



Interreg
ALCOTRA

Fonds européen de développement régional
Fondo europeo di sviluppo regionale



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



STATO DELL'ARTE SUGLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NELLE REGIONI ALPINE

GRUPPO DI ATTIVITÀ:	3
ATTIVITÀ:	3.1
PRODOTTO:	3.1a
DENOMINAZIONE DEL DOCUMENTO:	Stato dell'arte sugli impatti del cambiamento climatico nelle regioni alpine
VERSIONE DEL DOCUMENTO:	finale
PARTNER RESPONSABILE	Politecnico di Torino
DATA DI STESURA:	30/06/2018
NATURA DEL DOCUMENTO:	Rapporto tecnico
STATO DEL DOCUMENTO:	Versione finale
AUTORI:	Marco Allocco (SEAcop), Simona Benetti (SEAcop), Luca Boccardo (SEAcop), Ilaria Bozzer (SEAcop), Nadia Caruso (POLITO), Aurélie Chamaret (UGA), Roberta Donato (SEAcop), Benjamin Einhorn (PARN), Stefania Frola (POLITO), Simon Gerard (PARN), Magali de Gouville (Envirhonalp), Céline Lutoff (UGA), Elena Pede (POLITO), Giorgio Quaglio (SEAcop), Cinzia Saponeri (SEAcop), Luca Staricco (POLITO), Ingrid Vigna (POLITO), Elisabetta Vitale Brovarone (POLITO)

SOMMARIO DEL DOCUMENTO

Il rapporto ricostruisce lo stato dell'arte della ricerca in merito agli impatti del cambiamento climatico in riferimento ai settori di attività umana (rischi naturali, agricoltura, biodiversità, foreste, sistemi insediativi e turismo) e agli ambiti territoriali (peri-urbano, spazi agricoli, ambiti forestali, media montagna) considerati nel progetto ARTACLIM

SOMMARIO DEL PROGETTO

ACRONIMO :	ARTACLIM
TITOLO DEL PROGETTO:	Adattamento e Resilienza dei Territori Alpini di fronte ai Cambiamenti Climatici
NUMERO DEL PROGETTO:	1316
OBIETTIVO SPECIFICO DEL PROGRAMMA	2.1 CAMBIAMENTO CLIMATICO : migliorare la pianificazione territoriale da parte delle istituzioni pubbliche per l'adattamento al cambiamento climatico
COORDINATORE:	AGATE: AGENCE ALPINE DES TERRITOIRES
PARTNERS:	POLITO - DIST : Politecnico di Torino - Dipartimento di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio UGA - Envirhonalp - PARN : Università di Grenoble Alpes - Polo Rhône-Alpes ricerca ambiente per lo sviluppo sostenibile – Polo alpino dei rischi naturali iisBE Italia R&D: International Initiative for a Sustainable Built Environment Italia Ricerca e Sviluppo SEAcop : Società Cooperativa Servizi e Attività Agro Forestali e Ambientali CMT : Città Metropolitana di Torino PNRMB : Parco Naturale Regionale dei Bauges CCHC : Comunità dei Comuni di Haut-Chablais
AVVIO DEL PROGETTO:	Maggio 2017
DURATA DEL PROGETTO:	36 mesi



Il progetto ARTACLIM (nr. 1316) ha ricevuto un co-finanziamento FESR nell'ambito del Programma INTERREG ALCOTRA 2014-2020

INDICE

INTRODUZIONE.....	6
1. SCENARI DI CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE ALPI	7
1.1. INTRODUZIONE.....	7
1.1.1. DEFINIZIONI.....	7
1.1.2. GLI SCENARI SOCIO-ECONOMICI DELL'IPCC.....	8
1.1.3. DAL GLOBALE AL REGIONALE	10
1.2. IL MONITORAGGIO: L'EVIDENZA DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO È GIÀ PRESENTE	11
1.2.1. EVOLUZIONE DELLA TEMPERATURA.....	12
1.2.2. EVOLUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI LIQUIDE (PIOGGIA) E SOLIDE (NEVE)	13
1.2.3. EVOLUZIONE DEI GHIACCIAI.....	14
1.3. PROIEZIONI FUTURE: VERSO INFORMAZIONI A SCALE D'INTERESSE PER L'ADATTAMENTO.....	15
1.3.1. EVOLUZIONE DELLA TEMPERATURA.....	16
1.3.2. EVOLUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI SOLIDE E LIQUIDE.....	17
1.4. LIMITI E QUESTIONI APERTE NEL 2018	18
2. IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUI RISCHI NATURALI NELLE ALPI	19
2.1. INTRODUZIONE.....	19
2.2. METODOLOGIA	20
2.3. EVOLUZIONE DEI FATTORI DI CONTROLLO DEI PERICOLI	20
2.3.1. TEMPERATURE	21
2.3.2. PRECIPITAZIONI	21
2.3.3. INNEVAMENTO.....	21
2.3.4. BILANCIO IDRICO	21
2.4. IMPATTI SUI PERICOLI	22
2.4.1. VALANGHE DI NEVE	22
2.4.2. PIENE E INONDAZIONI	22
2.4.3. COLATE DETRITICHE E TORRENTIZIE	22
2.4.4. MOVIMENTI DEL TERRENO.....	23
2.4.5. SINTESI.....	25
3. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULL'AGRICOLTURA ALPINA	27
3.1. INTRODUZIONE.....	27
3.2. FATTORI DI IMPATTO	27
3.2.1. INCREMENTO DELLE TEMPERATURE	27
3.2.2. MODIFICAZIONI NEL REGIME PLUVIOMETRICO	28
3.2.3. EVENTI ESTREMI	29
3.2.4. INCREMENTO DELLA CO ₂ ATMOSFERICA	30
3.2.5. AUMENTO DELLE FITOPATOLOGIE.....	31
3.2.6. ALTRI IMPATTI.....	32
4. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA BIODIVERSITÀ	33
4.1. INTRODUZIONE.....	33
4.2. I PRINCIPALI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA BIODIVERSITÀ.....	33
4.3. SINTESI DELLE CONOSCENZE	34

4.3.1.	ECOSISTEMI ACQUATICI.....	35
4.3.2.	COMUNITÀ E SPECIE ANIMALI	36
4.3.3.	VEGETAZIONE	38
5.	GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE FORESTE	40
5.1.	I PRINCIPALI FATTORI DI IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE FORESTE	40
5.1.1.	AUMENTO DELLA CO ₂ ATMOSFERICA.....	40
5.1.2.	AUMENTO DELLA TEMPERATURA	43
5.1.3.	VARIAZIONI DELLE PRECIPITAZIONI.....	43
5.1.4.	DISTURBI DI CARATTERE ABIOTICO.....	45
5.1.5.	DISTURBI DI CARATTERE BIOTICO.....	47
5.1.6.	ULTERIORI IMPATTI SU ASPETTI DI FISIOLOGIA DELLE PIANTE	47
5.1.7.	SENSIBILITÀ SPECIFICA.....	48
5.2.	IMPATTI SOCIO-ECONOMICI	48
6.	GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUL SISTEMA INSEDIATIVO	49
6.1.	INTRODUZIONE.....	49
6.2.	IMPATTI DIRETTI E INDIRETTI SUL SISTEMA INSEDIATIVO	49
7.	GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUL TURISMO	53
7.1.	INTRODUZIONE.....	53
7.2.	IL TURISMO NELLE ALPI	53
7.3.	LA RELAZIONE TRA TURISMO ALPINO INVERNALE E CAMBIAMENTO CLIMATICO.....	54
7.4.	LA RELAZIONE TRA TURISMO ALPINO ESTIVO E CAMBIAMENTO CLIMATICO	56
8.	GLI IMPATTI INTERSETTORIALI E I SERVIZI ECOSISTEMICI	58
8.1.	LA MATRICE INTERSETTORIALE DEGLI IMPATTI	58
8.2.	SERVIZI ECOSISTEMICI	59
8.2.1.	METODOLOGIA	59
8.2.2.	DETERMINAZIONE DELLA BASELINE PER LA VALUTAZIONE DEI SE NELL'AREA PINEROLESE	62
8.2.3.	ANALISI DELLA METODOLOGIA APPLICATA PER LA VALUTAZIONE DEI SE	66
9.	GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NELLA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES DU HAUT CHABLAIS	71
9.1.	INTRODUZIONE.....	71
9.2.	METODOLOGIA	73
9.3.	GLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA CCHC	73
9.3.1.	UN RISCALDAMENTO GLOBALE	74
9.3.2.	UN RISCALDAMENTO PIÙ MARCATO IN INVERNO	75
9.3.3.	UNA RIDUZIONE DEL NUMERO DI GIORNI DI GELO	77
9.3.4.	PRECIPITAZIONI MOLTO VARIABILI	77
9.3.5.	UNA RIDUZIONE DELL'INNEVAMENTO	78
9.3.6.	I RISCHI NATURALI.....	82
9.3.7.	ALTRI CAMBIAMENTI OSSERVATI SUL TERRITORIO	82
9.4.	LE SFIDE TERRITORIALI IN RAPPORTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO.....	83
9.4.1.	L'ACQUA: SODDISFARE LE ESIGENZE E AFFRONTARE I RISCHI DI INONDAZIONI E SMOTTAMENTI.....	84
9.4.2.	MANTENIMENTO E DIVERSIFICAZIONE DELLE ATTIVITÀ ECONOMICHE	86

9.4.3.	SALVAGUARDIA DELLA BIODIVERSITÀ.....	89
9.4.4.	TUTELA DELLA SALUTE E DELLA SICUREZZA.....	92
9.4.5.	L'EQUILIBRIO NEL TERRITORIO	93
9.4.6.	GOVERNANCE: COSTRUZIONE COLLETTIVA DEL TERRITORIO.....	93
9.4.7.	PRODUZIONE E CONSUMO DI ENERGIA	94
10. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NEL PARCO NATURALE REGIONALE DEL MASSICCIO DEI BAUGES		
10.1. I DATI DISPONIBILI SUGLI IMPATTI		
10.1.1.	UN RISCALDAMENTO GLOBALE	95
10.1.2.	UNA RIDUZIONE DEL NUMERO DI GIORNI DI GELO	97
10.1.3.	PRECIPITAZIONI MOLTO VARIABILI	98
10.1.4.	UNA DIMINUZIONE DELL'INNEVAMENTO	99
10.1.5.	MINORI PORTATE D'ACQUA NEL CHÉRAN.....	101
10.1.6.	I RISCHI NATURALI.....	102
10.1.7.	IN SINTESI	102
10.2. LE PERCEZIONI DEGLI ATTORI DEL TERRITORIO SUL CAMBIAMENTO CLIMATICO		
10.2.1.	WORKSHOP RISCHI E BIODIVERSITÀ	103
10.2.2.	WORKSHOP AGRICOLTURA	103
10.2.3.	WORKSHOP FORESTE.....	105
10.2.4.	WORKSHOP TURISMO.....	105
10.2.5.	IN SINTESI	107
11. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NELLA ZONA OMOGENEA DEL PINEROLESE		
11.1. INTRODUZIONE.....		
11.2. STUDI E RICERCHE SUL CAMBIAMENTO CLIMATICO NEL PINEROLESE		
11.2.1.	INDICATORI CLIMATICI	109
11.2.2.	INDICATORI DI IMPATTO	113
11.3. LA PERCEZIONE DEGLI IMPATTI.....		
11.3.1.	I RISULTATI DELL'INDAGINE	117
CONCLUSIONI		
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI		

INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto ARTACLIM, l'attività 3.1 prevede la ricostruzione dello stato dell'arte i) della conoscenza sugli impatti del cambiamento climatico sul territorio oggetto di studio nel progetto, e ii) dell'integrazione delle misure di adattamento al cambiamento climatico in relazione a tali impatti negli strumenti di pianificazione del territorio.

Il risultato atteso di tale attività è un documento che permetta, da un lato, di capire – e far conoscere – quali sono gli impatti specifici del cambiamento climatico che possono essere previsti sui diversi contesti territoriali presi in considerazione nel progetto in relazione ai settori individuati (rischi naturali, agricoltura, biodiversità, foreste, sistemi insediativi e turismo), e dall'altro lato indichi come inserire più efficacemente misure di adattamento a tali impatti nelle prassi di pianificazione territoriale, senza ripetere gli errori finora commessi. Questa analisi è utile per fornire raccomandazioni e suggerimenti per le attività 3.2 (indicatori) e 3.3 (studi di vulnerabilità dei territori) del WP3, nonché 4.1 (formazione) e 4.2 (definizione di strategie di pianificazione) del WP4.

Il dossier di candidatura di ARTACLIM prevede che il prodotto dell'attività 3.1 sia articolato in due parti:

a) uno stato dell'arte (3.1a) della ricerca in merito agli impatti del cambiamento climatico in riferimento ai settori di attività umana (rischi naturali, agricoltura, biodiversità, foreste, sistemi insediativi e turismo) e agli ambiti territoriali (peri-urbano, spazi agricoli, ambiti forestali, media montagna) considerati nel progetto ARTACLIM. Questo stato dell'arte è elaborato attraverso la raccolta, l'analisi e la restituzione di studi accademici e di risultati di progetti di ricerca nazionali e internazionali già compiuti sul tema del cambiamento climatico;

b) uno stato dell'arte (3.1b) della ricerca sull'integrazione nella pianificazione territoriale delle misure di adattamento al cambiamento climatico. Questo stato dell'arte è il risultato di un lavoro in più fasi: lo studio delle misure di adattamento al cambiamento climatico (best practices) che già sono integrate negli strumenti di pianificazione; l'analisi dei sistemi di pianificazione attualmente vigenti in Italia e Francia; infine, un'analisi ex-novo delle barriere che finora hanno limitato una diffusa adozione di misure di adattamento al cambiamento climatico in questi strumenti.

Il presente documento costituisce il prodotto 3.1a, ossia lo stato dell'arte della ricerca in merito agli impatti del cambiamento climatico. Esso è così strutturato. Il capitolo 1 sintetizza i principali scenari di cambiamento climatico che si prevede possano manifestarsi sull'arco alpino. I successivi sei capitoli illustrano gli impatti del cambiamento climatico che nella letteratura scientifica sono stati individuati come attuali o potenziali sui territori alpini analoghi ai casi studio del progetto ARTACLIM, con riferimento rispettivamente ai rischi naturali, all'agricoltura, alla biodiversità, alle foreste, ai sistemi insediativi e al turismo. Il capitolo 8 evidenzia e sintetizza i rischi intersettoriali che emergono dai precedenti capitoli, e mostra come la valutazione dei servizi ecosistemici possa costituire un quadro di riferimento utile per prendere in considerazione questi impatti. Infine, i capitoli 9, 10 e 11 fanno il punto su quali degli impatti del cambiamento climatico, analizzati nella prima parte del documento, siano finora stati riscontrati nei tre territori che costituiscono i casi di studio del progetto ARTACLIM.

1. SCENARI DI CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE ALPI

1.1. INTRODUZIONE

1.1.1. DEFINIZIONI

In primo luogo, è importante richiamare alcune nozioni essenziali relative al tema in oggetto.

