



CONVENZIONE PER IL MONITORAGGIO E RECUPERO AMBIENTALE INERENTI IL PROGETTO

DI REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI INNEVAMENTO ARTIFICIALE DELLA PISTA

"CIMALEGNA-PASSO DEI SALATI"

Relazione attività 2021-2022

Sommario

Relazione attività 2021-2022	0
1. Monitoraggio del suolo: attività di campo e in laboratorio	2
2. Andamento meteorologico e pedoclimatico (serie storica 2007-22)	3
3. Andamento pedoclimatico dei siti storici 1-3 (serie storica 2007-22)	6
4. Condizioni pedoclimatiche registrate nei siti di ricerca dell'altopiano di Cimalegna (2021-2022)	8
5. Caratterizzazione fisica e chimica della neve e dei laghi (serie storica 2007-2022)	11
6. Andamento di azoto nitrico e azoto ammoniacale nel suolo nei siti storici 1-3 (serie storica 2008-2022)	15
7. Andamento di azoto nitrico e azoto ammoniacale nel suolo dei siti nell'altopiano di Cimalegna (2021-2022)	18
8. Monitoraggio delle variabili fenologiche e vegetazionali nei siti LTER	20
9. Bibliografia	24

1. Monitoraggio del suolo: attività di campo e in laboratorio

Nel 2021 e 2022 sono continuate le attività di monitoraggio nei siti sperimentali. Nello specifico, l'attività è proseguita sia nei siti "storici" 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto), attivi dal 2007, sia nelle vallette nivali (siti 2 e 10VN, ex sito 6). Il monitoraggio è stato inoltre effettuato in 2 nuovi siti di ricerca, identificati come valletta nivale e curvuleto. Tali siti sono stati individuati rispettivamente all'interno del sito storico 3 e del sito 10VN (ex sito 6) e sono stati nominati 3VN (valletta nivale) e 10C (curvuleto).

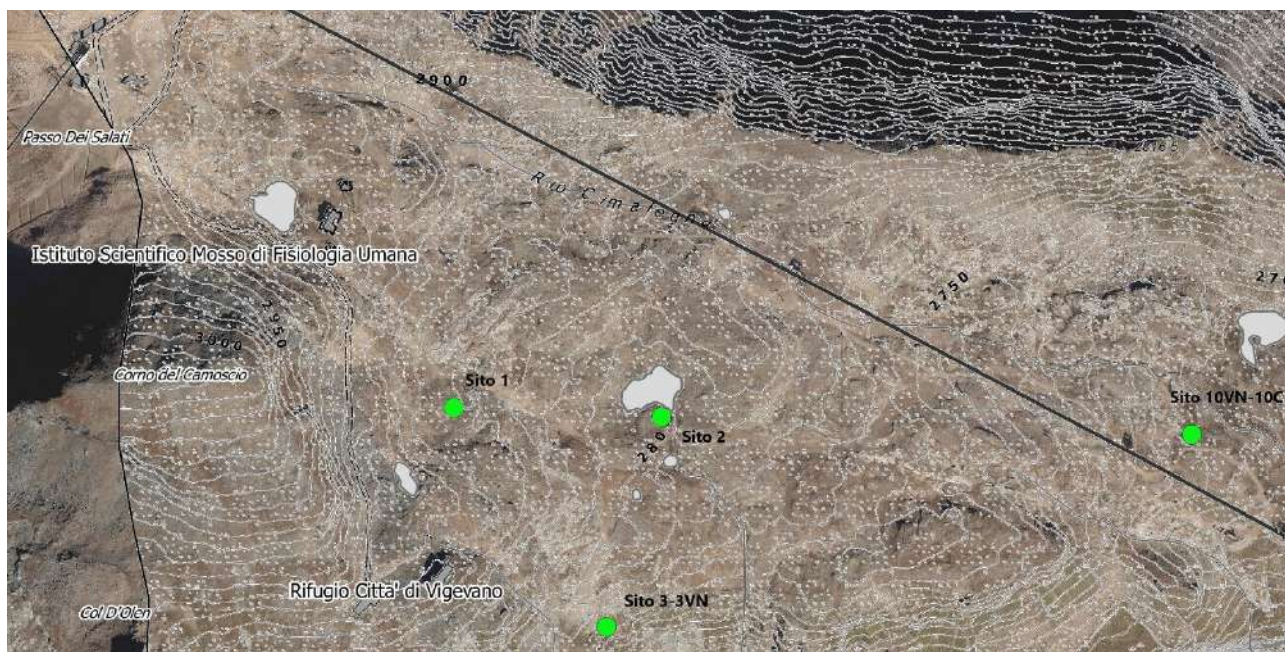


Figura 1: Disposizione dei siti di ricerca. Sito 1 (2840m) e sito 3 (2770m) sono oggetto di monitoraggio a lungo termine dal 2007. I Siti 2 (2800m) e 10VN (ex sito 6) (2686m) sono oggetto di monitoraggio dal 2015. I siti 3VN e 10C sono oggetto di monitoraggio a partire dal 2021.

È proseguito inoltre il monitoraggio delle variabili nivo-meteorologiche registrate dalla stazione automatica localizzata presso l'Istituto Mosso (Comando Truppe Alpine – Ufficio Meteomont), del pedoclima e delle forme di C e N nel suolo e nelle acque. In particolare, nel corso del 2021 sono continuate le misure in continuo (con cadenza oraria) della temperatura del topsoil (10 cm di profondità) mentre l'umidità gravimetrica del suolo è stata determinata in occasione di ciascun campionamento mediante essiccazione di un campione in stufa a 105°C. Subito dopo la fusione completa del manto nevoso, sono stati effettuati i campionamenti del topsoil. Il protocollo di campionamento ha previsto il prelievo di 3 campioni di suolo per ogni sito (ciascuno dei quali ottenuto dall'unione di 3 sottocampioni). I campionamenti sono stati condotti con periodicità mensile e sono stati finalizzati alla determinazione delle forme labili di azoto e carbonio. Dopo l'estrazione del suolo con KCl (1 M) sono stati determinati azoto ammoniacale, azoto nitrico e carbonio organico disciolto (solo per campioni 2021). Nel corso dell'estate del 2021 sono stati effettuati 3 campionamenti (il 20/07, 26/08 e il 18/09) in tutti i 6 siti di ricerca. Nel corso dell'estate del 2022, a seguito di una fusione del manto nevoso particolarmente precoce, sono stati effettuati 4 campionamenti (il 06/06, 05/07, 23/08 e il 13/09). Complessivamente sono stati estratti ed analizzati 126 campioni di suolo.

In ogni data di campionamento del suolo (7 campionamenti in totale nei due anni di monitoraggio, a partire dal 2021) sono stati effettuati prelievi di acqua nei laghi Bowditch e Cimaletto (anche in questo caso i

campioni sono stati prelevati in triplice aliquota). I campioni d'acqua sono stati analizzati per la determinazione di: pH, conducibilità elettrica, azoto ammoniacale, azoto nitrico, carbonio organico disciolto, azoto totale disciolto, azoto organico disciolto. Nei 2 anni sono stati complessivamente analizzati 108 campioni.

Per quanto concerne il 2021, il rilievo nivologico con relativo campionamento è stato effettuato il 30 marzo 2021, poco prima che il manto nevoso raggiungesse le condizioni di isoterma (intero profilo con temperature prossime a 0°C in tutto il suo spessore). In tale occasione sono state determinate le principali caratteristiche fisiche del manto nevoso quali spessore totale, spessore degli strati, forma e dimensione dei grani, resistenza a penetrazione, massa volumica e temperatura. Nella medesima giornata, sono stati prelevati anche i campioni di neve, poi mantenuti congelati fino al momento delle analisi chimiche in laboratorio. Dopo la completa fusione dei campioni in laboratorio sono stati determinati: pH, conducibilità elettrica, azoto ammoniacale, azoto nitrico, carbonio organico disciolto, azoto totale disciolto, azoto organico disciolto.

Per quanto concerne il 2022, la stagione invernale è stata caratterizzata da scarse precipitazioni nevose, avvenute per lo più nei primi mesi invernali. Per questo motivo, è stato effettuato il rilievo nivologico con relativo campionamento il 21 dicembre 2021. Non essendosi verificate ulteriori significative nevicate, tale profilo si può quindi considerare rappresentativo per l'intera stagione invernale. Come per l'anno precedente, nel medesimo giorno sono state determinate le proprietà fisiche del manto nevoso e sono stati prelevati i campioni, successivamente analizzati in laboratorio per la determinazione dei parametri chimici.

2. Andamento meteorologico e pedoclimatico (serie storica 2007-22)

Per confrontare gli andamenti nivometrici degli ultimi 17 anni (Tabella 1, Figura 2) sono stati utilizzati i dati della stazione automatica dell'Istituto Mosso (Comando Truppe Alpine – Ufficio Meteomont, 2901 m slm) e della stazione automatica di Bocchetta delle Pisse (Arpa Piemonte) sita a circa 2400m di quota. In particolare:

- La durata di permanenza della neve al suolo (snow cover duration), la neve cumulata (sommatoria delle nevicate) e la data di fusione della neve (DOY fusione) derivano dai dati misurati dal nivometro ad ultrasuoni della stazione automatica Istituto Mosso;
- Il numero di cicli di gelo/disgelo del suolo (oscillazioni della temperatura media giornaliera da valori positivi a negativi e successivamente positivi), la temperatura del suolo quando congelato, la temperatura del suolo coperto dalla neve (temperatura media del suolo nella snow cover season) e la temperatura del suolo quando scoperto dalla neve (temperatura media del suolo nella snow free season) sono stati calcolati sulla base dei dati misurati dalla stazione automatica Istituto Mosso dotata di un sensore di temperatura posizionato nel suolo a 10 cm di profondità;
- Il numero di giorni con pioggia debole, cioè quando la pioggia cumulata nelle 24 ore è compresa tra 10 e 20 mm (giorni con precipitazioni >10 mm <20 mm), il numero di giorni con pioggia moderata/forte quando la pioggia cumulata nelle 24 ore è maggiore di 20 mm (giorni con precipitazioni >20 mm), il numero di giorni consecutivi nei quali non sono state registrate piogge superiori a 1 mm (giorni secchi) e il numero di giorni consecutivi nei quali sono state registrate piogge superiori a 1 mm (giorni piovosi) sono stati misurati dal pluviometro riscaldato della stazione automatica di Bocchetta delle Pisse.

Tabella 1: Sintesi dei parametri misurati negli ultimi 15 anni dalla stazione automatica dell'Istituto Mosso (Comando Truppe Alpine – Ufficio Meteomont) e dalla stazione automatica di Bocchetta delle Pisse (Arpa Piemonte).

Parametri stazione automatica Mosso	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Min	Max	Media	dev.st.
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	258	244	245	236	236	284	312	249	295	265	254	275	276	265	230	230	312	262	23
Numero cicli gelo/disgelo	1	0	1	0	0	1	2	0	1	0	1	1	1	1	2	0	2	1	1
Neve Cumulata (cm)	605	1099	879	752	890	947	820	820	756	608	824	666	705	738	615	605	1099	781	138
Giorni con pioggia > 10 mm	12	5	5	3	8	5	2	5	6	6	11	5	8	14	21	2	21	8	5
Giorni con pioggia > 20 mm	4	2	2	4	4	3	0	7	7	3	2	3	1	5	11	0	11	4	3
Giorni secchi consecutivi (con pioggia < 1mm)	7	3	6	4	4	7	5	7	9	6	22	12	6	11	13	3	22	8	5
Giorni piovosi consecutivi (con pioggia > 1mm)	18	9	5	9	6	5	23	12	9	16	20	17	6	5	6	5	23	11	6
Pioggia cumulata (mm)	315	144	264	255	419	235	92	522	380	202	319	253	228	455	543	92	543	308	132
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	162	0	107	0	0	20	52	0	96	0	153	21	162	215	211	0	215	80	82
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-1.2		-0.4			-0.1	-0.6		-1.1		-2.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.6	-2	0	-1	1
Temperatura media del suolo nella snow cover season (°C)	-1.1	0.6	0.1	0.3	0.5	0.6	0.3	0.6	0.3	0.9	-0.8	0.8	0.2	-0.1	-0.4	-1	1	0	1
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)		8.5	8.0	8.2	6.4	5.2	3.6	9.3	8.8	8.0	6.8	8.6	8.2	7.8	9.4	3.6	9.4	7.6	1.6
DOY di fusione	190	179	174	160	168	214	228	189	202	184	200	193	199	187	155	155	228	188	20

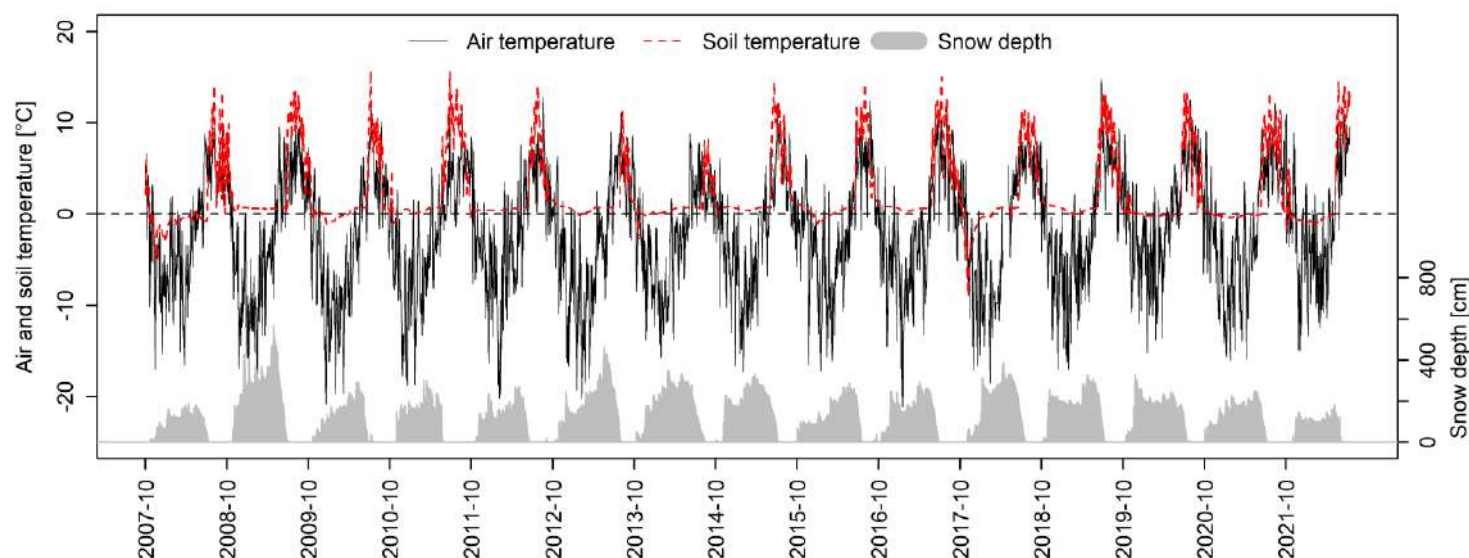


Figura 2: Temperatura dell'aria (linea nera), temperatura del suolo (linea rossa) e altezza neve (poligoni grigi) registrate dalla stazione nivometeorologica automatica dell'Istituto Mosso (Comando Truppe Alpine – Ufficio Meteomont) dal 1 ottobre 2007 al 20 luglio 2022.

Per quanto concerne la stazione automatica dell'Istituto Mosso, essa ha misurato, nel 2020-21, 738 cm di neve cumulata, ovvero circa 40 cm in meno rispetto alla media del periodo di monitoraggio (2007-2021). Nella stagione 2021-2022 sono stati invece registrati 615 cm di neve cumulata, ovvero quasi 170 cm in meno rispetto alla media. Il 2022 risulta quindi essere una delle stagioni col minor innevamento. La durata della neve al suolo è stata di 265 giorni nel 2021, mentre nel 2022 è stata di soli 230 giorni (ben 32 giorni in meno rispetto alla media). Di fatto il 2022 rappresenta l'annata con l'innervamento più corto mai registrato dalla stazione.

Suddividendo il dataset in trimestri meteorologici (inverno = dicembre-febbraio; primavera=marzo-maggio; estate = giugno-agosto; autunno=settembre-novembre), come riportato in Tabella 2) è emerso che nel 2021, le temperature invernali ed estive sono rimaste in linea con la media storica, mentre la primavera è stata decisamente più fredda (-5°C); diversamente l'autunno è stato il più caldo mai registrato (1.5°C), con una differenza di oltre 2.5°C rispetto alla media stagionale storica. Il 2022 si rivela essere nuovamente un anno anomalo in quasi tutte le stagioni, stabilendo dei nuovi record di temperatura. Esso, infatti, oltre ad essere uno degli anni con l'inverno (-5.5°C) e l'autunno (0.1°C) più miti (secondo solo al 2020 e al 2021 rispettivamente), stabilisce dei nuovi record nelle altre stagioni, facendo registrare le più alte temperature medie primaverili ed estive di tutta la serie storica della stazione.

Tabella 2: Temperatura media stagionale dell'aria nei 16 anni di monitoraggio.

Anno	Stagione			
	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
2007				-3.0
2008	-6.6	-4.9	4.5	-1.0
2009	-9.9	-2.9	4.8	-1.4
2010	-11.2	-4.9	4.5	-3.2
2011	-9.0	-2.3	3.9	-0.1
2012	-8.6	-2.8	5.2	-1.4
2013	-10.3	-5.1	4.5	-1.4
2014	-8.0	-2.6	3.3	0.0
2015	-8.2	-3.6	5.6	-1.3
2016	-6.6	-5.1	5.1	-1.6
2017	-7.5	-2.8	6.0	-1.3
2018	-9.1	-2.9	5.9	-2.6
2019	-7.4	-4.6	6.2	-0.3
2020	-4.9	-2.4	5.8	0.0
2021	-8.0	-5.0	5.6	1.5
2022	-5.5	-2.2	7.6	0.1
Min	-11.2	-5.1	3.3	-3.2
Max	-4.9	-2.2	7.6	1.5
Media	-8.1	-3.6	5.2	-1.1
Dev.st	1.7	1.2	1.1	1.2

Dal punto di vista pluviometrico, il 2021 risulta essere uno degli anni più piovosi, con una pioggia cumulata di 455 mm. Il 2022, oltre ad essere uno degli anni più caldi, con meno precipitazione nevosa e minor durata del manto, si rivela essere anche l'anno più piovoso mai registrato, con ben 543 mm di pioggia cumulata. L'aumento della pioggia cumulata indica chiaramente uno shift delle precipitazioni da solide a liquide, a causa proprio delle alte temperature medie registrate in corrispondenza delle stagioni tradizionalmente con più precipitazioni nevose.

3. Andamento pedoclimatico dei siti storici 1-3 (serie storica 2007-22)

Analizzando l'andamento delle temperature registrate nel topsoil dei siti storici 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto) è stato possibile calcolare una serie di parametri ritenuti importanti (Tabella 3, Figura 4) nell'influenzare le dinamiche di carbonio ed azoto del suolo nella stagione senza neve al suolo (snow free season). In particolare:

- *Snow cover duration*: numero di giorni di permanenza della neve al suolo calcolato sulla base della *soil temperature daily amplitude* ovvero la differenza tra la temperatura massima giornaliera e la temperatura minima giornaliera del suolo. Quando la *daily amplitude* è superiore a 1°C si considera il suolo libero dal manto nevoso, o con manto nevoso di spessore molto esiguo (Danby and Hik, 2007);
- Numero di cicli di gelo/disgelo del suolo: si considera un ciclo di gelo/disgelo quando la temperatura media giornaliera del topsoil passa da valori positivi a valori negativi per poi tornare a valori sopra 0°C (Phillips and Newlands, 2011);
- Durata congelamento del suolo: temperatura media del suolo nei periodi in cui esso risulta congelato ed intensità di congelamento (intesa come temperatura minima assoluta quando il suolo è congelato);
- Giorno di fusione completa del manto nevoso (espresso come giorno dell'anno –DOY-): calcolato utilizzando la *daily amplitude* così come descritto per la “snow cover duration”.

Dai dati di temperatura dei topsoil (Tabella 3) si nota che la snow cover duration (SCD) della stagione invernale 2020-2021 risulta nella media sia per il sito 1 (valletta nivale) sia per il sito 3 (curvuleto), mentre la stagione invernale 2021-2022 è stata caratterizzata dalla SCD più corta dell'intero dataset (2007-2022) per entrambi i siti. In entrambe le stagioni invernali si sono verificati dei cicli di gelo-disgelo, con un minimo assoluto di -3.1°C nel sito 1 (valletta nivale) e di -8.8°C nel sito 3 (curvuleto) (vedi Tabella 3 e Figura 4)

Tabella 3: Sintesi dei parametri misurati e calcolati mediante i dati di temperatura del topsoil nei siti 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto).

Parametri SITO 1	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	249	272	271	255	241	284	286	250	283	262	236	266	270	278	233	233	286	262	18
Numero cicli gelo/disgelo	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	1
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	205	246	269	208	235	217	223	15	102	124	244	242	272	275	231	15	275	207	72
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-0.3	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5	-0.1	0.0	0.0	-0.3	-0.1	-1.1	-0.6	-0.2	-0.8	-1.4	-1.4	0.0	-0.4	0.4
Temperatura media del suolo nella snow cover season (°C)	-0.3	0.0	-0.3	-0.2	-0.5	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	-1.0	-0.6	-2.0	-0.8	-1.4	-2.0	0.1	-0.5	0.6
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	5.8	8.5	7.6	7.2	6.8	5.1	4.5	9.0	7.7	6.4	7.3	8.3	7.1	6.9	10.2	4.5	10.2	7.2	1.5
Intensità congelamento del suolo (°C)	-2.6	-0.1	-0.8	-0.3	-1.1	-0.3	-0.1	0.0	-0.5	-0.1	-6.6	-1.1	-0.2	-1.0	-3.1	-6.6	0.0	-1.2	1.8
DOY di fusione	181	221	192	187	163	211	205	186	193	175	190	185	195	191	148	148	221	188	18
Parametri SITO 3	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	222	246	222	219	223	247	231	210	274	228	201	239	211	215	189	189	274	225	21
Numero cicli gelo/disgelo	4	1	2	2	2	1	1	1	1	1	3	2	1	2	1	1	4	2	1
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	167	125	211	154	58	184	125	59	122	57	121	52	141	191	146	52	211	128	52
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-1.0	-0.1	-1.1	-0.3	-0.9	-1.6	-0.5	-0.1	-0.9	-1.6	-1.2	-0.3	-0.3	-1.2	-0.9	-1.6	-0.1	-0.8	0.5
Temperatura media del suolo nella snow cover season (°C)	-0.1	0.1	-0.8	-0.1	0.1	-1.1	-0.3	0.2	-0.6	0.2	-0.1	0.9	0.0	-0.5	-0.4	-1.1	0.9	-0.2	0.5
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	8.1	10.0	9.1	8.5	8.3	6.6	7.2	10.0	6.5	9.1	10.2	7.9	9.0	6.7	8.7	6.5	10.2	8.4	1.2
Intensità congelamento del suolo (°C)	-2.1	-0.1	-3.4	-1.0	-2.5	-8.3	-1.9	-0.2	-7.4	-4.1	-7.5	-1.1	-1.3	-8.8	-5.9	-8.8	-0.1	-3.7	3.1
DOY di fusione	182	174	179	139	162	184	162	148	188	146	166	171	146	156	138	138	188	163	17

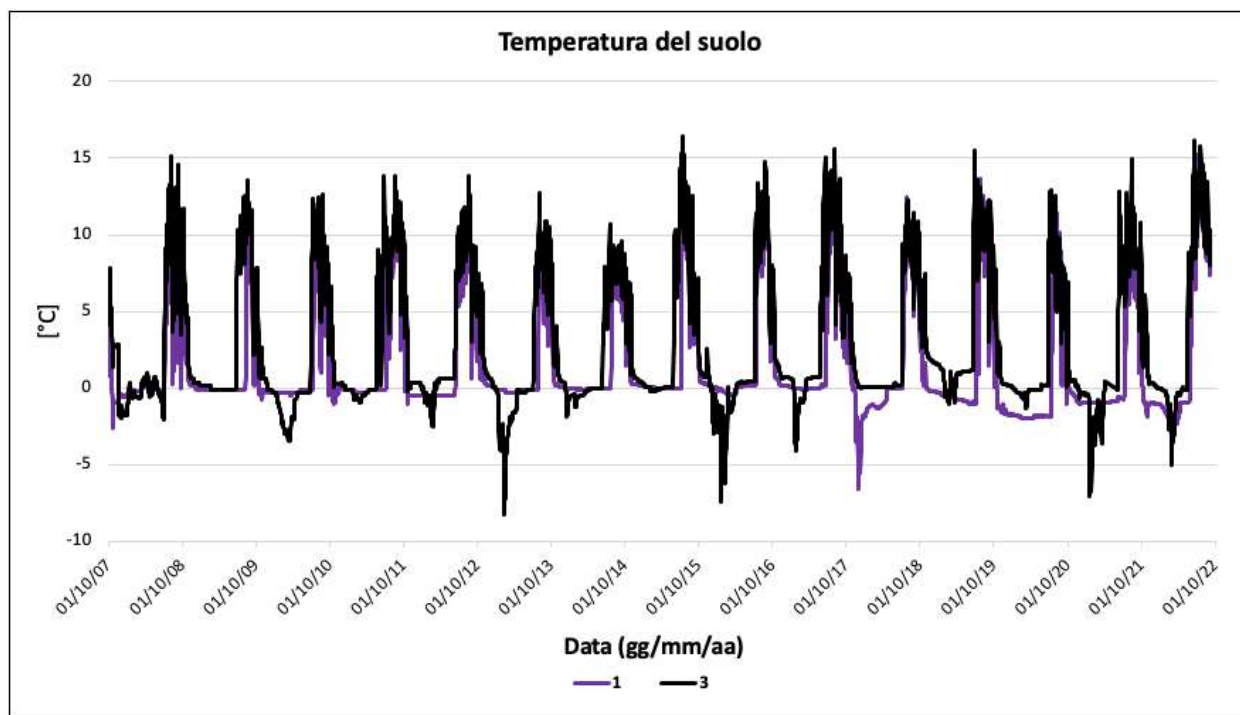


Figura 4: Temperatura dei topsoil nei siti 1 (linea viola) e 3 (linea nera) dal 1/10/2007 al 1/10/2022.

