

Il cambiamento climatico: le attività di Arpa Piemonte su stato, impatti e risposte



The PermaNET project is part of the European Territorial Cooperation and co-funded by the European Regional Development Fund (ERDF) in the scope of the Alpine Space Programme - website: www.alpine-space.eu.



IL CAMBIAMENTO CLIMATICO: LE ATTIVITÀ DI ARPA PIEMONTE SU STATO, IMPATTI E RISPOSTE

GIUGNO 2011

Il cambiamento climatico: le attività di Arpa Piemonte su stato, impatti e risposte

Coordinamento Redazionale

Cristina Converso, Luca Paro

Con la collaborazione di **Pina Nappi**

Autori

Clima

Daniele Cane, Chiara De Luigi, Christian Ronchi

Arpa Piemonte, Sistemi Previsionali

Permafrost

Luca Paro

Arpa Piemonte, Geologia e dissesto

Biodiversità

Lucia Borasi, Alberto Maffiotti, Enrico Rivella

Arpa Piemonte, Dipartimento di Alessandria; Area Funzionale Tecnica

Salute

Cristiana Ivaldi, Renata Pelosini

Arpa Piemonte, Epidemiologia e salute ambientale; Sistemi Previsionali

Adattamento tra necessità e opportunità

Renata Pelosini

Arpa Piemonte, Sistemi Previsionali

Hanno collaborato

Simona Barbarino, Barbara Cagnazzi, Giovanni Paesano - Arpa Piemonte

Nadia Ciccarelli, Jost von Hardenberg - ISAC CNR Torino

Luisa Reiner - IPLA

Coordinamento editoriale

Arpa Piemonte, Comunicazione Istituzionale

Fotografie

Lucio Beccari - Regione Piemonte

Carlo Maggiore, Luca Paro, Federico Regis - Arpa Piemonte

Guido Ferrero Regis

Ideazione e progetto grafico: **Chroma**, Torino

Finito di stampare nel mese di giugno 2011 presso la tipografia

Litografia Viscardi, Alessandria

Stampato su carta riciclata al 100% che ha ottenuto il marchio di qualità ecologica Ecolabel Europeo



ISBN 978-88-7479-127-9

Copyright © 2011, Arpa Piemonte

Via Pio VII, 9 – 10135 Torino – Italia – www.arpa.piemonte.it

L'Arpa Piemonte non è responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo documento. La riproduzione è autorizzata citando la fonte.

Il tema dei “cambiamenti climatici” è sicuramente di grande attualità e interesse. Sono innumerevoli le ricerche, le discussioni e i progetti a livello mondiale, che hanno come tema comune la comprensione degli effetti del cambiamento climatico sull'ecosistema Terra e tutte le sue componenti, in particolare quella umana.

Arpa Piemonte ha avviato da alcuni anni una serie di attività volte proprio ad analizzare tali effetti e le relazioni con il contesto climatico a livello regionale, al fine di costituire un patrimonio di conoscenze utili a supporto di chi dovrà sviluppare e gestire le strategie di prevenzione, mitigazione e adattamento.

Gli impatti sull'ambiente, prodotti dai cambiamenti climatici richiedono un continuo monitoraggio affinché sia aggiornata la conoscenza dello stato delle risorse ambientali e delle dinamiche in atto.

La salvaguardia del territorio, attuata tramite una buona conoscenza, è uno dei punti fondamentali della strategia di azione per lo sviluppo sostenibile fissata dall'Unione Europea, ed è una delle finalità di Arpa Piemonte nell'ambito della propria missione istituzionale di protezione ambientale. In accordo con le linee guida europee, l'azione dell'Agenzia è stata quella di approfondire le conoscenze tecniche e scientifiche accanto allo sviluppo e alla sperimentazione di nuove tecnologie, spesso con esperienze di avanguardia.

In alcuni casi, ciò è stato possibile grazie alla collaborazione transnazionale nell'ambito dei progetti dell'Unione Europea, volta alla creazione di opportunità di scambio, sviluppo e innovazione. L'apporto in termini culturali, operativi e finanziari è fondamentale per la realizzazione degli strumenti di analisi, monitoraggio ed elaborazione adeguati alla specificità del contesto delle regioni alpine e mediterranee individuati in alcune delle esperienze descritte.

Affinché tutto questo patrimonio possa essere diffuso, è indispensabile attuare un sistema di informazione in grado di soddisfare gli addetti ai lavori, ma anche un pubblico più vasto, agevolando la comprensione, in modo da accrescere la sensibilità dei cittadini nei confronti delle tematiche climatico-ambientali. I cittadini, infatti, sono sempre maggiormente attenti alle trasformazioni dell'ambiente e attendono risposte rapide ed efficaci da parte degli amministratori.

In questa ottica, il presente documento si propone l'obiettivo di presentare le tematiche connesse ai cambiamenti climatici alla scala locale, focalizzando l'attenzione sulle attività che sta svolgendo Arpa Piemonte con riferimento ai primi risultati e alle strategie future.

Desidero infine ringraziare tutti coloro che hanno collaborato al progetto, al coordinamento e alla stesura di questo volume, nonché tutti coloro che, partendo da questo documento, sapranno finalizzare in modo costruttivo le informazioni in esso contenute.

Silvano Ravera
Direttore Generale Arpa Piemonte

Introduzione

CLIMA

CINQUANT'ANNI DI DATI METEO-CLIMATICI IN PIEMONTE: TEMPERATURA E
PRECIPITAZIONI GIORNALIERE (1985-2009) 6

REGIONALIZZAZIONE DI SCENARI CLIMATICI FUTURI 11

PERMAFROST

CAMBIAMENTI CLIMATICI E LORO EFFETTI SUL PERMAFROST E SULL'AMBIENTE
PERIGLACIALE ALPINO IN PIEMONTE 22

BIODIVERSITA'

MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI DELLA VARIABILITÀ CLIMATICA
SULLA BIODIVERSITÀ IN PIEMONTE 28

STRUMENTI PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI LAGHI NELLO SPAZIO ALPINO 41

SALUTE

CAMBIAMENTI CLIMATICI ED EFFETTI SULLA SALUTE 48

ADATTAMENTO TRA NECESSITÀ E OPPORTUNITÀ 55

CLIMA



CINQUANT'ANNI DI DATI METEO-CLIMATICI IN PIEMONTE: TEMPERATURA E PRECIPITAZIONI GIORNALIERE (1958-2009)

INTEGRAZIONI SUL TERRITORIO, ANALISI STATISTICHE E CONFRONTI STORICI

Il patrimonio delle osservazioni meteorologiche sul Piemonte è molto ricco e le rilevazioni storiche disponibili sono numerose. Arpa Piemonte è depositaria della conoscenza degli ultimi 100 anni, derivante dall'acquisizione delle competenze e delle serie storiche di osservazioni dell'Ufficio Idrografico Nazionale, parte attiva nella gestione del rinnovato sistema di monitoraggio regionale, che ha sostituito le rilevazioni manuali e meccaniche con sistemi elettronici automatici; inoltre, è garante della rappresentatività territoriale e coerenza metodologica dell'archiviazione ed elaborazione dei dati.

È evidente come, in questo lungo periodo, le misure non possano mostrare caratteristiche di continuità a causa di diversi fattori quali l'innovazione subita dai sensori di misura, le modifiche sull'ubicazione della stazione, le mutate caratteristiche ambientali del sito, il "fattore umano" che ha contraddistinto la misura per molti anni prima dell'avvento delle rilevazioni

di tipo automatico, e, non da ultimo, la brevità temporale di alcune serie storiche di misure o l'interruzione della serie dovuta a fattori contingenti, come la guerra.

Per ovviare a tale discrepanza, Arpa Piemonte si è impegnata nello sviluppo e rea-

lizzazione di una sintesi delle osservazioni di precipitazione e di temperatura massima e minima giornaliera misurate da tutte le stazioni meteorologiche che, per fini istituzionali, sono state attive (o lo sono tuttora) sul territorio piemontese, a partire dal 1958 fino ai nostri giorni. Tali osservazioni sono state, quindi, integrate su di una griglia regolare di risoluzione 0,125°, che copre tutto il Piemonte (**figura 1**).

La metodologia scelta per la creazione di questo dataset di precipitazioni e di temperature massime e minime giornaliera è una "Optimal Interpolation" (Kalnay, 2003). Questa tecnica, che utilizza un metodo statistico per interpolare i dati delle stazioni meteorologiche dislocate arbitrariamente in una griglia regolare predefinita e tridimensionale, permette di raccordare fra loro le differenti serie storiche a disposizione. L'omogeneità temporale del segnale è quindi stata ottenuta attraverso una opportuna definizione variabile dei coefficienti tridimensionali di interpolazione che vanno a compensare la densità variabile di stazioni presenti sul territorio nell'arco dei 50 anni in esame. In pratica, viene mascherato o amplificato opportunamente (sulla base di un criterio non selettivo a priori) il contributo totale delle stazioni presenti sul territorio in base ad un parametro oggettivo (IDI medio, Uboldi *et al.*, 2008), fissato e costante nell'arco di tempo su cui si effettua l'integrazione dei dati di temperatura o precipitazione. In questo modo si ottiene una stima migliore del valore di temperatura o di precipitazione in quelle porzioni di territorio in cui non sono presenti sensori di rilevazione e, al contempo, non si somma arbitrariamente un falso segnale laddove la densità di stazioni aumenta esponenzialmente nel tempo.

La realizzazione del dataset climatico permette di effettuare sia un'analisi statistica organica dell'andamento di precipitazioni e temperature nel passato sia di fornire una base oggettiva di confronto con i risultati (diretti o frutto di tecniche di *downscaling*) derivanti dalla modellistica numerica climatica, per i differenti scenari futuri ipotizzati. Il tutto finalizzato alla comprensione e alla valutazione di potenziali impatti e pressioni legati al cambiamento climatico, in particolare su scala locale quale la regione Piemonte.

I risultati dell'analisi statistica, la descrizione dettagliata della metodologia seguita, le immagini realizzate e i dati calcolati sono disponibili sul sito web dell'Agenzia (www.arpa.piemonte.it).

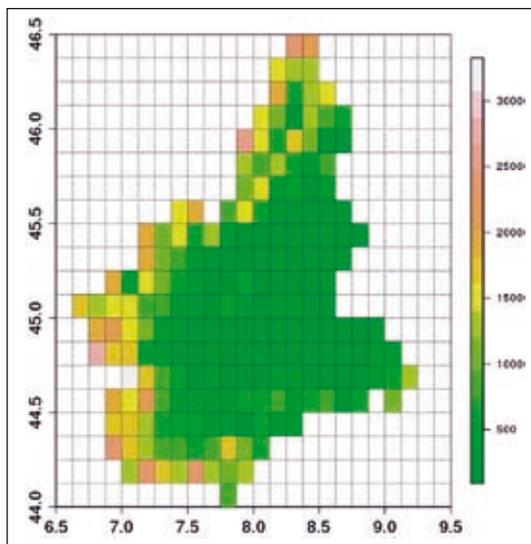
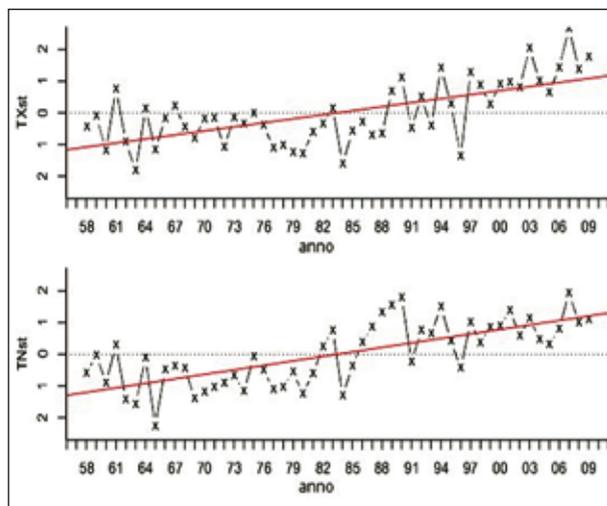


Figura 1 - Immagine schematizzata della griglia che copre il Piemonte, su cui sono stati integrati i dati storici con le relative quote di riferimento

Figura 2 - Anomalie standardizzate di temperature massime annuali (in alto) e minime annuali (in basso) su tutti i punti griglia

La retta di colore rosso indica il fit lineare



Entrando nel merito, i risultati dell'analisi hanno evidenziato un aumento significativo delle temperature medie sulla regione Piemonte quantificabile in circa 1,5 °C se si considera il periodo 1958-2009 (figura 2). I dati indicano che tale incremento è concentrato prevalentemente nei mesi invernali, primaverili ed estivi, e che sono gli anni successivi alla prima metà del decennio 1980-1990 a mostrare un aumento medio della temperatura più spiccato. Le zone che sembrano maggiormente interessate da questa tendenza positiva sono la fascia alpina e prealpina della regione (figura 3), anche se non si evidenzia una tendenza statisticamente significativa della dipendenza di tale aumento dalla quota.

D'altro canto, l'assenza di trend significativi riscontrata nelle statistiche di precipitazione risulta in accordo con risultati analoghi per l'intero arco alpino e sull'Italia.

Da segnalare soltanto una debole tendenza statisticamente significativa all'incremento della lunghezza media e massima dei periodi secchi. Questo suggerisce sostanzialmente un'immutata distribuzione dei regimi pluviometrici all'interno della regione, anche se la variazione nella tendenza della seconda componente principale del campo di anomalie di precipitazione lascerebbe spazio ad un'ulteriore analisi, ancor più approfondita, su questo versante. Il calcolo della variazione nell'ultimo decennio, rispetto alla norma 1971-2000, di un selezionato insieme di indicatori climatologici ("gradi giorno", "giorni estivi", "giorni di gelo", "notti tropicali" e "precipitazioni

intense") conferma, seppur qualitativamente, le tendenze riscontrate nelle variabili meteorologiche di base.

Nel loro complesso, le evidenze riscontrate di una tendenza positiva nelle temperature estive e di un'assenza di trend nella precipitazione, suggeriscono l'aumento di condizioni di aridità nell'area in esame, con maggior coinvolgimento della parte più meridionale del Piemonte. Analogamente il trend positivo rilevato per le temperature invernali è associato ad una riduzione della copertura nevosa negli ultimi anni sulle Alpi.

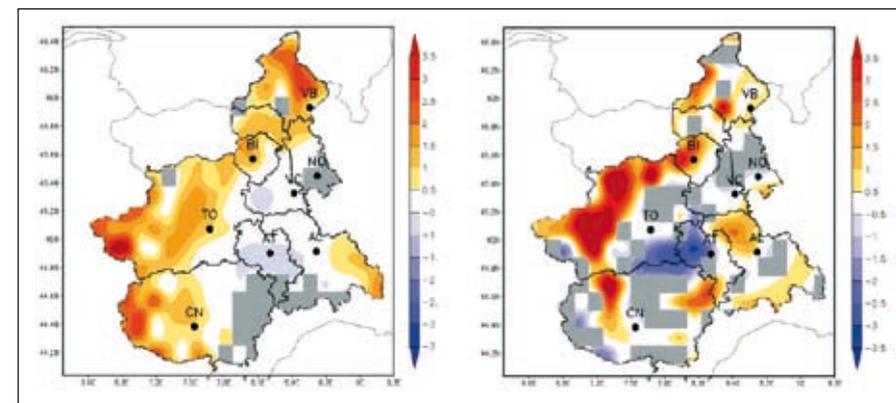


Figura 3 - Variazione su 50 anni (1958-2009) della medie annuali di temperatura massima (a sinistra) e temperatura minima (a destra)

Le aree grigie rappresentano tendenze non significative con confidenza del 5% utilizzando il test classico di Mann-Kendall

Sono state calcolate anche le correlazioni significative di alcuni pattern di circolazione a grande scala con la variabilità climatica regionale. Da questo punto di vista, si conferma il ruolo importante della NAO (North Atlantic Oscillation), essenzialmente in inverno, con fasi positive che portano ad inverni caldi e poco piovosi, e viceversa. Da notare come siano la parte finale dell'inverno e la prima parte della primavera i periodi meglio correlati con la NAO per quello che riguarda il campo di precipitazioni. Si rileva una correlazione significativa tra la presenza frequente di blocking sulla penisola scandinava e di fasi positive dello Scandinavian pattern, che si traducono sulla regione con incrementi nella precipitazione, in quasi tutte le stagioni, cui corrisponde una diminuzione delle temperature massime. Un ruolo analogo, seppur opposto in termini di fenomeni meteorologici, lo gioca l'Oscillazione Artica, in particolare nelle stagioni in-

vernali e autunnali. Interessante anche la forte correlazione tra le temperature e la fase positiva del *pattern East Atlantic*, in cui risulta palese l'influsso sulla regione delle masse d'aria calda subtropicali ad esso collegate (figura 4).