Sistema climatico: corrisponde all'insieme Terra-Atmosfera. Evolve nel tempo sotto l'effetto di processi interni e vincoli esterni, di origine naturale o umana. Lo stato del sistema climatico è legato alle interazioni tra atmosfera, superfici continentali, idrosfera (oceani, fiumi, laghi, acque sotterranee), criosfera (calotte polari, ghiaccio marino, copertura nevosa) e biosfera (tutti gli organismi viventi – fauna e flora – sulla terraferma, negli oceani e nell'aria). Sono queste molteplici interazioni che spiegano la complessità del sistema.

Cambiamento climatico & Cambiamento globale: il cambiamento climatico corrisponde a un cambiamento duraturo (cioè superiore a 10 anni) nei parametri statistici del clima globale della Terra. Il cambiamento globale è un concetto più ampio che comprende il cambiamento climatico ma anche i cambiamenti ambientali indotti dagli usi antropogenici (urbanizzazione, deforestazione, ecc.) e dai cambiamenti socioeconomici. Spesso, per abuso di linguaggio, si usa il termine “cambiamento climatico” invece di “cambiamento globale”.

IPCC: il **Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici** (IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*) è un organismo intergovernativo aperto a tutti i paesi membri dell'ONU. La sua missione è «*valutare, senza pregiudizi e in modo metodico, chiaro e obiettivo, le informazioni scientifiche, tecniche e socioeconomiche di cui abbiamo bisogno per comprendere meglio i rischi associati al riscaldamento globale indotto dall'uomo, per identificare con maggiore precisione le possibili conseguenze di questo cambiamento e per considerare le possibili strategie di adattamento e mitigazione. Non è incaricato di svolgere ricerche o di monitorare i cambiamenti delle variabili climatiche o di altri parametri pertinenti. Le sue valutazioni si basano principalmente su pubblicazioni scientifiche e tecniche il cui valore scientifico è ampiamente riconosciuto*».

Scenari RCP (Representative Concentration Pathway): sono i quattro scenari relativi all'evoluzione della concentrazione di gas a effetto serra nel corso del XXI secolo, stabiliti dall'IPCC.

Modelli climatici: sono modelli matematici che risolvono equazioni fisiche. Essi integrano i diversi fattori necessari per rappresentare il clima e le retroazioni tra i diversi fattori del sistema climatico. Esistono due tipi di modelli:

- i modelli climatici globali (GCM - *Global Circulation Model*) forniscono informazioni sul clima globale con una risoluzione di circa 100 km;
- i modelli climatici regionali (RCM - *Regional Climate Model*) si concentrano su regioni specifiche (Alpi, Europa, Africa occidentale, ecc.) e forniscono informazioni sul clima ad una più alta risoluzione (10-25 km).

Scala climatica regionale: si applica a regioni estese diverse migliaia di chilometri quadrati, soggette a fenomeni meteorologici molto particolari (ad esempio, venti regionali) a causa dell'interazione tra la circolazione generale e i rilievi (ad esempio, clima regionale alpino).

CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling EXperiment): Programma Mondiale di Ricerca sul Clima (WCRP) dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale, il cui obiettivo è coordinare le ricerche e le applicazioni relative al livello climatico regionale, al fine di fornire informazioni a scale adeguate per studiare gli effetti del cambiamento globale e proporre scenari di adattamento. CORDEX sta attualmente coordinando un programma per fornire simulazioni climatiche regionali a risoluzione molto alta (2-6 km).

Simulazione d'insieme: invece di una singola simulazione climatica (regionale) del clima passato o probabile futuro, viene prodotta una serie di simulazioni. Questa serie mira a fornire un'indicazione della gamma più probabile di variabilità del clima. Questo approccio viene spesso proposto per tenere conto di due fonti di incertezza nelle previsioni: l'errore associato alla condizione iniziale imperfetta, che può essere amplificato dalla natura caotica del sistema climatico, e ii) l'errore associato alla natura stessa del modello, nella sua formulazione matematica e/o nelle condizioni future. Le simulazioni d'insieme possono basarsi sia su un unico modello sia su un set di più modelli diversi, in tal caso si parla di "multi-modelli".

1.1.2. GLI SCENARI SOCIO-ECONOMICI DELL'IPCC

Al fine di valutare i cambiamenti futuri del sistema climatico e prevedere i possibili effetti di tali cambiamenti sugli ambienti terrestri e marini, i modelli climatici globali sono alimentati da una stima delle condizioni al contorno per rappresentare al meglio le emissioni di gas a effetto serra: si tratta degli scenari. Il metodo di elaborazione di questi scenari si è evoluto nel tempo.

Comparsi nella terza relazione dell'IPCC nel 2001, gli scenari sono stati elaborati per la prima volta a partire da elementi di riflessione sui futuri possibili delle nostre società e dei nostri stili di vita. Essi erano basati sul cambiamento demografico, sullo sviluppo economico e sociale e sul ritmo e la direzione dell'innovazione tecnologica, descritti come *driving force* per le traiettorie evolutive di emissione dei gas a effetto serra. Schematicamente, gli scenari erano rappresentati in una tabella a due voci (Obiettivi economici - Obiettivi ambientali; Sviluppo globalizzato - Sviluppo regionalizzato) che ha permesso di identificare 4 grandi famiglie (tabella 1.1) (Moss et al., 2008).

Il rapporto IPCC del 2013 (IPCC, 2013) introduce un nuovo metodo per la costruzione di scenari attraverso gli scenari RCP. I quattro profili RPC di evoluzione delle concentrazioni dei gas a effetto serra selezionati dagli esperti dell'IPCC per il 5° Rapporto sono stati tradotti in termini di forzanti radiativi, cioè cambiamenti nel bilancio radiativo del pianeta. Il bilancio radiativo rappresenta la differenza tra la radiazione solare ricevuta e la radiazione infrarossa riemessa dal pianeta. È calcolato negli strati più alti della troposfera (tra i 10 e i 16 km di altitudine). Sotto l'effetto di fattori di cambiamento climatico, come la concentrazione di gas a effetto serra, questo equilibrio cambia: si parla di forzante radiativo.

	Obiettivi prioritariamente economici	Obiettivi prioritariamente ambientali
Globalizzazione (sviluppo mondiale equilibrato)	<p style="text-align: center;">A1 Rapida crescita mondiale 1.4 - 6.4°C</p> <ul style="list-style-type: none"> • crescita economica molto rapida; • popolazione mondiale: massima a metà secolo e poi in declino; • introduzione di tecnologie nuove e più efficienti; • convergenza tra regioni, rafforzamento delle interazioni culturali e sociali, riduzione delle differenze di reddito tra le regioni; • evoluzione tecnologica del sistema energetico: <ul style="list-style-type: none"> - alta intensità di combustibili fossili (A1FI) - fonti di energia non fossili (A1T) - equilibrio tra le fonti (A1B). 	<p style="text-align: center;">B1 Sostenibilità ambientale globale 1.1 - 2.9°C</p> <ul style="list-style-type: none"> • convergenza geopolitica globale; • popolazione mondiale: massima a metà secolo e poi in declino; • orientamento verso un'economia dei servizi e dell'informazione, con conseguente uso più efficiente dei materiali; • focus su soluzioni globali orientate alla sostenibilità economica, sociale e ambientale, compresa una maggiore equità ma senza ulteriori iniziative per gestire il problema del clima.
Regionalizzazione (disparità regionali, governo mondiale poco integrato)	<p style="text-align: center;">A2 Sviluppo economico 2.0 - 5.4°C</p> <ul style="list-style-type: none"> • mondo molto eterogeneo; • autosufficienza, salvaguardia delle identità locali; • crescita demografica contenuta; • sviluppo economico regionale. La crescita economica pro capite e gli sviluppi tecnologici sono più frammentati e lenti rispetto agli altri scenari. 	<p style="text-align: center;">B2 Sostenibilità ambientale locale 1.4 - 3.8°C</p> <ul style="list-style-type: none"> • focus su soluzioni locali per la sostenibilità economica, sociale e ambientale; • crescita demografica contenuta, ma meno forte che in A2; • sviluppi tecnologici più lenti e diversificati che in A1 e B1; • scenari orientati alla tutela dell'ambiente e all'equità sociale, ma concentrati sul livello locale e regionale.

Tabella 1.1. Descrizione dei quattro scenari socioeconomici dell'IPCC.

I 4 profili RCP corrispondono ciascuno ad una diversa evoluzione di questo forzante al 2300 (figura 1.1). Sono identificati da un numero, espresso in W/m^2 (potenza per unità di superficie), che indica il valore del forzante considerato. Più alto è questo valore, più il sistema terra-atmosfera guadagna in energia e si riscalda. Tra gli effetti connessi a queste previsioni, la copertura nevosa globale dovrebbe diminuire da un minimo del 7% (scenario più ottimistico) fino al 25% (scenario più pessimistico).

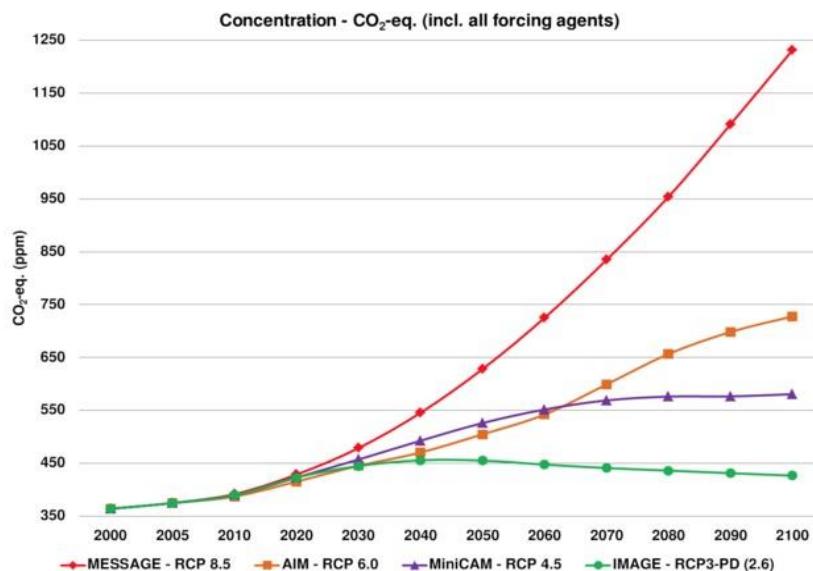


Figura 1.1. CO₂ equivalente di forzante atmosferico (in ppm) secondo i quattro scenari RCP del rapporto dell'IPCC, AR5.

Esistono dei collegamenti tra i due tipi di scenari. Si nota che:

- gli RCP coprono un periodo più lungo: fino a 2300 (2100 per gli scenari precedenti);
- il profilo RCP 8.5 è il più estremo (pessimistico). È leggermente più esasperato di quello più esasperato tra i primi scenari (A2);
- i profili RCP 6.0 e RCP 4.5 corrispondono sostanzialmente agli scenari A1B e B1;
- infine, il profilo dell'RCP 2.6 è senza equivalenti nelle precedenti proposte dell'IPCC perché incorpora gli effetti di politiche di riduzione delle emissioni che potrebbero limitare il riscaldamento globale a 2°C (meteofrance.fr).

1.1.3. DAL GLOBALE AL REGIONALE

Data la particolare topografia delle Alpi, lo studio del sistema climatico e della sua evoluzione richiede l'utilizzo di modelli climatici regionali, la cui risoluzione è dell'ordine di 25 km. Questi modelli ricevono input dagli CGM, il che comporta la propagazione di incertezze ulteriori a quelle legate alla scenarizzazione futura. Per inquadrare queste incertezze, la comunità internazionale si affida a simulazioni d'insieme. Per esempio, Gobiet et al. (2014) presentano nella loro rassegna sul cambiamento climatico nelle Alpi durante il 21° secolo l'evoluzione della temperatura presentando più di un grado di variabilità intorno al valore medio, indipendentemente dallo scenario proposto (figura 1.2). Diversi progetti (tabella 1.2) hanno permesso di sviluppare tali simulazioni, che oggi forniscono una rappresentazione dell'evoluzione passata e futura del sistema climatico nella regione alpina.

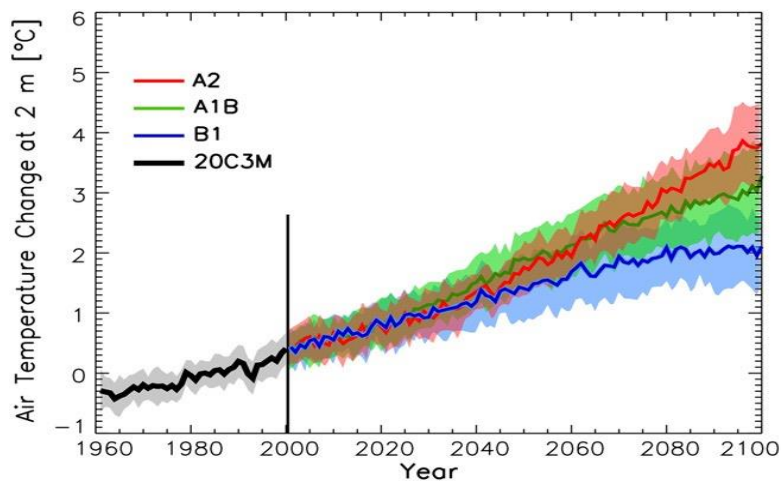


Figura 1.2. Evoluzione della temperatura in Europa sulla base della simulazione CMIP3 dell'IPCC. Le linee colorate indicano valori medi multi-modello. Fonte: Gobiet et al., 2014

Nome del progetto	Sito web	Riferimenti bibliografici
EU/FP7 ACQWA	http://www.acqwa.ch/	Beniston et al., 2011
GICC ADAMONT	http://www.irstea.fr/toutes-les-actualites/departement-territoires/territoires-montagne-changement-climatique-adamont	
GIS Alpes-Jura ClimAdapt	http://www.suaci-alpes.fr/Clim-Adapt	Sérès, 2010
INTERREG ClimChAlp	http://risknat.org/climchalp/	Prudent-Richard et al., 2008
FP6 ENSEMBLES	http://ensembles-eu.metoffice.com/	Hewitt, C.D., 2005
ANR SCAMPEI	http://www.umr-cnrm.fr/scampeipresentation_scampeipresentation/index.php	http://www.umr-cnrm.fr/scampeipresentation_scampeipresentation/documents/docs/index.php

Tabella 1.2. Principali progetti relativi allo studio del cambiamento climatico nelle Alpi

1.2. IL MONITORAGGIO: L'EVIDENZA DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO È GIÀ PRESENTE

Diverse strutture e/o osservatori forniscono dati o sintesi sull'evoluzione delle variabili climatiche osservate nelle Alpi francesi. Tra questi si possono citare:

- l'Osservatorio regionale degli effetti dei cambiamenti climatici (ORECC - Observatoire Régional des Effets du Changement Climatique), struttura della Regione Auvergne - Rhône-Alpes, il cui obiettivo è l'incremento della conoscenza dei cambiamenti climatici e dei suoi effetti, lo sviluppo e l'attuazione

da parte dei soggetti interessati di strategie di adattamento, nonché l'animazione su tali questioni. <http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fr/lorecc/fondements.html>

- l'Osservatorio Savoiaro sui Cambiamenti Climatici dell'Agenzia dei Territori delle Alpi (AGATE - Agence Alpine de Territoires) che offre sintesi dei cambiamenti di alcuni parametri climatici (temperatura, precipitazioni, copertura nevosa) nell'area della Savoia. <http://www.mdp73.fr/index.php/9-les-observatoires/7-observatoire-du-changement-climatique>
- l'Osservatorio CRYOBS-CLIM, che fornisce dati di osservazione sull'evoluzione di diversi ghiacciai nazionali e internazionali, in particolare sulle Alpi, a testimonianza dell'evoluzione del clima. <https://cryobsclim.osug.fr/>

Inoltre, sono stati condotti diversi studi su questi temi. Si possono citare, ad esempio:

- *Il cambiamento e le Alpi* (AlpMedia, 2002);
- Agenzia europea dell'ambiente, *Cambiamento climatico regionale e adattamento. Le Alpi e il cambiamento delle risorse idriche* (EEA, 2009a);
- *Il clima attuale della regione Rhône-Alpes* (Météo-France, 2012)
- *Linee guida per l'adattamento locale ai cambiamenti climatici nelle Alpi* (Convenzione delle Alpi, 2013).

