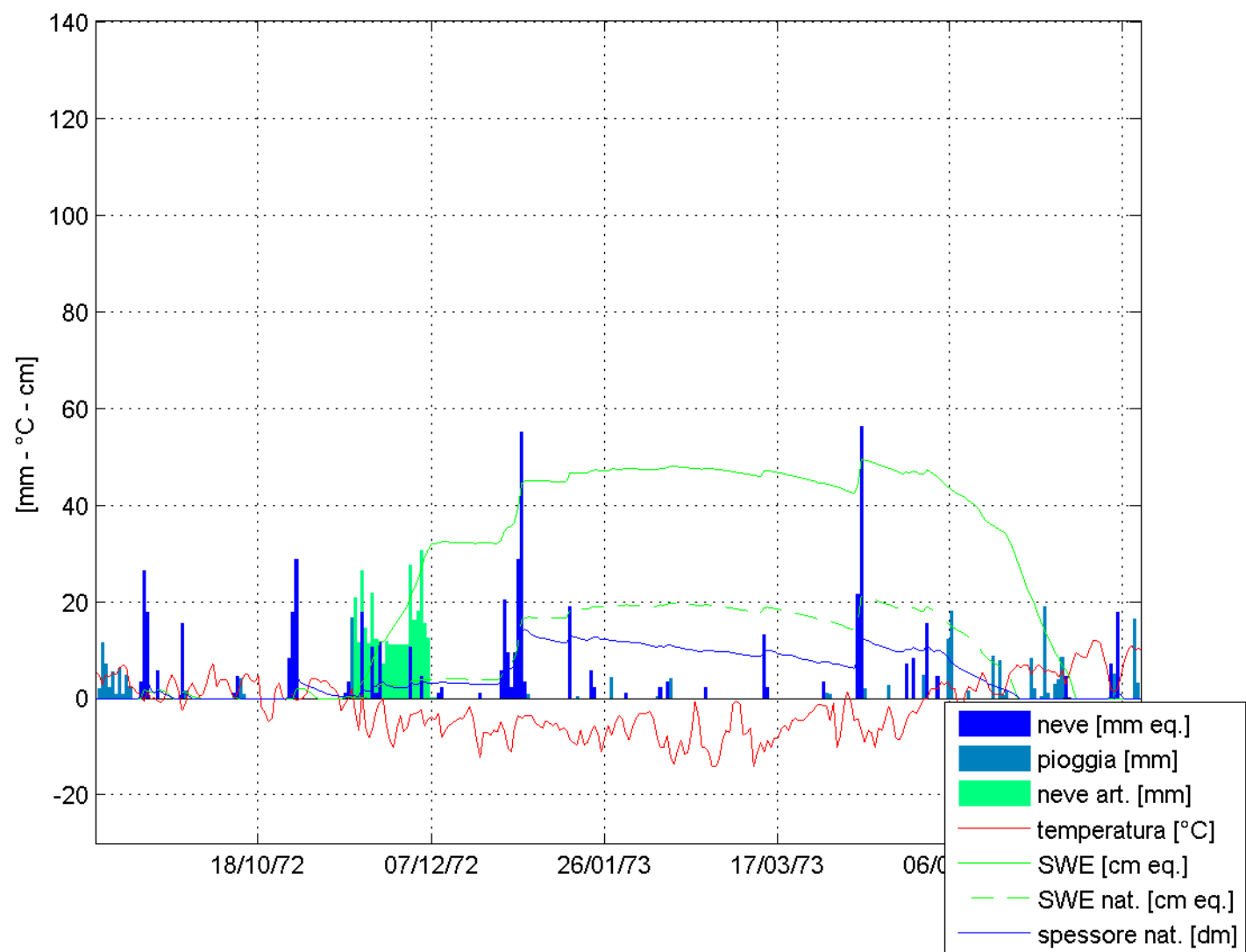


Fig. D45: Serie meteorologiche Anno 1972/1973

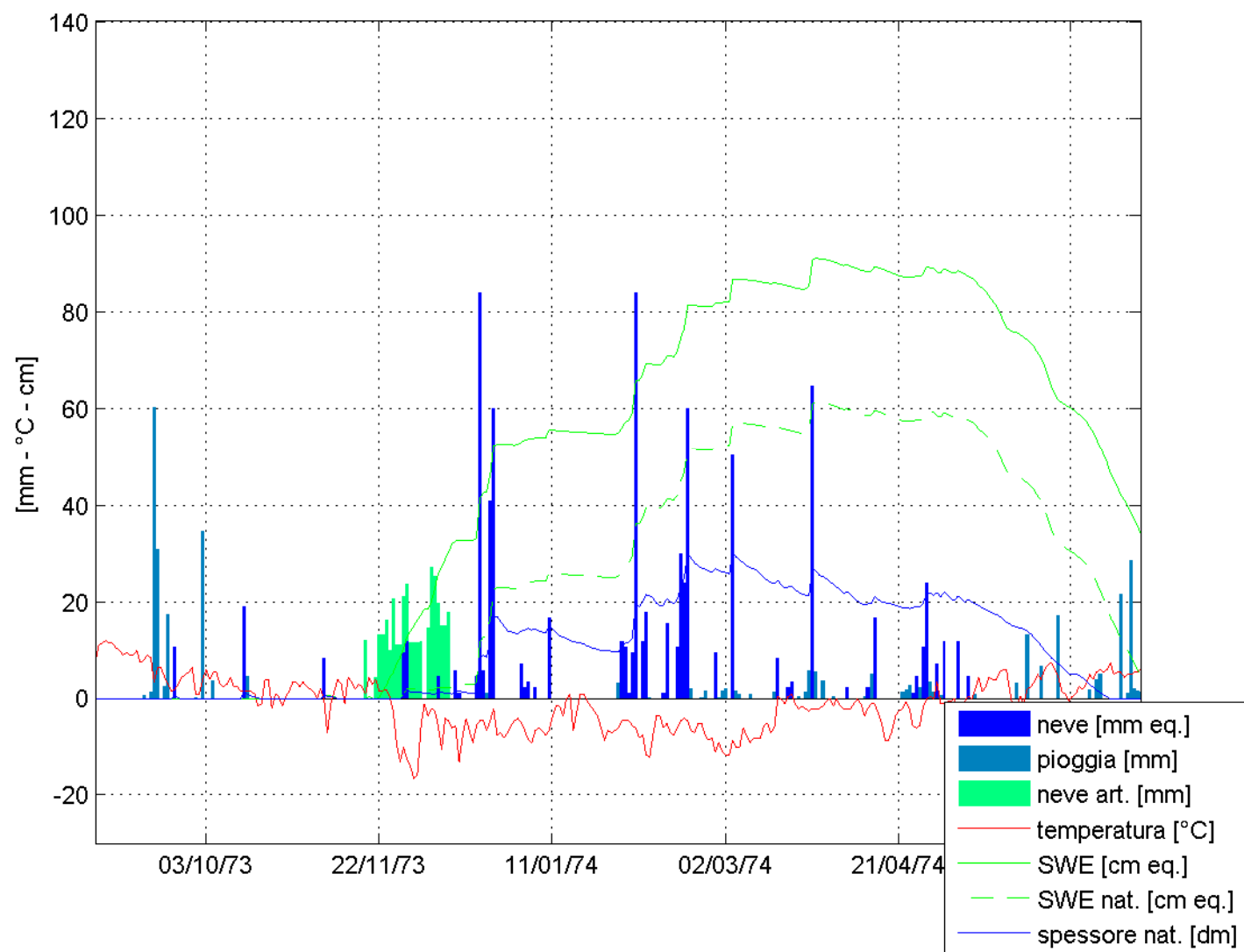


Fig. D46: Serie meteorologiche Anno 1973/1974

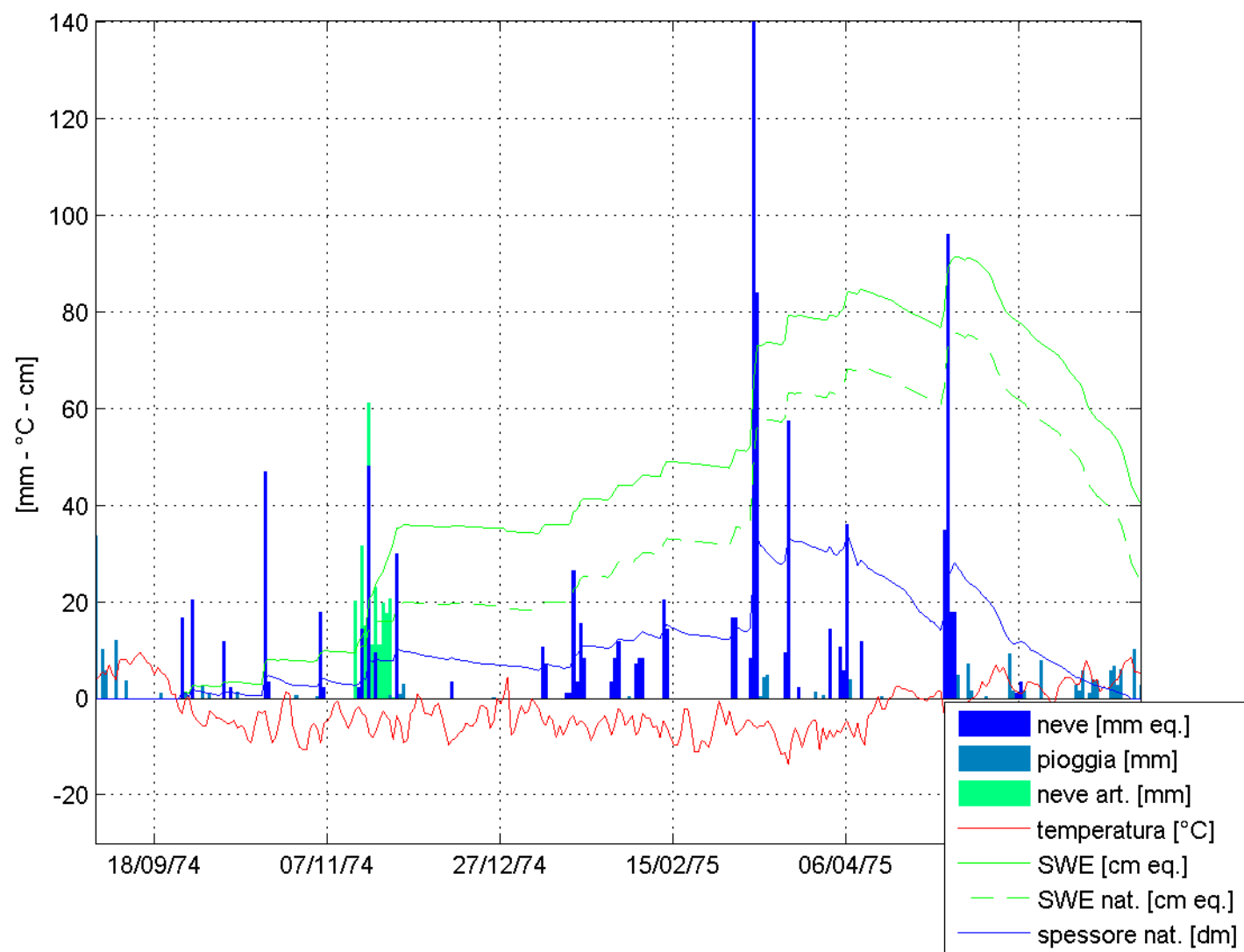


Fig. D47: Serie meteorologiche Anno 1974/1975

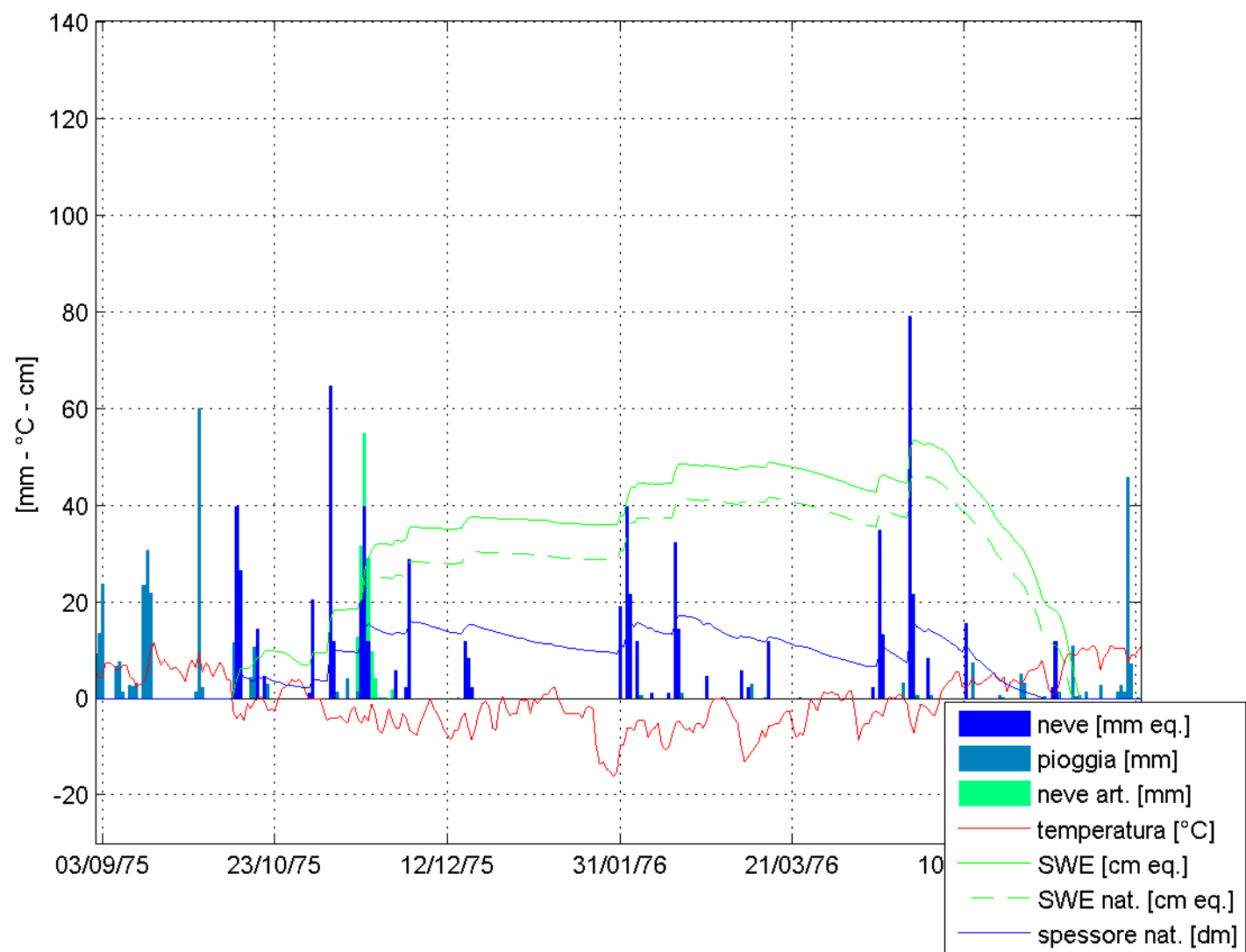


Fig. D48: Serie meteorologiche Anno 1975/1976

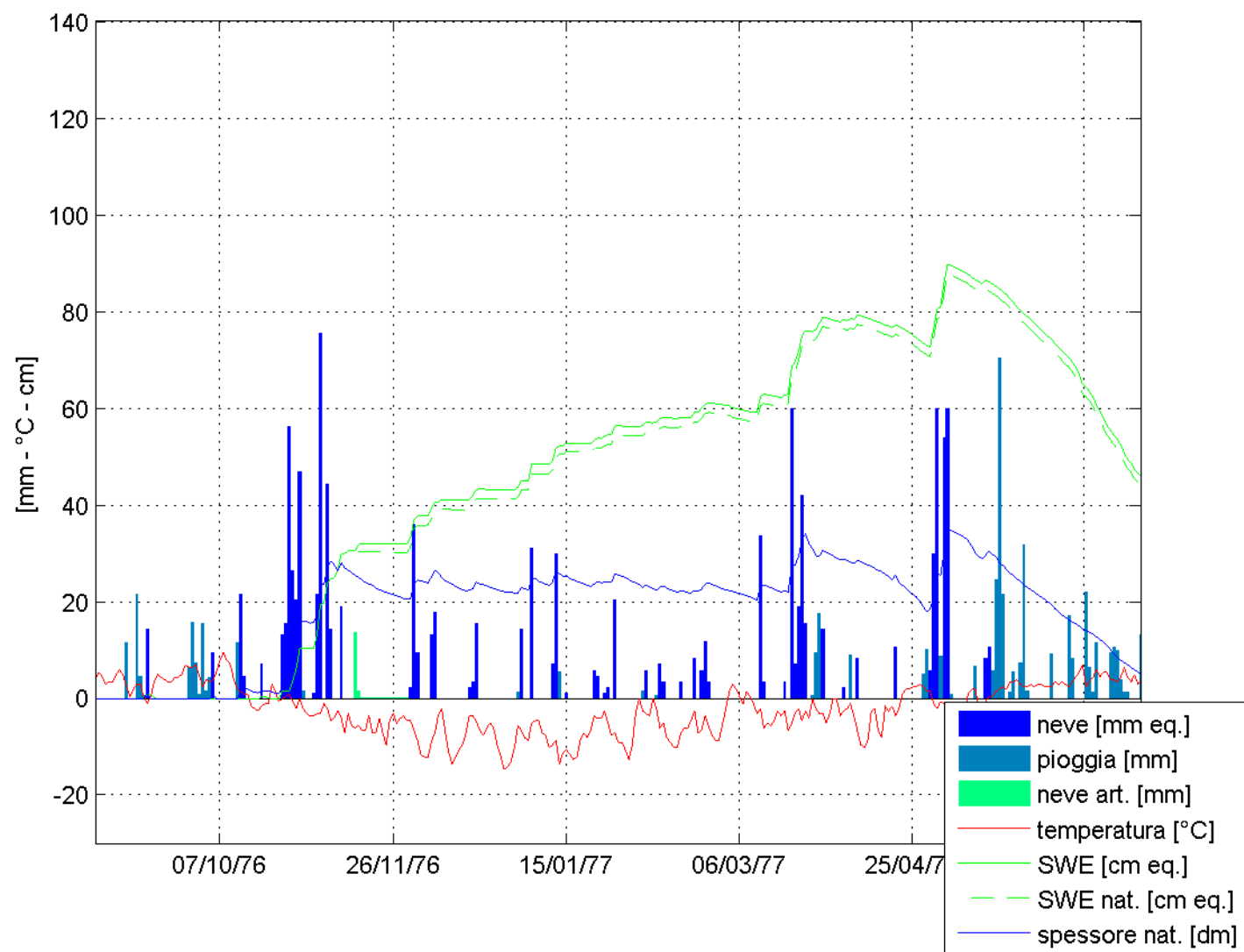


Fig. D49: Serie meteorologiche Anno 1976/1977