		Temperature Massime					Temperature Minime					Precipitazioni				
		NAO	EA	EA/WR	SCA	AO	NAO	EA	EA/WR	SCA	AO	NAO	EA	EA/WR	SCA	AO
Inverno	DIC	0,51	0,34	0,54	-0,03	0,43	0,35	0,38	0,45	-0,03	0,33	0,28	-0,01	-0,24	0,07	-0,01
	GEN	0,68	0,38	0,22	-0,36	0,72	0,61	0,45	0,14	-0,15	0,62	-0,18	0,01	-0,37	0,57	-0,31
	FEB	0,41	0,46	0,37	-0,50	0,52	0,31	0,62	0,24	-0,41	0,43	-0,39	0,28	-0,28	0,22	-0,24
Primavera	MAR	0,49	0,34	-0,03	-0,57	0,51	0,40	0,47	-0,07	-0,33	0,46	-0,39	0,07	0,17	0,34	-0,28
	APR	0,00	0,00	0,38	-0,30	0,12	-0,07	0,29	0,28	-0,04	-0,1	-0,09	0,22	-0,06	0,34	-0,27
	MAG	0,15	0,59	0,30	-0,24	0,27	0,12	0,55	0,27	-0,18	0,22	-0,19	-0,33	0,03	0,54	-0,27
Estate	GIU	0,08	0,28	0,13	-0,56	0,17	0,07	0,24	-0,04	-0,51	0,10	0,03	0,00	0,12	0,41	-0,09
	LUG	0,34	0,09	0,25	-0,25	0,28	0,36	0,13	0,20	-0,23	0,29	0,01	0,00	-0,13	0,30	0,00
	AGO	-0,04	0,55	0,02	-0,59	0,31	0,05	0,46	0,07	-0,69	0,39	0,08	-0,21	-0,13	0,39	-0,09
Autunno	SET	0,12	0,57	0,16	-0,45	0,64	0,10	0,61	0,21	-0,35	0,55	-0,15	0,04	-0,21	0,44	-0,32
	OTT	0,08	0,52	0,24	-0,33	0,41	-0,09	0,50	0,01	0,03	-0,18	-0,17	-0,12	-0,17	0,60	-0,38
	NOV	0,21	0,45	0,27	-0,26	0,35	0,22	0,52	0,33	0,03	-0,18	-0,06	-0,07	-0,01	0,49	-0,15

Figura 4 - Correlazione delle serie storiche di temperatura e precipitazione mensili sul Piemonte con i principali indici di circolazione a larga scala (evidenziate in grassetto le correlazioni significative con confidenza del 5%)

NAO: fluttuazione ciclica del campo di pressione presente sul Nord Atlantico. Influenza intensità e direzione del flusso zonale occidentale. **EA:** molto simile alla NAO, consiste in un dipolo nord-sud di anomalie che si dispiegano nel Nord Atlantico da est verso ovest. Spesso viene interpretato come un spostamento verso sud della NAO stessa, ma è collegato con i flussi d'aria calda subtropicale che rendono questo pattern specifico. **EA/WR:** quadripolo di anomalie di pressione posizionate sul continente Eurasiatico. Contribuisce a regolare l'avvezione sul Mediterraneo orientale di masse umide dall'Europa centrale o il loro trasporto dall'atlantico. **SCA:** anomalia positiva (o negativa) del campo anticiclonico sulla penisola Scandinava, che forma un cosiddetto "blocco" alle latitudini tra il Circolo Polare Artico e il 50° parallelo N. **AO:** variazione del campo di pressione nella zona dell'Artico che ne riflette le variazioni di circolazione atmosferica. Nella sua fase positiva (pressione sotto la media sull'artico) venti freddi e umidi investono la Scozia e la Scandinavia, con condizioni secche e forti tradewinds nel Mediterraneo. Viceversa una anomalia negativa al Polo Nord spinge masse d'aria umida e fredda verso il sud Europa.

REGIONALIZZAZIONE DI SCENARI CLIMATICI FUTURI

Lo studio degli impatti del cambiamento climatico in atto è fondamentale per prevederne gli effetti futuri. In tale ottica il contributo maggiore è dato dai modelli numerici di simulazione e previsione del clima, strumenti matematici basati sulle leggi fisiche atmosferiche e sulla loro interazione con la superficie terrestre (in particolare con il mare) e, soprattutto, con l'evoluzione supposta della società umana sia in termini di scenari emissivi di gas-serra di origine antropologica sia in base alle modificazioni nell'uso del terreno. Gli scenari emissivi di gas serra dipendono fortemente dal modo e dalla misura in cui si suppone cresca nel futuro il complesso delle attività antropogeniche, sia dal punto di vista energetico sia da quello economico. Lo scenario più plausibile sembra essere quello che l'IPCC definisce A1B, ossia una situazione caratterizzata da economia prevalente consumistica, da un sistema globalizzato e da un utilizzo bilanciato tra fonti di energia basate sul carbon fossile (alte emissioni di CO₂) e rinnovabili (basse o nulle emissioni di CO₂).

I modelli numerici climatici, i quali tengono conto in termini matematici delle implicazioni derivanti da uno specifico scenario socio-economico, si dividono invece in due categorie fondamentali: i modelli di circolazione generale GCM (*General Circulation Model*) con una risoluzione di circa 100 km ed i modelli ad area limitata RCM (*Regional Climate Models*), con una risoluzione dell'ordine dei 25 km, essenzialmente derivanti dai primi e pensati per andare incontro alle esigenze di valutazione di impatto su di un'area più ristretta.

Nonostante il loro alto livello di dettaglio, le informazioni fornite dagli RCM possono essere ulteriormente raffinate, adeguate a realtà locali specifiche e combinate fra loro attraverso tecniche di *downscaling* statistico che mettono in relazione i dati osservati nel passato con i dati prodotti per il futuro dagli RCM o che ne ottimizzano gli errori statistici intrinseci.

In questo senso, la disponibilità di un dataset di osservazioni accuratamente validate e spazializzate ottenuto con l'OI (*Optimal Interpolation*) costituisce la base di dati per la regionalizzazione sul Piemonte di scenari climatici futuri.

Utilizzando la tecnica *Multimodel*, già ampiamente impiegata per le pre-

visioni meteorologiche (Krisnamurty et al., 1999; Cane & Milelli, 2010), è possibile stimare gli errori che i *run* di controllo dei modelli climatici (periodo: 1961-2000) commettono nella descrizione della temperatura e della precipitazione sul Piemonte.

Applicando i *bias* e i pesi calcolati nel periodo di controllo è possibile correggere gli outputs dei modelli (periodo 2000-2100), nell'ipotesi che i *bias* e i pesi non varino in modo significativo. È quindi possibile ottenere degli scenari più accurati per la regione Piemonte, con la possibilità di distinguere il comportamento delle zone pianeggianti da quello delle zone montane e con una stima dei principali indicatori climatici previsti dallo scenario.

Per il calcolo del *Multimodel SuperEnsemble* sono utilizzati i modelli climatici regionali del progetto europeo ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metooffice.com/>), e in particolare le re-analisi nel periodo 1961-2000 a partire da ERA40, e i *run* di scenario continuativi nel periodo 1961-2100 a partire da diversi modelli climatici globali girati sullo scenario SRES A1B. Poiché i dati sono disponibili su base giornaliera e il numero di diversi modelli è davvero significativo, si è scelto di utilizzare i modelli riportati nella **tabella 1**, selezionati con criteri della massima varietà possibile di modelli regionali, globali e, ovviamente, in base alla disponibilità di spazio disco.

Nel corso del 2010 è stata completata l'interpolazione di tali modelli sulle varie aree di interesse (la griglia della *Optimal Interpolation* e alcune aree individuate per i progetti europei ACQWA, ALPFIRS, PermaNet).

Tabella 1 - Modelli climatici utilizzati

Modello climatico Regionale	Modello climatico Globale	Istituzione
HIRHAM5	Arpege	DMI
REGCM3	ECHAM5	ICTP
HadRM3Q0	HadCM3Q0	Hadley Center
RM4.5	Arpege	CNRM
CLM	HadCM3Q0	ETH Zurich
RACMO2	ECHAM5	KNMI
REMO	ECHAM5	Max Plank Institute

L'applicazione del *Multimodel SuperEnsemble* su questi modelli permette di avere delle stime giornaliere dei parametri al suolo particolarmente adattati alla situazione piemontese, così come descritta per il passato dalla

Optimal Interpolation.

Come prima verifica del lavoro svolto, si è diviso il periodo di controllo in due parti. Nella prima (1961-1980) sono stati calcolati i pesi di *Multimodel*, mentre nella seconda (1981-2000) si è calcolato il *Multimodel SuperEnsemble* usando tali pesi. Utilizzando la tecnica di scomposizione *Seasonal Decomposition of Time Series di Loess* (**figura 1**) è stata valutata la bontà dell'applicazione del *post-processing* per la temperatura massima e minima (es. **figura 2** e **figura 3**). Entrambi questi campi presentano un ottimo accordo con i valori osservati, sia per quanto riguarda il *trend* sia per la componente stagionale.

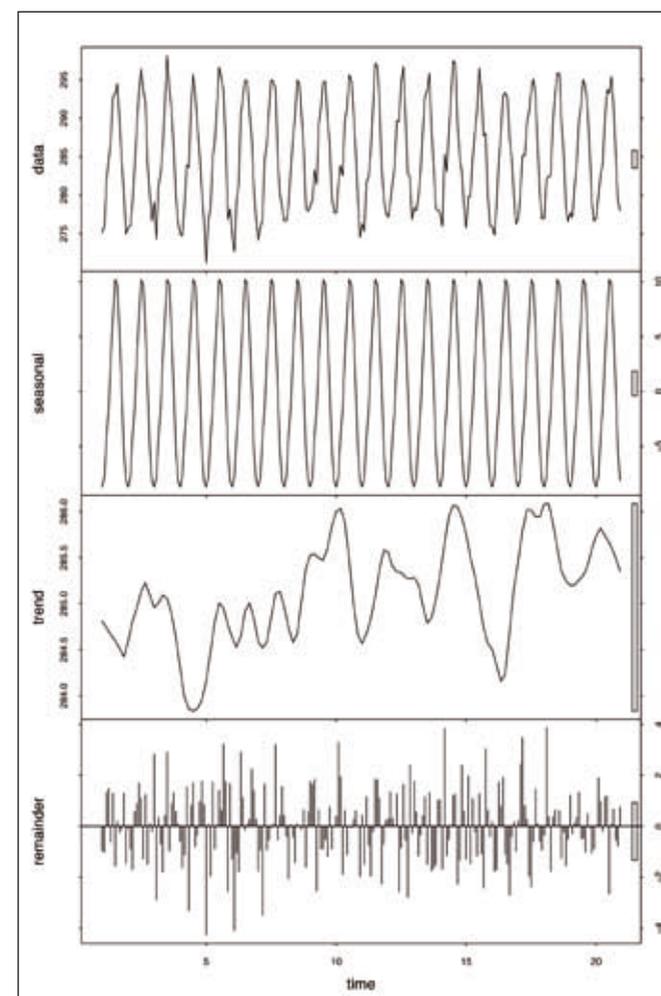


Figura 1 - Esempio di decomposizione del segnale di temperature massima con la tecnica della Seasonal Decomposition of Time Series

Dall'alto in basso: dati grezzi, componente stagionale, trend, residui.

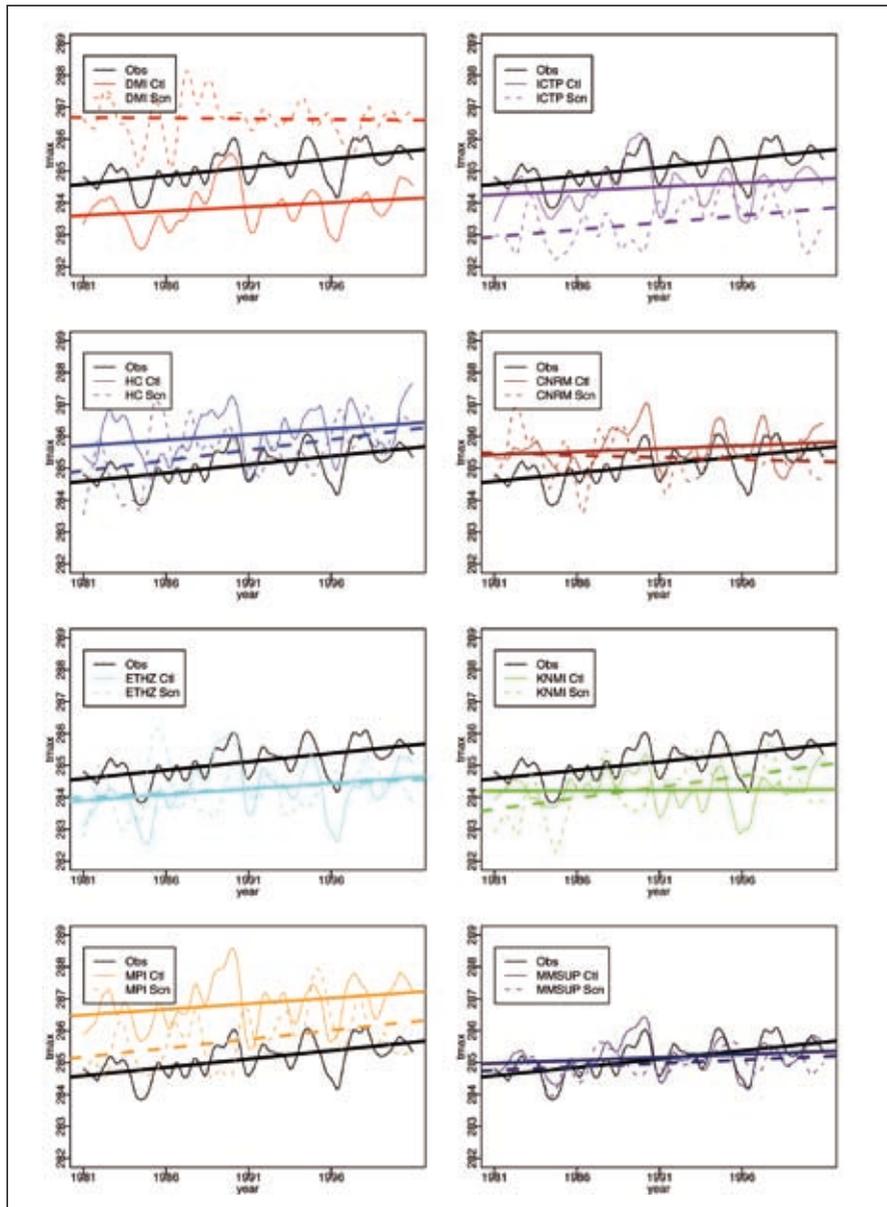


Figura 2

Applicazione della tecnica Multimodel SuperEnsemble alla temperatura massima. I dati sono calcolati su base giornaliera ma le statistiche sono su base mensile. Periodo di training: 1961-1980, periodo di scenario 1981-2000. Confronto tra i trend delle osservazioni (in nero), dei runs di reanalisi (linee continue) e dei runs di scenario (linee tratteggiate).

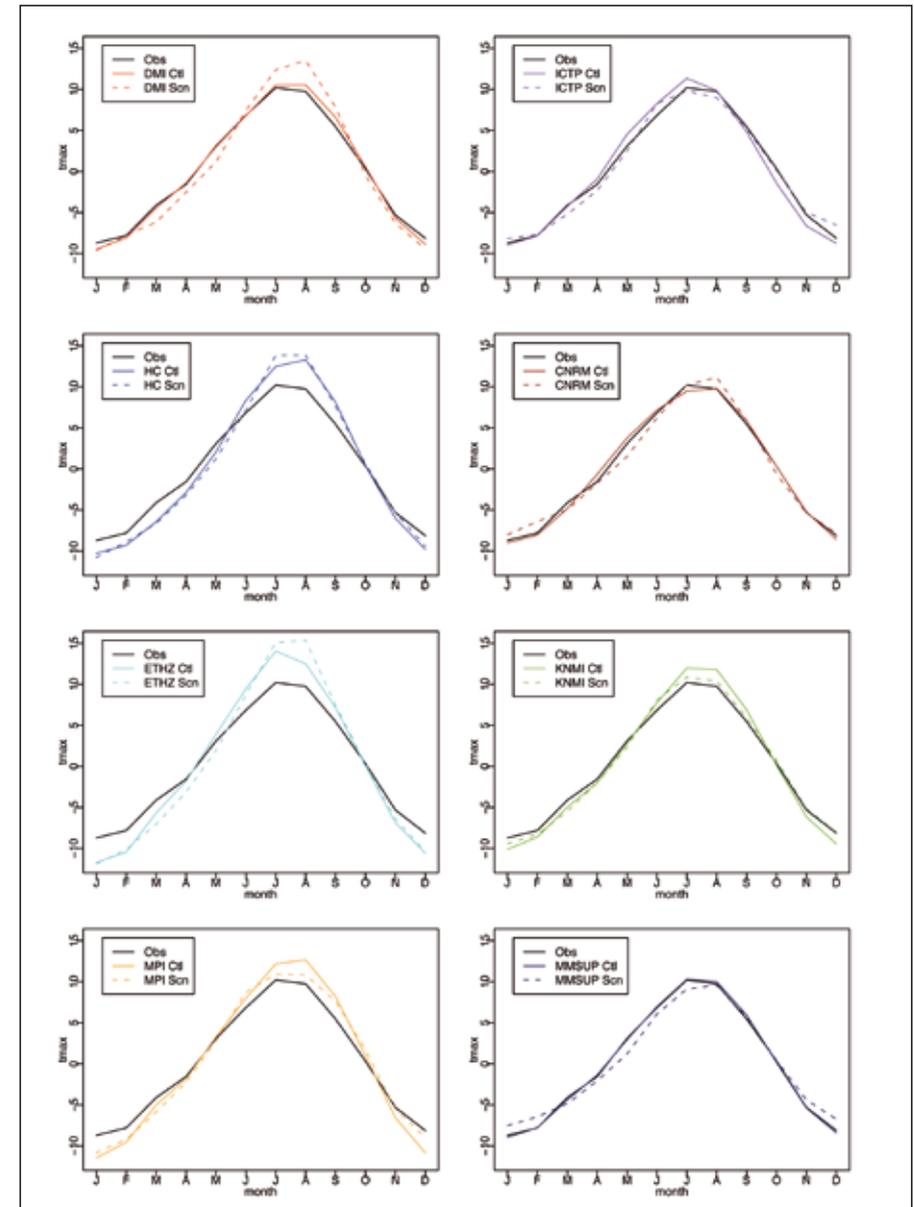


Figura 3

Applicazione della tecnica Multimodel SuperEnsemble alla temperatura massima. I dati sono calcolati su base giornaliera ma le statistiche sono su base mensile. Periodo di training: 1961-1980, periodo di scenario 1981-2000. Confronto tra le componenti stagionali delle osservazioni (in nero), dei runs di reanalisi (linee continue) e dei runs di scenario (linee tratteggiate).