4. Condizioni pedoclimatiche registrate nei siti di ricerca dell'altopiano di Cimalegna (2021-2022)

Nella stagione invernale 2020-2021 (2021), i siti monitorati sono 2, 3 VN e 10 VN. Per quanto riguarda la snow cover duration (SCD), questa presenta valori nella media del dataset a disposizione (dal 2016). Nell'arco dell'inverno, si è verificato un solo ciclo di gelo-disgelo, nel sito 2, con temperatura minima di -0.4°C . Ciò significa che il manto nevoso si è accumulato nella prima fase della stagione invernale, quando il suolo non era ancora andato incontro a congelamento. Una volta depositata al suolo, la neve ha quindi isolato termicamente il suolo, impedendone il congelamento.

Nell'inverno 2021-2022 (2022), oltre al sito 2, è stato aggiunto un nuovo sito, il 10 C. Tutti i siti sono stati caratterizzati dalla SCD più corta del dataset a disposizione, come avvenuto per i siti storici 1 e 3. Inoltre, in tutti i siti, ad eccezione del 10 VN, si è verificato almeno un ciclo di gelo-disgelo, con un'intensità massima di -6.7°C raggiunta nel sito 10 C.

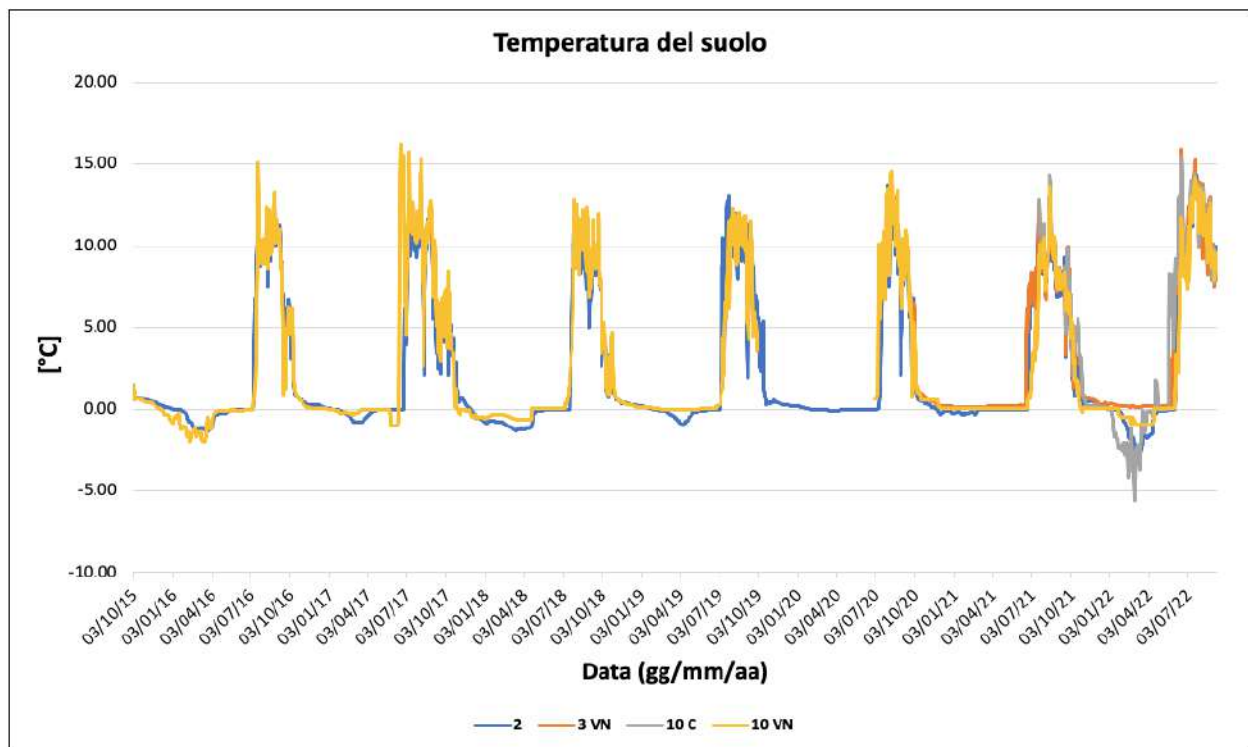


Figura 8: Temperature del topsoil registrate nei siti 2 e 10 VN dal 1/10/15 al 1/10/22 e nei siti 3 VN (dal 28/09/2020) e 10C (dal 20/07/2021).

Tabella 6: Sintesi dei parametri misurati e calcolati mediante i dati di temperatura del topsoil dei siti 2, 3VN, 10VN e 10 C

Parametri SITO 2	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	281	264	264	263	274	264	236	236	281	264	14
Numero cicli gelo/disgelo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	169	166	234	153	111	214	145	111	234	170	42
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-0.5	-0.3	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	-0.9	-0.9	-0.1	-0.4	0.3
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	8.9	7.5	8.3	9.1	9.7	8.1	9.8	7.5	9.8	8.8	0.9
Intensità congelamento del suolo (°C)	-1.3	-0.8	-1.3	-0.9	-0.1	-0.4	-2.7	-2.7	-0.1	-1.1	0.8
DOY di fusione	192	177	200	188	198	175	157	157	200	184	15

Parametri SITO 3 VN	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	274	228	201	239	211	259	210	201	274	232	27
Numero cicli gelo/disgelo	1	1	3	3	1	0	0	0	3	1	1
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	122	57	121	52	134	0	0	0	134	69	57
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-0.9	-1.6	-1.2	-0.3	-0.3			-1.6	-0.3	-0.9	0.6
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	6.5	9.1	10.2	7.9	9.0	8.3	9.1	6.5	10.2	8.6	1.2
Intensità congelamento del suolo (°C)	-7.4	-4.1	-7.5	-1.1	-1.3			-7.5	-1.1	-4.3	3.1
DOY di fusione	188	146	166	171	146	171	157	146	188	164	15

Parametri SITO 10 VN	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	280	250	272	259	270	275	220	220	280	261	21
Numero cicli gelo/disgelo	1	1	2	1	1	0	2	0	2	1	1
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	223	247	172	24	40	0	85	0	247	113	100
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-2.4	-1.0	-0.4	-0.1	-0.1		-0.7	-2.4	-0.1	-0.8	0.9
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	8.5	8.9	8.7	8.5	9.0	7.9	8.3	7.9	9.0	8.5	0.4
Intensità congelamento del suolo (°C)	-7.3	-1.1	-0.7	-0.1	-0.1		-1.0	-7.3	-0.1	-1.7	2.8
DOY di fusione	193	167	201	190	270	187	148	148	270	194	38

Parametri SITO 10 C	2022
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	168
Numero cicli gelo/disgelo	2
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	136
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-1.4
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	10.5
Intensità congelamento del suolo (°C)	-6.7
DOY di fusione	139

5. Caratterizzazione fisica e chimica della neve e dei laghi (serie storica 2007-2022)

A causa delle scarse precipitazioni nevose e delle temperature miti, lo spessore di neve al suolo, misurato il 21 dicembre 2021 (Figura 5) è davvero esiguo, pari a circa 100 cm. La densità media del manto nevoso è pari a circa 304 kg/m³. Successivamente non è stato realizzato un ulteriore profilo primaverile, a causa proprio della mancanza di ulteriori precipitazioni nevose.



Figura 5: Operazioni di scavo e campionamento. Profilo nivologico realizzato il 21/12/2021 in occasione dell'esercitazione con gli studenti dell'Università degli Studi di Torino.

Le concentrazioni delle forme di azoto sono in linea con la stagione precedente e tuttavia inferiori rispetto agli anni precedenti. Tale differenza è probabilmente legata anche al diverso periodo di apertura del profilo (tradizionalmente effettuato a inizio primavera). Diversamente, la concentrazione di carbonio organico disciolto (DOC) risultano essere piuttosto elevate, superiori alle concentrazioni degli anni precedenti. Per quanto concerne gli stock di azoto ammoniacale, nitrico e di DOC, essi risultano essere decisamente inferiori rispetto agli anni precedenti (tab. 4). Tale riduzione è dovuta al ridotto spessore del manto e alla densità della neve non particolarmente elevata (circa 150 kg/m³).

Tabella 4: Stock (kg/ha) delle forme di C e N del manto nevoso dal 2016 al 2022

	N-NH ₄	N-NO ₃	DOC	TDN	DON
Stock 2016 (kg/ha)	0.34	0.53	7.4	3.2	2.34
Stock 2017 (kg/ha)	0.82	0.74	10.8	2.7	1.18
Stock 2018 (kg/ha)	0.84	0.88	9.3	2.6	0.92
Stock 2019 (Kg/ha)	0.97	0.54	8.70	2.4	0.85
Stock 2020 (Kg/ha)	0.33	0.31	9.41	1.0	0.37

Stock 2021 (Kg/ha)	0.44	0.55	11.05	-	-
Stock 2022 (Kg/ha)	0.06	0.09	2.23	-	-

Per quanto concerne le caratteristiche chimiche dei laghi, per omogeneità con la serie storica, vengono di seguito considerati solo i dati autunnali di settembre e, ove non disponibili, di ottobre (fine della snow free season) dal 2007 al 2022.

Per quanto riguarda gli anni 2021 e 2022, proseguendo la serie storica di monitoraggio, è da segnalare un progressivo incremento delle concentrazioni di azoto nitrico e ammoniacale sia nel lago Bowditch sia nel lago Cimalegna (Figura 6). Tale incremento, piuttosto evidente nel 2022, potrebbe essere legato, oltre ai cicli di gelo-disgelo del periodo invernale (particolarmente povero di precipitazioni nevose), a deposizioni di particolato atmosferico dalla pianura Padana, dovute alla prolungata siccità della stagione. L'analisi delle retro-traiettorie delle masse atmosferiche del periodo (modello HYSPLIT), ha infatti sottolineato il verificarsi di diversi episodi di trasporto eolico proveniente dalla Pianura Padana. Diversi studi hanno dimostrato che la Pianura Padana rappresenta uno dei maggiori hot-spot di inquinamento per le alpi (e.g., Diémoz et al., 2019, Seibert et al., 1998; Dommen et al., 2003). Inoltre, il protrarsi delle condizioni di siccità, potrebbe aver accentuato il fenomeno, favorendo ulteriormente il trasporto di particolato ricco di azoto dalle zone densamente popolate ed industrializzate del bacino del Po (Hiltbrunner et al., 2005).

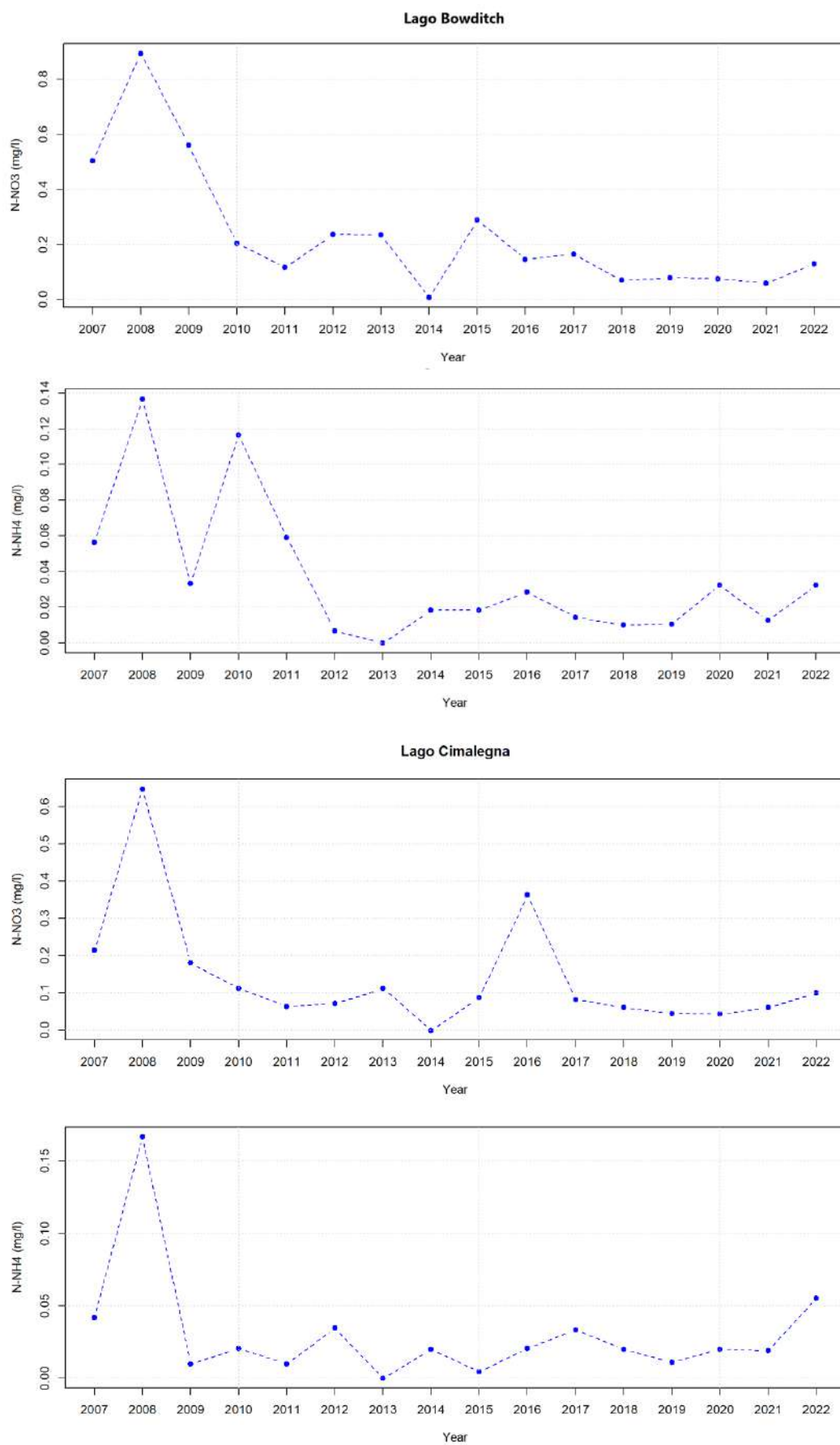


Figura 6: Concentrazione di azoto nitrico ed ammoniacale misurate a fine settembre, dal 2007 al 2022, nei laghi Bowditch e Cimaiegna.

Le analisi del pH e della conducibilità elettrica (EC) condotte nel 2021-2022 evidenziano una sensibile differenza tra le annate. In particolare, nel 2022 il pH risulta essere sensibilmente più basso rispetto al 2021; diversamente, per quanto concerne la conducibilità elettrica, questa risulta essere decisamente più elevata nel 2022. Riguardo quest'ultima, aumenti rilevanti della CE possono evidenziare incrementi di soluti nelle acque superficiali (Mihir et al., 2015). Questo andamento potrebbe quindi essere ricondotto (come per nitrati e ammonio), al consistente trasporto di particolato dalla Pianura Padana, favorito dalla forte siccità della stagione. Inoltre, le scarse precipitazioni nevose e le alte temperature dell'intera stagione, potrebbero aver favorito un effetto concentrante dei soluti. Per quanto concerne la drastica diminuzione del pH, rispetto al 2021, questo sarà oggetto di approfondimenti futuri.

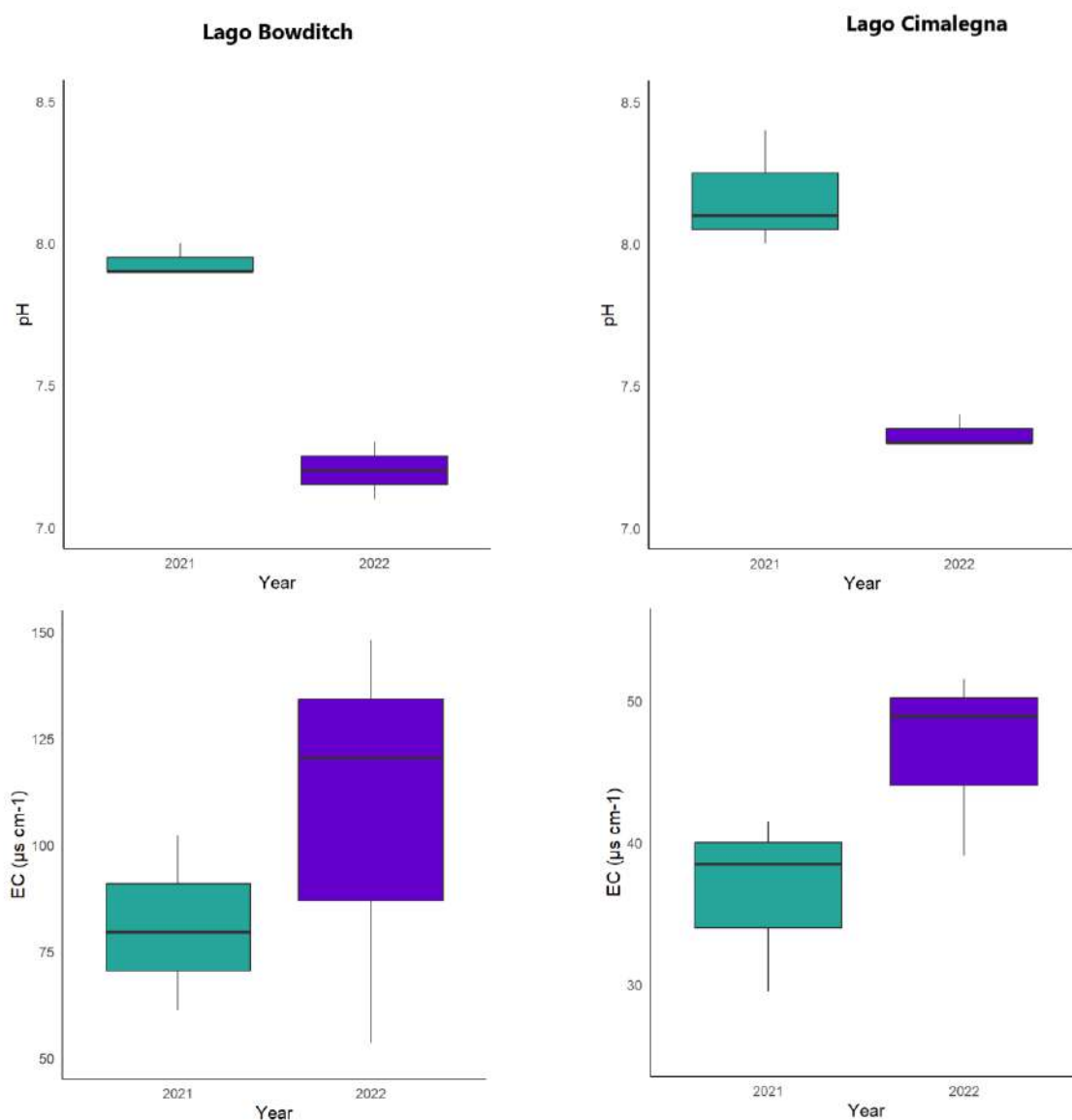


Figura 7: Valori di pH e CE misurati nei laghi Bowditch e Cimaiegna negli anni 2021-2022.

6. Andamento di azoto nitrico e azoto ammoniacale nel suolo nei siti storici 1-3 (serie storica 2008-2022)

Ampliando il dataset con i dati registrati nel 2021 e 2022, relativi all'azoto nitrico e a quello ammoniacale, considerando i dati di settembre dei siti storici 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto), non si riscontrano variazioni di rilievo rispetto agli ultimi anni della serie storica (fig. 8-9). Tuttavia, analizzando le sole due ultime annate, è presente una leggera differenza per entrambe le forme di azoto: di fatto nel 2022 il suolo risulta essere leggermente più povero rispetto al 2021. Questa diminuzione potrebbe essere nuovamente imputata alle peculiari condizioni meteorologiche dell'annata, caratterizzata da scarse precipitazioni nevose, durata dell'innevamento fortemente ridotta, fusione del manto nevoso anticipata ed alte temperature. Tali condizioni potrebbero aver determinato, oltre ad uno scarso input di azoto, anche un forte anticipo (e una maggior durata) dell'attività vegetativa, con un conseguente prolungato assorbimento da parte delle piante ed un relativo impoverimento del suolo. Tali osservazioni trovano riscontro anche negli studi effettuati da Pintaldi et al., 2022 nei medesimi siti sperimentali, secondo cui un anticipo nella fusione del manto e una riduzione della durata del manto, possono determinare una sensibile riduzione nel contenuto delle forme di azoto.

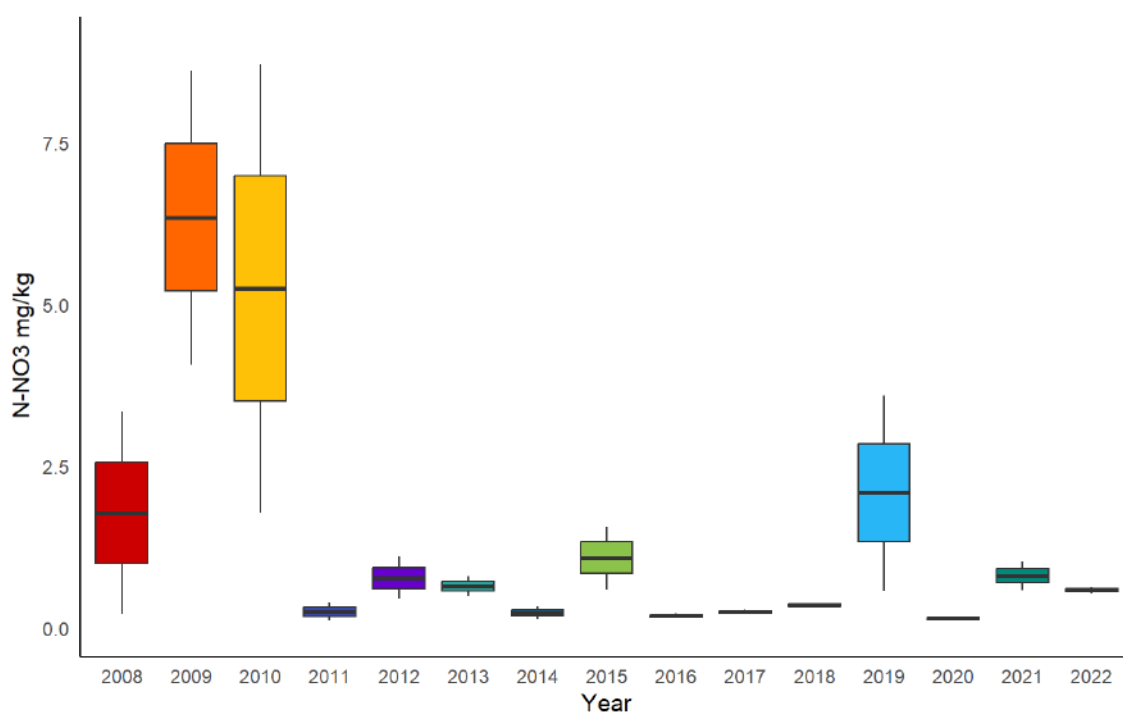


Figura 8: andamento dell'azoto nitrico nei siti storici 1 e 3 dal 2008 al 2022.

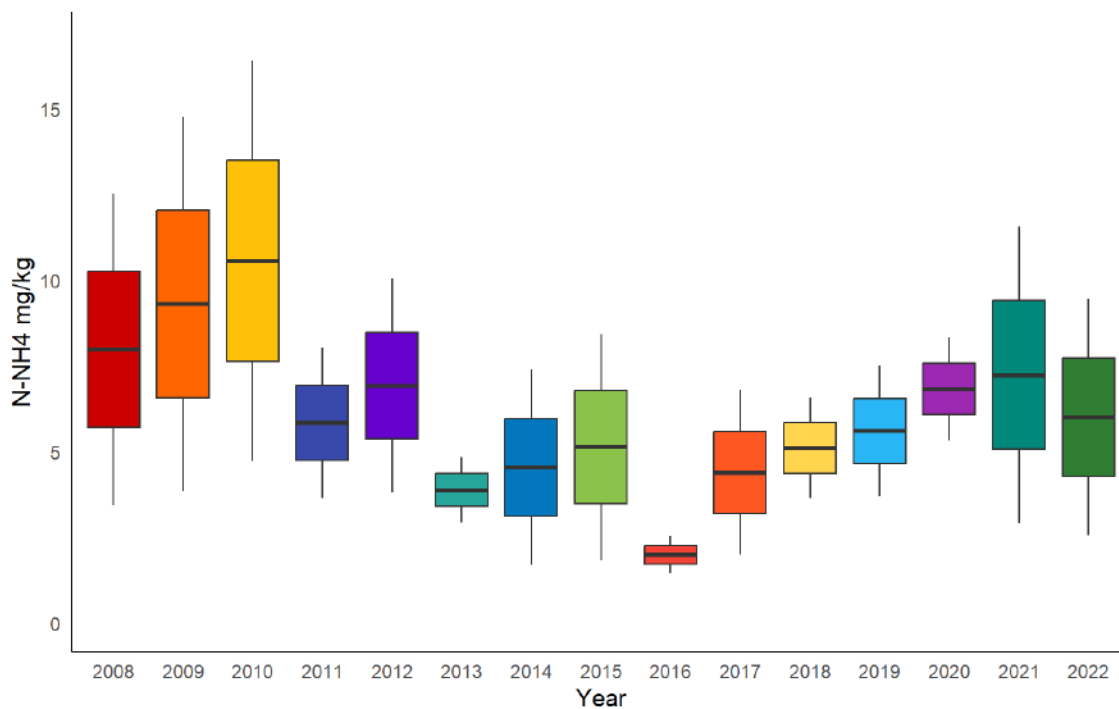


Figura 9: andamento dell'azoto ammoniacale nei siti storici 1 e 3 dal 2008 al 2022.

Il monitoraggio a lungo termine dei siti storici ha permesso inoltre di evidenziare delle sensibili differenze tra i siti. Il sito 1 infatti è costituito da una valletta nivale, mentre il sito 3 da un curvuleto. Le differenze dal punto di vista vegetazionale e pedoclimatico, si ripercuotono anche sulle caratteristiche chimiche dei suoli (Pintaldi et al., 2019). Tra gli scopi della nuova convenzione, predisposta per il periodo 2022-2025 vi quindi anche quello di indagare e monitorare le differenze tra questi due ecosistemi, nonché la loro risposta in funzione del cambiamento climatico. Sulla base quindi del monitoraggio storico, considerando i dati del mese di settembre dal 2008 al 2022, è emersa una netta differenza nel contenuto di azoto inorganico tra le due cenosi. Nello specifico i curvuleti risultano essere decisamente più ricchi di azoto rispetto alle vallette, soprattutto per quanto concerne l'azoto ammoniacale (fig. 10).

