

CLIMA E BIODIVERSITÀ

ESPERIENZE DI MONITORAGGIO IN AMBIENTE ALPINO





CLIMA E BIODIVERSITÀ

ESPERIENZE DI MONITORAGGIO IN AMBIENTE ALPINO

FEBBRAIO 2012

CLIMA E BIODIVERSITÀ. Esperienze di monitoraggio in ambiente alpino

COORDINAMENTO REDAZIONALE

Enrico Rivella - Ambiente e Natura, Arpa Piemonte

Cristina Converso, Pina Nappi-Area Tecnica, Arpa Piemonte

Con la collaborazione di

Clara Bertino

Elisa Bianchi, Roberta Meotto - Comunicazione istituzionale, Arpa Piemonte

AUTORI

IL CLIMA

Nicola Loggisci, Enrico Rivella, Luca Tomassone - Arpa Piemonte

Gabriele Garnerò, Danilo Godone - DEIAFA, Topografia, Università degli Studi di Torino

MONITORAGGIO DEGLI ECOSISTEMI ALPINI

Antonella Bari, Andrea Bertola, MariaElena Nicoletta, Alessandra Parodi, Lucia Pompilio, Enrico Rivella - Arpa Piemonte

Angelo Caimi, Gianluca Filippa, Michele Freppaz - DiVaPRA - Chimica Agraria e Pedologia - LNSA, NatRisk, Università degli Studi di Torino

Giorgio Buffa, Consolata Siniscalco - Dipartimento di Biologia Vegetale, Università degli Studi di Torino

Enrico Caprio - Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, Università degli Studi di Torino

Marco Bandini - Centro Studi Migrazioni Fondotoce, Ente Parchi e Riserve naturali del Lago Maggiore

INDICATORI

Enrico Rivella - Arpa Piemonte

MODELLIZZAZIONE ECOLOGICA DEL VALLONE DEL VANNINO

Fabio Attorre, Fabio Francesconi - Dipartimento di Biologia Ambientale, Università degli studi di Roma La Sapienza

Angelo Caimi - DiVaPRA - Chimica Agraria e Pedologia - LNSA, NatRisk, Università degli Studi di Torino

Daniilo Godone - DEIAFA - Topografia, Università degli Studi di Torino

Massimiliano Ferrarato, Enrico Rivella, Davide Vietti - Arpa Piemonte

Valentina Lamorgia - Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, Università degli Studi di Torino

Giacomo Certini - DiPISA - Università degli Studi di Firenze

Michele Freppaz - DiVaPRA - Chimica Agraria e Pedologia - LNSA, NatRisk, Università degli Studi di Torino

Tommaso Chiti - Laboratorio di Ecologia Forestale, Università degli Studi della Tuscia

COLLABORAZIONI

Antonio Rolando - Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, Università degli Studi di Torino

Chiara Cappelletti, Luisella Celi - DiVaPRA - Chimica Agraria e Pedologia - LNSA, NatRisk, Università degli Studi di Torino

FOTOGRAFIE

Archivio Arpa Piemonte, Archivio Università degli Studi di Torino

Ideazione, progetto grafico e stampa: Tipografia Bolongaro snc - Baveno (VB) - www.bologaro.it

Finito di stampare nel mese di febbraio 2012

ISBN 978-88-7479-104-0

© 2012, Arpa Piemonte

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino - Italia

www.arpa.piemonte.it

Publicazione realizzata nell'ambito del Programma Interreg di cooperazione transfrontaliera Italia-Svizzera 2007-2013. Progetto Biodiversità: una ricchezza da conservare

Responsabile progetto: Paola Balocco, Arpa Piemonte

Si ringrazia il CNR-ISE di Pallanza (Michela Rogora) per la fornitura dei dati delle deposizioni atmosferiche in provincia di Verbania

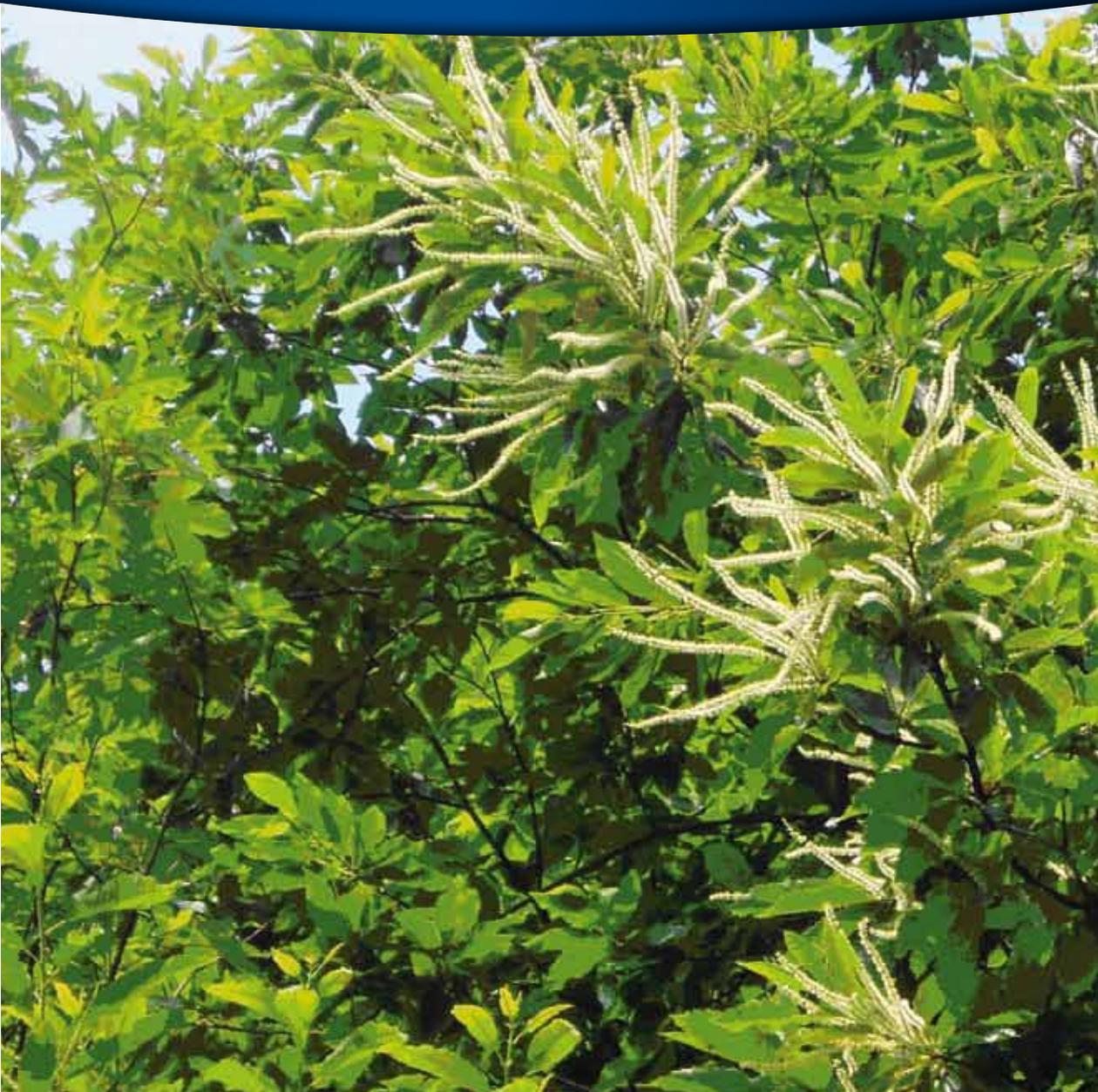
INDICE

CLIMA E BIODIVERSITÀ

Esperienze di monitoraggio in ambiente alpino

1	INTRODUZIONE.....	5
1.1	Cambiamento climatico e biodiversità nelle Alpi.....	6
2	II CLIMA.....	9
2.1	Le caratteristiche climatiche della Valle d'Ossola.....	10
2.2	Lo studio del clima del Verbano negli ultimi venti anni.....	11
2.3	Approfondimento sull'area di studio del vallone del Vannino.....	12
2.4	Durata della copertura nevosa.....	14
3	MONITORAGGIO DEGLI ECOSISTEMI ALPINI.....	17
3.1	La migrazione altitudinale delle specie termosensibili.....	18
3.2	Studio della vegetazione lungo il transetto altitudinale.....	19
3.2.1	Il transetto di Bognanco.....	21
3.2.2	Il transetto di Vannino.....	21
3.3	Rilievo delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo lungo il transetto altitudinale.....	24
3.4	Studio della fauna edafica.....	26
3.5	Le torbiere alpine.....	28
3.6	Vegetazione e pedofauna nei suoli periglaciali e deglacializzati.....	31
3.7	La fenologia erbacea.....	34
3.8	Pollini e variabili climatiche.....	37
3.9	Influenza dei cambiamenti climatici sulla fenologia di uccelli migratori.....	43
3.10	Proposta di parametri da utilizzare per monitoraggi di lungo termine.....	46
4	INDICATORI.....	47
4.1	Specie Termosensibili.....	48
4.2	Torbiere.....	49
4.3	Suoli Periglaciali.....	51
4.4	Fenologia Erbacea.....	52
4.5	Pollini e Variabili Climatiche.....	52
4.6	Fenologia Avifauna Migratoria.....	53
5	MODELLIZZAZIONE ECOLOGICA DEL VALLONE DEL VANNINO.....	55
5.1	Modello di distribuzione delle specie vegetali.....	56
5.2	Modello ecologico faunistico. Idoneità Ambientale.....	58
5.3	Il modello Century di valutazione della variazione del contenuto di carbonio organico nel suolo.....	60
	BIBLIOGRAFIA.....	63

INTRODUZIONE



1 INTRODUZIONE

1.1 Cambiamento climatico e biodiversità nelle Alpi

La relazione 2007 dei gruppi di lavoro dell'IPCC, il gruppo di esperti creato dai governi di tutto il mondo per studiare il cambiamento climatico, ha confermato che anche le Alpi hanno vissuto un eccezionale incremento di temperatura tra la fine del 19° secolo e l'inizio del 21° valutato attorno ai 2°C, il doppio della media del riscaldamento dell'emisfero settentrionale. I cambiamenti registrati nelle precipitazioni sono risultati più moderati in termini di totale annuale, ma mostrano cambiamenti significativi tra le stagioni, con calo in estate, incremento in primavera e decremento delle precipitazioni nevose a favore di quelle liquide in inverno e conseguente minor numero di giorni con copertura nevosa.

Questi cambiamenti hanno prodotto fenomeni importanti a livello dell'ambiente fisico già parzialmente osservabili: riduzione della permanenza del manto nevoso a bassa quota, arretramento dei ghiacciai, degradazione dello strato di ghiaccio permanente nel suolo, maggiore frequenza di eventi estremi come siccità e inondazioni, innesco di frane. Le conseguenze possibili riguardano direttamente il futuro dell'economia delle comunità umane insediate nell'ambiente alpino, già di per sé fragili e in gran parte dipendenti dal turismo invernale. Un chiaro indizio è la necessità di predisporre impianti di innevamento programmato per le piste sciistiche a quote sempre più elevate, ma vi sono altri effetti ben più gravi che potrebbero ripercuotersi sull'approvvigionamento idrico dei 170 milioni di Europei che vivono nei bacini dei fiumi che nascono dalle Alpi.

Anche la biodiversità potrà essere interessata. Le condizioni meteorologiche sono un fattore determinante della struttura degli ecosistemi e della distribuzione geografica di specie vegetali e animali. Quando i parametri meteorologici superano i limiti di tolleranza fisiologica propri di ogni singola specie, queste possono essere forzate a rispondere in vario modo, modificando la temporizzazione dei propri cicli vitali, spostandosi alla ricerca di territori più idonei, cambiando morfologia, comportamento o funzioni fisiologiche che incidono sulla produttività degli ecosistemi.

Nonostante le Alpi siano la catena montuosa più sfruttata del mondo, il loro paesaggio naturale custodisce un vasto patrimonio di specie animali e vegetali riconosciuto a livello internazionale. Alla base di questa grande diversità di organismi viventi c'è la grande varietà di habitat e di processi naturali che ne regolano la dinamica, tra cui quelli climatici riscontrabili in alta montagna, dove variazioni anche minime di altitudine, pendenza ed esposizione possono amplificare la gamma dei microclimi.

L'ambiente alpino è contraddistinto da un'estrema variabilità delle condizioni climatiche, in genere molto rigide: estate alpina molto breve, con elevata incidenza di radiazioni solari, for-

tissimi e improvvisi sbalzi di temperatura che comportano anche differenze di decine di gradi tra le parti esposte al sole e quelle in ombra, venti ad effetto evaporante e inaridente che causano erosione dei suoli e scalzamento delle piante, copertura nevosa che, pur abbreviando il periodo vegetativo, difende sotto la sua coltre le piante dagli effetti del gelo.

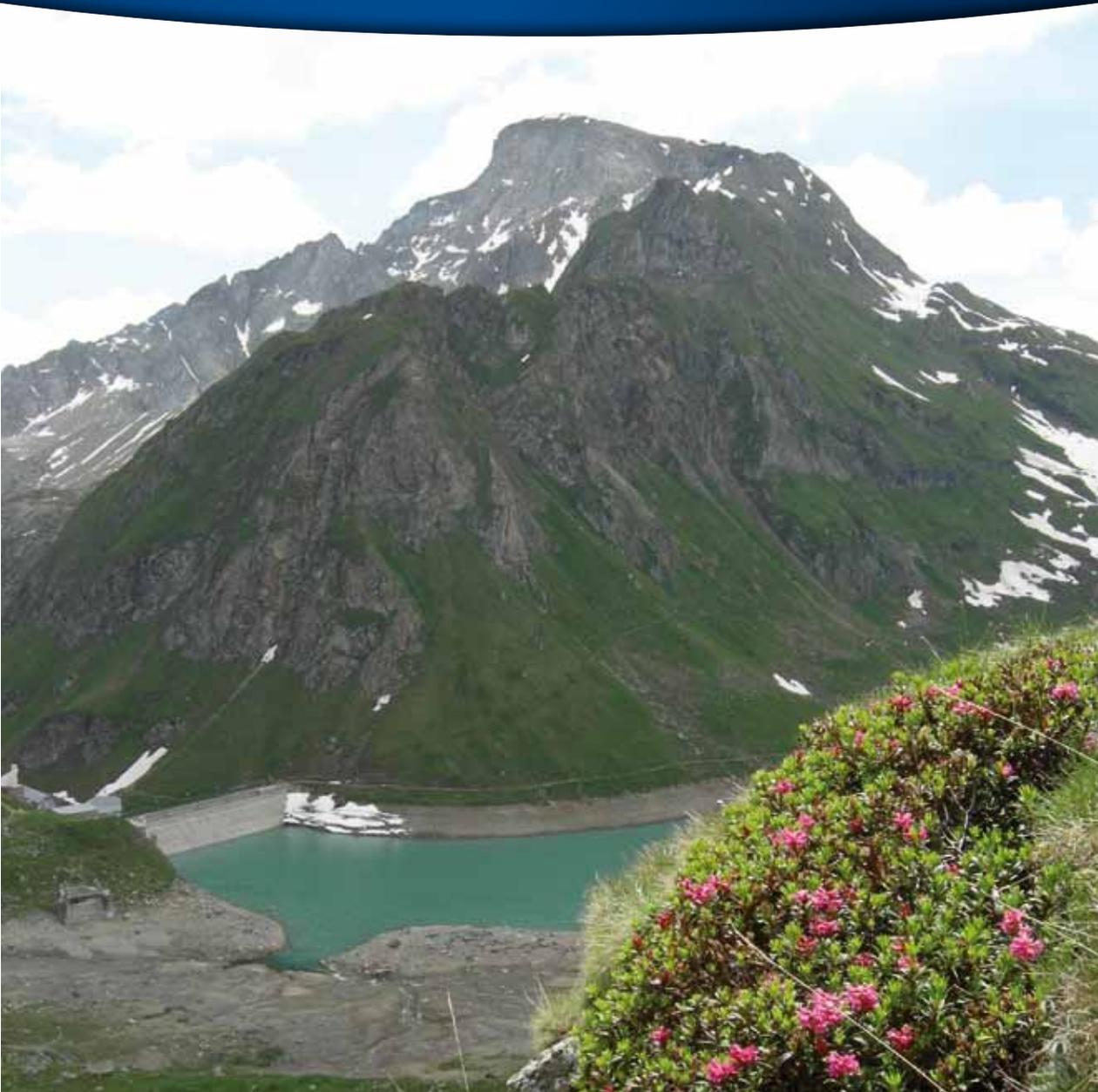
Tali condizioni impongono limiti ben precisi allo sviluppo degli organismi viventi che hanno dovuto sviluppare tecniche e strategie particolari per sopravvivere in un ambiente tanto ostile. Per questo motivo Arpa Piemonte - nell'ambito del progetto interreg Italia-Svizzera, *Biodiversità: una ricchezza da conservare*, promosso dalla provincia di Verbania, in collaborazione con il Parco regionale del Lago Maggiore e del Parco nazionale della Val Grande - ha messo a punto una prima serie di attività per analizzare, controllare le tendenze e modellizzare l'evoluzione di alcuni aspetti dell'ecosistema alpino delle Alpi Pennine orientali e Lepontine in risposta alla variabilità climatica e nel contempo dare un contributo allo sviluppo delle conoscenze scientifiche sulla biodiversità.

Lo studio è stato concentrato in val d'Ossola, una valle molto interessante dal punto di vista climatico per i forti contrasti e ricca di elementi di interesse conservazionistico.

Con la collaborazione dei Dipartimenti di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali (DiVaPRA) e di Biologia animale e vegetale dell'Università degli Studi di Torino si sono approfonditi alcuni campi di attività di particolare interesse per il monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico sulla biodiversità quali: lo studio a vari livelli di quota delle caratteristiche del suolo, della vegetazione e della microfauna; lo studio dell'*habitat* delle torbiere alte attive e di alcune specie vegetali e animali a esse associate; lo studio dei suoli periglaciali o di recente deglacializzati; la fenologia, ovvero lo studio delle fasi biologiche di specie erbacee montane e dell'avifauna di passo attraverso la catena alpina; l'interpretazione in senso fenologico dei dati pollinici raccolti presso le stazioni aerobiologiche poste ai piedi dei versanti sud e nord delle Alpi.

Sono stati inoltre applicati sperimentalmente dei modelli di previsione di distribuzione della vegetazione, delle aree d'idoneità per la pernice bianca e della distribuzione del carbonio nel suolo negli scenari climatici futuri. Si tratta di strumenti che possono essere utili per la definizione delle misure di adattamento che dovranno essere studiate per la gestione delle problematiche che il cambiamento climatico porrà agli ecosistemi alpini.

CLIMA



grande quantità di pioggia o neve sui versanti.

Il territorio della provincia del Verbano Cusio Ossola, insieme a quello del Friuli, è l'area più piovosa della catena alpina. I dati degli ultimi 60 anni registrano una media annua di 1.680 mm di pioggia, con picchi sui versanti prospicienti i Laghi Maggiore e d'Orta, mentre la media italiana relativa è pari a 980 mm.

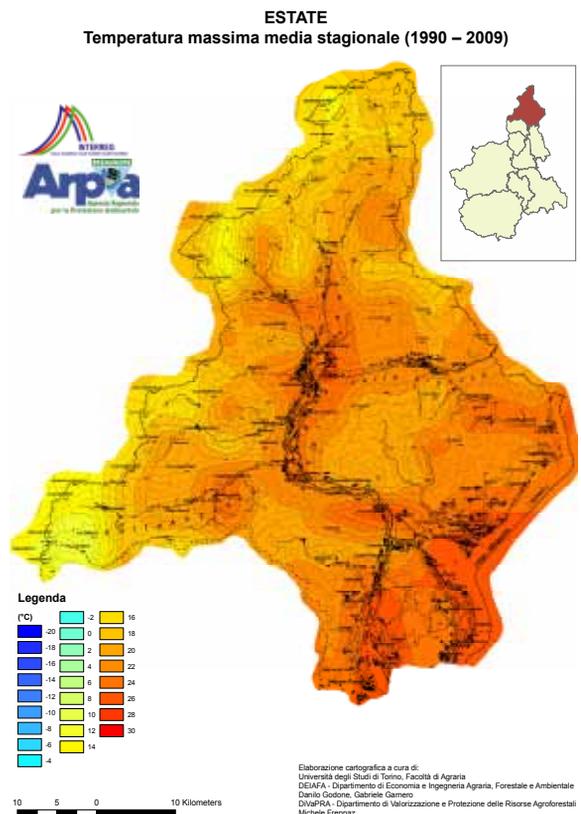
Queste copiose precipitazioni, assieme alla presenza di grandi estensioni di boschi, aiutano a mantenere una buona umidità anche nei mesi estivi, contrariamente agli altri settori delle Alpi occidentali.