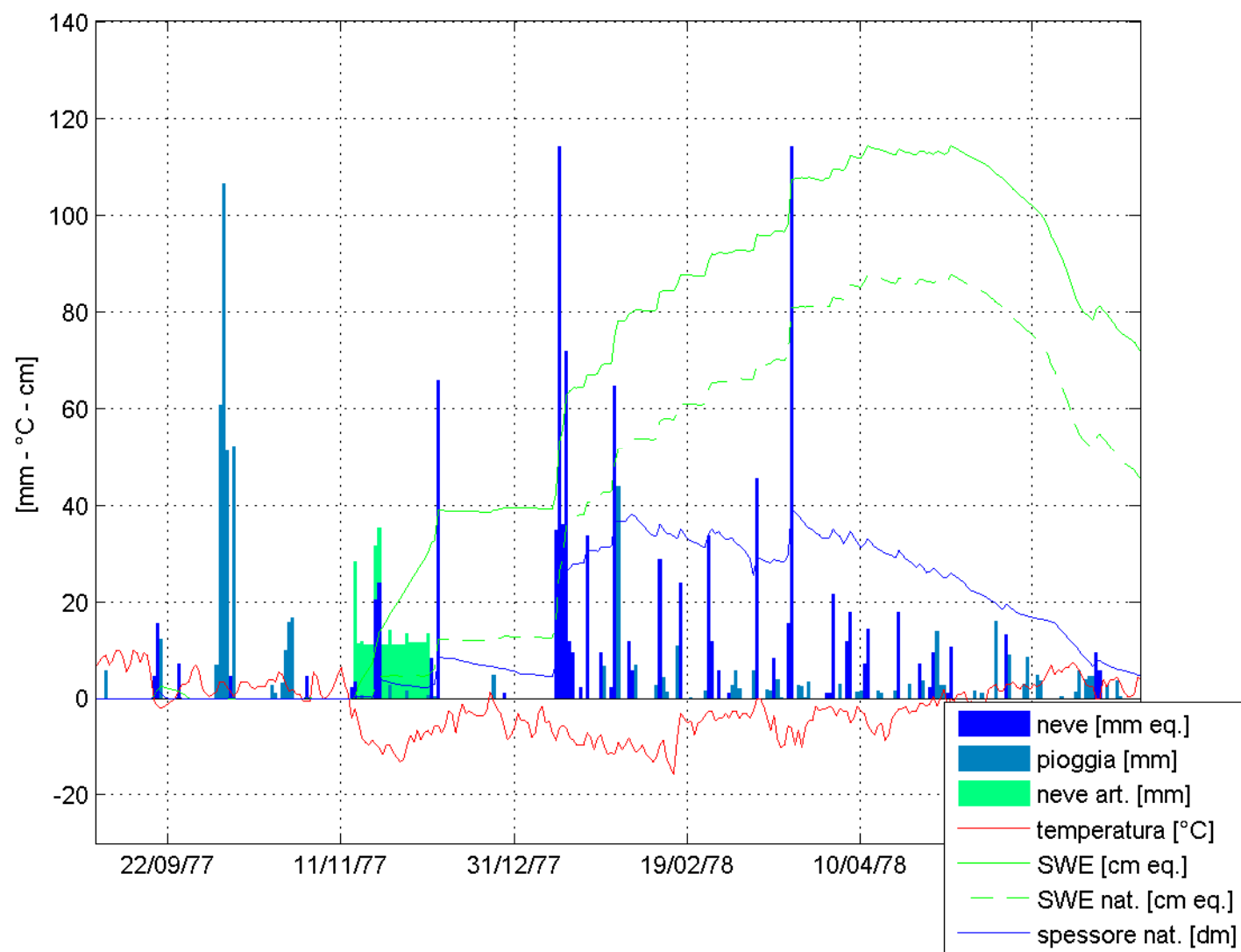


Fig. D50: Serie meteorologiche Anno 1977/1978

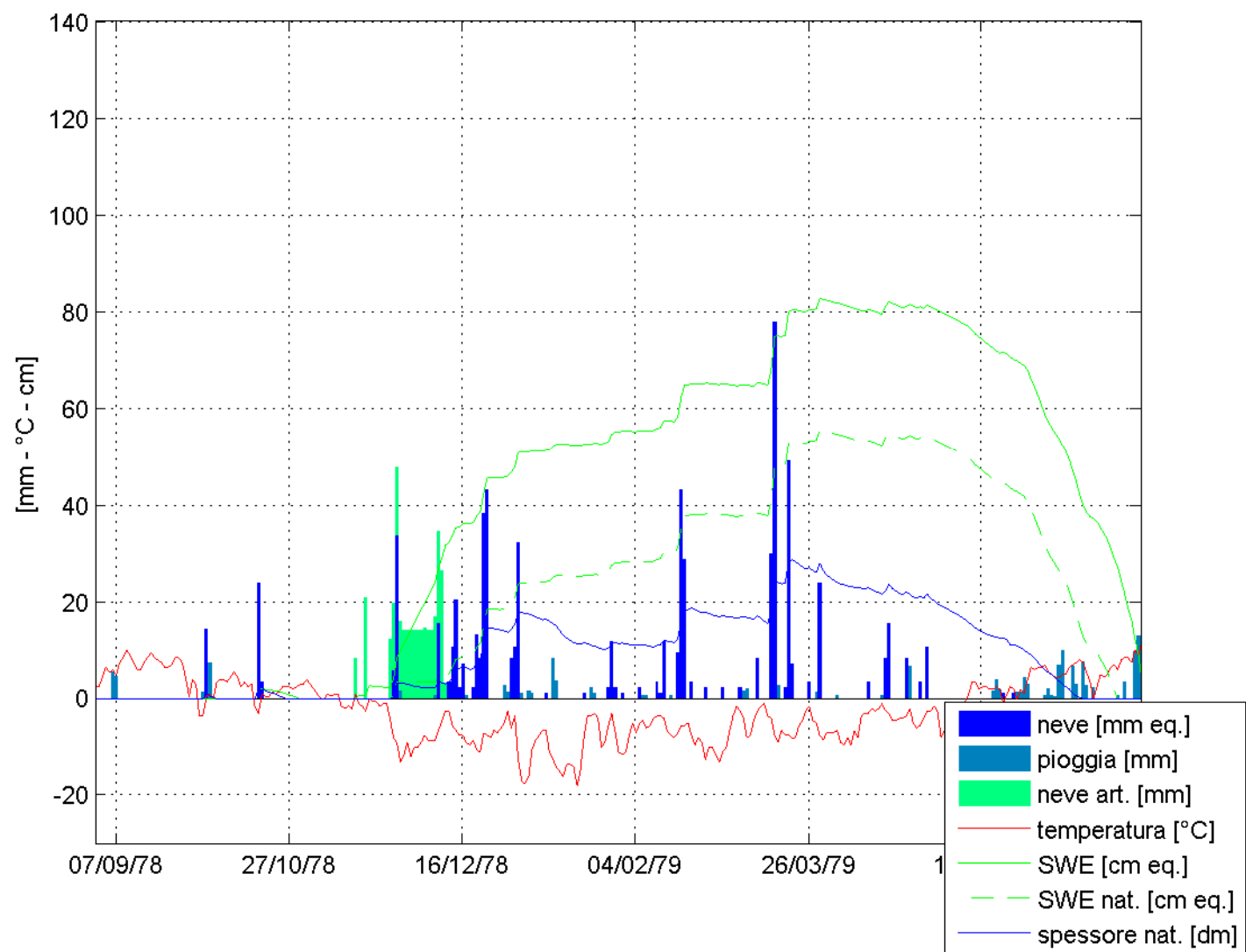


Fig. D51: Serie meteorologiche Anno 1978/1979

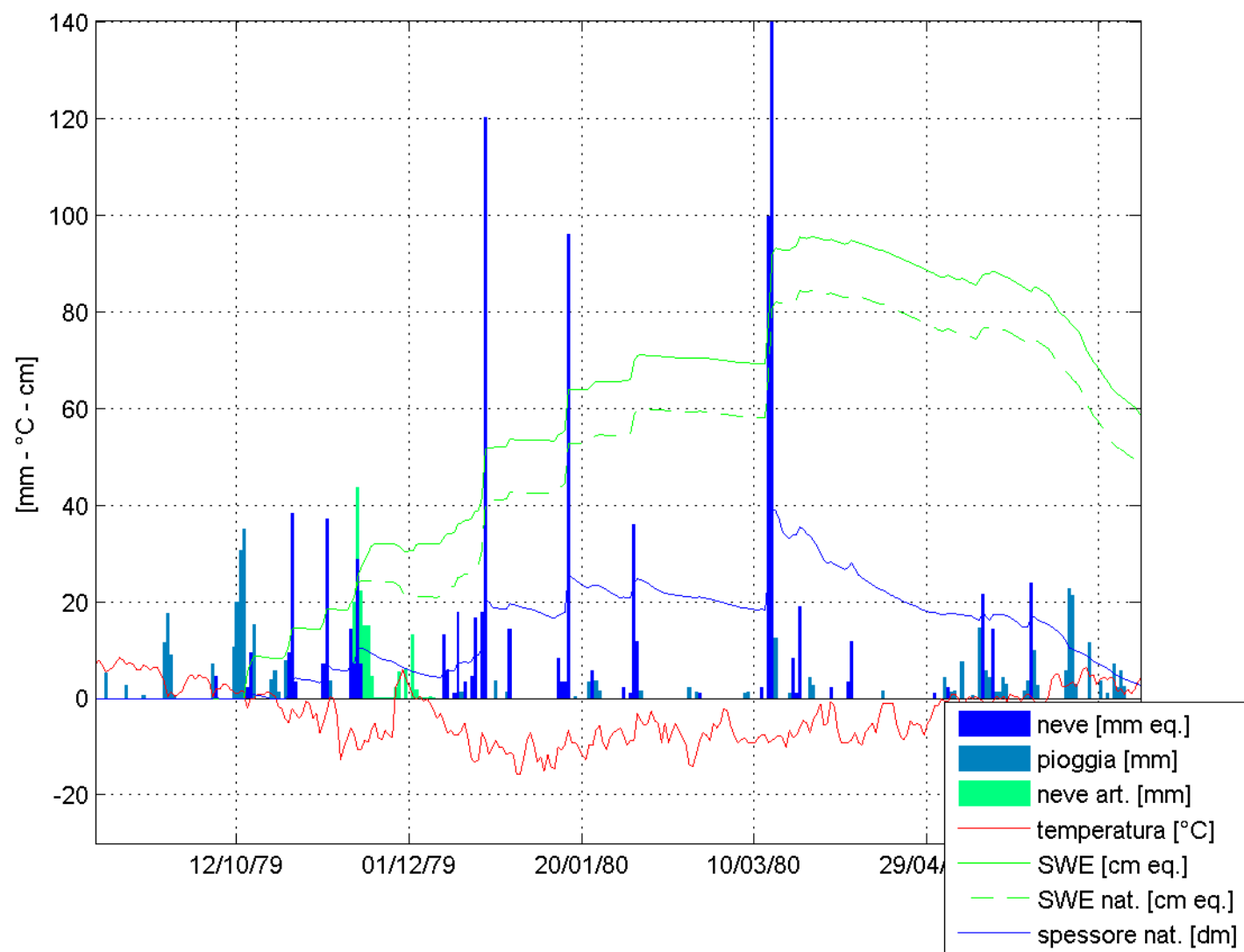


Fig. D52: Serie meteorologiche Anno 1979/1980

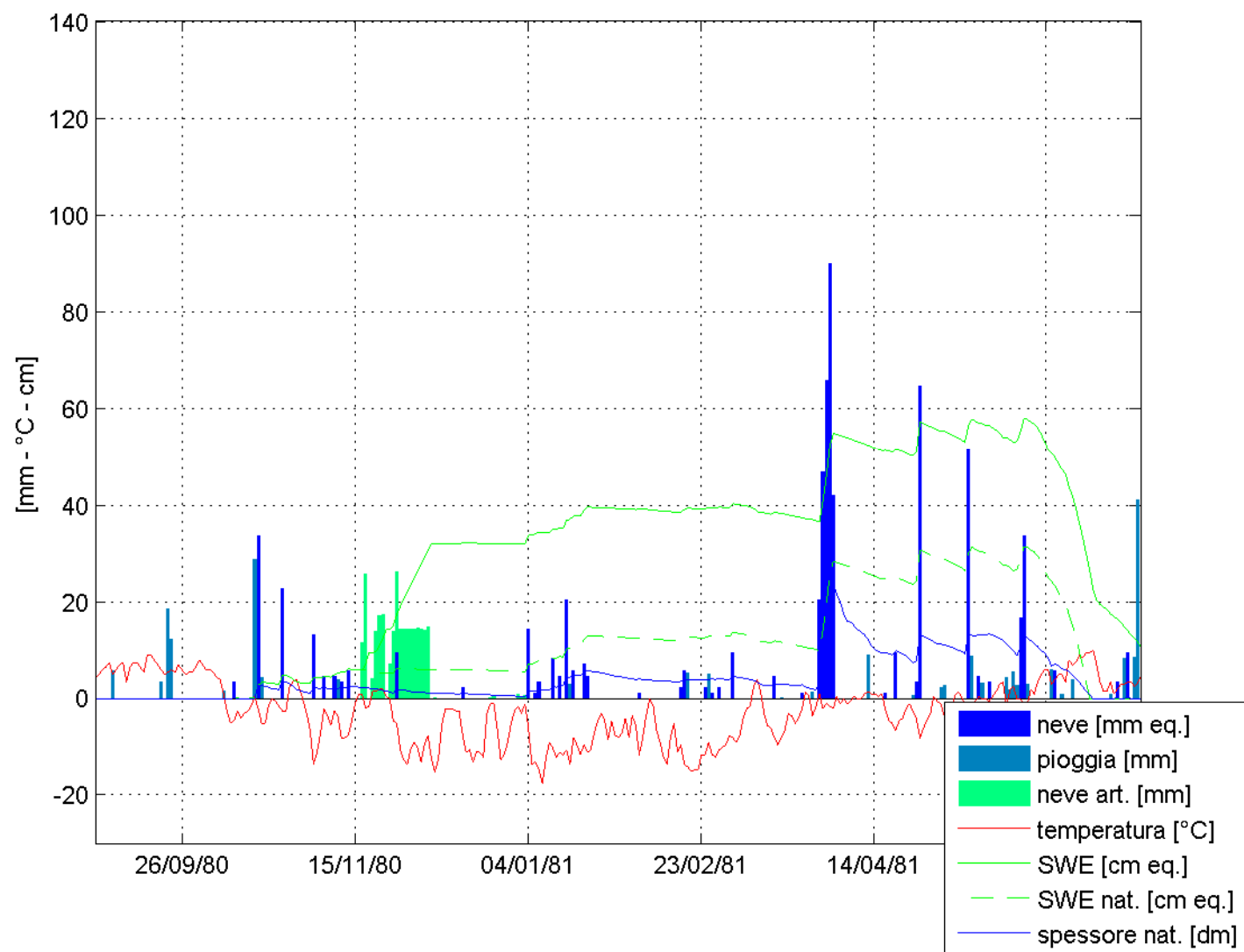


Fig. D53: Serie meteorologiche Anno 1980/1981

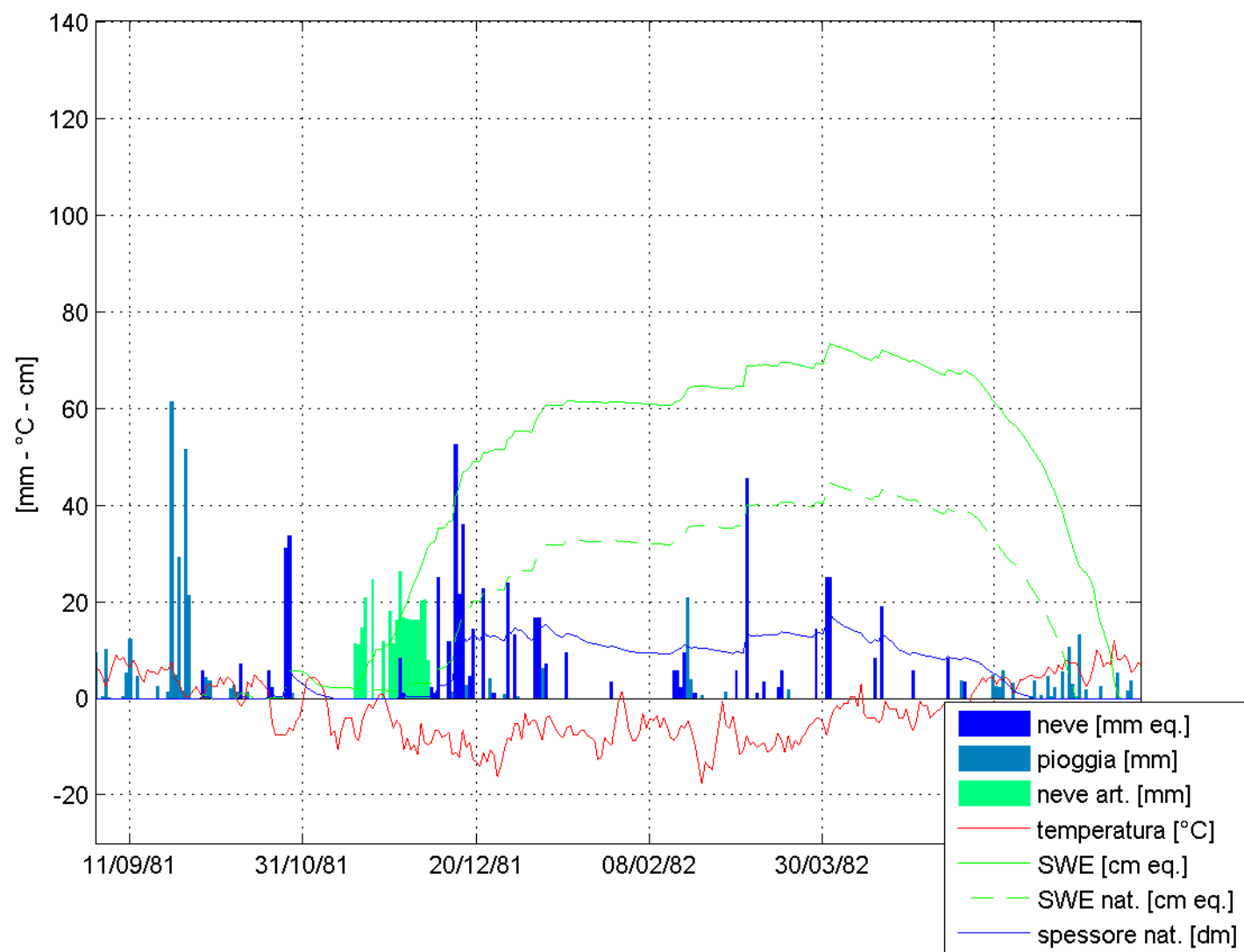