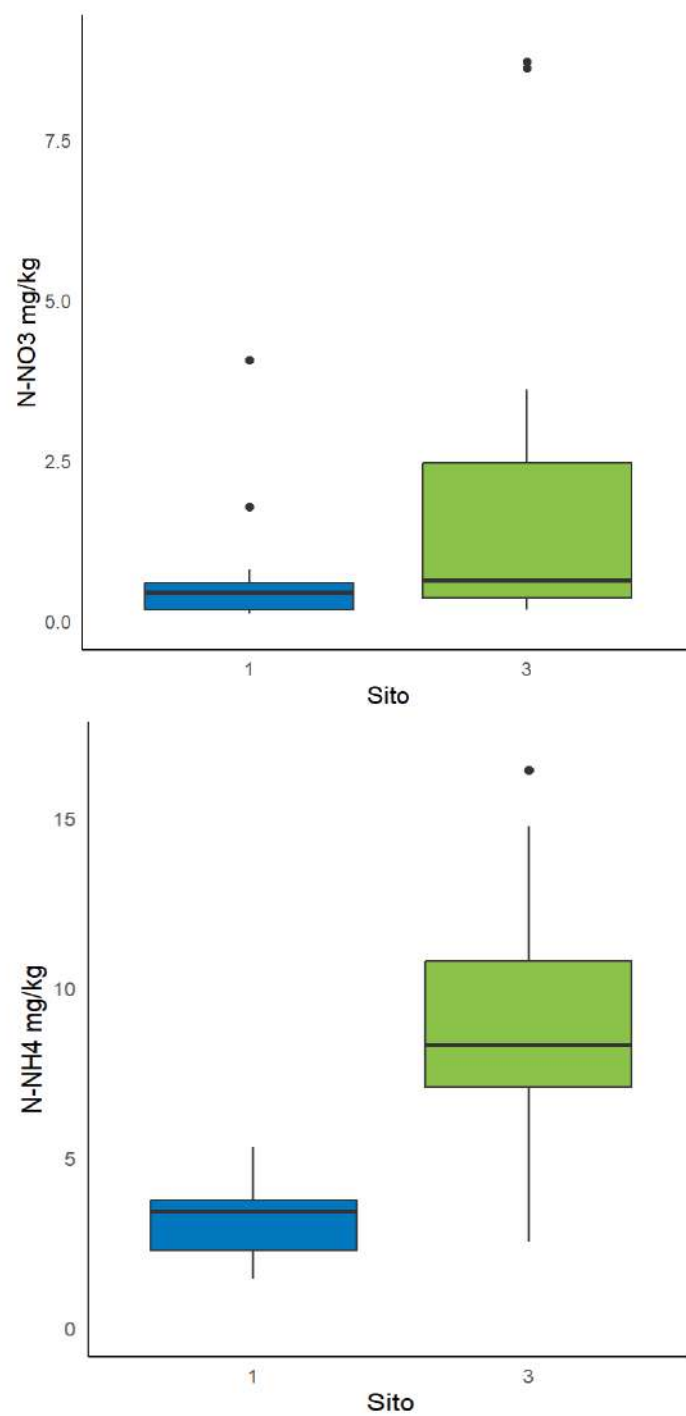


Figura 10: contenuto di azoto nitrico e azoto ammoniacale nei siti storici 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto) (dati 2008-2022).

7. Andamento di azoto nitrico e azoto ammoniacale nel suolo dei siti nell'altopiano di Cimalegna (2021-2022)

Prendendo in considerazione gli anni 2021 e 2022, di seguito si riportano i risultati delle analisi sui suoli (ammonio e nitrati) dei nuovi siti del vallone di Cimalegna (3VN, 10VN, 10C), compresi quelli storici (1 e 3). Per quanto concerne gli andamenti annuali, considerando i dati di tutti i siti, anche in questo caso risulta evidente come nel 2022 il contenuto di azoto nitrico e azoto ammoniacale sia più basso rispetto al 2021.

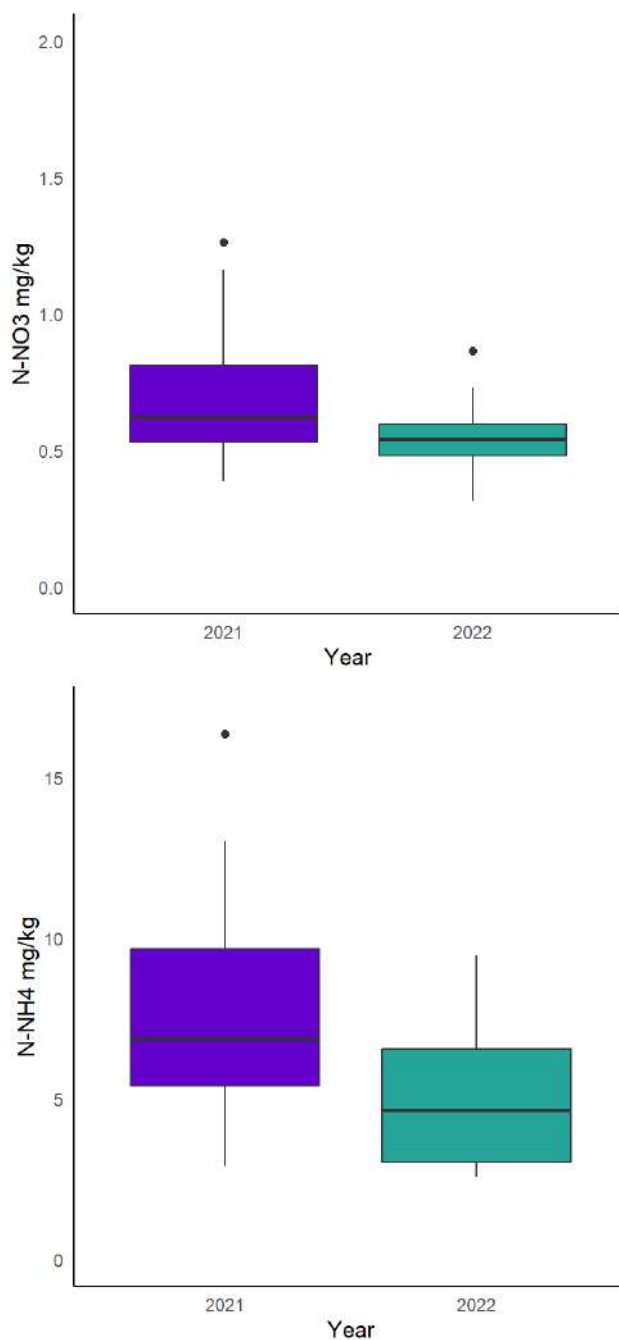


Figura 12: contenuto di azoto nitrico e azoto ammoniacale negli anni 2021-2022 nei suoli dei siti del vallone di Cimalegna (1,2,3,3VN,10VN,10C)

Analizzando invece le differenze tra siti, per gli anni di monitoraggio considerati, risulta evidente come, anche in questo caso, i curvuleti (sito 3 e sito 10C) siano caratterizzati da un maggior contenuto di azoto inorganico (fig. 13), rispetto alle corrispettive vallette nivali (siti 3VN e 10VN). Sebbene preliminari, i risultati potrebbero indicare che i curvuleti rispondano meglio alle variazioni delle condizioni pedoclimatiche durante annate anomale come il 2022. Diversamente, le vallette nivali, essendo legate alla permanenza prolungata del manto nevoso, potrebbero risentire maggiormente delle variazioni pedoclimatiche, risultando quindi essere più vulnerabili al cambiamento climatico.

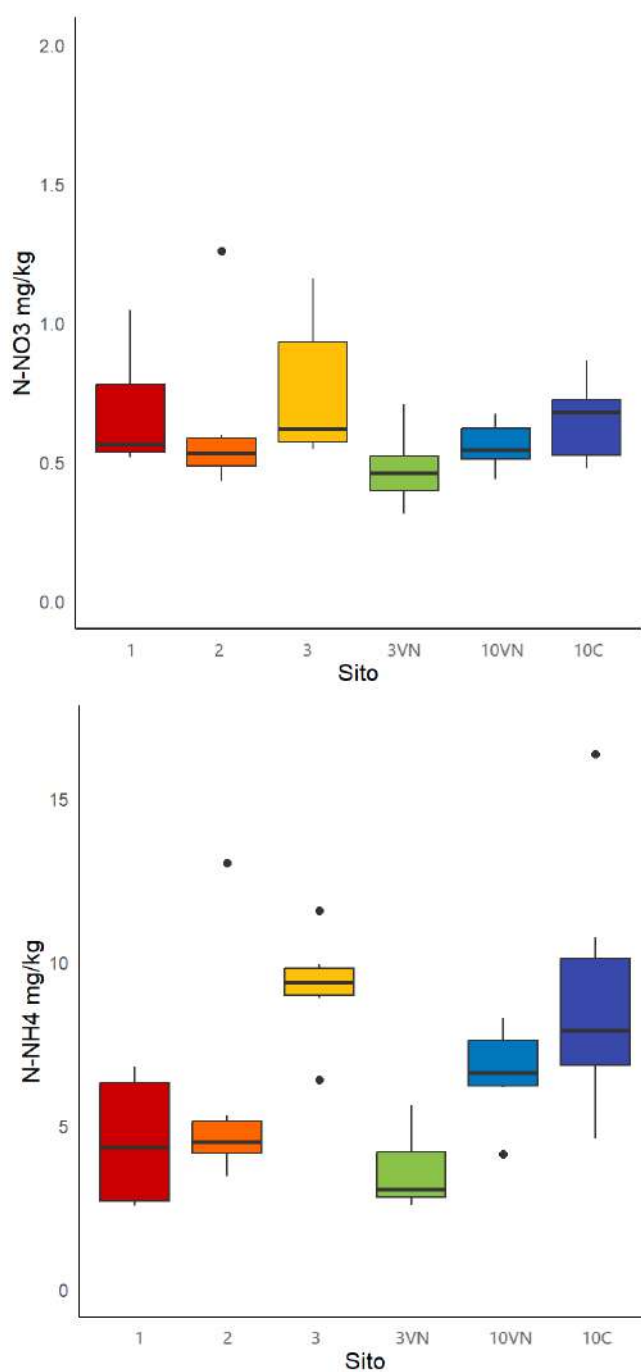


Figura 13: concentrazioni di azoto nitrico e azoto ammoniacale nei suoli dei siti del vallone di Cimalegna (1,2,3,3VN,10VN,10C) negli anni 2021-2022.

8. Monitoraggio delle variabili fenologiche e vegetazionali nei siti LTER

Composizione dei popolamenti vegetali

A prosecuzione delle attività di monitoraggio eseguite nel periodo 2015-2020, nel 2021 e 2022 è stato effettuato il monitoraggio della vegetazione nivale all'interno di sette aree di studio, rilevandone la composizione specifica e redigendo l'elenco completo delle specie presenti. L'area di studio 9 non sarà più monitorata, in quanto risulta essere fortemente disturbata dagli impianti di innevamento.

All'interno di sette plot di 4 x 4 m (uno per ogni valletta monitorata), ulteriormente suddivisi in quattro sub-plot di 2 x 2 m, sono stati realizzati i seguenti rilievi lungo transesti permanenti:

- fitopastorali, tramite il *vegetation point intercept method* (Daget e Poissonet, 1971), su linee di 2.5 m coincidenti con le diagonali del sub-plot (intervalli di 5 cm), realizzando quindi 200 punti di misurazione per ogni plot per la quantificazione delle coperture delle specie vegetali presenti;
- fitosociologici (Braun-Blanquet, 1932), integrando l'elenco floristico dei rilievi fitopastorali sull'intera superficie del sub-plot, al fine di individuare le specie occasionali non rilevate col metodo fitopastorale.

Nel 2022 sono stati effettuati 28 rilievi. È stato creato un database unendo i dati raccolti dal 2015 al 2022. Sono presentati qui di seguito i risultati relativi agli otto anni di campionamento, confrontati tramite ANOVA per misure ripetute per dati appaiati, con posthoc di Tukey nel caso di differenze significative tra anni. Sono stati analizzati la copertura percentuale (Fig. 1) e il numero di specie vegetali (Fig. 2) riferite a quattro gruppi funzionali di specie accorpate per optimum fitosociologico. Le specie sono state categorizzate, secondo Aeschimann et al. (2004) in: specie tipiche di ghiaione siliceo, specie tipiche di praterie silicicole oligotrofiche, specie tipiche di pascoli eutrofici e specialiste di valletta nivale.

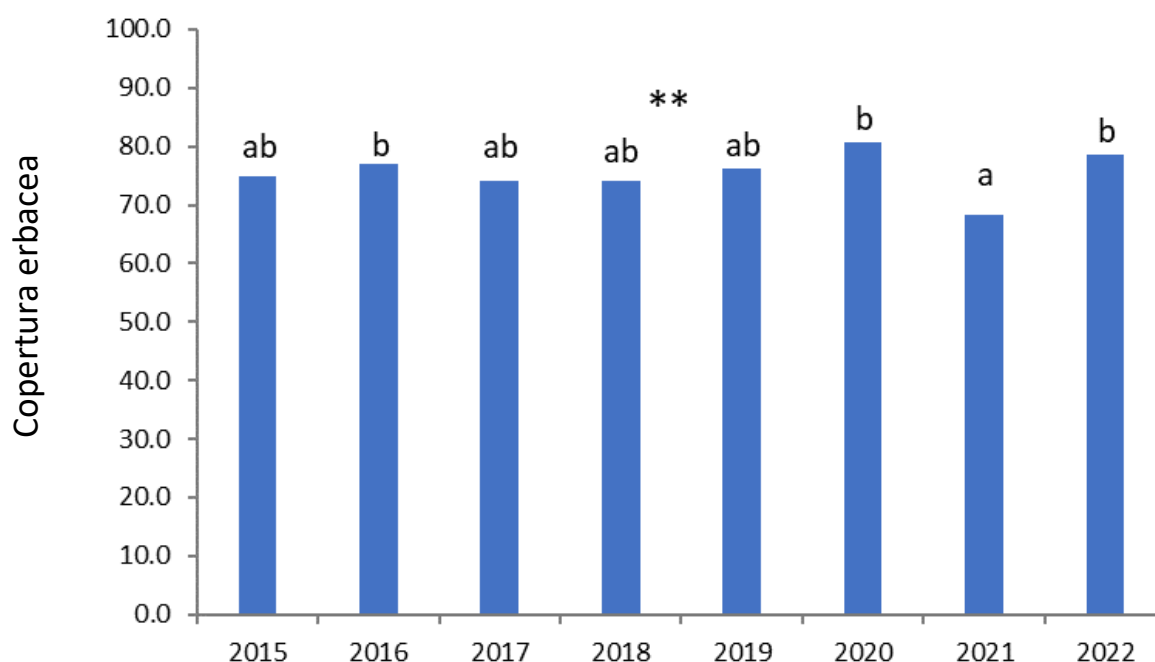


Figura 1: copertura erbacea, espressa in percentuale media degli otto siti monitorati, a confronto tra anni di studio. Lettere diverse indicano differenze significative tra anni (ANOVA per misure ripetute per dati appaiati con posthoc di Tukey).

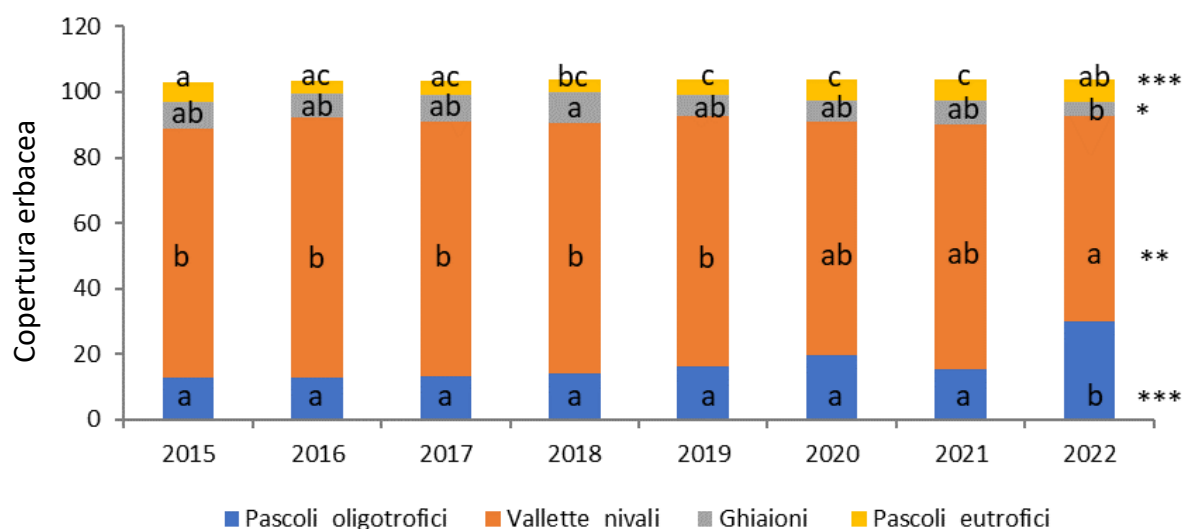


Figura 2: numero di specie rilevate, espresso in percentuale media degli otto siti monitorati, suddiviso per gruppi funzionali a confronto tra anni di studio. Lettere diverse indicano differenze significative tra anni (ANOVA per misure ripetute per dati appaiati con posthoc di Tukey).

I risultati delle elaborazioni indicano che, nel medio periodo, non si sono verificati consistenti cambiamenti in termini di copertura erbacea totale e numero di specie (Fig. 1 e 2). La copertura erbacea e il numero di specie presentano differenze significative solo tra alcuni anni di studio, probabilmente dovute a una combinazione casuale di fluttuazioni stagionali legate alla variabilità interannuale, rendendole inconsistenti dal punto di vista ecologico. I dati raccolti nel 2022 si discostano maggiormente rispetto a quelli rilevati negli anni precedenti, probabilmente a causa del fatto che il 2022 è stato un anno anomalo dal punto di vista meteorologico, caratterizzato da forte siccità e temperature elevate (come dettagliato in seguito). Dopo 8 anni di monitoraggio non è ancora possibile osservare variazioni apprezzabili, e si può sostenere che la vegetazione di alta quota è soggetta a lente successioni, essendo le aree di studio caratterizzate da un notevole numero e copertura di specie perenni. È tuttavia possibile che in tempi più lunghi si potrà assistere a un graduale cambiamento nella composizione vegetale dei plot, con una possibile frammentazione dell'habitat di valletta nivale e un aumento delle specie opportuniste di prateria in ingresso.

Fenologia delle specie indicatrici

Nella stagione di campo 2022 sono stati effettuati i rilievi per i 4 siti delle vallette nivali e per i 2 curvuleti, all'interno dei 16 quadrati fissi di 1x1 m, applicando il nuovo protocollo di campo. Il monitoraggio fenologico è stato effettuato negli stessi plot impiegati per lo studio della composizione della vegetazione, suddivisi secondo una griglia di 1 x 1 m (per un totale di 16 maglie), adattando la scala bbch (Hack et al, 1992) all'area di studio. In corrispondenza di ciascuna maglia è stato rilevato lo stadio fenologico più avanzato delle specie più abbondanti e trasversali tra i siti e le più interessanti per la risposta fenologica all'andamento di DOY, GDD, DFSM, secondo la scala BBCH: *Salix herbacea*, *Poa alpina*, *Veronica alpina*, *Gnaphalium supinum*, *Euphrasia minima*, *Alchemilla pentaphyllea*.

Sono state effettuate 6 date di rilevamento durante la stagione 2022. I siti monitorati nel precedente periodo di studio rappresentano situazioni contrastanti tra loro che caratterizzano la variabilità ecologica delle vallette nivali presenti nell'area; tuttavia, alcuni di essi hanno mostrato un comportamento simile in termini di sviluppo fenologico delle specie presenti e, per mantenere un'ampia variabilità senza privilegiare alcune situazioni rispetto ad altre, si è valutato di escludere i siti 2, 6 e 9 dal monitoraggio della fenologia della vegetazione. Il rilievo fenologico sarà quindi effettuato nei siti 1, 3, 7 e 10.

Nel corso dell'autunno 2022 sono stati effettuati il controllo e l'immissione delle schede di dati raccolti in campo. Il database realizzato tra il 2016 e il 2020 è stato riadattato e unito ai dati raccolti negli anni 2021 e 2022. Successivamente, si è proceduto con l'analisi statistica dei dati raccolti nei 7 anni di campionamento (2 anni per i curvuleti). Gli obiettivi delle analisi erano:

- individuare quale fattore tra somma termica, espressa in GDD (Growing Degree Day), il numero di giorni dalla fusione della neve DFSM (Days From SnowMelt) e il fotoperiodo (legato al DOY, Days Of the Year – Giorni Giuliani) influenzi maggiormente il raggiungimento di differenti fenofasi delle specie comuni tra vallette nivali e curvuleti (*Salix herbacea* e *Euphrasia minima*);
- valutare la variabilità delle fenofasi sul medio periodo (arco temporale di sette anni);
- evidenziare eventuali differenze fra le specie comuni di vallette nivali e curvuleti (*Salix herbacea* e *Euphrasia minima*) nel raggiungimento di determinate fenofasi.

Al fine di calcolare le somme termiche con le quali correlare le fasi fenologiche, a inizio stagione sono stati verificati il posizionamento e il funzionamento delle sonde di temperatura presenti su ognuno dei 6 siti. Dove danneggiate dall'innevamento, sono state ripristinate le coperture predisposte l'anno precedente al fine di ombreggiare i sensori e mitigare l'effetto dell'irraggiamento solare diretto. I dati delle sonde utilizzati per calcolare i GDD del 2022 sono stati scaricati in corrispondenza dell'ultima data di rilevamento. La Figura 3 riporta l'andamento delle temperature a livello del suolo nei 6 siti oggetto di studio.

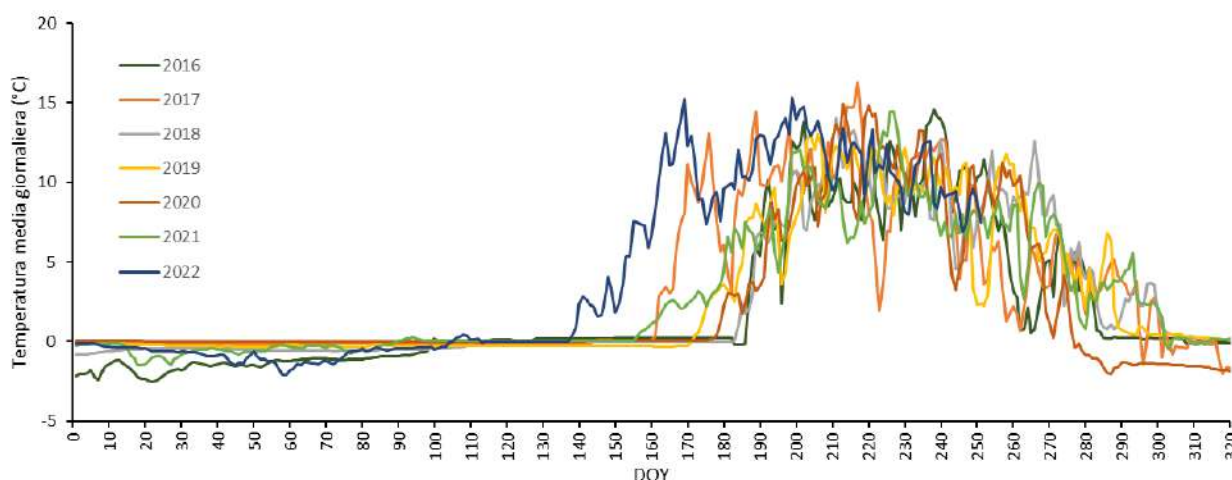


Figura 3: Andamento delle temperature medie giornaliere a livello del suolo (media dei 6 siti) durante il periodo 2016-2022.

L'anno 2022 è risultato un anno anomalo dal punto di vista meteorologico, caratterizzato da forte siccità ed elevate temperature. La stagione vegetativa è iniziata nella seconda metà di maggio, mentre negli anni precedenti è iniziata tra la seconda metà di giugno e la prima di luglio.

Le relazioni tra DOY, GDD, DFSM e le fasi fenologiche di *Salix herbacea* e *Euphrasia minima* nel corso dei sette anni di monitoraggio sono state valutate tramite una regressione logaritmica. Da questa semplice operazione è possibile apprezzare in forma grafica la diversa capacità delle tre variabili di predire un determinato comportamento fenologico (Fig. 4).

Come riportato nelle precedenti relazioni, la connessione con i Giorni Giuliani (DOY) è sempre debole e si adatta poco alla relativa diversità dei 7 anni esaminati e al diverso comportamento della stessa specie in due ambienti diversi. Quando invece si esaminano le regressioni relative alle somme termiche (GDD) e ai giorni dalla fusione del manto nevoso (DFSM) si nota come la curva dell'andamento delle fasi fenologiche, sia per *Salix herbacea* che per *Euphrasia minima*, sia simile negli anni e in ambienti diversi. Si può concludere affermando che le specie sono dipendenti principalmente dalle variabili di temperatura (GDD) e di giorni senza la copertura nevosa (DFSM), rispetto al fotoperiodo (DOY). Di conseguenza, il cambiamento climatico

può influenzare queste dinamiche vegetazionali direttamente, attraverso l'aumento delle temperature, e indirettamente, attraverso l'anticipazione della stagione vegetativa.