2.2 Lo studio del clima del Verbano negli ultimi venti anni

I dati climatologici della provincia del VCO sono stati elaborati allo scopo di produrre un atlante climatico che illustri, in altrettante tavole, la rappresentazione di dati termici e pluviometrici medi mensili, annuali e stagionali. A tal scopo si è proceduto in primo luogo all'analisi delle informazioni meteorologiche disponibili sul territorio provinciale. Tale analisi ha messo in luce l'esistenza di un numero variabile di punti di osservazione dei dati meteorologici di temperatura e precipitazione. Variabilità sia nel tempo, si va da sette stazioni presenti sul territorio provinciale nel 1990 a 35 stazioni del 2009, che nello spazio (non necessariamente la localizzazione delle stazioni presenti in un anno è stata mantenuta negli anni successivi).

Successivamente sono state sviluppate raffinate tecniche numerico-statistiche che permettessero l'omogeneizzazione delle informazioni provenienti dai punti di monitoraggio sopra citati, omogeneizzazione necessaria al fine di ottenere informazioni generali sul clima della provincia del VCO. In questo modo si è potuto elaborare l'atlante del clima della pro-

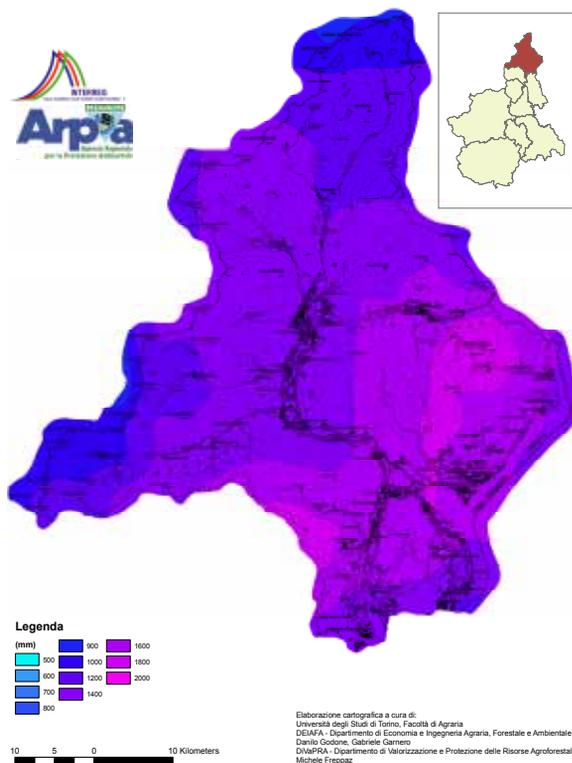
Figura 2 - Carta della temperatura estiva massima stagionale - 1990-2009



Fonte: Arpa Piemonte

Figura 3 - Carta della precipitazione cumulate media annuale - anni 1990-2009

Precipitazione cumulata media annuale (1990 – 2009)



Fonte: Arpa Piemonte

vincia del Verbano-Cusio-Ossola (Figure 2 e 3). Si riporta ad esempio la carta della temperatura estiva massima stagionale e la carta della precipitazione cumulata media annuale del decennio 1991-2000.

2.3 Approfondimento sull'area di studio del vallone del Vannino

Foto 1 - Area di studio: Vallone del Vannino



Allo scopo di rilevare le condizioni climatiche durante il periodo vegetativo, sono state condotte - per due anni consecutivi e limitatamente ai periodi compresi tra i mesi di giugno e ottobre - due campagne di misure presso la diga Enel del Lago del Vannino, nel comune di Formazza (VB), mediante l'installazione di una stazione meteorologica portatile, che rileva i principali parametri meteo e altre misure più specifiche per lo

Foto 2 - Stazione meteo portatile MAWS e particolari



la stazione MAWS montata su treppiede accanto alle stazioni meteorologiche Enel della diga del Vannino.

Foto 2



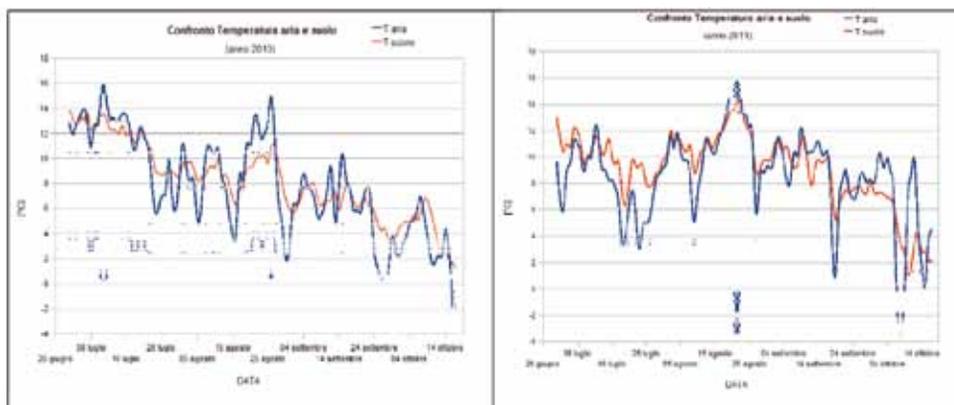
i sensori di temperatura, radiazione solare, vento, precipitazione, a destra l'area in cui erano interrati i due sensori di temperatura e umidità del suolo.

scopo prefissato.

La strumentazione presenta sensori standard (Foto 2) che misurano i seguenti parametri: direzione e velocità del vento, pressione atmosferica, temperatura dell'aria, umidità relativa e quantità di precipitazioni. Nella stazione del Vannino erano presenti sensori aggiuntivi per misurare le caratteristiche del suolo, temperatura e umidità con sensori interrati a circa 20 cm di profondità, e la radiazione solare globale.

Nella figura 4 sono riportati alcuni esempi del monitoraggio effettuato nelle due stagioni 2010 e 2011, dai quali si possono facilmente notare le anomalie avvenute all'inizio dell'estate e dell'autunno 2011.

Figura 4 - Andamento della temperatura dell'aria e del suolo nel periodo tra fine giugno e inizio ottobre del 2010 (sinistra) e 2011 (destra)



Si noti la stretta correlazione tra temperatura dell'aria e temperatura del suolo.
Fonte: Arpa Piemonte

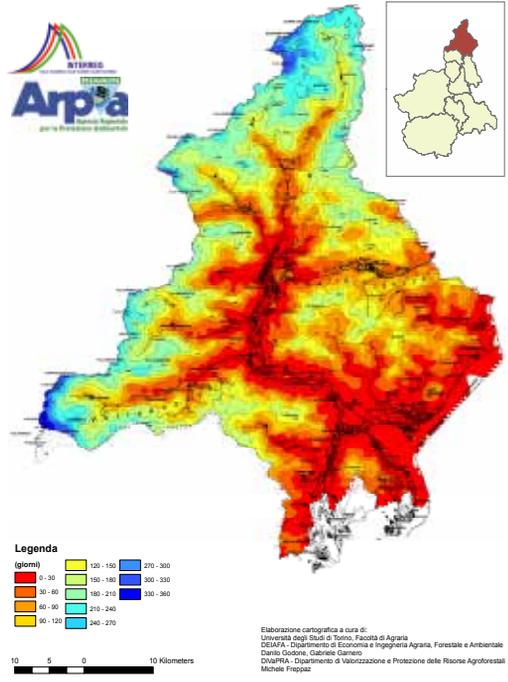
2.4 Durata della copertura nevosa

La neve è un fattore ecologico fondamentale negli ambienti montani, in grado di condizionare in maniera significativa la qualità del suolo, dei corpi idrici e la distribuzione delle specie animali e vegetali. Tale influenza deriva dalle sue specifiche proprietà, prima di tutto l'elevato potere isolante, per cui un manto nevoso di sufficiente spessore (30-60 cm), accumulatosi presto nella stagione invernale, è in grado di mantenere la temperatura del suolo prossima agli 0°C, indipendentemente dalla temperatura dell'aria. La mancanza di neve può determinare il congelamento del suolo e una maggiore frequenza dei cicli gelo/disgelo, con potenziali effetti sulla qualità del suolo, della vegetazione e dei corpi idrici. Lo slogan "Suoli più freddi in un mondo più caldo" (*Colder soils in a warmer world*), coniato dai ricercatori che da tempo si occupano di questi fenomeni, ben sintetizza questi aspetti, sottolineando il possibile contrasto fra l'incremento delle temperature dell'aria ed il raffreddamento dei suoli in seguito alla mancanza della copertura nevosa.

Nell'ambito del progetto si è applicato il telerilevamento satellitare per la stima delle caratteristiche dell'innevamento per l'intera provincia del Verbano Cusio Ossola. Il telerilevamento satellitare consente di sfruttare le caratteristiche della neve per misurarne la distribuzione sulla superficie terrestre in quanto, l'elevata albedo determina un elevato contrasto rispet-

to alle altre superfici (ad eccezione delle nuvole). MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) è il sensore attualmente utilizzato per la misurazione della copertura nevosa. MODIS, è montato su due satelliti (Terra e Acqua) nell'ambito dell'EOS (*Earth Observing System*), ed è caratterizzato da 36 bande spettrali comprese nell'intervallo 0,4 μm - 14,4 μm . Le osservazioni del sensore MODIS generano mappe settimanali di copertura nevosa, con risoluzione 500 metri. Nell'ambito del progetto sono state impiegate 483 scene provenienti dal sensore descritto per analizzare la copertura nevosa nell'area di studio*. Considerata la mole di informazioni a disposizione si è proceduto alla definizione di una procedura automatizzata che consentisse di

Figura 5 - Carta della durata della copertura nevosa (2000 - 2010)



Fonte: DiVaPRA

ottimizzare le fasi di analisi. Dalle informazioni ottenute è stato quindi possibile elaborare una serie di rappresentazioni cartografiche della permanenza della neve al suolo, significativa per il territorio della provincia del Verbano Cusio Ossola, nel periodo dal 2000 al 2010 (Figura 4). I dati ottenuti da tali elaborazioni sono stati validati mediante il confronto con i dati registrati dai nivometri automatici presenti nel territorio della provincia, permettendo di affermare in generale la buona attendibilità del rilevamento satellitare.

Complessivamente, è evidente come la permanenza della neve al suolo sia fortemente condizionata dalla quota, con valori inferiori ai 30 giorni nelle aree di pianura fino a più di 300 giorni nelle aree a quota maggiore.

* Immagini MODIS ed elaborazioni realizzate con il Supporto del Dipartimento Sistemi Previsionali di Arpa Piemonte (Secondo Barbero, Alessio Salandin).

MONITORAGGIO DEGLI ECOSISTEMI ALPINI



3.1 La migrazione altitudinale delle specie termosensibili

Le specie termosensibili sono specie legate a condizioni termiche più calde (termofile) o che meno tollerano temperature elevate e forti oscillazioni (microterme).

Possono quindi segnalare precocemente con la loro presenza o assenza un innalzamento della temperatura.

Sia la vegetazione che la fauna possono fornire informazioni importanti a questo riguardo.

Nel progetto Interreg si è adottato un approccio che consente di integrare le due componenti, svolgendo analisi botaniche, accoppiate ad analisi della fauna del suolo (pedofauna) e mettendole in relazione con i dati delle caratteristiche chimiche e fisiche del suolo, quali ad esempio il tenore di sostanza organica e la temperatura.

Esiste un accordo comune tra gli studiosi nel ritenere che il crescente riscaldamento dovrebbe portare nelle zone montuose del pianeta ad uno slittamento verso l'alto dell'*optimum* climatico delle specie. Di qui l'interesse a studiare la distribuzione delle specie lungo gradienti altitudinali.

Una rete di monitoraggio della vegetazione composta da punti di rilievo fissi, posti a varie quote lungo un transetto, è già attiva nel territorio del Vallese svizzero (Permanet plot.ch). Nel progetto è stato applicato lo stesso approccio in due transetti nella fascia tra i 1.700 e i 2.600 metri s.l.m., ove ricadono importanti processi ecologici e dove maggiori potrebbero essere le evidenze di una risalita di specie termofile dalle quote inferiori.

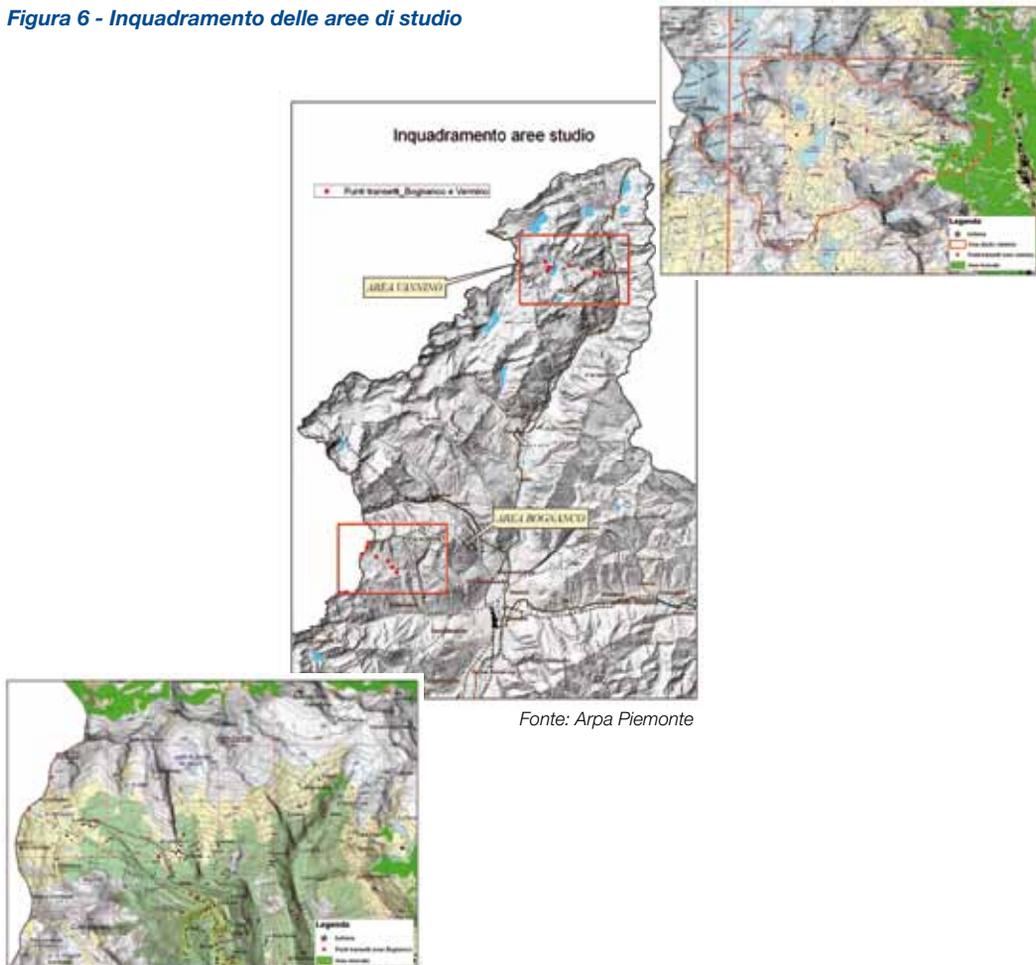
Il primo transetto, individuato nel vallone del Vannino, in Val Formazza, si estende dal capoluogo della valle Ponte, fino alla dorsale che dalle Torri del Vannino conduce al Pizzo d'Arbola, ed è caratterizzato dalla presenza dai Laghi di Vannino e Sruer, invasi gestiti per la produzione idroelettrica.

Il secondo transetto è in Val Bognanco, nel vallone di San Bernardo, e si estende dalla grande pecceta che si sviluppa intorno alla torbiera di San Bernardo e sale verso i pascoli sottostanti il passo del Monscera per risalire fino alla punta del Pizzo Pioltone, sul confine con la valle Svizzera del Zwischberghental.

Ciascun transetto è costituito da 7 punti di rilevamento (denominati plots), distanziati di circa 100 metri di quota gli uni dagli altri e collocati in modo tale da permettere l'indagine delle unità ambientali maggiormente rappresentative delle fasce climatico-altitudinale oggetto di studio.

I rilievi eseguiti nei due anni di progetto serviranno da riferimento per successivi controlli a lungo periodo e sono stati archiviati in un data-base che consente di gestire una serie di informazioni sull'ecologia delle specie individuate ed effettuare le opportune elaborazioni.

Figura 6 - Inquadramento delle aree di studio



Fonte: Arpa Piemonte

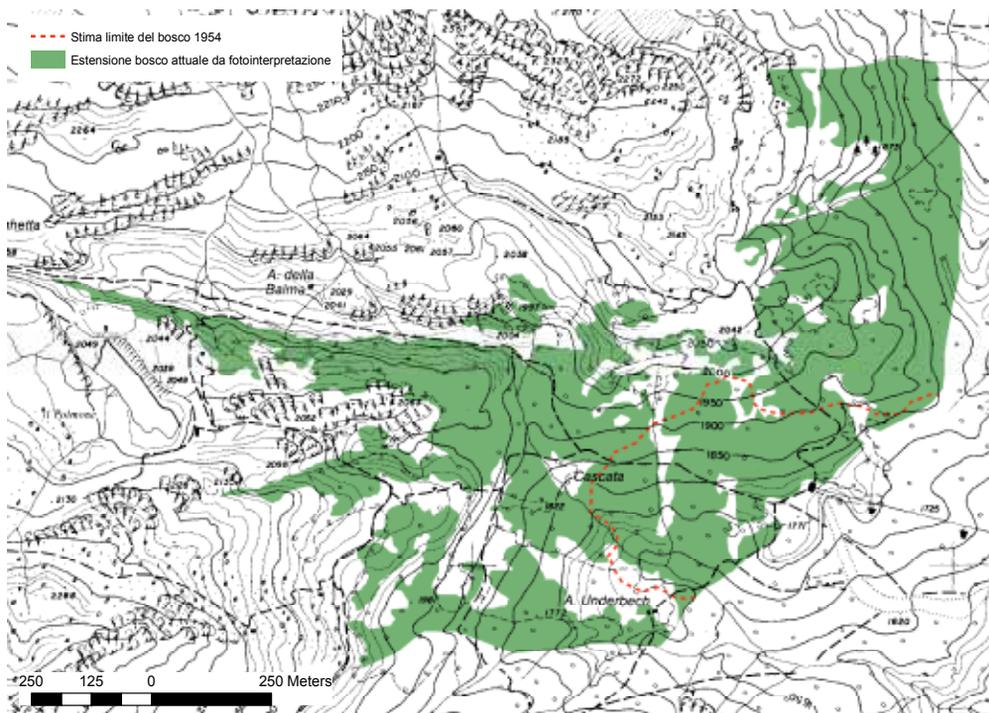
3.2 Studio della vegetazione lungo il transetto altitudinale

Le aree di campionamento, definite anche parcelle di saggio permanenti, sono state delimitate in quadrati di lato 4 x 4 m, suddivisi ulteriormente in 4 subaree, al fine di cogliere la variabilità a scala di dettaglio. Ogni parcella così individuata è stata visitata e campionata più volte durante la stagione estiva 2009 e 2010, stilando l'elenco completo delle specie presenti e la loro copertura relativa, per avere un quadro il più possibile dettagliato della composizione in specie di ciascuna parcella. I due transeck coprono un ampio *range* altitudinale che comprende il passaggio dalle formazioni forestali ai cespuglieti, fino ad arrivare alle formazioni di prateria alpina.

Il limite superiore della vegetazione arborea (la cosiddetta fascia di contesa) è fortemente condizionato dalle temperature medie che, oltre un certo rigore, impediscono la crescita dei tessuti legnosi. Occorre però tenere conto che tale limite è stato storicamente abbassato

dalle popolazioni alpine con l'attività di pascolo e attualmente, con la minore pressione di queste pratiche, l'ecosistema si sta naturalmente riequilibrando. Il limite attuale del bosco nel vallone del Vannino, posto all'incirca a 2000 m è stato confrontato con un fotogramma storico del volo GAI, anno 1954, presso la fototeca del CNR-IRPI di Torino dove è stato possibile desumere il limite altitudinale del bosco all'epoca del fotogramma (Figura 7). La linea tracciata ha permesso quindi di stimare la quota massima del bosco e calcolare l'incremento altitudinale nell'ultimo cinquantennio, che si può quantificare in circa 150 metri.

Figura 7 - Limite del bosco nel vallone del Vannino, confronto 1954 e attuale



Fonte: DIVaPRA

La vegetazione arbustiva al di sopra del limite del bosco in altre aree di studio è risultata in forte aumento negli ultimi decenni, anche se pure in questo caso occorre considerare l'effetto dell'abbandono del pascolo. La prateria alpina è un ambiente caratterizzato da un tappeto di graminoidi giallastro, con un ricco corteggio di piante cespitose di piccola taglia. Molte di queste piante erbacee sono adattate alla brevità della stagione vegetativa, grazie ai tessuti coriacei rinforzati per durare diverse stagioni e alla longevità che permette di sopravvivere agli inverni precoci e alle incertezze meteorologiche dell'alta montagna.