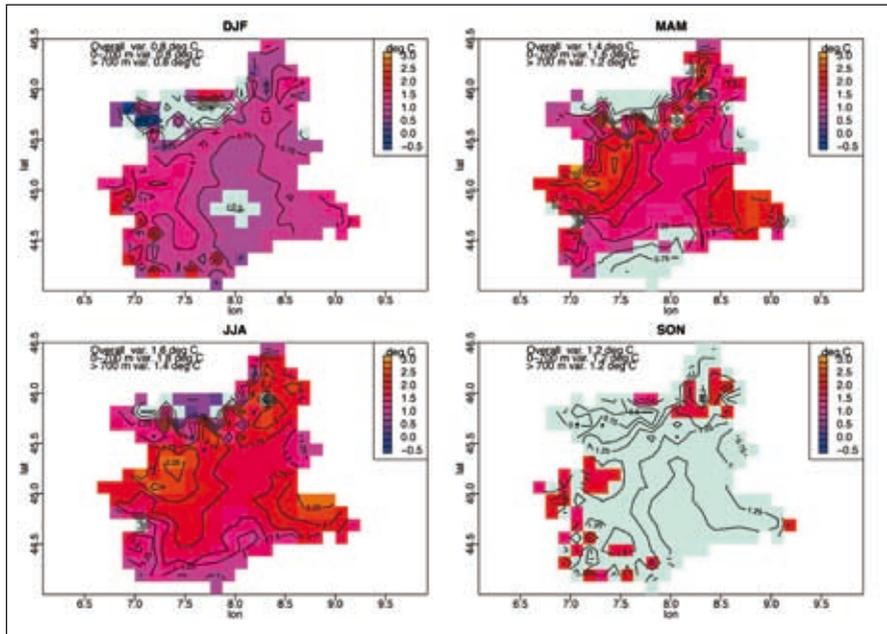


Figura 4 - Differenza tra le temperature massime ottenute con *Multimodel SuperEnsemble* sullo scenario A1B mediate sul periodo 2031-2050 rispetto al periodo 1981-2000 in funzione della stagione

Le differenze di temperatura non significative per un T-Test con un livello di confidenza del 95% sono mostrate in grigio.

Una volta verificata la bontà degli scenari ottenuti con il *Multimodel Super Ensemble*, è stata applicata la tecnica allo scenario vero e proprio (periodo di *training* 1961-2000, periodo di *forecast* 2001-2100). Le **figure 4 e 5** mostrano le variazioni su un periodo di 50 anni per la temperatura massima e minima rispettivamente. I dati di *Multimodel* permettono una migliore caratterizzazione della regione alpina rispetto ai modelli climatici regionali originali, con differenze più marcate. In particolare, le temperature massime aumentano di più in pianura che non in montagna (in primavera e autunno), mentre le temperature minime aumentano di più in montagna che non in pianura (in autunno e in inverno).

La tecnica del *Multimodel SuperEnsemble* non si può applicare ai valori di precipitazione, poiché gli scenari non sono necessariamente correlati tra di loro e le risultanti precipitazioni risultano la media pesata tra eventi correlati, portando ad una sottostima dei quantitativi di precipitazione sulla regione.

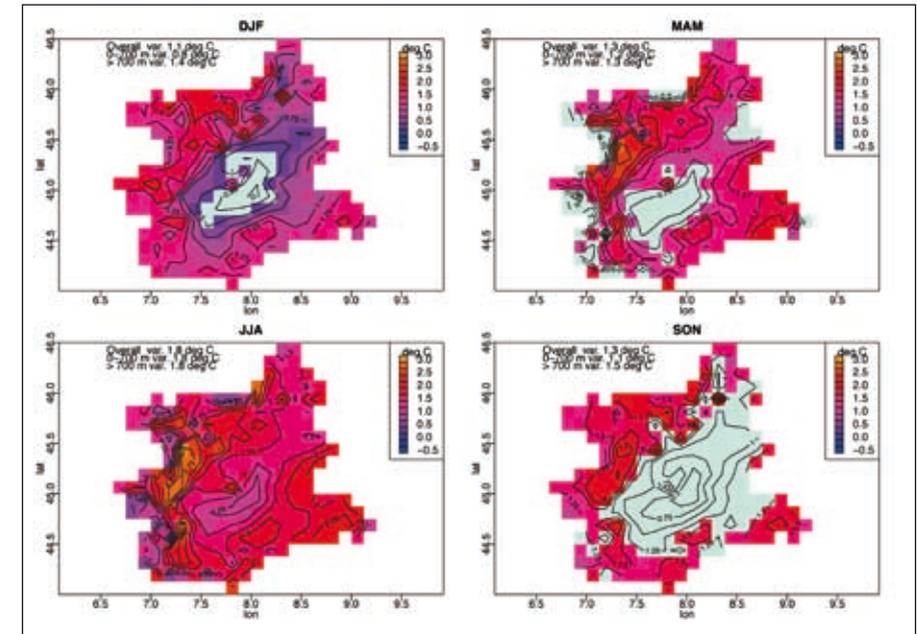


Figura 5 - Differenza tra le temperature minime ottenute con *Multimodel SuperEnsemble* sullo scenario A1B mediate sul periodo 2031-2050 rispetto al periodo 1981-2000 in funzione della stagione

Le differenze di temperatura non significative per un T-Test con un livello di confidenza del 95% sono mostrate in grigio.

È stato perciò applicata la tecnica probabilistica del *Multimodel SuperEnsemble Dressing* sviluppata presso Arpa Piemonte (Cane & Milelli, 2010) per ottenere una stima più coerente del campo di precipitazione. Inizialmente sono state calcolate le distribuzioni di densità di probabilità delle osservazioni condizionate allo scenario, successivamente sono stati calcolati i pesi con l'inverso del *Continuous Ranked Probability Score* nel periodo di *training* e le distribuzioni di densità di probabilità del *Multimodel*, traendo infine una sintesi che è stata usata come singolo modello deterministico.

Anche in questo caso è stata effettuata una verifica preliminare dividendo il periodo di controllo in una prima metà di *training* (1961-1980) e una seconda di *forecast* (1981-2000), con i risultati mostrati nelle **figure 6 e 7**. Il *Multimodel SuperEnsemble Dressing* riproduce in modo più che ragionevole la componente stagionale della precipitazione, ma soprattutto non contiene le sovra-stime evidenti nei diagrammi di Walter & Leith dei modelli.

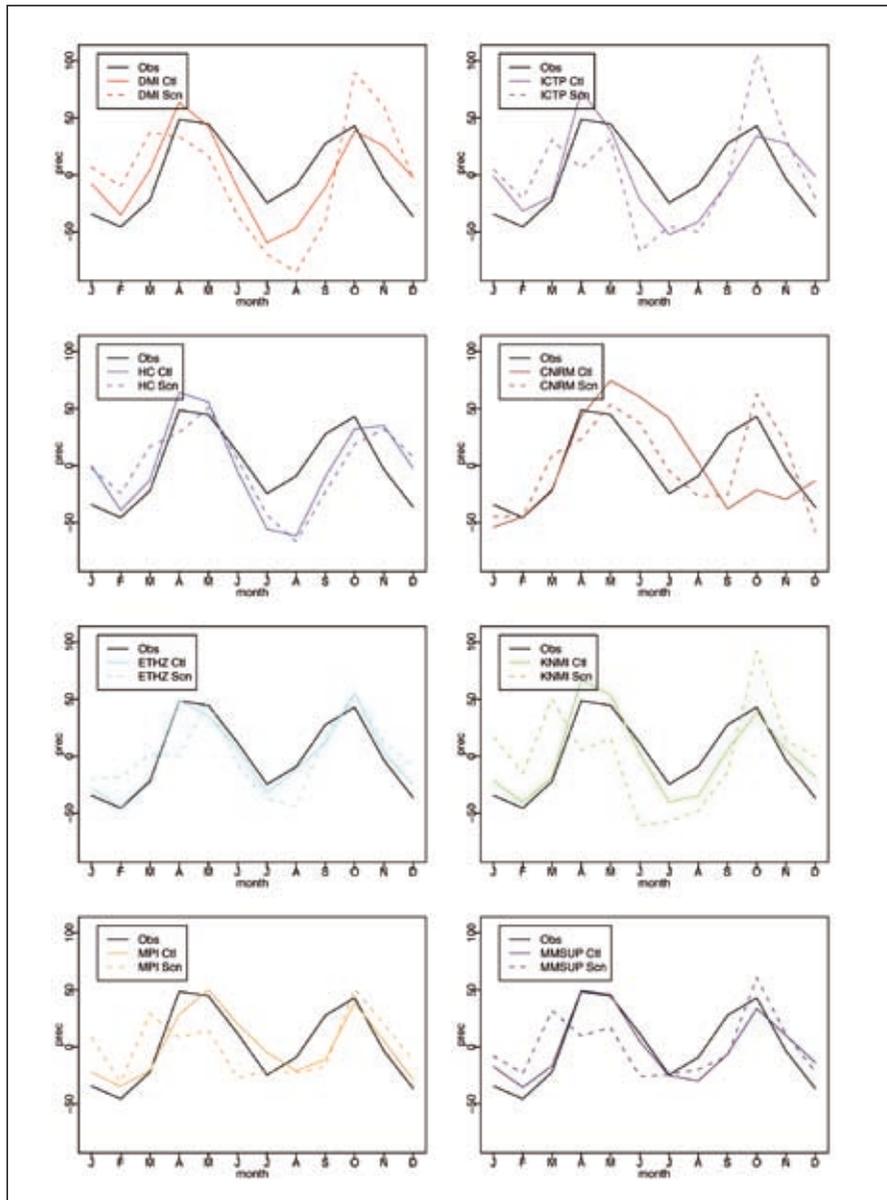


Figura 6 - Applicazione della tecnica Multimodel SuperEnsemble Dressing alla precipitazione

I dati sono calcolati su base giornaliera ma le statistiche sono su base mensile. Periodo di training: 1961-1980, periodo di scenario 1981-2000. Confronto tra le componenti stagionali delle osservazioni (in nero), dei runs di reanalisi (linee continue) e dei runs di scenario (linee tratteggiate).

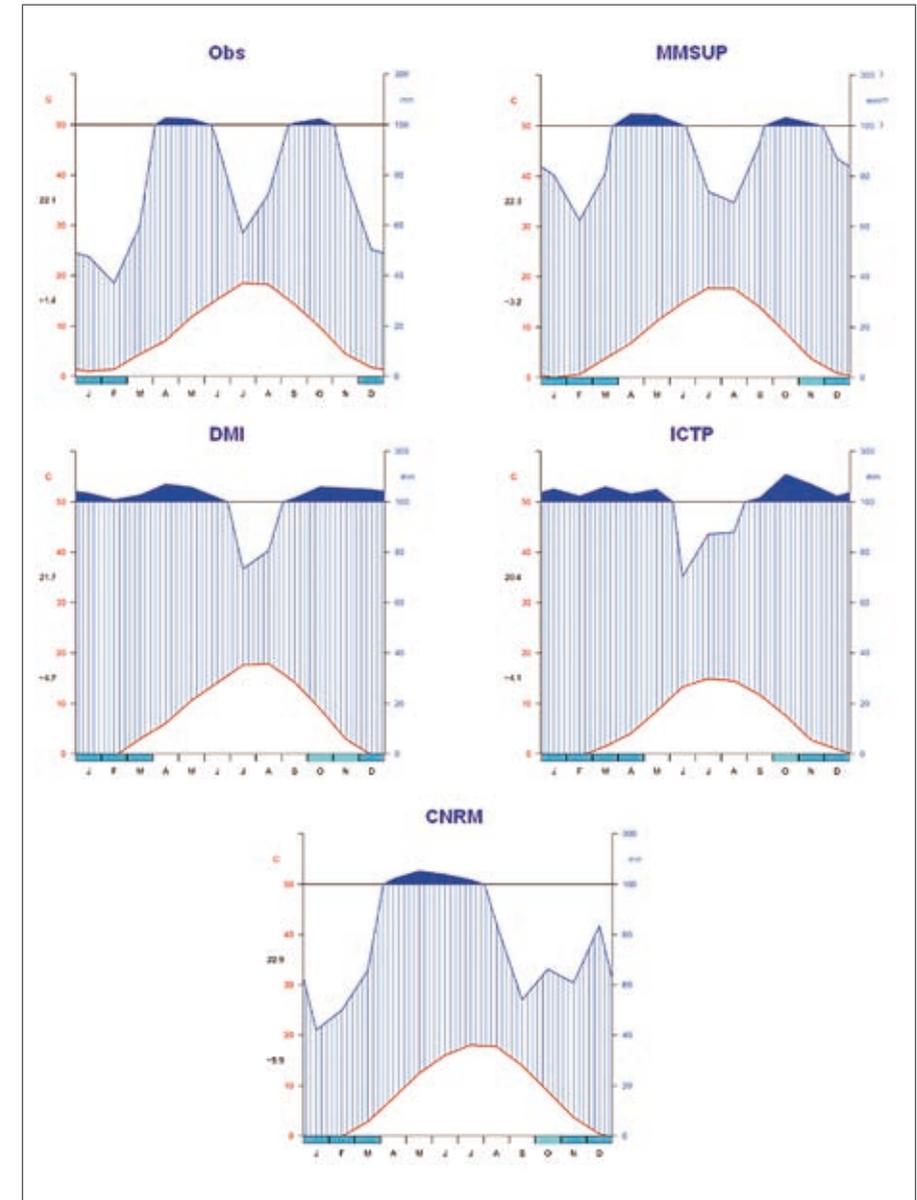


Figura 7 - Applicazione della tecnica Multimodel SuperEnsemble Dressing alla precipitazione

I dati sono calcolati su base giornaliera, ma le statistiche sono su base mensile. Periodo di training: 1961-1980, periodo di scenario 1981-2000. Confronto tra i diagrammi di Walter & Leith medi sul Piemonte delle osservazioni (Optimal Interpolation), del Multimodel SuperEnsemble Dressing (MMSUP) e di tre modelli rappresentativi (DMI, ICTP, CNRM).

PERMAFROST

Infine, è stata applicata la tecnica allo scenario vero e proprio anche per le precipitazioni (periodo di *training* 1961-2000, periodo di *forecast* 2001-2100). La **figura 8** mostra le variazioni su un periodo di 50 anni per la precipitazione. Le differenze sono significative (e negative) solamente in estate e in autunno, in particolare in montagna.