Fig. D54: Serie meteorologiche Anno 1981/1982

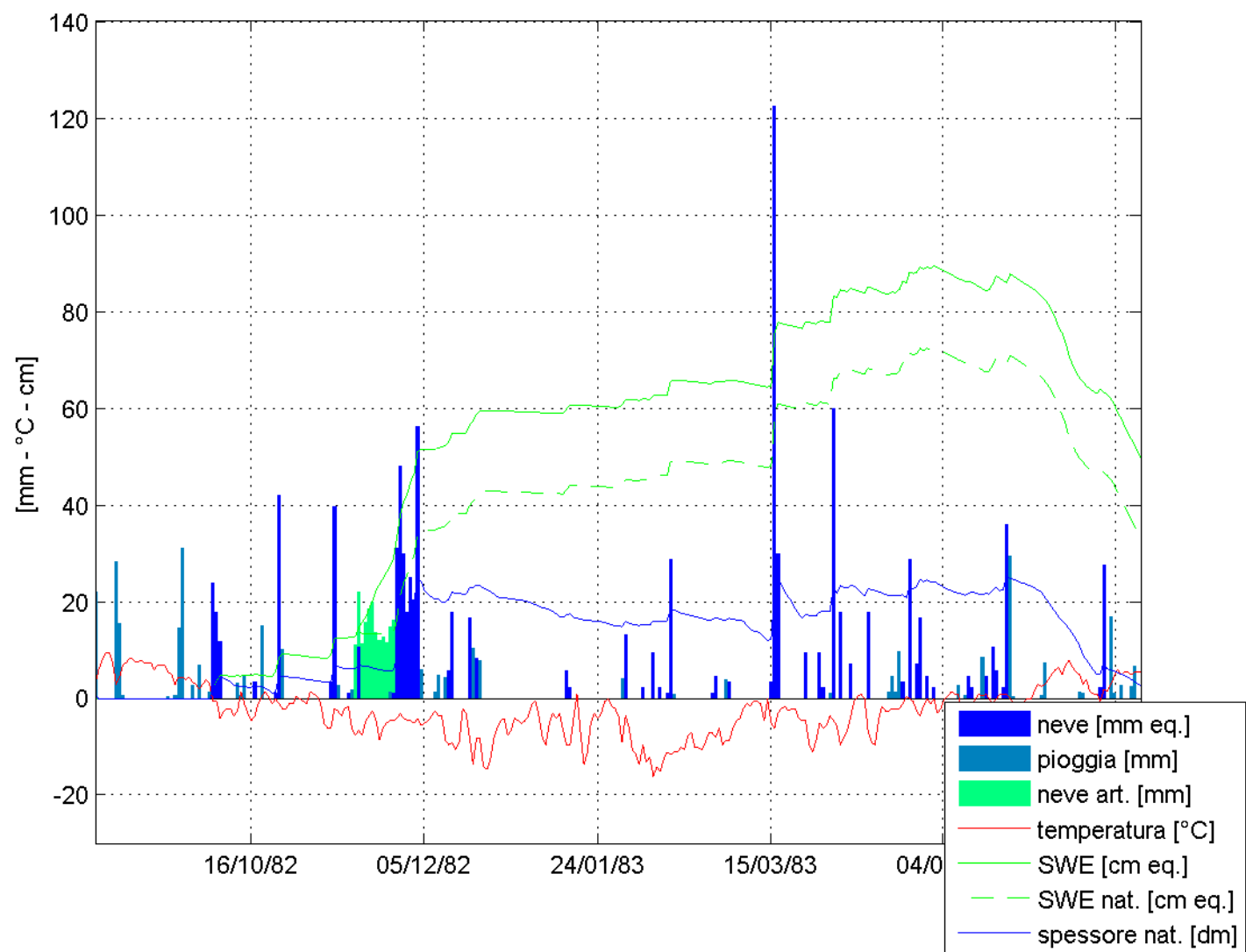


Fig. D55: Serie meteorologiche Anno 1982/1983

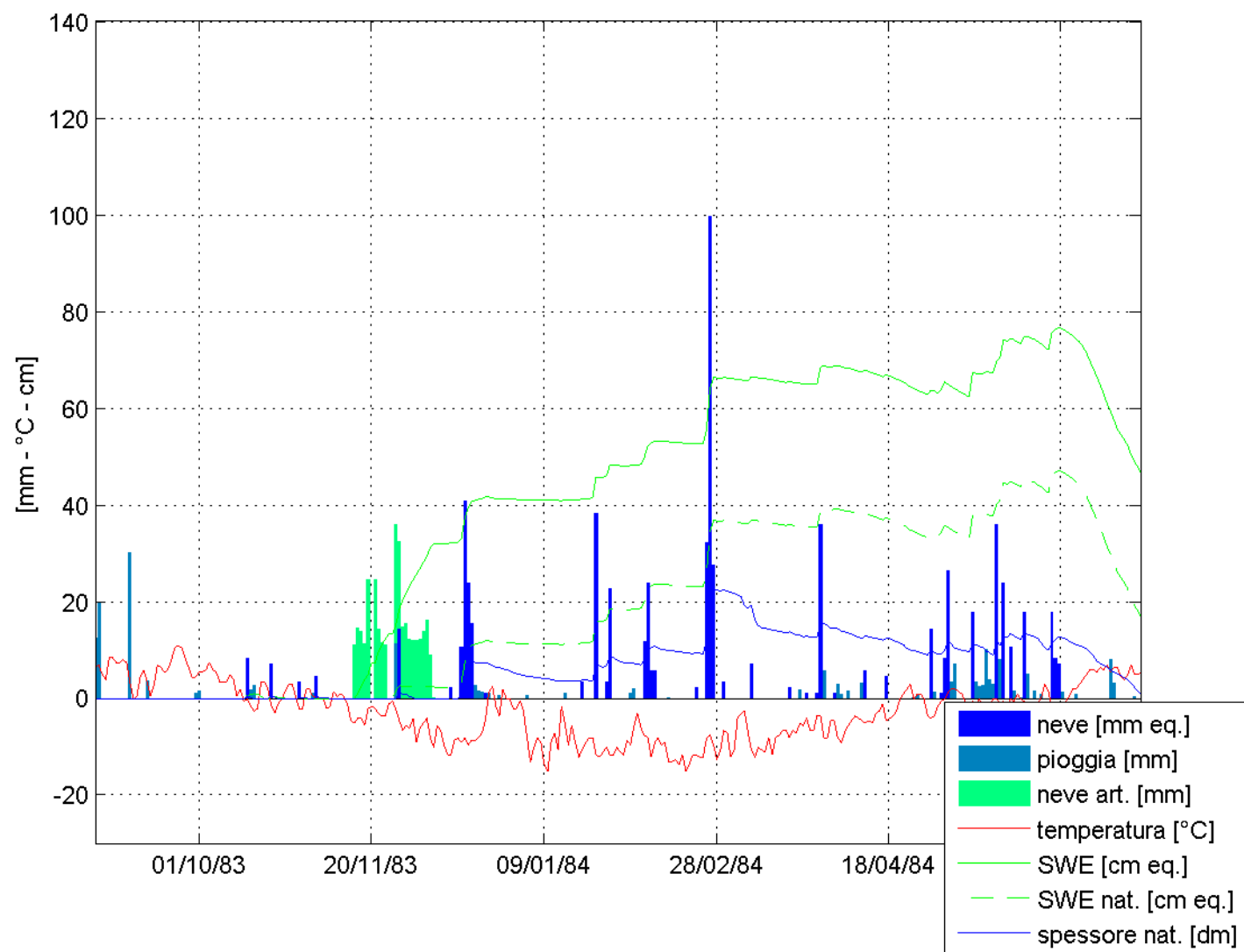


Fig. D56: Serie meteorologiche Anno 1983/1984

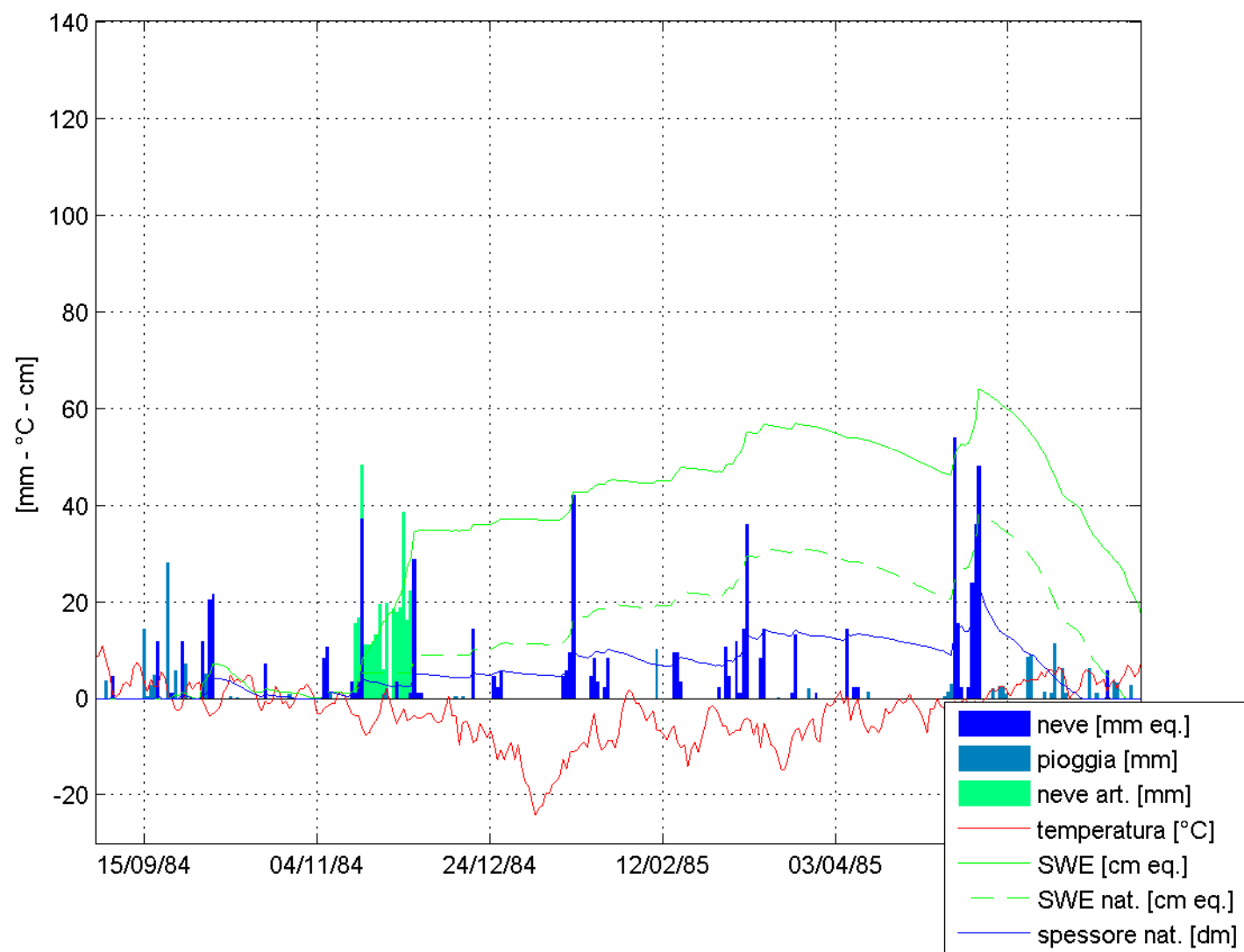


Fig. D57: Serie meteorologiche Anno 1984/1985

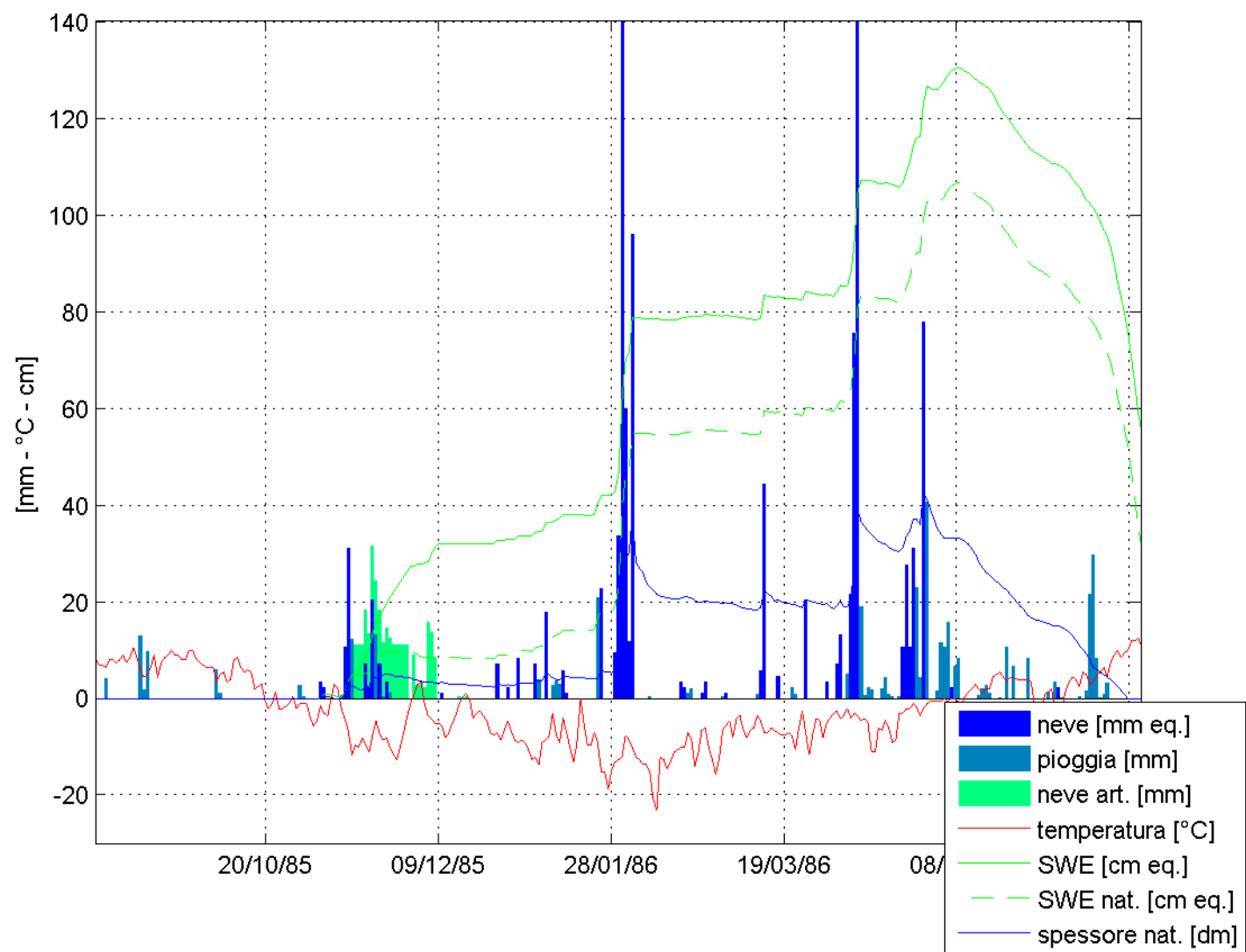


Fig. D58: Serie meteorologiche Anno 1985/1986

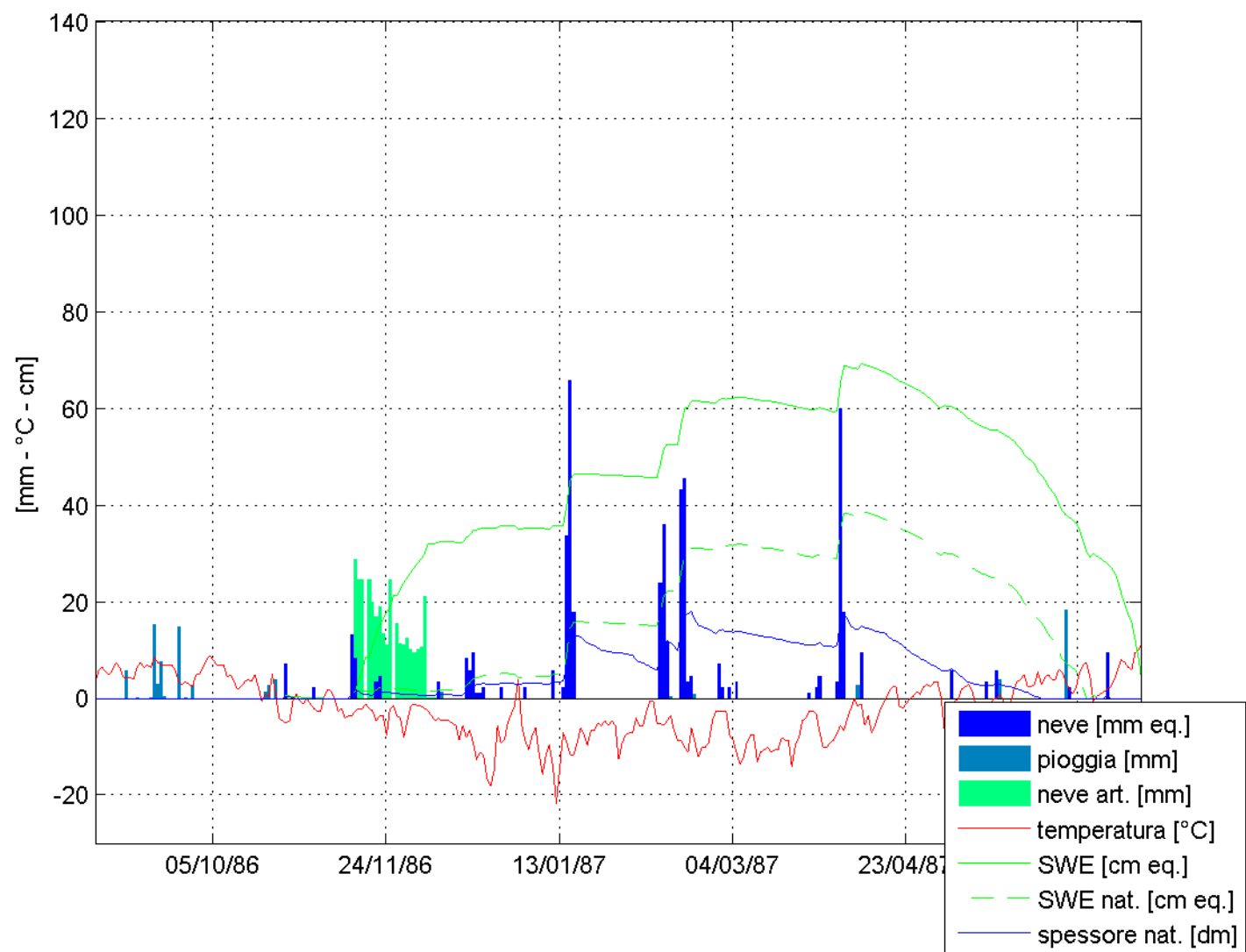