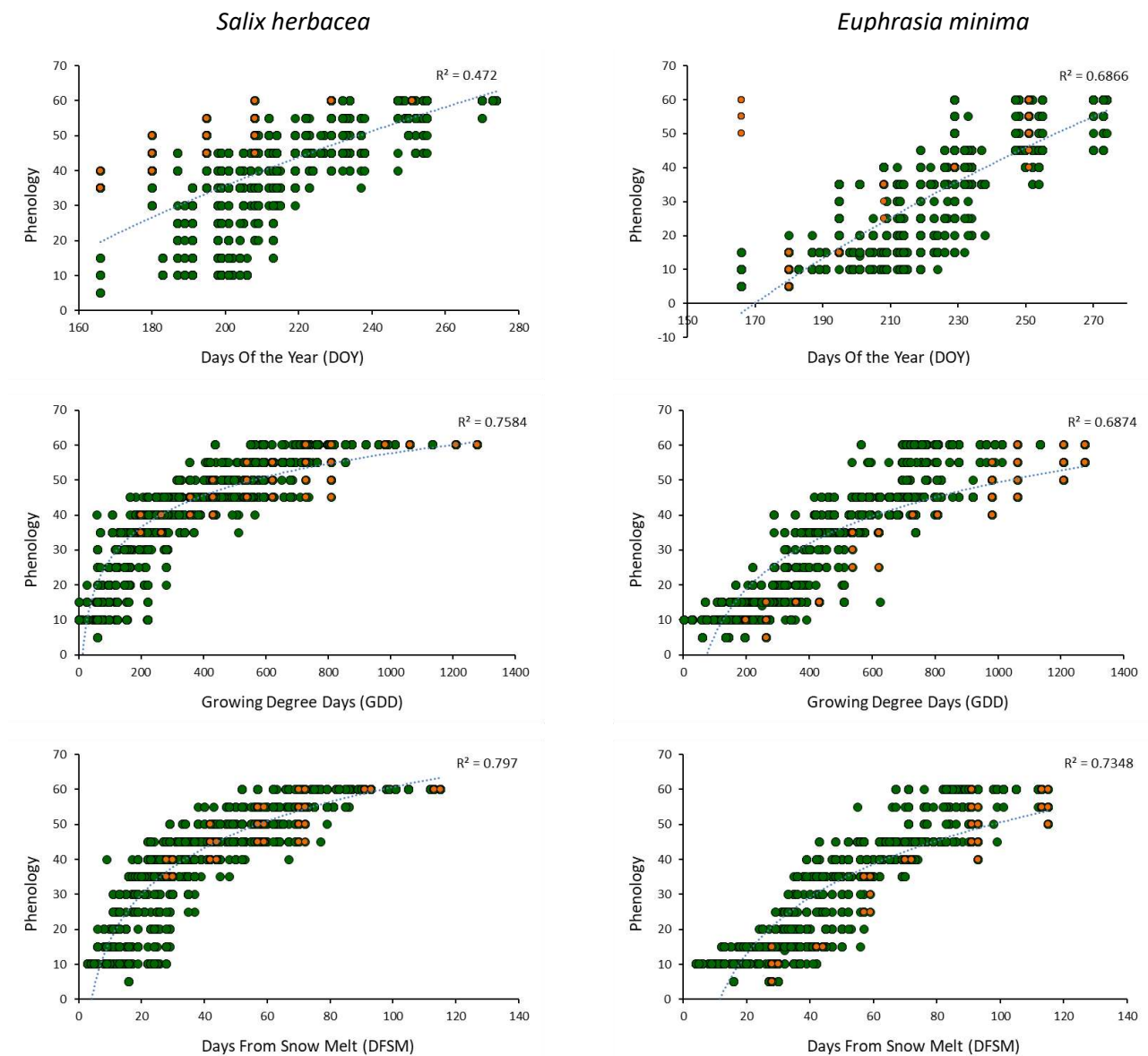


Figura 4: Regressione logaritmica delle fenofasi di *Salix herbacea* ed *Euphrasia minima* per tutti i siti durante i sette anni di campionamento (2016-2022) in relazione ai giorni giuliani (DOY), somma termica (GDD) e giorni dalla fusione della neve (DFSM). Viene indicato R², coefficiente di determinazione.

9. Bibliografia

- Aeschimann, D., Lauber, K., Martin, M. D., & Theurillat, J. P. (2004). *Flora Alpina*. 3 volumi. Zanichelli, Bologna.
- Braun-Blanquet J., Fuller G. D., Conrad H. S. (1932). *Plant Sociology. The study of plant communities*. McGraw-Hill book company, New York and London.
- Daget P., Poissonet J. (1971). A method of plant analysis of pastures. *Annales agronomiques* 22: 5-41.
- Danby, R. K., and Hik, D. S., 2007: Responses of white spruce (*Picea glauca*) to experimental warming at a subarctic alpine treeline. *Global Change Biology*, 13: 437–451.
- Diémoz H., Barnaba F., Magri T., Pession G., Dionisi D., Pittavino S., Tombolato I.K.F., Campanelli M., Della Ceca L.S., Hervo M., Di Liberto L., Ferrero L., Gobbi G.P., 2019. Transport of Po Valley aerosol pollution to the northwestern Alps - Part 1: phenomenology. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19:3065-3095.
- Dommen, J., Prévôt, A. S., Baertsch-Ritter, N., Maffeis, G., Longoni, M. G., Grüebler, F. C., & Thielmann, A. (2003). High-resolution emission inventory of the Lombardy region: Development and comparison with measurements. *Atmospheric Environment*, 37(29), 4149-4161.
- Hack et al., The extended BBCH scale, (1992)
- Hiltbrunner E., Schwikowski M., Körner C., 2005. Inorganic nitrogen storage in alpine snow pack in the Central Alps (Switzerland). *Atmospheric Environment*, 39 (12), 2249– 2259.
- Mihir P., Nihar R.S., Pankaj P. K., Malabika B.R., 2015 Electrical Conductivity of Lake Water as Environmental Monitoring—A Case Study of Rudrasagar Lake. *OSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* 9 (3):66-71.
- Phillips, A. J., and Newlands, N. K., 2011: Spatial and temporal variability of soil freeze-thaw cycling across southern Alberta. *Journal of Agricultural Science*, 2: 392–405.
- Pintaldi, E., Pittarello, M., Viglietti, D., Quaglia, E., D’Amico, M. E., Lombardi, G., ... & Freppaz, M. (2022). Snowbed communities and soil C and N dynamics during a four-year investigation in the NW-Italian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 54(1), 368-385.
- Pintaldi, E., Viglietti, D., D’Amico, M. E., Magnani, A., & Freppaz, M. (2019). Abiotic Parameters and pedogenesis as controlling factors for soil C and N cycling along an elevational gradient in a Subalpine Larch Forest (NW Italy). *Forests*, 10(8), 614.

Seibert, P., Kromp-Kolb, H., Kasper, A., Kalina, M., Puxbaum, H., Jost, D. T., ... & Baltensperger, U. (1998).
Transport of polluted boundary layer air from the Po Valley to high-alpine sites. *Atmospheric Environment*, 32(23), 3953-3965.



CONVENZIONE PER IL MONITORAGGIO E RECUPERO AMBIENTALE INERENTI IL PROGETTO

DI REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO DI INNEVAMENTO ARTIFICIALE DELLA PISTA

"CIMALEGNA-PASSO DEI SALATI"

Relazione attività 2022-2023

Sommario

Relazione attività 2022-2023	0
1. Monitoraggio del suolo: attività di campo e in laboratorio	2
2. Andamento meteorologico e pedoclimatico (serie storica 2008-23)	3
3. Andamento pedoclimatico dei siti storici 1-3 (serie storica 2007-23)	6
4. Condizioni pedoclimatiche registrate nei siti di ricerca dell'altopiano di Cimalegna (2022-2023)	8
5. Caratterizzazione fisica e chimica della neve e dei laghi	11
6. Andamento di azoto nitrico e azoto ammoniacale nel suolo nei siti storici 1-3 (serie storica 2008-2023)	15
7. Andamento di azoto nitrico e azoto ammoniacale nel suolo dei siti nell'altopiano di Cimalegna (2021-2022)	18
8. Monitoraggio delle variabili fenologiche e vegetazionali nei siti LTER	20
9. Bibliografia	24

1. Monitoraggio del suolo: attività di campo e in laboratorio

Nel 2023 sono continuate le attività di monitoraggio nei siti sperimentali. Nello specifico, l'attività è proseguita sia nei siti "storici" 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto), attivi dal 2007, sia nelle vallette nivali (siti 2 e 10VN, ex sito 6). Il monitoraggio è inoltre continuato anche nei 2 nuovi siti di ricerca identificati nel 2021, ovvero i siti 3VN (valletta nivale) e 10C (curvuleto).

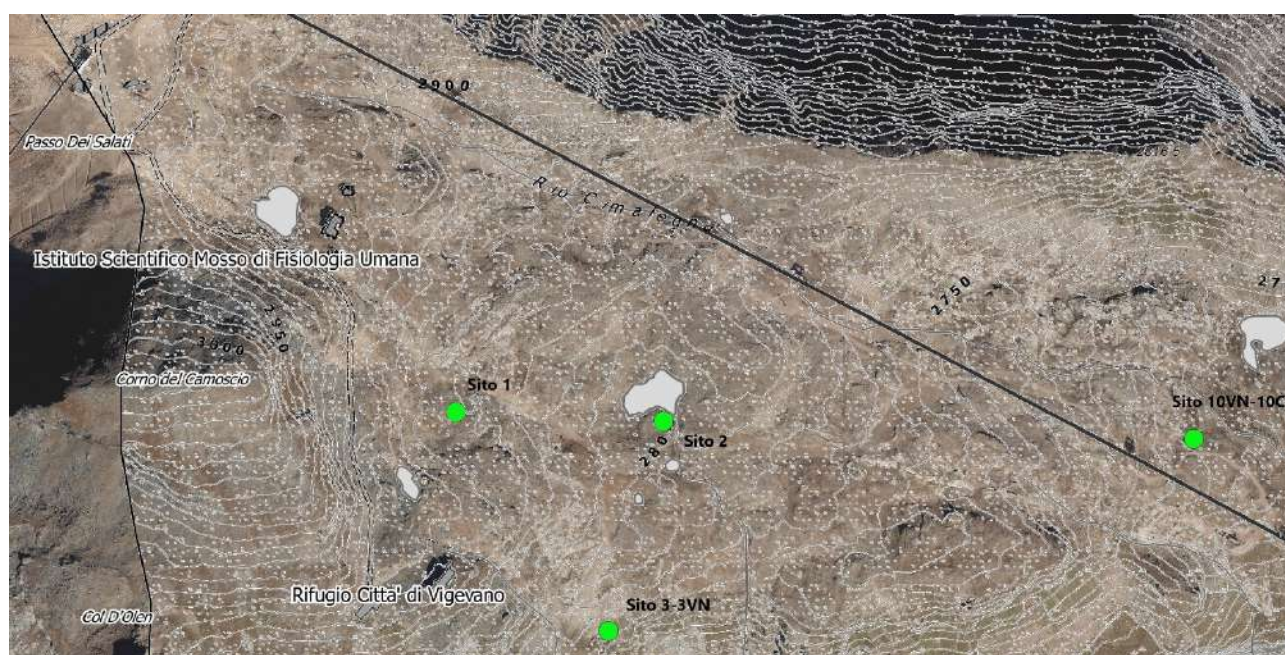


Figura 1: Disposizione dei siti di ricerca. Sito 1 (2840m) e sito 3 (2770m) sono oggetto di monitoraggio a lungo termine dal 2007. I Siti 2 (2800m) e 10VN (ex sito 6) (2686m) sono oggetto di monitoraggio dal 2015. I siti 3VN e 10C sono oggetto di monitoraggio a partire dal 2021.

È proseguito inoltre il monitoraggio delle variabili nivo-meteorologiche registrate dalla stazione automatica localizzata presso l'Istituto Mosso (Comando Truppe Alpine – Ufficio Meteomont), del pedoclima e delle forme di C e N nel suolo e nelle acque. In particolare, nel corso del 2023 sono continuate le misure in continuo (con cadenza oraria) della temperatura del topsoil (10 cm di profondità) mentre l'umidità gravimetrica del suolo è stata determinata in occasione di ciascun campionamento mediante essiccazione di un campione in stufa a 105°C. Subito dopo la fusione completa del manto nevoso, sono stati effettuati i campionamenti del topsoil. Il protocollo di campionamento ha previsto il prelievo di 3 campioni di suolo per ogni sito (ciascuno dei quali ottenuto dall'unione di 3 sottocampioni). I campionamenti sono stati condotti con periodicità mensile e sono stati finalizzati alla determinazione delle forme labili di azoto e carbonio. Dopo l'estrazione del suolo con KCl (1 M) sono stati determinati azoto ammoniacale, azoto nitrico e carbonio organico disciolto. Nel corso dell'estate del 2023 sono stati effettuati 3 campionamenti (il 13/07, 21/08 e il 12/09) in tutti i 6 siti di ricerca. Complessivamente sono stati estratti ed analizzati 54 campioni di suolo.

In ogni data di campionamento del suolo sono stati effettuati prelievi di acqua nei laghi Bowditch e Cimalagna (anche in questo caso i campioni sono stati prelevati in triplice aliquota). I campioni d'acqua sono stati analizzati per la determinazione di: pH, conducibilità elettrica, azoto ammoniacale, azoto nitrico, carbonio organico disciolto, azoto totale disciolto, azoto organico disciolto. Sono stati complessivamente analizzati 18 campioni.

Per quanto concerne il 2023, il rilievo nivologico con relativo campionamento è stato effettuato il 14 aprile 2023, poco prima che il manto nevoso raggiungesse le condizioni di isotermità (intero profilo con temperature prossime a 0°C in tutto il suo spessore). In tale occasione sono state determinate le principali caratteristiche fisiche del manto nevoso quali spessore totale, spessore degli strati, forma e dimensione dei grani, resistenza a penetrazione, massa volumica e temperatura. Nella medesima giornata, sono stati prelevati anche i campioni di neve, poi mantenuti congelati fino al momento delle analisi chimiche in laboratorio. Dopo la completa fusione dei campioni in laboratorio sono stati determinati: pH, conducibilità elettrica, azoto ammoniacale, azoto nitrico, carbonio organico disciolto, azoto totale disciolto, azoto organico disciolto.

Per quanto concerne il 2023, la stagione invernale è stata caratterizzata da precipitazioni nevose maggiori rispetto all'anno precedente, sebbene comunque al di sotto della media storica del sito. Nel medesimo giorno sono state determinate le proprietà fisiche del manto nevoso e sono stati prelevati i campioni, successivamente analizzati in laboratorio per la determinazione dei parametri chimici.

2. Andamento meteorologico e pedoclimatico (serie storica 2008-23)

Per confrontare gli andamenti nivometrici degli ultimi 16 anni (Tabella 1, Figura 2) sono stati utilizzati i dati della stazione automatica dell'Istituto Mosso (Comando Truppe Alpine – Ufficio Meteomont, 2901 m s.l.m.) e della stazione automatica di Bocchetta delle Pisse (Arpa Piemonte) sita a circa 2400 m di quota. In particolare:

- La durata di permanenza della neve al suolo (snow cover duration), la neve cumulata (sommatoria delle nevicate) e la data di fusione della neve (DOY fusione) derivano dai dati misurati dal nivometro ad ultrasuoni della stazione automatica Istituto Mosso;
- Il numero di cicli di gelo/disgelo del suolo (oscillazioni della temperatura media giornaliera da valori positivi a negativi e successivamente positivi), la temperatura del suolo quando congelato, la temperatura del suolo coperto dalla neve (temperatura media del suolo nella snow cover season) e la temperatura del suolo quando scoperto dalla neve (temperatura media del suolo nella snow free season) sono stati calcolati sulla base dei dati misurati dalla stazione automatica Istituto Mosso dotata di un sensore di temperatura posizionato nel suolo a 10 cm di profondità;
- Il numero di giorni con pioggia debole, cioè quando la pioggia cumulata nelle 24 ore è compresa tra 10 e 20 mm (giorni con precipitazioni >10 mm <20 mm), il numero di giorni con pioggia moderata/forte quando la pioggia cumulata nelle 24 ore è maggiore di 20 mm (giorni con precipitazioni >20 mm), il numero di giorni consecutivi nei quali non sono state registrate piogge superiori a 1 mm (giorni secchi) e il numero di giorni consecutivi nei quali sono state registrate piogge superiori a 1 mm (giorni piovosi) sono stati misurati dal pluviometro riscaldato della stazione automatica di Bocchetta delle Pisse.

Tabella 1: Sintesi dei parametri misurati negli ultimi 16 anni dalla stazione automatica dell'Istituto Mosso (Comando Truppe Alpine – Ufficio Meteomont) e dalla stazione automatica di Bocchetta delle Pisse (Arpa Piemonte).

Parametri stazione automatica Mosso	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Min	Max	Media	dev. st.
SnowCover Duration (n.ro giorni)	258	244	245	236	236	284	312	249	295	265	254	275	276	265	230	243	230	312	260	23
Numero cicli gelo/disgelo	1	0	1	0	0	1	2	0	1	0	1	1	1	1	2	2	0	2	1	1
Neve Cumulata (cm)	605	1099	879	752	890	947	820	820	756	608	824	666	705	738	615	655	605	1099	774	137
Giorni con pioggia > 10 mm	12	5	5	3	8	5	2	5	6	6	11	5	8	14	21	13	2	21	8	5
Giorni con pioggia > 20 mm	4	2	2	4	4	3	0	7	7	3	2	3	1	5	11	7	0	11	4	3
Giorni secchi consecutivi (con pioggia < 1mm)	7	3	6	4	4	7	5	7	9	6	22	12	6	11	13	11	3	22	8	5
Giorni piovosi consecutivi (con pioggia > 1mm)	18	9	5	9	6	5	23	12	9	16	20	17	6	5	6	8	5	23	11	6
Pioggia cumulata (mm)	315	144	264	255	419	235	92	522	380	202	319	253	228	455	543	479	92	543	319	135
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	162	0	107	0	0	20	52	0	96	0	153	21	162	215	211	115	0	215	82	80
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-1.2		-0.4			-0.1	-0.6		-1.1		-2.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.6	-2.0	-2	0	-1	1
Temperatura media del suolo nella snowcover season (°C)	-1.1	0.6	0.1	0.3	0.5	0.6	0.3	0.6	0.3	0.9	-0.8	0.8	0.2	-0.1	-0.4	-0.8	-1	1	0	1
Temperatura media del suolo nella snowfree season (°C)		8.5	8.0	8.2	6.4	5.2	3.6	9.3	8.8	8.0	6.8	8.6	8.2	7.8	9.4	9.9	4	10	8	2
DOY di fusione	190	179	174	160	168	214	228	189	202	184	200	193	199	187	155	183	155	228	188	19

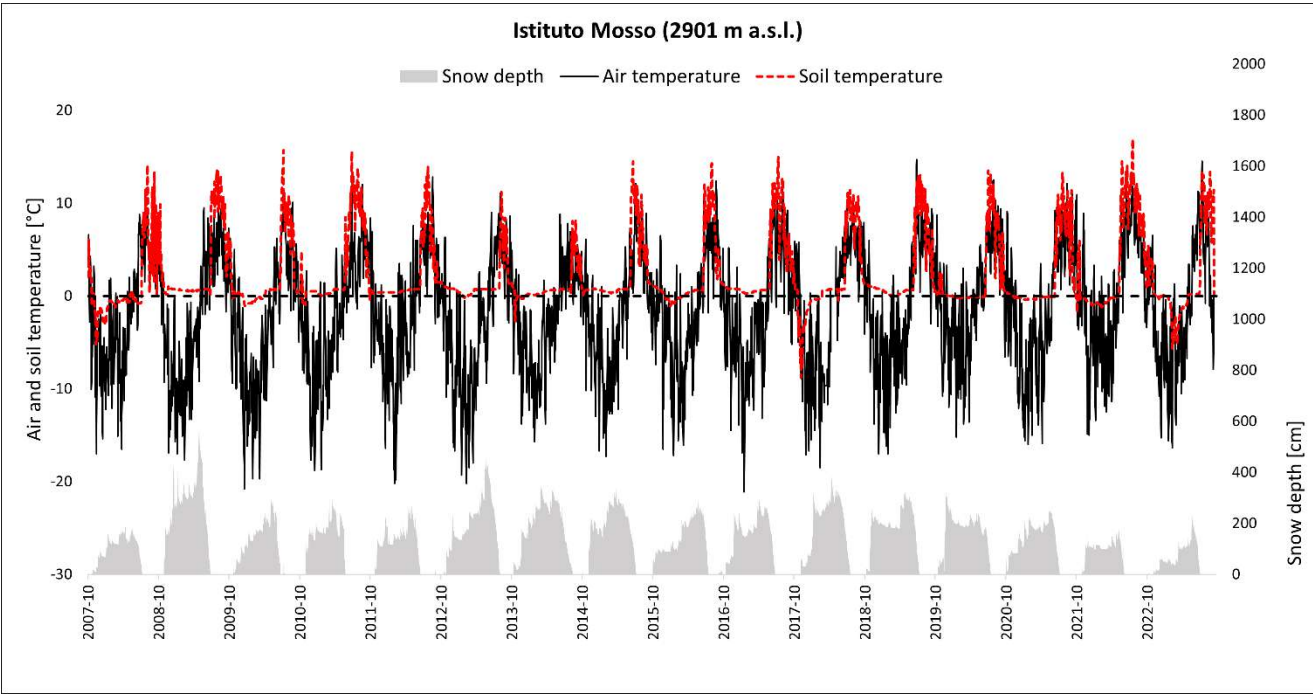


Figura 2: Temperatura dell'aria (linea nera), temperatura del suolo (linea rossa) e altezza neve (poligoni grigi) registrate dalla stazione nivometeorologica automatica dell'Istituto Mosso (Comando Truppe Alpine – Ufficio Meteomont) dal 1 ottobre 2007 al 11 settembre 2023.

Per quanto concerne la stazione automatica dell'Istituto Mosso, si segnala come nel corso dell'annata 22-23, essa sia stata caratterizzata da numerosi malfunzionamenti, che hanno reso necessaria l'integrazione dei parametri meteorologici mediante l'utilizzo dei dati della stazione di Bocchetta delle Pisse.

Per quanto concerne la stagione 2023, sono stati misurati circa 655 cm di neve cumulata. Il valore è superiore alla stagione precedente, ma ancora al di sotto della media storica. È bene sottolineare come il dato sia probabilmente sottostimato, proprio a causa dei malfunzionamenti della stazione meteorologica. La durata della neve al suolo è stata di circa 243 giorni.

Suddividendo il dataset in trimestri meteorologici (inverno = dicembre-febbraio; primavera=marzo-maggio; estate = giugno-agosto; autunno=settembre-novembre), come riportato in Tabella 2) è emerso che nel 2023 le temperature invernali e primaverili sono state più fredde rispetto all'anno precedente, sebbene decisamente più miti rispetto alla media storica. Le temperature estive sono risultate più fresche rispetto al 2022, ma viene comunque confermata una decisa tendenza all'aumento rispetto alla serie storica; infatti, il 2023 risulta essere comunque il secondo anno con l'estate più calda della serie. Anche per la stagione autunnale, il 2023 risulta essere tra i più caldi dell'intera serie storica, con temperature del trimestre di 0.8° C.

Tabella 2: Temperatura media stagionale dell'aria nei 17 anni di monitoraggio.

Anno	Stagione			
	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
2007				-3.0
2008	-6.6	-4.9	4.5	-1.0
2009	-9.9	-2.9	4.8	-1.4
2010	-11.2	-4.9	4.5	-3.2
2011	-9.0	-2.3	3.9	-0.1
2012	-8.6	-2.8	5.2	-1.4
2013	-10.3	-5.1	4.5	-1.4
2014	-8.0	-2.6	3.3	0.0
2015	-8.2	-3.6	5.6	-1.3
2016	-6.6	-5.1	5.1	-1.6
2017	-7.5	-2.8	6.0	-1.3
2018	-9.1	-2.9	5.9	-2.6
2019	-7.4	-4.6	6.2	-0.3
2020	-4.9	-2.4	5.8	0.0
2021	-8.0	-5.0	5.6	1.5
2022	-5.5	-2.2	7.5	-0.2
2023	-6.9	-2.9	6.3	0.8
Min	-11.2	-5.1	3.3	-3.2
Max	-4.9	-2.2	7.5	1.5
Media	-8.0	-3.6	5.3	-1.0
Dev.st	1.7	1.1	1.0	1.3

Dal punto di vista pluviometrico, il 2023 risulta essere uno degli anni più piovosi, secondo solo al 2022, con una pioggia cumulata di 479 mm.

3. Andamento pedoclimatico dei siti storici 1-3 (serie storica 2007-23)

Analizzando l'andamento delle temperature registrate nel topsoil dei siti storici 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto) è stato possibile calcolare una serie di parametri ritenuti importanti (Tabella 3, Figura 4) nell'influenzare le dinamiche di carbonio ed azoto del suolo nella stagione senza neve al suolo (snow free season). In particolare:

- *Snow cover duration*: numero di giorni di permanenza della neve al suolo calcolato sulla base della *soil temperature daily amplitude* ovvero la differenza tra la temperatura massima giornaliera e la temperatura minima giornaliera del suolo. Quando la *daily amplitude* è superiore a 1°C si considera il suolo libero dal manto nevoso, o con manto nevoso di spessore molto esiguo (Danby and Hik, 2007);
- Numero di cicli di gelo/disgelo del suolo: si considera un ciclo di gelo/disgelo quando la temperatura media giornaliera del topsoil passa da valori positivi a valori negativi per poi tornare a valori sopra 0°C (Phillips and Newlands, 2011);
- Durata congelamento del suolo: temperatura media del suolo nei periodi in cui esso risulta congelato ed intensità di congelamento (intesa come temperatura minima assoluta quando il suolo è congelato);
- Giorno di fusione completa del manto nevoso (espresso come giorno dell'anno –DOY-): calcolato utilizzando la *daily amplitude* così come descritto per la “snow cover duration”.

Dai dati di temperatura dei topsoil (Tabella 3) si nota che la snow cover duration (SCD) della stagione invernale 2022-2023 risulta inferiore alla media sia per il sito 1 (valletta nivale) sia per il sito 3 (curvuleto). In particolare, la SCD in entrambi i siti costituisce il terzo valore più basso dell'intero dataset. In entrambi i siti si è verificato un ciclo di gelo-disgelo, con un minimo assoluto di -1.2°C nel sito 1 (valletta nivale) e di -3.9°C nel sito 3 (curvuleto) (vedi Tabella 3 e Figura 4).

Tabella 3: Sintesi dei parametri misurati e calcolati mediante i dati di temperatura del topsoil nei siti 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto).