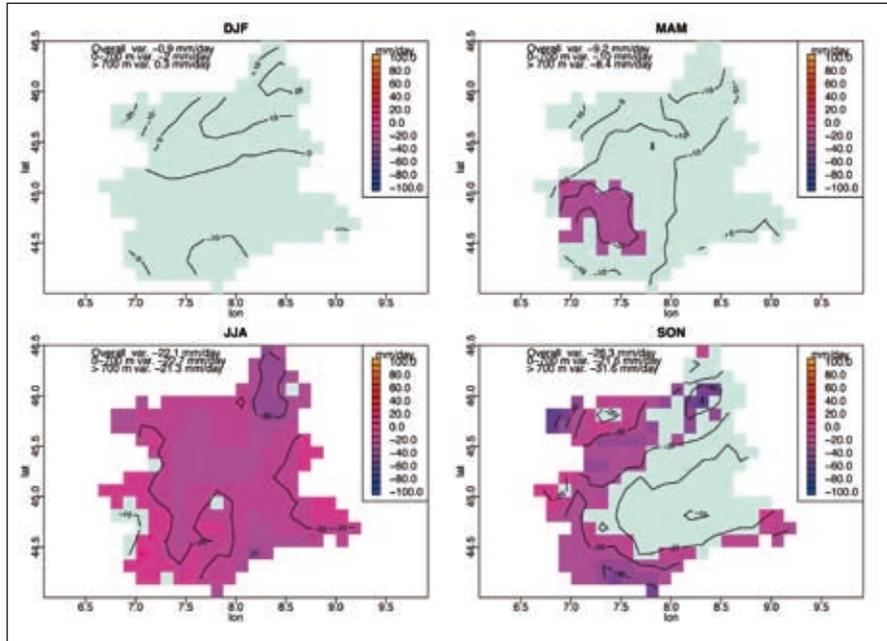


Figura 8 - Differenza tra le precipitazioni ottenute con Multimodel SuperEnsemble Dressing sullo scenario A1B mediate sul periodo 2031-2050 rispetto al periodo 1981-2000 in funzione della stagione

Le differenze di temperatura non significative per un T-Test con un livello di confidenza del 95% sono mostrate in grigio.



CAMBIAMENTI CLIMATICI E LORO EFFETTI SUL PERMAFROST E SULL'AMBIENTE PERIGLACIALE ALPINO IN PIEMONTE

IL PERMAFROST E IL CLIMA

La criosfera è la porzione di superficie terrestre coperta dall'acqua allo stato solido e comprende le coperture ghiacciate di mari, laghi e fiumi, le coperture nevose, i ghiacciai, le calotte polari. Comprende anche il suolo ghiacciato in modo perenne, noto con il termine di *permafrost*. Con il termine permafrost, in realtà, si definisce il terreno o la roccia che rimane al di sotto della temperatura di 0 °C per più di due anni consecutivi, per cui la sua esistenza è assolutamente indipendente dalla presenza o meno

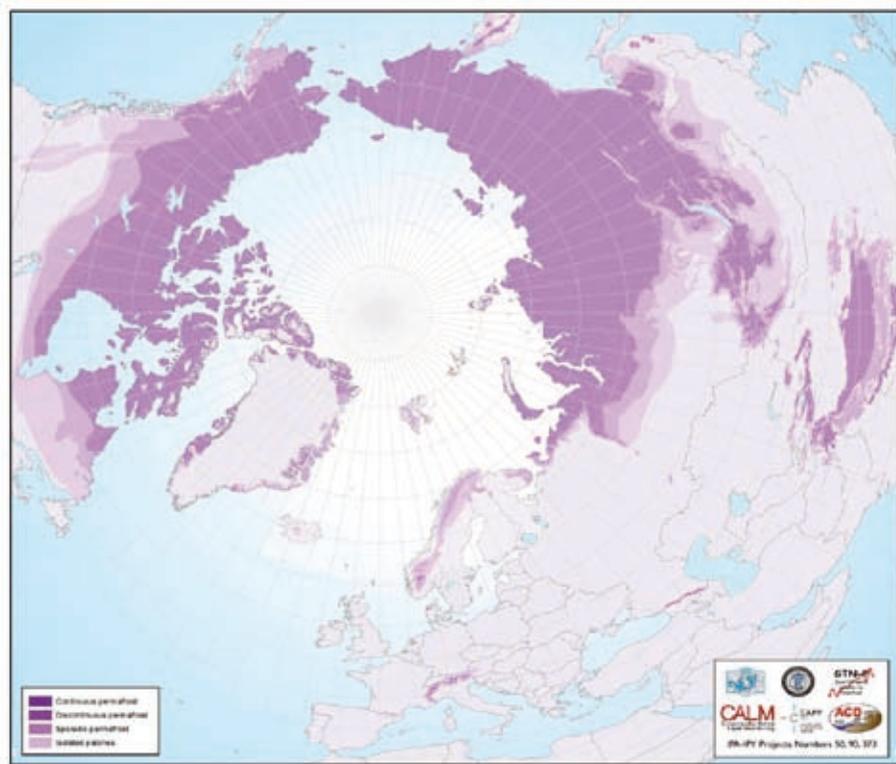


Figura 1 - Mappa della distribuzione del permafrost nell'emisfero settentrionale (fonte: <http://ipa.arcticportal.org>)

di ghiaccio. Il permafrost è certamente la componente della criosfera più diffusa nel mondo; infatti, si estende per oltre un quarto delle terre emerse del pianeta e, in modo particolare, nell'emisfero Nord della Terra. È molto esteso nelle aree circumpolari ma è presente anche nelle aree montuose, come le Alpi (*figura 1*).

Il regime termico del suolo nelle aree montane è legato alla quota, all'esposizione e inclinazione dei versanti, al tipo di materiale coinvolto, alla esposizione e intensità delle radiazioni solari, alla circolazione dell'acqua e alla presenza della neve e dei ghiacciai. L'evoluzione del permafrost è quindi strettamente legata alle caratteristiche climatiche sia globali che locali e subisce delle variazioni nel tempo in relazione al cambiamento del clima.

Le aree di alta montagna sono particolarmente sensibili all'evoluzione del permafrost che causa una serie di problemi soprattutto per quanto riguarda la stabilità dei versanti. Infatti, alcuni fenomeni gravitativi e di colata detritica lungo i corsi d'acqua verificatisi negli ultimi anni nelle Alpi e in Piemonte hanno avuto origine in aree di alta quota, fenomeni che spesso hanno coinvolto i settori più a valle provocando danni a strutture e infrastrutture (*figura 2*). Questi fenomeni di dissesto hanno evidenziato la necessità di ampliare verso le quote più elevate i monitoraggi sia delle caratteristiche meteo-climatiche sia degli effetti al suolo e di analizzare le possibili interrelazioni fra i cambiamenti climatici e la degradazione del permafrost che potrebbero causare un aumento della pericolosità geologica di ampie aree montane.



Figura 2 - a) Incisione della morena del Gh. del Mulinet, Valgrande di Lanzo (TO), prodottasi durante l'evento alluvionale del settembre 1993 (fonte: Regione Piemonte); b) Fratture con apertura metrica sulla cresta meridionale del Rocciamelone (Valle Susa, TO) a quota 3.000 m circa (fonte: Arpa Piemonte)

LA RETE DI MONITORAGGIO DEL PERMAFROST NELLE ALPI PIEMONTESI

In Piemonte, la conoscenza dell'ambiente periglaciale e della distribuzione del permafrost fino a poco tempo fa era del tutto frammentaria e lacunosa. Per migliorare e ampliare le conoscenze sulla tematica in oggetto, Arpa Piemonte ha avviato negli ultimi anni una serie di attività di ricerca con l'obiettivo di migliorare le conoscenze sulle caratteristiche e sulla distribuzione del permafrost nelle Alpi piemontesi.

Nell'ambito di tali attività rientra il progetto europeo Spazio Alpino "PermaNet" (*Permafrost long-term monitoring network*) della durata di circa tre anni (luglio 2008 - settembre 2011), nel quale sono coinvolte quattordici istituzioni provenienti da cinque paesi (Italia, Austria, Germania, Francia, Svizzera). Tre gli obiettivi principali:

- mappatura della distribuzione potenziale del permafrost nell'area alpina
- installazione di una rete di monitoraggio del permafrost alpino
- sviluppo di strategie di *governance* applicate alle aree di alta montagna.

Nel corso del periodo autunno 2008 - primavera 2009 sono state condotte una serie di attività di raccolta dati e di analisi finalizzate a definire la distribuzione potenziale del permafrost nelle Alpi piemontesi. È stato pertanto realizzato un inventario delle morfologie indicatrici del permafrost (quali *rock glacier* e *protalus rampart*) grazie al quale, attraverso elaborazioni statistiche, è stato possibile applicare un modello empirico che consente di valutare la distribuzione potenziale del permafrost distinto in relitto, recente possibile e recente probabile. Queste informazioni, unitamente ai ghiacciai e ad altri elementi tipici dell'ambiente glaciale e periglaciale, hanno consentito la realizzazione della prima "Carta della Criosfera delle Alpi piemontesi" (figura 3).

La carta della criosfera rappresenta il primo vincolo da cui si è partiti per individuare i siti da sottoporre a monitoraggio del permafrost. Altri elementi sono stati considerati al fine di individuare la corretta ubicazione delle stazioni, quali le caratteristiche geologico-geomorfologiche e climatiche delle aree indagate, la probabile presenza di condizioni di permafrost verificata sul campo, la necessità di contenere i costi di realizzazione e di manutenzione delle stazioni di monitoraggio. Sono stati, così, individuati i seguenti siti:

- 1) Passo Monte Moro (Macugnaga, VB), 2.870 m s.l.m.
- 2) Passo dei Salati (Alagna Valsesia, VC), 3.010 m s.l.m.
- 3) Colle Sommeiller (Bardonecchia, TO), 2.985 m s.l.m.
- 4) La Colletta (Bellino, CN), 2.840 m s.l.m.
- 5) Passo della Gardetta (Canosio, CN), 2.490 m s.l.m.

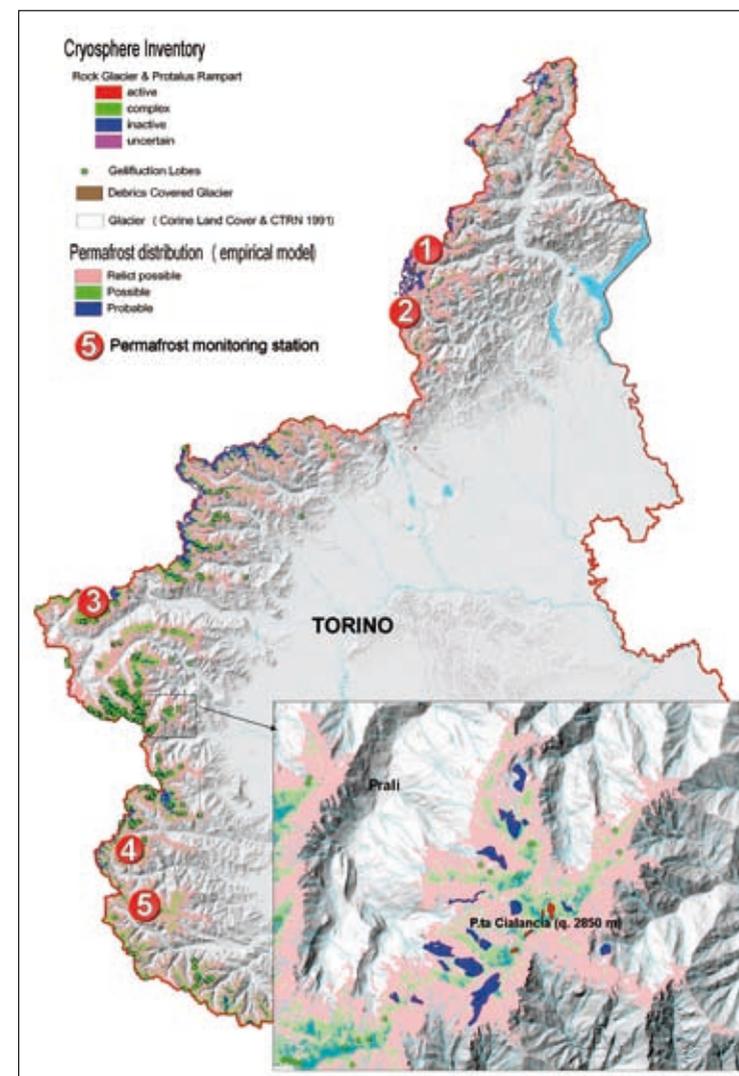


Figura 3 – Carta della criosfera delle Alpi piemontesi con ubicazione dei siti di monitoraggio del permafrost. Dettagli nel testo (fonte: Arpa Piemonte)

Nell'estate - autunno 2009 sono state realizzate le stazioni di monitoraggio nei cinque siti costituite da perforazioni verticali in roccia, di profondità variabile (da 5 a 100 m), in cui sono inserite catene termometriche con sensori che misurano le temperature a diverse profondità. Sono inoltre presenti sensori superficiali sia di temperatura che di umidità del suolo. Tutti i sensori sono collegati a *data logger* collocati in vani sotterranei unitamente alle batterie di alimentazione (**figura 4**).



Figura 4 - Fasi della installazione delle stazioni di monitoraggio del permafrost nelle Alpi piemontesi: a) perforazione, b) installazione strumentazione, c) completamento della stazione (Colle del Sommeiller, Bardonecchia, TO)

Nel prossimo futuro, la grande sfida sarà quella di valutare i possibili scenari legati ai rischi naturali in ambiente di alta montagna al fine di valutare le conseguenze e le strategie di mitigazione del rischio. Ecco perché non solo la comunità scientifica, ma anche le amministrazioni pubbliche coinvolte nella pianificazione del territorio, della protezione civile e nella gestione del rischio hanno aumentato il proprio interesse verso il permafrost e l'ambiente periglaciale.

BIODIVERSITÀ



MONITORAGGIO DEGLI EFFETTI DELLA VARIABILITÀ CLIMATICA SULLA BIODIVERSITÀ IN PIEMONTE

Le condizioni meteo-climatiche costituiscono un fattore determinante della struttura degli ecosistemi e della distribuzione geografica di specie vegetali e animali. Quando le condizioni climatiche superano determinati *range* di tolleranza fisiologica, propri di ogni specie, queste possono essere forzate a rispondere modificando i loro cicli vitali, spostandosi e modificando i loro confini geografici (*shift*), cambiando morfologia, comportamento o corredo genetico e importanti funzioni fisiologiche (produttività, fotosintesi). Tali cambiamenti possono infine alterare la competizione e le interazioni tra le specie, con ripercussioni sull'abbondanza locale dei popolamenti e sull'incremento di specie opportuniste e invasive.

In Europa si sono manifestate alcune di queste dinamiche quali:

- migrazione altitudinale di specie in ambiente alpino, migrazione latitudinale da sud-ovest a nord-est di alcuni gruppi animali (es. farfalle)
- anticipazioni di fasi biologiche
- incremento della produttività e cambiamenti nella composizione vegetazionale
- invasione di latifoglie nelle foreste di conifere
- disseccamento di aree umide.

A fronte di queste problematiche, fin dal 2007, Arpa Piemonte ha iniziato a individuare, per il territorio regionale, le attività di monitoraggio più opportune, partendo da una ricognizione delle attività intraprese a livello europeo e italiano ed effettuando alcune attività di analisi. Quest'ultime sono state individuate con la collaborazione di Enti Parco regionali, dei Dipartimenti di Biologia Animale e Vegetale e del Di.Va.P.R.A. (Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali) dell'Università di Torino.

L'attenzione è stata rivolta in primo luogo alla zona alpina, dove si sono verificate anomalie nella temperatura più accentuate rispetto alle medie regionali e dove i gradienti ecologici molto marcati rendono potenzialmente rilevabili modificazioni su zone circoscritte.

Data l'importanza degli strumenti previsionali per pianificare misure di

conservazione e adattamento, Arpa ha avviato la sperimentazione di un modello bioclimatico nell'area alpina della Val Formazza (VB) utilizzando le tecniche di modellizzazione della nicchia ecologica, che consentono di identificare aree, taxa ed ecosistemi maggiormente minacciati.

MIGRAZIONE ALTITUDINALE DI SPECIE TERMOSENSIBILI: FLORA E PEDOFAUNA IN AREA ALPINA

Diverse esperienze di monitoraggio della flora condotte in varie zone dell'arco alpino, confrontate con rilievi eseguiti in passato, indicano una tendenza alla risalita delle piante termofile o con strategie riproduttive più competitive. Per monitorare nel tempo tale fenomeno, estensibile anche alle specie faunistiche termosensibili, l'approccio utilizzato è quello di misurare l'eventuale variazione su aree di rilievo permanenti poste lungo un gradiente altitudinale.

Disponendo sul territorio regionale del Sito Natura 2000 più elevato in Europa - il SIC "Alta Valsesia" che comprende il gruppo del Monte Rosa, nel quale sono stati rilevati i limiti altitudinali della flora fanerogamica sulle Alpi (*Poa laxa* e *Saxifraga bryoides* oltre 4.200 m) - Arpa ha allestito nel 2008 un transetto altitudinale di aree di saggio nell'altopiano di Cimalegna (Alagna Valsesia, VC). In tali aree sono state effettuati rilievi di pedofauna, con la finalità di evidenziare modificazioni nella composizione e abbondanza di questa comunità edafica estremamente sensibile alle variazioni di innevamento, temperatura e gelo nel suolo. I rilievi sono stati effettuati in concomitanza con quelli di vegetazione vascolare e briofitica eseguiti dal Di.Va.P.R.A. e dal Dipartimento di Biologia Vegetale, supportati da analisi pedologiche e chimico-fisiche della neve, svolte dal Laboratorio Suolo e Neve Alpini che ha sede sull'altipiano nei locali dell'Istituto scientifico "Angelo Mosso".