Fig. D59: Serie meteorologiche Anno 1986/1987

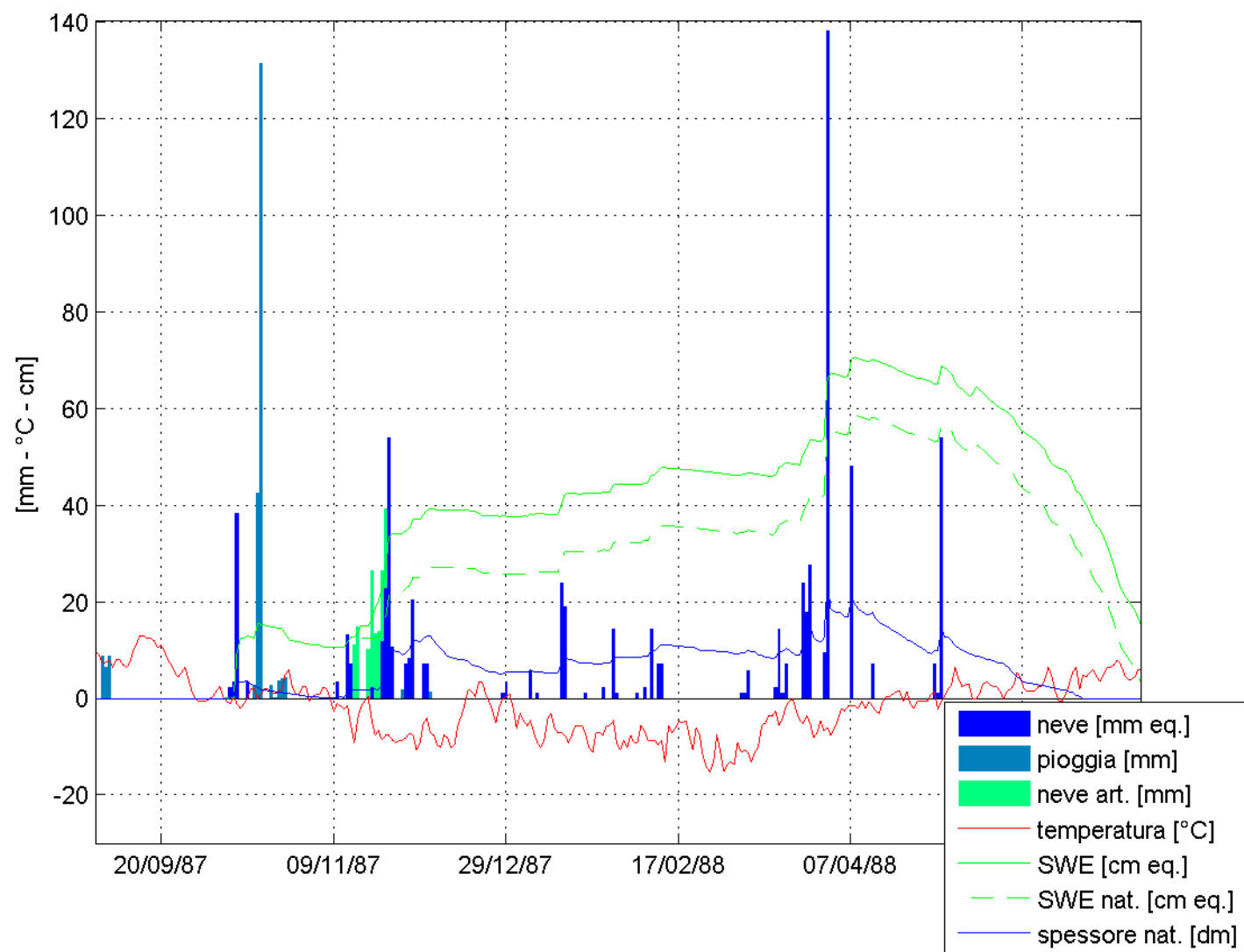


Fig. D60: Serie meteorologiche Anno 1987/1988

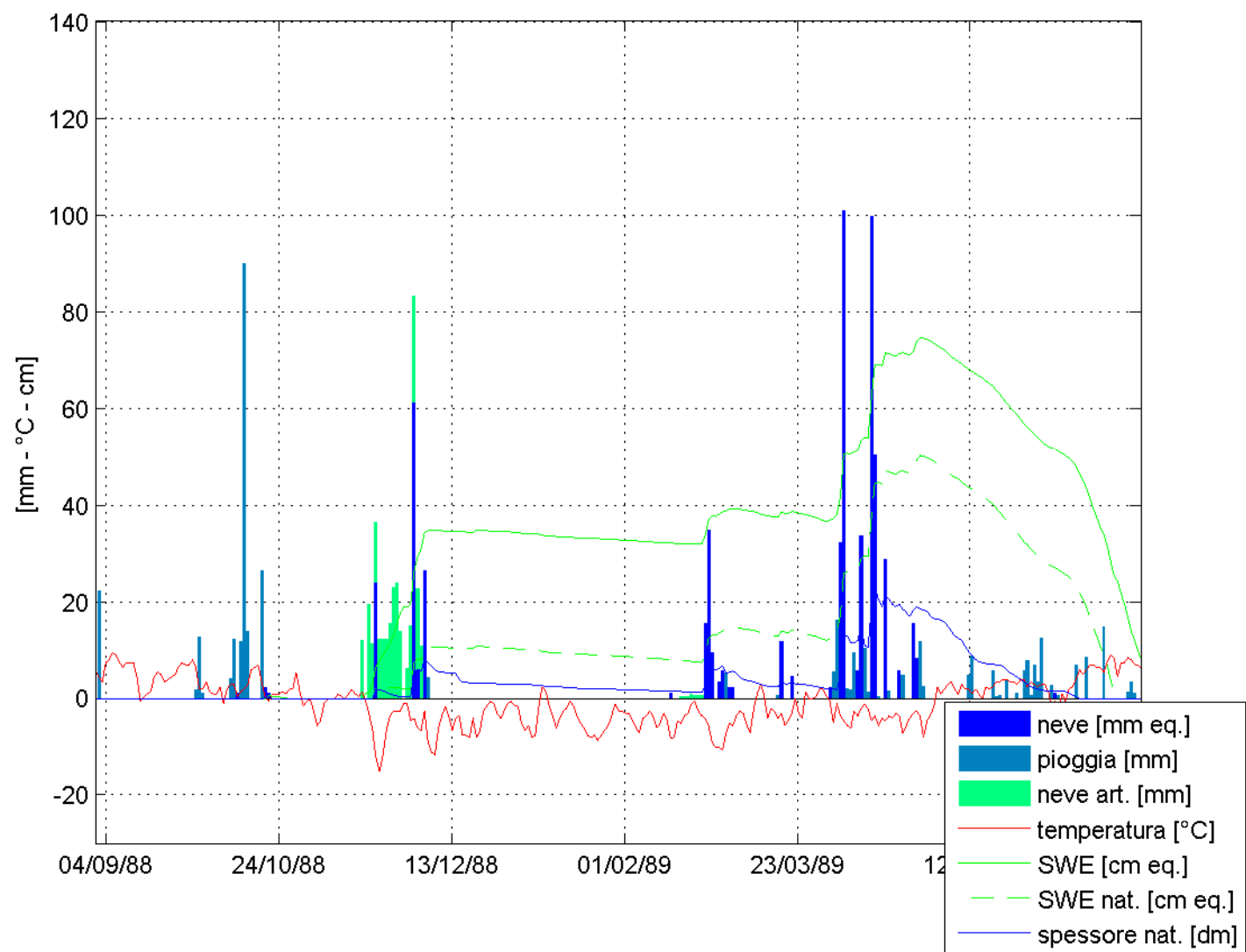


Fig. D61: Serie meteorologiche Anno 1988/1989

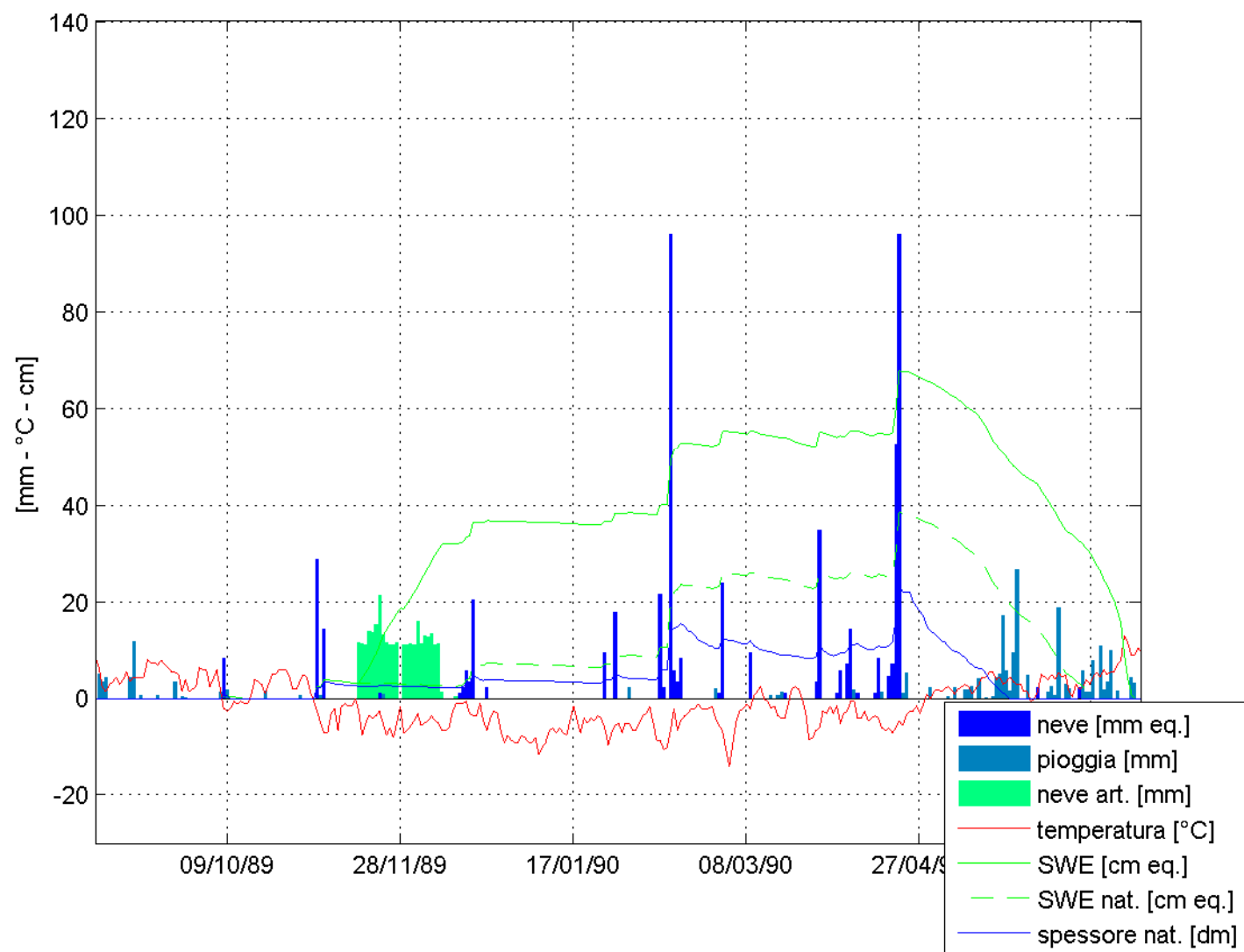


Fig. D62: Serie meteorologiche Anno 1989/1990

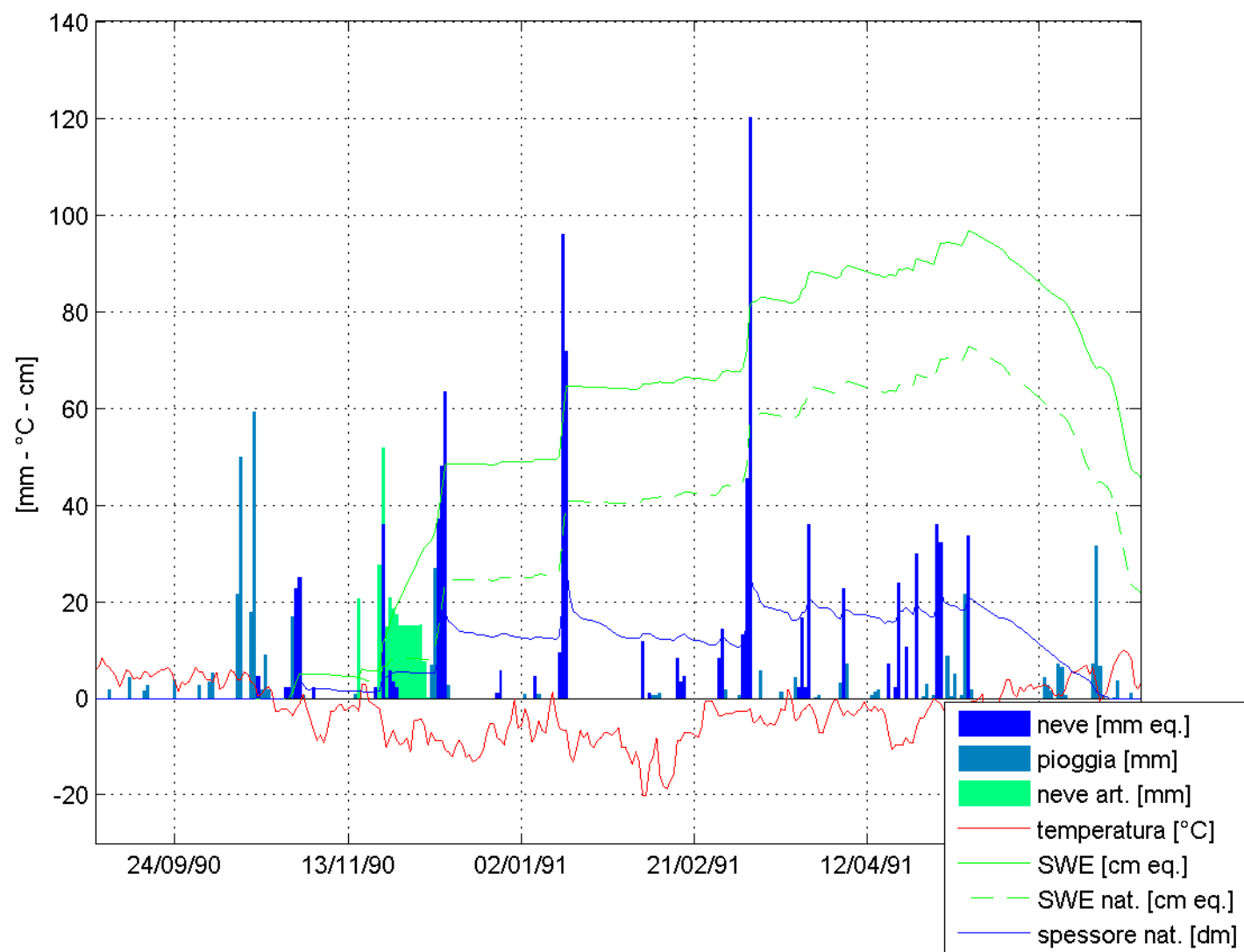


Fig. D63: Serie meteorologiche Anno 1990/1991