Non si conosce ancora molto della loro capacità di risposta a un innalzamento delle temperature ma è ragionevole pensare che la tolleranza ad un riscaldamento eccessivamente elevato sia modesta.

3.2.1 Il transetto di Bognanco

I primi due punti del transetto si inseriscono nei fitti popolamenti forestali dominati da *Abies alba* e *Picea abies*, mentre, nel terzo, la prima specie sparisce per lasciare il posto a *Larix decidua*. Nel terzo punto la foresta si fa altresì più aperta, con un ricchissimo sottobosco a *Vaccinium myrtillus* e *Juniperus communis*.

Il quarto punto è situato ai limiti superiori del bosco, con radi soggetti arborei che punteggiano un nardeto chiazzato da *Vaccinium myrtillus* e *Vaccinium uliginosum*. Dal punto cinque, posto alla base del ghiaione roccioso che porta alla cima del Pizzo Pioltone, spariscono anche i cespuglietti subalpini per lasciar posto ad una prateria dominata dalle specie del *Nardion* e del *Caricion curvulae*, con un generale e repentino incremento delle specie microterme.

Il punto sei è situato all'interno del ghiaione citato in precedenza ed evidenzia una formazione dominata da *Anthoxantum* e *Trifolium*.

Il punto più elevato, posto sulla cima del Pizzo del Pioltone, è un curvuleto pascolato, con importante presenza di specie alpine legate ai nardeti.

3.2.2 Il transetto di Vannino

Foto 3 - Caratteristiche dei plots 1 e 2 in ambiente forestale lungo il transetto del Vannino



Fonte: DiVaPRA

Nel transetto del Vannino solo il primo punto si inserisce in una formazione forestale a copertura pressoché totale e dominata da *Picea abies*, mentre nel secondo si fa meno densa, e al peccio si mescola *Larix decidua* in posizione leggermente subordinata.

Il terzo punto, paragonabile al quarto punto di Bognanco, insiste su un cespuglieto subalpino con massiccia presenza di *Vaccinium uliginosum* e poi, subordinatamente, *Vaccinium myrtillus* e *Rhododendron ferrugineum*.

Il quarto punto, visibile nelle immagini, è un festuceto frammisto ad elementi del *Poion alpinae*, del *Caricion curvulae* e del *Seslerion*.

Nel quinto punto dominano gli elementi del *Nardion*, con importante copertura delle specie del *Poion alpinae* (*Poa alpina*, *Festuca violacea*).

Ancora un nardeto al punto sei, con *Juncus trifidus* e carici.

**Foto 4 - Caratteristiche del plot 3
in ambiente arbustivo lungo
il transetto del Vannino**



Fonte: DiVaPRA

**Foto 5 - Caratteristiche del plot 7
in ambiente di prateria alpina lungo
il transetto del Vannino**



Fonte: DiVaPRA

La prateria alpina silicea del punto più elevato accoglie elementi del *Caricion curvulae* (*Carex curvula*, *Festuca halleri*), dell'*Arabidion* (*Soldanella alpina*) e del *Cynosurion* (*Ligusticum mutellina*).

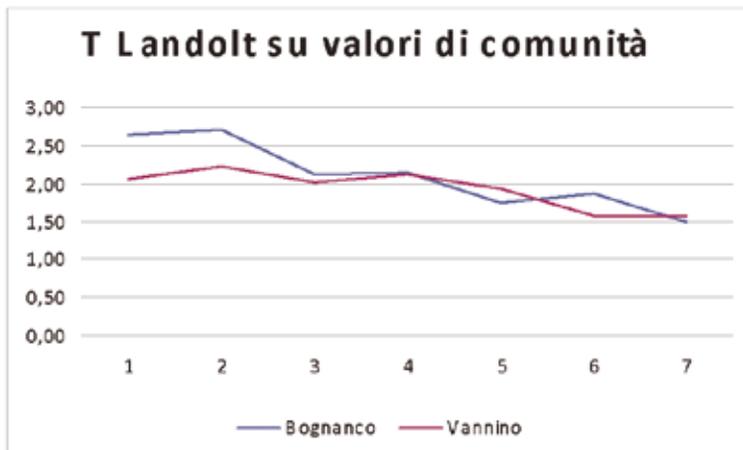
Interpretazione Dati

La lista di specie floristiche rilevata per i singoli plot è stata oggetto di analisi delle preferenze delle piante per diverse condizioni termiche, sulla base di valori assegnati a ciascuna specie vegetale che sono stati determinati sperimentalmente per tutte le specie della flora europea. Si sono utilizzati a tale scopo i valori determinati dal botanico svizzero Landolt in ambiente alpino, che consentono la determinazione di indici fitoecologici basati sui valori del fattore climatico T di temperatura che descrive su una scala da 1 a 5 la preferenza delle specie sul gradiente termico, che va dalle specie di clima freddo delle zone boreali e delle montagne a specie di clima caldo mediterraneo. L'indice 1 di Landolt, il più basso della scala, si riferisce quindi alle specie microterme (artiche o artico alpine o alpine) che vivono e svolgono i loro cicli vitali in condizioni particolarmente severe dal punto di vista termico e meno tollerano temperature elevate.

Si è elaborata a tale scopo una struttura di controllo che consente di visualizzare, tramite grafici e tabelle, il trend evolutivo delle specie microterme lungo i transetti. Una valutazione indiretta del cambiamento climatico potrebbe essere, in questo caso, la perdita di specie di valore 1 lungo l'arco temporale. Anche se la composizione generale della flora rimane apparentemente invariata, il numero medio delle specie individuate su superfici standard potrebbe variare in maniera significativa, e si potrebbe verificare di conseguenza la sussistenza di una

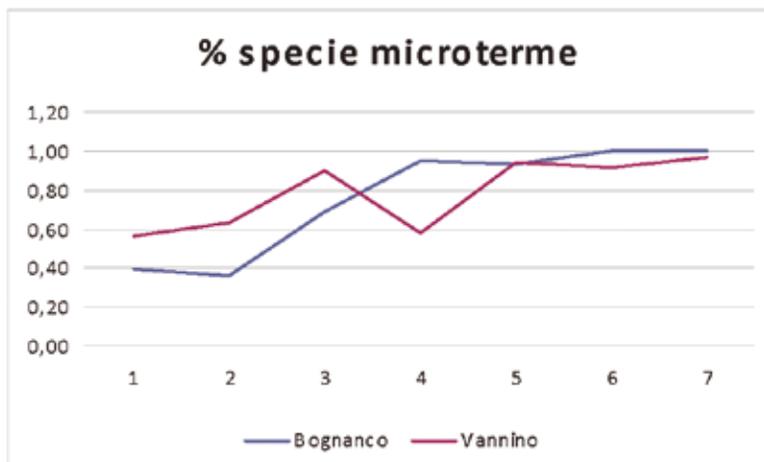
decisa variazione dei valori medi degli indici di Landolt sul valore complessivo di copertura delle specie.

Figura 8 - TLandolt su valori di comunità



Fonte: Università di Torino, Biologia vegetale

Figura 9 - Percentuale di specie microterme



Fonte: Università di Torino, Biologia vegetale

Un secondo elemento di valutazione è quello del grado di scostamento dalla massima quota raggiunta attualmente dalle specie vegetali in caso di ritrovamento nei futuri rilevamenti delle piante a quote superiori, da cui si potrà derivare un rateo di migrazione. Per determinare il limite superiore di riferimento delle specie, si sono utilizzati i valori riscontrati sul territorio nazionale, indicati nell'opera Flora d'Italia di S. Pignatti, a cui si è aggiunto uno studio locale realizzato nel solo Vallone del Vannino mediante ulteriori 141 rilievi di presenza floristica, distribuiti casualmente a tutti i livelli di quota del vallone.

Estrapolando le specie di maggior significatività statistica, ritrovate in più di 30 punti, si è

ottenuto un contingente di specie di cui si può con buona approssimazione ritenere definita la quota di riferimento.

Poiché molte di queste specie hanno il loro limite massimo alla quota del punto di rilievo di maggior altitudine (punto 7) e possono risalire anche di 3-400 metri nelle condizioni attuali, sarà utile ricavare un'ulteriore punto vegetato a quote superiori, che sarà possibile ricavare nel vallone adiacente del Sabbione dove le coperture erbacee si estendono sulle pendici del Blinenhorn (Corno cieco) fino a 3000 m s.l.m..

Altri indici, derivati dall'elaborazione dei dati raccolti, sono quelli di biodiversità: (di ricchezza floristica, di dominanza e di equiripartizione) - che potranno segnalare, in un successivo campionamento ripetuto a distanza di qualche anno, l'evidenza di uno scostamento dalla situazione attuale.

Se i due transetti saranno auspicabilmente monitorati anche in futuro potranno fornire, all'aumentare del numero degli anni di monitoraggio, un trend sempre più robusto dei potenziali effetti del cambiamento climatico in atto sulla composizione floristica delle due vallate alpine oggetto di studio. A tale scopo i due transetti sono stati candidati a entrare a far parte della rete LTER Italia, per il coordinamento e la promozione delle ricerche ecologiche a lungo termine, nell'ambito del sito 19 "Ambienti d'alta quota delle Alpi Nord-Occidentali", gestito dal DiVaPRA-Chimica Agraria e Pedologia dell'Università degli Studi di Torino.

3.3 Rilievo delle caratteristiche chimico-fisiche del suolo lungo il transetto altitudinale

In ogni sito di rilievo della vegetazione, ai margini del plot, sono stati prelevati campioni di suolo dall'orizzonte organico e dal primo orizzonte minerale. I campioni di suolo sono stati essiccati, setacciati e quindi analizzati in laboratorio per la determinazione di parametri quali carbonio organico totale (TOC), Azoto totale (TN), pH e tessitura apparente.

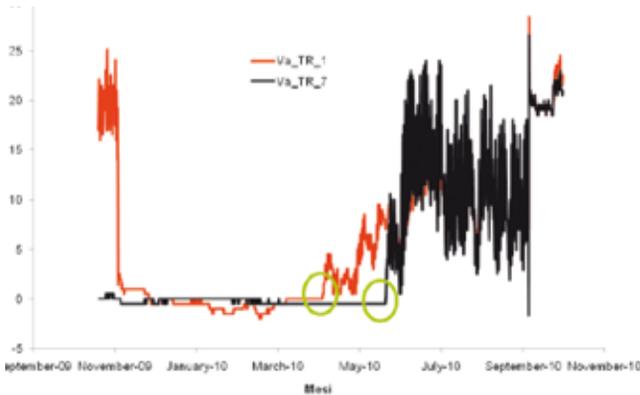
Allo scopo di rilevare le condizioni pedoclimatiche, in ogni parcella è stato installato a 10 cm di profondità nel suolo un data logger (i-button® DS1402D- DR8+) in grado di monitorare in continuo la temperatura del suolo, con frequenza oraria, e con una sensibilità di $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

I dati sono stati successivamente utilizzati per le analisi delle interazioni tra suolo, vegetazione e pedofauna.

La misura della temperatura del suolo a 10 cm di profondità permette di determinare indirettamente anche la data di scomparsa del manto nevoso. Non appena il manto nevoso si assottiglia, fino a scomparire, il suo effetto isolante viene a cessare e la temperatura del suolo che, in presenza di un sufficiente spessore di manto nevoso, nel corso dell'inverno rimane prossima agli 0°C , aumenta repentinamente. La lunghezza di questo periodo dipende dalla durata dell'innevamento al suolo, a sua volta determinato, a scala di bacino, dalle caratte-

ristiche topografiche dell'area. Come si osserva meglio nella figura 10, in cui si mettono a confronto le temperature di due topsoil (10 cm di profondità) lungo il transetto del Vannino (Va-TR1, linea rossa, quota: 1.786 m s.l.m.; Va-TR7, linea nera, quota: 2.515 m s.l.m.), il differente innevamento nei due siti fa sì che la fusione completa del manto nevoso, testimoniata dal repentino incremento della temperatura del suolo nel corso del disgelo primaverile, avvenga in tempi differenti (come mostrato dai cerchi verdi), con un anticipo di quasi un mese nel sito a quota inferiore.

Figura 10 - Misura della temperatura del suolo in due punti lungo il transetto Vannino

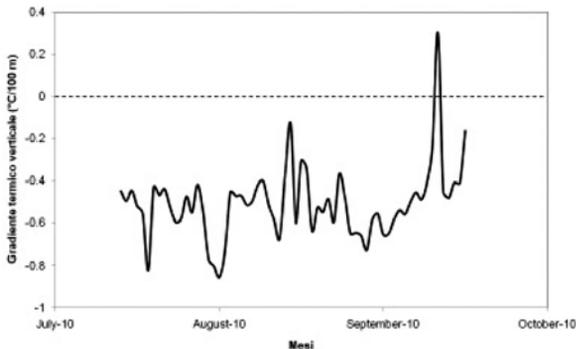


Va-TR1, linea rossa, quota: 1.786 m s.l.m.;
Va-TR7, linea nera, quota: 2.515 m s.l.m.

Fonte: DiVaPRA

Lungo il transetto del Vannino si è provveduto anche alla misura della temperatura dell'aria con sensori e *data-logger* disposti a circa 1.5 m di altezza nei pressi dei plot di rilievo. Grazie al numero di sensori installati lungo il gradiente altitudinale, è stato possibile calcolare un accurato gradiente altitudinale della temperatura dell'aria, che si riporta nella figura 11. Come si osserva dal grafico, il gradiente termico verticale si attesta, pur con una certa variabilità, su valori medi di $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, simili a quanto riportato in letteratura.

Figura 11 - Andamento del gradiente termico verticale tra 1800 e 2500 m asl nel periodo estivo 2010



Fonte: DiVaPRA

3.4 Studio della fauna edafica

Ai bordi delle aree campionate per la vegetazione sono state condotte su campioni di suolo le analisi della comunità dei microartropodi del suolo, in particolare la porzione di dimensioni tra 0,2 e 2 mm, nota come mesofauna. Si è ritenuto importante inserire lo studio della fauna edafica in quanto essa svolge un ruolo chiave nella formazione e nel funzionamento del suolo, attraverso processi di decomposizione e mineralizzazione, che sono fondamentali per la funzionalità dell'ecosistema suolo e per la fertilità vegetale.

Gli studi in merito alle zoocenosi edafiche in quota, sono ancora piuttosto scarsi. Si è pertanto ritenuto utile indagarle, al fine di individuare in quale misura i parametri meteo climatici, ne possono influenzare la composizione e funzionalità.

Per studiare la mesofauna del suolo si effettuano 3 repliche di un decimetro cubo di suolo posti ai vertici di un triangolo distanti circa 10-15 m, in zone rappresentative del sito. Il campione, conservato in frigo, viene quanto prima portato in laboratorio per procedere all'estrazione della pedofauna mediante il Selettore di Berlese-Tullgren. Ai risultati è stato applicato il metodo per la valutazione dell'Indice di Qualità Biologica del Suolo (QBS-ar) proposto dal Prof. Parisi dell'Università di Parma (2001), approccio che coniuga semplicità metodologica e possibilità di avere riscontri circa differenti situazioni di qualità biologica del suolo.

Il metodo prevede lo studio delle forme biologiche a differente grado di adattamento alla vita edafica (ad esempio la riduzione e perdita degli occhi o la depigmentazione) e si basa sul principio che maggiore è l'adattamento, migliore è la qualità biologica del suolo, in quanto condizioni di stress chimico-fisico, dovute a cause sia antropiche sia naturali, comportano il depauperamento degli organismi più adattati, che essendo più vulnerabili e meno capaci ad affrontare condizioni sfavorevoli, sono i primi a scomparire.

Ad ogni Forma Biologica della mesofauna è attribuito un Indice Ecomorfologico (EMI) il cui valore aumenta con il grado di adattamento alla vita edafica; con Forme Euedafiche (FE) s'intendono quelle forme biologiche, ad elevato adattamento, con punteggio EMI massimale (pari a 20).

Foto 6 - Collemboli



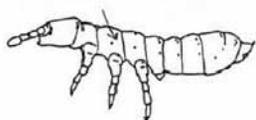
Tabella 1 - QBS-Collemboli. Criteri di attribuzione punteggi

FORMA BIOLOGICA	16 casi principali
------------------------	--------------------

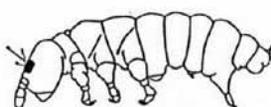
CARATTERE	PUNTEGGIO EMI
Dimensioni	0-2-4
Pigmentazione	0-1-3-6
Fanere	0-1-3-6
Anoftalmia	0-2-3-6
Antenne	0-2-3-6
Zampe	0-2-3-6
Furca	0-2-3-5-6

Es. FORMULA: Isotomide 4-3-3-0-3-6-6 EMI=25

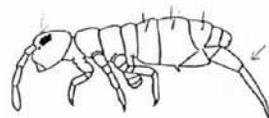
Figura 12 - Principali forme biologiche di Collemboli rinvenute nello studio



Onychiuridae



Ipogastruride



Isotomide

I singoli campioni sono stati esaminati prendendo in considerazione altri parametri, oltre agli indici di Qualità Biologica del Suolo QBS-ar, quali il numero di Forme Biologiche Totali (FBT), il numero di Forme Euedafiche Totali (FET), il numero di Forme Euedafiche non occasionali (FE n.o.). Sui campioni è stato inoltre valutato anche l'Indice di Qualità Biologica del Suolo mediante lo studio dei Collemboli (QBS-c) messo a punto dall'Università di Parma; questo indice, ancora in fase di sperimentazione, risulta di particolare interesse per gli ambienti alpini, poiché prevalentemente rappresentati da popolamenti di Acari e Collemboli e perché mostra una sensibilità maggiore alle variazioni di parametri quali il contenuto in sostanza organica e il regime idrico del suolo.

Poiché i campionamenti per la mesofauna sono stati eseguiti al confine dei plot in cui è stata condotta l'analisi vegetazionale, si è ritenuto interessante correlare i dati relativi ai popolamenti vegetali con quelli derivanti dalle differenti forme biologiche di mesofauna a diverso grado di adattamento. Analoga operazione è stata eseguita tra pedofauna e parametri chimico-fisici del suolo. Nonostante il numero di stazioni non fosse elevato, sono emerse alcune correlazioni significative tra alcuni parametri, diverse tra i due siti di Bognanco e Vannino.

Sono risultati molto correlati tra loro i parametri Collemboli totali, Collemboli aventi EMI 10, Forme Biologiche Totali che sono più presenti nelle stazioni più elevate e inversamente correlati con il rapporto Acari/Collemboli, determinanti nelle stazioni forestali. Con i soli parametri ambientali versus pedofauna si verifica un incremento del parametro Tisanotteri in ambienti

di prateria e Araneidi EMI 1 nelle stazioni più elevate. Sono anche significativi i Coleotteri con EMI <20. In ambiente boscato sono diversi i parametri correlati, con maggiori contributi da Collemboli Neauridi, Folsomidi, Criptopigidi, Ipogastrulidi e Collemboli Totali. I valori degli indici sintetici di qualità (QBS-ar e QBS-c) non risultano correlati tanto con la quota, ma con la presenza di condizioni pedologiche stabili, cioè favorevoli ed evolute (granulometria non fine, superficie vegetata stabile). Su suolo in quota mantengono valori inferiori, ma significativi. Questi dati confermano l'importanza di sviluppare ulteriori indagini integrate per meglio interpretare le complesse dinamiche che determinano i dinamismi naturali.

3.5 Le torbiere alpine

La tutela delle torbiere alpine è uno dei cardini del Piano di Azione per il Cambiamento Climatico nelle Alpi, siglato dagli Stati Membri della Convenzione delle Alpi per il loro ruolo come pozzo di assorbimento (*sink*) del carbonio. La loro stretta dipendenza dal regime delle precipitazioni è un ulteriore motivo di attenzione per gli studi sugli effetti del cambiamento

Foto 7 - Torbiera di San Bernardo



climatico.

Oggetto delle attenzioni nel progetto sono le “torbiere alte attive”, habitat composto principalmente da sfagni, organismi altamente specializzati che riescono a proliferare in climi molto freddi e derivano nutrimento e umidità esclusivamente dagli apporti meteorici e pertanto risultano estremamente vulnerabili a cambiamenti nel regime delle precipitazioni e delle temperature.

Nelle torbiere di questo tipo poste a quote maggiori si rifugiano anche altre specie di flora e fauna artico-alpina, vulnerabili in caso di variazioni del regime termico e idrico.

In Piemonte l'habitat è presente in forma frammentaria in poche stazioni, nelle zone più fredde e a maggior piovosità estiva dalla Valsesia alle Alpi del Verbano. Nell'ambito del progetto Interreg sono state studiate due torbiere di questo tipo a San Bernardo di Bognanco, a 1.600 m, e all'Alpe Balma, a 2.075 m, nel Vallone di Vannino in Val Formazza, di grande interesse per la loro biodiversità (*vedi pubblicazione “Torbiera e Libellule nelle Montagne dell'Ossola”*). Le indagini hanno comportato un ampio spettro di rilievi vegetazionali, faunistici, nivologici, pedologici e sulla qualità delle acque di circolazione che hanno consentito di caratterizzare

le interazioni tra contenuto idrico, caratteristiche del suolo e vegetazione che controllano la decomposizione della materia organica e capire il funzionamento ecologico delle due torbiere nell'ottica di seguirne nel tempo l'evoluzione delle comunità vegetali e faunistiche .