Analogo protocollo e collaborazioni, escludendo solo la componente briofitica, è stato seguito negli anni 2009-2010 nell'ambito del progetto europeo "Biodiversità: una ricchezza da conservare", nel Programma Interreg transfrontaliero Italia-Svizzera 2007-2013, coordinato dalla provincia di Verbania. Arpa si sta occupando, in qualità di *partner*, di studiare gli effetti del cambiamento climatico sull'ecosistema alpino e ha individuato - con i criteri messi a punto della rete svizzera di monitoraggio dei cambiamenti climatici *Permanent plot* - due transetti su di un gradiente altitudinale regolare compreso tra 1.600 e

2.600 m s.l.m., rispettivamente nel vallone del Vannino in val Formazza e nel vallone di San Bernardino in val Bognanco (entrambi in Provincia di VB). Tali stazioni sono state recentemente incluse all'interno del sito "Ambienti d'Alta quota Alpi Occidentali" della rete *Long Time Ecological Research* (LTER-Italia) di monitoraggio ecologico a lungo termine, gestita da vari istituti di ricerca nazionali.

Nell'ambito delle analisi di pedofauna effettuate, oltre all'applicazione degli indici di qualità del suolo QBS-ar - che consentono di individuare situazioni generiche di stress e fornire informazioni sul grado di biodiversità - si è effettuata l'applicazione di un nuovo indice basato sulla comunità dei Collemboli (QBS-c) messo a punto dall'Università di Parma, che individua maggiori dettagli in merito all'adattamento a variazioni dello stato termico e idrico del suolo in ambiente alpino.

Bognanco				Vannino					
		Micr. 1 %	Micr. 2 %	Altre			Micr. 1 %	Micr. 2 %	Altre
TR1	2009	0	16,73	83,27	TR1	2009	0	24,82	75,18
TR1	2010	0	18,52	81,48	TR1	2010	0	28,90	71,10
TR2	2009	0	4,74	95,26	TR2	2009	0,49	64,80	34,71
TR2	2010	0	5,26	94,74	TR2	2010	0,66	60,53	38,81
TR3	2009	0,17	22,98	76,85	TR3	2009	2,34	93,62	4,04
TR3	2010	0	27,99	72,01	TR3	2010	2,78	92,78	4,44
TR4	2009	1,72	81,50	16,78	TR4	2009	20,63	52,06	27,31
TR4	2010	1,90	83,06	15,04	TR4	2010	21,28	49,31	29,41
TR5	2009	29,97	68,86	1,17	TR5	2009	7,49	90,50	2,01
TR5	2010	21,42	77,82	0,76	TR5	2010	7,92	91,64	0,44
TR6	2009	29,66	68,47	1,87	TR6	2009	46,33	53,67	0
TR6	2010	33,99	64,05	1,96	TR6	2010	41,58	58,42	0
TR7	2009	48,84	51,16	0	TR7	2009	46,18	53,48	0,34
TR7	2010	48,49	51,51	0	TR7	2010	46,10	53,37	0,53

Figura 1 - Copertura media dell'indice di temperatura T di Landolt delle piante erbacee

Legenda: Micr.1) piante tipiche alpine e artiche; Micr.2) piante tipiche subalpina, presenti in zona alpina anche in esposizione Sud; TR1-TR7) codice dei plot dei due transetti dal più basso (TR1, 1600 m circa) al più alto (TR7, 2600 m circa).

Al fine di interpretare i dati e individuare i gradienti ecologici su cui confrontare nel tempo eventuali scostamenti, è in corso l'analisi multivariata dei dati raccolti e la determinazione di indici afferenti ai valori di

- copertura delle specie microterme
- massima altitudine raggiunta da alcune specie selezionate
- composizione floristica per fascia altitudinale

con cui sarà possibile seguire nel tempo il rateo di migrazione altitudinale delle specie. L'esecuzione di ulteriori 80 rilievi floristico-vegetazionali nel vallone del Vannino per la realizzazione della modellistica bioclimatica ha consentito di definire su base statistica la nicchia ecologica di un pool ristretto di specie (figura 1).

TORBIERE ALPINE

Un campo di indagine importante per lo studio sugli effetti del cambiamento climatico sulla biodiversità - al punto da essere uno dei capisaldi delle politiche di tutela previste dal "Piano di Azione per il Cambiamento Climatico nelle Alpi" (nell'ambito della Convenzione delle Alpi) - è quello delle torbiere alpine.

La loro stretta dipendenza dal regime delle precipitazioni, l'elevata specializzazione degli organismi associati e il ruolo svolto nell'assorbimento del carbonio o di rilascio in atmosfera di CO₂ e CH₄ in caso di degrado, ne fanno biotopi estremamente vulnerabili e importanti dal punto di vista della variabilità climatica. Oggetto monitorato sono le torbiere alte attive, *habitat* considerato prioritario nella Rete Natura 2000, composto principalmente da sfagni (organismi altamente specializzati che riescono a proliferare in climi molto freddi e derivano nutrimento e umidità esclusivamente dalle precipitazioni) insieme ad altre specie molto sensibili a 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* sopra citato sono state studiate due torbiere di questa tipologia a San Bernardo (Val Bognanco, a 1.600 m s.l.m.,VB), e all'Alpe Balma (Val Formazza, a 2.075 m s.l.m.,VB). Le indagini hanno comportato sia rilievi vegetazionali che faunistici di alcune specie: relitti di flora artico-alpina (come *Carex pauciflora*, *Drosera rotundifolia*, *Eriophorum vaginatum*) con gli stessi sfagni, invertebrati (come il lepidottero *Colias palaen*) e specie boreali di libellule.

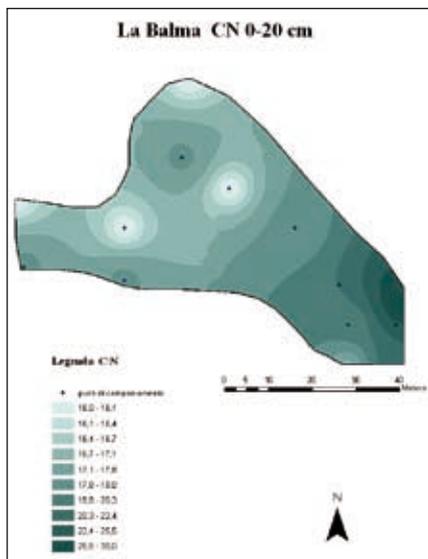


Figura 2 - Mappa distribuzione rapporto C/N nell'ambito dei primi 20 cm di suolo della torbiera dell'Alpe Balma (Formazza, VB)

Sono stati effettuati rilievi nivologici in quanto la presenza e abbondanza del manto nevoso influenza in modo sostanziale le dinamiche suolo-vegetazione, governando lo status termico del suolo, la disponibilità di acqua primaverile, la lunghezza della stagione vegetativa. Inoltre, si è avviato un monitoraggio degli scambi di CO_2 , per effettuare una stima del bilancio annuale del carbonio, sia durante il periodo invernale, quando l'attività microbica, protetta dalla copertura nevosa, è intensa, sia durante il periodo vegetativo estivo. Quest'ultimo ha richiesto la messa a punto da parte del Dipartimento di Biologia Vegetale di una apposita *canopy chamber* collegata a un

gas analyzer portatile che consente di registrare il bilancio complessivo degli assorbimenti fotosintetici, delle emissioni respiratorie della vegetazione e delle attività emmissive del suolo.

Nelle due aree esaminate, in corrispondenza di ciascun rilievo vegetazionale, è stato condotto un campionamento pedologico a due profondità (0-20 cm e intorno ai 50 cm) al fine di quantificare la concentrazione di carbonio (C) e azoto (N) nel suolo e la sua variabilità nell'ambito delle due torbiere (figura 2). I risultati mostrano che la quantità di C accumulata è di 340 t/ha all'Alpe Balma e di 314 t/ha a San Bernardo. Confrontando questi dati con lo stock di altri ecosistemi, si evince l'importanza delle torbiere come riserva di carbonio. Lo stock di C organico dei suoli forestali risulta mediamente tra i 60-80 t/ha, con valori che solo in casi molto particolari superano i 100 t/ha.

ODONATI

Il Dipartimento di Verbania di Arpa ha avviato nelle due torbiere uno studio delle comunità di libellule (Odonata), come indicatori biologici dei cambiamenti climatici che tali organismi svolgono in climi temperati. Le libellule adulte hanno bisogno di temperature sufficientemente miti per volare mentre

la sopravvivenza e il tasso di sviluppo delle larve è condizionato dalla temperatura dell'acqua. L'obiettivo è stato quello di fornire una *check-list* delle specie presenti nei due siti, corredata da classi di abbondanza, per poter verificare nel tempo l'ipotesi di potenziale perdita delle specie adattate a climi più freschi e, parallelamente, il possibile aumento della ricchezza specifica in seguito all'ingresso di taxa meridionali. Negli ultimi decenni molte libellule di climi caldi hanno sensibilmente spostato il limite settentrionale delle loro aree di distribuzione verso nord, mentre alcune, adattate ai climi più freschi, hanno riportato contrazioni di areale a seguito dell'aumento generalizzato delle temperature. Tra queste si ritrovano le specie boreali, caratterizzate da distribuzioni disgiunte boreo-alpine e maggiormente esposte al rischio di scomparsa, in quanto è per loro impossibile spostarsi ulteriormente verso nord o a quote maggiori.



Figura 3 - *Somatochlora arctica*

Riveste grande interesse naturalistico e conservazionistico il ritrovamento durante i rilievi di ben 4 specie boreali nello stesso sito, *Aeshna juncea*, *Somatochlora arctica* (unico sito di presenza accertata in Piemonte, figura 3), *S. alpestris* e *Leucorrhinia dubia* a San Bernardo. La presenza di una comunità così ricca in prossimità di stazioni meteorologiche montane è ottimale per studi a lungo termine.

LEPIDOTTERI ROPALOCERI

I Lepidotteri ropaloceri (farfalle diurne) sono ritenuti organismi sentinella del cambiamento climatico, in quanto usano particolari strategie per sfruttare la temperatura esterna per ottimizzare il calore corporeo; le loro attività di volo (in fase adulta) dipendono strettamente dalla temperatura e dal grado di insolazione. Per questo motivo, a partire dal 2007, Arpa Piemonte ha avviato una collaborazione con il laboratorio di Zoologia dell'Università di Torino, iniziata con lo studio degli effetti relativi all'ondata di calore dell'estate 2003 sulla popolazione di *Maculinea teleius* e *Maculinea alcon* a Caselletto (TO) e terminata con la collaborazione nell'ambito del progetto Interreg (paragrafi precedenti con lo studio di *Colias palaeno*).

La presenza di questa specie è strettamente legata all'unica pianta nutrice degli stadi larvali, *Vaccinium uliginosum*, presente sull'arco alpino nelle torbiere alte e nelle lande alpine. Recenti studi effettuati nel sud della Germania hanno mostrato un forte declino di questo lepidottero in molte aree di torbiera, anche quando le caratteristiche generali dell'*habitat* sono apparentemente rimaste uguali. Causa principale sembra essere un'elevata mortalità degli stadi larvali, determinata da cambiamenti chimico-fisici nelle caratteristiche della pianta nutrice, potenzialmente correlati a generali cambiamenti nel regime idrologico delle torbiere o nelle temperature medie dell'aria.

Lo studio coordinato tra Italia e Germania per confrontare i *pattern* di variazione spaziale e temporale della pianta nutrice e valutare il suo ruolo nel declino di *Colias palaeno* potrebbe individuare nell'arco alpino un importante serbatoio per la conservazione della specie a livello europeo.

Nelle due torbiere del Verbano, le ricerche effettuate dagli zoologi in stretta collaborazione con l'*équipe* di botanici, pedologi e meteorologi nell'ambito del progetto, hanno mostrato come lo sviluppo e la sopravvivenza larvale sembrano essere agevolati da una ridotta presenza di composti fenolici nelle foglie (figura 4). Tali composti sono metaboliti secondari che possono avere effetto deterrente nei confronti degli erbivori, riducendo a una breve finestra temporale il tempo a disposizione delle larve per lo sviluppo e facilitando la possibilità di desincronizzazioni tra i due livelli trofici in un'ottica di cambiamenti climatici.

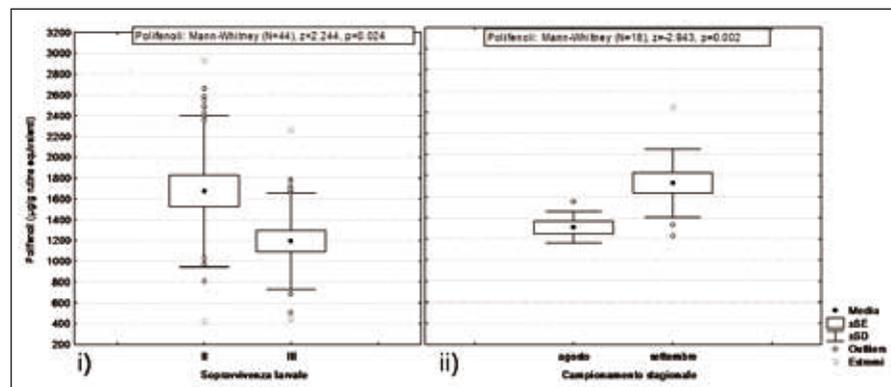


Figura 4 - Polifenoli

Legenda: i) Le foglie a disposizione dei bruchi che raggiungono il terzo stadio prima dello svernamento presentano un contenuto di polifenoli significativamente inferiore rispetto agli altri (II: secondo stadio; III: terzo stadio);

ii) Il contenuto di polifenoli aumenta significativamente all'interno della finestra temporale che i bruchi hanno a disposizione prima dello svernamento.

Per quanto riguarda gli studi sulla popolazione di *Maculinea teleius* e *Maculinea alcon* a Caselletto (TO), due specie igrofile legate a prati igrofilici dominati da *Molinia*, è stato possibile osservare e stimare gli effetti della siccità e delle alte temperature registrate nel corso della primavera-estate 2003 a livello dell'asincronia nel rapporto pianta nutrice e farfalla - che ha portato ad un allungamento della longevità media delle femmine adulte non sufficiente a garantire la deposizione delle uova - e una modificazione del comportamento di volo che ha influito sugli accoppiamenti, spiegando così il decremento demografico osservato l'anno successivo.

Nel 2009 si è effettuato un confronto dei dati di Caselletto con i dati raccolti della stessa specie all'interno del Sito di Interesse Regionale della Torbiera della Valle Scoccia (M. Mottarone, VB) collocando, in entrambe le aree, sensori di temperatura (Button DS1923). Il confronto ha consentito di evidenziare come l'attività di volo degli individui della popolazione del Mottarone sia meno limitata dal raggiungimento di temperature ambientali elevate, contrariamente a quanto osservato a Caselletto, in concomitanza con un aumento crescente delle temperature. Inoltre, il monitoraggio fenologico della pianta nutrice, eseguito in entrambe le aree di studio con cadenza settimanale durante l'intero periodo di volo delle farfalle, ha consentito di osservare una migliore sincronia con il periodo di fioritura, ottimale per la sopravvivenza degli stadi larvali di *Maculinea alcon* nell'area della Valle Scoccia rispetto al sito di Caselletto. Tali dati, oltre a confermare l'importante ruolo di conservazione della Valle Scoccia, evidenziano in un'ottica di cambiamento climatico la maggior vulnerabilità delle aree di bassa quota ad un eventuale innalzamento delle temperature che potrebbe ulteriormente ridurre il tempo disponibile per il volo degli adulti e la sincronia con la pianta nutrice.

Nel corso degli anni 2009-2010 è stato avviato da Università di Torino e Arpa Piemonte, congiuntamente al Comune di Valdieri (CN), un progetto per conoscere la composizione delle cenosi di farfalle diurne a 31 anni da un censimento originario effettuato dal CNR nel Vallone del Valasco (Valle Gesso, CN), lungo un transetto altitudinale compreso tra 1.260 e 1.900 m s.l.m., in cui l'analisi vegetazionale non ha evidenziato cambiamenti significativi.

I risultati sono stati analizzati sulla base dei cambiamenti climatici riscontrati nell'area in esame e ottenuti grazie al metodo dell'*Optimal Interpolation* che hanno evidenziato, nei dati relativi a tale zona, un *trend* di crescita statisticamente significativo nei valori delle temperature minime, in particola-

re nel periodo 1990-2009. Dalle 51 specie riscontrate nel 1978 si è passati nel 2009 a 76 specie rilevate, con un aumento di specie termofile sul totale che oscilla dal 14% (7 specie) al 26% (18 specie) nei singoli transetti, così come si è osservato un maggior numero di specie xerofile e di specie che frequentano gli orizzonti mediterraneo, padano-veneto e montano-inferiore. Parallelamente a ciò, si registra la diminuzione, in quasi tutte le cenosi, della componente di specie microterme e la scomparsa dell'unica specie igrofila (*Coenonympha glycerion*) e di specie tipicamente alpine (come *Pieris callidice* e *Colias phicomone*). I rilievi hanno anche evidenziato uno spostamento in quota di *Parnassius apollo*, *Polyommatus coridon* e *Satyrus ferula*.