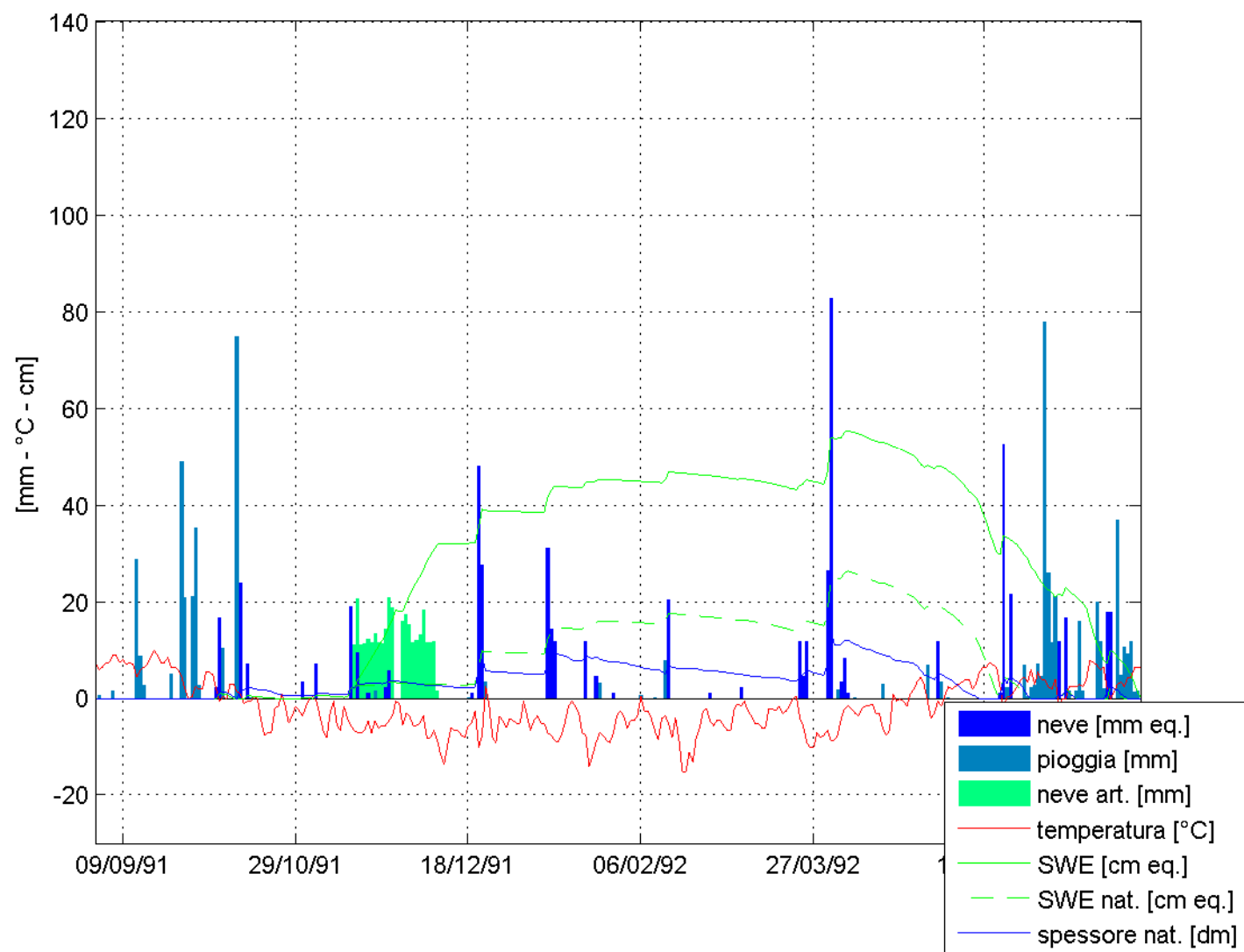


Fig. D64: Serie meteorologiche Anno 1991/1992

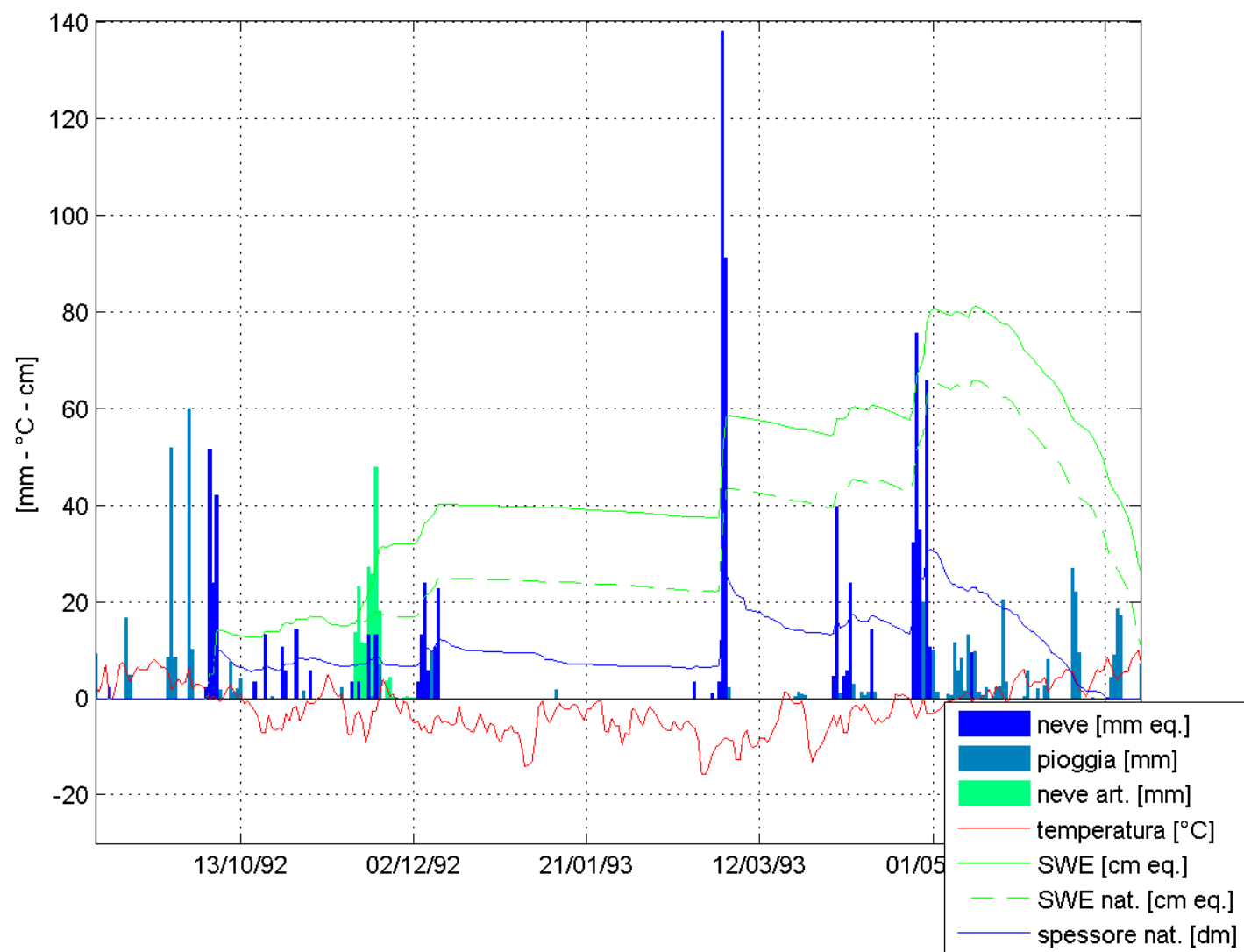


Fig. D65: Serie meteorologiche Anno 1992/1993

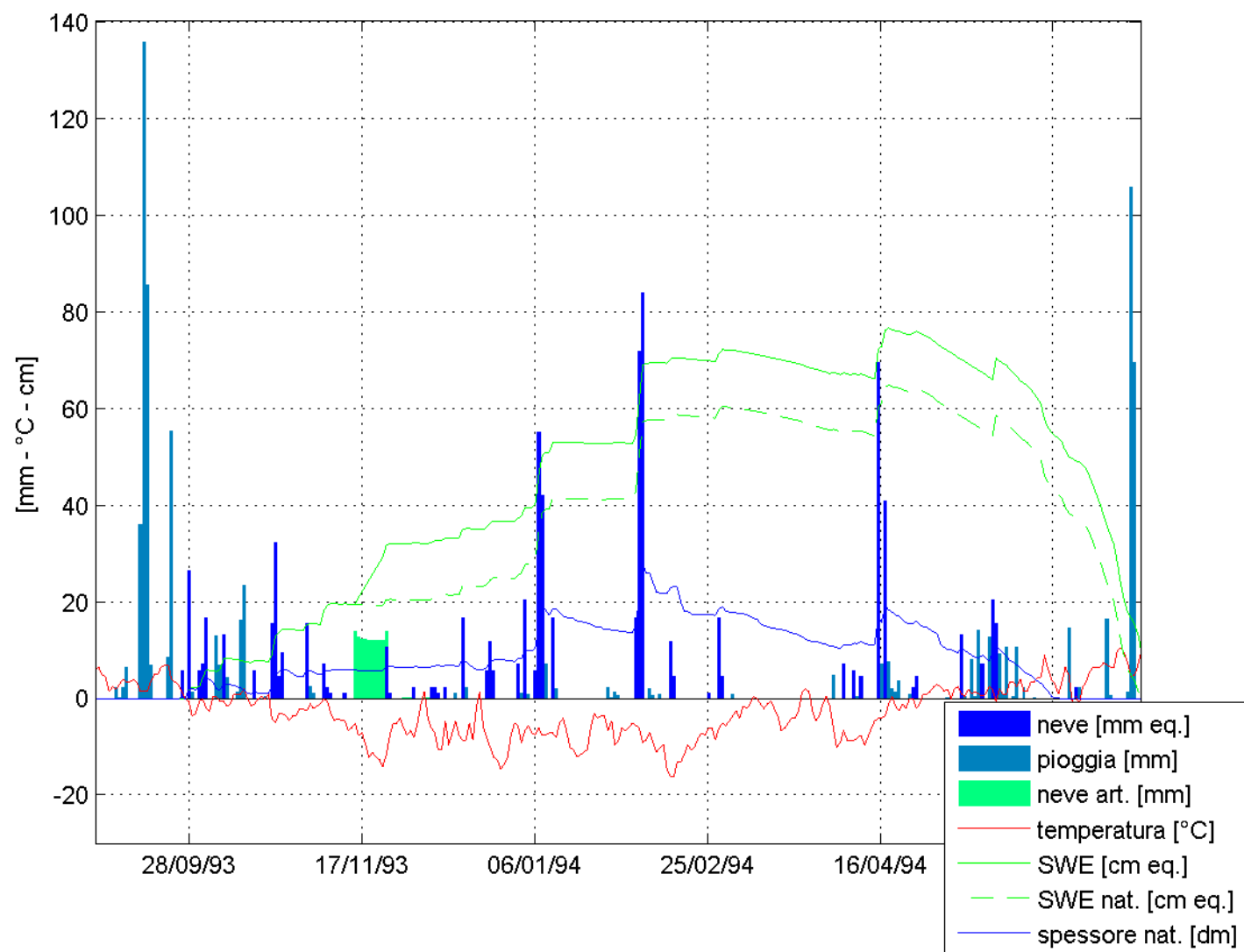


Fig. D66: Serie meteorologiche Anno 1993/1994

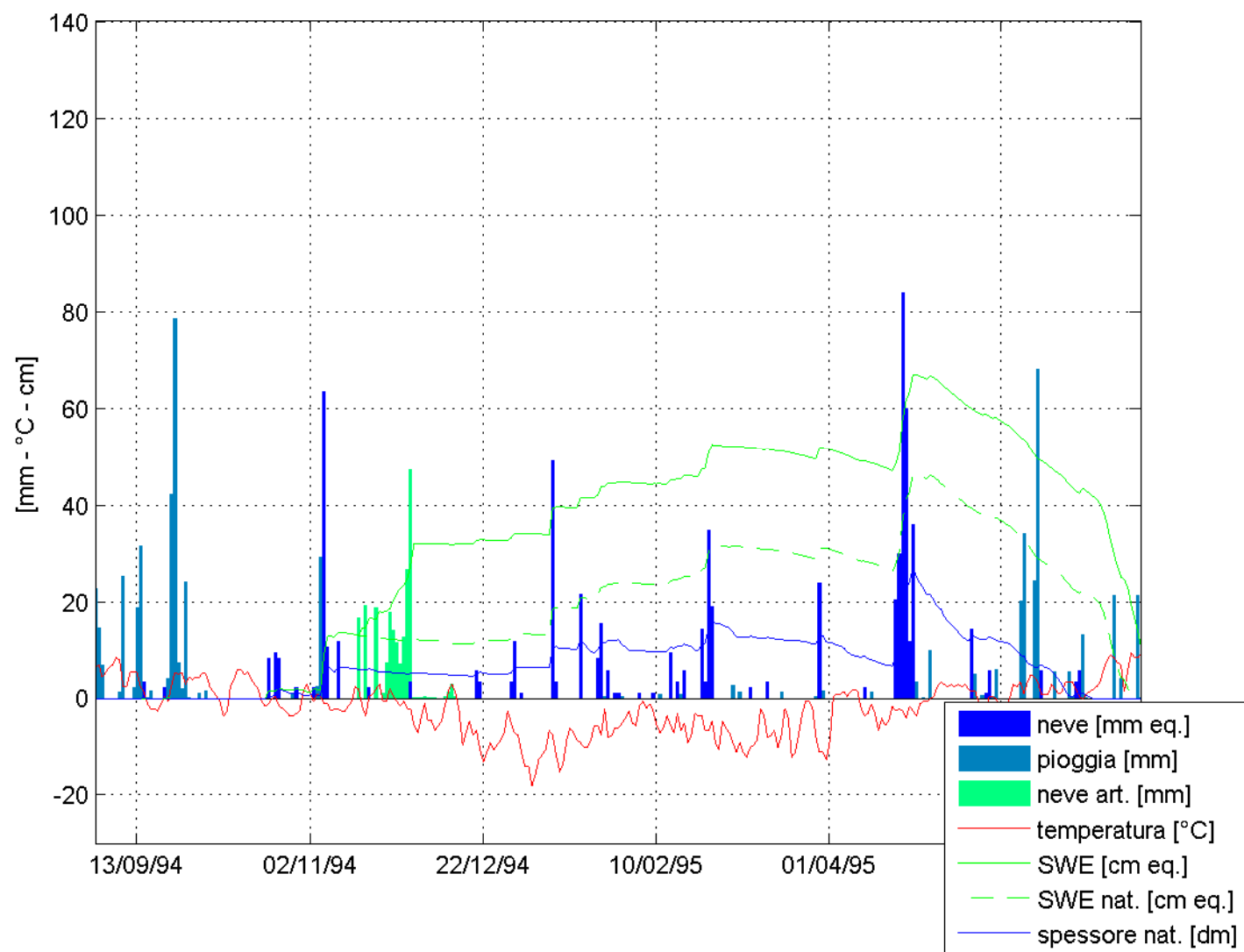


Fig. D67: Serie meteorologiche Anno 1994/1995

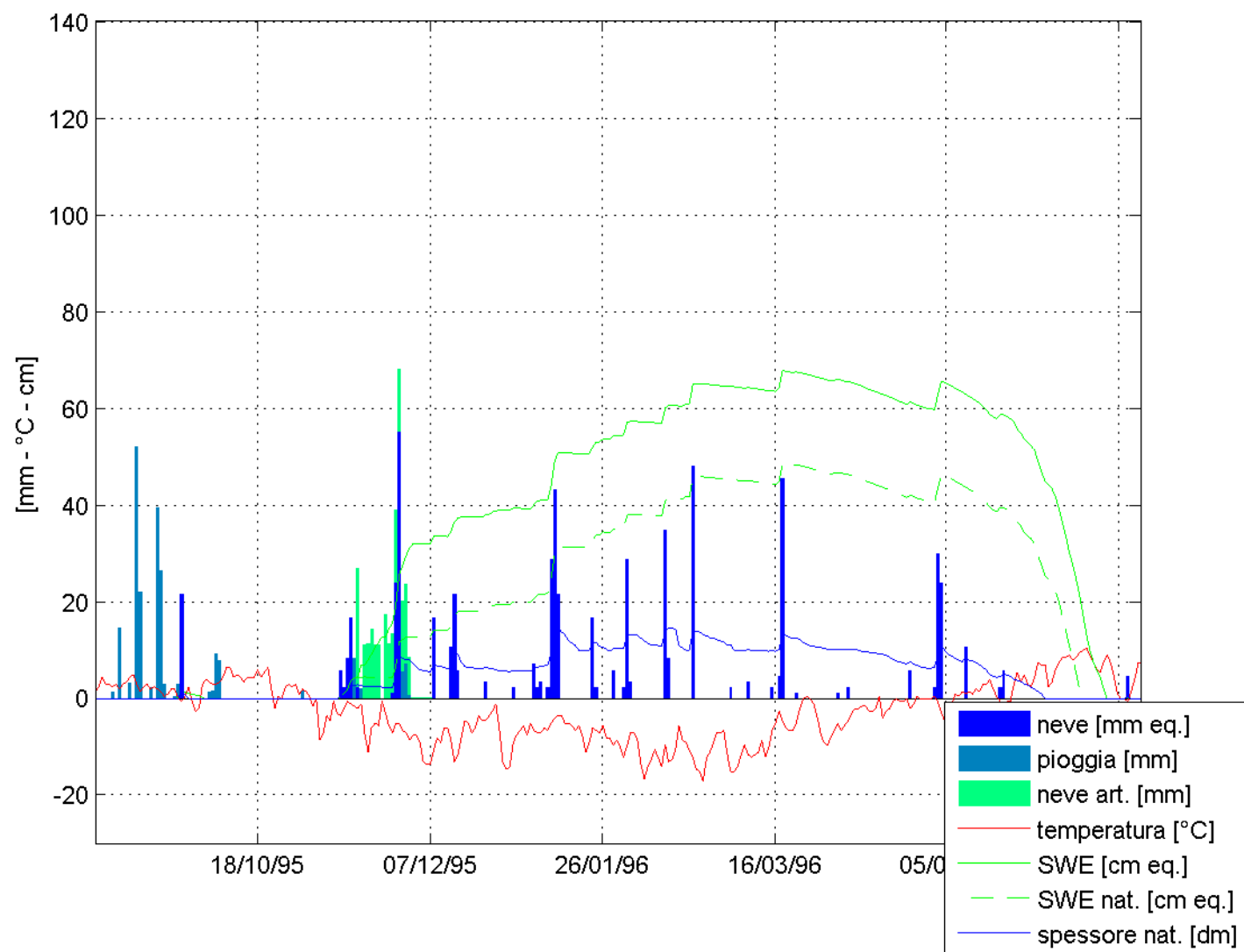


Fig. D68: Serie meteorologiche Anno 1995/1996