Parametri SITO VN1	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	249	272	271	255	241	284	286	250	283	262	236	266	270	278	233	238	233	286	261	18
Numero cicli gelo/disgelo	3	1	3	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	205	246	269	208	235	217	223	15	102	124	244	242	272	275	231	167	15	275	205	71
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-0.3	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5	-0.1	0.0	0.0	-0.3	-0.1	-1.1	-0.6	-0.2	-0.8	-1.4	-0.4	-1.4	0.0	-0.4	0.4
Temperatura media del suolo nella snow cover season (°C)	-0.3	0.0	-0.3	-0.2	-0.5	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	-1.0	-0.6	-2.0	-0.8	-1.4	-0.2	-2.0	0.1	-0.4	0.6
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	5.8	8.5	7.6	7.2	6.8	5.1	4.5	9.0	7.7	6.4	7.3	8.3	7.1	6.9	10.2	10.2	4.5	10.2	7.4	1.6
Intensità congelamento del suolo (°C)	-2.6	-0.1	-0.8	-0.3	-1.1	-0.3	-0.1	0.0	-0.5	-0.1	-6.6	-1.1	-0.2	-1.0	-3.1	-1.2	-6.6	0.0	-1.2	1.7
DOY di fusione	181	221	192	187	163	211	205	186	193	175	190	185	195	191	148	178	148	221	188	17

Parametri SITO 3 CURV	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	222	246	222	219	223	247	231	210	274	228	201	239	211	215	189	203	189	274	224	21
Numero cicli gelo/disgelo	4	1	2	2	2	1	1	1	1	1	3	2	1	2	1	1	1	4	2	1
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	167	125	211	154	58	184	125	59	122	57	121	52	141	191	146	93	52	211	125	51
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-1.0	-0.1	-1.1	-0.3	-0.9	-1.6	-0.5	-0.1	-0.9	-1.6	-1.2	-0.3	-0.3	-1.2	-0.9	-0.8	-1.6	-0.1	-0.8	0.5
Temperatura media del suolo nella snow cover season (°C)	-0.1	0.1	-0.8	-0.1	0.1	-1.1	-0.3	0.2	-0.6	0.2	-0.1	0.9	0.0	-0.5	-0.4	0.0	-1.1	0.9	-0.2	0.5
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	8.1	10.0	9.1	8.5	8.3	6.6	7.2	10.0	6.5	9.1	10.2	7.9	9.0	6.7	8.7	11.4	6.5	11.4	8.6	1.4
Intensità congelamento del suolo (°C)	-2.1	-0.1	-3.4	-1.0	-2.5	-8.3	-1.9	-0.2	-7.4	-4.1	-7.5	-1.1	-1.3	-8.8	-5.9	-3.9	-8.8	-0.1	-3.7	3.0
DOY di fusione	182	174	179	139	162	184	162	148	188	146	185	171	178	156	138	168	138	188	166	17

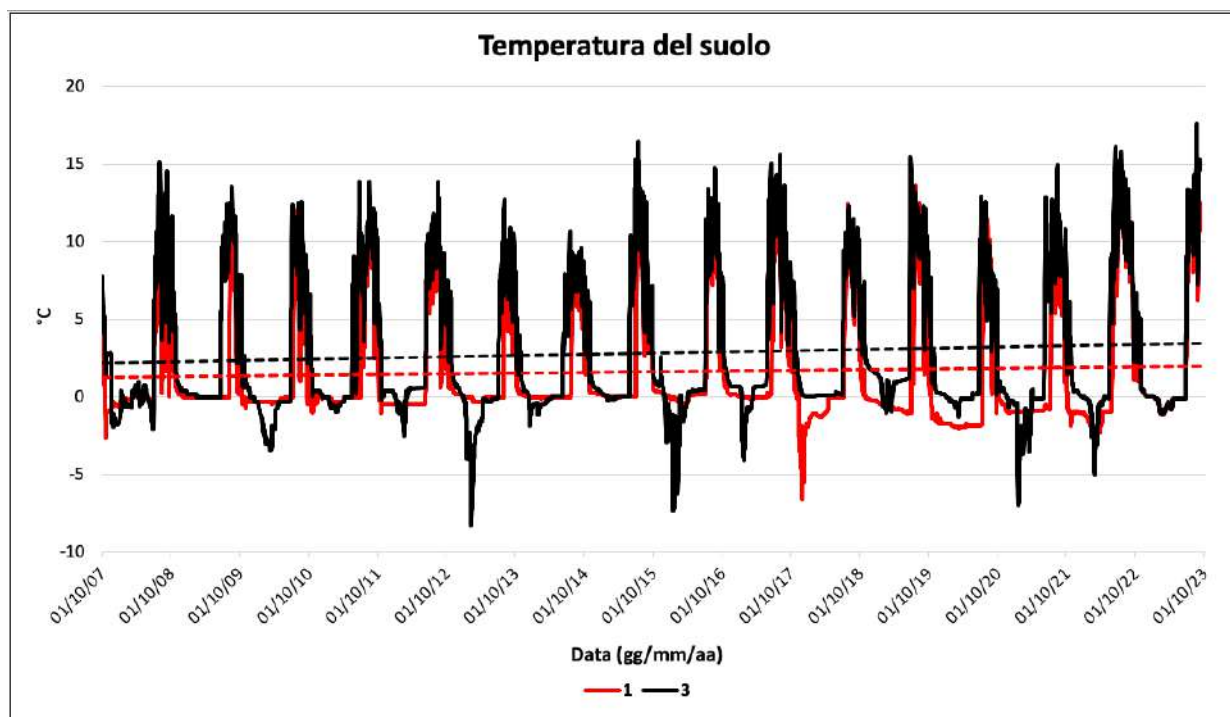


Figura 4: Temperatura dei topsoil nei siti 1 (linea rossa) e 3 (linea nera) dal 1/10/2007 al 1/10/2023.

4. Condizioni pedoclimatiche registrate nei siti di ricerca dell'altopiano di Cimalegna (2022-2023)

Nella stagione invernale 2022-2023, dal punto di vista pedoclimatico, si segnalano condizioni più in linea con la serie storica, rispetto all'annata precedente. Per quanto riguarda la snow cover duration (SCD), le anomalie maggiori sono state riscontrate nelle vallette nivali 2 e 10, con valori decisamente inferiori rispetto alla media della serie storica disponibile. Il numero maggiore di cicli di gelo e disgelo è stato invece riscontrato nei siti 10 VN e 10 C. Tali siti risultano anche quelli con la maggiore durata del congelamento. Per quanto riguarda l'intensità del congelamento, la temperatura più bassa ($-7.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) è stata raggiunta nel sito 10 C, sebbene anche il sito 10 VN abbia registrato temperature più basse rispetto alla media. Degni di nota sono i valori di temperatura del suolo registrati durante la snow-free season, i quali risultano essere i più elevati in assoluto in tutti i siti di monitoraggio. Per quanto concerne il giorno di fusione del manto nevoso, tutti i siti, ad eccezione del 3 VN, hanno registrato un netto calo rispetto alla media storica.

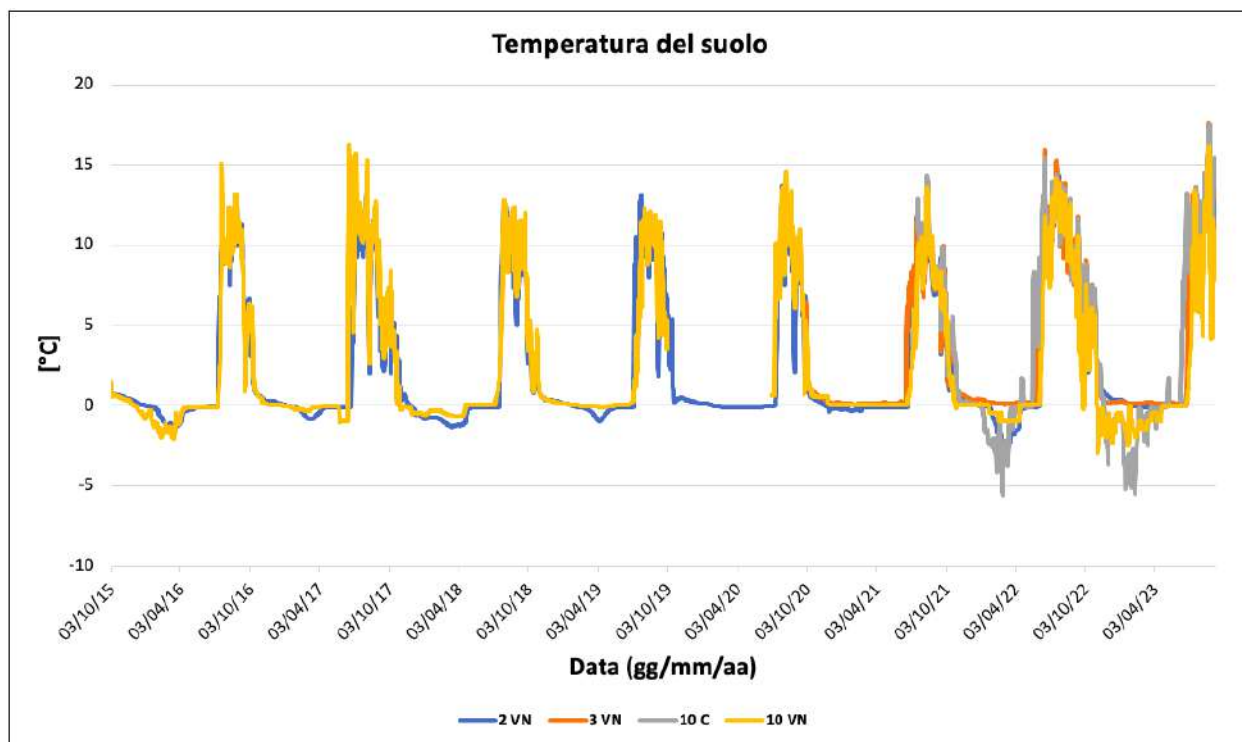


Figura 8: Temperature del topsoil registrate nei siti 2 e 10 VN dal 1/10/15 al 11/09/23 e nei siti 3 VN (dal 28/09/2020) e 10C (dal 20/07/2021).

Tabella 6: Sintesi dei parametri misurati e calcolati mediante i dati di temperatura del topsoil dei siti 2, 3VN, 10VN e 10 C

Parametri SITO 2	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	281	264	264	263	274	264	236	237	236	281	260	16
Numero cicli gelo/disgelo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	169	166	234	153	111	214	145	136	111	234	166	40
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-0.5	-0.3	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	-0.9	0.0	-0.9	0.0	-0.4	0.3
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	8.9	7.5	8.3	9.1	9.7	8.1	9.3	10.8	7.5	10.8	8.9	1.0
Intensità congelamento del suolo (°C)	-1.3	-0.8	-1.3	-0.9	-0.1	-0.4	-2.7	-0.1	-2.7	-0.1	-1.0	0.8
DOY di fusione	192	177	200	188	198	175	157	177	157	200	183	14

Parametri SITO 3 VN	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	274	228	201	239	211	259	210	234	201	274	232	25
Numero cicli gelo/disgelo	1	1	3	3	1	0	0	0	0	3	1	1
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	122	57	121	52	134	0	0	0	0	134	61	58
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-0.9	-1.6	-1.2	-0.3	-0.3				-2	0	-1	1
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	6.5	9.1	10.2	7.9	9.0	8.3	8.9	11.1	6	11	9	1
Intensità congelamento del suolo (°C)	-7.4	-4.1	-7.5	-1.1	-1.3				-8	-1	-4	3
DOY di fusione	188	146	166	171	146	171	157	177	146	188	165	15

Parametri SITO 10 VN	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	280	250	272	259	270	275	220	224	220	280	256	23
Numero cicli gelo/disgelo	1	1	2	1	1	0	2	2	0	2	1	1
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	223	247	172	24	40	0	85	169	0	247	120	95
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-2.4	-1.0	-0.4	-0.1	-0.1		-0.7	-1.1	-2	0	-1	1
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	8.5	8.9	8.7	8.5	9.0	7.9	7.7	8.5	8	9	8	0
Intensità congelamento del suolo (°C)	-7.3	-1.1	-0.7	-0.1	-0.1		-1.0	-4.5	-7	0	-2	3
DOY di fusione	193	167	201	190	270	187	148	178	148	270	192	36

Parametri SITO 10 C	2022	2023	Min	Max	Mean	St.dev
Snow Cover Duration (n.ro giorni)	168	183	168	183	176	11
Numero cicli gelo/disgelo	2	3	2	3	3	1
Durata congelamento suolo (n.ro giorni)	136	193	136	193	165	40
Temperatura media del suolo congelato (°C)	-1.4	-1.2	-1	-1	-1	0
Temperatura media del suolo nella snow free season (°C)	10.0	10.9	10	11	10	1
Intensità congelamento del suolo (°C)	-6.7	-7.2	-7	-7	-7	0
DOY di fusione	139	162	139	162	151	16

5. Caratterizzazione fisica e chimica della neve e dei laghi

In occasione dell'apertura del profilo nivologico, in data 14 aprile 2023, è stata misurata un'altezza del manto di circa 120 cm. La densità media del manto nevoso è pari a circa 315 kg/m³.



Figura 5: Operazioni di scavo e campionamento durante l'apertura del profilo nivologico realizzato il 14/04/2023.

Per quanto riguarda gli stock delle forme di azoto (tab. 4), essi risultano essere maggiori rispetto alla stagione precedente, ma in linea con i valori della serie storica. Tuttavia, si sottolinea che escludendo il 2022, gli stock di azoto nitrico ed ammoniacale risultano essere fra i più bassi della serie. Ciò è da imputare soprattutto alle scarse precipitazioni che hanno contraddistinto la prima parte della stagione. Allo stesso modo, anche lo stock di carbonio organico disciolto (DOC) risulta essere superiore alla stagione precedente, tuttavia, come

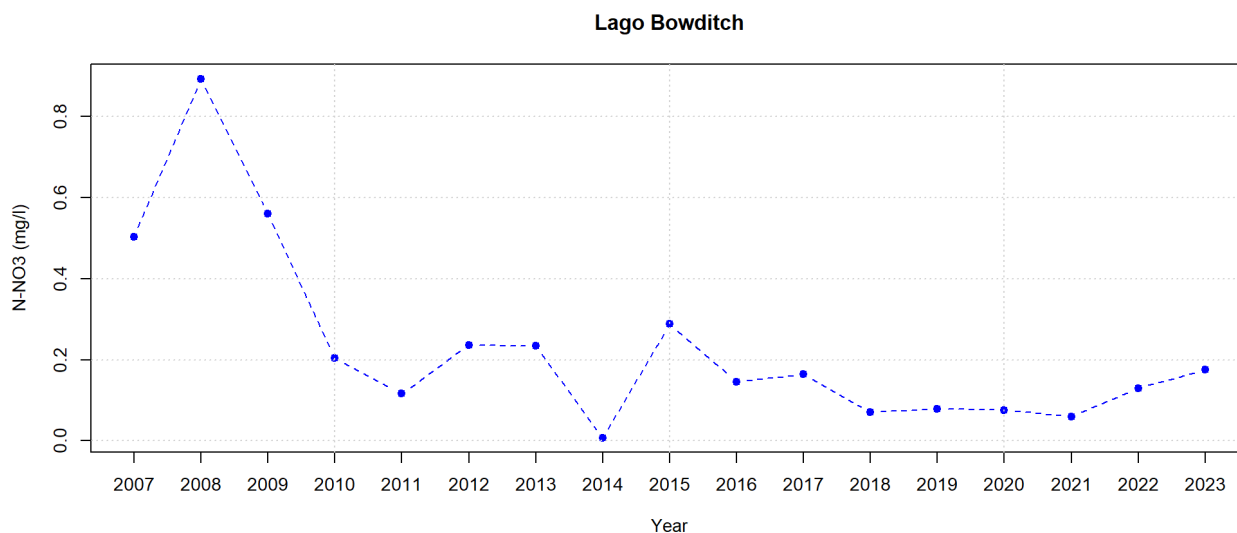
per le forme di azoto, esso si colloca tra i valori più bassi della serie storica. Anche in questo caso la riduzione è imputabile alle scarse precipitazioni nevose.

Tabella 4: Stock (kg/ha) delle forme di C e N del manto nevoso dal 2016 al 2023

	N-NH ₄	N-NO ₃	DOC	TDN	DON
Stock 2016 (kg/ha)	0.34	0.53	7.4	3.2	2.34
Stock 2017 (kg/ha)	0.82	0.74	10.8	2.7	1.18
Stock 2018 (kg/ha)	0.84	0.88	9.3	2.6	0.92
Stock 2019 (Kg/ha)	0.97	0.54	8.70	2.4	0.85
Stock 2020 (Kg/ha)	0.33	0.31	9.41	1.0	0.37
Stock 2021 (Kg/ha)	0.44	0.55	11.05	-	-
Stock 2022 (Kg/ha)	0.06	0.09	2.23	-	-
Stock 2023 (kg/ha)	0.41	0.15	4.64	-	-

Per quanto concerne le caratteristiche chimiche dei laghi, per omogeneità con la serie storica, vengono di seguito considerati solo i dati autunnali di settembre e, ove non disponibili, di ottobre (fine della snow free season) dal 2007 al 2023.

Per quanto riguarda il 2023, proseguendo la serie storica di monitoraggio, è da segnalare un andamento diverso nei bacini. In particolare, considerando l'azoto nitrico, si registra un leggero aumento nel lago Bowditch ed una diminuzione nel Cimalegna. Diversamente, per quanto concerne l'azoto ammoniacale, si registra una diminuzione in entrambi i bacini.



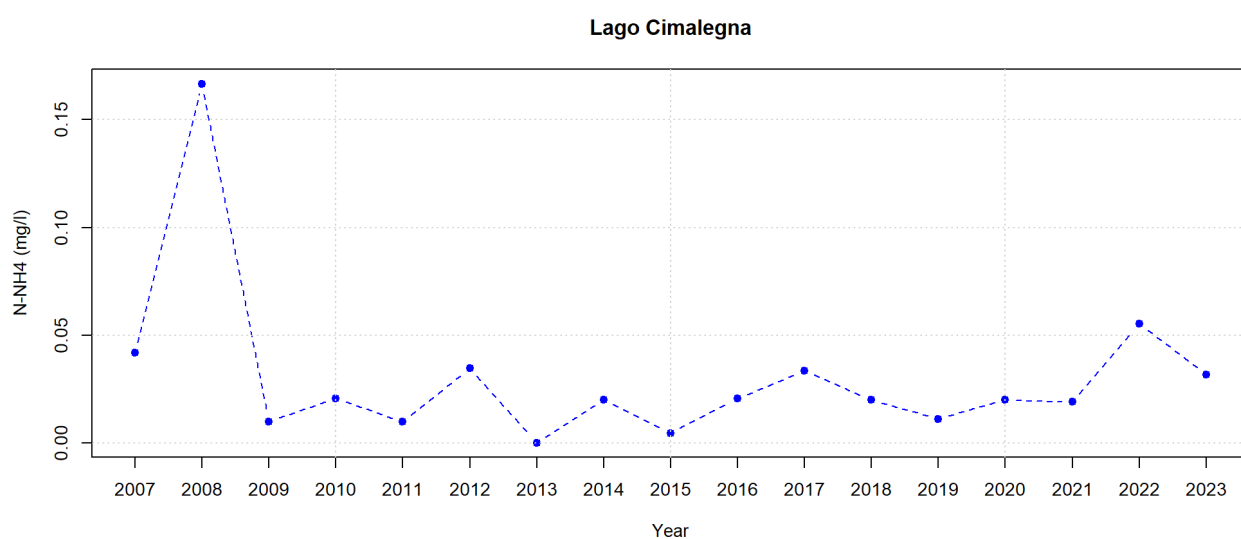
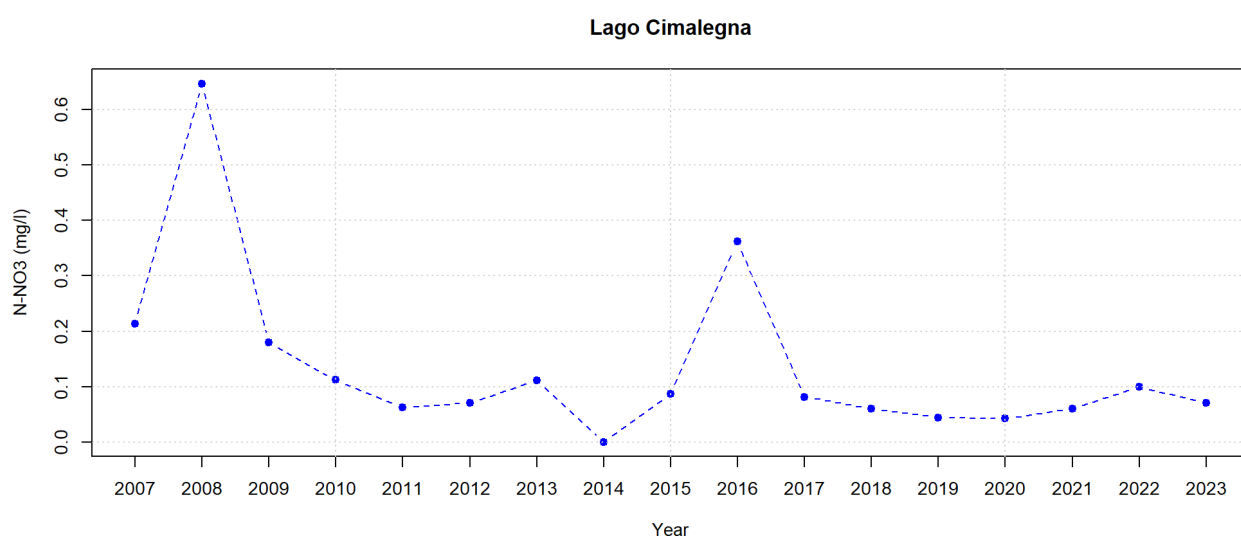
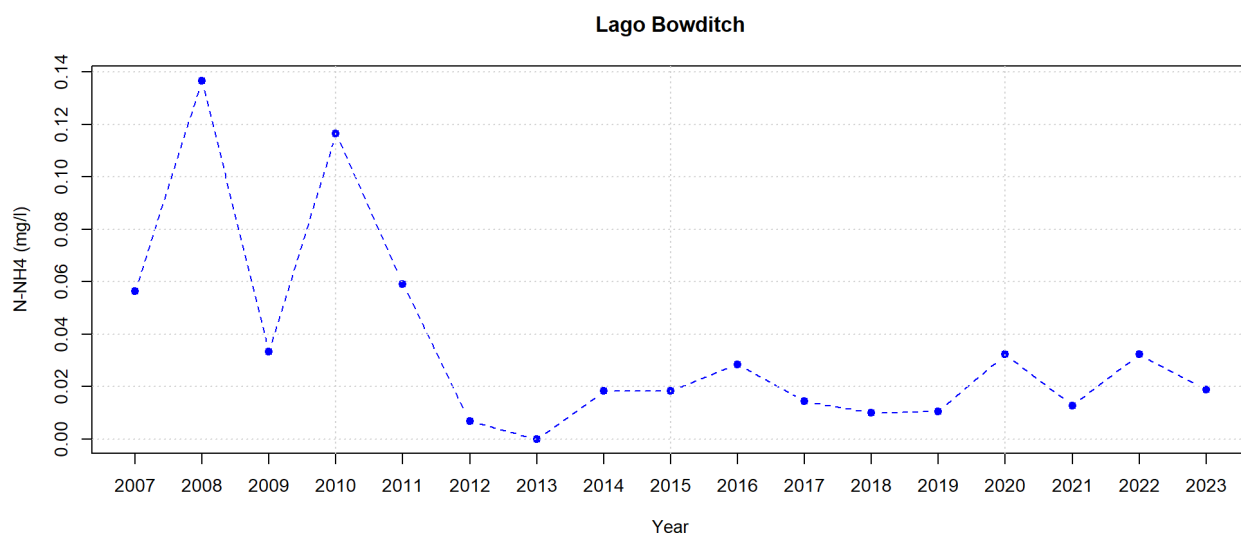


Figura 6: Concentrazione di azoto nitrico ed ammoniacale misurate a fine settembre, dal 2007 al 2023, nei laghi Bowditch e Cimaiegna.

Le analisi del pH e della conducibilità elettrica (EC) condotte dal 2021 al 2023 evidenziano una sensibile differenza tra le annate. In particolare, nel 2023 il pH risulta essere più alto rispetto al 2022; diversamente, per quanto concerne la conducibilità elettrica, i due bacini mostrano un comportamento diverso, con un netto aumento della conducibilità nel lago Cimalegna. Riguardo quest'ultima, aumenti rilevanti della CE possono evidenziare incrementi di soluti nelle acque superficiali (Mihir et al., 2015). Questo andamento potrebbe quindi essere ricondotto anche al trasporto e alla deposizione di particolato dalla Pianura Padana, favorito da episodi di siccità. Inoltre, le alte temperature del 2023, specialmente nel periodo primaverile ed estivo, potrebbero aver favorito un effetto concentrante dei soluti.

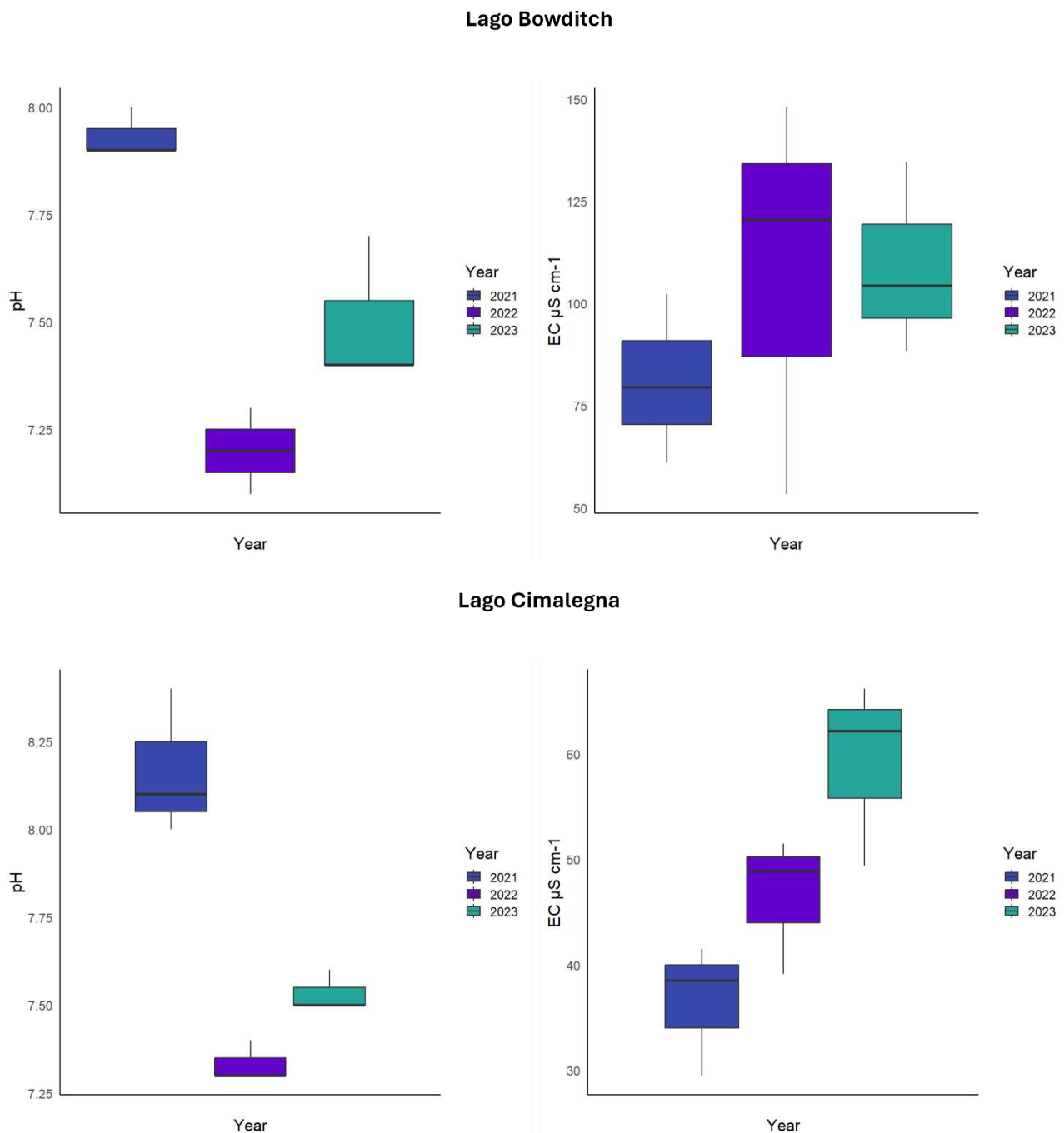


Figura 7: Valori di pH e CE misurati nei laghi Bowditch e Cimalegna negli anni 2021-2023.