FENOLOGIA VEGETATIVA

La fenologia è una branca dell'ecologia che studia i rapporti tra i fattori climatici e la manifestazione stagionale di alcuni fenomeni della vita di organismi animali e vegetali. I cambiamenti fenologici possono rappresentare una notevole criticità ecologica in quanto possono determinare desincronizzazioni nell'interazione tra le specie - ad esempio tra le piante e i loro impollinatori o tra gli organismi vegetali e gli erbivori - andando in questo modo ad alterare la struttura delle comunità. Il passaggio per le differenti fasi dei cicli vitali dipende per un gran numero di specie vegetali dalla temperatura accumulata, che i biologi denominano grado-giorno (GG), vale a dire il totale dell'energia richiesta da un organismo per svilupparsi e passare da uno stadio all'altro del suo ciclo vitale. L'evidenza di alterazioni è facilmente osservabile dai registri fenologici dei vari fenomeni biologici che, se correlati significativamente alle serie climatiche, consentono di cogliere eventuali cambiamenti nella risposta delle specie a mutamenti climatici.

A seguito di una richiesta specifica della Regione Piemonte, Arpa ha reso possibile e supportato, dal punto di vista dell'analisi meteorologica, la messa a punto di una rete regionale di rilievo periodico annuale della fenologia arborea per alcune specie più rappresentative distribuite nei territori dei Parchi regionali che hanno aderito all'iniziativa, sotto la conduzione del Settore Fito-patologico della Regione e l'assistenza tecnico-scientifica del Dipartimento di Biologia Vegetale. Notevole importanza riveste in ambiente alpino anche la fenologia delle piante erbacee e a tal fine si è indagata nelle stazioni meteorologiche dislocate nelle Alpi del Verbano la possibilità di utilizzare i nivometri dotati di sensori ad ultrasuoni per letture della crescita della vegetazione.

L'indagine ha consentito di individuare come ottimale il sito della stazione meteorologica posta all'Alpe Devero (Baceno, VB, 1.600 m s.l.m.). In tale sito sono programmate, per la stagione vegetativa 2011, le osservazioni in campo delle fenofasi di 5 specie tra le più rappresentative del prato pascolo, al fine di creare un primo registro di dati e abbinare l'applicazione di tecniche di rilievo strumentale e per consentire l'esecuzione dell'Indice di Copertura Fogliare (LAI), utile per i bilanci energetici e radiativi.

POLLINI

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 foto-periodo e temperature.

I parametri climatici rivestono un ruolo fondamentale, sia nel processo di liberazione del polline sia della quantità di polline prodotto e al relativo andamento della pollinazione. Ogni qualvolta si verificano anomalie climatiche, le piante rispondono con variazioni nell'inizio e nella durata delle varie fenofasi.

I dati del polline aero-disperso diventano interessanti quando possono venire letti congiuntamente ai parametri derivanti da centraline meteorologiche rappresentative della meteorologia locale. In questo modo, una volta individuati e calcolati idonei parametri di pollinazione, è possibile analizzarli in relazione ai fattori climatici e rilevarne eventuali variazioni in corrispondenza di anomalie termiche, evidenziando così possibili tendenze verso l'anticipo o il posticipo della pollinazione.



Figura 5 - Polline di nocciolo visto al microscopio ottico. Le dimensioni dei pollini variano da 10 a 100 μm

In Arpa Piemonte, dal 2002, è attiva una rete di monitoraggio aerobiologico che dispone di stazioni site in aree urbane, dove l'incidenza della pollinosi è in costante aumento (Cuneo, Tortona, AL, Novara), e in luoghi caratteristici per motivi geografici e climatici (Bardonecchia, TO, e Omegna, VB).

I dati delle letture delle 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. In particolare è stato individuato l'inizio del Periodo Principale di Pollinazione (inteso come il giorno in cui la somma delle percentuali annuali dei taxa considerati raggiunge il 5% del totale e in cui si abbia una liberazione di polline dell'1%) come il parametro più sensibile alle variazioni di temperatura, così come confermato dagli anticipi rilevati negli anni 2003 e 2007, che sembrano avvalorare l'ipotesi suggerita in letteratura secondo cui la pollinazione sarebbe influenzata dalla temperatura media dei mesi antecedenti la liberazione del polline.

Negli anni 2009 e 2010 è stato effettuato un approfondimento dei dati rilevati nella stazione aerobiologica di Omegna (VB) su quattro taxa considerati rappresentativi di diversi periodi stagionali: il Nocciolo (tardo invernale, **figure 5 e 6**), la Betulla (inizio primavera), il Platano (primavera) e il Castagno (inizio estate). A livello sperimentale è stata effettuata un'analisi di correlazione statistica preliminare tra i dati meteorologici e pollinici del nocciolo, un taxa a fioritura precoce che sembra essere maggiormente influenzato dalle temperature. Per tale taxa è in corso sia l'analisi del "chilling requirement", ossia l'"esigenza di freddo" della pianta necessaria per potere superare il periodo di dormienza e quindi cominciare ad accumulare caldo per fiorire, sia il calcolo delle "somme termiche" relazionate all'inizio del periodo di pollinazione.

Sebbene gli studi siano ancora in corso, è stato possibile verificare come, in accordo con la letteratura, i taxa a fioritura invernale come il nocciolo sembrano maggiormente influenzati dalle temperature, a differenza dei taxa a fioritura primaverile-estiva, per i quali è probabile anche l'influenza del foto-periodo.

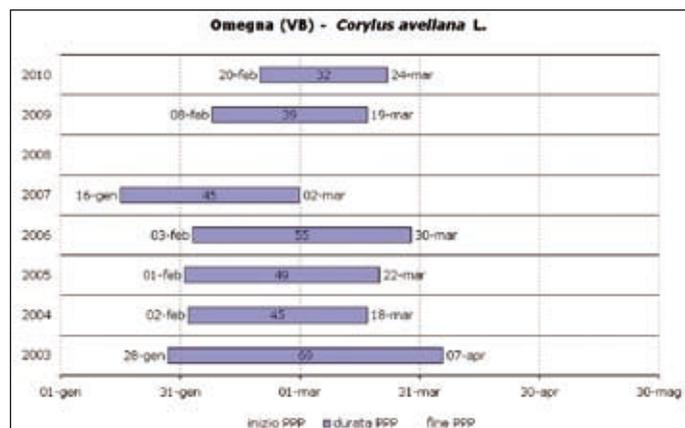


Figura 6 - Inizio, durata e fine del periodo principale di pollinazione (PPP) per la stazione di Omegna dal 2003 al 2010

AVIFAUNA MIGRATORIA

In campo faunistico, gli studi fenologici sull'avifauna hanno indagato sia gli effetti dei cambiamenti climatici sulle popolazioni nidificanti sia gli effetti sui migratori, evidenziando un'elevata variabilità. Vi sono studi che mostrano un anticipo della migrazione di alcune specie di uccelli verso l'areale riproduttivo o una distribuzione più settentrionale dei quartieri di nidificazione e di svernamento, modificando così la proporzione tra individui stanziali e migratori all'interno delle stesse popolazioni. Tuttavia, non è ancora chiaro, specie per i migratori a lungo raggio (transahariani), se questi dati siano correlati a cambiamenti climatici globali, a condizioni locali o ad altri fattori ancora da evidenziare.

La correlazione tra variazione delle date di arrivo e partenza dei migratori in Piemonte e i cambiamenti climatici non è ancora stata effettuata in maniera approfondita e sistematica. Non sono stati rilevati cambiamenti significativi nelle date di arrivo e partenza di alcune specie di cui si dispone di serie di dati fenologici piuttosto consistenti, ad esempio per il rondone pallido (*Apus pallidus*) a Carmagnola e per l'usignolo (*Luscinia megarhynchos*). Arpa, con il supporto del gruppo di ricerca di Ecologia Animale del Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo (Università di Torino), sta analizzando i dati del Centro Studi Migrazioni regionale di Fondotoce (VB), gestito dall'Ente Parchi del Lago Maggiore, *partner* del progetto Interreg della Provincia di Verbania. In particolare, si cercherà di individuare le relazioni tra fenomeno migratorio e condizioni meteorologiche locali, regionali e globali, e si verificherà, sulla base dei risultati ottenuti, l'ipotesi di utilizzare i dati di questo importante centro di inanellamento, posto lungo il più importante corridoio transalpino regionale, per monitoraggi di medio-lungo termine.

CONCLUSIONI

Le attività rappresentate, sebbene col carattere sperimentale che le contraddistingue, hanno permesso ad Arpa di acquisire esperienza in campi poco consueti, ma fondamentali per lo studio dei rapporti tra variabilità climatica e biodiversità. L'obiettivo di queste prime attività è quello di creare i presupposti per l'implementazione di una rete di punti di controllo sulla base dei principi delineati dalla Conferenza Nazionale 2007 sui cambiamenti climatici; in particolare l'unione di competenze e discipline diverse per avere una visione più completa, la selezione delle metriche meteorologiche più adatte a seguire i

fenomeni biologici oggetto di indagine, la riproposizione di studi in aree dove è possibile utilizzare dati pregressi correlabili all'andamento climatico.

Resta la necessità di definire una prima strategia di monitoraggio regionale da implementare tenendo conto delle esigenze di rappresentatività, aggregabilità, confrontabilità e valutabilità a varie scale spaziali e degli indicatori che l'Agenzia Europea dell'Ambiente ha individuato nella pubblicazione *"Impacts of Europe changing climate - 2008 indicator-based assessment (EEA Report n°4/2008)*.

Le applicazioni di un tale programma di monitoraggio non riguarderebbero solo le politiche di conservazione e adattamento degli ecosistemi, ma anche le valutazioni di sostenibilità ambientale, come ad esempio la VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) di progetti sensibili alle modificazioni dei parametri meteorologici e climatici come le derivazioni idroelettriche. Ulteriori sviluppi sono da ricercare nell'implementazione di tecniche di bilancio energetico-ambientale che valutino il contributo all'assorbimento del carbonio da parte degli ecosistemi naturali e semi-naturali.

STRUMENTI PER LA GESTIONE SOSTENIBILE DEI LAGHI NELLO SPAZIO ALPINO

È risaputo che i cambiamenti climatici influenzano le caratteristiche degli ecosistemi acquatici, in particolare quelli lacustri. Diversi studi hanno dimostrato strette connessioni tra clima, proprietà termiche lacustri e fisiologia degli organismi, abbondanza della popolazione, struttura delle comunità e la rete alimentare. Comprendere la complessa interazione tra clima, la variabilità idrologica, la struttura e il funzionamento degli ecosistemi è essenziale per la valutazione del rischio legato alla sopravvivenza e gestione dei laghi. Questa è infatti la principale attività del Work Package 4 (WP4) all'interno del progetto SILMAS (*Sustainable Instruments for Lakes Management tools in Alpine Space*, www.silmas.eu, - **figura 1**), nell'ambito del Programma di Cooperazione Territoriale Spazio Alpino 2007-2013.



Figura 1 - Progetto europeo SILMAS

L'obiettivo di Arpa Piemonte nell'ambito del progetto, in qualità di *leader*, è quello di valutare i *trend* a lungo termine riguardanti le caratteristiche fisiche (temperatura, tempo di stratificazione), chimiche (concentrazione di nutrienti) e biologiche (fioriture primaverili, composizione del fitoplancton e abbondanza dello zooplancton) dei laghi, e di esaminare l'influenza delle condizioni meteorologiche relative ai luoghi di studio da una parte (ad esempio temperatura e precipitazioni) e dall'altra valutare la variabilità climatica su ampia scala, ad esempio *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) e *Pacific Decadal Oscillation* (PDO), fattori in grado di influenzare le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del lago.

I laghi sono biologicamente sensibili ai cambiamenti dell'ambiente circostante e l'impatto sulla qualità delle loro acque è di notevole importanza ecologica, ricreativa ed economica.

Dal 1970 la biodiversità delle acque dolci ha subito una diminuzione più rapida rispetto alla biodiversità marina e terrestre. Questo è il risultato di un complesso *mix* di fattori di pressione, quali un intenso utilizzo delle acque (pe-

sca, navigazione e estrazione dell'acqua), l'aumento di nutrienti e del carico organico, l'acidificazione e il degrado dell'*habitat*.

Le Alpi costituiscono una delle regioni del mondo dove i cambiamenti climatici sono già percepibili, come dimostrato dal ritiro dei ghiacciai montani negli ultimi decenni. Dal 1900 ad oggi le temperature sono aumentate di circa 2 °C, soprattutto ad altitudini elevate; tale tasso è di circa tre volte il riscaldamento globale medio del XX secolo. Un aumento significativo della temperatura (circa 1 °C per tutto il periodo di osservazione) è stato in particolare osservato nel nord-ovest d'Italia nel periodo 1952-2002 (Ciccarelli *et al.*, 2008). Tale incremento è particolarmente evidente per le temperature massime giornaliere in inverno e durante i mesi estivi.

A livello previsionale, i modelli climatici regionali indicano che, entro il 2100, le temperature invernali subiranno un aumento in funzione degli scenari prodotti dalle emissioni di gas serra, mentre per quanto riguarda le precipitazioni si prevede un aumento in inverno e una forte diminuzione in estate. Gli impatti di questi cambiamenti climatici influenzeranno sia l'ambiente naturale sia le attività economiche. Infatti, gli impatti diretti e indiretti indotti dal riscaldamento globale interesseranno diversi settori economici, quali il turismo, l'energia idroelettrica, l'agricoltura e il settore assicurativo, poiché si ipotizza un maggior numero di catastrofi naturali.

I cambiamenti climatici si inseriscono in complesse relazioni causa-effetto, il cui legame è formato da parametri ambientali che interagiscono fra loro, e sono direttamente o indirettamente influenzati dalla temperatura e dalle precipitazioni.

La risposta degli ecosistemi è meno prevedibile rispetto alla risposta dei parametri chimici o idrologici.

Attualmente i cambiamenti climatici non sono considerati all'interno dalla Direttiva Quadro sulle acque anche se, vista l'importanza del tema, si presuppone che vi possa essere nei prossimi anni un maggiore interesse sugli ecosistemi acquatici e sulla loro vulnerabilità.

IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA BIOCENOSI LACUSTRE

Negli ultimi anni il monitoraggio degli ecosistemi lacustri in Europa è cambiato in modo significativo. Mentre in passato era diffuso l'uso di parametri fisico-chimici e di alcuni parametri biologici (come ad esempio la clorofilla), la Direttiva Quadro Europea sulle acque pone l'accento sull'utilizzo di indicatori biologici. Attualmente viene monitorata una grande varietà di organismi (fitoplancton, macrofite, invertebrati bentonici e pesci), integrati con monitoraggi idro-morfologici e fisico-chimici.

La maggior parte dei sistemi di valutazione biologica, sviluppati nell'ambito della Direttiva Quadro sulle acque, hanno lo scopo di valutare le alterazioni di un determinato campione biologico a partire da uno stato di riferimento indisturbato, fornendo in questo modo una valutazione integrata della qualità ecologica del corpo d'acqua. Come detto, l'impatto dei cambiamenti climatici è stato raramente considerato nei sistemi di valutazione e non è segnalato dalla Direttiva Quadro sulle acque. Tuttavia, quasi tutti gli indici utilizzati per monitorare lo stato ecologico dei laghi europei dovranno in futuro includere valutazioni sul clima.

Obiettivo del progetto è di verificare lo stato di avanzamento di tali processi mediante l'utilizzo di semplici indicatori e valutare quali di questi potrebbero essere integrati in sistemi di valutazione già utilizzati. I set di indicatori si dovranno adattare alle diverse zone alpine (zona fredda, zona temperata e zona calda). La base teorica per la scelta degli indicatori è descritta nella **tabella 1**.

In molti casi, le misurazioni fisico-chimiche semplici, come la temperatura, risultano le più appropriate, in quanto facili da produrre, incluse nei programmi di monitoraggio di *routine* e alla base delle relazioni causa-effetto.

I primi risultati del progetto SILMAS mostrano, per gli indicatori "stratificazione", "riduzione di ossigeno", "effetti della temperatura dell'acqua sul fitoplancton", "effetti della temperatura dell'acqua sullo zooplancton" la presenza di variabilità climatica nell'area di studio. Il passo seguente consisterà nello stimare i cambiamenti climatici e il loro impatto tramite l'uso di indicatori e scenari differenti per le diverse zone alpine.