I cambiamenti climatici alpini sono già presenti e sono in atto dal secolo scorso (Gobiet et al., 2014). In questo rapporto, solo alcuni elementi sono ripresi per illustrare tali cambiamenti.

1.2.1. EVOLUZIONE DELLA TEMPERATURA

L'aumento delle temperature è doppio rispetto alla media dell'emisfero nord e rappresenta una crescita media della temperatura annuale di circa 2°C (Auer et al. 2007). Questo aumento è relativamente omogeneo e dal 1980 presenta un tasso di riscaldamento medio annuo di circa 0,5°C per decennio (EEA, 2009b), dovuto principalmente all'umidificazione dell'atmosfera (Philipona, 2013). Nelle Alpi francesi, la temperatura annuale è aumentata di circa 1°C nel periodo 1958-2002, soprattutto negli anni '80 e '90 (Durand et al., 2009a). Come ricorda Bernard (2017), «*questi dati sono dovuti principalmente all'aumento delle temperature minime giornaliere (Moisselin, 2002; Beniston, 2005). Tuttavia, questa tendenza varia a seconda dell'altitudine, delle stagioni e delle regioni (Scherrer, Appenzeller, Liniger, & Schär, 2005). Le tendenze più pronunciate si osservano per altitudini comprese tra 1500 e 2000 m (Durand et al., 2009a). I massicci più a nord sono soggetti ad un aumento di temperatura che varia da +1,5 a 2°C in qualsiasi stagione, mentre quelli più a sud sono soggetti ad un forte calo delle temperature all'inizio dell'inverno (-2°C), seguito da un leggero aumento a metà inverno e da una forte tendenza all'aumento delle temperature a fine inverno (fino a +3°C), che si traduce in un leggero aumento (+0,5°C) durante l'intera stagione invernale (Durand et al., 2009a). Ad altitudini più elevate, le temperature sono rimaste relativamente omogenee*».

A titolo illustrativo, la figura 1.3 mostra l'evoluzione dello scarto delle temperature medie annue (in °C, da gennaio a dicembre) dal 1959 al 2016 rispetto alla normale 1961-1990 nelle Alpi settentrionali (stazioni indicate in figura 1.3b).

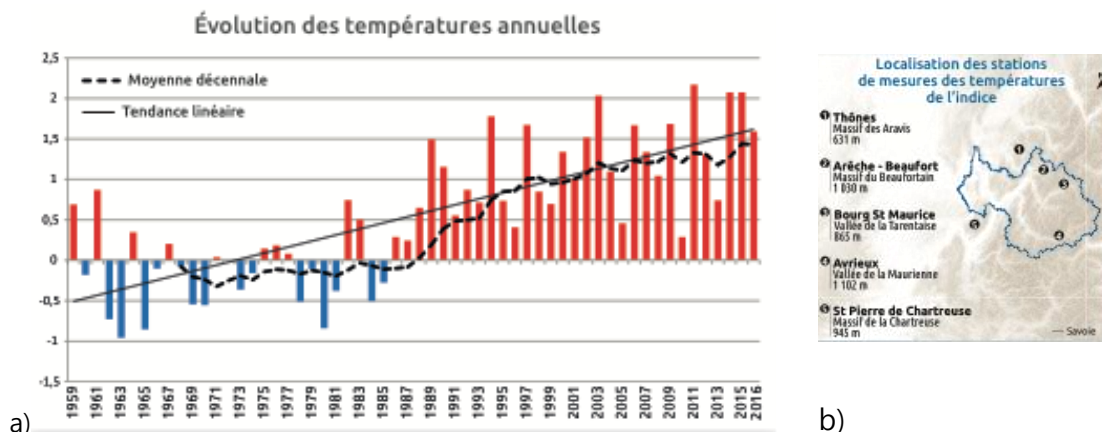


Figura 1.3. Scarto delle temperature medie annue (in °C, da gennaio a dicembre) dal 1959 al 2016 rispetto alla normale 1961-1990 nelle Alpi settentrionali (stazioni indicate in figura 1.3b). Fonte: Météo-France, AGATE, relazione annuale 2016

1.2.2. EVOLUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI LIQUIDE (PIOGGIA) E SOLIDE (NEVE)

Il legame tra temperatura e regime delle precipitazioni – liquide (pioggia) o solide (neve) – non è diretto perché sono coinvolti altri processi su larga scala (ad esempio l'oscillazione Nord Atlantica) e su scala minore (ad esempio effetti topografici e processi di formazione delle precipitazioni).

Per quanto riguarda le precipitazioni invernali sulle Alpi, gli studi mostrano una diminuzione della copertura nevosa nell'emisfero settentrionale (IPCC, 2014) e in particolare sulle Alpi europee (Schöner, Auer, & Böhm, 2009). A partire dagli anni '80, una tendenza di diminuzione dell'altezza del manto nevoso (figura 1.4) e del numero di giorni in cui la neve è presente sul terreno è chiaramente identificata soprattutto a basse altitudini nelle Alpi francesi (Durand et al., 2009b). Queste tendenze a basse altitudini possono essere attribuite all'aumento della temperatura. Oltre i 1700-2000m, la dinamica è meno chiara anche se si osserva una diminuzione delle nevicate alla fine della stagione invernale (Durand et al., 2009b). Sulla scala delle Alpi francesi, l'aumento più pronunciato delle temperature intorno ai 2000 m (Durand et al., 2009a) porta a una diminuzione significativa della copertura nevosa (Durand et al., 2009b; Morin et al., 2012) e più in particolare a fine inverno e inizio estate, quando gli aumenti sono più pronunciati (Durand et al., 2009b).

Per quanto riguarda il periodo estivo, le osservazioni mostrano chiaramente l'effetto del riscaldamento globale sulla ricorrenza di valori di temperatura estremi (Météo-France, 2012) aumentando così la vulnerabilità del territorio alpino alla siccità. Questa vulnerabilità è stata chiaramente rilevata nel 2003, durante l'ondata di caldo che ha colpito gran parte dell'Europa nelle prime due settimane di agosto (Schär & Jendritzky, 2004). Le precipitazioni estreme, come quelle ordinarie (figura 1.5), non mostrano per ora tendenze univoche confermate (Météo-France, 2012), ma potrebbero essere più frequenti in futuro (Schmidli & Frei, 2005).

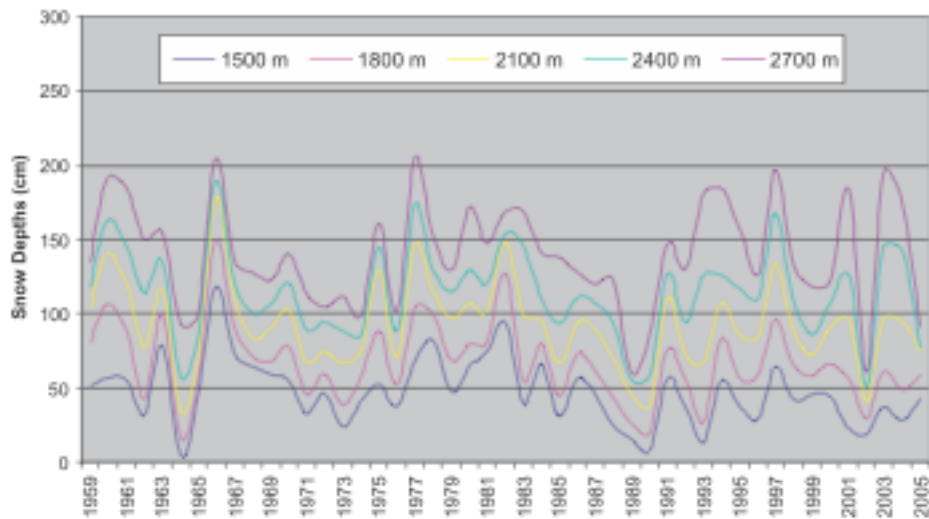


Figura 1.4. Media annua (dicembre-gennaio-febbraio) dell'altezza della neve a diverse altitudini sulle Alpi francesi. Fonte: Durand et al., 2009b

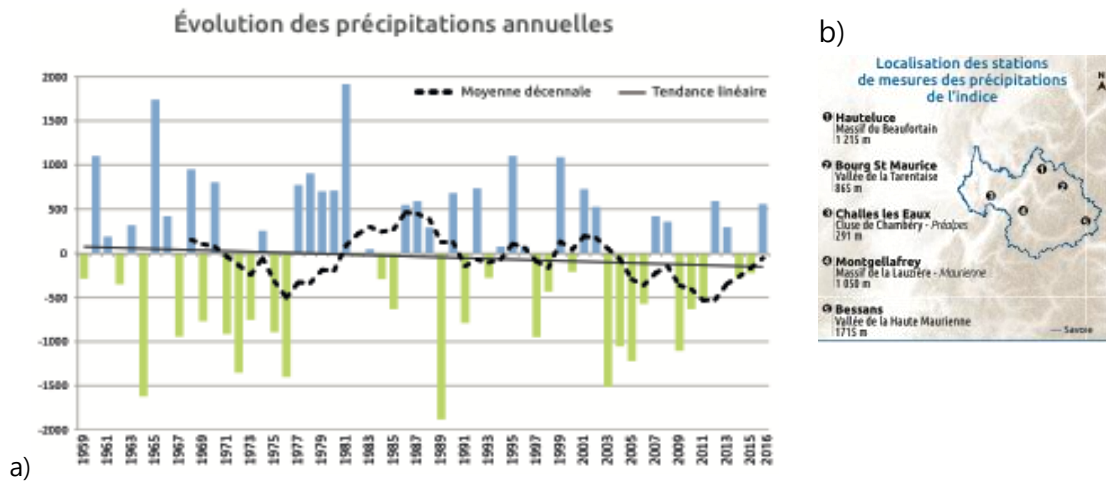


Figura 1.5. Scarto delle precipitazioni medie annue totali (in mm, da gennaio a dicembre) dal 1959 al 2016 rispetto alla normale 1961-1990 in Savoia (stazioni indicate in figura 1.5b). Fonte: Météo-France, AGATE, relazione annuale 2016

1.2.3. EVOLUZIONE DEI GHIACCIAI

In media, nel corso del XX secolo, Huss (2012) ha osservato una diminuzione del bilancio di massa dei ghiacciai alpini. I ghiacciai delle Alpi francesi (massiccio della Vanoise, degli Ecrins, del Monte Bianco) coprivano 369 km² nel periodo 1967-1971 e 275 km² nel periodo 2006-2009 (Rabatel, 2015; figura 1.6). Quest'accelerazione nella perdita di superfici ghiacciate è molto irregolare lungo il Massiccio. Questo ritiro dei ghiacciai alpini è dovuto principalmente al riscaldamento globale, in quanto in questo periodo non si osserva alcuna tendenza significativa delle precipitazioni.

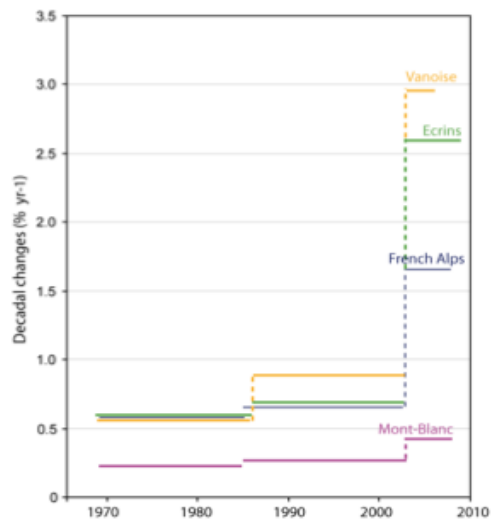


Figura 1.6. Variazioni dell'estensione dei ghiacciai sui principali massicci delle Alpi francesi dal 1967-71 al 2006-09, espresse in % all'anno. Fonte: Rabatel (2015), ripresa da Gardent, Rabatel, Dedieu, & Deline, 2014.

1.3. PROIEZIONI FUTURE: VERSO INFORMAZIONI A SCALE D'INTERESSE PER L'ADATTAMENTO

I cambiamenti già osservati non faranno che aumentare, almeno fino al 2030-2050, dopodiché tutto dipenderà dalle traiettorie di emissione dei gas a effetto serra alle quali le società mondiali saranno capaci di limitarsi.

Diversi progetti (tabella 1.2) hanno promosso la modellazione climatica regionale per proporre scenari futuri sulle Alpi. Per gestire le molte incertezze associate a questo tipo di esercizio, sono auspicati approcci multi-modello e previsioni d'insieme.

Il progetto ENSEMBLES, ripreso nella sintesi di Gobiet et al. (2014), fornisce scenari per l'evoluzione delle principali variabili climatiche nella regione alpina con una risoluzione di 25 km (figura 1.7).

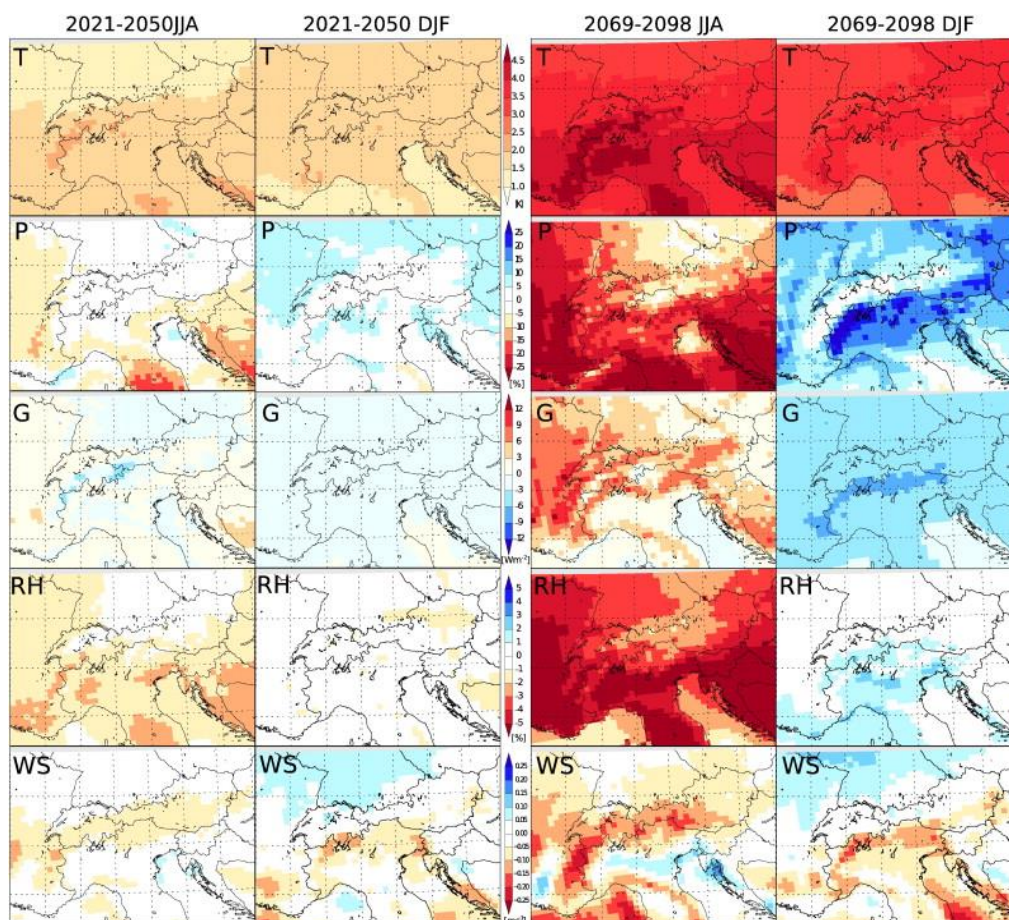


Figura 1.7. Distribuzione spaziale delle variazioni medie previste sulle Alpi rispetto al periodo di riferimento 1961-1990 per l'estate (JJA) e l'inverno (DJF). A sinistra: 2021-2050; a destra: 2069-2098, scenario A1B. T: Temperatura; P: Precipitazioni; G: Radiazione globale; RH: Umidità relativa; WS: Velocità del vento. Fonte: Gobiet et al., 2014.