6. Andamento di azoto nitrico e azoto ammoniacale nel suolo nei siti storici 1-3 (serie storica 2008-2023)

Ampliando il dataset con i dati registrati nel 2023, relativi all'azoto nitrico e a quello ammoniacale, considerando i dati di settembre dei siti storici 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto), non si riscontrano variazioni di rilievo rispetto agli ultimi anni della serie storica (fig. 8-9). Per quanto concerne l'azoto nitrico, il 2023 sembra riflettere abbastanza il contenuto dell'anno precedente in entrambi i siti, sebbene vi sia un leggerissimo aumento. Diversamente, per quanto riguarda l'azoto ammoniacale, nel 2023 si assiste ad un certo aumento rispetto all'anno precedente nel sito 1 (valletta nivale) e viceversa una leggera diminuzione nel sito 3 (curvuleto). Tali differenze sono nuovamente imputabili alle variazioni di innevamento e di condizioni pedoclimatiche, con una diversa risposta degli ecosistemi. Nello specifico le vallette nivali, particolarmente suscettibili a tali variazioni, potrebbero aver giovato, seppur in minima misura, dell'innevamento più prolungato rispetto all'anno precedente (sebbene comunque inferiore rispetto alle medie). Analizzando la serie storica si conferma quindi quanto le precipitazioni nevose e le condizioni pedoclimatiche giochino un ruolo fondamentale nel contenuto di queste forme di azoto. Tuttavia, le diverse caratteristiche vegetazionali e pedologiche dei due siti evidenziano quanto i due habitat siano profondamente differenti, reagendo in modo molto diverso al variare delle condizioni ambientali. Rimane comunque evidente, quanto condizioni meteorologiche anomale (es. scarse precipitazioni nevose, durata dell'innevamento fortemente ridotta, fusione del manto nevoso anticipata ed alte temperature), determinino una risposta degli ecosistemi piuttosto evidente, con differenze tra i diversi habitat. Tali osservazioni trovano riscontro anche negli studi effettuati da Pintaldi et al., 2022, nei medesimi siti sperimentali, secondo cui variazioni nell'innevamento e delle condizioni pedoclimatiche possono alterare sensibilmente il contenuto delle forme di azoto.

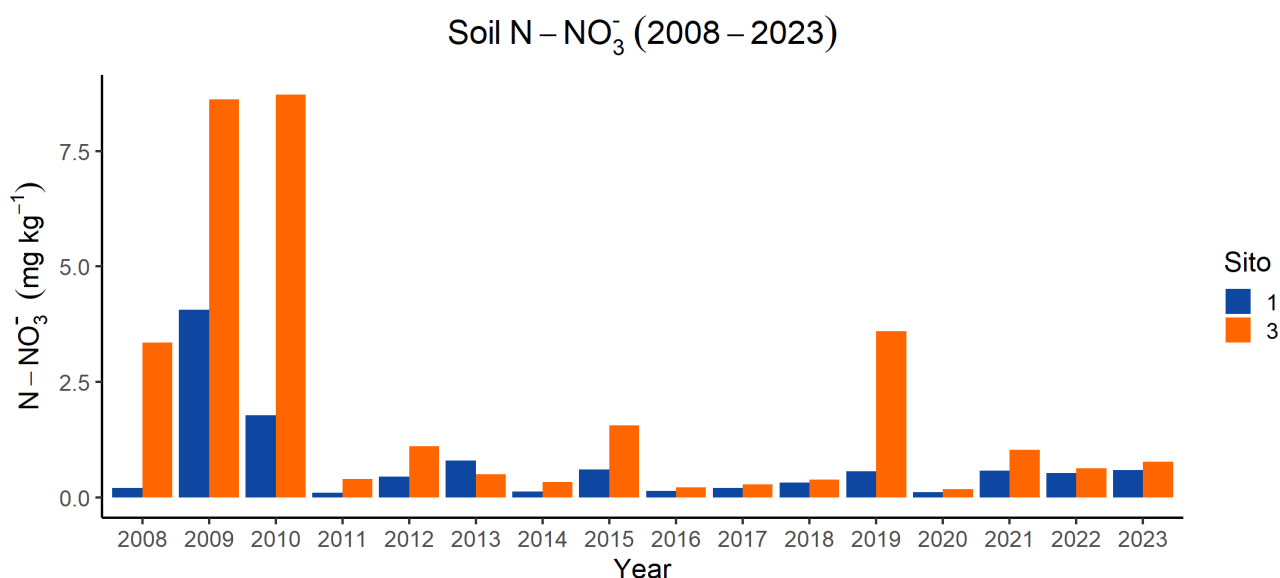


Figura 8: andamento dell'azoto nitrico nei siti storici 1 e 3 dal 2008 al 2023.

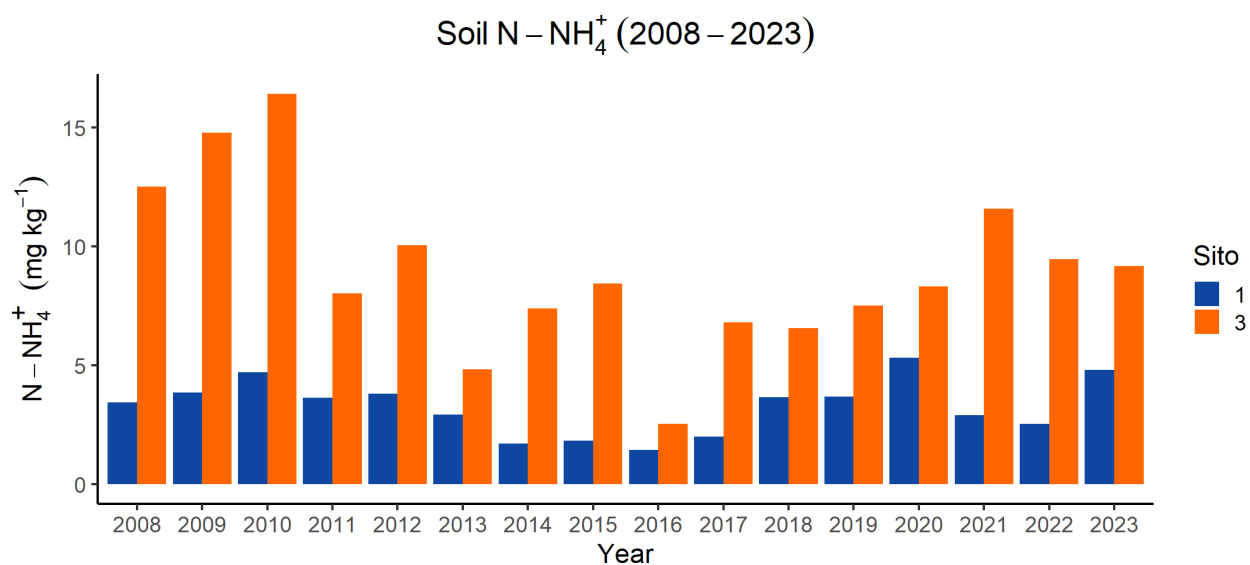


Figura 9: andamento dell'azoto ammoniacale nei siti storici 1 e 3 dal 2008 al 2023.

Il monitoraggio a lungo termine dei siti storici conferma le sensibili differenze tra i siti. Il sito 1 infatti è costituito da una valletta nivale, mentre il sito 3 da un curvuleto. Le differenze dal punto di vista vegetazionale e pedoclimatico, si ripercuotono anche sulle caratteristiche chimiche dei suoli (Pintaldi et al., 2019). Tra gli scopi della nuova convenzione, predisposta per il periodo 2022-2025 vi è quindi anche quello di indagare e monitorare le differenze tra questi due ecosistemi, nonché la loro risposta in funzione del cambiamento climatico. Sulla base quindi del monitoraggio storico, considerando i dati del mese di settembre dal 2008 al 2023, viene confermata una netta differenza nel contenuto di azoto inorganico tra le due cenosi. Nello specifico i curvuleti risultano essere decisamente più ricchi di azoto rispetto alle vallette, soprattutto per quanto concerne l'azoto ammoniacale (fig. 10-11).

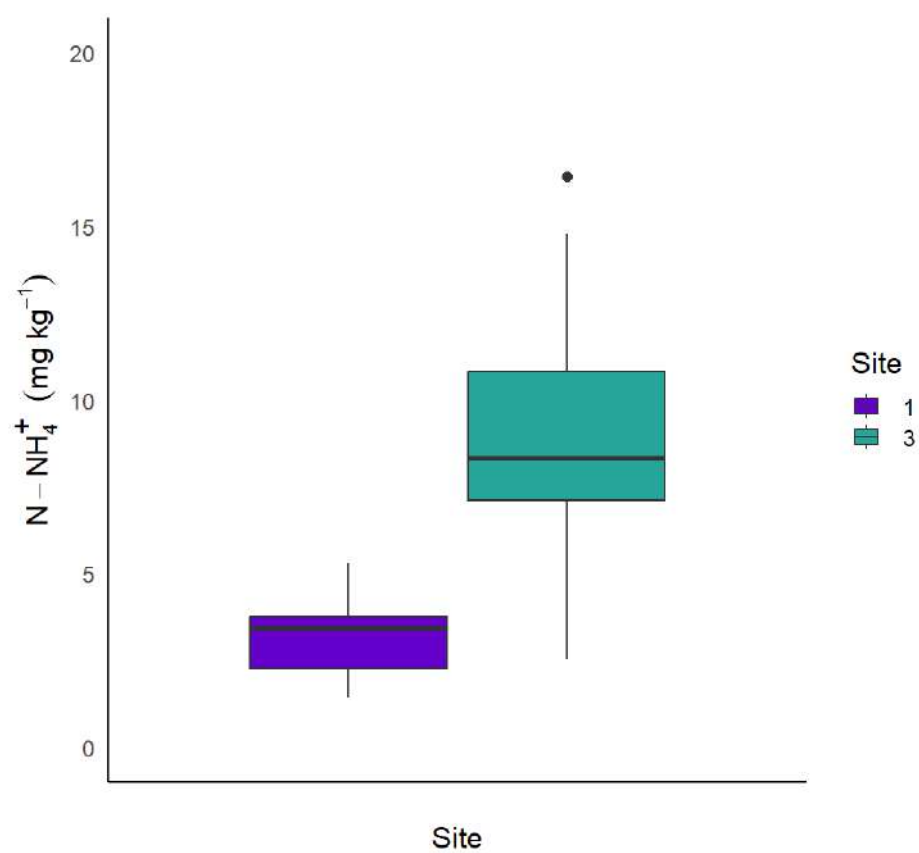
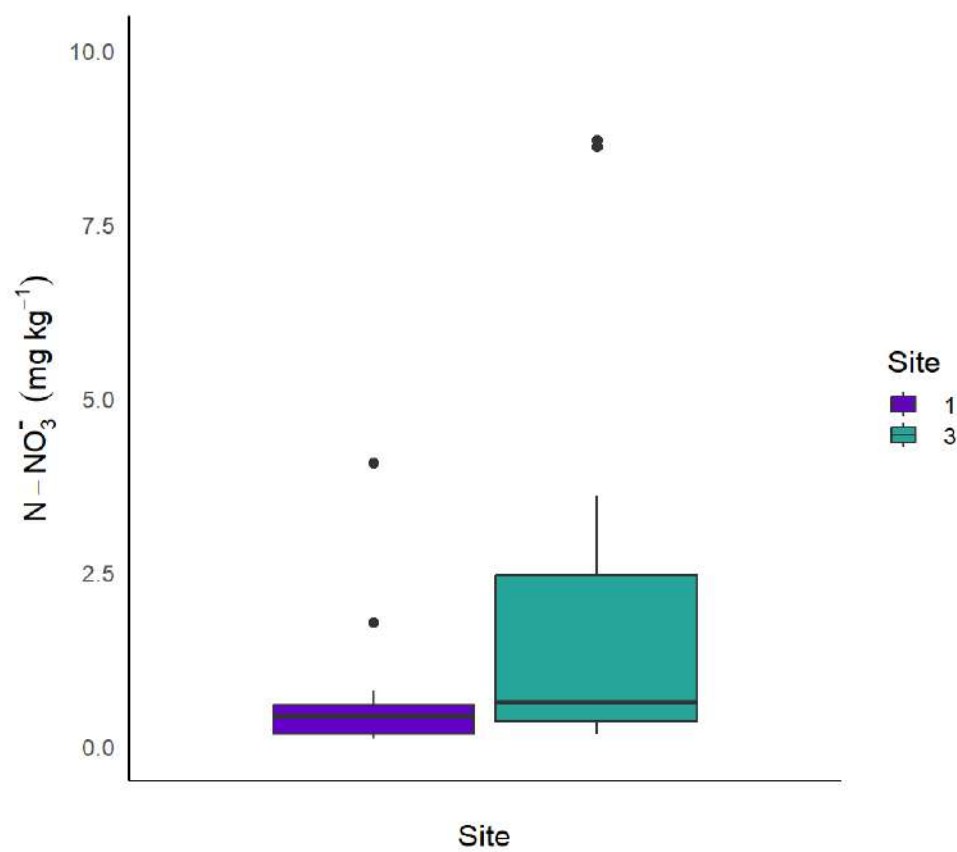


Figure 10-11: contenuto di azoto nitrico e azoto ammoniacale nei siti storici 1 (valletta nivale) e 3 (curvuleto) (dati 2008-2023).

7. Andamento di azoto nitrico e azoto ammoniacale nel suolo dei siti nell'altopiano di Cimalegna (2021-2022)

Prendendo in considerazione gli anni 2021 e 2023, di seguito si riportano i risultati delle analisi sui suoli (ammonio e nitrati) dei nuovi siti del vallone di Cimalegna (3VN, 10VN, 10C), compresi quelli storici (1 e 3). Da un punto di vista ecosistemico, considerando nel complesso il bioma di tundra alpina, è possibile notare un certo aumento nel contenuto di azoto nitrico ed ammoniacale rispetto al 2022. Tale incremento potrebbe essere associato a condizioni di innevamento maggiori, in termini di durata e giorno di fusione, rispetto all'anno precedente.

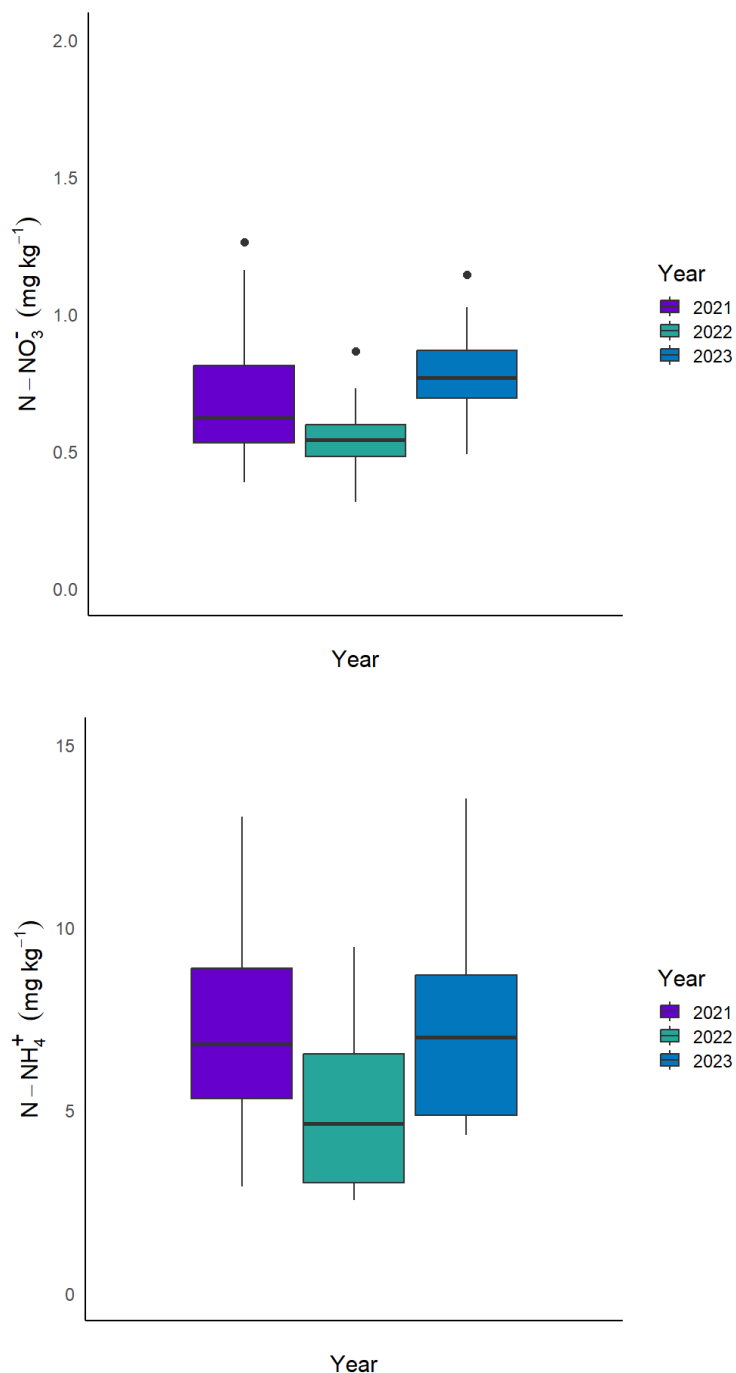


Figura 12: contenuto di azoto nitrico e azoto ammoniacale negli anni 2021-2023 nei suoli dei siti del vallone di Cimalegna (1,2,3,3VN,10VN,10C).

Analizzando invece le differenze tra siti, per gli anni di monitoraggio considerati, risulta evidente come, anche in questo caso, i curvuleti (sito 3 e sito 10C) siano caratterizzati in generale da un maggior contenuto di azoto inorganico (fig. 13), rispetto alle corrispettive vallette nivali (siti 3VN e 10VN). Nel 2023 si può notare un globale aumento delle forme di azoto in entrambe le cenosi, rispetto al 2022. Tuttavia, tale aumento, sembra essere più evidente nelle vallette nivali, soprattutto per quanto concerne l'azoto ammoniacale. Anche in questo caso l'aumento potrebbe essere legato ad una maggiore permanenza del manto nevoso, pertanto, sebbene preliminari, i risultati confermerebbero una maggiore sensibilità delle vallette rispetto ai curvuleti.

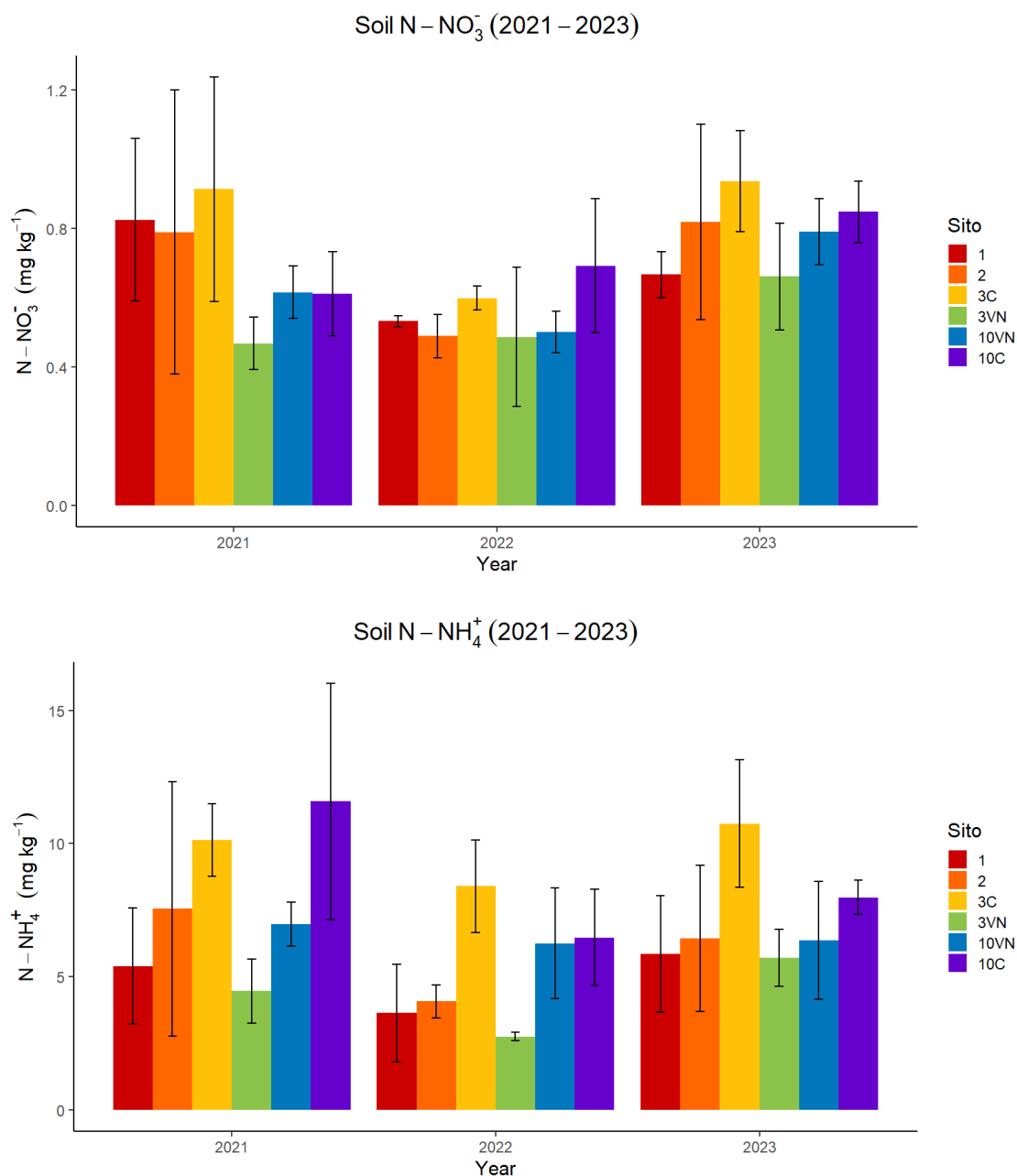


Figura 13: andamento e concentrazioni di azoto nitrico e azoto ammoniacale nei suoli dei siti del vallone di Cimaiegna (1,2,3,3VN,10VN,10C) negli anni 2021-2023.

8. Monitoraggio delle variabili fenologiche e vegetazionali nei siti LTER

Composizione dei popolamenti vegetali

A prosecuzione delle attività di monitoraggio eseguite nel periodo 2015-2020, nel 2021-2023 è stato effettuato il monitoraggio della vegetazione nivale all'interno di sette aree di studio, rilevandone la composizione specifica e redigendo l'elenco completo delle specie presenti. L'area di studio 9 non è stata più monitorata, come già nel periodo precedente, in quanto risulta essere fortemente disturbata dagli impianti di innevamento.

All'interno di sette plot di 4 x 4 m (uno per ogni valletta monitorata), ulteriormente suddivisi in quattro sub-plot di 2 x 2 m, sono stati realizzati i seguenti rilievi lungo transetti permanenti:

- fitopastorali, tramite il *vegetation point intercept method* (Daget e Poissonet, 1971), su linee di 2.5 m coincidenti con le diagonali del sub-plot (intervalli di 5 cm), realizzando quindi 200 punti di misurazione per ogni plot per la quantificazione delle coperture delle specie vegetali presenti;
- fitosociologici (Braun-Blanquet, 1932), integrando l'elenco floristico dei rilievi fitopastorali sull'intera superficie del sub-plot, al fine di individuare le specie occasionali non rilevate col metodo fitopastorale.

Sono presentati qui di seguito i risultati relativi ai nove anni di campionamento, confrontati tramite ANOVA per misure ripetute per dati appaiati, con post-hoc di Tukey nel caso di differenze significative tra anni. Sono stati analizzati la copertura percentuale (Fig. 1) e il numero di specie vegetali (Fig. 2) riferite a quattro gruppi funzionali di specie accorpate per optimum fitosociologico. A tal fine, le specie sono state categorizzate, secondo Aeschimann et al. (2004) in: specie tipiche di ghiaione siliceo, specie tipiche di praterie silicicole oligotrofiche, specie tipiche di pascoli eutrofici e specialiste di valletta nivale.

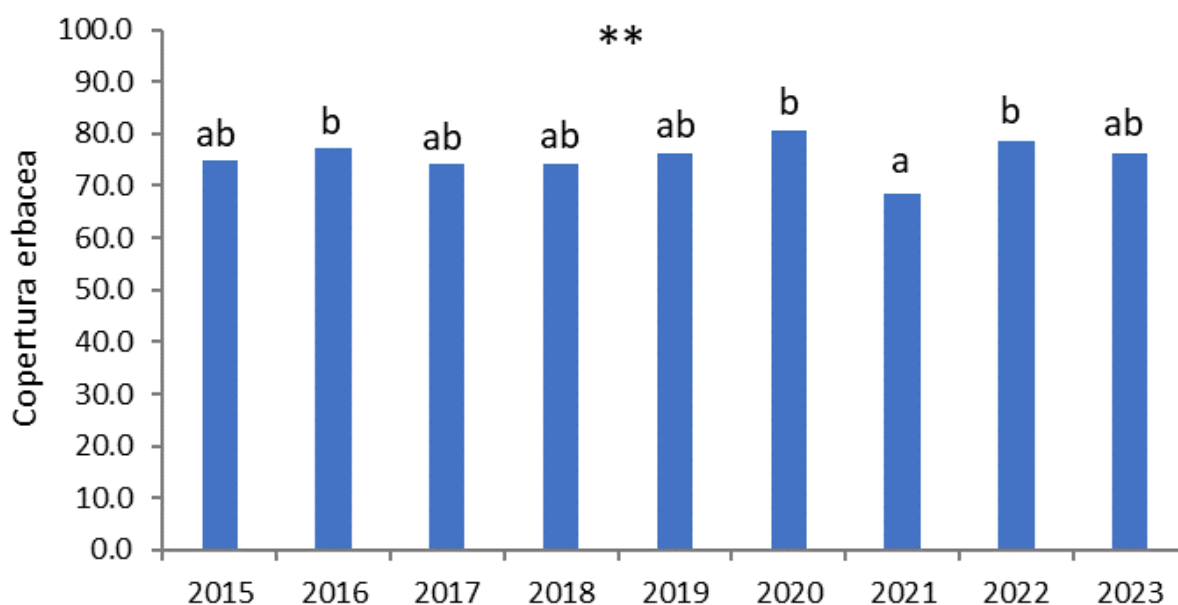


Figura 1: copertura erbacea, espressa in percentuale media dei sette siti monitorati, a confronto tra anni di studio. Lettere diverse indicano differenze significative tra anni (ANOVA per misure ripetute per dati appaiati con posthoc di Tukey).