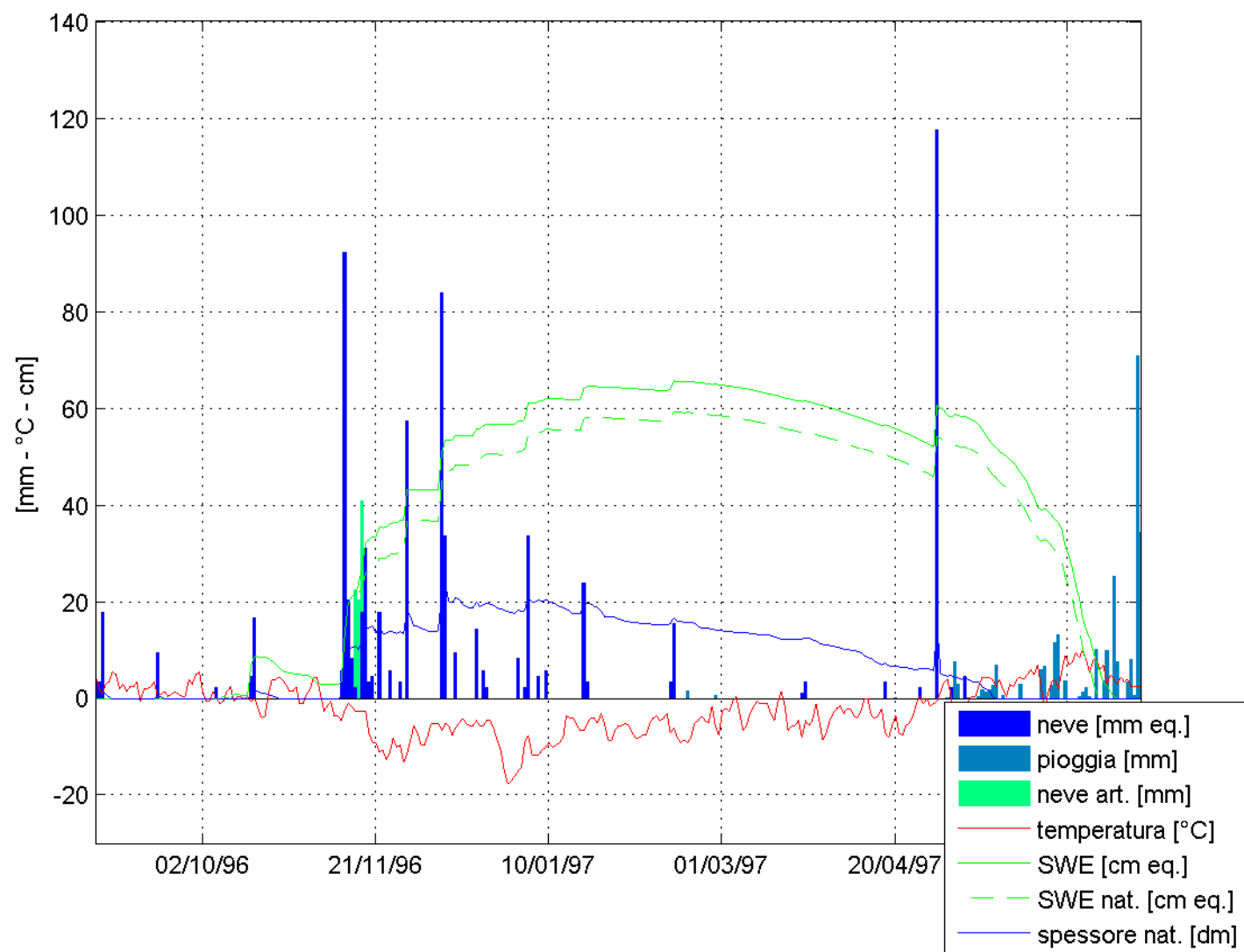


Fig. D69: Serie meteorologiche Anno 1996/1997

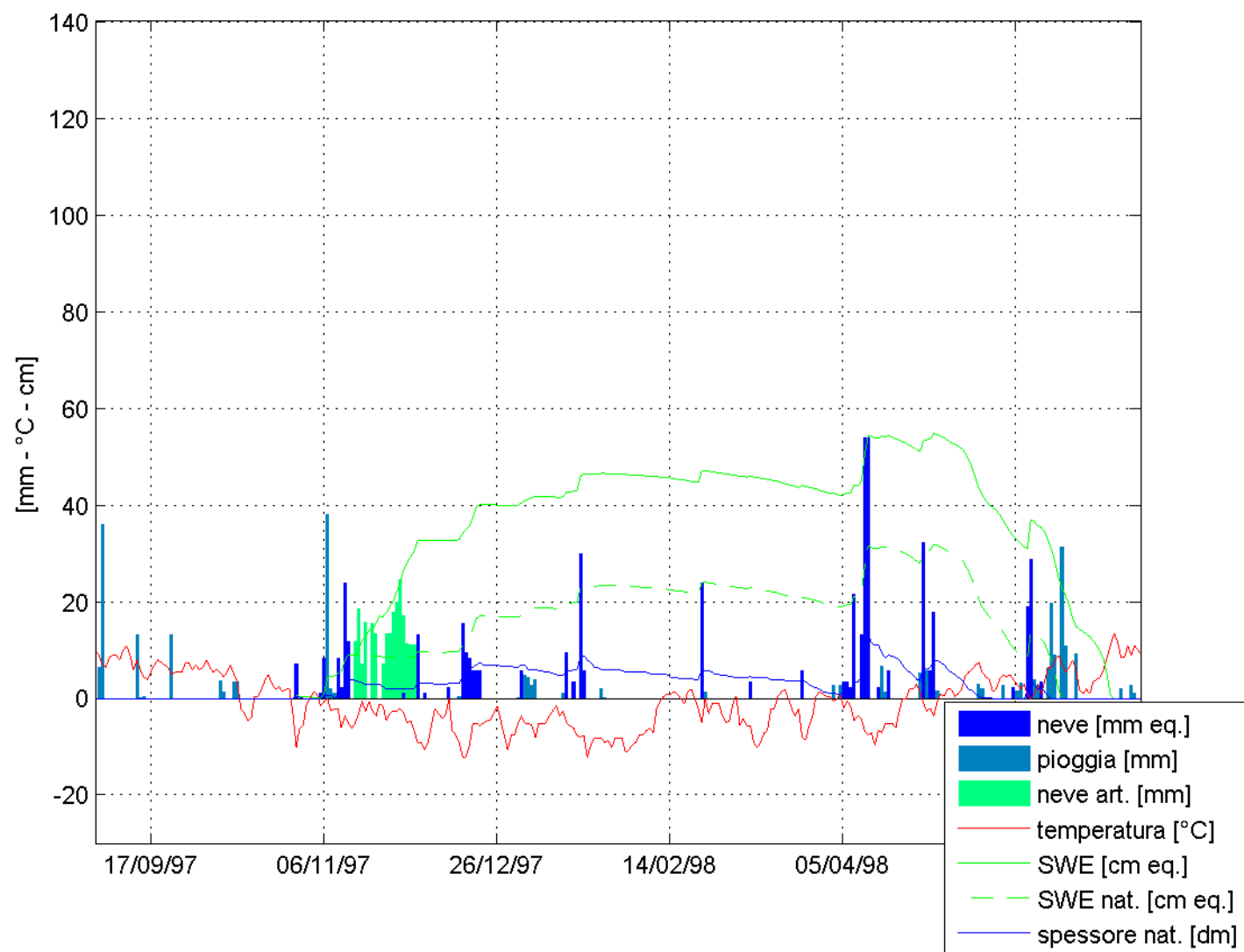


Fig. D70: Serie meteorologiche Anno 1997/1998

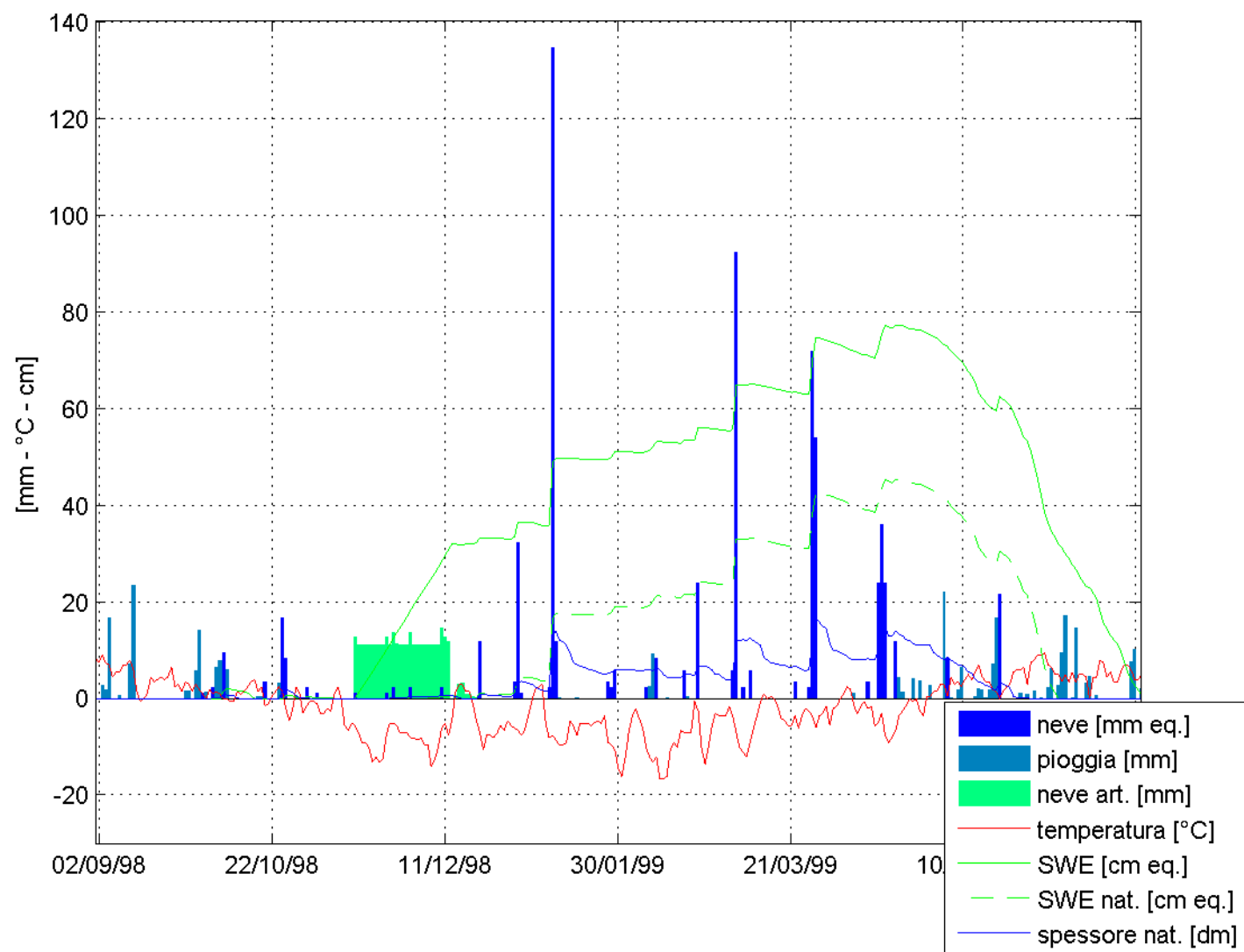


Fig. D71: Serie meteorologiche Anno 1998/1999

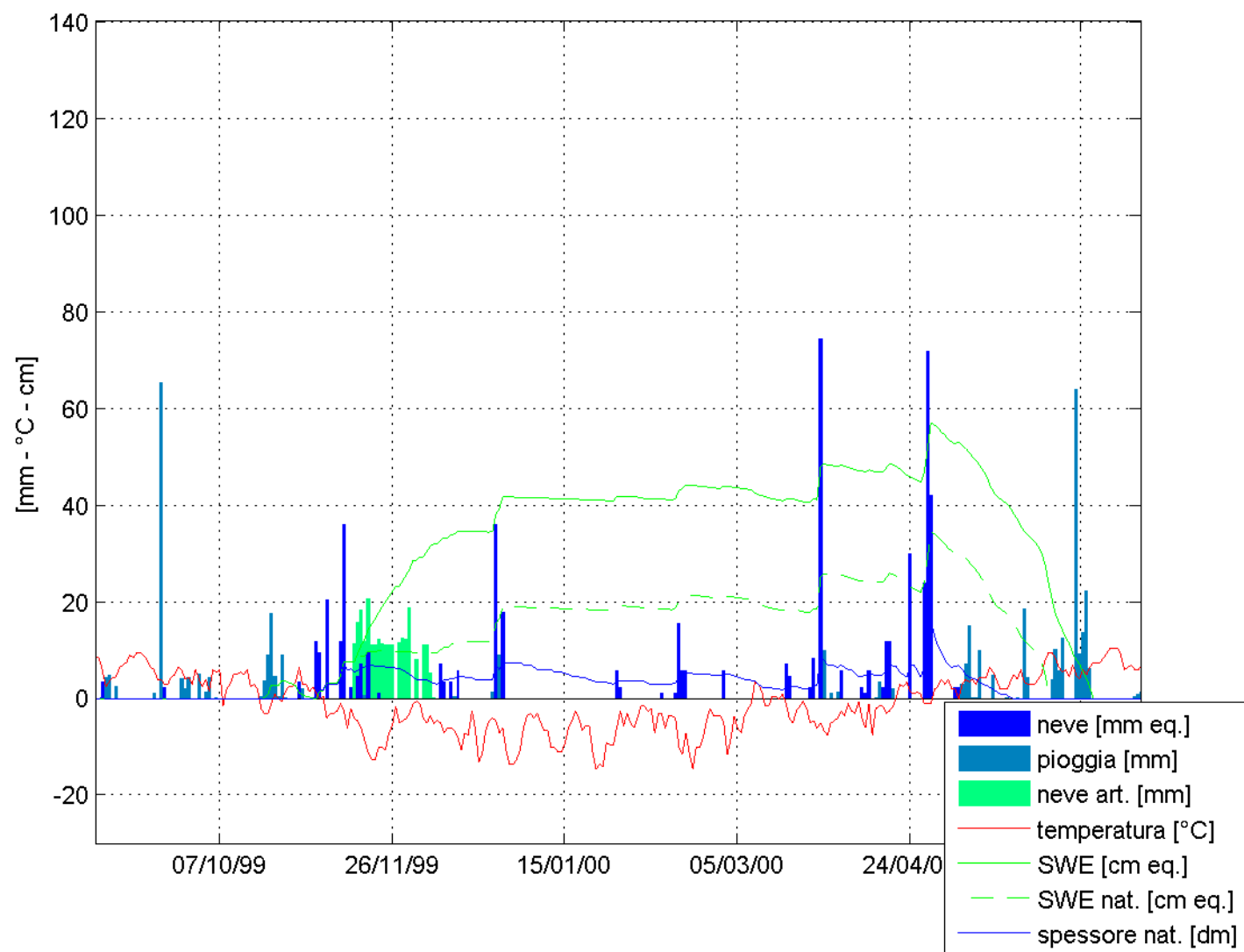


Fig. D72: Serie meteorologiche Anno 1999/2000

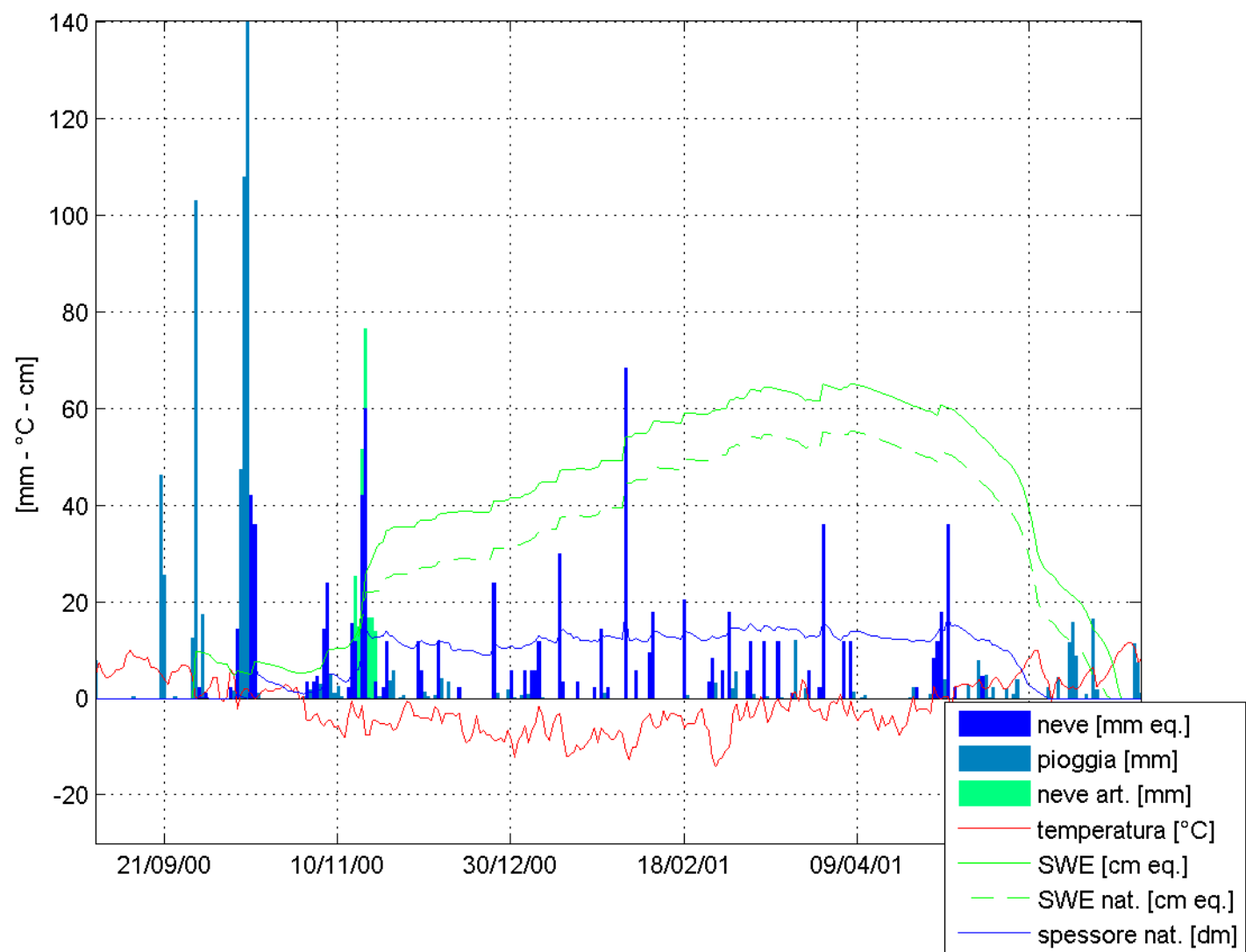