1.3.1. EVOLUZIONE DELLA TEMPERATURA

Come mostrato in figura 1.7, nello scenario A1B la regione alpina subirà un marcato riscaldamento (+2°C nel 2050, +4°C alla fine del secolo). È nella parte occidentale delle Alpi che gli aumenti di temperatura simulati sono massimi (superiori a 4,5°C). Secondo i risultati dei modelli climatici regionali (RCM), le temperature medie nelle Alpi potrebbero aumentare al massimo da 3°C a 5°C in inverno e da 4°C a 6°C in estate entro la fine del 21° secolo, rispetto alle temperature medie del 20° secolo. Tale aumento è superiore a quello previsto per la Francia continentale. La media annua delle temperature massime giornaliere mostra una tendenza analoga. Nella simulazione climatica (scenario 2 x CO₂) per il massiccio degli Écrins, le temperature invernali aumentano più per i valori minimi che per i valori massimi (fino a +10°C per le temperature estremamente basse contro +3°C per le temperature calde). Per le altre stagioni, il riscaldamento è indipendente dal carattere minimo o massimo delle temperature: +3°C per la primavera, +4°C per l'estate. La conseguenza di questo riscaldamento risulta in particolare in una significativa riduzione del numero di giorni di gelo.

1.3.2. EVOLUZIONE DELLE PRECIPITAZIONI SOLIDE E LIQUIDE

Il rapporto dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA, 2009b), basato sul lavoro di Lautenschlager et al. (2008), mostra che lo scenario A1B porta a tendenze delle precipitazioni totali annuali contrastanti sulle Alpi (figura 1.8).

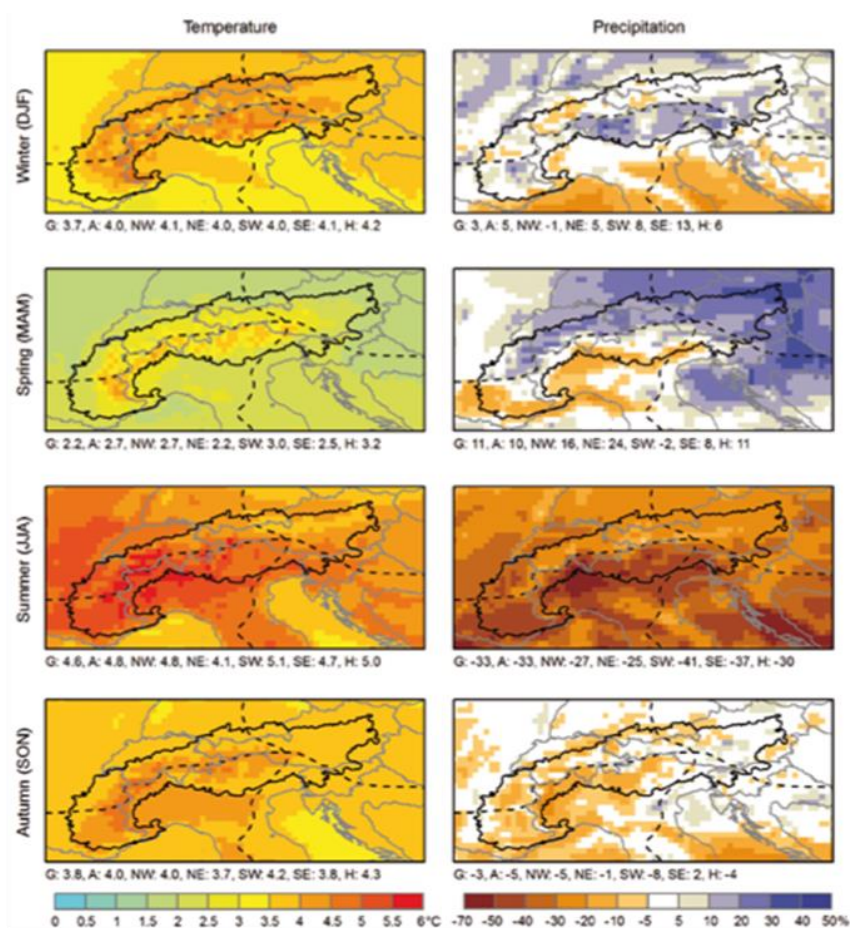


Figure 1.8. Evoluzione stagionale della temperatura e delle precipitazioni alla fine del 21° secolo per lo scenario A1B. Fonte: EEA (2009b), inizialmente pubblicato in Lautenschlager et al. (2008)

Aumenti maggiori sarebbero presenti nella parte settentrionale delle Alpi, mentre la parte meridionale sarebbe soggetta a una riduzione delle precipitazioni. Complessivamente, su scala alpina, le simulazioni mostrano una diminuzione delle precipitazioni che va da -1% a -11% con una differenza stagionale marcata (l'estate è la stagione con il deficit di precipitazioni più marcato).

In combinazione con l'aumento della temperatura, il deficit di precipitazioni invernali porta a stime di circa -36% di nevicate in inverno. Anche ad altitudini superiori ai 1500 m, i modelli prevedono una riduzione di circa il 20% della copertura nevosa entro la fine del 21° secolo. Simulazioni di Jacob, Götzel, Kotlarski, & Lorenz (2007) suggeriscono che sotto i 500 m la neve sarà completamente scomparsa (EEA, 2009b).

1.4. LIMITI E QUESTIONI APERTE NEL 2018

- Scale spaziali e temporali non del tutto adatte agli studi sull'adattamento.
- Incertezze legate alle proiezioni, in particolare nelle zone di montagna.
- Necessità di analisi partecipativa per le altitudini a cui è difficile mantenere le reti di osservazione convenzionali.
- Scarse o nulle informazioni sulla composizione chimica dell'aria

2. IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUI RISCHI NATURALI NELLE ALPI

2.1. INTRODUZIONE

I territori alpini sono particolarmente interessati dagli impatti del cambiamento climatico sui rischi naturali (Beniston et al., 1996), in un contesto di cambiamento globale ambientale, sociale ed economico (Boudières et al., 2013).

I rischi in montagna derivano dalla presenza combinata di :

- numerosi, complessi, intensi e rapidi rischi idrogeologici (valanghe, inondazioni, colate torrentizie, frane, smottamenti e cadute di massi, sismi), in parte aggravati dai cambiamenti climatici, che comportano anche un'estensione o addirittura la comparsa di nuovi rischi, come quelli di origine glaciale e periglaciale o gli incendi boschivi;
- forme specifiche di vulnerabilità, sia dirette (materiali) che indirette (funzionali), legate ad un elevato livello di esposizione ai rischi di strutture e funzioni essenziali per il funzionamento del territorio, quali le reti di trasporto, energia e telecomunicazioni.

E nonostante gli sforzi e gli investimenti molto significativi fatti negli ultimi decenni per costruire strutture protettive e cercare di ridurre la vulnerabilità, si osserva un continuo incremento dei costi generati dall'aumento del numero e/o dell'entità dei rischi naturali nelle regioni alpine (PLANALP, 2012).

Sebbene l'influenza del clima sulla recrudescenza di eventi maggiori non possa essere stabilita con certezza, ad eccezione di rari casi (ad esempio il disastro di Bondo nell'agosto 2017), questo aumento dei danni e delle perdite si inserisce in un contesto di grandi cambiamenti climatici in montagna, che influenzano l'attività dei rischi naturali, in termini di intensità, frequenza, stagionalità o ubicazione (ONERC, 2008). Inoltre, è molto probabile che l'intensità e la frequenza degli eventi estremi e dei rischi gravi aumentino in futuro (IPCC, 2013).

Si assiste quindi a nuove sfide associate agli impatti dei cambiamenti climatici su alcuni fenomeni naturali derivanti dall'evoluzione del clima nelle Alpi (Convenzione delle Alpi, 2012; EEA, 2017b; Einhorn et al., 2015; ORECC, 2016).

La natura e la portata di questi impatti variano a seconda delle diverse regioni alpine e della particolare geografia dei territori considerati. Mentre in alta montagna il legame tra il riscaldamento e la recrudescenza di alcuni fenomeni è sempre più consolidato (come si mostrerà a breve), nelle aree di media montagna e nelle aree metropolitane adiacenti appare meno evidente o più complesso.

Da questo punto di vista, il progetto ARTACLIM presenta l'interesse di considerare diverse tipologie di territori di media montagna e pedemontani con contesti e problematiche diversificate in termini di rischi naturali, all'interno dell'area transfrontaliera.

2.2. METODOLOGIA

Un gran numero di progetti di cooperazione transnazionale e transfrontaliera passati e in corso sono dedicati alla comprensione e alla gestione degli impatti dei cambiamenti climatici sui rischi naturali nella regione alpina (Einhorn et al., 2015; PARN, 2017).

Il presente stato dell'arte si basa sui risultati di questi progetti e più in particolare sulle conoscenze raccolte nel portale Alpi-Clima-Rischi¹ sviluppato fino ad oggi dal PARN nell'ambito del progetto ClimChAlp (Vengeon, 2006). Questa base di conoscenze bibliografiche fornisce un'analisi e una sintesi di dati e proiezioni su: (1) i cambiamenti dei parametri climatici, (2) i loro effetti sul funzionamento dei sistemi fisici e (3) gli effetti indotti sull'attività dei rischi naturali (figura 2.1).

Questa base comprende anche un inventario degli "eventi rilevanti"², dei pericoli e dei rischi naturali verificatisi negli ultimi anni nelle Alpi e che hanno un legame presunto o comprovato con gli impatti dei cambiamenti climatici, come particolari situazioni meteorologiche e climatiche o cambiamenti ambientali a lungo termine (Einhorn & Gérard, 2017).

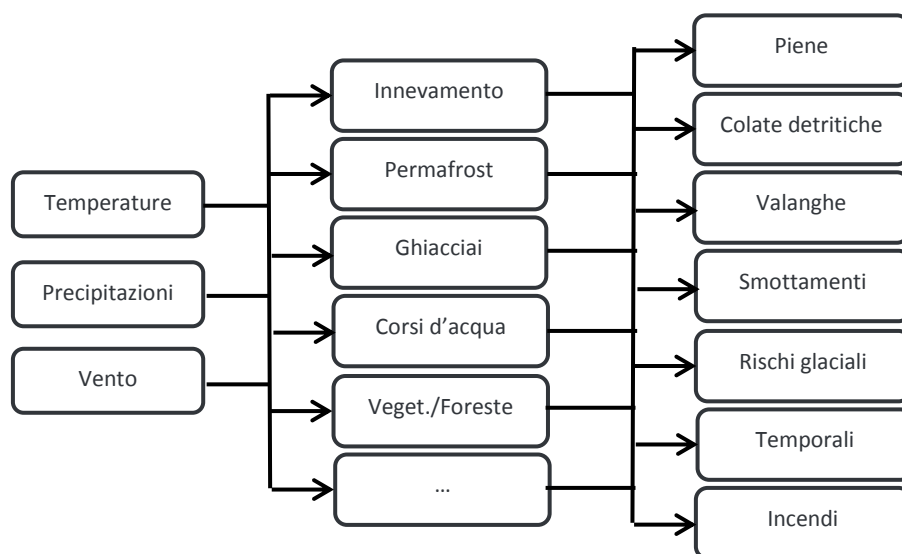


Figura 2.1. Temi relativi agli impatti dei cambiamenti climatici sull'ambiente e sui rischi naturali nelle Alpi, analizzati a partire dalla base di conoscenze "Alpi-Clima-Rischi".

2.3. EVOLUZIONE DEI FATTORI DI CONTROLLO DEI PERICOLI

Sono in gioco diversi fattori che influenzano i pericoli naturali, in primo luogo l'aumento generale e particolarmente pronunciato delle temperature nelle regioni montane, nonché l'aumento della variabilità intrastagionale, che è la causa di una trasformazione dei pericoli (Beniston, 2005; Einhorn et al., 2015).

¹ <http://www.risknat.org/alpes-climat-risques/>

² http://www.risknat.org/alpes-climat-risques/Base_de_connaissances/Evenements_remarquables.html

2.3.1. TEMPERATURE

Come si è detto in 1.2.1, dalla fine del XIX secolo, le Alpi hanno registrato un aumento significativo delle temperature, che oggi sono in media di 2°C più elevate. Questo aumento si è verificato in due fasi, con un primo picco negli anni '50 e un secondo aumento a partire dagli anni '80 (Auer et al., 2007). In questo periodo, la regione alpina ha registrato un aumento medio della temperatura doppio rispetto a quello registrato nell'emisfero settentrionale.

Si prevede che il cambiamento climatico continui e si intensifichi nel corso del XXI secolo. Infatti, mentre le temperature sono aumentate di 0,25°C per decennio finora, il riscaldamento dovrebbe accelerare (Gobiet et al., 2014) e raggiungere 0,36°C per decennio nella seconda metà del secolo. Gli attuali periodi di gran caldo estivo o di inverni molto caldi dovrebbero quindi diventare normali entro la fine del 21° secolo (Ouzeau et al., 2014; Ouzeau, Soubeyroux, Schneider, Vautard, & Planton, 2016).

2.3.2. PRECIPITAZIONI

A questi cambiamenti di temperatura si aggiungono trasformazioni nel regime delle precipitazioni. A livello della grande regione alpina, nel corso del XX secolo si è osservata una tendenza opposta tra la parte nord-occidentale della regione alpina, dove le precipitazioni annuali sono aumentate del 9%, e la parte sud-orientale, dove sono diminuite del 9% (Auer et al., 2007).

Per quanto riguarda le piogge intense, non si evidenzia alcuna tendenza generale sulla scala alpina nel suo complesso. In alcune regioni, tuttavia, si osserva un aumento della loro intensità e/o frequenza a livello locale. È il caso del sud-est della Francia, su una parte delle Alpi meridionali, dove si è verificato un aumento delle precipitazioni estreme a partire dagli anni '80 (Blanchet, Molinié, & Touati, 2016).