Lo studio della vegetazione è stato effettuato su una maglia di punti regolari annotando, su aree circolari di raggio 0,7 m poste ad ogni nodo della griglia, le specie presenti (comprese quelle muscinali) e la loro copertura percentuale. Con i dati a disposizione si è definito il mosaico di comunità vegetali e cartografata la distribuzione di tali comunità al fine di monitorarne l'evoluzione nel tempo.

Per la fauna si è analizzata la comunità di libellule delle due torbiere. Diverse segnalazioni in

Foto 8 - *Leucorrhinia dubia*



tutta Europa di modifiche nella distribuzione degli Odonati (libellule) hanno evidenziato l'interesse di questo gruppo faunistico per lo studio dei cambiamenti climatici. In climi temperati gli adulti hanno bisogno di temperature sufficientemente miti per volare e anche la sopravvivenza e il tasso riproduttivo delle larve è condizionato dalla temperatura dell'acqua. Nei due siti oggetto di studio è stata accertata la presenza di 9 specie di Odonati di

cui riveste grande interesse naturalistico e conservazionistico la presenza contemporanea di 4 specie boreali, *Aeshna juncea*, *Somatochlora arctica*, *S. alpestris* e *Leucorrhinia dubia* a San Bernardo. Lo studio a lungo termine di queste due comunità di libellule montane consentirà quindi di apprezzarne l'effettiva efficacia di indicatori di cambiamenti climatici e verificare l'ipotesi di potenziale perdita delle specie adattate a climi più freschi e, parallelamente, di possibile aumento della ricchezza specifica in seguito all'ingresso di taxa meridionali.

Per quanto riguarda la capacità delle torbiere di stoccare carbonio, la presenza di acqua affiorante per buona parte dell'anno, unitamente alle basse temperature, determina un rallentamento nella mineralizzazione della sostanza organica con conseguente accumulo di materiale poco decomposto e quindi non mineralizzato, sotto forma di torba. L'elevato rapporto carbonio e azoto indica che i processi di decomposizione della sostanza organica procedono molto lentamente. I valori più alti riscontrati in profondità sono da imputare alle condizioni di anossia che permangono per tempi maggiormente prolungati in profondità; in superficie, invece, l'abbassarsi della falda permette una parziale mineralizzazione della sostanza organica.

I risultati hanno mostrato che la quantità di carbonio accumulata nei primi 50 cm di profondi-

tà è pari a 340 t/ha all'Alpe Balma e a 314 t/ha a San Bernardo. Si tratta di valori in linea con i contenuti di carbonio misurati in altre torbiere nelle Alpi, comunque nettamente superiori a quelli rinvenuti in altri ambienti quali quelli di prateria alpina, che nell'area del Vannino nei primi 20 cm di profondità, sono risultati dell'ordine di 100 t/ha.

Tali dati dimostrano che, sebbene limitate a superfici ridotte, il contenuto di carbonio in forma di sostanza organica delle torbiere rappresenta una riserva significativa, comparabile nell'ambito del bilancio del carbonio a un serbatoio che immagazzina e sequestra l'anidride carbonica sottraendola all'accumulo in atmosfera e al conseguente effetto serra.

In caso però di variazione negli apporti nevosi e idrici o di temperatura, si potrà verificare un incremento del rilascio di anidride carbonica, diventando a tutti gli effetti una sorgente emissiva di questo composto.

La presenza e abbondanza del manto nevoso, in particolare, influenza in modo sostanziale le dinamiche suolo-vegetazione, governando lo status termico del suolo, la disponibilità di acqua primaverile e la lunghezza della stagione vegetativa.

Il manto nevoso, ad esempio, rappresenta un importante fonte di specie chimiche nel corso del disgelo primaverile quando, per effetto di un fenomeno noto come *ionic pulse*, l'80% delle specie chimiche presenti nel manto nevoso vengono rilasciate nel primo 20% dell'acqua di fusione. In caso di variazione negli apporti nevosi, si potrebbe verificare un disaccoppiamento della sincronia tra disponibilità di nutrienti e ripresa vegetativa primaverile, con importanti conseguenze sui delicati equilibri che regolano il funzionamento di una torbiera, esponendo ad esempio gli orizzonti superficiali della torbiera a condizioni maggiormente ossidanti. Per tale motivo, nel corso dell'inverno 2009-2010, il manto nevoso è stato caratterizzato dal punto di vista fisico in entrambe le torbiere, mediante l'individuazione dei diversi strati, del tipo e della dimensione dei cristalli, della massa volumica, della temperatura e della resistenza a penetrazione. Sono stati inoltre determinati il pH, la conducibilità elettrica e le principali specie chimiche, quali ad esempio le forme inorganiche di azoto e i principali cationi e anioni (calcio, magnesio, sodio, potassio e ammonio) e anioni (cloruri, solfati e nitrati). Per quanto riguarda i nitrati, i dati ottenuti, confrontati con quelli provenienti dalla vicina stazione di monitoraggio del CNR-ISE di Pallanza, localizzate a Graniga mostrano sostanziale accordo, rivelando come dal monitoraggio delle caratteristiche chimiche del manto nevoso si possano ottenere informazioni importanti sul tasso di deposizione di composti quali ad esempio l'azoto.

Nel corso del progetto sono poi state condotte indagini specifiche sulle emissioni gassose delle due torbiere per comprendere, in relazione alle condizioni meteorologiche, i flussi e gli scambi di anidride carbonica tra atmosfera e suolo. Le misure sono state eseguite sia durante il periodo invernale, quando l'attività microbica del suolo protetta dalla copertura nevosa è intensa, sia durante il periodo vegetativo estivo.

Le emissioni di CO₂, rilevate nella torbiera di San Bernardo, variano da un minimo di circa 0,2 ad un massimo di oltre 3 μmol m⁻² s⁻¹, tra le più elevate mai misurate durante la stagione invernale in ambiente alpino. Al Vannino risulta evidente un effetto legato all'umidità del suolo, con emissioni maggiori nei siti con meno acqua, quindi con maggior ossigeno disponibile per la respirazione aerobica.

Sono state effettuate inoltre misure degli assorbimenti fotosintetici e delle emissioni respiratorie della vegetazione in periodo estivo. In questo modo, sia pure con pochi dati per stagione acquisiti in periodi rappresentativi delle diverse fasi della stagione vegetativa, è possibile stimare gli scambi di CO₂ estivi e confrontarli con quelli delle altre torbiere studiate, giungendo a costruire dei modelli che consentono di stimare gli scambi totali di carbonio della torbiera. Numerosi studi condotti in altre torbiere, in particolare in quelle boreali della Russia, della Lapponia e del Canada, hanno dimostrato la dipendenza del flusso di carbonio dal fattore temperatura e dalla profondità della falda, entrambi parametri fortemente influenzati dal cambiamento climatico.

I dati ottenuti hanno permesso di stimare una velocità di fissazione del carbonio che ad inizio estate arriva a raggiungere e superare i 10 kg di carbonio per ettaro al giorno, con grandi variazioni in dipendenza della temperatura, della luce e del grado di idratazione della vegetazione.

Sulla base del confronto tra distribuzione della vegetazione e distribuzione dei principali parametri chimico-fisici del suolo e dell'acqua interstiziale, è stato inoltre possibile identificare differenti meccanismi biogeochimici che determinano la dinamica degli elementi nutritivi in questi due siti di torbiera. Inoltre, si è visto come tali meccanismi siano fortemente influenzati dalle caratteristiche della vegetazione, specialmente nella grande distinzione tra piante vascolari e copertura di sfagni. È stata verificata ad esempio una correlazione tra il contenuto in potassio e il numero di specie individuate che indica un gradiente secondo il quale all'aumentare della concentrazione delle specie chimiche disciolte (in questo caso il potassio) aumenta anche il numero di specie floristiche per singolo plot, mentre la concentrazione di magnesio risulta significativamente maggiore nelle zone a vegetazione oligotrofica in corrispondenza delle zone a maggior ristagno idrico.

3.6 Vegetazione e pedofauna nei suoli periglaciali e deglacializzati

Il settore più a nord della Val Formazza in particolare la valle del rio Sabbione, è sede di una forte attività glaciale, che ha il suo epicentro attorno alla Punta d'Arbola ai cui piedi si estendono due le lunghe fiumane di ghiaccio del ghiacciaio del Sabbione. Altri piccoli ghiacciai costellano le punte più vicine come il ghiacciaio del Forno ai piedi delle Torri del Vannino e piccoli circhi glaciali attorno ai Corni di Ban, mentre sullo spartiacque svizzero si affacciano i

grandi ghiacciai del Basodino e del Gries.

Il regresso dei ghiacciai nell'Ossola ha visto negli anni '90 l'emersione del ghiacciaio meridionale del Sabbione dalle acque dell'omonimo lago artificiale, un arretramento intenso di quello settentrionale e la quasi completa scomparsa di quelli di dimensioni e quote minori. Quest'abbondanza e vulnerabilità dei ghiacciai, assieme alla presenza di forme di permafrost quali i *rock-glacier*, un insieme di blocchi rocciosi e di ghiaccio soggetto a lento e continuo movimento verso valle, ne fanno un ambiente particolarmente idoneo allo studio della vegetazione e della pedofauna periglaciale.

Si parla di vegetazione periglaciale per tutte le varianti perturbate dalle condizioni di substrato e di microclima determinate dalle azioni del geliflusso e dell'instabilità che ne deriva.

La vegetazione periglaciale è regolata dalle temperature critiche, che nelle notti del periodo estivo oscillano in vicinanza di 0°C. Ciò limita fortemente lo sviluppo vegetativo e spesso anche la riproduzione. L'alternanza di gelo e disgelo agisce soprattutto nei substrati con elevate componenti limo-argillose imbevibili di acqua dove il rigonfiamento del suolo, per la formazione di ghiaccio, provoca danni agli apparati radicali sia delle piante di piccola taglia e isolate sia ai margini delle zolle erbose aperte.

L'evoluzione verso fasi più stabili, con l'insediamento di specie gregarie, è un chiaro indizio di miglioramento del clima. La presenza di determinati tipi di vegetazione potrebbe quindi essere utile per dedurre, con una certa approssimazione, l'evoluzione di queste forme morfologiche. Da ciò si deduce la proponibilità di un programma di monitoraggio su stazioni di vegetazione periglaciale basato sullo studio di alcune comunità vegetali.

A tal fine, nel progetto è stato avviato un primo programma di rilievi vegetazionali abbinati a rilievi di pedofauna su alcune aree sperimentali: l'area del *rock-glacier* ai piedi del Corno di Ban sul versante in destra della diga del Lago dei Sabbioni, un lobo di geliflusso nei pressi del rifugio Mores, i fronti glaciali del ghiacciaio del Sabbione settentrionale e del ghiacciaio del Forno. A queste aree è stato affiancato anche un rilievo in territorio di Macugnaga, sulla cresta del Monte Moro nel massiccio del Monte Rosa, dove Arpa Piemonte ha installato uno dei 4 sondaggi profondi regionali per lo studio del permafrost nell'ambito del progetto Permanet. Lo studio del fronte deglacializzato del ghiacciaio dell'Hohsand settentrionale è stato realizzato mediante confronto tra la porzione di più recente deglaciazione in cui si evidenziano i primi stadi di colonizzazione della vegetazione, rilevati in corrispondenza delle tacche dei rilievi glaciologici del fronte databili al 2008, e la comunità sviluppatasi sui suoli scoperti dal ghiacciaio 30 anni fa in corrispondenza della marca del 1978. Le coperture in quest'ultimo sito deglacializzato da più di 30 anni, sono ancora basse (4%), tuttavia si apprezza già la creazione di tasche vegetative che consentono l'ingresso di un maggior numero di specie vascolari e l'inizio della colonizzazione anche da parte dei muschi. Tra le specie vascolari si distinguono *Campanula cenisia*, *Herniaria alpina* e *Poa laxa*, assai rappresentate sulle mo-

rene laterali, *Saxifraga rizoide*, concentrata lungo i numerosi rivoli di fusione delle acque provenienti dalle pareti laterali della valle glaciale, a cui si aggiungono sporadicamente *Saxifraga oppositifolia*, *Cardamine alpina*, *Achillea nana*, *Artemisia genipi*, la felce *Cystopteris fragilis*, *Erigeron uniflorus*, *Euphrasia minima*, *Sagina glabra*, *Saxifraga biflora*, *Sedum atratum*, *Senecio incanum*. La prima comunità insediata sul fronte di più recente de glaciazione (2008) è pressoché dominata da *Saxifraga oppositifolia* accompagnata da *Saxifraga biflora* e *Linaria alpina*. Da queste prime indicazioni non è possibile trarre conclusioni se non che nelle zone già libere da 30 anni i fronti deglacializzati si stanno velocemente trasformando e viene confermato come la specie più attiva nel colonizzare il fronte glaciale *Saxifraga oppositifolia* sia già dominata dopo soli 30 anni. La tendenza evolutiva è quella di creare una comunità simile ai vicini depositi morenici sul versante, cominciando già precocemente a registrare l'ingresso in modo disperso e a copertura molto bassa di un discreto numero di piante vascolari anche non necessariamente resistenti ai climi rigidi (*Cystopteris*) e muschi in grado di portare avanti i primi stadi di colonizzazione. Analogo punto risalente al 1978 è stato rilevato sul ghiacciaio del Forno dove la situazione morfologica più simile a un circo glaciale non consente di rilevare substrati colonizzabili a causa degli ammassi rocciosi grossolani lasciati dal ritiro di un ghiacciaio.

Questi primi dati vegetazionali evidenziano come il dinamismo della vegetazione periglaciale sia estremamente sensibile all'andamento annuale del clima. Progressioni e regressioni della vegetazione si alternano a seconda dell'andamento annuale sui fronti di regressione e le variazioni avvengono in periodi brevi e possono presentarsi in sequenze coerenti da cui dedurre le tendenze in atto.



Foto 9 - *Saxifraga oppositifolia* sulla falda detritica al piede del Corno di Ban dove è stato realizzato il campionamento di suolo per l'analisi della pedofauna

Anche le variazioni della vegetazione insediata sui *rock-glacier* sembrerebbero rispondere in modo evidente e per periodi brevi. Le forme attive dei *rock-glacier* sono di norma occupate da un mosaico di substrati instabili con elevata pietrosità intercalati ad altri con scheletro medio-fine, depressi e sensibilmente più stabili. La vegetazione tipica è quell'erbacea discontinua e con bassa copertura, tipica dei ghiaioni a substrato instabile degli orizzonti alpino-nivali, sulle rocce silicee dell'Ossola dominate dall'associazione ad *Androsace alpina* con un ridotto numero di specie.

La zona di rilevamento, prossima all'area dove è stato ese-

guito il campionamento di pedofauna in corrispondenza di un accumulo detritico colluviale in cui i rilievi di temperatura BTS hanno confermato un'elevata probabilità di presenza di permafrost, risulta fortemente limitante per lo sviluppo della vegetazione per il substrato incoerente e l'elevata pendenza. Solo una specie, *Saxifraga oppositifolia*, appare in grado di colonizzare questi substrati, creando piccole isole di vegetazione tra i detriti. Le altre specie presenti in modo sporadico sono: *Polyrichum formosum*, *Saxifraga biflora*, *Pritzelago alpina*, *Poa alpina*.

Per quanto riguarda la pedofauna i dati delle prime campagne sperimentali sembrano indicare che in questi suoli ghiacciati è sufficiente la stabilizzazione del suolo con anche una singola pianta pioniera per riscontrare una comunità di pedofauna dominata dai Collemboli in cui prevalgono gli Onichiuridi tipici per il loro adattamento e la loro sensibilità; a quote minori e più vegetate prevalgono gli Isotomidi e gli Ipograstruridi, probabilmente per la maggiore sensibilità alla sostanza organica. Questi animali, che si pensava potessero essere associati a suoli più stabili ed evoluti, possono essere utilizzati come indicatori di condizioni di stabilizzazione in ambito periglaciale. Anche sulle fronti glaciali liberate da pochi anni si sta evolvendo una comunità pedologica, non solo con Acari e Collemboli. Queste prime evidenze ottenute dallo studio indicano pertanto un potenziale uso della fauna edafica per monitorare anche in quota gli effetti derivanti dalla combinazione di fattori vegetazionali, pedologici e climatici.

3.7 La fenologia erbacea

La fenologia è lo studio delle variazioni nel tempo di alcune fasi dei cicli vitali degli organismi viventi e delle cause che le determinano.

In molte specie vegetali e animali le analisi fenologiche hanno messo in evidenza che l'incremento della temperatura determina l'anticipazione delle fasi vitali. Le variazioni più comunemente rilevate riguardano le anticipazioni di fioritura ed emissione delle foglie degli alberi, che sono state documentate in molti luoghi del pianeta, con la variabilità locale e specifica che contraddistingue ogni fenomeno biologico.

Le relazioni tra il ciclo fenologico delle praterie alpine e i fattori ambientali sono ancora poco conosciute e solo con un monitoraggio di alcuni anni si potranno mettere in evidenza gli effetti del riscaldamento delle temperature sulle queste specie e comunità alpine.

A tale scopo, durante i rilievi vegetazionali sui transetti del Vannino e di Bognanco si sono registrati i ritmi fenologici di fioritura e fruttificazione delle specie erbacee, mentre in un'area del pianoro dell'Alpe Devero, prossimo alla stazione meteorologica di Arpa, si è delimitato all'interno di un pascolo alpino un quadrato di qualche metro di perimetro all'interno del quale è stato seguito lo sviluppo riproduttivo e vegetativo di alcuni individui appartenenti a quattro specie rappresentative di vari gruppi funzionali delle praterie alpine. Si sono studiate una

graminacea molto comune, il nardo, una leguminosa, *Trifolium alpinum*, e poi *Luzula campestris* ed *Heracleum sphondylium*. Il lavoro effettuato applica in parte le metodologie messe a punto nell'ambito di un ampio progetto Interreg ALCOTRA, che ha come capofila Arpa Valle d'Aosta (si veda il sito web www.phenoalp.eu) e ha voluto sensibilizzare un gruppo di tecnici ambientali (guardaparco, dipendenti Arpa, altri tecnici) sulla fenologia e le sue potenzialità.

Foto 10 - Rilievi fenologici erbacei all'Alpe Devero



Foto: Enrico Rivella

Il confronto delle curve di biomassa e rinverdimento, rilevate a diverse quote o in anni diversi, mettono in evidenza le relazioni tra sviluppo delle specie e dell'intera prateria, le temperature registrate e il fotoperiodo. Particolare rilevanza ha la data di fusione della neve che segna l'inizio più o meno rapido della ripresa vegetativa.

A tale scopo la presenza a pochi metri dall'area di studio della vicina stazione meteorologica di Arpa Piemonte, dotata di nivometro a ultrasuoni, potrebbe risultare utile a registrare la data dell'inizio della crescita della vegetazione quando la neve si è completamente fusa. Tali sensori, infatti, possono misurare anche l'altezza della vegetazione, con valori minimi intorno ai 10 cm.

In tale ambito sperimentale, è stata effettuata dapprima l'elaborazione preliminare dei dati di 3 stazioni della rete nivometeorologica di Arpa Piemonte. Nel caso della stazione di Devero, localizzata a una quota di 1.644 m s.l.m., il segnale registrato dal sensore ad ultrasuoni nel corso della stagione vegetativa del 2002 è risultato evidente e ha permesso la successiva elaborazione dei dati per l'individuazione della data di scomparsa della neve, dell'inizio della

ripresa vegetativa (rombo rosso a sinistra nella figura 14) e del raggiungimento del massimo di accrescimento (rombo rosso a destra nella figura 14)

Figura 13 - Taglio della biomassa nel quadrato di 30 cm x 30 cm e curva della variazione della biomassa nella stagione di crescita

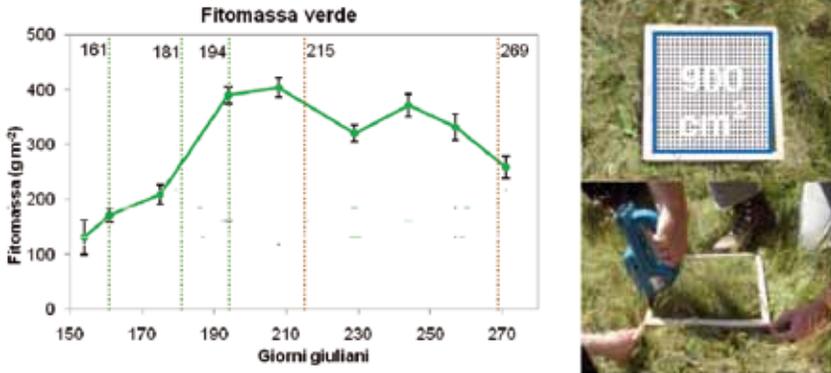
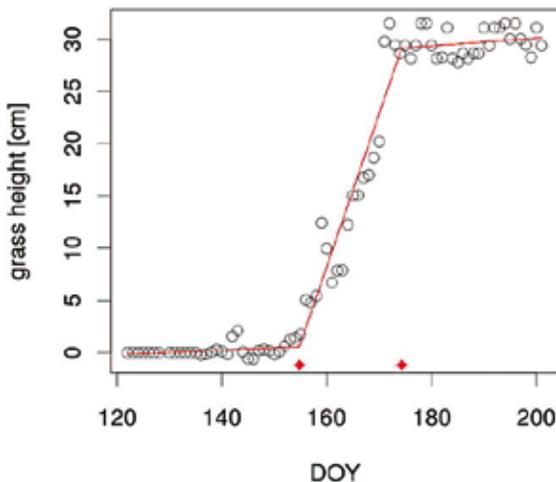


Foto 11 - Immagini digitali per la valutazione della percentuale di rinverdimento in tre momenti della stagione vegetativa



Figura 14 - Elaborazione dei dati dei nivometri estivi nella stazione meteorologica di Arpa Piemonte dell'Alpe Devero nell'estate del 2002



Le barre intorno ai simboli rossi rappresentano l'incertezza nella determinazione del punto di cambio di pendenza della curva che descrive la crescita della vegetazione.