Fig. D73: Serie meteorologiche Anno 2000/2001

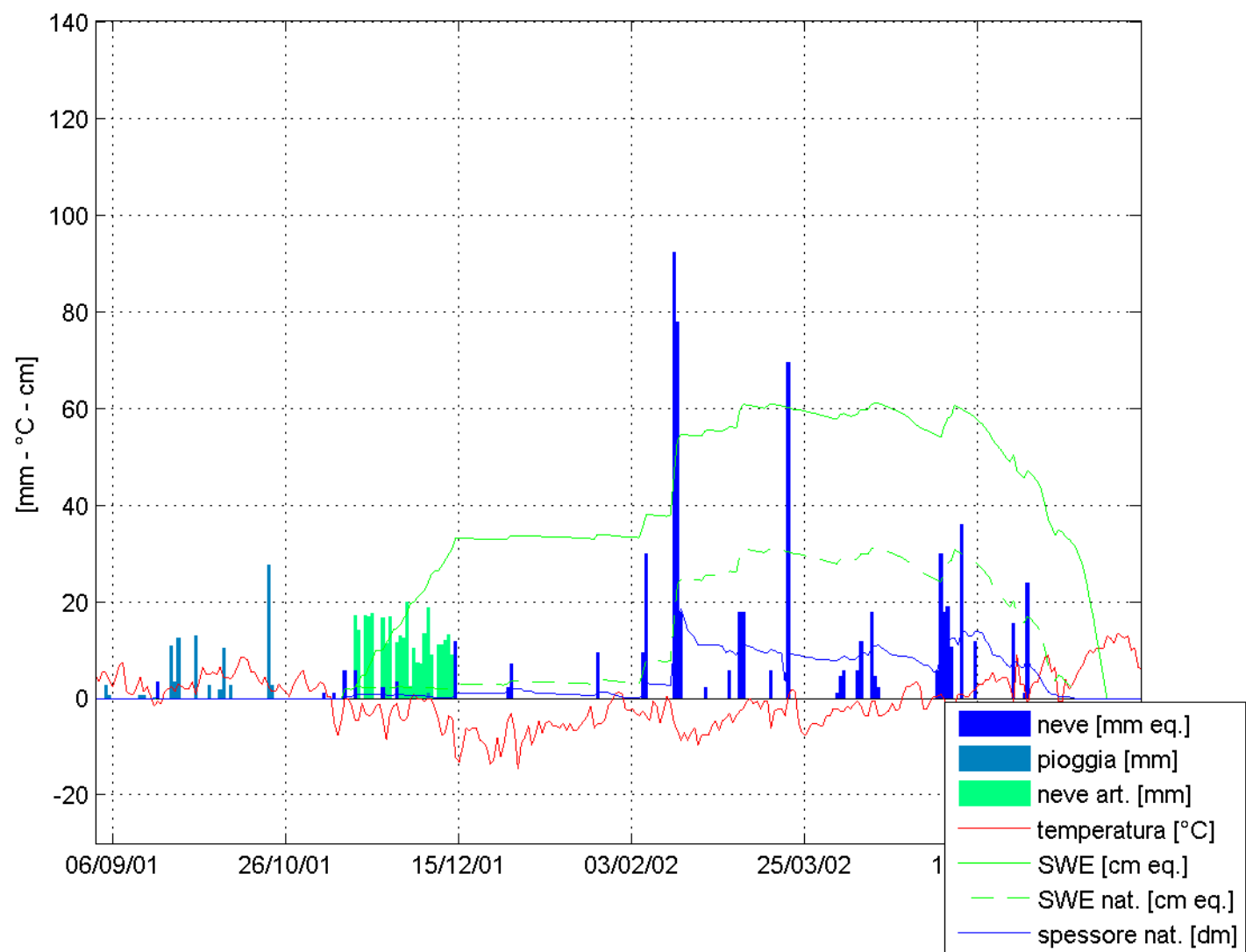


Fig. D74: Serie meteorologiche Anno 2001/2002

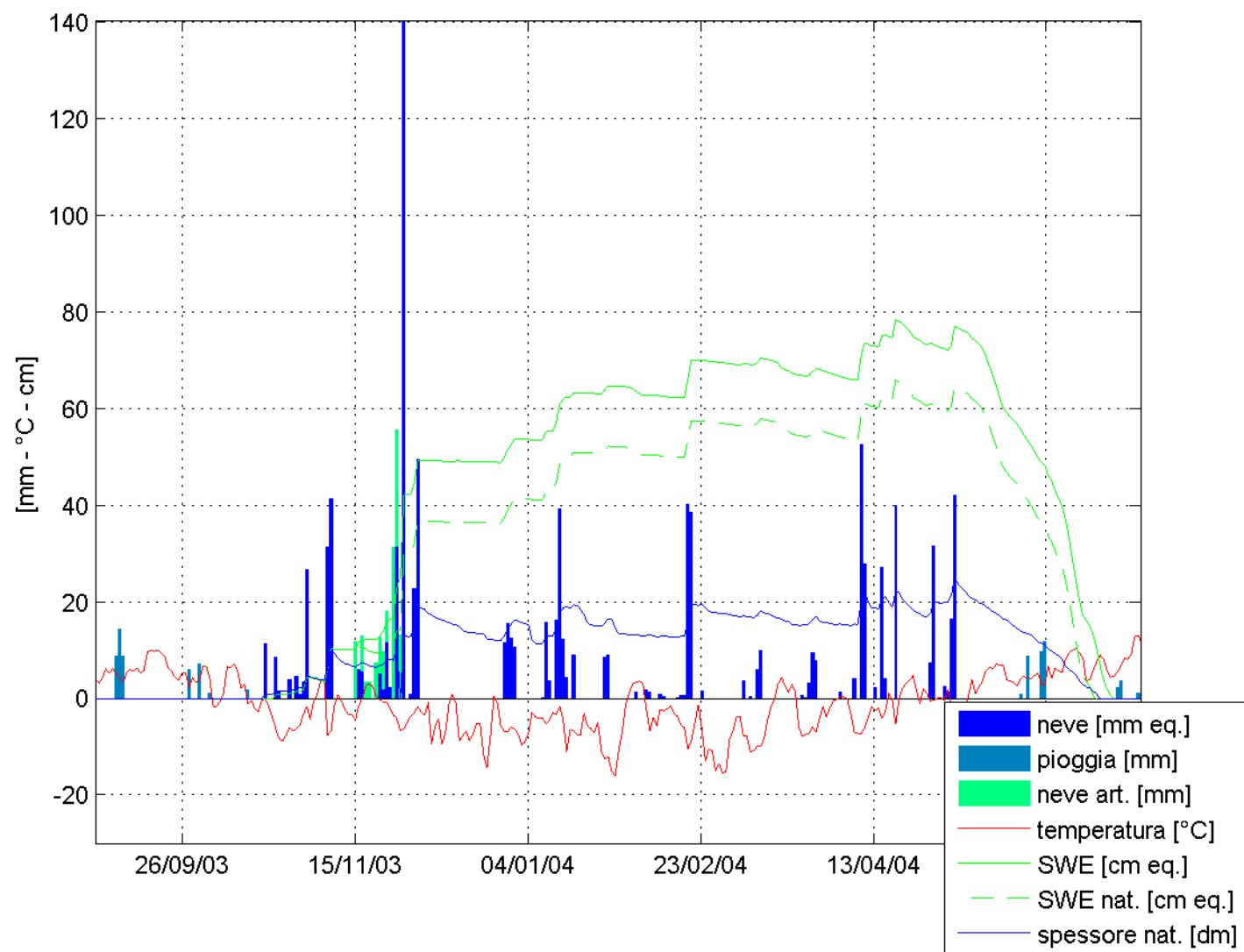


Fig. D75: Serie meteorologiche Anno 2003/2004

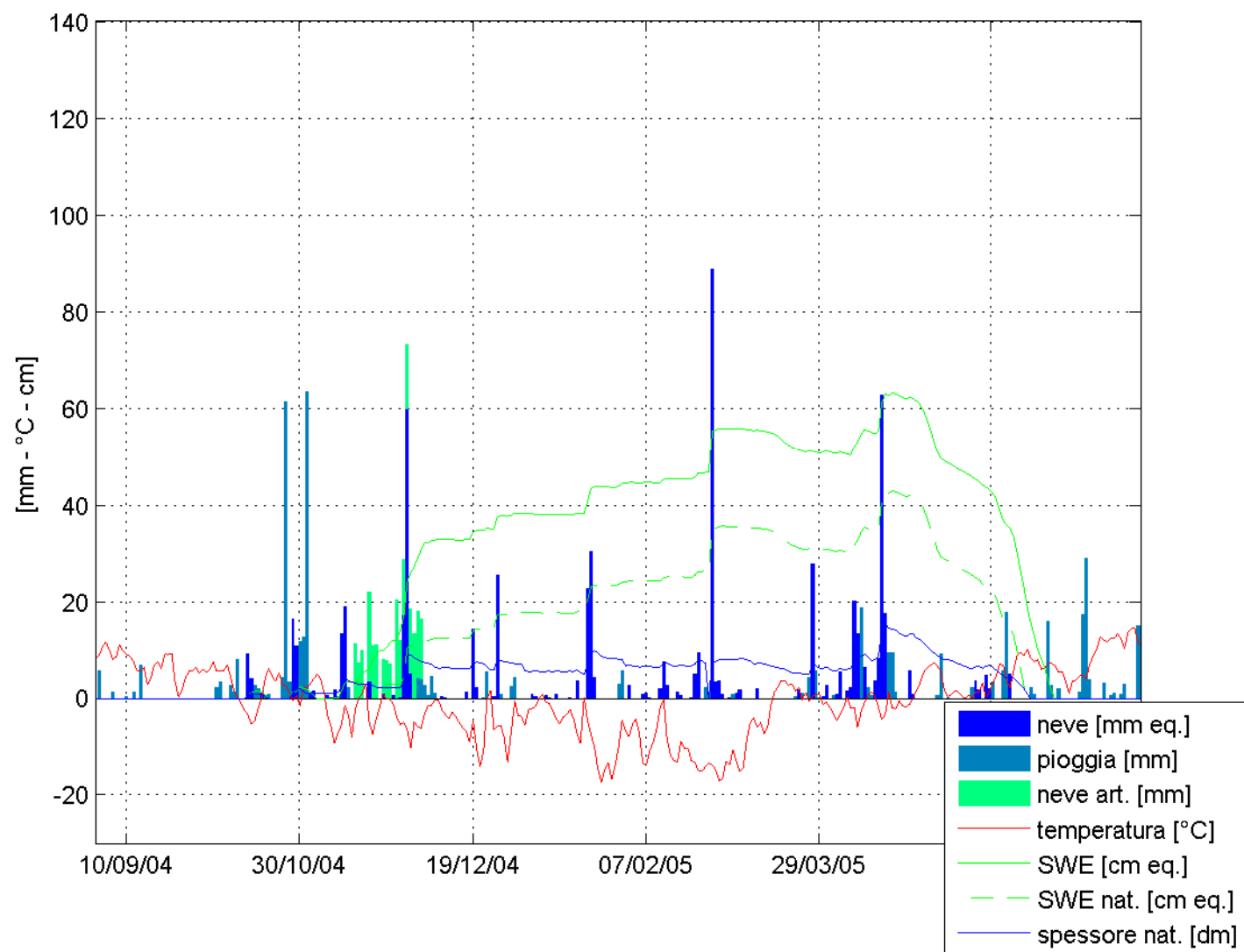


Fig. D76: Serie meteorologiche Anno 2004/2005

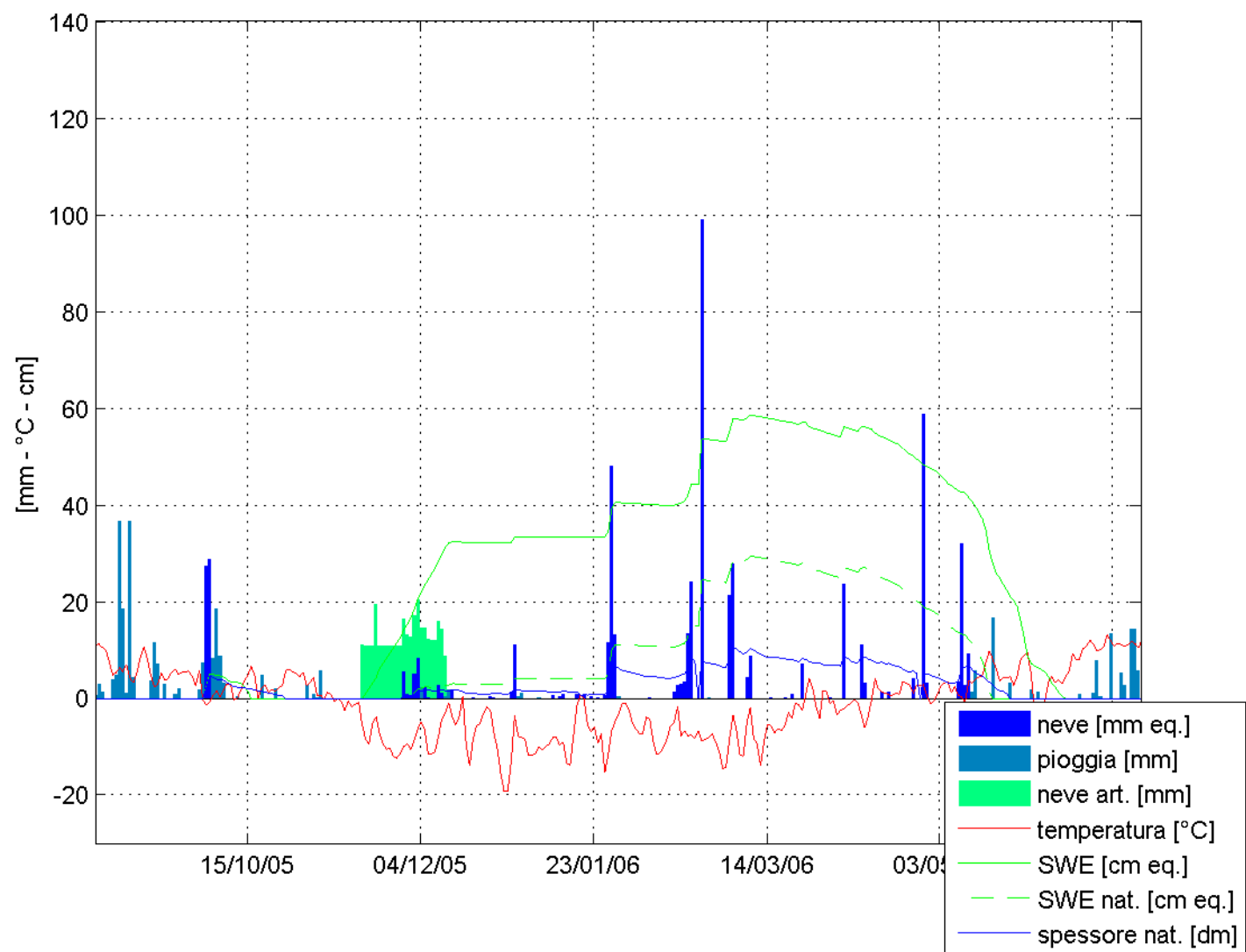


Fig. D77: Serie meteorologiche Anno 2005/2006

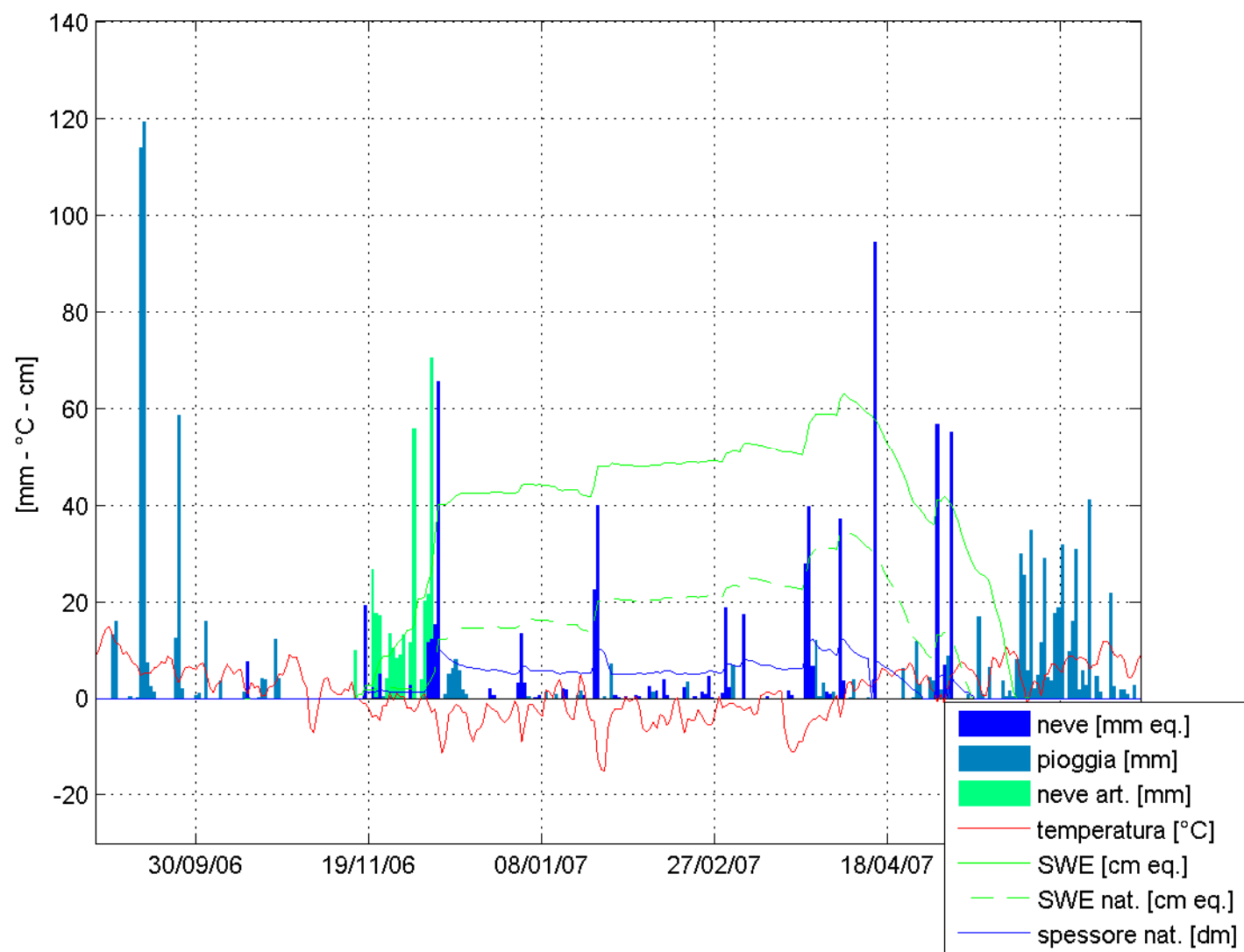