Tabella 1 - Impatti diretti e indiretti dei cambiamenti climatici sui laghi

Categoria	Tipologia	Risposta
Idrologia	Copertura di ghiaccio	Aria più calda, e temperature dell'acqua più elevate, portano a un periodo di copertura di ghiaccio più corto. La relazione tra temperature dell'acqua e tempo di rottura del ghiaccio lacustre è descivibile attraverso una funzione arcocoseno
	Stratificazione termica	Temperature più elevate portano a inizi precoci e prolungamenti della stratificazione estiva. Da ciò può risultare un cambiamento dei processi relativi al rimescolamento e l'intero sistema si può trasformare da dimittico a monomittico. Una mancanza di completo turnover in inverno può portare a un termoclino permanente nelle zone più profonde
	Livello dell'acqua	Aumento della temperatura e diminuzione delle precipitazioni in unione con un intenso uso dell'acqua diminuiscono il volume dell'acqua: questo porta a un disequilibrio in termini di livello dell'acqua, e in molti casi , alla completa perdita dei corpi d'acqua
Fisica - chimica	Diminuzione dell'ossigeno	Alte temperature stimolano la crescita del fitoplancton, che porta alla diminuzione dell'ossigeno negli habitat più profondi
	Effetti dell'acidificazione sul fitoplancton	Acidificazione avviene in seguito a siccità , e causa cambiamenti in ambito di ricchezza e biomassa del fitoplancton
Produzione primaria	Effetti della temperatura dell'acqua sul fitoplancton	Aumento della temperatura dell'acqua provoca un aumento in termini di cianobatteri rispetto alle diatomee e criptofite. Questo effetto è particolarmente evidente a temperature > 20°C, dal momento che i cianobatteri (specialmente larghi, filamentosi) e le alghe verdi sono favorite alle alte temperature
	Effetti della temperatura dell'acqua sulle macrofite	Variazioni interne annuali in temperature dell'acqua portano a una colonizzazione in termini di macrofite e della loro biomassa, e ad un incremento nell'intera biomassa del lago
Produzione secondaria	Effetti della temperatura dell'acqua sullo zooplancton	Temperature più elevate portano ad un cambiamento della composizione della comunità di zooplancton. Maggiori e precoci tassi di crescita di <i>Daphnia</i> ed estati più precoci si verificano a causa delle maggiori temperature primaverili. Come risultato, una maggiore biomassa di <i>Daphnia</i> porta ad una precoce soppressione del fitoplancton e ad un cambiamento: da una dominanza di specie di grandi dimensioni ad una dominanza di specie di piccole dimensioni
	Effetti della temperatura dell'acqua sui pesci di acqua fredda	Temperature dell'acqua più elevate (specialmente nell'epilimnio) portano ad una progressiva riduzione degli habitat termici, per esempio <i>Salvelinus namaycush</i> . Come risultato, le specie di acqua fredda spariscono dai litorali in primavera e in estate. Inoltre, temperature più alte riducono la riproduzione di specie di acqua fredda e aumentano la pressione a livello di parassiti e predatori.
Reti alimentari	Effetti della temperatura dell'acqua sulle reti alimentari	Un aumento della temperatura dell'acqua genera cambiamenti rilevanti nell'ambito delle reti alimentari. I ciprinidi plantivori riescono a sopravvivere, mentre gran parte dello zooplancton viene eliminato

Indicatore	Note
Durata della copertura di ghiaccio, tempo di rottura, spessore del ghiaccio	La durata dello strato di ghiaccio è semplice da monitorare, ad esempio con il remote sensing. Per alcuni laghi esistono dati relativi allo spessore del ghiaccio
Durata della stratificazione estiva quale risultato della temperature dell'acqua	La temperature dell'acqua riflette la stato della stratificazione lacustre
Superficie dell'acqua	Facile da monitorare attraverso il remote sensing
Concentrazione dell'ossigeno sul fondo della colonna d'acqua.	Il parametro è facile da osservare e spesso viene misurato di routine nell'ambito del monitoraggio chimico.
pH; Indici biotici acidi	Il pH è facile da determinare e spesso viene misurato di routine nell'ambito del monitoraggio chimico. Poiché il pH varia stagionalmente e giornalmente, gli indici biotici sono spesso più stabili.
Fitoplancton biomassa e composizione, fioriture algali di cianobatteri	Questo cambiamento in composizione della comunità fornisce informazioni circa la risposta del biota al cambiamento delle caratteristiche del lago come la temperatura dell'acqua. La composizione del fitoplancton è monitorata di routine come dettato dalla Direttiva Quadro sulle Acque.
Temperatura dell'acqua	Il parametro è facile da osservare e spesso viene misurato di routine nell'ambito del monitoraggio.
Zooplancton biomassa e composizione, dimensione delle classi	La risposta dello zooplancton (sebbene non monitorato dalla Direttiva Quadro sulle Acque) potrebbe essere un buon indicatore per quanto riguarda i cambiamenti nella dinamicità delle catene alimentari dovute all'aumento di temperatura.
Temperatura estiva dell'acqua o temperature dell'aria	La temperature dell'acqua è facile da misurare, ma anche la temperatura dell'aria riflette il riscaldamento dello strato rimescolato della temperatura.
Rapporto tra specie di pesci plantivori e piscivori; rapporto tra specie di grandi e piccole dimensioni di zooplancton	Le struttura delle reti alimentari è ben descritta da questi due parametri. Lo zooplancton di larghe dimensioni determina effetti sul fitoplancton, le specie plantivore determinano effetti sullo zooplancton.

SALUTE



CAMBIAMENTI CLIMATICI ED EFFETTI SULLA SALUTE

Il riscaldamento globale e gli effetti che esso ha e avrà sul clima, in termini sia di modificazione dei valori medi, che di aumento della variabilità, determina un forte impatto diretto e indiretto sulla salute. Numerosi studi hanno infatti messo in evidenza gli aumenti di mortalità e morbilità dovuti direttamente all'acuirsi di condizioni meteorologiche estreme, non solo in termini di aumento di temperatura ma anche indirettamente per effetto dell'incremento di altri eventi naturali calamitosi, quali ad esempio inondazioni e incendi.

Inoltre si registrano conseguenze sulla salute dovute alle modificazioni indotte dal cambiamento climatico su disponibilità e qualità dell'acqua, approvvigionamenti alimentari, diffusione di malattie infettive (in particolare quelle che per la loro trasmissione necessitano di vettori), agenti allergeni, con aumento dei periodi a elevata intensità di concentrazione pollinica.

Si aggiunga il fatto che, specie nei paesi più industrializzati, si intensificano le conseguenze sanitarie dovute all'interazione tra aumento di temperatura e inquinamento atmosferico, soprattutto nelle aree a maggior urbanizzazione.

Va infine sottolineato il fatto che gli impatti sulla salute determinati dalle modificazioni climatiche si manifestano maggiormente nella popolazione più vulnerabile, per caratteristiche di età (anziani, bambini), di genere (più colpite le donne), di condizioni di salute ma soprattutto a causa di condizioni di disagio socio-economiche, e quindi il clima influenza e peggiora ulteriormente la forbice tra ceti rispetto allo stato di salute e ha quindi anche implicazioni di carattere sociale nelle popolazioni colpite.

Una delle priorità emersa negli ultimi anni per l'Europa riguarda sicuramente l'aumento della frequenza e della durata delle **ondate di calore** cioè di periodi con persistenza di temperature elevate, scarsa ventilazione ed elevate condizioni di umidità. Durante l'estate 2003 l'Europa ha sperimentato una prolungata e ripetuta esposizione alle ondate di calore: in molti paesi dell'Europa centro- occidentale si sono verificate condizioni climatiche caratterizzate da temperature e umidità elevate straordinarie per intensità e durata. Queste forti ondate di calore hanno avuto un notevole impatto sull'ambiente,

sulle attività umane (diminuzione della massa totale dei ghiacciai alpini del 10%, condizioni di siccità prolungata, riduzione drastica della produzione agricola, con punte dal 30 al 60%, 650.000 ettari di foresta distrutti dagli oltre 25.000 incendi registrati...) e sulla salute.

L'effetto più drammatico delle ondate di calore dell'estate 2003 è sicuramente stato l'aumento di morbilità e di mortalità giornaliera. All'inizio del 2004 la stima dei decessi avvenuti durante e immediatamente dopo le ondate di calore del 2003, in Inghilterra, Galles, Francia, Italia e Portogallo era pari a 22.080 casi. Ad oggi da un'analisi più approfondita dei dati a disposizione si può ragionevolmente stimare che i decessi dovuti agli effetti delle ondate di calore sulla salute nel corso dell'estate del 2003 sono stati almeno il doppio. L'ISTAT ha dichiarato che in tutta Italia nel periodo giugno-settembre 2003 è stato registrato un eccesso di mortalità di 19.780 unità rispetto allo stesso periodo del 2002. Nei soli capoluoghi di regione si sono registrati 3.134 decessi in più nel periodo dal 1° giugno al 15 agosto (*figura 1*).

L'ondata di calore 2003 ha colpito duramente anche il Piemonte, facendo registrare valori record di temperatura massima in molte località piemontesi. Nella città di Torino, tra il 1 di giugno e i primi 15 giorni di agosto, la temperatura massima è stata superiore a 30°C per ben 66 giorni su 76, superiore a

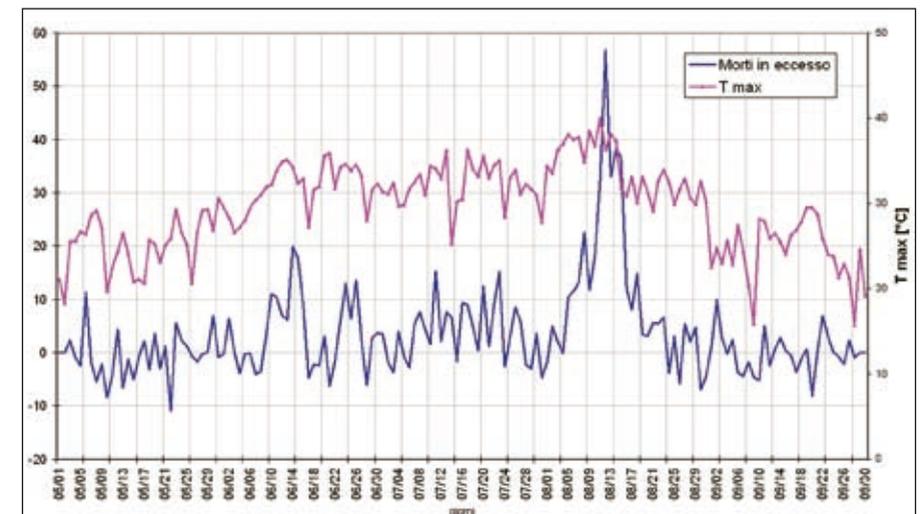


Figura 1 - Andamento della mortalità e della temperatura massima giornaliera a Torino nell'estate 2003

35 °C per 19 giorni, con un picco di 40.5 °C il giorno 11 agosto. Si sono avute in maniera praticamente ininterrotta condizioni critiche per quanto riguarda il benessere climatico delle persone in relazione alla valutazione congiunta di temperatura e umidità, con 20 giorni di situazione di “pericolo” per il disagio fisico, 54 con condizioni di “estrema cautela” e solo 2 in condizioni di “cautela”.

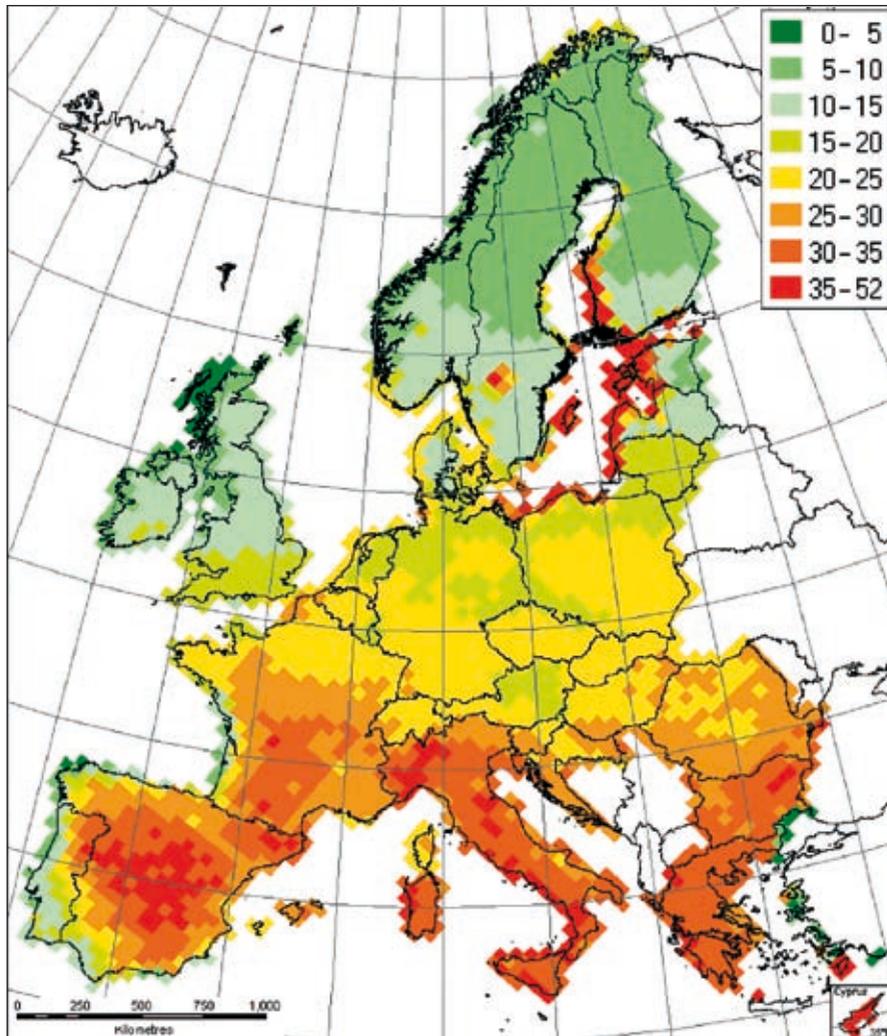


Figura 2 - Aumento della mortalità annuale dovuta alle ondate di calore nel periodo 2071-2100 per ogni 100.000 abitanti rispetto al periodo 1961-1990 nello scenario A2 (fonte: Libro Verde della Commissione Europea, 2007)

In questo periodo, nella sola città di Torino si è registrato un eccesso di 577 decessi, che rappresenta il valore più elevato mai raggiunto negli ultimi 30 anni. Il picco massimo di mortalità della popolazione anziana a Torino si è avuto nel periodo dall'11 al 14 di agosto con 187 morti in eccesso di cui 58 nella sola giornata del 12 agosto. L'aumento della mortalità è stato rilevato principalmente nella popolazione delle fasce di età anziane (>64 anni) e molto anziane (>74 anni). La mortalità è stata inoltre differenziale per sesso, colpendo di più in termini assoluti le donne rispetto agli uomini.

Se l'analisi degli effetti dell'ondata di calore del 2003 testimonia che si è stati in presenza di un evento eccezionale, l'Unione Europea stima, nello scenario che proietta un aumento di temperature di 3 °C nel periodo 2071-2100 (A2) rispetto al periodo 1961-1990, un eccesso di mortalità di 86.000 unità all'anno a livello europeo. Con scenari più favorevoli (B2), che determinano un aumento di temperatura di 2,2 °C nel periodo 2071-2100, l'eccesso si riduce a 36.000 unità (figura 2).

Riconoscendo l'importanza di fronteggiare tali eventi e ridurre l'impatto sulla salute, Arpa Piemonte a partire dal 2004 ha messo a punto un sistema di sorveglianza e di allarme per la prevenzione degli effetti sulla salute delle ondate di calore estive, attivo dal 15 maggio al 15 settembre, che tiene conto anche degli effetti combinati di condizioni di disagio fisico e inquinamento da ozono, al fine di consentire al sistema sanitario e socio-assistenziale l'attivazione tempestiva di misure di prevenzione. In questo sistema la relazione tra i decessi giornalieri e gli indici di calore viene costantemente monitorata per tutti i capoluoghi di provincia della Regione. Al sistema di allarme si affiancano valutazioni annuali delle condizioni estive e delle conseguenze sulla mortalità, con approfondimenti tendenti a migliorare il target di popolazione suscettibile, evidenziare la distribuzione geografica della mortalità e gli effetti dell'isola di calore urbana, valutare e promuovere l'efficacia dell'adozione di misure di prevenzione idonee.