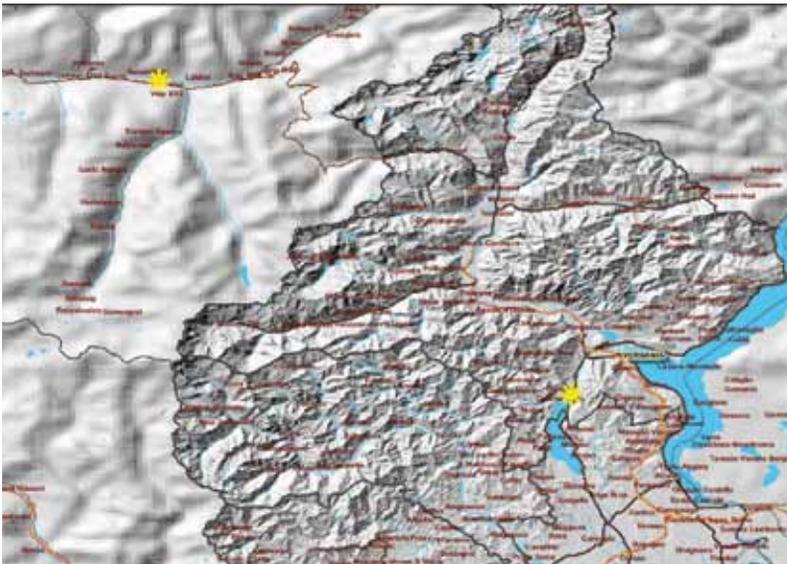
3.8 Pollini e variabili climatiche

Le piante presentano un forte legame con le variazioni climatiche: le fasi fenologiche, che scandiscono il loro ciclo vitale, sono condizionate per lo più da fotoperiodo e temperature e ogni qualvolta si verificano anomalie climatiche le piante rispondono con variazioni nell'inizio e nella durata delle varie fenofasi.

Al fine di valutare la possibilità di utilizzo dell'indicatore proposto, i dati delle letture polliniche di due stazioni di monitoraggio aerobiologico sono stati elaborati e utilizzati per il calcolo di una serie di parametri utili a descrivere l'andamento pollinico nelle sue fasi principali. I parametri pollinici ottenuti sono stati quindi relazionati con le temperature medie registrate nelle centraline meteorologiche più prossime, e rappresentative, alle stazioni aerobiologiche considerate.

Nell'ambito del progetto si è scelto di utilizzare la stazione di Omegna (295 m s.l.m.), in provincia di Verbania, e in collaborazione con Meteo Svizzera - che gestisce la Rete Pollinica Nazionale Svizzera, composta da 14 stazioni di rilevamento situate nelle principali zone climatiche e vegetative del Paese - è stata selezionata la stazione di Visp (650 m s.l.m.), ubicata nel Canton Vallese, in quanto quella maggiormente prossima all'area di studio considerata.

Figura 15 - Le stazioni aerobiologiche di Omegna e Visp



La stazione meteorologica individuata come più prossima e rappresentativa per la stazione di Omegna è stata "Candoglia Toce", ubicata nel comune di Mergozzo (VB). Per quanto riguarda Visp, la stazione di monitoraggio pollinico è situata in prossimità della stazione meteorologica.

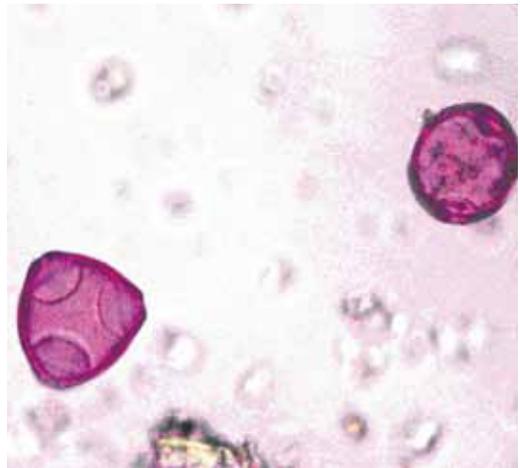
Scelta dei taxa

Sono stati elaborati i dati aerobiologici relativi a quattro diversi generi: *Corylus*, *Platanus*, *Castanea* e *Betula*. I taxa sono stati selezionati tra quelli monitorati a fini allergologici, basandosi sulle indicazioni tratte dalla letteratura e sulla diffusione delle piante sul territorio monitorato. Inoltre si è cercato di individuare dei taxa rappresentativi dei diversi periodi di fioritura, per poter evidenziare al meglio l'influenza delle variazioni climatiche stagionali negli anni oggetto di studio (dal 2000 al 2011) nelle stazioni di Omegna e Visp. (*Corylus* con fioritura tardo invernale, *Betula* inizio primaverile, *Platanus* primaverile e *Castanea* inizio estiva). In particolare per i taxa *Platanus* e *Corylus* sono disponibili numerosi studi di letteratura, aventi per oggetto gli effetti del clima sugli anticipi o ritardi nella pollinazione.

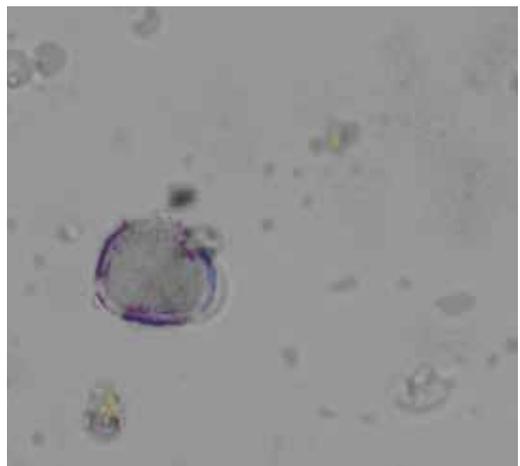
Foto 12 - Alberi selezionati e relative spore polliniche



Corylus avellana L. (Nocciolo)

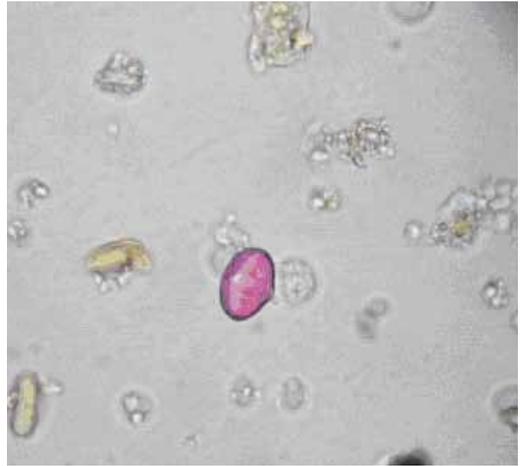


Platanus spp. (Platano)

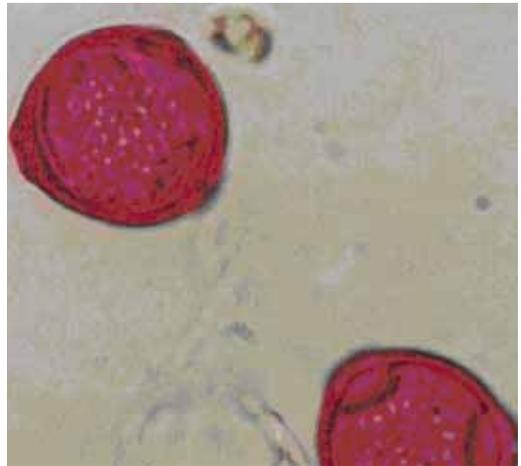




Castanea sativa Miller (Castagno)



Betula spp. (Betulla)



Analisi dei dati

Per quanto riguarda i parametri meteorologici è stata considerata la temperatura media mensile di ognuno degli anni considerati per le stazioni di Condoglia Toce (caratterizzante la stazione aerobiologica di Omegna) e di Visp.

L'andamento pollinico è stato descritto nelle sue fasi principali mediante il calcolo di specifici parametri citati in letteratura e considerati maggiormente rispondenti alle variazioni indotte dal clima (Tabella 2).

Tabella 2 - Parametri di pollinazione elaborati, per ciascun taxa

Parametro	Descrizione
Inizio del Periodo Principale di Pollinazione (inizio PPP):	corrisponde al giorno in cui la somma cumulativa dei dati giornalieri raggiunge il 5% del totale annuale e in cui la liberazione di polline è uguale o superiore all'1% del totale annuale (Lejoly-Gabriel, 1978).
Fine del Periodo Principale di Pollinazione (fine PPP)	corrisponde al giorno in cui la somma cumulativa dei dati giornalieri raggiunge il 95% del totale annuale (Goldberg et al., 1988).
Durata della pollinazione	periodo temporale che intercorre tra l'inizio del Periodo Principale di Pollinazione e la fine del Periodo Principale di Pollinazione.
Data del picco massimo (data max)	corrisponde al giorno in cui viene raggiunto il valore massimo di concentrazione annuale.

Fonte: Arpa Piemonte

Dei quattro taxa analizzati si riporta, a titolo di esempio, l'andamento dei parametri di pollinazione del *Corylus avellana* per le stazioni di Omegna dal 2003 al 2011 e di Visp dal 2000 al 2011.

Corylus avellana

La concentrazione totale annua (Pollen Index) di *Corylus* risulta più elevata nella stazione di Omegna (con variazioni interannuali da 1.755 a 7.211 granuli/m³ aria) rispetto a Visp (variazioni da 538 a 3.248 granuli/m³ aria).

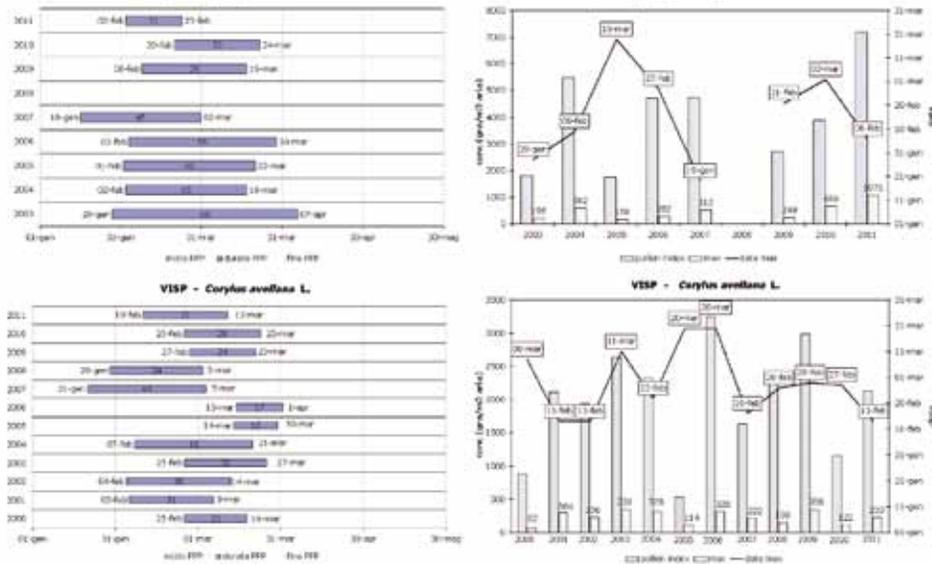
Per il 2011 l'inizio del periodo di pollinazione (inizio PPP) risulta anticipato nella stazione di Omegna (2 febbraio) rispetto a quello della stazione di Visp (10 febbraio).

In generale si può affermare che tale parametro, letto in funzione delle temperature, indica come un ritardo nell'inizio di pollinazione possa essere conseguente ad un inverno freddo e nevoso (inverno 2008-2009), mentre un anticipo come quello rilevato nel 2007 sia favorito da un inverno particolarmente mite con temperature al di sopra della media (inverno 2006-2007).

Nella stazione di Omegna, rispetto alla stazione di Visp, si osserva una generale omogeneità nella data di inizio di pollinazione che si attesta intorno ai primi giorni di febbraio, a fronte di una scarsa variabilità nelle temperature dei mesi precedenti la pollinazione.

Nella stazione di Visp si evidenzia una durata media del periodo di pollinazione di 30 giorni, mentre si assesta in media sui 40 giorni nella stazione di Omegna.

Figura 16 - Parametri pollinici elaborati per le stazioni di Omegna (VB) e Visp, anni 2000-2011



Fonte: Arpa Piemonte

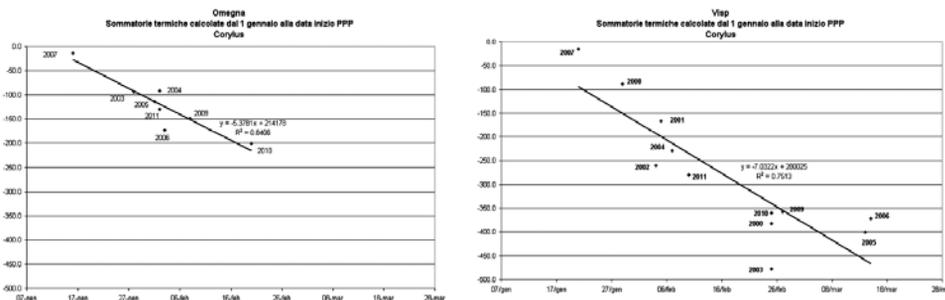
Influenza dei parametri meteorologici sul Nocciolo (*Corylus avellana L.*)

Il Nocciolo, in quanto taxa a fioritura precoce (tardo invernale), risulta maggiormente influenzato dalle temperature rispetto a taxa più primaverili-estivi la cui fioritura dipende anche da altri fattori, quali il fotoperiodo.

Inoltre *Corylus*, con antesi invernale-primaverile, è caratterizzato da un suo specifico “chilling requirement” che esprime la sua esigenza di freddo per potere superare il periodo di dormienza e quindi poter cominciare ad accumulare caldo per fiorire.

L’inizio del periodo di pollinazione può essere messo in relazione con le somme termiche. Sono state quindi calcolate le somme termiche annuali al di sopra dei 6°C (soglia al di sopra della quale l’accrescimento del taxa è effettivo) dall’inizio dell’anno fino alla data di inizio pollinazione. In figura 17 si può osservare come la somma termica aumenti in corrispondenza di un anticipo della pollinazione.

Figura 17 - Somme termiche per le stazioni di Omegna e Visp dal 2000 al 2011



Fonte: Arpa Piemonte

Analisi della correlazione

In letteratura è dimostrata l'esistenza di una correlazione significativa tra l'inizio della pollinazione e le temperature dei mesi a questa precedenti.

Per la stazione di Omegna si è evidenziata una correlazione significativa tra la data di inizio pollinazione e la temperatura del mese di gennaio: temperature più elevate durante questo periodo determinano un anticipo della data di inizio pollinazione.

Esiste anche una debole correlazione positiva, non statisticamente significativa, tra la temperatura media del mese di novembre (prima decade) e l'inizio della pollinazione per la stazione di Omegna: una diminuzione della temperatura potrebbe favorire l'inizio della dormienza e un anticipo della pollinazione.

Sono state calcolate l'esigenza di freddo e di caldo necessarie per superare la dormienza invernale (Tabella 3).

Tabella 3 - Stazione di Omegna. Esigenza di caldo per diverse soglie di temperatura (°C) e di freddo (Chilling hours)

Stagione	soglie di temperatura (°C)					Chilling Hours
	4	4.5	5	5.5	6	
2001-2002						
2002-2003	41.8	29.6	18.9	11.1	6.3	1123
2003-2004	46.6	36.6	28.6	22.3	17.4	923
2004-2005	42.4	34.5	27.7	21.7	16.2	1017
2005-2006	9.3	7.1	5.5	4.1	3.1	1150
2006-2007	55.8	44.1	33.3	24.2	17	1065
2007-2008						
2008-2009	29	21.5	14.9	11	7.8	1146
2009-2010	27.2	19.6	13.7	8.7	5.6	1149
2010-2011	18.2	12.4	8.7	6.7	5.2	1162
SD	15.6	12.7	10.0	7.8	6.0	
Media	33.8	25.7	18.9	13.7	9.8	
CV(%)	46%	49%	53%	57%	61%	

Dal punto di vista statistico, sebbene non sia possibile correlare l'esigenza di freddo e di caldo a causa dell'esiguo numero di dati a disposizione, si può evidenziare che più sono le ore di freddo cumulate, meno ore di caldo sono necessarie per la fioritura.

Conclusioni e prospettive di lavoro

Nonostante l'esiguità degli anni di monitoraggio disponibili per effettuare correlazioni statistiche con i parametri climatici, l'analisi delle misure di pollinazione unitamente a quelle climatiche fornisce già qualche prima indicazione sull'influenza che questi esercitano sulla pollinazione e quindi sulla presenza in aria dei granuli pollinici aerodispersi.

Una volta stabilito che i parametri di pollinazione, e in particolare l'inizio della pollinazione, possono essere considerati validi e indicativi per monitorare gli effetti delle anomalie di tem-

peratura, sarebbe auspicabile l'utilizzo di "spore trap" portatili posizionabili in aree in quota per monitorare taxa specifici tipici di ambienti montani.

3.9 Influenza dei cambiamenti climatici sulla fenologia di uccelli migratori

L'andamento delle condizioni stagionali comporta un cambiamento continuo delle condizioni cui gli esseri viventi devono adattarsi per poter sopravvivere e riprodursi. Una delle reazioni a questa periodicità è la migrazione. In generale si può intendere la migrazione ornitica come lo spostamento regolare di una popolazione da un'area di nidificazione ad una di svernamento e nasce per la necessità di occupare in ogni stagione i territori con maggiori disponibilità di cibo.

Di conseguenza migrare in primavera dalle regioni meridionali di svernamento a quelle settentrionali dove avviene la riproduzione offre indubbi vantaggi, le regioni dell'emisfero Nord sono infatti caratterizzate da giornate estive molto lunghe e da una grande abbondanza di cibo utile per allevare la prole, e viceversa in autunno.

Diversi studi hanno messo in evidenza che alcune specie siano in grado di regolare la data di arrivo nei quartieri di nidificazione anticipandolo, come risposta all'aumento delle temperature primaverili che, di fatto, anticipa l'attività vegetative delle piante e di conseguenza anche i cicli riproduttivi degli insetti. Questa risposta si traduce in un anticipo nella data di arrivo, dimostrata in numerosi studi in Europa e Nord America. Un arrivo anticipato nei territori di riproduzione presenta molti benefici per gli individui: territori di nidificazione migliori, più chance di accoppiarsi, compagni di migliore qualità, probabilità di sopravvivenza maggiore per i pulli, come nel caso della Balia nera (*Ficedula hypoleuca*).

Tuttavia non per tutte le popolazioni di uccelli si è verificato lo stesso cambiamento. Negli ultimi decenni sono stati fatti grandi passi avanti riguardo alle conoscenze sulla migrazione e mai come oggi gli uccelli migratori sono stati tanto vicini ad una grave crisi. Molte specie migratrici sono state inserite nelle liste delle specie minacciate e se l'ulteriore riscaldamento globale del clima dovesse veramente aver luogo, esso comporterebbe già in tempi ravvicinati una drastica riduzione su scala mondiale dei comportamenti migratori, e la scomparsa di numerose specie di uccelli migratori nel prossimo futuro.

Per poter studiare l'andamento delle migrazioni in relazione con le variazioni climatiche, sono stati analizzati i dati raccolti dal Centro Studi sulla Migrazione di Fondotoce (VB). Si tratta di un'area situata in località Fondotoce (frazione del comune di Verbania), sulla sponda occidentale del Lago Maggiore a 195 metri sul livello del mare.