2.3.3. INNEVAMENTO

I principali risultati ottenuti modellizzando alcuni parametri chiave, come quelli che descrivono l'aderenza al suolo o l'altezza del manto nevoso, confermano la forte variabilità spaziale e temporale dell'innnevamento. I parametri dell'innnevamento nelle Alpi francesi sono caratterizzati da un forte gradiente che va declinando dalle zone nordoccidentali alle regioni interne sudorientali. Ciò vale principalmente sia per la durata del manto nevoso che per la sua altezza, che mostrano una variazione temporale prevalentemente negativa nel periodo di studio 1959-2005, più significativa a quote più basse, in particolare al nord e negli ultimi inverni, mentre il sud mostra variazioni meno marcate (Durand et al., 2009).

2.3.4. BILANCIO IDRICO

In combinazione con l'aumento delle temperature, questa evoluzione porta ad una maggiore sensibilità della rete idrica agli estremi climatici (EEA, 2017a). A partire dagli anni '90 si registrano pertanto carenze idriche sempre maggiori e siccità più gravi nel 2003, 2005, 2009, 2012, 2015 e nella primavera del 2004 e del 2011. La diminuzione dei bilanci idrici è particolarmente marcata in autunno e in inverno.

2.4. IMPATTI SUI PERICOLI

2.4.1. VALANGHE DI NEVE

Nonostante l'attesa diminuzione del numero di valanghe spontanee, dovuta alla carenza complessiva di neve in montagna (Rousselot et al., 2012), ci si aspetta anche un cambiamento nella stagionalità delle tipologie di valanghe, sotto l'effetto del riscaldamento, che potrebbe portare ad una generalizzazione delle condizioni favorevoli al distacco spontaneo di neve bagnata, anche in pieno inverno (Castebrunet, Eckert, Giraud, Durand, & Morin, 2014). In termini di rischio, l'aumento dell'attività di valanghe di neve bagnata potrebbe compensare il "ritiro" complessivo delle altitudini raggiunte (le valanghe di neve bagnata possono percorrere distanze molto lunghe). Analogamente, tali valanghe sono in grado di generare pressioni d'impatto significativamente più elevate di quanto previsto per quelle di neve fredda e secca (Naaïm et al., 2016). Tuttavia, la diffusione di valanghe di neve bagnata o di lastre dipende dal terreno, dalla copertura forestale e dalla sensibilità dell'area all'erosione (ONERC, 2008). Comunque, le conoscenze attuali sul comportamento meccanico della neve bagnata sono ancora troppo limitate per quantificare con precisione l'impatto di queste tendenze sull'esposizione di persone e cose (ANENA, 2015).

2.4.2. PIENE E INONDAZIONI

I modelli climatici prevedono un aumento delle precipitazioni in determinati periodi dell'anno e una loro diminuzione in altri. Si prevede quindi che l'evoluzione delle piene seguirà quella delle precipitazioni. Il comportamento non lineare del rapporto pluviometrico e una serie di effetti tampone possono mitigare l'impatto delle precipitazioni sui grandi bacini idrografici (ONERC, 2008).

In alcune regioni alpine si registra un aumento dell'intensità e della frequenza delle inondazioni. Si prevede in futuro un aumento delle piene invernali e di flussi estivi molto modesti. I fiumi il cui regime dipende da neve e ghiaccio subiscono un aumento dell'intensità e del volume delle piene e un'evoluzione della loro stagionalità, con un'onda di scioglimento più precoce e più lunga (Bard et al., 2012). In particolare, il tempestivo scioglimento delle nevi avrà un ruolo importante nella tempistica dei picchi di piena primaverili. Tuttavia, mancano dati che permettano di trarre conclusioni definitive (ADAMONT, 2018a).

2.4.3. COLATE DETRITICHE E TORRENTIZIE

Negli ultimi anni si è registrato un aumento dell'altitudine di distacco iniziale delle colate detritiche, che stanno diventando più rare in alcune zone di media quota. Il ritiro dei ghiacciai, con il conseguente rilascio di grandi riserve di sedimenti, associato allo sviluppo di precipitazioni intense, potrebbe portare ad un aumento del trasporto solido torrentizio nei bacini idrografici superiori. Al contrario, lo sviluppo della copertura forestale tende a limitare la presenza di materiale sedimentario e il trasporto solido.

I rischi torrentizi sono in aumento soprattutto in due periodi. In primo luogo in primavera (maggio, giugno, luglio) durante brevi e intensi temporali localizzati che ricadono su versanti di bacini saturi per lo

scioglimento di neve e ghiacciai. Poi, in autunno (fine agosto settembre, ottobre) durante episodi più generalizzati e lunghi che cadono su terreni più secchi (ONERC, 2008).

Per le colate torrentizie il trend è duplice (Einhorn et al., 2015). L'analisi statistica di oltre 500 eventi registrati nel database del RTM a partire dal 1970 ha evidenziato il ruolo critico delle variabili climatiche a scala regionale nella probabilità che si verifichino tali colate. In alcuni ambiti, l'aumento della frequenza delle colate torrentizie dalla fine degli anni Ottanta (Jomelli, Pavlova, Eckert, Grancher, & Brunstein, 2015) sarebbe un effetto del riscaldamento estivo che porterebbe a maggiori effetti convettivi e quindi a temporali estivi. In altri ambiti, l'influsso sulle frequenze delle colate torrentizie da parte della ricarica dei sedimenti sembra superare quella da parte del clima (Garitte, Lahousse, Thénard, & Salvador, 2007).

Nel prossimo futuro, si dovrebbe osservare l'inattività delle zone di innesco delle colate torrentizie più basse, che si trovano fino a circa 1850m. Tale cambiamento sarebbe la conseguenza della diminuzione del numero di giorni di gelo, da un lato, e della risalita in altitudine della copertura forestale, dall'altro. Il significativo aumento della temperatura durante il 21° secolo causerà un aumento di almeno 400m (supponendo un tasso di 0.65°C/100m) dell'isoterma a 0°C. Questo cambiamento ridurrà il numero di giorni di gelo alle quote più basse e farà salire la linea superiore del bosco, aumentando così l'altitudine delle zone di innesco delle colate detritiche (Jomelli et al., 2009).

2.4.4. MOVIMENTI DEL TERRENO

Frane e cadute di massi

Le osservazioni effettuate dai team di Grenoble nelle falesie calcaree che costeggiano il massiccio della Chartreuse hanno evidenziato la notevole ma parziale influenza di fattori meteorologici sulla caduta di rocce, con il coinvolgimento di cicli di gelo-disgelo e/o intense precipitazioni in circa la metà dei distacchi osservati (D'Amato et al., 2016).

Si prevede che l'aumento delle precipitazioni e l'innalzamento della linea di innevamento provocheranno un aumento delle cadute di massi e frane a quote sempre più elevate. Un numero maggiore di cadute di massi è stato osservato ad alta quota durante le ondate di calore estive del 2003 e del 2015 (Ravanel, Magnin, & Deline, 2017). La destabilizzazione delle pareti e l'aumento delle cadute di massi in quota è in parte legata alla degradazione del permafrost. D'altra parte, anche a quote più basse i dati sono troppo disomogenei per rilevare tendenze, ad eccezione di alcune reti stradali dipartimentali, come in Savoia, dove si registra un aumento dell'incidenza dei rischi gravitazionali (cadute di massi, frane, smottamenti e colate di fango), particolarmente legati ad episodi di fusione più frequenti, anche a metà inverno (Lescurier, 2011).

Smottamenti di terreni superficiali

Un aumento delle precipitazioni intense può causare una recrudescenza degli scivolamenti di terreno, che sono spesso dovuti a picchi di pressioni interstiziali. Questa risposta dipenderà dalle caratteristiche di infiltrazione specifiche del sito. Gli smottamenti superficiali possono anche essere modificati dalla trasformazione di zone d'alta quota legate al ritiro glaciale e la destabilizzazione delle zone scoperte (ONERC, 2008). D'altra parte, si osserva anche un innalzamento del limite superiore dei boschi

accompagnato da una rivegetazione delle aree di alta quota, in particolare glaciali e periglaciali, con la conseguente stabilizzazione delle aree liberate dal ritiro della criosfera. Questi volumi di materiale possono essere potenzialmente mobilizzati sotto forma di colate di fango in quota, specialmente se la pendenza è ripida (ONERC, 2008).

Negli ultimi anni si è assistito ad un aumento dell'intensità dei fenomeni meteorologici, come dimostrano le violente e localizzate inondazioni in Valdaine (Isère) del giugno 2002, disastrose per la viabilità, di cui rimangono ancora oggi tracce nel paesaggio. Ci sono variazioni termiche significative in periodi di tempo molto brevi, che sembrano essere un fenomeno abbastanza generale (registrato anche in Savoia). Di conseguenza, si osserva un apparente aumento dei fenomeni erosivi, con episodi di ruscellamento che provocano una significativa erosione delle sezioni stradali. Eventi di questo tipo, una volta considerati eccezionali, stanno diventando comuni (Le Bidan, 2011).

Smottamenti di terreni profondi

Finora non è stata riscontrata alcuna tendenza per gli smottamenti profondi (ONERC, 2008). Tuttavia, negli ultimi anni sono state osservate diverse riattivazioni di grandi movimenti gravitazionali alpini, in particolare gli smottamenti di terreno nel maggio 2015 in Val d'Arly e successivamente riattivati (in particolare nel gennaio 2018), lo smottamento che ha causato la chiusura del tunnel di Chambon nell'aprile 2015, gli smottamenti al Mont Granier nel gennaio e nella primavera del 2016, la riattivazione della frana argillosa dell'Harmalière a Trièves dall'estate del 2016 e la frana del Pas de l'Ours a Queyras. La stampa regionale riporta anche un gran numero di piccole frane e smottamenti che hanno causato numerose interruzioni alle strade di montagna.

Come dimostrato dalla crisi seguita alla chiusura per diversi anni della strada Grenoble-Briançon in seguito al danneggiamento del tunnel dello Chambon, un aumento dell'attività di movimento del terreno e del suo impatto sulle reti di trasporto può incrementare il rischio che le valli alpine siano isolate e avere un effetto considerevole sulla vita socioeconomica delle zone colpite (isolamento, interruzione delle attività, perdita di immagine e di attrattività). Questa questione è al centro delle preoccupazioni locali degli amministratori e dei tecnici nelle valli più esposte (PARN, 2018).

Incendi boschivi

Con l'aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore e della siccità, la propensione agli incendi boschivi aumenta in tutta la regione alpina (progetto ALP-FFIRS).

Le osservazioni mostrano un'espansione degli incendi boschivi nelle Alpi francesi, dove sono stati più frequenti e intensi dal 1959 (Dupire, Curt, & Bigot, 2017). D'altra parte, si notano cambiamenti molto contrastanti tra le Alpi del Nord e del Sud, con: i) un'evoluzione particolarmente importante dal 1959 nelle Alpi meridionali calde e secche, dove il rischio di incendi boschivi è maggiore, ii) un forte aumento nelle Alpi interne e nelle valli a bassa quota delle Alpi settentrionali, iii) una stagione favorevole agli incendi che si estende in primavera nelle Alpi settentrionali e quasi tutto l'anno nelle Alpi meridionali, e iv) valori estremi di rischio registrati ogni anno nel sud e ogni 3-4 anni nel nord. Sulla base delle proiezioni climatiche, si prevede che tali tendenze proseguiranno.

A loro volta, gli incendi boschivi possono portare ad una maggiore erosione e a cadute di massi, come osservato dopo l'estate del 2003 (ONERC, 2008).

Rischi in alta montagna

Sebbene la criosfera non rientri direttamente nell'ambito del progetto ARTACLIM, poiché i territori studiati non sono di alta montagna, va notato che anche questo ambiente è fortemente influenzato dai cambiamenti nelle temperature e nei regimi di precipitazione e dalle loro ripercussioni sui rischi di origine glaciale e periglaciale (Bodin et al., 2015). In effetti, queste aree di alta quota sono molto collegate alle nostre aree di studio, sia in termini di reti di trasporto, sia in termini di attrattività turistica ed economica e di rischi naturali. Lo scioglimento dei ghiacciai e del permafrost in quota e la rimobilizzazione delle riserve sedimentarie liberate possono avere un ruolo sui rischi e sui pericoli in pianura e in media montagna attraverso i processi di cascata di sedimenti, o di apporto idrico durante i picchi di scioglimento. Il progetto Alcotra ADAPT- Mont Blanc³ si concentra più specificamente su questi problemi propri dei territori di alta montagna.

2.4.5. SINTESI

Un approccio differenziato per le diverse regioni alpine studiate (tabella 2.1) e basato su studi locali con il coinvolgimento degli attori del territorio è necessario per tener conto delle loro specificità. Inoltre, dall'analisi emerge un certo numero di impatti intersettoriali che dovranno essere studiati in modo più approfondito in relazione alle altre attività del progetto (stato dell'arte settoriale, studi di vulnerabilità).

³ Adattamento della pianificazione territoriale ai cambiamenti climatici nell'Espace Mont-Blanc

Cambiamento dei rischi naturali	Livello di certezza nelle previsioni sui cambiamenti	Regioni maggiormente colpite	Importanza economica
<u>Rischi legati al permafrost</u> : aumento della frequenza delle frane e della massa delle colate detritiche	Molto elevato	Alta montagna, zone turistiche	Debole
<u>GLOF</u> : maggiore incidenza delle inondazioni per svuotamento dei laghi glaciali	Molto elevato	Alta montagna, zone turistiche	Debole
<u>Altri rischi glaciali</u> : più frequenti e più significativi	Elevato	Alta montagna, zone turistiche	Debole
<u>Piène in inverno</u> : aumento in intensità e frequenza	Medio	Bassa montagna, zone densamente popolate	Molto elevato
<u>Temporali e tempeste</u> : aumento in intensità e frequenza	Medio	Arco alpino, zone densamente popolate	Molto elevato
<u>Caduta di rocce</u> : più frequente	Medio	Bassa e media montagna	Medio
<u>Incendi boschivi</u> : più numerosi sulle Alpi meridionali	Medio	Bassa montagna nelle Alpi meridionali	Medio
<u>Smottamenti di terreno e colate detritiche</u> : più frequenti e significativi	Medio/debole	Bassa e media montagna	Medio
<u>Valanghe</u> : più frequenti e significative ad alte quote	Debole	Alta montagna, zone turistiche	Medio

Tabella 2.1. Incidenza dei cambiamenti climatici sui rischi naturali nell'arco alpino (OECD, 2007)

3. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULL'AGRICOLTURA ALPINA

3.1. INTRODUZIONE

Nella macroregione alpina circa il 18% della superficie è destinata a coltivazioni mentre la copertura di un ulteriore 18% della superficie è costituita da formazioni erbacee naturali o seminaturali spesso sfruttate con la pratica del pascolo. In totale circa il 31,4% delle Alpi, per una superficie di 190.600 km², è ancora utilizzata con finalità di produzione agricola (Flury et al., 2013).

L'agricoltura alpina manifesta una notevole eterogeneità in relazione a:

- ordinamenti colturali (si va dalla frutticoltura e viticoltura delle zone asciutte interne, all'orticoltura e cerealicoltura delle aree di fondovalle, alla praticoltura e alla gestione dei pascoli per l'allevamento da carne e da latte);
- tecniche colturali e loro grado di intensività;
- entità dei processi di marginalizzazione socio-economica e dei fenomeni di abbandono del territorio.