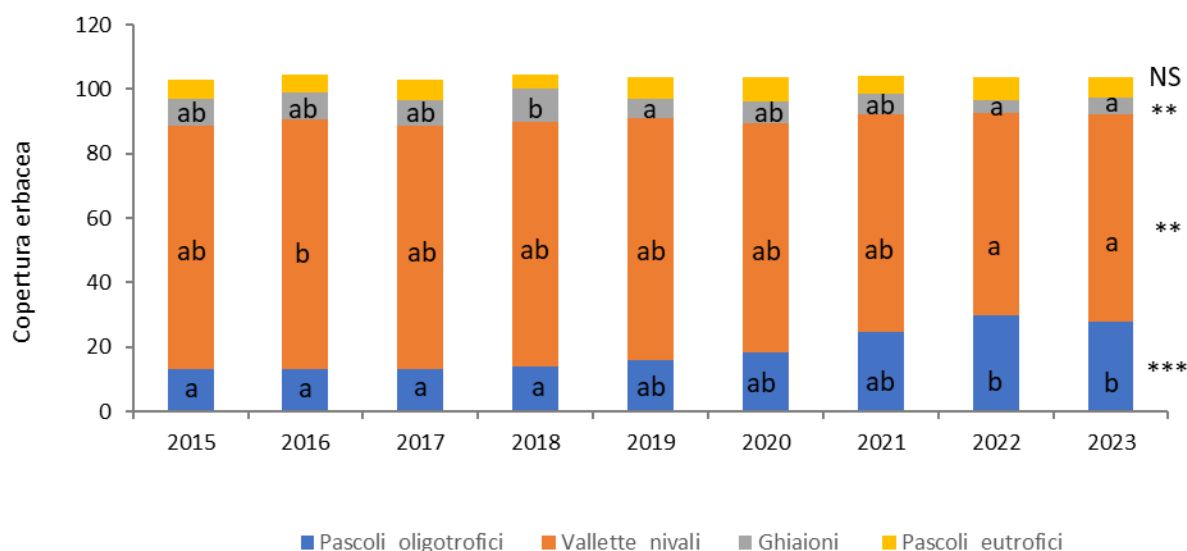


Figura 2: numero di specie rilevate, espresso in percentuale media dei sette siti monitorati, suddiviso per gruppi funzionali a confronto tra anni di studio. Lettere diverse indicano differenze significative tra anni (ANOVA per misure ripetute per dati appaiati con posthoc di Tukey).

I risultati delle elaborazioni indicano che, nel medio periodo, iniziano a delinearsi dei trend successionali nella composizione botanica dei rilievi. Nello specifico, per quanto la copertura vegetale totale non sia variata sensibilmente e linearmente (Fig. 1), il numero di specie dimostra variazioni percettibili nei principali gruppi di specie analizzati (Fig. 2). In generale la copertura erbacea e (nel primo periodo di monitoraggio) il numero di specie presentano differenze significative solo tra alcuni anni di studio, probabilmente dovute a una combinazione casuale di fluttuazioni stagionali legate alla variabilità interannuale, rendendole inconsistenti dal punto di vista ecologico. I dati raccolti nel 2023 permettono di evidenziare un graduale cambiamento nella composizione vegetale dei plot, con una possibile frammentazione dell'habitat di valletta nivale e un aumento delle specie opportuniste di prateria in ingresso. Dopo 9 anni di monitoraggio è possibile osservare alcune deboli, ma non trascurabili, variazioni che evidenziano come la vegetazione di alta quota sia soggetta a lente successioni, essendo le aree di studio caratterizzate da un notevole numero e copertura di specie perenni. Un proseguimento del monitoraggio permetterà di approfondire questi aspetti e valutare se il trend osservato sarà confermato o le variazioni rientreranno nel range delle normali fluttuazioni interannuali delle specie rilevate.

Fenologia delle specie indicatrici

Sono state effettuate 5 date di rilevamento durante la stagione 2023. I siti monitorati nel precedente periodo di studio rappresentano situazioni contrastanti tra loro che caratterizzano la variabilità ecologica delle vallette nivali presenti nell'area; tuttavia, alcuni di essi hanno mostrato un comportamento simile in termini di sviluppo fenologico delle specie presenti e, per mantenere un'ampia variabilità senza privilegiare alcune situazioni rispetto ad altre, si è valutato di escludere i siti 2, 6 e 9 dal monitoraggio della fenologia della vegetazione. Il rilievo fenologico sarà quindi effettuato nei siti 1, 3, 7 e 10.

Nella stagione di campo 2023 sono stati quindi effettuati i rilievi per i 4 siti delle vallette nivali e per i 2 curvuleti già rilevati dal 2021, all'interno dei 16 quadrati fissi di 1x1 m, applicando il nuovo protocollo di campo. Il monitoraggio fenologico è stato effettuato negli stessi plot impiegati per lo studio della composizione della vegetazione, suddivisi secondo una griglia di 1 x 1 m (per un totale di 16 maglie), adattando la scala BBCH (Hack et al, 1992) all'area di studio. In corrispondenza di ciascuna maglia è stato rilevato lo stadio fenologico più avanzato delle specie più abbondanti e trasversali tra i siti e le più interessanti

per la risposta fenologica all'andamento di DOY, GDD, DFSM, secondo la scala BBCH: *Salix herbacea*, *Poa alpina*, *Veronica alpina*, *Gnaphalium supinum*, *Euphrasia minima*, *Alchemilla pentaphyllea* per i rilievi delle vallette nivali; *Carex curvula*, *Salix herbacea*, *Poa alpina*, *Euphrasia minima*, *Festuca halleri*, *Leontodon helveticus* per i rilievi dei curvuleti.

Successivamente, partendo dal database adattato del periodo 2015-2020 (già impiegato per le analisi fenologiche a partire dal 2022), si è proceduto con l'analisi statistica dei dati raccolti negli 8 anni di campionamento (3 anni per i curvuleti). Gli obiettivi delle analisi erano:

- individuare quale fattore tra somma termica, espressa in GDD (Growing Degree Day), il numero di giorni dalla fusione della neve DFSM (Days From SnowMelt) e il fotoperiodo (legato al DOY, Days Of the Year – Giorni Giuliani) influenzi maggiormente il raggiungimento di differenti fenofasi delle specie comuni tra vallette nivali e curvuleti (*Salix herbacea* e *Euphrasia minima*);
- valutare la variabilità delle fenofasi sul medio periodo (arco temporale di otto anni);
- evidenziare eventuali differenze fra le specie comuni di vallette nivali e curvuleti (*Salix herbacea* e *Euphrasia minima*) nel raggiungimento di determinate fenofasi.

Al fine di calcolare le somme termiche con le quali correlare le fasi fenologiche, a inizio stagione sono stati verificati il posizionamento e il funzionamento delle sonde di temperatura presenti su ognuno dei 6 siti. Dove danneggiate dall'innevamento, sono state ripristinate le coperture predisposte l'anno precedente al fine di ombreggiare i sensori e mitigare l'effetto dell'irraggiamento solare diretto. I dati delle sonde utilizzati per calcolare i GDD del 2023 sono stati scaricati in corrispondenza dell'ultima data di rilevamento. La Figura 3 riporta l'andamento delle temperature a livello del suolo nei 6 siti oggetto di studio.

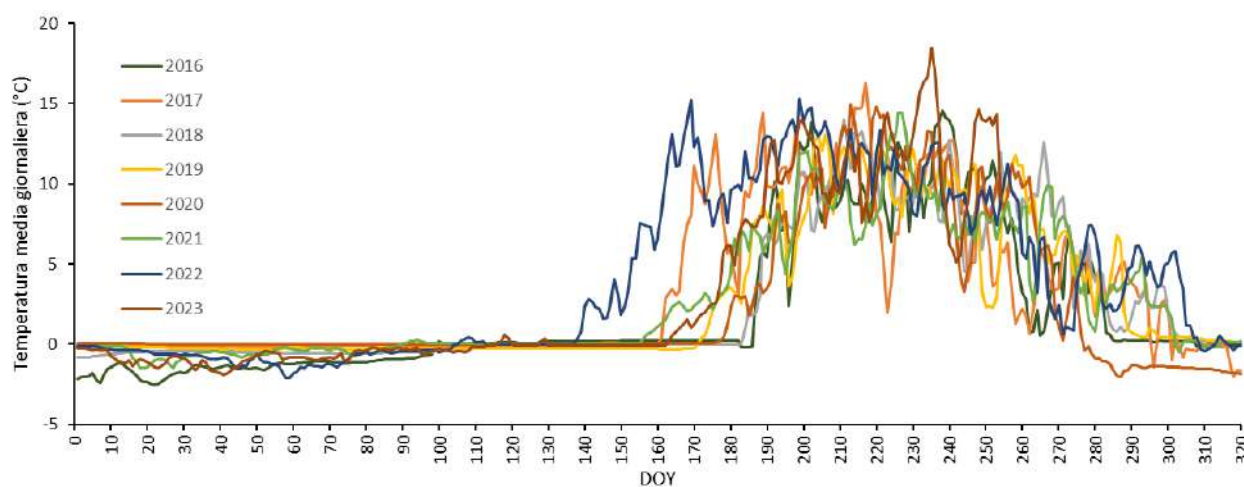


Figura 3: andamento delle temperature medie giornaliere a livello del suolo (media dei 6 siti) durante il periodo 2016-2023.

L'anno 2023 risulta in linea con la serie storica analizzata, con inizio della stagione vegetativa tra la seconda metà di giugno e la prima di luglio; da questa continua a differenziarsi l'anno 2022, anomalo dal punto di vista meteorologico, caratterizzato da forte siccità ed elevate temperature, in cui la stagione vegetativa è iniziata nella seconda metà di maggio.

Le relazioni tra DOY, GDD, DFSM e le fasi fenologiche di *Salix herbacea* e *Euphrasia minima* nel corso degli otto anni di monitoraggio sono state valutate tramite una regressione logaritmica. Da questa semplice operazione è possibile apprezzare in forma grafica la diversa capacità delle tre variabili di predire un determinato comportamento fenologico (Fig. 4).

Come riportato nelle precedenti relazioni, la connessione con i Giorni Giuliani (DOY) è sempre debole e si adatta poco alla relativa diversità degli 8 anni esaminati e al diverso comportamento della stessa specie in

due ambienti diversi. Quando invece si esaminano le regressioni relative alle somme termiche (GDD) e ai giorni dalla fusione del manto nevoso (DFSM) si nota come la curva dell'andamento delle fasi fenologiche, sia per *Salix herbacea* che per *Euphrasia minima*, sia simile negli anni e in ambienti diversi. Si può concludere affermando che le specie sono dipendenti principalmente dalle variabili di temperatura (GDD) e di giorni senza la copertura nevosa (DFSM), rispetto al fotoperiodo (DOY). Di conseguenza, il cambiamento climatico può influenzare queste dinamiche vegetazionali direttamente, attraverso l'aumento delle temperature, e indirettamente, attraverso l'anticipazione della stagione vegetativa.

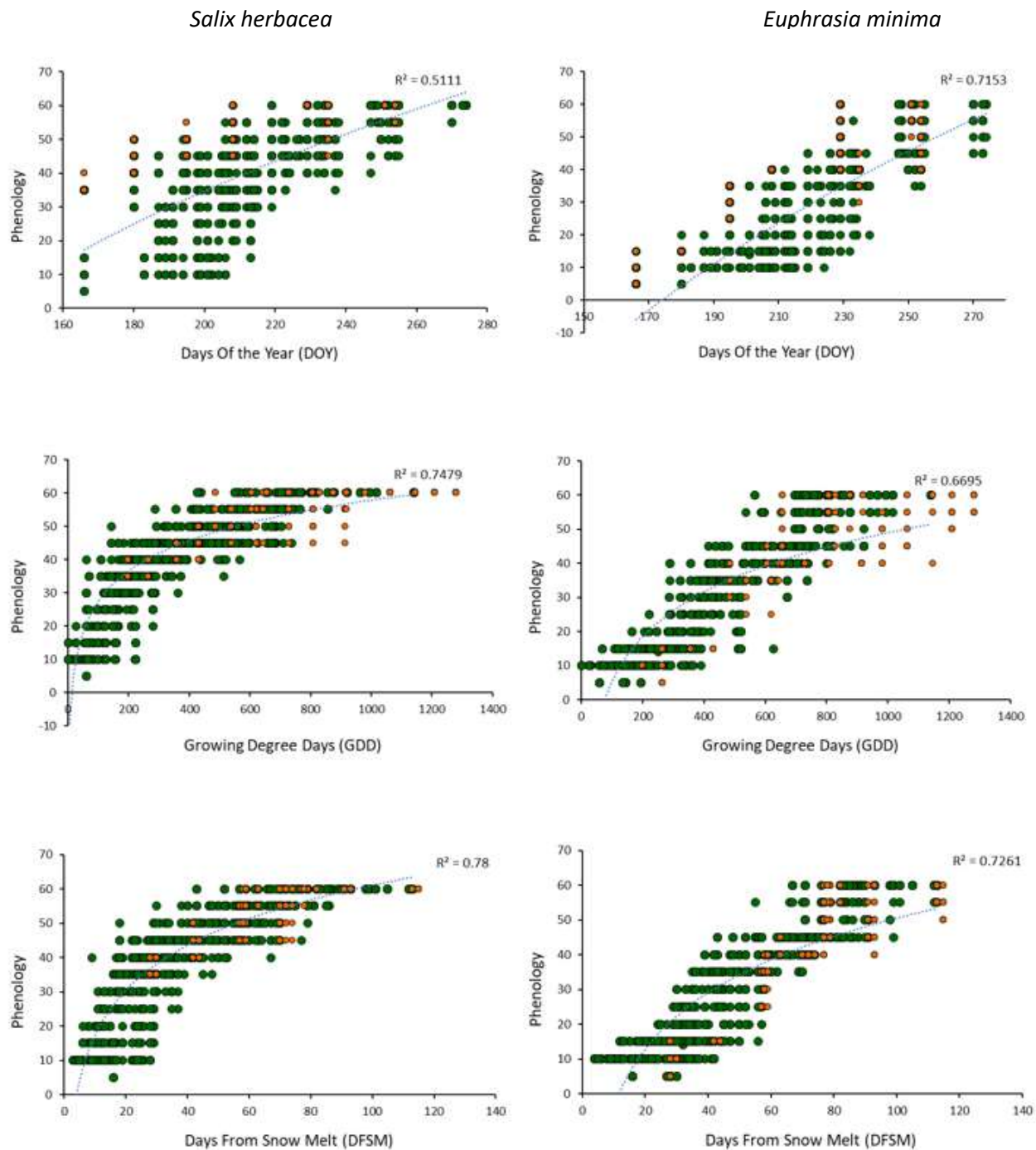


Figura 4: Regressione logaritmica delle fenofasi di *Salix herbacea* ed *Euphrasia minima* per tutti i siti durante gli otto anni di campionamento (2016-2023) in relazione ai giorni giuliani (DOY), somma termica (GDD) e giorni dalla fusione della neve (DFSM). Viene indicato R^2 , coefficiente di determinazione. In verde vengono indicati i dati relativi alle vallette nivali, in arancione quelli relativi ai curvuleti.

9. Bibliografia

- Aeschimann, D., Lauber, K., Martin, M. D., & Theurillat, J. P. (2004). *Flora Alpina*. 3 volumi. Zanichelli, Bologna.
- Braun-Blanquet J., Fuller G. D., Conrad H. S. (1932). *Plant Sociology. The study of plant communities*. McGraw-Hill book company, New York and London.
- Daget P., Poissonet J. (1971). A method of plant analysis of pastures. *Annales agronomiques* 22: 5-41.
- Danby, R. K., and Hik, D. S., 2007: Responses of white spruce (*Picea glauca*) to experimental warming at a subarctic alpine treeline. *Global Change Biology*, 13: 437–451.
- Diémoz H., Barnaba F., Magri T., Pession G., Dionisi D., Pittavino S., Tombolato I.K.F., Campanelli M., Della Ceca L.S., Hervé M., Di Liberto L., Ferrero L., Gobbi G.P., 2019. Transport of Po Valley aerosol pollution to the northwestern Alps - Part 1: phenomenology. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19:3065-3095.
- Dommen, J., Prévôt, A. S., Baertsch-Ritter, N., Maffei, G., Longoni, M. G., Grüebler, F. C., & Thielmann, A. (2003). High-resolution emission inventory of the Lombardy region: Development and comparison with measurements. *Atmospheric Environment*, 37(29), 4149-4161.
- Hack et al., The extended BBCH scale, (1992)
- Hiltbrunner E., Schwikowski M., Körner C., 2005. Inorganic nitrogen storage in alpine snow pack in the Central Alps (Switzerland). *Atmospheric Environment*, 39 (12), 2249– 2259.
- Mihir P., Nihar R.S., Pankaj P. K., Malabika B.R., 2015 Electrical Conductivity of Lake Water as Environmental Monitoring—A Case Study of Rudrasagar Lake. *OSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* 9 (3):66-71.
- Phillips, A. J., and Newlands, N. K., 2011: Spatial and temporal variability of soil freeze-thaw cycling across southern Alberta. *Journal of Agricultural Science*, 2: 392–405.
- Pintaldi, E., Pittarello, M., Viglietti, D., Quaglia, E., D'Amico, M. E., Lombardi, G., ... & Freppaz, M. (2022). Snowbed communities and soil C and N dynamics during a four-year investigation in the NW-Italian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 54(1), 368-385.
- Pintaldi, E., Viglietti, D., D'Amico, M. E., Magnani, A., & Freppaz, M. (2019). Abiotic Parameters and pedogenesis as controlling factors for soil C and N cycling along an elevational gradient in a Subalpine Larch Forest (NW Italy). *Forests*, 10(8), 614.
- Seibert, P., Kromp-Kolb, H., Kasper, A., Kalina, M., Puxbaum, H., Jost, D. T., ... & Baltensperger, U. (1998). Transport of polluted boundary layer air from the Po Valley to high-alpine sites. *Atmospheric Environment*, 32(23), 3953-3965.

Grugliasco, 20 giugno 2024

Prof. Michele Freppaz

Prof. Giampiero Lombardi

Prof. Michele Lonati



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



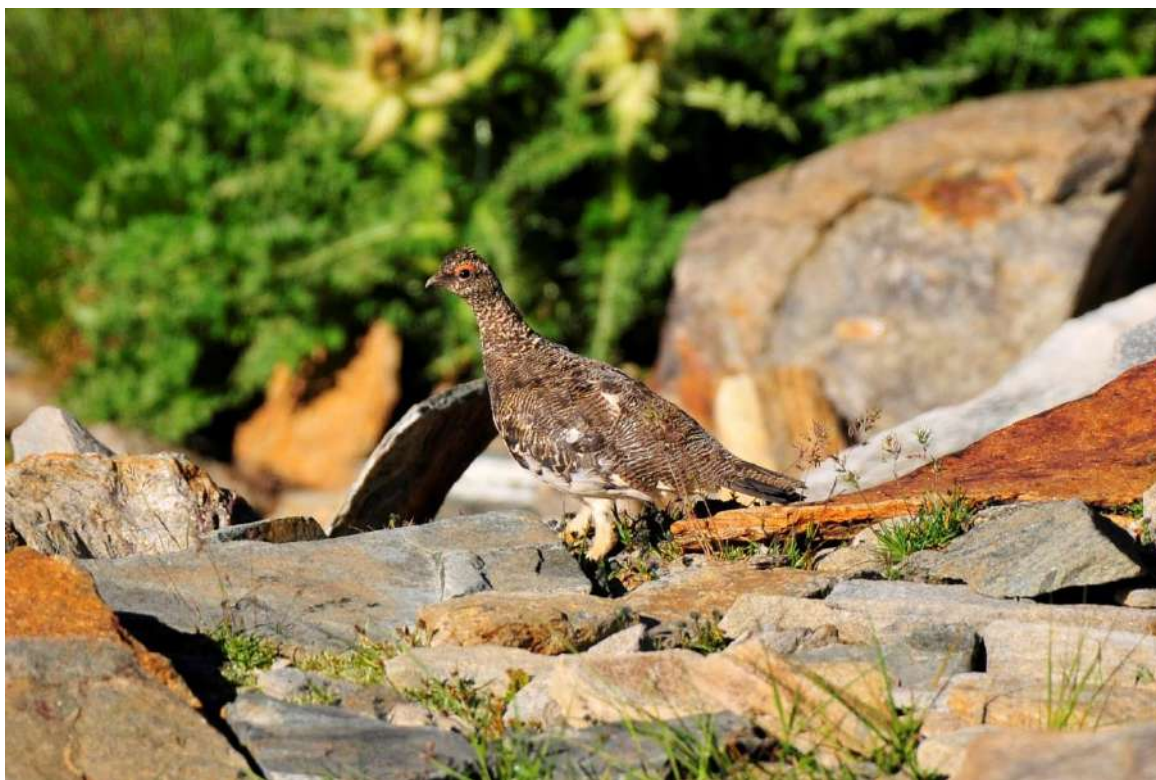
Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

**REGIONE PIEMONTE – ENTE DI GESTIONE DELLE AREE PROTETTE
DELLA VALSESIA**

**MONITORAGGIO 2024 PERNICE BIANCA – ALTOPIANO DI CIMALEGNA
SINTESI ANNI 2017 - 2024**



Ph. Paolo Baradello, Vallone d'Olen, 15/7/2022

Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia
Corso Roma, 35 • 13019 Varallo VC

tel. fax 0163.54680

info@areeprotettevallesesia.it • areeprotettevallesesia@pec-mail.it
www.areeprotettevallesesia.it

P.IVA 01828400026 / C.F. 91006800022



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

Nel corso dei mesi di luglio, agosto e settembre 2024 sono state effettuate le attività di monitoraggio riguardanti la specie Pernice bianca (*Lagopus muta*) sull'Altopiano di Cimalegna, situato nel comune di Alagna Valsesia.

L'area ricade entro i confini della Zona Speciale di Conservazione IT 1120028 Alta Valsesia e della Zona di Protezione Speciale IT 1120027 la cui gestione è affidata all'Ente di gestione delle Aree protette della Valle Sesia.

Sono state effettuate le seguenti giornate di monitoraggio:

18/07/2024

25/07/2024

01/08/2024

08/08/2024

22/08/2024

29/08/2024

12/09/2024

Le condizioni metereologiche hanno consentito il normale svolgimento dei monitoraggi, si consideri però che la giornata del 18 luglio è stata condizionata da copertura nuvolosa e i banchi di nebbia hanno caratterizzato le giornate del 25 luglio e 12 settembre. Hanno preso parte a queste attività il personale dell'Ente Parco e in parte il personale di Monterosa 2000 spa.

In data 29 agosto è stato percorso per intero il transetto n. 5.

OBIETTIVI DEL PIANO DI MONITORAGGIO

Il piano si propone l'obiettivo di monitorare la presenza della specie Pernice bianca (*Lagopus muta*) nell'area interessata dagli impianti di risalita localizzati sull'altopiano di Cimalegna in Comune di Alagna Valsesia; in particolare risulta di interesse tenere sotto osservazione la specie in esame nel corso della stagione estiva con una proiezione sul medio-lungo periodo, allo scopo di elaborare eventuali azioni di conservazione qualora si verifichi un calo della popolazione presente.

I dati raccolti andranno ad integrare le osservazioni rilevate nel corso della stagione primaverile, durante la quale, nella medesima area, vengono già effettuati con regolarità da alcuni anni i censimenti secondo la metodologia indicata dalla D.G.R. 27 aprile 2012, n. 94-3804.

AREA INTERESSATA DAL MONITORAGGIO

L'area interessata all'azione di monitoraggio corrisponde indicativamente con la zona denominata Altopiano di Cimalegna, compresa fra le bastionate rocciose delle pareti di Cimalegna e il confine con la Regione Autonoma Valle d'Aosta, su una superficie di circa 170 ha dove risulta presente, dall'anno 2004, l'impianto funiviario denominato Funifor "Alpe Pianalunga – Cimalegna – Passo dei Salati" e dove a partire dal 2017 è stata realizzata la nuova seggiovia ad ammortamento automatico

a potenziamento della capacità di trasporto sulla tratta “Pianalunga - Cimaiegna – Passo dei Salati”. Come si può osservare nella cartografia sotto riportata (Figura 1) l'area oggetto del presente documento corrisponde grossomodo con l'areale estivo della pernice bianca. La linee rosse rappresentano il tracciato degli impianti di risalita esistenti.