L'obiettivo dell'attività del Centro Studi sulle Migrazioni è quello di monitorare principalmente il periodo interessato dalle migrazioni per poter valutare l'importanza dell'area del Fondo

Toce quale punto di sosta e di passaggio delle popolazioni di uccelli durante il viaggio verso i siti riproduttivi in primavera e in direzione di quelli di svernamento in autunno; in particolare si è deciso di coprire in modo continuativo e uniforme nei cinque anni il periodo di passaggio dei migratori transahariani.

In alcuni anni si è testato anche il periodo riproduttivo per avere un campione della popolazione delle specie nidificanti.

Foto 13 – I canneti del Centro studi migrazioni Fondo Toce



Relazione tra migrazione primaverile e indici climatici

Per individuare la relazione tra indici climatici e migrazione primaverile sono stati considerati i dati di inanellamento del decennio 2001-2010.

L'obiettivo dell'attività del Centro Studi sulle Migrazione è quello di monitorare principalmente il periodo interessato dalle migrazioni per poter valutare l'importanza dell'area del Fondo Toce quale punto di sosta e di passaggio delle popolazioni di uccelli durante il viaggio verso i siti riproduttivi in primavera e in direzione di quelli di svernamento in autunno; in particolare si è deciso di coprire in modo continuativo ed uniforme nei cinque anni il periodo di passaggio dei migratori transahariani.

In alcuni anni si è testato anche il periodo riproduttivo per avere un campione della popolazione delle specie nidificanti.

Complessivamente in questo periodo di tempo sono state inanellate 117 specie per un totale di 204.545 individui. La specie più inanellata è stata la rondine, con un totale di 147.121 individui inanellati durante i roost post riproduttivi, seguita dalla cannaiola (13.847 individui) dal lui piccolo (6.345 individui) e dal topino (5.803) individui.

I principali gruppi che sono stati identificati sono:

1. Cannaiola e cutrettola, due specie di migratori a lungo raggio che svernano nell’Africa sub-Sahariana. Queste due specie hanno in comune la tendenza ad anticipare la fine della migrazione negli anni più piovosi nella zona del Sahel e con indici NAO primaverili e invernali positivi.

2. Averla Piccola, Cannaiola verdognola, Cannareccione, Forapaglie, Forapaglie macchiettato, Pettazzurro, Luì grosso, Balia nera e Topino, sono specie che svernano nell’Africa sub-sahariana e che mostrano una comune tendenza ad anticipare l’inizio della migrazione negli anni più piovosi nella zona del Sahel e con indici NAO primaverili e invernali positivi.

3. Bigiarella e Pigliamosche, due specie di migratori a lungo raggio che hanno mostrato una comune tendenza a posticipare la prima pentade di passaggio negli anni, relazione negativa con il NAOI invernale.

Foto 14 - Balia nera (*Ficedula hypoleuca*)



Foto: Enrico Caprio

Foto 15 - Cannareccione (*Acrocephalus arundinaceus*)



Foto: Enrico Caprio

L'inanellamento ai roost di rondine

Il Centro Studi sulle Migrazioni di Fondotoce deve la sua popolarità principalmente per il numero di catture di rondini che si radunano alla fine dell'estate per passare la notte protette all'interno del canneto della Riserva. Le catture che superano le 140 mila unità in 10 anni hanno consentito di effettuare un'analisi del rapporto del numero di giovani rispetto al numero di adulti catturati nella stagione estiva/autunnale. Più è alto il numero di giovani rispetto agli adulti, maggiore sarà stato il successo riproduttivo delle rondini. Questo indice è stato messo in relazione con il NAO* (North Atlantic Oscillation index) e il risultato è stato che il numero di giovani rispetto agli adulti risulta essere più elevato negli anni in cui il NAO di aprile risulta positivo. La spiegazione a questo risultato può derivare dal fatto che negli anni in cui il NAO è positivo ad aprile si creano le condizioni meteo-climatiche più favorevoli per la riproduzione che inizia a maggio e prosegue nel periodo giugno-luglio.

Conclusioni

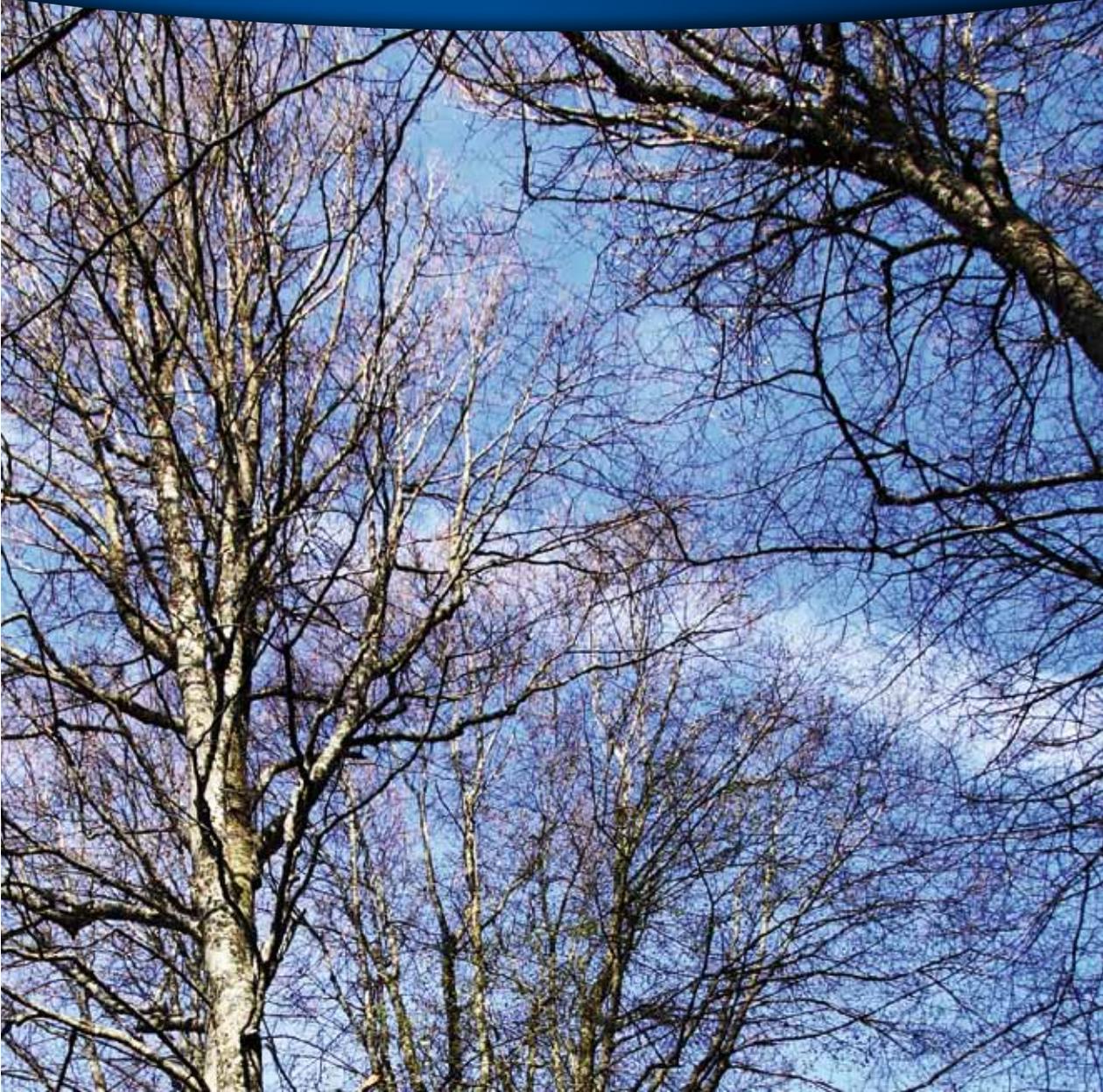
I risultati delle analisi presentati consentono di fare due importanti considerazioni. La prima conferma come la migrazione degli uccelli sia influenzata dalle condizioni climatiche che le specie trovano durante il viaggio e nei quartieri di svernamento e nidificazione e ha permesso di individuare alcuni indicatori per monitorare questa tendenza. La seconda considerazione riguarda l'importanza dei monitoraggi, condotti in maniera continuativa e standardizzata. Lo studio di fenomeni complessi come la migrazione e la fenologia in relazione ai cambiamenti climatici sono possibili soltanto se si hanno a disposizione dati in un lungo periodo, come egregiamente è stato effettuato dal Centro Studi sulle Migrazioni di Fondotoce.

3.10 Proposta di parametri da utilizzare per monitoraggi di lungo termine

Dalle attività del progetto sono emerse proposte di indicatori da utilizzare in programmi di monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico sugli ecosistemi alpini e montani, che per le caratteristiche del fenomeno devono essere necessariamente effettuati sul lungo periodo. Gli indicatori dovranno essere oggetto ancora di approfondimento e sono di tipo abiotico (es. temperatura dell'aria e del suolo, precipitazioni solide e liquide, chimica delle precipitazioni), pedologico (caratteristiche chimiche e fisiche dei suoli), faunistico (pedofauna, Odonati, avifauna) e botanico (abbondanza e distribuzione delle specie vegetali, fenologia).

* L'indice climatico NAO (North Atlantic Oscillation) è rappresentativo della configurazione meteorologica che più influenza la circolazione sull'Europa. La NAO è la modalità dominante durante i mesi invernali sul Nord Atlantico e sulle regioni confinanti, e tiene conto della contrapposizione tra le masse d'aria subtropicali che tendono a spostarsi verso Nord e quelle polari verso Sud. Quando la NAO è positiva la circolazione sull'Atlantico è prevalentemente zonale e tesa, con periodi caldi o miti per l'Europa centro-meridionale e piovosi o nevosi per le zone settentrionali. Nella fase negativa si verifica un rallentamento della corrente a getto, che consente la formazione di strutture cicloniche ad anticloniche estese in latitudine, che favoriscono l'ingresso di correnti gelide e secche sull'Europa settentrionale e infiltrazioni umide e fredde associate a precipitazioni piovose o nevose sull'Europa centro-meridionale.

INDICATORI



4.1 Specie Termosensibili

Nome: Variazioni del numero e delle abbondanze relative di specie vegetali termosensibili, variazioni dell'indicazione termica espressa dalla vegetazione

Descrizione: applicazione alla vegetazione rilevata su superfici standard dell'indice fitoecologico T di Landolt (preferenza delle specie sul gradiente termico), e della numerosità relativa delle specie con valori di Landolt 1 e 2 per visualizzare il trend evolutivo delle specie microterme lungo il transetto altitudinale

Unità di misura: valore medio dell'indice T (temperatura) di Landolt pesato sul valore di abbondanza relativa delle specie, numerosità relativa (aggregata e disaggregata) delle specie microterme (L=1, L=2), che meno tollerano temperature elevate

Periodicità di aggiornamento: 3-5 anni

Nome: Rateo di migrazione altitudinale delle specie vegetali

Descrizione: valutazione dello scostamento nel tempo della quota massima raggiunta dalle piante, in riferimento a dati di letteratura (Flora italiana, S. Pignatti), e di campo (specie ritrovate in più di 30 punti di campionamento casuale nel vallone del Vannino-Formazza)

Unità di misura: metri

Periodicità di aggiornamento: 3-5 anni

Nome: Comunità vegetale e biodiversità.

Descrizione: applicazione alla vegetazione rilevata su superfici standard di indici di ricchezza specifica, dominanza, equiripartizione, per evidenziare scostamenti nel tempo.

Applicazione del sistema di indici di Landolt diversi da T (F, R, N, H, D, L, K) per ottenere indicazioni indirette sulla contemporanea variazione di parametri edafici, pedologici, climatici

Unità di misura: numero di specie, incremento piante vascolari per fascia altitudinale, Indice di Shannon, Indice di Evenness, indici medi F, R, N, H, D, L, K pesati sulle abbondanze relative nella comunità

Periodicità di aggiornamento: 3-5 anni

Nome: Indice di qualità biologica del suolo (QBS-ar, QBS-c)

Descrizione: applicazione a campioni di pedofauna, con particolare approfondimento per i Collemboli, di indici basati sul grado di adattamento alla vita edafica delle specie campionate (Indice Ecomorfologico-EMI). Conteggio degli individui rilevati e considerazione di parametri quali il numero di Forme Biologiche Totali (FBT), il numero di Forme Euedafiche Totali (FET), il

numero di Forme Euedafiche non occasionali (FE n.o.) per confronto con misure di riferimento

Unità di misura: valori Indice QBS-ar e QBSc, numero di individui per gruppi sistematici indicatori (Collemboli Tot, Tisanotteri, Coleotteri EMI20, Araneidi)

Periodicità di aggiornamento: 2 anni

Nome: Temperatura suolo

Descrizione: Misura per ogni punto di rilievo sul gradiente altitudinale della temperatura a 10 cm di profondità nel suolo, tramite installazione di sensori e data loggers (i-button® DS1402D- DR8+) in grado di misurare e registrare la temperatura in continuo, con frequenza oraria, e con una sensibilità di $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, al fine di acquisire i trend delle condizioni termiche del suolo

Unità di misura: $^{\circ}\text{C}$. Elaborazione dati medie trimestrali

Periodicità di aggiornamento: 1 anno

Nome: Giorni con copertura nevosa

Descrizione: La misura della temperatura del suolo a 10 cm di profondità permette di determinare indirettamente anche la data di scomparsa del manto nevoso e la durata della stagione vegetativa

Unità di misura: numero giorni

Periodicità di aggiornamento: 1 anno

4.2 Torbiere

Nome: Superficie occupata dall'habitat

Descrizione: Individuazione delle superfici occupate da comunità di flora briofitica e vascolare (sfagni, briofite palustri, Ciperacee, riferibili alle classi Scheuchzerio-Caricetea ed Oxycocco-Sphagnetea) sensibili a variazioni del contenuto idrico. Distinzione delle superfici occupate dalla componente a maggior oligotrofia (Oxycocco-Sphagnetea), caratteristiche del suolo e della vegetazione al fine di evidenziare eventuali regressioni.

Unità di misura: metri quadrati

Periodicità di aggiornamento: 3 anni

Nome: Presenza di specie guida (flora)

Descrizione: Individuazione delle abbondanze di specie di flora vascolare relitti artico-alpini e di specie indicatrici di torbiera oligotrofica: *Carex pauciflora*, *Eriophorum vaginatum*, *Drosera rotundifolia*, *Sphagnum magellanicum* al fine di definire lo stato di conservazione delle stesse

Unità di misura: abbondanze relative stimate con un rilievo randomizzato delle aree occu-

pate da Oxycocco-Sphagnetea

Periodicità di aggiornamento: 3 anni

Nome: Presenza di specie guida (fauna - Odonati)

Descrizione: individuazione tramite check-list delle presenze di specie boreo-alpine e di specie indicatrici di condizioni più termofile, e stime di abbondanza sulla base di rilievi standardizzati

Unità di misura: ricchezza specifica e abbondanza

Periodicità di aggiornamento: 3 anni (dopo un periodo iniziale di consolidamento delle condizioni della comunità di odonati di riferimento con rilievi annuali)

Nome: Profondità della falda

Descrizione: misura della profondità a cui il substrato risulta saturo di acqua nel primo metro dello strato torboso e della sua distanza dalla superficie, tenendo conto anche di eventuali hummocks.

Unità di misura: distanza in cm dalla superficie stimata con immersione di asta filettata

Periodicità di aggiornamento: 3 anni

Nome: Stock di carbonio e azoto della torbiera

Descrizione: misura a varie profondità (20 e 50 cm) della concentrazione di carbonio e azoto quantificazione dello stock di carbonio nel suolo, per verificare l'entità del serbatoio di sostanza organica nella torbiera e lo stato dei processi di mineralizzazione della stessa.

Unità di misura: t/ha, rapporto C/N

Periodicità di aggiornamento: 3-5 anni

Nome: Flussi di CO₂

Descrizione: valutazione delle emissioni di CO₂ dalla torbiera in periodo invernale e di emissioni e assorbimento in periodo estivo per stimare il tasso di scambio del gas e verificare il ruolo della torbiera come serbatoio o sorgente emissiva

Unità di misura: $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Periodicità di aggiornamento: 1 anno

Nome: Nitrati e ammonio (DIN) nel manto nevoso

Descrizione: valutazione del pool di azoto inorganico immagazzinato nel manto nevoso e input durante la fusione primaverile prontamente disponibile al suolo e alla vegetazione. Confronto con tassi di deposizione rilevati in punti della rete di deposimetri in quota del CNR-IRSA di Pallanza per valutazioni sul *Global Change*

Unità di misura: kg/ha

Periodicità di aggiornamento: 2 anni

Nome: Cationi nelle soluzioni circolanti

Descrizione: determinazione dei principali cationi (calcio, magnesio, potassio e ammonio) nelle acque interstiziali in punti rappresentativi delle diverse comunità vegetali della torbiera

Unità di misura: mg/l, correlazione tra il contenuto di potassio ed il numero di specie individuate nei punti di rilievo

Periodicità di aggiornamento: 2 anni

4.3 Suoli Periglaciali

Nome: Composizione floristica

Descrizione: applicazione alla flora, rilevata su superfici standard a diversa distanza dal fronte glaciale in ritiro o in aree a diversa probabilità di presenza del permafrost, di indici di ricchezza specifica, dominanza, equiripartizione, per evidenziare scostamenti nel tempo, tenendo conto della variabilità dei parametri edafici

Unità di misura: numero di specie, incremento piante vascolari per fascia altitudinale, Indice di Shannon, Indice di Evenness

Periodicità di aggiornamento: 3-5 anni

Nome: Variazioni valori di copertura delle specie vegetali termosensibili

Descrizione: applicazione alla flora rilevata su superfici standard dell'indice fitoecologico T di Landolt (preferenza delle specie sul gradiente termico) per visualizzare il trend evolutivo delle specie microterme lungo il transetto altitudinale

Unità di misura: valore medio dell'indice T (temperatura) di Landolt pesato sul valore di copertura delle specie e sul valore di copertura delle specie microterme con valori 1 e 2 che meno tollerano temperature elevate

Periodicità di aggiornamento: 3-5 anni

Nome: Indici di qualità biologica del suolo QBS-ar e QBS-c

Descrizione: applicazione a campioni di pedofauna, con particolare approfondimento per i Collemboli, di indici basati sul grado di adattamento alla vita edafica delle specie campionate (Indice Ecomorfologico - EMI). Conteggio degli individui rilevati per i Collemboli totali, fam. Onichiuridi, Isotomidi, Ipogastruridi

Unità di misura: valori Indice QBS-ar e QBS-c, numero di individui per gruppi sistematici indicatori

Periodicità di aggiornamento: 2 anni

4.4 Fenologia Erbacea

Nome: Biomassa

Descrizione: prelievo della biomassa prodotta in quadrati di 30 cm x 30 cm (almeno 5 per area). Disseccamento in stufa a secco per 48 ore a 80°C. Il prelievo deve essere effettuato in pascoli alpini non utilizzati ogni 15 giorni nella stagione vegetativa per ottenere una curva di produzione stagionale

Unità di misura: g/m²

Periodicità di aggiornamento: un anno

Nome: Indice di rinverdimento

Descrizione: misura della percentuale di copertura verde in praterie alpine non utilizzate. Si valuta su immagini digitali scattate su quadrati di 50 cm x 50 cm (almeno 5 per area) ogni 15-20 giorni durante la stagione vegetativa.