Tutti i diversi modelli di agricoltura che emergono da queste differenziazioni giocano un ruolo essenziale per il mantenimento delle economie legate alla montagna e dei paesaggi culturali alpini, ma allo stesso tempo si trovano da lungo tempo a fronteggiare problematiche legate a scarsa produttività ed elevati costi di produzione, derivanti da peculiarità topografiche, edafiche e climatiche (Mann, 2013).

La vulnerabilità ai cambiamenti climatici dell'agricoltura delle terre alte è pertanto particolarmente consistente perché si sovrappone a condizioni diffuse di grande fragilità strutturale.

3.2. FATTORI DI IMPATTO

3.2.1. INCREMENTO DELLE TEMPERATURE

Il trend di incremento delle temperature determina l'allungamento del periodo vegetativo per un gran numero di colture con un'anticipazione del ciclo colturale in primavera e, in particolare per le colture erbacee, la posticipazione nel corso della stagione autunnale.

Il prolungamento della fase vegetativa si traduce, quando non compaiono altri fattori limitanti, in incrementi delle rese produttive (Lavalle et al., 2009).

Inoltre questo stesso fenomeno permette l'introduzione di colture sensibili alle basse temperature (ad es. la vite) a quote più elevate rispetto a quelle tradizionalmente consentite.

Tuttavia il ridotto periodo di innevamento farà venir meno anche la funzione protettiva che la neve svolge sulla vegetazione e sul suolo sottostante. Le colture potranno pertanto essere danneggiate da gelate primaverili e autunnali. Ad esempio questi eventi nel breve periodo riducono la quantità e la qualità del foraggio, mentre sul lungo termine ci si può aspettare una degradazione delle formazioni erbacee (Chaix, Dodier, & Nottier, 2017).

Inoltre per le formazioni seminaturali (prati permanenti e pascoli) le migrazioni verso quote più elevate delle specie sensibili all'innalzamento delle temperature determineranno la modificazione della composizione specifica (sembra probabile una contrazione del contributo delle graminacee a vantaggio delle leguminose), con effetti non ancora ben quantificabili, ma significativi, sia in termini di produttività che di qualità del foraggio (Sérès, 2010).

La presenza di condizioni termiche più calde potrà accelerare la decomposizione naturale della sostanza organica (MATTM, 2014). I suoli sono magazzini di carbonio e ne contengono molto più di quanto non faccia l'atmosfera, tanto che il sequestro del carbonio in suoli destinati all'agricoltura è un'azione prevista dall'articolo 3.4 del Protocollo di Kyoto. Il trasferimento del carbonio dal suolo all'atmosfera, a causa di un'accelerazione della decomposizione indotta dall'aumento termico, potrebbe innescare un meccanismo di *feedback* positivo. (Davidson & Janssens, 2006).

La conservazione del contenuto di sostanza organica nel suolo è di cruciale importanza sotto il profilo agronomico in quanto la stessa assolve funzioni determinanti sotto il profilo fisico-chimico (miglioramento della struttura; attenuazione dei difetti derivanti da una tessitura non equilibrata; regolazione della disponibilità e l'assorbimento degli elementi nutritivi).

3.2.2. MODIFICAZIONI NEL REGIME PLUVIOMETRICO

Considerando che le proiezioni prefigurano una variazione nella stagionalità delle precipitazioni e l'incremento della variabilità interannuale delle stesse, gli effetti attesi sono relativi a quantità e qualità delle produzioni delle colture.

Per le colture in asciutta, la carenza idrica durante determinate fasi di sviluppo (fioritura, impollinazione, riempimento del frutto) può infatti provocare una drastica riduzione dei livelli di produttività, soprattutto per le colture estive(ad esempio il mais).

Per le colture irrigue invece l'aumento di traspirazione dalle piante e di evaporazione dal terreno potranno aggravare la carenza idrica, con la conseguente necessità di somministrare maggiori quantità d'acqua con l'irrigazione o di introdurre varietà più tolleranti allo stress idrico. Nella cintura alpina meridionale, è probabile che anche le aziende prive di infrastrutture irrigue dovranno dotarsi di sistemi artificiali per fornire un'adeguata quantità d'acqua alle colture (Wriedt et al., 2009; Vanham, 2012).

L'aumento della domanda di acqua per irrigazione, almeno in determinati periodi dell'anno, potrà determinare l'acuirsi della competizione con altri settori (es. uso idropotabile e industriale); mentre l'abbassamento delle falde, e il conseguente aumento dell'energia necessaria per l'emungimento, renderanno la pratica dell'irrigazione più costosa e inquinante da un punto di vista energetico (MATTM, 2014).

Alcuni lavori affermano che, nel medio periodo, per scenari di incremento moderato della temperatura le colture alpine non dovrebbero risentire di particolari problemi di scarsità idrica, tuttavia, superate le soglie critiche, gli impatti negativi risulterebbero particolarmente rilevanti dal momento che, manifestandosi anche sulle colture foraggere, verrebbero indirettamente a coinvolgere anche l'allevamento (Bosello, Marazzi, & Nunes, 2007).

Altri studi, effettuati nella valle svizzera del Rodano, evidenziano come non sia solo la quantità di precipitazioni ad influenzare la disponibilità idrica. Temperature più elevate portano alla rapida fusione

dei ghiacciai e se si verifica un aumento del rilascio annuale di acqua utilizzabile nelle prime decadi di primavera successivamente si verifica una grave contrazione della disponibilità idrica destinata all'irrigazione e gli impatti vengono aggravati da estati più calde e secche (Fuhrer & Jasper, 2014).

Uno studio realizzato presso diversi distretti idrografici in Svizzera (Fuhrer & Jasper, 2012) ha confermato come, anche in un Paese che si ritiene disponga di consistenti risorse idriche, con elevati tassi di precipitazioni e di rilascio, potrebbero rendersi necessarie rilevanti quantità aggiuntive di acqua da impiegare per l'irrigazione. Tra le aree esaminate dallo studio risultano particolarmente suscettibili le zone interne già caratterizzate da quantità di precipitazioni relativamente più contenute. In annate estreme, i volumi d'acqua da impiegare per mantenere ottimali le rese del raccolto, saranno di svariate volte superiori rispetto a quelli utilizzati negli anni considerati climaticamente "nella norma".

La scarsità idrica non affliggerà solo le comunità vegetali, ma avrà ripercussioni anche sulla disponibilità di acqua per gli animali, per i pastori e per tutte le strutture di trasformazione dei prodotti in quota.

Dall'esame della letteratura emerge comunque che le variazioni delle caratteristiche delle precipitazioni, ed il conseguente aumento della richiesta d'acqua finalizzata all'irrigazione, dipendono molto dalla topografia dei territori e ci si deve aspettare quindi una grande variabilità. Si osserva dunque che studi su grande-scala non siano idonei a individuare aree che rappresenteranno veri e propri "hot-spots" in quanto interessati ad esempio da scarso apporto di acque di fusione glaciale e dipendenti unicamente dall'apporto delle precipitazioni e delle acque di fusione nivale. (Fuhrer & Jasper, 2012).

3.2.3. EVENTI ESTREMI

Tra le principali manifestazioni dei cambiamenti climatici si prevede l'aumento della frequenza di eventi climatici estremi, quali ondate termiche, piogge di forte intensità e periodi siccitosi. L'aumento della frequenza di questi eventi durante le fasi critiche dello sviluppo delle colture potrà ulteriormente accentuare gli impatti determinati dalle variazioni medie del clima. Ad esempio, l'incremento degli stress termici in fase di fioritura potrà incidere in modo particolare sulle colture primaverili-estive, con riduzioni di resa ben più accentuate (di circa 20 punti percentuali con variazioni da -14% a -34%) di quelle ipotizzate in funzione delle sole variazioni climatiche medie (MATTM, 2014).

L'intensificarsi dei fenomeni precipitatori ed il relativo aumento del rischio idrogeologico può infatti mettere in pericolo determinate coltivazioni collocate in aree instabili e/o esposte. Inoltre l'incremento di eventi piovosi più intensi possono provocare l'erosione degli strati fertili superficiali (Williams, 2001), che crescerà al crescere della pendenza dei terreni, impoverendoli di nutrienti. I medesimi eventi potranno inoltre indurre periodici fenomeni di saturazione d'acqua nei suoli che possono danneggiare le colture per riduzione della presenza di ossigeno, aumentarne la vulnerabilità alle malattie e rendere difficoltose o impossibili le normali operazioni di coltivazione con rilevanti perdite economiche (Bosello Marazzi, & Nunes, 2007). L'intensificazione della ventosità, in concomitanza con la riduzione delle precipitazioni, aumenterà inoltre i rischi di erosione eolica (MATTM, 2014) e l'allettamento di colture sensibili (ad es. il frumento tenero).

È importante sottolineare poi che gli eventi climatici estremi rischiano di danneggiare le comunità vegetali dei pascoli in modo irreversibile. Le condizioni edafiche e climatiche alpine limitano infatti la capacità rigenerativa di questi ambienti, che risultano pertanto alquanto fragili e vulnerabili, oltre ad essere particolarmente pregevoli per le loro peculiarità floristiche e faunistiche. Il rapido

deterioramento dei pascoli dovuto appunto a frequenti episodi climatici estremi, può anche avere effetti indiretti, quali ad esempio l'arrivo e la colonizzazione di specie vegetali pioniere non caratteristiche delle comunità vegetali dei pascoli, oppure l'accelerazione delle dinamiche di imboscamento, causata in parte dalla salita in quota dei piani vegetazionali (Chaix, Dodier, & Nettier, 2017).

Per quanto concerne gli effetti sull'allevamento si deve ricordare che, in linea generale, i bovini godono di buone capacità di adattamento delle loro funzioni basali per fronteggiare i cambiamenti termici, ma per stress troppo prolungati o di grande entità, queste capacità vengono meno.

In primo luogo le ondate di calore inducono un aumento del fabbisogno energetico, per il quale parte delle risorse energetiche non è più a disposizione delle funzioni produttive come la crescita, poiché impegnata per mettere in atto meccanismi atti a contrastare/dissipare il calore.

Lo stress da caldo è inoltre in grado di innescare una lunga serie di problemi fisiologici e metabolici, che portano all'aumento della suscettibilità a patologie respiratorie, dell'apparato locomotore, a dismetabolie digestive oltre a compromissione delle funzioni immunitarie e dello stato antiossidante dell'organismo.

È stato inoltre dimostrato un aumento del rischio di disordini metabolici a causa di un maggior assorbimento di endotossine. In questi casi, il fegato non è in grado di detossificare la grande quantità di queste sostanze in circolo, con conseguente aumento del rischio di disordini metabolici.

Tra i principali segnali di stress da caldo, vi è la riduzione del consumo di alimento, associata ad un aumento del consumo idrico, ad una riduzione dei movimenti e ad un aumento del tempo dedicato al riposo. Diretta conseguenza di questi fattori è la grave compromissione delle performance di crescita e dunque dell'efficienza produttiva.

Per le produzioni da carne, l'insieme dei fenomeni descritti, si traduce in un declino della qualità organolettica del prodotto che si percepisce nel colore e nella consistenza, mentre il valore di pH più elevato compromette anche conservabilità, capacità di ritenzione idrica alla cottura, gusto ed aroma.

Nella vacca nutrice le ondate di caldo hanno ripercussioni negative sulle performance produttive, più evidenti e facilmente percepibili per quanto riguarda la sfera riproduttiva. In occasione delle ondate di caldo, infatti, la fertilità è compromessa in quanto dal punto di vista metabolico viene privilegiato il soddisfacimento delle funzioni essenziali alla sopravvivenza. Inoltre, la riduzione di assunzione di alimento e la maggiore ripartizione di nutrienti ed energia per il mantenimento dell'eutermia, si traducono in una minore probabilità di concepimento e/o di mantenimento della gravidanza, oltre al fatto che durante le ondate di caldo si verifica un accumulo di sostanze pro-ossidanti a livello embrionale che ne inibiscono e limitano lo sviluppo (Rossi e Compiani, 2017).

Elevate temperature eventualmente associate ad un alto tasso di umidità determinano tutte le ripercussioni sopra citate anche sulle vacche da latte, ciò che si traduce in una drastica diminuzione della performances produttive (West, 2003).

3.2.4. INCREMENTO DELLA CO₂ ATMOSFERICA

L'incremento di biossido di carbonio (CO₂) in atmosfera, se questo fosse l'unico fattore in gioco, potrebbe avere ripercussioni positive sulle colture agrarie. Infatti, un aumento della CO₂ può

determinare un aumento del tasso fotosintetico (“CO₂ fertilisation”). E’ anche stato osservato come siano le specie a ciclo C3 (la gran parte delle specie coltivate) a rispondere più marcatamente a queste variazioni rispetto alle specie a ciclo C4 (es. mais, sorgo), le quali sono più fotosinteticamente efficienti delle prime.

L'aumento di concentrazione della CO₂ avrà però ripercussioni positive anche sull'attività fotosintetica delle specie infestanti, aumentandone la capacità competitiva, con conseguenze di varia natura sulle azioni di controllo. Per quanto riguarda le ripercussioni sull'uso dell'acqua, per elevate concentrazioni di CO₂ si verifica una riduzione della traspirazione per unità d'area fogliare, dunque una maggior efficienza nell'utilizzo idrico. Restano comunque ancora da comprendere gli effetti combinati del minore tasso traspirativo con quelli dell'aumento di area fogliare indotto dalla CO₂, i complessi meccanismi di *feedback* esistenti a scala territoriale tra flussi superficiali e atmosfera e la combinazione di queste dinamiche con le variazioni di temperatura e di precipitazioni (CLIMAGRI, 2003; MATTM, 2014).

3.2.5. AUMENTO DELLE FITOPATOLOGIE

Attualmente si stima che malattie e insetti infestanti siano responsabili di circa il 50% delle perdite delle otto colture più importanti a livello alimentare ed economico in tutto il mondo ed esistono prove del fatto che i cambiamenti climatici possono influenzare significativamente gli effetti di malattie e attacchi di insetti sulla produttività agricola.

Questo fenomeno può verificarsi ad esempio attraverso un'alterazione della diffusione di alcune specie oppure con l'introduzione di nuovi patogeni e vettori e la conseguente affermazione di dinamiche epidemiologiche sconosciute.

Bregaglio, Donatelli & Confalonieri (2013) hanno messo a punto un modello di previsione a livello europeo per gli anni 2030 e 2050, i cui risultati mostrano un generale incremento degli eventi infettivi da parte di funghi patogeni dovuto a cambiamenti di temperatura, di precipitazioni e di disponibilità dei nutrienti, attraverso *pattern* geografici complessi. In particolare si rileva che impatti negativi interesseranno i vigneti e le coltivazioni di frumento.

Le modificazioni climatiche ed ambientali dovute ai cambiamenti climatici potranno anche influenzare le interazioni coltura-parassita.

Mitchell, Reich, Tilman & Groth (2003) hanno ad esempio evidenziato l'incremento degli impatti dei funghi patogeni dovuto al prolungamento della stagione vegetativa, ma è possibile che i cambiamenti climatici agiscano anche a livello della fisiologia e del grado di resistenza delle piante ospiti, oltre che sui *pattern* di crescita e i tassi di sviluppo dei cicli biologici dei patogeni.