Fig. D78: Serie meteorologiche Anno 2006/2007

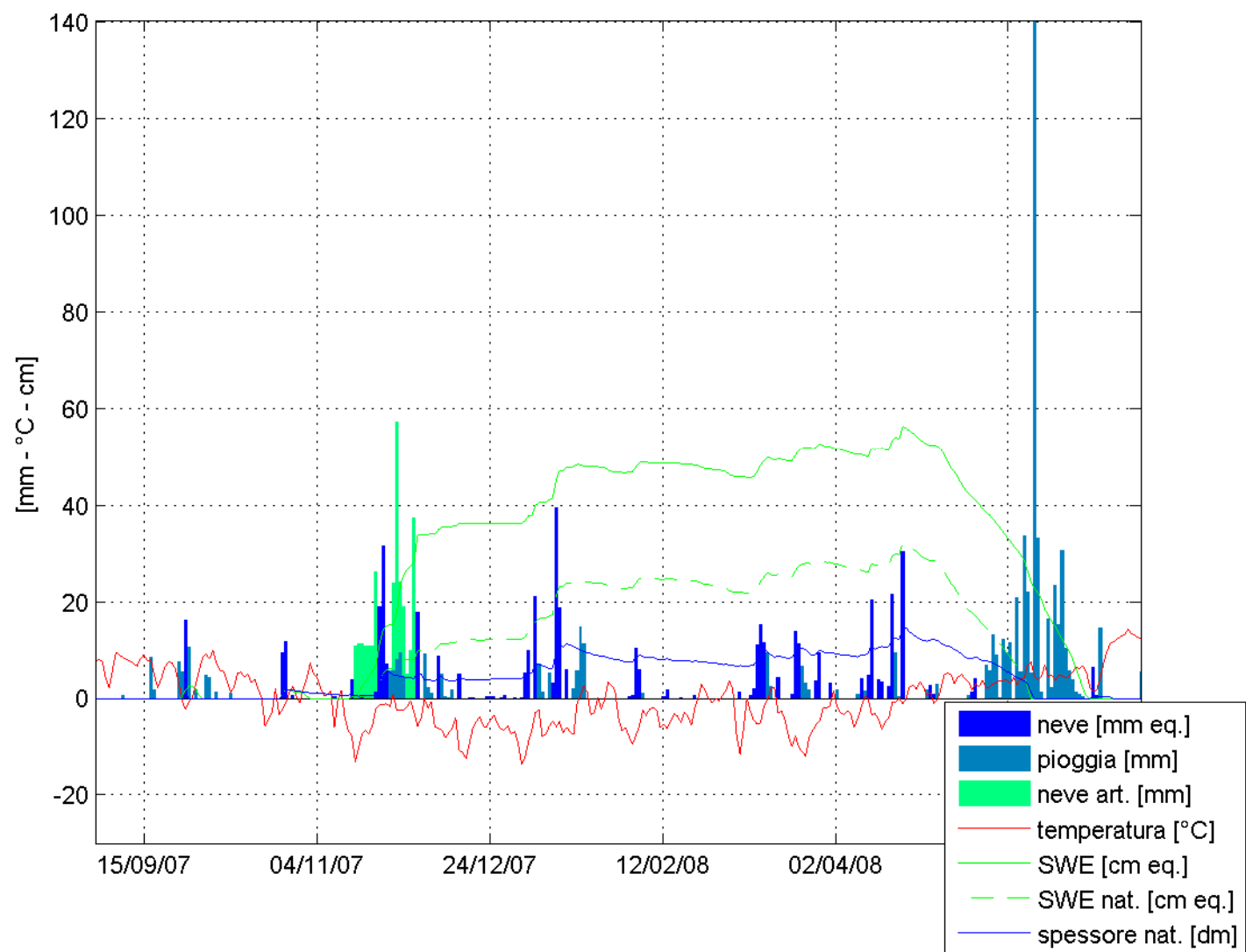


Fig. D79: Serie meteorologiche Anno 2007/2008

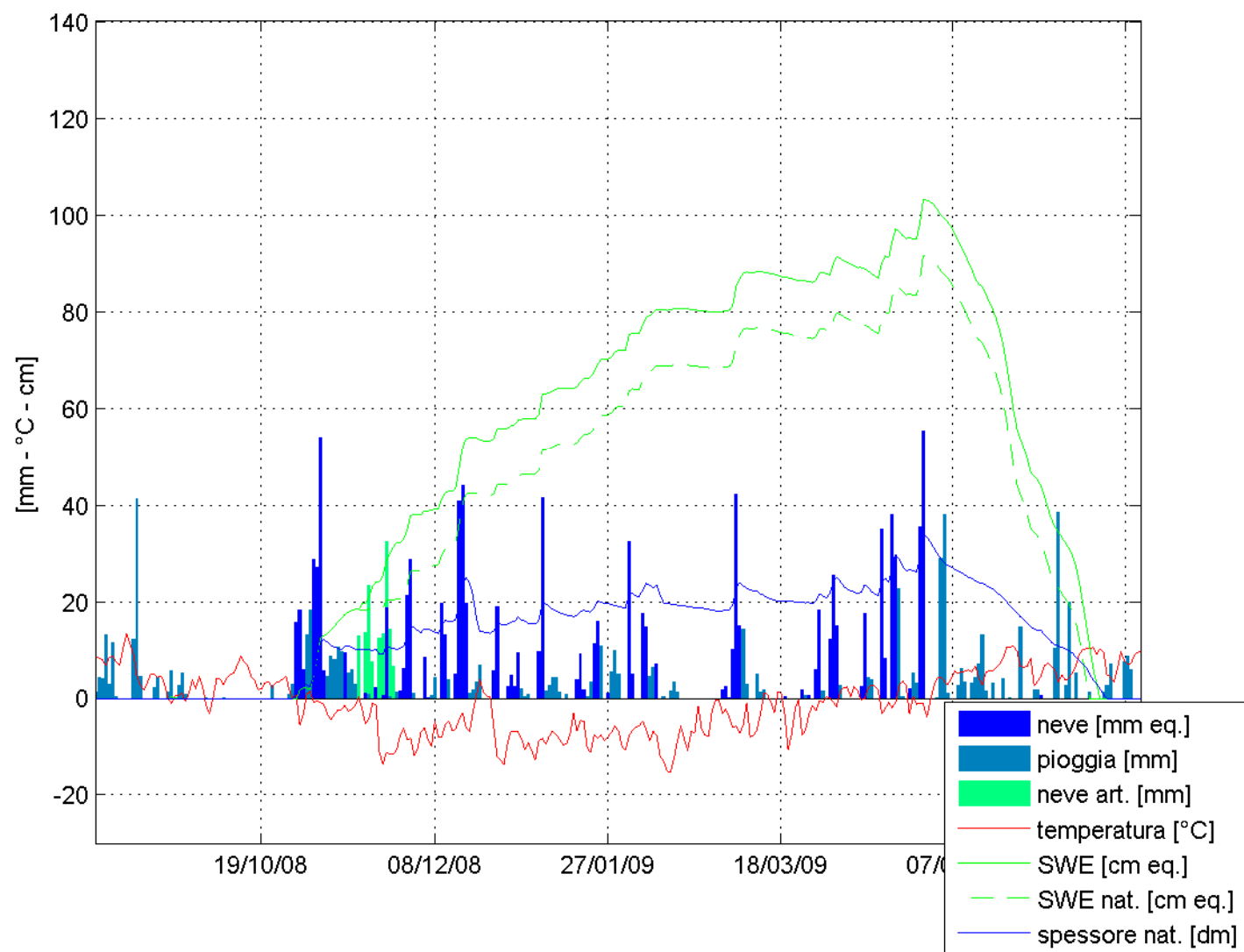


Fig. D80: Serie meteorologiche Anno 2008/2009

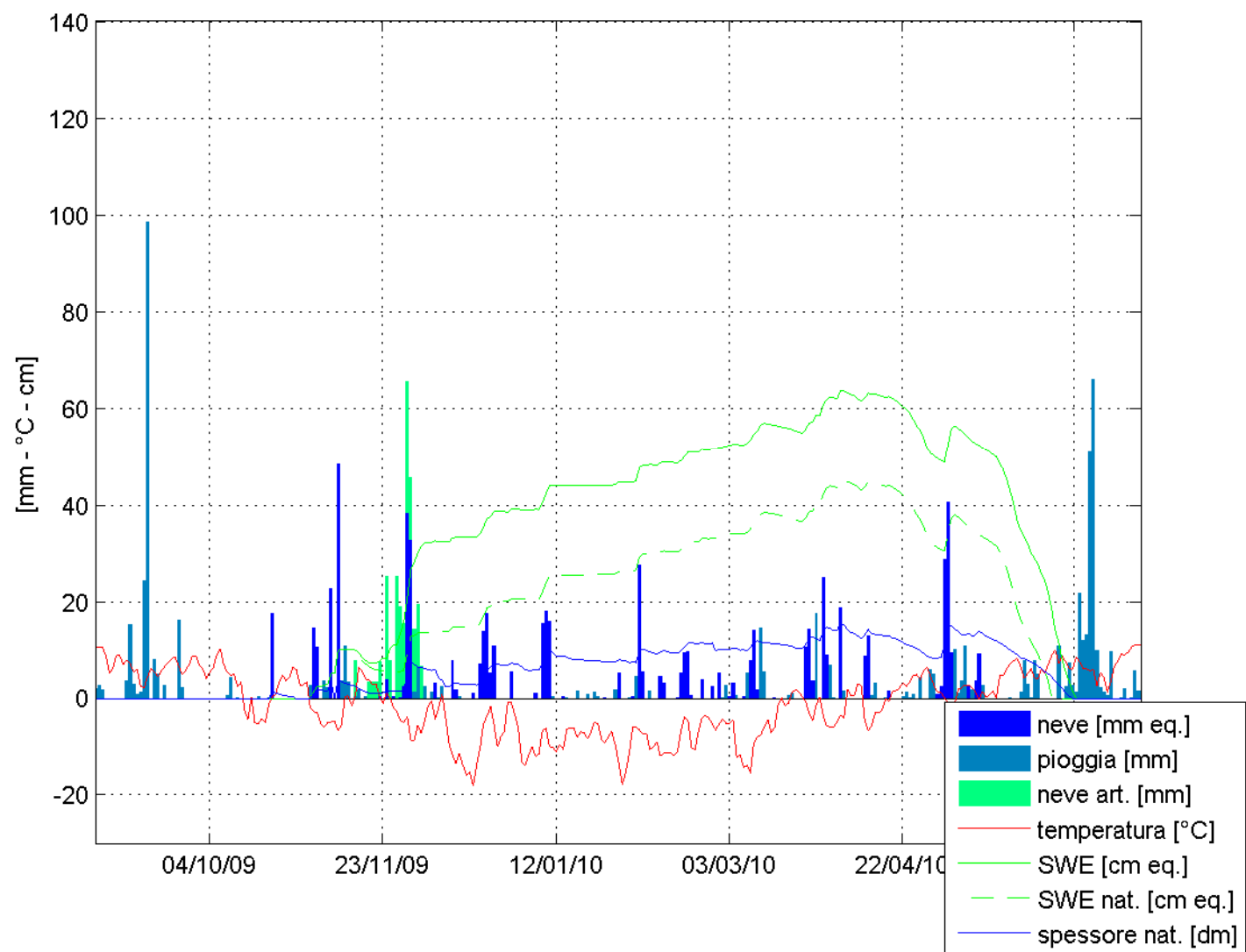


Fig. D81: Serie meteorologiche Anno 2009/2010

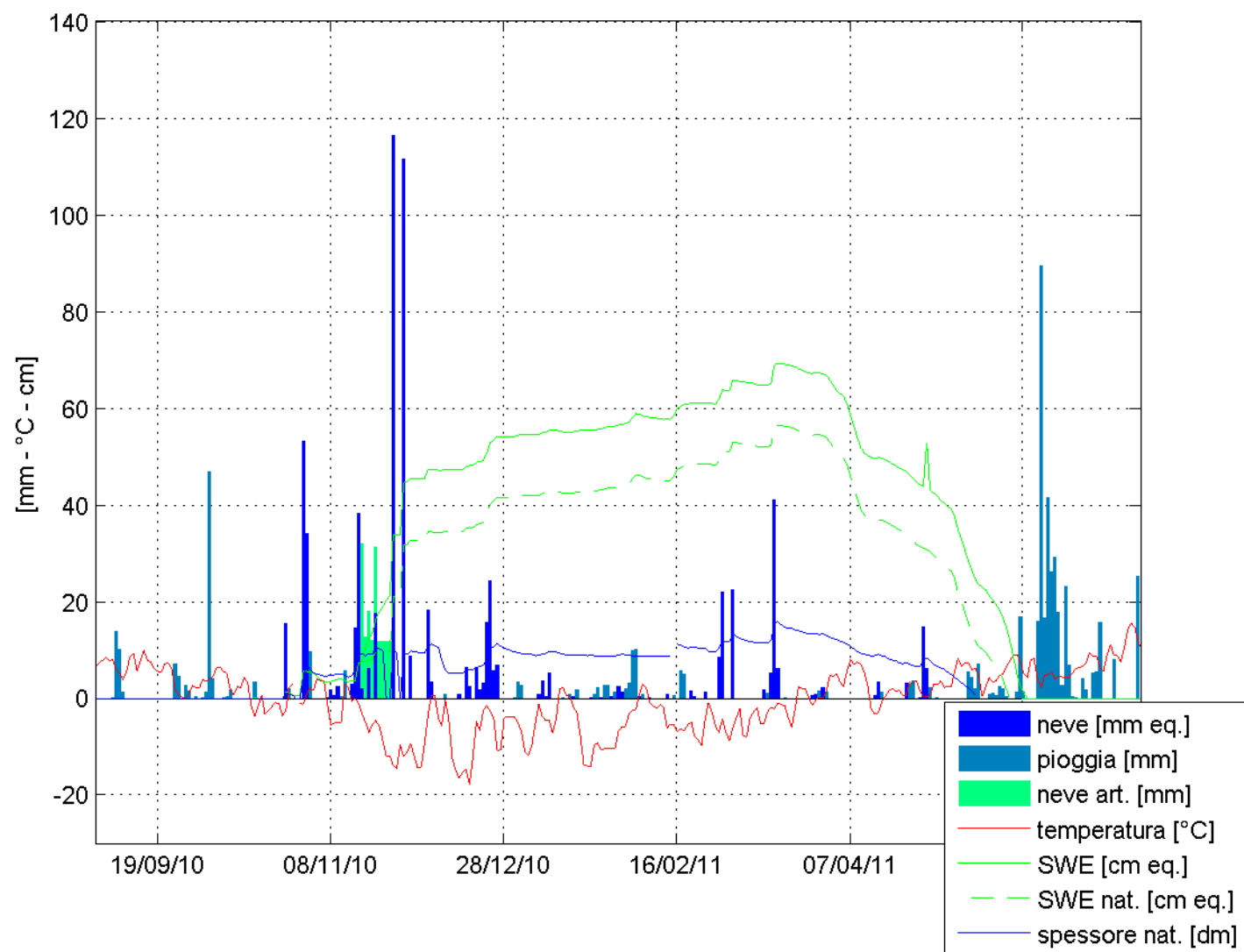


Fig. D82: Serie meteorologiche Anno 2010/2011