Unità di misura: % di copertura verde della vegetazione

Periodicità di aggiornamento: un anno

Nome: Andamento riproduttivo specie target

Descrizione: rilevamento della fenologia riproduttiva delle specie oggetto di rilievo (circa 15 individui per area studiata): *Nardus stricta*, *Trifolium alpinum*, *Luzula campestris*, *Heracleum spondylium* a Devero; *Vaccinium myrtillus* a Bognanco e Vannino (plot 4), *Rhododendron ferrugineum*

Unità di misura: stadi della fenologia riproduttiva

Periodicità di aggiornamento: un anno

Nome: Andamento vegetativo specie target

Descrizione: curve di crescita annuali di specie oggetto di rilievo: Nardo; *Vaccinium myrtillus* a Bognanco e Vannino (plot 4), *Rhododendron ferrugineum*

Unità di misura: cm all'anno

Periodicità di aggiornamento: un anno

4.5 Pollini e Variabili Climatiche

Nome: Andamento palinologico

Descrizione: misura variazioni qualitative che si possono verificare nella composizione dell'aerospora per intervento di cause multi fattoriali (variazioni climatiche, fisiologia dei vegetali, cause antropiche), al fine di fornire importanti informazioni dal punto di vista fenologico:

anticipazione nell'inizio della pollinazione, maggiore durata della stagione pollinica,

Unità di misura: data di inizio del periodo principale di pollinazione (PPP), fine del periodo di pollinazione, durata della pollinazione, concentrazione del picco massimo (MPS), **concentrazione totale annuale:** valore massimo in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Periodicità di aggiornamento: un anno

4.6 Fenologia Avifauna Migratoria

Nome: Ultima pentade di passaggio primaverile Migratori nidificanti

Descrizione: inanellamenti relativi a Cannaiola, Cutrettola, migratori a lungo raggio che svernano nell'Africa sub-Sahariana che hanno in comune la tendenza ad anticipare la fine della migrazione negli anni più piovosi nella zona del Sahel e con indici NAO primaverili e invernali positivi

Unità di misura: pentade massima, rapporto con NAO primaverile e invernale

Periodicità di aggiornamento: annuale

Nome: Pentade arrivo Transahariani

Descrizione: inanellamenti relativi a Averla Piccola, Cannaiola verdognola, Cannareccione, Forapaglie, Forapaglie macchiettato, Pettazzurro, Lui grosso, Balia nera e Topino, specie che svernano nell'Africa sub-sahariana e che mostrano una comune tendenza ad anticipare l'inizio della migrazione negli anni più piovosi nella zona del Sahel e con indici NAO primaverili e invernali positivi

Unità di misura: pentade minima, rapporto con NAO primaverili

Periodicità di aggiornamento: annuale

Nome: Pentade arrivo Migratori a lungo raggio

Descrizione: inanellamenti di Bigiarella e Pigliamosche, specie di migratori a lungo raggio che hanno mostrato una comune tendenza a posticipare la prima pentade di passaggio negli anni, relazione negativa con il NAO invernale

Unità di misura: pentade minima, rapporto con NAO invernale

Periodicità di aggiornamento: annuale

Nome: Produttività e successo riproduttivo Rondine

Descrizione: dati dei *roost post-riproduttivi* di rondini, con analisi del rapporto nel numero di giovani rispetto al numero di adulti catturati nella stagione estiva/autunnale. Più è alto il numero di giovani rispetto agli adulti, maggiore sarà stato il successo riproduttivo delle rondini. Questo indice è in relazione con un NAO di aprile positivo, che crea condizioni meteo-

climatiche più favorevoli per la riproduzione che inizia a maggio e prosegue a giugno e luglio.
Possibilità analisi muta sospesa.

Unità di misura: rapporto JUV/AD, rapporto con NAO di aprile

Periodicità di aggiornamento: annuale

MODELLIZZAZIONE ECOLOGICA DEL VALLONE DEL VANNINO



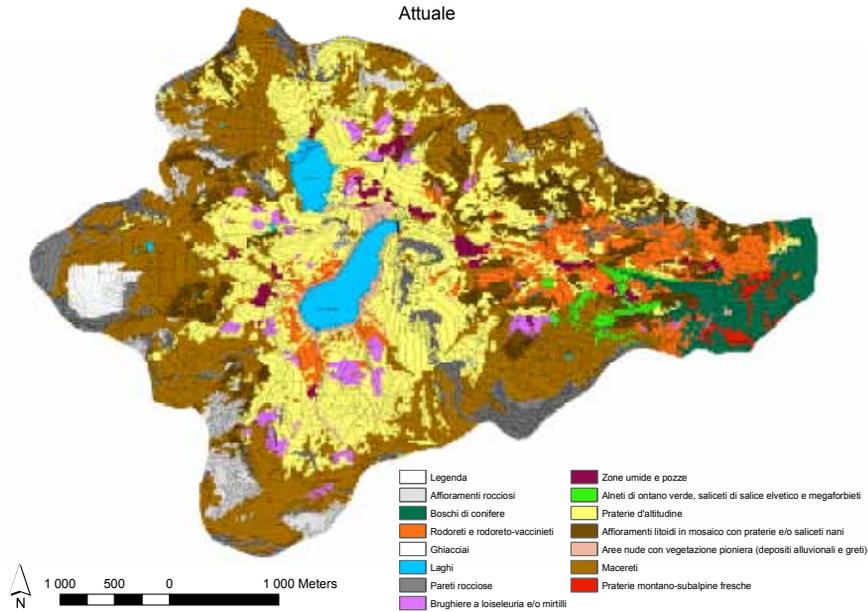
La modellizzazione ecologica è uno strumento che consente di approfondire le conoscenze relative alle risposte della vegetazione e fauna alpina ai cambiamenti climatici e su queste basare le azioni di pianificazione e gestione dell'ambiente, per conservare la biodiversità tenendo conto dei cambiamenti climatici. A tal fine si è realizzata una sperimentazione nel Vallone del Vannino in comune di Formazza (VB) di modelli di distribuzione delle specie vegetali, di modelli di idoneità faunistica e di valutazione della variazione del contenuto di carbonio organico nel suolo.

5.1 Modello di distribuzione delle specie vegetali

I Modelli di distribuzione delle specie sono strumenti che consentono di stimare come i cambiamenti climatici potranno influire sugli areali di distribuzione delle specie.

In campo botanico i modelli definiscono i parametri ambientali della nicchia ecologica “realizzata” delle specie floristiche di cui è accertata la presenza. Quindi individuano ambiti geografici in uno scenario di clima modificato che possano ancora essere caratterizzati da parametri ambientali consoni alla nicchia realizzata nel presente e assegnano un valore di probabilità di presenza tanto più vicino a 1 (presenza certa) quanto più l'area minima cartografata (in questo caso una cella di 25x25m) ha caratteristiche più vicine all'ottimo di idoneità ambientale della specie. Per la sperimentazione è stata eseguita una stima dei possibili effetti dei cambiamenti climatici su 83 specie vegetali, censite nell'attività di campionamento floristico eseguito in 148 punti su una maglia regolare nel Vallone del Vannino. Tale attività ha visto l'utilizzo del modello statistico *Random Forest* per le stime degli areali potenziali di ciascuna delle 83 specie individuate, in condizioni di clima attuale (media del trentennio 1961-90) e di clima futuro (2080) secondo i due scenari IPCC A1B e A1Fi. Il primo ipotizza un incremento termico più basso, il secondo stima un incremento termico molto più importante. La finestra temporale per la valutazione degli scenari futuri è riferita alla media del trentennio di fine secolo 2071-2100 (2080) in cui, secondo analoghi studi, si prevede un picco di estinzioni locali di specie alpine. Al fine di effettuare una valutazione delle modifiche sull'assetto ambientale dell'area sono state individuate delle Unità Ambientali Attuali mediante la fotointerpretazione, mentre le Unità Ambientali Future sono state derivate sulla base delle specie maggiormente rappresentative, che superano determinate soglie di probabilità di presenza. Al fine di affinare il risultato finale, si è proceduto introducendo anche soglie basate su parametri morfologici (quota, esposizione), le valanghe e per quanto riguarda i boschi di conifere e i rodoreti e rodoreto-vaccinieti, anche l'altitudine, in base all'esame delle foto aeree storiche.

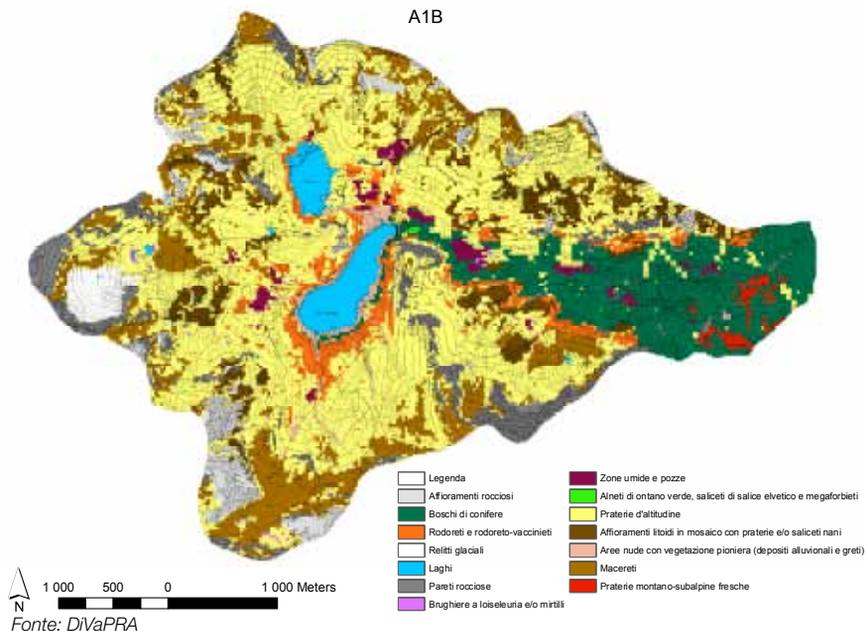
Figura 18 - Carta delle unità ambientali attuali nel bacino del Vannino



Fonte: DIVaPRA

Dal confronto tra la carta di distribuzione attuale e quelle relative agli scenari futuri (Figura 18) è emerso come l'applicazione del modello preveda un generale incremento della superficie dei boschi di conifere. Secondo lo scenario A1B si può prevedere una generale contrazione delle superfici a rodoreto, così come delle brughiere a loiseleuria e degli alneti.

Figura 19 - Carta delle unità ambientali future (scenario A1B) nel bacino del Vannino



5.2 Modello ecologico faunistico. Idoneità Ambientale

Per la modellizzazione faunistica è stato utilizzato il modello di idoneità faunistica BIOMOD, elaborato da Arpa Piemonte, che consente di effettuare valutazioni della variazione di disponibilità di *habitat* attraverso il confronto tra lo stato attuale e i differenti scenari, risultati dall'applicazione modellistica vegetazionale.

Si è selezionata come specie su cui applicare il modello la pernice bianca (*Lagopus mutus*), tipica di ambienti nivali.

Foto 16 - Pernice bianca

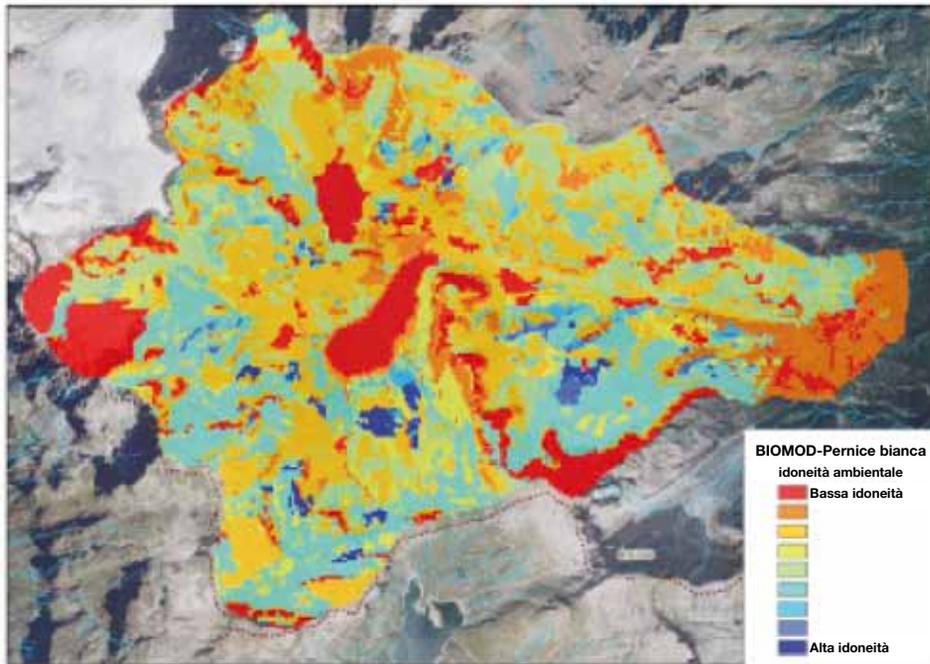


Foto: Andrea Battisti

Nelle figure 20 e 21 si presentano gli output dei modelli di idoneità ambientale per la pernice bianca nello scenario attuale e nello scenario A1B, senza l'applicazione del parametro altitudine. Per lo scenario A1B sono state infatti eseguite 2 differenti elaborazioni, una con l'inserimento della variabile altitudine e un'altra senza; la modificazione nel tempo di tale variabile infatti viene già rappresentata, almeno in parte, nel modello vegetazionale. Nella versione con altitudine si è viceversa applicata un'interpolazione seguendo una trasformazione termodinamica adiabatica secca che esprime di quanto nello scenario si sposteranno le temperature medie attualmente riscontrate nella fascia altitudinale preferita dalla specie.

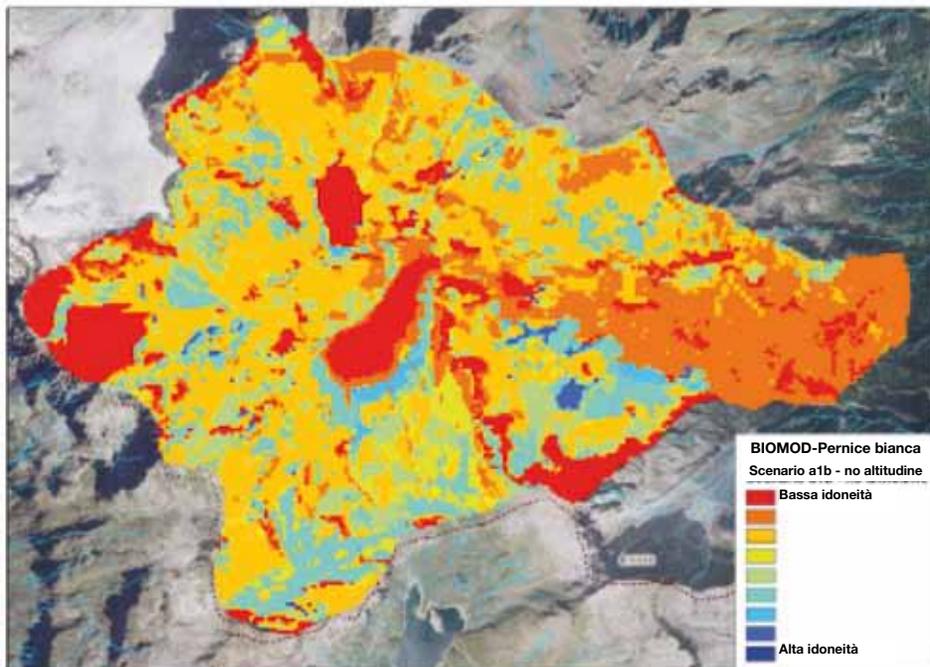
Entrambi gli scenari futuri presentano una sensibile riduzione dell'habitat idoneo alla pernice bianca nel vallone del Vannino.

Figura 20 - Carta dell'idoneità ambientale attuale per la pernice Bianca nel vallone del Vannino



Fonte: Arpa Piemonte

Figura 21 - Carta dell'idoneità ambientale per la pernice Bianca nello scenario futuro A1B nel vallone del Vannino



Fonte: Arpa Piemonte

5.3 Il modello Century di valutazione della variazione del contenuto di carbonio organico nel suolo

Il problema della riduzione delle emissioni di anidride carbonica è attualmente di fondamentale importanza per la stabilizzazione delle condizioni climatiche future. Oltre a cercare di ridurre le emissioni, è necessario incrementare le conoscenze sui reali quantitativi di CO₂ che possono essere emessi o assorbiti dalle diverse componenti che entrano in gioco nel bilancio globale (combustibili fossili, oceani, piante, suolo, ecc.).

La valutazione delle variazioni del carbonio organico del suolo è di grande interesse nell'ambito delle attività elencate negli Articoli 3.3. (forestazione, deforestazione) e 3.4. (gestione forestale ed agricola, gestione dei pascoli) del Protocollo di Kyoto. Gli ecosistemi montani sono particolarmente vulnerabili ai cambiamenti climatici e cambiamenti nello stock di carbonio del suolo possono significativamente influenzare la dotazione idrica e di nutrienti delle foreste e la stabilità dei pendii, con modifiche dei servizi ecosistemici e con conseguenze socio-economico per le regioni alpine assolutamente non trascurabili.

Ne deriva l'estrema importanza di valutare gli effetti dei cambiamenti climatici in ambiente alpino sulle proprietà del suolo in generale e la dotazione di carbonio particolare.

La frazione terrestre di carbonio, composta dalla vegetazione e dalla sostanza organica del suolo (SOM) è complessivamente pari a 2100 Gt, ed è quasi il triplo della frazione atmosferica. Dati gli elevati scambi che intercorrono tra l'atmosfera e la frazione terrestre si può affermare che quest'ultima gioca un ruolo molto importante nel controllo della concentrazione di carbonio nell'atmosfera.

Per quantificare lo scambio netto di anidride carbonica tra il suolo e l'atmosfera, l'impiego di modelli per lo studio delle dinamiche del carbonio del suolo, comprese le interazioni con l'atmosfera, è diventato di normale utilizzo.

In questo progetto per lo studio delle dinamiche del carbonio nel suolo è stata impiegata la versione 4.5 del Modello *Century* un modello che riesce a simulare la dinamica del carbonio organico, dell'azoto, del fosforo e dello zolfo per differenti sistemi suolo-pianta.

.Per simulare la dinamica del carbonio nei primi 20 cm di suolo, il modello utilizza la media mensile delle temperature massime e minime e le precipitazioni medie mensili, fattori in grado di influenzare i serbatoi di sostanza organica. In ogni punto di campionamento, in corrispondenza dei siti oggetto dell'indagine vegetazionale, il modello è stato applicato considerando dati climatici, tessitura del suolo, densità apparente, tipo di uso del suolo.

In totale sono stati campionati 82 punti nell'area del Vannino, considerando 2 profondità: 0-10 cm e 10-20 cm. Si tratta nella maggior parte dei casi di orizzonti di tipo A, ossia orizzonti composti sia da frazione minerale che da frazione organica (*humus*) intensamente alterato e rimescolato da radici e pedofauna.

I campioni, essiccati e setacciati a 2 mm, sono stati analizzati per la determinazione della tessitura apparente, del pH, della conducibilità elettrica (CE) e della concentrazione di carbonio (C) e azoto (N).

Il calcolo degli stock attuali di C è stato effettuato considerando la densità apparente del suolo (grazie al prelievo del suolo a volume) e la percentuale di scheletro, cioè la frazione maggiore di 2 mm.

Nel valutare eventuali effetti della copertura vegetale del suolo sui parametri del suolo indagati, si è scelto di suddividere le coperture del suolo in quattro differenti categorie:

- foresta di conifere (*Picea abies*, *Larix decidua*)
- prateria (*Carex curvula*, *Agrostis sp.*, *Nardus stricta*)
- cespuglieto (*Juniperus communis*, *Rhododendron ferragineum*, *Vaccinium sp.*)
- macereto (*Salix sp.*, *Leucantheropsis alpina*, *Luzula alpinopilosa*, *Silene acaulis*).

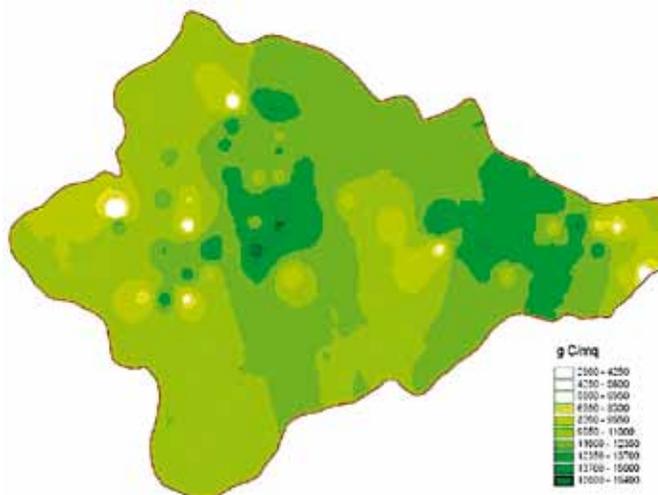
All'aumentare della quota, nei primi 10 cm di suolo diminuiscono in maniera significativa le concentrazioni di carbonio e azoto, così come la percentuale delle particelle più fini (limo e argilla) mentre aumentano in maniera significativa le percentuali di sabbia e scheletro.

Per quanto concerne le praterie d'alta quota, il valore medio di immagazzinamento del carbonio rilevato è stato pari a 11.000 g/m² in concordanza con altri studi relativi ai suoli di prateria alpina, ad esempio in alta Valsesia.

L'accumulo di carbonio è risultato maggiore nei primi 10 cm di profondità, con un valore pari a 5.867 g/m² mentre alla profondità fra 10 e 20 cm è risultato pari a 4.890 g/m².

L'informazione pedologica relativa al contenuto di carbonio (g/m²), a seguito di un procedimento di spazializzazione ha consentito di ottenere una superficie statistica cui risultato finale è riportato nella carta della figura 22.