Sono infatti diversi i fattori ambientali che possono agire a livello della biologia dei patogeni, che nel caso di condizioni prossime a quelle ottimali, possono dar vita a epidemie di gravità crescente o espandersi in aree geografiche dove trovare nuove specie ospiti.

Inverni più miti ridurranno la mortalità dei parassiti, mentre il generale aumento delle temperature determinerà l'aumento del numero di generazioni per ciclo colturale, velocizzando i tassi di crescita dei parassiti (Reddy, 2013).

L'incremento termico può anche influenzare la riproduzione sessuale dei patogeni, allungando il periodo idoneo a questo tipo di riproduzione e aumentando il potenziale evolutivo delle popolazioni (Envirochange). La rapidità di queste dinamiche potrà portare i patogeni a superare velocemente le resistenze sviluppate dalle specie ospiti (Petzoldt & Seaman, 2010).

L'effetto dei cambiamenti climatici provocherà inoltre un più rapido sviluppo della resistenza agli agrofarmaci da parte di patogeni e insetti infestanti.

Le medesime variazioni potranno infine avere ripercussioni sulla suscettibilità dell'ospite alle infezioni e/o aumentare la manifestazione dei sintomi, esacerbando lo sviluppo della malattia.

Per contrastare i futuri problemi legati all'insieme di queste complesse dinamiche, gli agricoltori saranno indotti ad utilizzare più principi attivi o più alti dosaggi, aumentando di conseguenza il costo di produzione per gli agricoltori, l'inquinamento di suolo e acque, il prezzo per i consumatori e la probabilità che le piante così protette sviluppino nel tempo meccanismi di resistenza agli antiparassitari (Envirochange).

3.2.6. ALTRI IMPATTI

Oltre agli aspetti fin qui citati, esistono una serie di altri possibili impatti, meno diretti o di natura ancora più complessa. Tra questi, ad esempio, l'evoluzione del comportamento alimentare degli animali, ripercussioni di dinamica di popolazione per animali selvatici che interagiscono con agricoltura e allevamento e il peggioramento delle condizioni di lavoro dei malgari, oltre (Chaix, Dodier, & Nettier, 2017).

4. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA BIODIVERSITÀ

4.1. INTRODUZIONE

La biodiversità è definita come la varietà e la variabilità degli organismi viventi e dei sistemi ecologici in cui essi vivono e comprende la diversità a livello genetico (differenze del patrimonio genetico di una specie), a livello specifico (numero di specie e loro abbondanza relativa in una determinata area o ecosistema) e a livello ecosistemico (varietà di ecosistemi presenti su un determinato territorio e interrelazioni con le specie che li abitano) (*Convention on Biological Diversity - CBD, 1982*).

La regione alpina, grazie alla varietà di condizioni ecologiche originate dai gradienti altitudinali, di temperatura e di precipitazioni che la caratterizzano, è una delle aree più ricche d'Europa in termini di risorse ambientali e biodiversità (Angelini & Weldeyesus, 2017).

Ne costituisce conferma il fatto che nelle Alpi si trovano 870 siti di importanza comunitaria e 19 aree protette in Svizzera, che ospitano specie vegetali, specie animali e habitat di grande interesse naturalistico.

Il quadro relativo ai "livelli di minaccia" di queste emergenze ambientali è però piuttosto preoccupante a causa di una serie di fattori di pressione. Tra questi vi sono i cambiamenti climatici, che agiscono sulla biodiversità attraverso interazioni complesse di cui è difficile valutare appieno la portata, ma che sembrano in grado di modificare sia la struttura degli habitat che le loro funzioni ecologiche (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, 2011).

4.2. I PRINCIPALI EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLA BIODIVERSITÀ

Benché non si disponga di proiezioni consolidate e generalizzabili sui cambiamenti climatici nella regione alpina, i macrofenomeni generalmente riconosciuti consistono nell'aumento della temperatura media annua e nella variazione del regime delle precipitazioni. Alcuni effetti che ne derivano possono interagire, in modo rilevante, con le condizioni ecologiche del territorio montano e alpino come schematizzato nella figura 4.1.

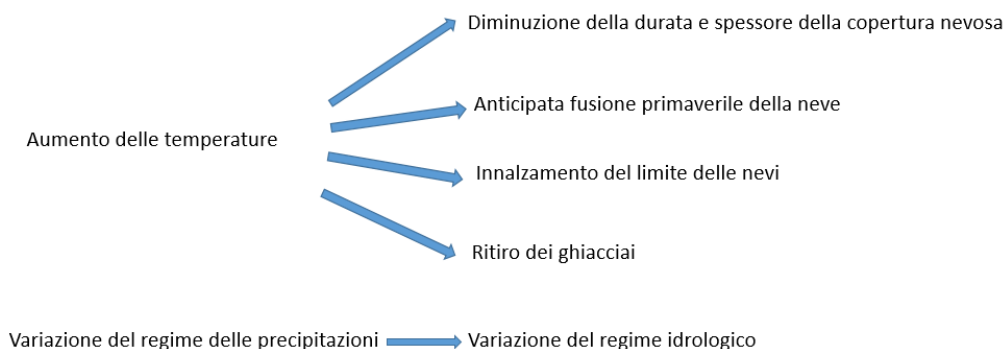


Figura 4.1. Fattori di impatto del cambiamento climatico sulla biodiversità

Ma oltre a questi effetti immediatamente percepibili, tutti i più rilevanti parametri direttamente o indirettamente coinvolti nei cambiamenti climatici possono avere implicazioni per la biodiversità: temperatura delle acque, radiazione solare, radiazione ultravioletta, umidità, copertura nuvolosa, frequenza e intensità degli eventi estremi.

Il verificarsi per il nostro pianeta di significativi periodi di riscaldamento o raffreddamento globale ha sempre comportato la messa a punto di strategie adattative da parte delle specie; ma l'attuale intensità e rapidità dei cambiamenti in corso sembra rendere inefficaci i normali processi evolutivi per molte di queste.

Le principali ripercussioni sugli organismi e sulle comunità biotiche si possono come di seguito sintetizzare:

- variazioni delle funzioni fisiologiche e dei tassi metabolici, fino all'instaurarsi di possibili effetti sulle dinamiche di popolazione;
- modificazioni della durata delle fasi di crescita, sfasamento dei cicli vitali di predatore e preda, parassita e ospite, con una propagazione degli effetti nell'intera rete alimentare (Parmesan, 2006);
- cambiamenti della fenologia, ovvero della manifestazione stagionale di alcuni fenomeni biologici: variazioni nei periodi di fioritura di specie vegetali alpine, anticipazione o ritardo nelle migrazioni, con conseguente rischio di una rapidissima desincronizzazione degli eventi riproduttivi tra i diversi livelli trofici;
- spostamenti altitudinali e latitudinali delle specie, che salgono in quota o verso nord per inseguire le condizioni ecologiche e climatiche adatte alla loro sopravvivenza e raggiungere habitat alternativi idonei. Estinzioni locali o definitive di specie impossibilitate a raggiungere in tempo habitat idonei o a spostarsi ulteriormente quando le quote più elevate saranno raggiunte. Questi processi sono aggravati dalle scarse capacità dispersive di molte specie alpine, associate a frequenti situazioni di frammentazione degli habitat, con conseguenti possibili eventi di "collo di bottiglia" (ovvero di riduzione della variabilità genetica dovuta ad una drastica riduzione della popolazione) che compromettono le capacità di adattamento degli organismi. Modifiche a livello di popolazione e di comunità, a causa dei movimenti di individui e specie in entrata o in uscita, con variazioni delle distribuzioni, delle composizioni e delle abbondanze relative. Questi cambiamenti implicano modifiche della struttura e delle funzioni ecologiche degli habitat, oltre che effetti sulle altre specie presenti;
- interferenza con i fenomeni di competizione interspecifica, in quanto vengono favorite le specie tolleranti a scapito delle specie stenoterme;
- nuove invasioni biologiche o diffusione di specie aliene invasive già presenti.

4.3. SINTESI DELLE CONOSCENZE

La letteratura scientifica prodotta in merito agli impatti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità risente della difficoltà di: a) differenziare adeguatamente (ad esempio da altre perturbazioni di origine antropica) le dinamiche legate al riscaldamento globale; b) generalizzare informazioni e dati emergenti da studi di dettaglio; 3) formulare proiezioni su larga scala e sul lungo termine (Walther et al., 2002).

Tuttavia sembra delinearsi in modo sufficientemente chiaro che gli ecosistemici acquatici siano tra quelli più direttamente minacciati.

4.3.1. ECOSISTEMI ACQUATICI

Le modificazioni più importanti di struttura e funzioni di questi ecosistemi si origina in primo luogo a partire dalle alterazioni delle caratteristiche idrologiche che possono verificarsi anche senza mostrare cambiamenti dei valori medi (Bates, Kundzewicz, Wu, & Palutikof, 2008).

In relazione all'aumento della temperatura atmosferica si registrano evidenti incrementi di temperatura delle acque di diversi fiumi europei (Solheim, Austnes, Eriksen, Seifert, & Holen, 2010), ma effetti particolarmente marcati sono attesi per i fiumi alpini, a causa del ridursi della copertura nevosa e dei ghiacciai, che determina immediate conseguenze sul regime delle portate stagionali (Barnett, Adam, & Lettenmaier, 2005; Eckhardt & Ulbrich, 2003; Jasper, Calanca, Gyalistras, & Fuhrer, 2004; Zierl & Bugmann, 2005).

In riferimento alle componenti biotiche, uno studio che ha interessato ambienti d'acqua dolce di tutta Europa (Markovic et al., 2014) propone delle previsioni secondo le quali, a causa dei cambiamenti climatici, entro il 2050 si osserverà una diminuzione dell'idoneità degli habitat per la maggior parte delle specie in analisi (piante, pesci, molluschi, anfibi, rettili, odonati, crostacei), combinata ad uno *shift* delle distribuzioni verso nord-est. Secondo queste previsioni, il 6% delle specie comuni e il 77% di quelle rare perderebbero più del 90% del loro areale attuale. Otto specie di pesci e nove di molluschi subirebbero la perdita della totalità dell'areale a causa dei cambiamenti climatici, mentre il 50% delle specie di pesci e molluschi considerate, nei nuovi areali di distribuzione, non potranno più godere del sostegno fornito loro dalle aree protette.

Nel contesto europeo, i *taxa* più vulnerabili sono quelli adattati al freddo insieme alle specie endemiche adattate a temperature più calde dell'area mediterranea (Domisch et al., 2013). I modelli applicati prevedono una riorganizzazione delle comunità relativamente alla loro composizione strutturale e funzionale nel continuum fluviale a piccola scala.

Nei laghi l'innalzamento delle temperature ha effetti molto articolati sulla termica lacustre (Ambrosetti & Barbanti, 2002; Solheim et al., 2010; Tartari, Marchetto, & Copetti, 2000; Tartari, Copetti, & Marchetto, 2002) che dipende dalle caratteristiche morfometriche e idrologiche. Oltre agli effetti diretti vanno considerate anche numerose conseguenze indirette; ad esempio, è stata evidenziata l'influenza delle variazioni di temperatura sul prolungamento della stagione produttiva, con implicazioni sulle fioriture algali che tenderebbero a verificarsi in anticipo in primavera e a terminare più tardi in autunno (Thackeray, Jones, & Maberly, 2008). Diversi studi mettono in relazione l'incedere dei cambiamenti climatici con l'aumento di specie potenzialmente tossiche nei laghi, con particolare riferimento ai cianobatteri (Paerl & Huisman, 2009; Posch, Köster, Salcher, & Pernthaler, 2012).

Tra gli ecosistemi più studiati, a causa della loro maggiore vulnerabilità, si annoverano le acque lentiche di piccole dimensioni e scarsa profondità, compresi i laghi d'alta quota (Castellari S. et al., a cura di, 2014).

In particolare i bacini lacustri situati oltre il limite della vegetazione arborea ospitano un numero elevato di specie, spesso endemiti o relictivi glaciali, particolarmente sensibili anche a piccole variazioni della temperatura e della durata della copertura ghiacciata. Il riscaldamento globale può causare variazioni nella composizione in specie delle comunità, perdita di specie poco tolleranti e colonizzazione da parte di specie normalmente adattate a vivere a quote più basse. La diminuzione del periodo di copertura ghiacciata può inoltre comportare un aumento della produzione primaria.

In ambienti lentici temporanei sono possibili variazioni rilevanti della durata della fase in cui è presente una lama d'acqua, con ripercussioni sulla fenologia e sulla persistenza stessa di specie presenti esclusivamente in questa tipologia di ambienti e con areali di distribuzione particolarmente ristretti (Mura & Rossetti, 2002).

In anni particolarmente secchi, i bacini meno profondi possono andare incontro a completo prosciugamento, con una conseguente perdita delle specie in grado di sopravvivere esclusivamente in laghi permanenti (Cantonati & Lazzara, 2006; Ludovisi, Gaino, Bellezza, & Casadei, 2013).

Per quanto concerne le comunità di organismi macrobentonici di stagni e laghi molti studi dimostrano che già ora si manifestano importanti ripercussioni relativamente alle distribuzioni e alle dominanze specifiche (Luoto & Nevalainen, 2012; Luoto & Nevalainen, 2013; Oertli, Indermuehle, Angélibert, Hinden, & Stoll, 2008).

Particolarmente importante, ma altrettanto difficoltosa, è la stima degli effetti a cascata sul complesso di parametri che determinano la qualità ecologica (fisico-chimica e biologica) dei corpi idrici, il cui stato è regolato dalle normative vigenti in materia (Direttiva 2000/60/UE o Direttiva Quadro sulle Acque – DQA21, Commissione Europea, 2000; D.lgs. 152/2006) e il cui mancato rispetto può dare origine a procedure di infrazione. Sembra che le variazioni climatiche possano modificare le “condizioni di riferimento” che, in ottemperanza alla Direttiva Quadro sulle Acque, devono essere fissate per tutti i corpi idrici (Kernan, Battarbee, & Moss, 2010).

4.3.2. COMUNITÀ E SPECIE ANIMALI

Particolarmente sensibili alle variazioni di temperatura risultano gli animali ectotermi, come anfibi, rettili, pesci.

La temperatura ambientale influenza tutti gli aspetti vitali dell'erpetofauna, come i periodi di attività, il tasso metabolico, la funzionalità del sistema immunitario, la suscettibilità alle malattie, la crescita e lo sviluppo, la riproduzione, la distribuzione geografica e la scelta degli habitat (Bickford, Howard, Ng, & Sheridan, 2010).

Inverni troppo caldi potrebbero esaurire le risorse energetiche di specie in ibernazione, mentre alcuni individui potrebbero essere uccisi da gelate tardive. Sia i rettili che gli anfibi presentano capacità dispersive troppo limitate per rispondere a cambiamenti rapidi, mentre l'adattamento *in situ* richiede popolazioni molto numerose per essere efficace (AA.VV., 2008). Tale aspetto è fortemente critico per gruppi come gli anfibi che presentano già trend di popolazioni negativi, dovuti a svariati fattori che agiscono in sinergia: perdita e degrado di habitat, malattie infettive favorite dai cambiamenti climatici (*climate-linked epidemic hypothesis*), radiazioni UV (D'Amen et al., 2011). I potenziali meccanismi sottostanti alle estinzioni locali sono diventati più chiari grazie a correlazioni individuate tra aumento medio della temperatura, declino delle condizioni fisiche e diminuzione della fecondità (Reading, 2007). D'Amen & Bombi (2009) hanno analizzato diversi fattori come potenziali cause del declino. Per i cambiamenti climatici, hanno considerato due fattori principali: la riduzione di disponibilità idrica e l'aumento termico, evidenziando una correlazione tra i pattern climatici registrati e le effettive perdite di anfibi riscontrate.