L'analisi sui dati sanitari effettuata rispetto alla recente e intensa anomalia termica verificatasi nei primi 10 giorni di aprile ha messo in luce che vi sono stati effetti sulla mortalità delle fasce più anziane e vulnerabili della popolazione, anche se gli eccessi non sono risultati statisticamente significativi. Questo dato ha fornito ulteriori elementi rispetto alla rilevanza in termini di

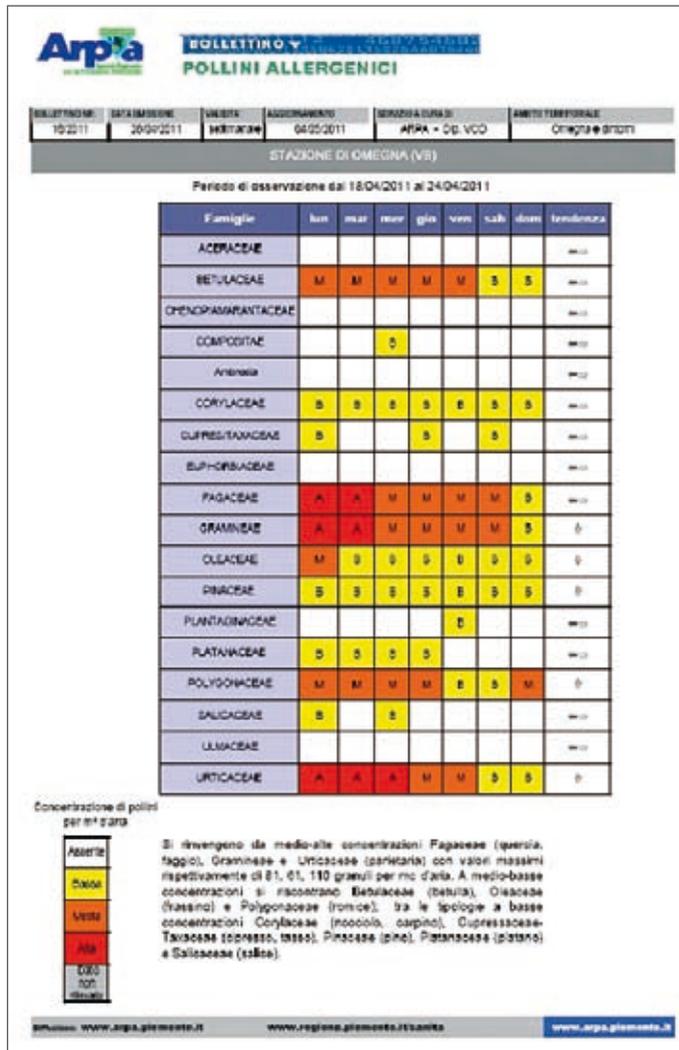


Figura 3 - Confronto tra le concentrazioni polliniche 2011 e la media delle concentrazioni polliniche anni precedenti (2002 - 2010), per la specie delle OLEACEAE - stazione di Novara

settimanale di un bollettino con l'andamento delle concentrazioni dei singoli taxa e una stima dell'andamento delle concentrazioni per la settimana successiva basato sulle condizioni meteorologiche previste (figura 3). Le stazioni di monitoraggio sono posizionate in aree urbane, dove l'incidenza della pollinosi è in costante aumento (Cuneo, Tortona - Alessandria, Novara, Vercelli, Torino), e in luoghi caratteristici per motivi geografici e climatici, come Bardonecchia (TO) e Omegna (VCO).

Al sistema di sorveglianza anche in questo caso di affiancano studi per caratterizzare l'influenza climatica nelle fasi di pollinazione e nell'entità delle concentrazioni dei pollini in atmosfera, sia su lunghe serie temporali, sia con approfondimenti relativi a periodi anomali. A titolo di esempio, l'analisi effettuata sui dati rilevati nella prima quindicina del mese di aprile di quest'anno, caratterizzati da un'anomalia climatica con temperature eccezionali, molto al di sopra delle medie stagionali (le temperature massime sono state ovunque superiori di circa 10 °C rispetto alla media delle massime della decade nel periodo 1971-2000) e superiori ai record storici (a Torino il 9 aprile la temperatura massima ha raggiunto i 31,8), associate a scarse precipitazioni, mostra gli effetti sull'emissione pollinica, che ha subito un repentino e consistente aumento del numero di granuli liberati in atmosfera.

Dal punto di vista quantitativo a carico di alcune famiglie polliniche si sono registrati incrementi significativi nelle concentrazioni di granuli, e dal punto di vista qualitativo, si sono riscontrati veri e propri anticipi di stagione

impatto sulla salute determinato dalle anomalie climatiche e mostrato quanto sarebbe importante e necessario estendere il periodo di attività del Sistema di Sorveglianza delle temperature in Regione, in modo da essere preparati a intervenire e fronteggiare con misure efficaci e tempestive le situazioni di estrema variabilità meteorologica a cui stiamo assistendo nell'ultimo decennio.

Anche sul fronte allergologico Arpa Piemonte è impegnata nel monitoraggio aerobiologico e nell'informazione alla popolazione, attraverso l'emissione

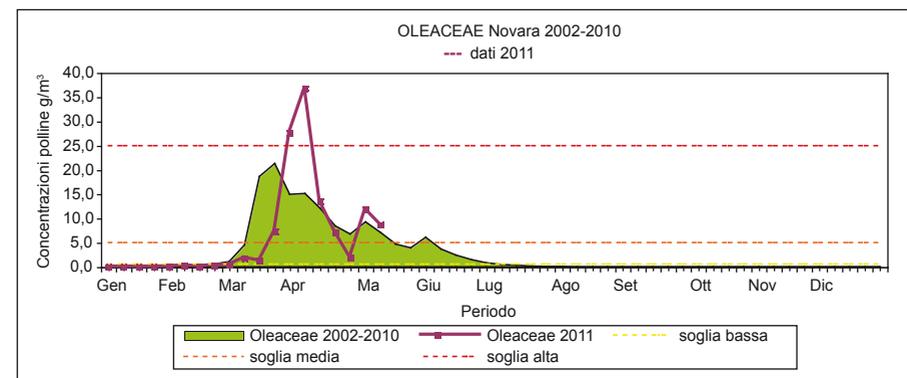


Figura 4 - Confronto tra le concentrazioni polliniche 2011 e la media delle concentrazioni polliniche anni precedenti (2002 - 2010), per le OLEACEAE - stazione di Novara

per alcune specie, in tutte le stazioni di rilevamento della rete.

In particolare l'ondata di calore atipica ha portato ad una concentrazione pollinica più alta del previsto per le famiglie Olaceae (es. frassino), Plataceae (es. platano), Salicaceae (es. salice) in 4 stazioni su 6, con valori superiori al doppio delle concentrazioni medie del periodo, mentre per le Fagaceae (es. quercia) l'incremento si registra solo in 3 stazioni (figura 4).

In particolare per le famiglie delle Gramineae, Pinaceae (es. pino), Polygonaceae e Urticaceae (es. ortica, parietaria) pare ci sia stato un anticipo dell'inizio dell'impollinazione, fino a 20 giorni, che in alcuni casi ha raggiunto rapidamente concentrazioni rilevanti, causato dalle elevate temperature non usuali del periodo (figura 5).

I sistemi di sorveglianza e preallarme sviluppati dall'Agenzia rispondono alle indicazioni contenute nel Libro Bianco della Commissione Europea "L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo" relativamente alla necessità di aumentare la resilienza delle politiche sociali e in materia di salute anche attraverso la sorveglianza e un controllo adeguati degli impatti dei cambiamenti climatici sulla salute, ad esempio tramite la sorveglianza epidemiologica, il controllo delle malattie trasmissibili e gli effetti di eventi estremi.

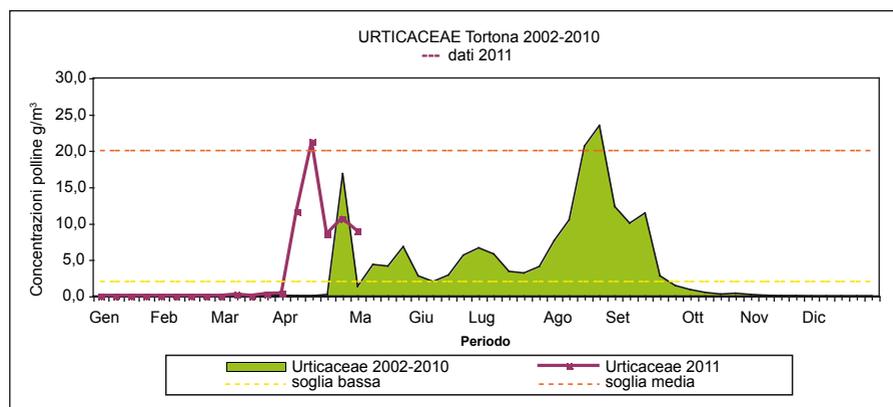


Figura 5 - Confronto tra le concentrazioni polliniche 2011 e la media delle concentrazioni polliniche anni precedenti (2002 - 2010), per le URTICACEAE - stazione di Tortona (AL)

ADATTAMENTO TRA NECESSITA' E OPPORTUNITA'

Il riscaldamento del sistema climatico è un dato ormai inequivocabile. Tale riscaldamento ha determinato significativi cambiamenti negli elementi che definiscono il clima stesso. Lo dimostrano numerose osservazioni che rilevano come molti sistemi naturali, biologici e umani stanno risentendo del riscaldamento globale, con meccanismi di interazione e *feedback* spesso molto complessi.

Poiché al riscaldamento globale osservato nel ventesimo secolo hanno contribuito in modo determinante le concentrazioni di gas serra di origine antropogenica, una linea di azione, perseguita al fine di ridurre gli effetti negativi e i rischi indotti dal mutamento del clima, è la *mitigazione*, che agisce sulle cause del cambiamento tramite strategie per ridurre le emissioni di origine antropica.

Tuttavia, le proiezioni future ottenute dai modelli climatici indicano che, anche con le migliori azioni di riduzione delle emissioni, il riscaldamento globale è destinato ad aumentare nei prossimi decenni. Questo porta necessariamente a lavorare in modo complementare su una seconda linea di azione, l'*adattamento*, che agisce sugli effetti dei cambiamenti climatici, riducendo la vulnerabilità e aumentando la resilienza del territorio, dei sistemi naturali e sociali per limitare gli impatti negativi, facendo fronte alle conseguenze e sfruttando le opportunità favorevoli. Entrambe le linee di azione, affinché non generino elementi contraddittori o abbiano ricadute negative a più largo spettro, devono essere inquadrare nell'ottica dello sviluppo sostenibile.

Prestigiose valutazioni sugli impatti economici del riscaldamento globale dimostrano che i costi a lungo termine del non-agire sono molto superiori ai costi necessari per l'attuazione di azioni immediate di mitigazione e adattamento, rafforzando la necessità di delineare, sperimentare e valutare strategie e opzioni di adattamento.

L'adattamento può essere di tipo infrastrutturale o tecnologico, in genere costoso, caratterizzato da lunghi tempi di realizzazione e dalla necessità di valutarne gli impatti e la sostenibilità a lungo termine. Oppure di tipo non strutturale o "soft", in genere applicabile con costi trascurabili e inclusi nei costi dello sviluppo socio-economico e applicabile anche nelle situazioni in cui la conoscenza presenta margini di incertezza. Tra queste opzioni gioca un

ruolo fondamentale saper valorizzare la “capacità adattiva”, ossia la somma di abilità, flessibilità, accesso e capacità di utilizzo delle risorse naturali, culturali, sociali, psicologiche ed economiche che caratterizzano la società, le istituzioni, le organizzazioni e i gruppi di persone nel ridurre la suscettibilità ai danni e alle perdite dovute a eventi che generano impatti estremi.

Le strategie di adattamento sono pertanto profondamente dipendenti da fattori specifici, geografici, culturali e dall'esposizione della popolazione e dei beni, devono quindi essere declinate nel contesto di applicazione, tramite un approccio multidisciplinare integrato e multiscala. Tali strategie si basano su un approccio *ex-ante* e anticipatorio e si attuano attraverso un processo di tipo iterativo, in grado di valutare le risposte e adattare le azioni di conseguenza. Non da ultimo, l'applicazione fattiva dipende fortemente dal grado di accettazione del contesto esterno, per cui è importante il piano della consapevolezza, per attutire le barriere ambientali, economiche, di informazione, sociali, attitudinali e comportamentali che spesso si oppongono all'attuazione dell'adattamento.

Questi elementi che caratterizzano l'adattamento al cambiamento climatico presentano molte similitudini con il tema della prevenzione dei rischi naturali, sul quale l'Agenzia riveste un ruolo determinante nel contesto regionale sia per gli aspetti di monitoraggio e valutazione, che per quelli relativi ai servizi in tempo reale, tra cui quello dell'allertamento per rischio idrogeologico, a cui si affiancano altri servizi (pericolo incendi boschivi, effetti sulla salute delle ondate di calore e della radiazione UV, pericolo valanghe, ecc.) fortemente orientati alla prevenzione.

Per questo motivo, e per le competenze, i dati e l'*expertise* necessaria alla loro interpretazione e utilizzo, Arpa Piemonte sta lavorando, anche attraverso la partecipazione a progettualità transazionali, per rendere gli strumenti di previsione e monitoraggio ambientali funzionali a sostenere l'adattamento di tipo “soft” al cambiamento climatico in atto. Si cerca infatti di estendere, ove possibile, il *range* temporale di *warning* e di includere gli elementi ambientali e strutturali che possono essere alterati dal cambiamento climatico, in modo che gli stessi risultino di supporto anche ad azioni di programmazione e pianificazione di più lungo periodo.

Il quadro dell'Unione Europea sull'adattamento è finalizzato ad aumentare la resilienza per affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici con un approccio progressivo e la *road map* delineata nel libro bianco “L'adattamento

ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo” indica la prima fase (2009-2012) per la:

- costituzione di una solida base di conoscenze sull'impatto e sulle conseguenze, per l'integrazione dell'aspetto dell'adattamento nelle principali politiche dell'UE
- l'utilizzo combinato di strumenti politico-strategici per garantire il conseguimento efficace degli obiettivi di adattamento
- progressiva accelerazione della cooperazione internazionale in materia di adattamento

Dal 2013 inizierà la fase attuativa delle strategie di adattamento.

Consapevoli del percorso che anche il nostro Paese dovrà intraprendere sul tema dell'adattamento e consci del fatto che in particolare le misure di adattamento di tipo “soft” implicano benefici ambientali complessivi a prescindere dall'incertezza delle previsioni future, anche su vasta scala, creando importanti sinergie con le politiche di sostenibilità ambientale - ad esempio riducendo la pressione sui sistemi naturali, permettendo alla natura di conservare le sue caratteristiche o di evolversi in modo duraturo, contribuendo alla conservazione degli ecosistemi che incidono direttamente sui sistemi di regolazione del clima e sono all'origine di una moltitudine di beni e di servizi essenziali per l'uomo - l'Agenzia sta lavorando per mettere a disposizione la conoscenza, gli strumenti e la rete di relazioni per stimare l'entità degli impatti del cambiamento climatico a livello regionale ed essere preparata a proporre opzioni di adattamento e metodi di valutazione di efficacia.



Figura 1 - Schema rappresentativo delle similitudini di contesto, di processo e di obiettivi fra la prevenzione dei rischi e l'adattamento al cambiamento climatico

Bibliografia

Cane D. & Milelli M., 2006. *Weather forecasts obtained with a Multimodel SuperEnsemble Technique in a complex orography region*, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 15, No. 2; pp. 207-214.

Cane D. & Milelli M., 2010. *Can a Multimodel SuperEnsemble technique be used for precipitation forecasts?* Advances in Geoscience, 25; pp. 17-22.

Ciccarelli N., von Hardenberg J., Provenzale A., Ronchi C., Vargiu A., Pelosini R., 2008. *Climate variability in north-western Italy during the second half of the 20th century, Global and planetary change*. 63, pp. 185-195.

COM, 2007. *Libro bianco della Commissione Europea "Un impegno comune per la salute: Approccio strategico dell'UE per il periodo 2008-2013"*. pp. 630.

COM, 2009. *Commissione Europea staff working document accompanying the white paper Adapting to climate change: Towards a European framework for action*. Human, Animal and Plant Health Impacts of Climate Change; pp. 147.

HMS, 2006. *Climate Change Futures, Health, Ecological and Economic Dimensions*. Center for Health and the Global Environment, Harvard Medical School.

IPCC, 2007. *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers*, Technical Report.

JRC. *Impacts of climate change in human health in Europe*, PESETA-Human health study. JRC report, EUR 24135 EN.

Kalnay, E., 2003. *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. Cambridge Univ. Press; pp.341.

Krishnamurti T.N. et al., 1999. *Improved weather and seasonal climate forecasts from Multimodel SuperEnsemble*, Science 285; pp. 1548-1550.

Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., et al., 2004. *The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves*. Nature 427; pp. 332-336.

SEC, 2007. *Libro Verde della Commissione Europea "L'adattamento ai cambiamenti climatici in Europa - quali possibilità di intervento per l'UE"*. pp. 849.

SEC, 2009. *Commissione Europea, LIBRO BIANCO. L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo*. pp. 388.

Stern Review, 2006. *Report on the Economics of Climate Change*.

Uboldi F. et al., 2008. *Three-dimensional spatial interpolation of surface meteorological observations from high-resolution local networks*. Meteorological Applications, Royal Meteorological Society.

UN/ISDR, 2008. In *'Disaster risk and climate change'*.

WHO, 2003. *Climate change and human health, RISKS AND RESPONSES*, World Health Organization (Geneva).