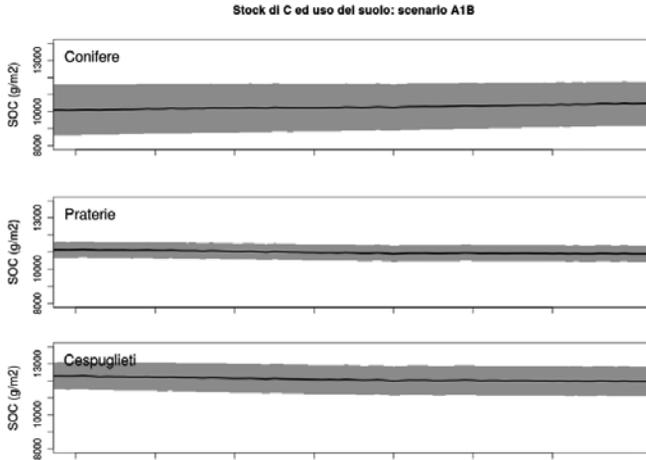
Figura 22 - Spazializzazione dell'informazione pedologica



Fonte: DiVaPRA

Gli andamenti del quantitativo di carbonio del suolo in relazione allo scenario IPCC A1B, per le diverse coperture del suolo oggetto di studio sono riportati nella figura 23.

Figura 23 - Stock di carbonio (g/m²) dei differenti usi del suolo secondo lo scenario A1B



Scree-plants = macereti

Per quanto concerne lo scenario A1B, lo stock di carbonio risulta stabile rispetto a quello attuale o in leggera diminuzione al di sotto di tutte le differenti coperture vegetali, ad eccezione del bosco di conifere, dove invece si osserva un significativo incremento dello stock di C. Tale possibile incremento dello stock di C in suoli forestali è stato evidenziato anche in altri studi ed è spiegabile con l'influenza del cambiamento di fattori climatici, quali precipitazione e temperatura, sulla produttività vegetale, i tassi di mineralizzazione, con conseguenti effetti sui pool della sostanza organica.

BIBLIOGRAFIA

Cambiamenti Climatici

Attorre F., Bruno F., Danovaro R., Ferrari I., Gatto M., Navarra A. & Valentini R. 2010. Cambiamenti climatici e biodiversità. Studio della mitigazione e proposte per l'adattamento. *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare*. Esiti del tavolo tecnico

Alparc. 2010. Biodiversity in time of climate change: management or wilderness?

Migrazione delle Specie Termosensibili (Vegetazione e Pedofauna)

Caimi A., Freppaz M., Filippa G., Buffa G., Rivella E., Griselli B., Parodi A. & Zanini E. 2010. Soil, phyto and zoocenosis characteristics along an elevational gradient in the Alps (NW Italy). *Geophysical Research Abstracts*, 12.

Cassagne N., Spiegelberger T., Cécillon L., Juvy B. & Brun J.J. 2008. The impact of soil temperature increase on organic matter and faunal properties in a frozen calcareous scree in the French Alps. *Geoderma*, 146: 239-247

Gobbi M., Rossaro B., Vater A., De Bernardi F., Pelfini M. & Brandmayr P. 2007. Environmental features influencing Carabid beetle (Coleoptera) assemblages along a recently deglaciated area in the Alpine region. *Ecological Entomology*, 32:682-689

Jucevica E. & Melecis V. 2006. Global warming affect Collembola community: A long-term study. *Pedobiologia*, 50:177-184

Lenoir J., Gégout J.C., Marquet P.A., De Ruffray P. & Brisse H. 2008. A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century. *Science*, 320:1768-1771

Mondoni A., Probert R.J., Rossi G., Vegini E. & Hay F.R. 2010. Seeds of alpine plants are short lived: implications for long-term conservation. *Annals of Botany*, 1-9

Parolo G. & Rossi G. 2007. Upward migration of vascular plants following a climate warming trend in the Alps. *Basic and Applied Ecology*, doi:10.1016/j.baae.2007.01.005

Peterson A.T., Stewart A., Mohamed K.I., Araújo M.B. 2008. Shifting Global Invasive Potential of European Plants with *Climate Change*. *PLoS ONE*, 3(6): e2441

Randin C.F., Engler R., Pearman P.B., Vittoz P. & Guisan A. 2009. Using georeferenced databases to assess the effect of climate change on alpine plant species and diversity. *Data Mining for Global Trends in Mountain Biodiversity*, 15:149-163

Theurillat J.P. & Guisan A. 2001. Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: a review. *Climate Change*, 50:77-109

Vittoz P. & Guisan A. 2007. How reliable is the monitoring of permanent vegetation plots? A test with multiple observers. *Journal of Vegetation Science*, 18:413-422

Vittoz P., Bodin J., Ungricht S., Burga C.A. & Walther G.R. 2008. One century of vegetation change on Isle Persa, a nunatak in the Bernina massif in the Swiss Alps. *Journal of Vegetation Science*, 19:671-680

Vittoz P., Dussex N., Wassef J. & Guisan A. 2008. Plant traits discriminate good weak colonisers on high elevation summits. *Summit à Basic and Applied Ecology*.

Vittoz P., Jutzeler S. & Guisan A. 2006. Flore alpine et réchauffement climatique: observation de trois sommets valaisans à travers le XXe siècle. *Bulletin de la Murithienne*, 123:49-59

Vittoz P., Randin C., Dutoit A., Bonnet F. & Hegg O. 2008. Low impact of climate change on subalpine grasslands in the Swiss Northern Alps. *Global Change Biology*, 14:1-12

Vittoz P., Rulence B., Largey T. & Freléhoux F. 2008. Effect of Climate and Land Use Change on the Establishment

and Growth of Cembran Pine (*Pinus cembra* L.) over the Altitudinal Treeline Ecotone in the Central Swiss Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 40(1):225-232

Neve e Pedoclima

- Rixen C., Freppaz M., Stoeckli V., Huovinen C., Huovinen K. & Wipf S. 2008. Altered snow density and chemistry change soil nitrogen mineralization and plant growth. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 40(3):568-575
- Filippa G., Freppaz M., Liptzin D., Seok B., Chowanski K., Hall B., Helmig D. & Williams M.W. 2009. Winter and summer nitrous oxide and nitrogen oxides fluxes from a seasonally snow-covered subalpine meadow at Niwot Ridge, Colorado. *Biogeochemistry* 95 (1):131-149
- Edwards A.C., Scalenghe R. & Freppaz M. 2007. Changes in the seasonal snow cover of alpine regions and its effect on soil processes: a review. *Quaternary International*, 162-163:172-181
- Freppaz M., Filippa G., Caimi A., Buffa G. & Zanini E. 2010. Soil and plant characteristics in the alpine tundra (NW Italy). In Gutierrez B. (Ed.). *Tundras: vegetation, wildlife and climate trends*. Nova Publisher, New York, 81-110
- Freppaz M., Marchelli M., Celi L., & Zanini E. 2008. Snow removal and its influence on temperature and N dynamics in alpine soils (Vallée d'Aoste - NW Italy). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171:672-680
- Freppaz M., Williams B.L., Edwards A.C., Scalenghe R. & Zanini E. 2007. Simulating soil freeze/thaw cycles typical of winter alpine conditions: implications for N and P availability. *Applied Soil Ecology*, 35:247-255
- Godone D., Filippa G., Terzago S., Rivella E., Salandin A., Barbero S., Garnero G., & Freppaz M. 2011. Snow Cover Extent and Duration in MODIS Time Series: A Comparison with in-situ Measurements (Provincia Verbano Cusio Ossola, NW Italy). *International Journal of Environmental Protection* (ISSN:2224-7777), 1:7-11

Vegetazione Periglaciale

- Caccianiga M., Andreis C., Diolaiuti G., D'Agata C., Mihalcea C. & Smiraglia C. 2011. Alpine debris-covered glaciers as a habitat for plant life. Research paper, doi 10.1177/0959683611400219
- Cannone N., Diolaiuti G., Guglielmin M. & Smiraglia C. 2008. Accelerating climate change impacts on alpine glacier forefield ecosystems in the European Alps. *Ecological Applications*, 18(3):637-648
- Gobby M., Caccianiga M., Cerabolini B., De Bernardi F., Luzzaro A. & Pierce S. 2010. Plant adaptive responses during primary succession are associated with functional adaptations in ground beetles on deglaciated terrain. *Community Ecology*, 11(2): 223-231
- Pirola A. 2003. Le variazioni della vegetazione periglaciale come espressione delle variazioni climatiche. *Informatore Botanico Italiano*, 35:406-410
- Schob C., Kammer P.M., Choler P. & Veit H. 2009. Small-scale plant species distribution in snowbeds and its sensitivity to climate change. *Plant Ecology*, 200:91-104
- Vonlanthen C.M., Kammer P.M., Eugster W., Bühler A. & Veit H. 2006. Alpine vascular plant species richness: the importance of daily maximum temperature and pH. *Plant Ecology*, 184: 13-25
- Vonlanthen C.M., Kammer P.M., Eugster W., Bühler A. & Veit H. 2006. Alpine plant communities: a statistical assessment of their relation to microclimatological, pedological, geomorphological, and other factors. *Physical Geography*, 27, 2:137-154

Torbiere Vegetazione e Pedoclima

- Béguin C. & Perruchoud V. 2010. Marmottes et paysages végétaux. *Bulletin Murithienne*, 127:53-63
- Edwards A.C., Scalenghe R. & Freppaz M. 2007. Changes in the seasonal snow cover of alpine regions and its

effect on soil processes: a review. *Quaternary International*, 162-163:172-181

Filippa G., Freppaz M., Williams M.W. & Zanini E. 2010. Major element chemistry in inner alpine snowpacks (Aosta valley Region, NW Italy). *Cold Regions Science and Technology*, doi:10.1016/j.coldregions.2010.07.005

Ruschetta S., Mosello S., Carcano A., Marchetto A., Tartari G.A., Tornimbeni O., Defilippi A., Gallo R. & Sartoris L. 2006. Trace metal measurements in atmospheric depositions at three sites in Northern Italy. Methodology and preliminary results. *Forest snow and Landscape Research*, 80(2):191-200

Torbiere Odonati

Bionda R., Mekkes J.J., Pompilio L. & Mosini A. 2011. Gli odonati del parco naturale delle Alpi Veglia e Devero e dintorni. *Rivista Piemontese di Storia Naturale*, Carmagnola

Boano G., Sindaco R., Riservato E., Fasano S. & Barbero R. 2007. Atlante degli Odonati del Piemonte e della Valle d'Aosta. *Memorie dell'Associazione Naturalistica Piemontese*. Volume VI. Carmagnola

Clemente F., Bionda R., Cigognini R., Mekkes J.J., Orlandi R. & Pompilio L. 2011. Aggiornamento delle conoscenze odonatologiche nel Verbano Cusio Ossola (Alpi occidentali, Piemonte) dopo la pubblicazione dell'Atlante regionale (Boano et al., 2007). Atti del V Convegno Le libellule in Italia, Cremona, 15-16/10/2011

Conze K.J., Grönhagen N., Lohr M. & Menke N. 2010. Trends in occurrence of thermophilous dragonfly species in North Rhine-Westphalia (NRW). *BioRisk*, 5:31-45

De Knijf, G. & Anselin A. 2010. When south goes north: Mediterranean dragonflies (Odonata) conquer Flanders (North-Belgium). *BioRisk*, 5:141-153

Dijkstra K.D.B. & Lewington R. 2006. Field Guide to the Dragonflies of Britain and Europe. British Wildlife Publishing, Dorset, 320

Goffart P. 2010. Southern dragonflies expanding in Wallonia (south Belgium): a consequence of global warming? *BioRisk*, 5:109-126

Ketelar R. & Plate C. 2001. Manual Dutch Dragonfly monitoring Scheme. Report VS2001.028, *Dutch Butterfly Conservation, Wageningen*

Khrokalo L. 2010. Expansion of *Crocothemis erythraea* in Ukraine. *BioRisk*, 5:211-223

Oertli B. 2010. The local species richness of Dragonflies in mountain waterbodies: an indicator of climate warming? *BioRisk*, 5:243-251

Ott J. 2010. Dragonflies and climatic change - recent trends in Germany and Europe. *BioRisk*, 5:253-286

Parr A. 2010. Monitoring of Odonata in Britain and possible insights into climate change. *BioRisk*, 5:127-139

Pompilio L. 2011. Monitoraggio di Odonati in due torbiere subalpine nel Verbano Cusio Ossola (Alpi Occidentali). Atti del V Convegno Le libellule in Italia, Cremona, 15-16/10/2011

Termaat T., Kalkman V. & Bouwman J. 2010. Changes in the range of dragonflies in the Netherlands and the possible role of temperature change. *BioRisk*, 5:155-173

Fenologia Erbacea

Caccianiga M., Andreis C. & Cerabolini B. 2001. Vegetation and environmental factors during primary succession on Glacier forelands: some outlines from the Italian Alps. *Plant Biosystems*, 135(3):1-20

Caccianiga M., Luzzaro A., Pierce S., Ceriani R.M. & Cerabolini B. 2006. The functional basis of primary succession resolved by CSR classification. *Oikos*, 112:10-20

Cerabolini B., Brusa G., Ceriani R.M., De Anderis R., Luzzaro A. & Pierce S. 2010. Can CSR classification be generally applied outside Britain? *Plant Ecology*, 210:253-261

- Cord L.P. & Boris S. 2004. Predicting the species composition of *Nardus stricta* communities by logistic regression modelling. *Journal of Vegetation Science*, 15:623-634
- Defila C. & Studer S. 2003. Phytophenology trends in the Swiss Alps. *Informatore Botanico Italiano*, 35(2):399-401
- Inouye D.W., Saavedra F. & Lee-Yang W. 2003. Environmental influences on the phenology and abundance of flowering by *Androsace septentrionalis* (Primulaceae). *American Journal of Botany*, 90(6):905-910
- Peñuelas J., Filella I. & Comas P. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 8:531-544
- Sherry R.A., Zhou X., Gu S., Arnone III J.A., Schimel D.S., Verburg P.S., Wallace L.L. & Luo Y. 2007. Divergence of reproductive phenology under climate warming. *PNAS*, 104:198-202

Fenologia Avifauna Migratoria

- Both C. & Te Marvelde L. 2007. Climate change and timing of avian breeding and migration throughout Europe. *Climate Research*, 35:93-105
- Chamberlain D., Arlettaz R., Caprio E., Maggini R., Pedrini P., Rolando A. & Zbinden N. 2012. The altitudinal frontier in avian climate impact research. *The International Journal of Avian Science*, 154:205-209
- Péron G., Henry P.Y., Provost P., Dehorter O. & Julliard R. 2007. Climate changes and post-nuptial migration strategy by two reedbed passerines. *Climate Research*, 35:147-157
- Saino N., Ambrosini R., Rubolini D., Von Hardenberg J., Provenzale A., Hüppop O., Lehikoinen E., Rainio K., Romano M. & Sokolov L. 2010. Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B*, doi:10.1098/rspb.2010.1778
- Saino N., Ambrosini R., Rubolini D., Von Hardenberg J., Provenzale A., Romano M. & Spina F. 2009. Spring migration decisions in relation to weather are predicted by wing morphology among trans-Mediterranean migratory birds. *Functional Ecology*

Pollini

- Aira M.J., Dopazo A., & Jato M.V. 2001. Aerobiological monitoring of Cupressaceae pollen in Santiago de Compostela (NW Iberian peninsula) over six years. *Aerobiologia*, 17:319-325
- Alba F. & Diaz de la Guardia C. 1998. The effect of air temperature on the starting dates of the *Ulmus*, *Platanus* and *Olea* pollen seasons in the SE Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 14:191-194
- Cariñanos P., Galan C., Alcázar P., & Dominguez E., 2004. Airborne pollen records response to climatic conditions in arid areas of the Iberian peninsula. *Environmental and Experimental Botany*, 52:11-22
- Casini E., Mercuri A.M., Torri P., & Accorsi C.A. 2006. Rilascio di polline e temperatura: il caso di *Taxus*. *GEA*; 1:195-196
- Emberlin J., Smith M., Close R., & Adams-Groom B. 2007. Changes in the pollen seasons of the early flowering trees *Alnus* spp. and *Corylus* spp. in Worcester, United Kingdom, 1996-2005. *International Journal of Biometeorology*, 51:181-191
- Faust M. 1989. Physiology of Temperate Zone Fruit Trees. New York: *John Wiley*, 188-9
- Frenquelli G., & Bricchi E. 1998. The use of the phenol-climatic model for forecasting the pollination of some arboreal taxa. *Aerobiologia*, 14:39-44
- Frenquelli G., Tedeschini E., Veronesi F., & Bricchi E. 2002. Airborne pine (*Pinus* spp.) pollen in the atmosphere of Perugia (Central Italy): behaviour of pollination in the two last decades. *Aerobiologia*, 18(3-4):223-228
- Goldberg C., Buch H., Moseholm L., & Weeke E.V. 1988. Airborne pollen records in Denmark, 1977-1986. *Grana*,

27:209-217

Lejoly-Gabriel M. 1978. Recherches ecologiques sur la pluie pollinique en Belgique. *Acta Geographica Lovaniensia*, 374 pp

Puppi G., & Zanotti A.L. 2003. Serie temporali di dati fenologici di specie legnose (Provincia di Bologna). Atti del 98° Congresso della Società Botanica Italiana, Catania 24 -26 settembre 2003

Rizzi-Longo L., Pizzulin-Sauli M. & Ganis P. 2005. Aerobiology of Fagaceae pollen in Trieste. *Aerobiologia*, 21:217-231

Rodriguez-Rajó F.J., Frenguelli G., & Jato V. 2003. The influence of air temperature on the starting date of *Quercus* pollination in the South of Europe. *Grana*, 42:145-152

Tedeschini E. 2006. Il monitoraggio pollinico: uno strumento per valutare il cambiamento climatico. *GEA*, 1:32-33

Tedeschini E., Rodriguez-Rajó F., Caramiello R., Jato V., & Frenguelli G. 2006. The influence of climate changes in *Platanus* spp. Pollination in Spain and Italy. *Grana*, 45:222-229

Modelli Ecologici

Attorre F., Alfò M., De Sanctis M., Francesconi F., Valenti R., Vitale M. & Bruno F. 2010. Evaluating the effects of climate change on tree species abundance and distribution in the Italian peninsula. *Applied Vegetation Science*, 1-14. doi: 10.1111/j.1654-109x.2010.01114x

Attorre F., Alfò M., De Sanctis M., Francesconi F., & Bruno F. 2007. Comparison of interpolation methods for mapping climatic and bioclimatic variables at regional scale. *International Journal of Climatology*, 27:1825-1843

Attorre F., Collalti A., Francesconi F., Valenti R., & Bruno F. 2008. Produzione di mappe climatiche e bioclimatiche mediante Universal Kriging con deriva esterna: teoria ed esempi per l'Italia. *Forest@*, 5 (1):8-19

Chiti T., Certini G., Perugini L., Mastrolonardo G., Papale D. & Valentini R. 2010°. Soil carbon dynamics in a Mediterranean forest during the Kyoto Protocol commitment period. *Reg Environ Change*, doi 10.1007/s10113-010-0141-5

Chiti T., Papale D., Smith P., Dalmonch D., Matteucci G., Yeluripati J., Rodeghiero M. & Valentini R. 2010b. Predicting changes in soil organic carbon in Mediterranean and alpine forests during the Kyoto Protocol commitment periods using the CENTURY model. *Soil Use and Management*, doi: 10.1111/j.1475-2743.2010.00300.x

Cord P.L. & Boris S. 2004. Predicting the species composition of *Nardus stricta* communities by logistic regression modeling. *Journal of Vegetation Science*, 15:623-634

Gehring-Fasel J., Guisan A. & Zimmermann N.E. 2008. Evaluating thermal treeline indicators based on air and soil temperature using an air-to-soil temperature transfer model. *Ecological Modelling*, 213:345-355

Guisan A. & Thuiller W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 8:993-1009

Maffiotti A., Vietti D., & Ferrarato M. 2007. Conservation of biodiversity in the alpine lakes. Lakes management tools on a regional and local scale. Interreg IIIB Alpine Space, Progetto Alplakes-Torino

Parton W.J. Rasmussen P.E. 1994. Long-term effects of crop management in wheat-fallow: II. CENTURY model simulations. *Soil Science Society of American Journal*, 58:530-536

Pearce J. & Ferrier S. 2000. Evaluating the predictive performance of habitat models developed using logistic regression. *Ecological Modelling*, 133:225-245

Phillips S.J., Dudik M. & Schapire R.E. 2004. A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling . Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning, New York

Soberón J. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, 10:1115-1123

Thuiller W., Lafourcade B., Engler R. & Araújo M.B. 2009. BIOMOD-a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32:369-373

Thuiller W.. 2003. BIOMOD-optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 9:1353-1362

Pernice Bianca

Favaron M., Scherini G.C., Preatoni D., Tosi G. & Wauters L.A. 2006. Spacing behaviour and habitat use of rock ptarmigan (*Lagopus mutus*) at low density in the Italian Alps. *Journal of Ornithology*, 147:618-628

Scherini G., Tosi G. & Wauters L.A. 2003. Social behaviour, reproductive biology and breeding success of Alpine Rock Ptarmigan *Lagopus mutus helveticus* in northern Italy. *Ardea*, 91(1):11-23

Watson A., Moss R. & Rae S. 1998. Population dynamics of Scottish rock Ptarmigan cycles. *Ecology*, 79(4):1174-1192