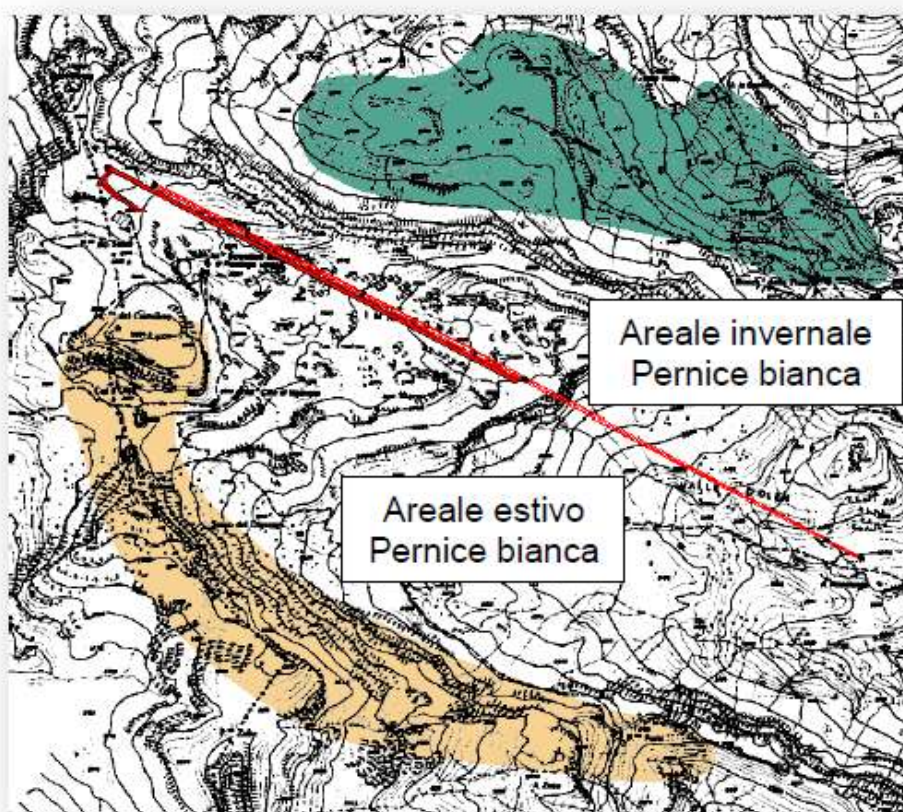


Figura 1- Area interessata dal presente piano di monitoraggio

DESCRIZIONE

L'altipiano di Cimaiegna rappresenta un interesse particolare per la conformazione a debole pendenza a quote elevate (2600-2900 m s.l.m.), che dà origine a un mosaico di vallette nivali, praterie di alta quota, cumuli di detriti cristallini e pareti rocciose. Gli habitat di cui all'allegato 1 della Direttiva Habitat CE 92/43 interessati sono: 6150 Formazioni erbose boreo-alpine silicicole, 8110 Ghiaioni silicei dei piani montani fino a nivali, 8210 Pareti rocciose calcaree con vegetazione casmofitica, 8220 Pareti rocciose silicee con vegetazione casmofitica. La presenza di affioramenti di rocce serpentiche e/o ultrabasiche può inoltre consentire la copresenza su aree circoscritte



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

dell'habitat 8120 Ghiaioni calcarei e scisto-calcarei montani e alpini (*Thlaspietea rotundifolii*).

L'habitat predominante è rappresentato dal codice 8110, in particolare riferibile alle comunità microterme dell'ordine *Androsacetalia alpinae*. L'importanza di questo habitat è data dal fatto che si trova nella Z.S.C. più alta d'Europa, dove sono segnalate le quote altitudinali più elevate raggiunte dalla flora vascolare su tutte le Alpi (*Poa laxa*, *Saxifraga bryoides* a oltre 4200 m s.l.m.).

Nelle aree dove la morfologia ha consentito l'accumulo di particelle fini, l'evoluzione di suoli anche di modesta potenza e il ristagno prolungato a seguito della fusione della neve consentono lo sviluppo di vegetazione delle vallette nivali ascrivibile all'habitat 6150 – Formazioni erbose boreo-alpine silicicole, fortemente influenzata dalla vegetazione delle praterie e dei detriti silicei circostanti. Tale vegetazione corrisponde ad un mosaico caratteristico di raggruppamenti del *Salicion herbaceae* e dell'*Androsacion alpinae*, ricco di specie endemiche (*Campanula excisa*, *Saxifraga seguieri*, *Senecio uniflorus*, *Thlaspi rotundifolium subsp. corymbosum*) e di specie artico-alpine (*Gnaphalium supinum*, *Cerastium cerastoides*, *Ranunculus glacialis*, *Salix herbacea*, *S. retusa*, *S. serpyllifolia*, *S. reticulata*). Particolare interesse riveste pure la presenza di laghi alpini con i laghi Cimalegna e Bodwitch, dalle acque ultraoligotrofiche.

L'avifauna tipica alpina è ben rappresentata con la nidificazione dei tetraonidi Pernice bianca (*Lagopus muta*) e la presenza nell'area di Aquila reale (*Aquila chrysaetos*), Coturnice (*Alectoris graeca*), Culbianco (*Oenanthe oenanthe*), Fringuello alpino (*Montifringilla nivalis*), Passera scopaiola (*Prunella modularis*), Sordone (*Prunella collaris*), Gracchio alpino (*Pyrrhocorax graculus*) e Gracchio corallino (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*).

METODOLOGIA

Nell'area individuata nella tavola 1 corrispondente all'altopiano di Cimalegna, su una superficie di circa 170 ha, sono stati tracciati 4 transetti lineari riportati nell'allegata cartografia (tavola 2) con numerazione da 1 a 4, che gli osservatori percorrono almeno quattro volte durante la stagione estiva annotando su apposite schede la presenza di pernice bianca; le annotazioni evidenziano se si tratti di osservazione diretta, canto, eventuali nidificazioni, escrementi o altre tracce di presenza.

La distanza tra i transetti lineari è di circa 200 m, la lunghezza media è di circa 1500 m.

Durante l'esecuzione del test di prova ad inizio della stagione estiva 2017 sono stati definiti e tracciati con gps i percorsi dei transetti e riportati in cartografia di maggior dettaglio. Le tracce registrate sono state scrupolosamente seguite dagli operatori durante le uscite successive.

Il transetto n. 3, che corrisponde alla linea del nuovo impianto di risalita di recente realizzato ed indicato con la linea azzurra in cartografia, viene monitorato dal personale di Monterosa 2000 anche durante la stagione invernale per rilevare l'eventuale presenza di animali morti.

I transetti sono percorsi dagli operatori quattro volte durante la stagione estiva in base alle condizioni climatiche. Le osservazioni devono avere inizio possibilmente dopo l'alba con luminosità sufficiente da permettere di osservare gli indizi di presenza.

Gli operatori devono percorrere i transetti ad una velocità adeguata per consentire la ricerca di indizi



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

di presenza, con frequenti soste finalizzate alla ricerca visiva degli uccelli con l'ausilio di idonea strumentazione ottica.

Agli operatori sono fornite apposite schede, così come da modello allegato, ed una mappa su cui indicare i punti delle osservazioni, preferibilmente integrate con le coordinate gps del sito.

Almeno una volta a stagione viene effettuato un transetto lungo il vallone di Bors seguendo un percorso che si snoda dalla Bocchetta delle Pisse verso P.ta Indren fino a quota 2.600 m s.l.m. a monte del Lago delle Miniere così come individuato con il numero 5 nell'allegata cartografia (tavola 2). Anche su questo transetto sono adottate le medesime metodologie impiegate lungo i transetti sull'Altopiano di Cimalegna.

DATI RACCOLTI

I dati raccolti durante le operazioni di monitoraggio sono elaborati a cura dell'Ente Parco e consentono di produrre apposite tabelle ove è indicato il numero delle osservazioni effettuate in ogni uscita, distinguendo gli animali osservati per sesso, classi di età ed eventuali altre annotazioni utili per valutare la consistenza della popolazione di Pernice bianca presente in zona.

Le osservazioni, sempre a cura dell'Ente Parco, sono opportunamente cartografate per verificare l'effettiva distribuzione territoriale della specie.

ELABORAZIONE E ANALISI DEI DATI

Le osservazioni sono utilizzate per valutare il trend della popolazione di Pernice bianca nel corso degli anni ed individuare eventuali interferenze con la realizzazione del nuovo impianto a fune.

I dati osservati sono messi in relazione con l'andamento meteorologico del sito in esame, anche per verificare se i cambiamenti climatici in atto interferiscono con l'evoluzione della popolazione presente.

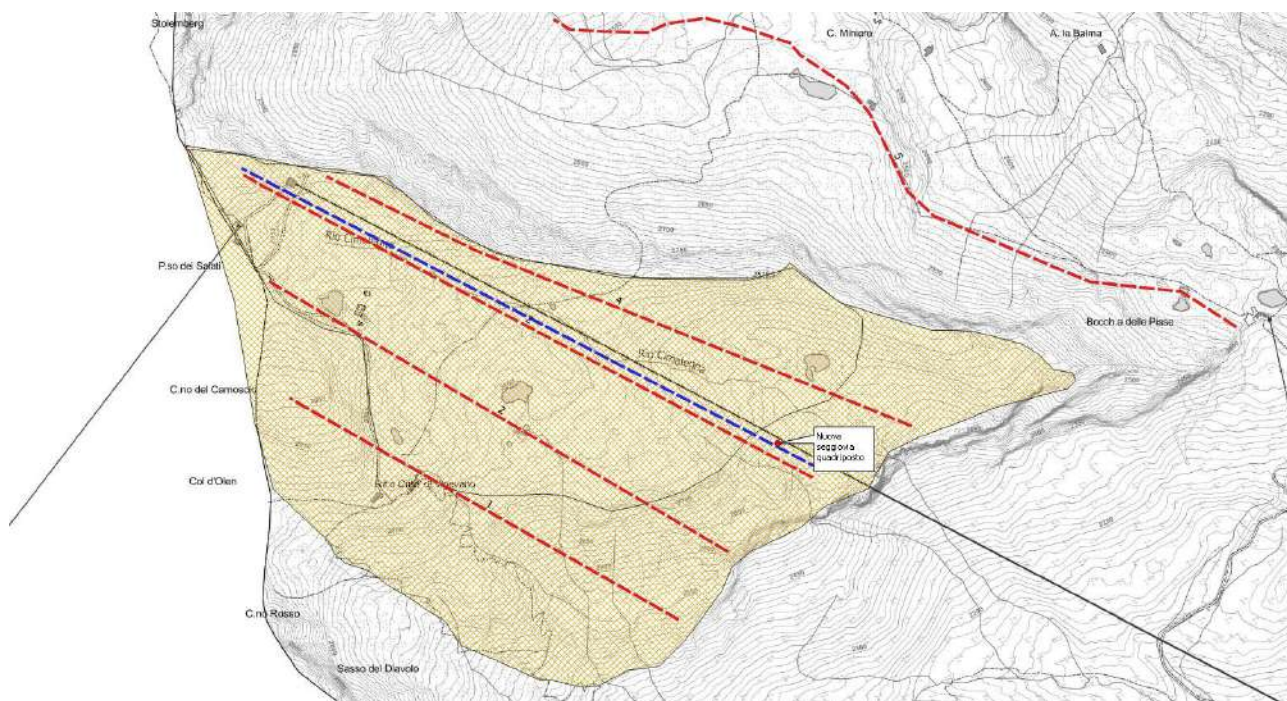


Figura 2 - Transetti (in rosso) numerati dal basso verso l'alto con numerazione crescente da 1 a 5.

ATTIVITA' SVOLTA NELL'ESTATE 2024

Sono state effettuate 7 uscite estive per monitorare la presenza della pernice bianca nell'area campione. In ogni giornata di monitoraggio i transetti sono stati percorsi dagli operatori (guardiaparco e personale tecnico dell'Ente di Gestione delle aree protette della Valle Sesia, personale di Monterosa 2000).

I transetti sono stati percorsi nelle seguenti date:

18/07/2024
25/07/2024
01/08/2024
08/08/2024
22/08/2024
29/08/2024
12/09/2024

Nella tabella 1 vengono riportate le osservazioni relative ad ogni transetto.



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

Data	Transetto	Meteo	Maschi	Femmine	Indeterminati	sentiti	Piume	Escrementi	Altro	Tot. Osservazioni dir	tot. altre osservazioni
18/07/2024	1	nuvoloso									
25/07/2024	1	b. nebbia									
01/08/2024	1	sereno									
08/08/2024	1	sereno									
22/08/2024	1	parz nuv									
29/08/2024	1	sereno				1					1
12/09/2024	1	nuv/neb									
18/07/2024	2	nuvoloso									
25/07/2024	2	b. nebbia									
01/08/2024	2	sereno									
08/08/2024	2	sereno									
22/08/2024	2	parz nuv									
29/08/2024	2	sereno									
12/09/2024	2	nuv/neb									
18/07/2024	3	nuvoloso									
25/07/2024	3	b. nebbia									
01/08/2024	3	sereno									
08/08/2024	3	sereno									
22/08/2024	3	parz nuv									
29/08/2024	3	sereno									
12/09/2024	3	nuv/neb									
18/07/2024	4	nuvoloso									
25/07/2024	4	b. nebbia									
01/08/2024	4	sereno					1				1
08/08/2024	4	sereno									
22/08/2024	4	parz nuv									
29/08/2024	4	sereno									
12/09/2024	4	nuv/neb									
18/07/2024	5	nuvoloso			3 *						3
25/07/2024	5	b. nebbia			1**						1
01/08/2024	5	sereno									
29/08/2024	5	sereno			2***						2
* tre esemplari visti allo Stolemborg indeterminati											
** un esemplare visto allo Stolemborg parete sud, indet.											
*** due esemplari visti ai piedi del ghiacciaio di Bors											

Tabella 1 – Risultati del monitoraggio di pernice bianca svolto nel 2024

Nel corso dell'uscita del 27 luglio è stato ritrovato un esemplare di coturnice morta lungo il transetto



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

3, sotto la linea Funifor poco a monte della stazione intermedia.

Al fine di poter procedere con un confronto dei dati di seguito si riportano le tabelle delle osservazioni effettuate nel periodo 2017-2024.

Data	Transetto	Meteo	Maschi	Femmine	Indeterminati	sentiti	Piume	Escrementi	Altro	Tot. Osservazioni dir	tot. altre osservazioni
19/07/2017	1	Sereno				2				2	0
09/08/2017	1	quasi sereno					2			0	2
25/08/2017	1	sereno								0	0
08/09/2017	1	pioggia / neve					1		tracce		2
19/07/2017	2	Sereno	1	1						2	0
09/08/2017	2	quasi sereno								0	0
25/08/2017	2	sereno								0	0
08/09/2017	2	pioggia / neve								0	0
19/07/2017	3	Sereno								0	0
09/08/2017	3	quasi sereno								0	0
25/08/2017	3	sereno								0	0
08/09/2017	3	pioggia / neve	2						tracce	2	2
19/07/2017	4	Sereno					3	2			5
09/08/2017	4	quasi sereno								0	0
25/08/2017	4	sereno								0	0
08/09/2017	4	pioggia / neve								0	0
19/07/2017	5	Sereno								0	0
09/08/2017	5	quasi sereno								0	0
25/08/2017	5	sereno								0	0
08/09/2017	5	pioggia / neve				1	3			1	3

Tabella 2 - Riepilogo transetti anno 2017



Data	Transetto	Meteo	Maschi	Femmine	Indeterminati	sentiti	Piume	Escrementi	Altro	Tot. Osservazioni dir	tot. altre osservazioni
03/08/2018	1	Sereno									
17/08/2018	1	Sereno									
30/08/2018	1	sereno				1				2	1
											2
03/08/2018	2	Sereno									
17/08/2018	2	sereno									
30/08/2018	2	sereno									
03/08/2018	3	Sereno									
17/08/2018	3	sereno									
30/08/2018	3	sereno									
03/08/2018	4	Sereno									
17/08/2018	4	sereno				2				2	2
30/08/2018	4	sereno									
30/08/2018	5									2	2

Tabella 3 - Riepilogo transetti anno 2018

Data	Transetto	Meteo	Maschi	Femmine	Indeterminati	sentiti	Piume	Escrementi	Altro	Tot. Osservazioni dir	tot. altre osservazioni
26/07/2019	1	Sereno				1				1	
12/08/2019	1	temporale								NN	NN
23/08/2019	1	coperto					2				2
05/09/2019	1	sereno									
26/07/2019	2	Sereno								NN	NN
12/08/2019	2	temporale								NN	NN
23/08/2019	2	coperto								NN	NN
05/09/2019	2	sereno								NN	NN
26/07/2019	3	Sereno								NN	NN
12/08/2019	3	temporale								NN	NN
23/08/2019	3	coperto								NN	NN
05/09/2019	3	sereno								NN	NN
26/07/2019	4	Sereno						2			2
12/08/2019	4	temporale								NN	NN
23/08/2019	4	coperto				1					1
05/09/2019	4	sereno				1					1
05/09/2019	5	sereno				1					1

Tabella 4 - Riepilogo transetti anno 2019



Data	Transetto	Meteo	Maschi	Femmine	Indeterminati	sentiti	Piume	Escrementi	Altro	Tot. Osservazioni dir	tot. altre osservazioni
17/07/2020	1	sereno				1					1
31/07/2020	1	sereno				2					2
14/08/2020	1	sereno								//	//
31/08/2020	1	sereno			1	1				1	1
17/07/2020	2	sereno								//	//
31/07/2020	2	sereno				2				//	2
14/08/2020	2	sereno								//	//
31/08/2020	2	sereno				1				//	1
17/07/2020	3	sereno								//	//
31/07/2020	3	sereno								//	//
14/08/2020	3	sereno								//	//
31/08/2020	3	sereno								//	//
17/07/2020	4	sereno			1	1				1	1
31/07/2020	4	sereno			1	1				1	1
14/08/2020	4	sereno								//	//
31/08/2020	4	sereno				2					2
17/07/2020	5	sereno	2		1					3	
31/07/2020	5	sereno			4					4	
31/08/2020	5	sereno			2	1				2	1

Tabella 5 - Riepilogo transetti anno 2020

Data	Transetto	Meteo	Maschi	Femmine	Indeterminati	sentiti	Piume	Escrementi	Altro	Tot. Osservazioni dir	tot. altre osservazioni
30/07/2021	1	sereno								//	//
06/08/2021	1	sereno								//	//
20/08/2021	1	sereno								//	//
27/08/2021	1	sereno								//	//
30/07/2021	2	sereno	1	1						2	
06/08/2021	2	sereno	1							1	
20/08/2021	2	sereno			2					2	
27/08/2021	2	sereno								//	//
30/07/2021	3	sereno								//	//
06/08/2021	3	sereno								//	//
20/08/2021	3	sereno								//	//
27/08/2021	3	sereno								//	//
30/07/2021	4	sereno			2					2	
06/08/2021	4	sereno				1					1
20/08/2021	4	sereno				1					1
27/08/2021	4	sereno				1				//	//
30/07/2021	5	sereno			1						1
06/08/2021	5	sereno			1						1
20/08/2021	5	sereno			1						1

Tabella 6 - Riepilogo transetti anno 2021



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

Data	Transetto	Meteo	Maschi	Femmine	Indeterminati	sentiti	Plume	Escrementi	Altro	Tot. Osservazioni dir	tot. altre osservazioni
15/07/2022	1	sereno	1	1		5	1			8	1 visto
22/07/2022	1	sereno								0	0
02/09/2022	1	nebbia				1				1	1 visto
15/07/2022	2	sereno								0	0
22/07/2022	2	sereno				1				1	
02/09/2022	2	nebbia				1				1	1 visto
15/07/2022	3	sereno								0	0
22/07/2022	3	sereno								0	0
02/09/2022	3	nebbia								0	0
15/07/2022	4	sereno								0	0
22/07/2022	4	sereno	1	1						2	
02/09/2022	4	nebbia					1			1	
15/07/2022	5	sereno								0	0
22/07/2022	5	sereno								0	0
02/09/2022	5	nebbia								0	0

Tabella 7 Riepilogo dei dati anno 2022

Data	Transetto	Meteo	Maschi	Femmine	Indeterminati	sentiti	Plume	Escrementi	Altro	Tot. Osservazioni dir	tot. altre osservazioni
21/07/2023	1	COPERTO/VENTO				2				2	2
04/08/2023	1	SERENO				2			2 2 COTURNE	2	4
25/08/2023	1	SERENO									
01/09/2023	1	VENTO							1 LEPRE VARIABILE		
21/07/2023	2	COPERTO/VENTO									
04/08/2023	2	SERENO				2					2
25/08/2023	2	SERENO				2					2
01/09/2023	2	VENTO									
21/07/2023	3	COPERTO/VENTO									
04/08/2023	3	SERENO									
25/08/2023	3	SERENO									
01/09/2023	3	VENTO									
21/07/2023	4	COPERTO/VENTO									
04/08/2023	4	SERENO					2				2
25/08/2023	4	SERENO					2				2
01/09/2023	4	VENTO									
21/07/2023	5	COPERTO/VENTO									
04/08/2023	5	SERENO					2				2
25/08/2023	5	SERENO									
01/09/2023	5	VENTO									

L'uscita del 04 agosto è stata effettuata con l'ausilio di cani addestrati

Tabella 8 Riepilogo dei dati anno 2023



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

ANALISI DEI RISULTATI

Osservando la tabella n. 1 si conferma anche per il 2024 la presenza di pernice bianca durante la stagione estiva nell'area di studio.

Sono state effettuate 7 uscite durante il periodo estivo concentrate nei mesi di luglio e agosto e settembre, con l'ultima data il 12/09.

Nel corso delle uscite sono stati osservati animali o direttamente o attraverso rinvenimento di segni di presenza quali tracce, piume, escrementi e suoni.

Tenendo conto che i monitoraggi si sono concentrati prevalentemente durante i mesi di luglio e agosto e considerate le condizioni climatiche in larga parte caratterizzate da tempo soleggiato, eccezione fatta per i giorni del 18 luglio (nuvoloso) e del 25 luglio e 12 settembre (banchi di nebbia) e temperature relativamente alte rispetto alla quota, da un confronto con i dati raccolti nelle precedenti stagioni, si conferma la presenza della specie ma in misura minore rispetto agli ultimi due anni.

Quello che ha permesso di mantenere il numero complessivo su una soglia ancora discreta, sono stati gli esemplari rilevati al di sopra delle linee dei transetti e in particolare nei pressi della parete sud dello Stolemberg. Nei prossimi anni si potrà anche valutare se questa diminuzione è da mettere in relazione ai cambiamenti climatici che stanno modificando progressivamente l'ambiente di alta quota. Cambiamenti che sembrano confermati dalla presenza di coturnici a quote un tempo insolite, si veda l'esemplare ritrovato morto sul transetto 3 in data 25 luglio e quanto segnalato il 4 agosto 2023.

Si segnala anche il fatto che gli animali sono stati osservati lungo i transetti 1 – 4 – 5,

Lungo il transetto n. 3 che segue la linea dell'impianto "Funifor", come del resto durante le precedenti annualità non sono stati osservati animali. Si può ipotizzare l'interferenza negativa dovuta alla presenza dell'impianto di risalita che può costituire una forma di disturbo per la presenza della specie anche a causa delle emissioni sonore che possono costituire una forma di inquinamento acustico.

Lungo il transetto 1 e 4, si è riscontrata la presenza della specie ma di un solo capo in entrambi i casi.

Il monitoraggio svolto nel 2024 ha confermato quanto già evidenziato nelle precedenti annualità, ossia la presenza di animali a quote elevate (3.200 m s.l.m.). Queste evidenze possono suggerire che le elevate temperature rilevate durante il periodo estivo, dovute anche al cambiamento climatico in atto, possano in qualche modo determinare lo spostamento altitudinale della specie.

Per una valutazione oggettiva, va anche considerato il fatto che le operazioni di monitoraggio si sono svolte nel periodo di maggiore fruizione turistica dell'area in esame ed è quindi ipotizzabile, quale fattore di disturbo, anche la pressione antropica.



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

Un altro aspetto da prendere in esame è la costruzione dell'impianto di innevamento artificiale, che potrebbe rivelarsi come un possibile elemento di disturbo nei confronti della pernice bianca durante il periodo invernale, soprattutto andranno valutate le emissioni acustiche come peraltro indicato nella determinazione dell'Ente di gestione delle Aree protette della Valle Sesia n. 271/2019 che indica che:

“Il proponente dovrà provvedere a monitorare i rumori emessi dall'impianto, anche sommati a quelli prodotti dai mezzi battipista, ed inviare i dati all'Ente di Gestione delle Aree Protette della Valle Sesia e ad ARPA Piemonte che potranno assumere, qualora emergano delle criticità provvedimenti volti alla salvaguardia della fauna presente ed in particolare della Pernice bianca (Lagopus muta)”

In conclusione, analizzando i dati ricavati in questi 7 anni è possibile notare che la popolazione di pernice bianca nell'area di indagine è presente ma anche da tenere costantemente monitorata sia in funzione dei disturbi antropici sia riguardo ai cambiamenti climatici. Come appare dal grafico di seguito riportato, si può notare un trend positivo con massimi di 12 animali osservati nel 2020, 14 nel 2022 e 16 nel 2023 ma che nel corso dell'anno corrente parrebbe avere cambiato segno, nei prossimi anni avremo la conferma o meno di questa nuova tendenza.

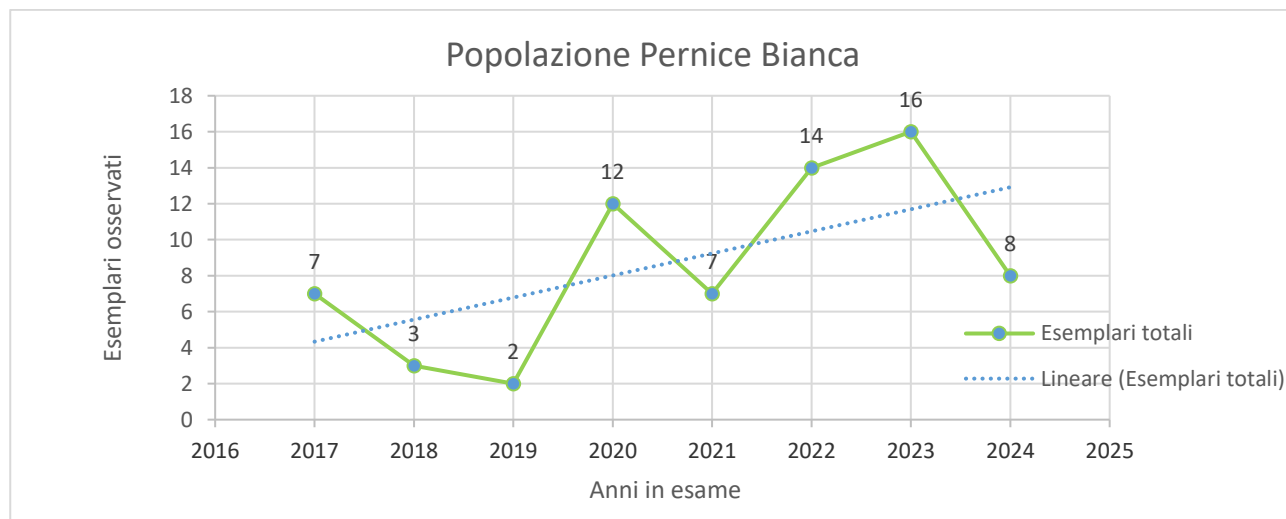


Figura 2 – Andamento del numero di pernici bianche osservate nell'area di studio nel periodo 2017-2023.



Ente di gestione delle aree protette della Valle Sesia



Parco naturale
Alta Valsesia e dell'Alta Val Strona



Parco naturale
Monte Fenera

Anno	Esemplari totali	Osservazioni indirette
2017	7	14
2018	3	6
2019	2	6
2020	12	12
2021	7	5
2022	14	3
2023	16	8
2024	8	1

Tabella 7 - Numero di pernici bianche osservate nell'area di studio nel periodo 2017-2024.