I tassi metabolici e molte delle funzioni fisiologiche dei pesci di acqua dolce sono influenzate dalla temperatura. In particolare, la temperatura è uno dei principali fattori ambientali che condiziona la riproduzione di Salmonidi, Ciprinidi e Percidi. La risposta della fauna ittica al riscaldamento globale può manifestarsi con lo spostamento verso aree a temperatura e condizioni ambientali ottimali sia nello stesso corpo idrico che a più ampia scala spaziale (Mehner, Emmrich, & Kasprzak, 2011), oppure con risposte fisiologiche ed ecologiche, quali i tassi di crescita e le modalità riproduttive (Lappalainen, & Tarkan, 2007).

Uno studio condotto su un corso d'acqua alpino in Austria (Matulla, Schmutz, Melcher, Gerersdorfer, & Haas, 2007), ha correlato la composizione di una comunità osservata con le condizioni climatiche ipotizzate dallo scenario IS92a dell'IPCC, per le quali è stata stimata una risalita delle comunità ittiche di circa 70 metri verso la sorgente dei corsi d'acqua. Questo comporterebbe un maggiore stress per le specie che necessitano di acque più fredde, costringerebbe i Ciprinidi ad avanzare e i Salmonidi a ritirarsi. Specie come la Trota fario (*Salmo trutta*), già sottoposte a pressione competitiva, subirebbero ulteriormente la perdita di habitat in favore di invasori come la Trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*), meglio adattata a temperature più elevate. Tali cambiamenti si rifletterebbero anche sulla pesca sportiva ai salmonidi, attività dal rilevante peso economico. Spostamenti dell'areale di distribuzione e declino di popolazioni di *Salmo trutta* sono stati osservati anche nel reticolo fluviale svizzero (Hari, Livingstone, Siber, Burkhardt-Holm, & Guettinger, 2006). La presenza di barriere fisiche limita però la migrazione longitudinale, traducendosi in una riduzione di habitat. A quote inferiori si è registrata una maggiore incidenza della Malattia Renale Proliferativa, la quale è temperatura-dipendente. Dorts et al. (2011) hanno invece svolto uno studio sperimentale sullo Scazzone (*Cottus gobio*), per cui un aumento della temperatura dell'acqua, in linea con le previsioni relative ai cambiamenti climatici, potrebbe influenzare la performance riproduttiva della specie ed avere effetti deleteri sulla dinamica di popolazione. In generale, con il riscaldamento ci si deve aspettare un aumento della ricchezza in specie, soprattutto di quelle euriterme, e una diminuzione di biomassa, densità e taglia corporea media.

I cambiamenti climatici sono considerati un fattore influente anche sulla composizione delle comunità ornitiche, modificando le abbondanze relative delle specie. Ancora una volta, questi fattori si sommano ed interagiscono con altri processi di origine antropica, primi tra tutti i cambiamenti di uso del suolo. E' stata evidenziata la contrazione degli areali di distribuzione delle popolazioni nelle aree più settentrionali, a fronte dell'espansione verso nord di specie a distribuzione più meridionale, in una sorta di scambio che non sembra aumentare la ricchezza specifica locale e che può invece avere effetti sulla diversità funzionale delle comunità ornitiche (Virkkala & Lehikoinen, 2017). In linea generale, i dati mostrano come gli uccelli stiano cercando di adattarsi ai cambiamenti in atto, benché i fattori in gioco siano molteplici e lo siano anche le risposte delle singole specie e addirittura delle singole popolazioni. Diversi studi hanno dimostrato ad esempio che gli uccelli migratori stanno modificando periodi e rotte migratorie (Mingozzi et al., 2013; Rubolini et al., 2007)

Le specie tipicamente alpine risultano particolarmente adatte a registrare gli effetti delle variazioni climatiche. Ad esempio, gli uccelli che abitano in ambienti aperti di alta montagna, oltre il limite degli alberi, possono risentire della salita in quota delle foreste. Si tratta infatti spesso di specie sedentarie, molto selettive riguardo alla scelta dell'habitat, la cui presenza è limitata a ridotte nicchie climatiche. È questo il caso della Pernice bianca alpina (*Lagopus muta helvetica*), specie bandiera per la quale si stima sulle Alpi italiane una perdita di habitat idonei pari a circa il 28% entro il 2039 (Ferrarini, Alatalo, & Gustin, 2017). Uno studio realizzato nel Parco naturale dell'Alpe Veglia e Devero ha inoltre evidenziato un declino più o meno pronunciato della popolazione di pernice bianca dovuto al ritardo delle

precipitazioni nevose. Per contro, la precoce scomparsa della neve dal terreno potrebbe favorire la specie, portando ad un più elevato successo riproduttivo, ma temperature estive più alte potrebbero causare ipertermia negli individui (Imperio, Bionda, Viterbi, & Provenzale, 2013).

Per la Civetta capogrosso (*Aegolius funereus*) e la Civetta nana (*Glaucidium passerinum*), uccelli specialisti delle foreste montane, è stata prevista una riduzione significativa (più marcata per la capogrosso) della distribuzione potenziale regionale, dovuta all'aumento delle temperature sulle Alpi lombarde (Brambilla, Bergero, Bassi, & Falco, 2015).

Bisi, Wauters, Preatoni, & Martinoli, (2015) hanno valutato, in funzione di diversi scenari climatici sviluppati dall'IPCC, le potenziali distribuzioni della lepre variabile (*Lepus timidus*) e della lepre comune (*Lepus europaeus*). Per la Lepre variabile si ipotizza un rimodellamento dell'areale di distribuzione dovuto soprattutto all'aumento delle temperature, con conseguenti estinzioni locali specialmente ai confini meridionali dell'areale.

La risposta delle specie sociali ai cambiamenti climatici può dipendere, in parte, dall'influenza che questi hanno sulla struttura sociale del gruppo, agendo sui parametri riproduttivi e pertanto sul reclutamento della popolazione. Uno studio durato 23 anni nella Riserva Naturale La Grande Sassièrè (Alpi francesi) sulla Marmotta (*Marmota marmota*), ha evidenziato come gli effetti dei cambiamenti climatici riducano soprattutto la sopravvivenza dei giovani, con conseguenze sul numero di nuovi "aiutanti" reclutati nella popolazione nel corso degli anni (Rézouki et al., 2016). Un secondo studio sulla medesima popolazione ha messo in luce una correlazione tra cambiamenti climatici e diminuzione delle dimensioni delle cucciolate, soprattutto per effetto di modifiche nello spessore della copertura nevosa in inverno (Tafari, Cohas, Bonenfant, Gaillard, & Allainé, 2013).

I cambiamenti climatici possono avere effetti anche su erbivori più grandi, come lo Stambecco (*Capra ibex*), che non tollera bene il caldo. Aublet, Festa-Bianchet, Bergero, & Bassano (2009), nel Parco Nazionale Gran Paradiso, hanno evidenziato diminuzioni del tempo dedicato al foraggiamento di maschi adulti all'aumentare della temperatura e dell'irraggiamento. Ancora nel Gran Paradiso, studi su femmine di Stambecco hanno individuato variazioni del comportamento spaziale stagionale in relazione ai fattori climatici (copertura nevosa in inverno e temperature in estate). In particolare, le temperature estive più elevate hanno costretto le femmine a salire maggiormente in quota durante il giorno e a ridiscendere più in basso la sera, con conseguenti costi energetici maggiori (Grignolio, Rossi, Bassano, Parrini, & Apollonio, 2004).

Tra gli invertebrati sono invece dimostrati gli effetti positivi dei cambiamenti climatici nei confronti della Processionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), lepidottero defogliatore, che gode di una maggior sopravvivenza delle larve dovuta all'aumento delle temperature minime invernali. Un'espansione latitudinale e altitudinale della specie è già stata osservata sia in Francia che in Italia e all'aumento termico è legata anche una superiore attività di volo che consente una più rapida colonizzazione di nuovi siti e specie ospiti (Battisti et al., 2005; Battisti, Stastny, Buffo, & Larsson, 2006; Buffo, Battisti, Stastny, & Larsson, 2007).

4.3.3. VEGETAZIONE

Per quanto riguarda la vegetazione il fenomeno più rilevante sotto il profilo fisionomico-strutturale correlabile ai cambiamenti climatici consiste nella migrazione delle formazioni boschive verso quote più

elevate. È tuttavia spesso difficile discriminare il ruolo assunto dal riscaldamento globale rispetto a quello dell'abbandono delle pratiche pastorali.

Uno studio realizzato sulle Alpi svizzere (Gehrig-Fasel, Guisan, & Zimmermann, 2007), ha identificato un aumento significativo della copertura forestale tra i 1650 e i 2450 metri di quota, di cui tuttavia solo il 4% dello *shift* altitudinale è localizzato al di sopra del potenziale limite locale di insediamento degli alberi, permettendo di individuare nei cambiamenti climatici la causa di questo spostamento.

Uno studio della durata di 7 anni (Erschbamer, Unterluggauer, Winkler, & Mallaun, 2011) è stato realizzato su quattro diverse cime delle Dolomiti, lungo un gradiente altitudinale, allo scopo di definire i cambiamenti nei pattern di diversità, i trend migratori e le potenziali minacce alle specie endemiche in ambiente ecotonale. I risultati rivelano un aumento di ricchezza specifica su tutte e quattro le cime, con i valori più elevati riscontrati sulle due vette più alte (15 e 18%). Anche in assenza di trend chiari per le due vette più basse, si è evidenziato un *turnover* di specie elevato e il numero di specie in arrivo è stato superiore al numero di specie perdute. L'aumento della presenza di specie sulle cime studiate può essere messo in relazione con il continuo aumento della durata del periodo vegetativo. Sulla cima più bassa, la crescita rigogliosa della vegetazione e lo stabilirsi di individui giovani denota una migrazione in quota del limite della foresta. Le specie scomparse appartengono a *ranges* altitudinali vari, mentre dalla cima più elevata si è evidenziata la scomparsa di una specie endemica (*Potentilla nitida*).

Uno studio condotto sulle Alpi bernesi (Providoli & Kuhn, 2012), si poneva come obiettivo quello di identificare quali cambiamenti relativi all'estensione della copertura forestale potessero essere direttamente imputabili ai cambiamenti climatici. I risultati evidenziano come circa il 20% delle variazioni riscontrate siano direttamente associabili ai cambiamenti climatici, mentre la restante percentuale è attribuibile ad attività umane che modificano l'uso del suolo.

Carlson et al. (2014) ipotizzano, tramite lo sviluppo di tre scenari nella valle di Chamonix (Alpi francesi), la perdita di areali distributivi per le specie vegetali alpine, combinata e smorzata dalla disponibilità di nuove aree liberatesi a causa del ritiro dei ghiacciai con il conseguente instaurarsi di nuove successioni primarie. Nuovamente, l'abbandono delle pratiche pastorali, in sinergia con i cambiamenti climatici, è considerato un fattore molto importante per spiegare l'aumento della copertura forestale rilevato.

Mietkiewicz, Kulakowski, Rogan, & Bebi (2017), evidenziano anch'essi un aumento della copertura forestale sulle Alpi svizzere, con conseguente diminuzione della frammentazione ed aumento dell'omogeneizzazione del paesaggio. La diversa composizione floristica e la maggior continuità di copertura vegetazionale, derivanti ancora da cambiamenti climatici uniti a diverso utilizzo del suolo, vengono descritte come potenziali minacce per determinati servizi ecosistemici, quali la biodiversità ed il valore turistico delle aree interessate.

5. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLE FORESTE

5.1. I PRINCIPALI FATTORI DI IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE FORESTE

I cambiamenti climatici esercitano un impatto significativo sugli ecosistemi forestali e i vari fattori di impatto determinano effetti diversi sulle diverse formazioni.

Ciascun fattore va considerato sia singolarmente che nel contesto complessivo dei mutamenti climatici. La conoscenza specifica di ogni singolo fattore di impatto è un passaggio fondamentale per la definizione degli indicatori necessari a valutare l'entità degli impatti.

I principali fattori di impatto presi in considerazione, con influenza diretta e indiretta sulle formazioni forestali, sono i seguenti:

- aumento della CO₂ atmosferica;
- aumento della temperatura;
- variazioni del regime delle precipitazioni;
- disturbi di carattere abiotico (dissesti, siccità, incendi, tempeste di vento);
- disturbi di carattere biotico (insetti e altri fitopatogeni).

Numerosi studi evidenziano inoltre la diversa sensibilità delle specie forestali rispetto ai mutamenti climatici.

A tal riguardo il faggio, l'abete bianco e l'abete rosso sono tra le specie più studiate per la loro diffusione nonché per la loro rilevanza economica nell'ambito delle utilizzazioni forestali e del mercato del legno.

5.1.1. AUMENTO DELLA CO₂ ATMOSFERICA

La quantità di CO₂ nell'atmosfera assume sempre più importanza come fattore di impatto sugli ecosistemi in virtù delle sue concentrazioni effettive. Nel 1960 a livello mondiale venivano emesse 9.413 MtCO₂, nel 2016 si è arrivati a 36.183 MtCO₂ (figura 5.1). Il trend è di ulteriore crescita (figura 5.2; Global Carbon Atlas, 2017), tanto che la concentrazione atmosferica di CO₂ è aumentata a un ritmo record nel 2016, sia a causa delle attività umane che del potente fenomeno de "El Niño" (WMO - World Meteorological Organization, 2017).

Il contenuto di CO₂ ha ormai superato la soglia delle 400 ppm.

L'aumento di concentrazione di CO₂ determina diverse ricadute sulle cenosi forestali e non tutte necessariamente negative. Ad esempio intensifica il processo di fotosintesi; ma l'incremento della fotosintesi aumenta l'intensità di tutti i processi fisiologici della pianta che, di conseguenza, richiede più acqua e richiama maggiori quantità di nutrienti dal suolo. In particolare aumenta la richiesta di azoto (N). Il perdurare di condizioni di atmosfera arricchita di CO₂ potrebbe quindi manifestare conseguenze non trascurabili rispetto alle quantità di N e acqua disponibili nel suolo.

Così, contrariamente a quanto ci si aspetterebbe, l'accrescimento delle piante non si verifica in modo proporzionale all'aumento di CO₂.

È stato inoltre rilevato che l'aumento di CO₂ determina una parziale chiusura degli stomi. Di conseguenza si riduce la perdita di acqua per traspirazione rendendo più difficoltoso per la pianta il controllo della temperatura fogliare. Complessivamente la singola pianta si trova quindi a fronteggiare una situazione di squilibrio fisiologico.

L'aumento di CO₂ rappresenta quindi un fattore di rischio che contribuisce a ridurre la resilienza complessiva delle coperture forestali; non è un fattore determinante di criticità, tuttavia potrebbe assumere questo ruolo laddove i popolamenti siano già sottoposti a stress da parte di altri fattori di impatto.

Ad esempio la siccità e l'aumento delle temperature, uniti alla elevata concentrazione di CO₂, potrebbero avere significativi effetti destabilizzanti sulle cenosi forestali.

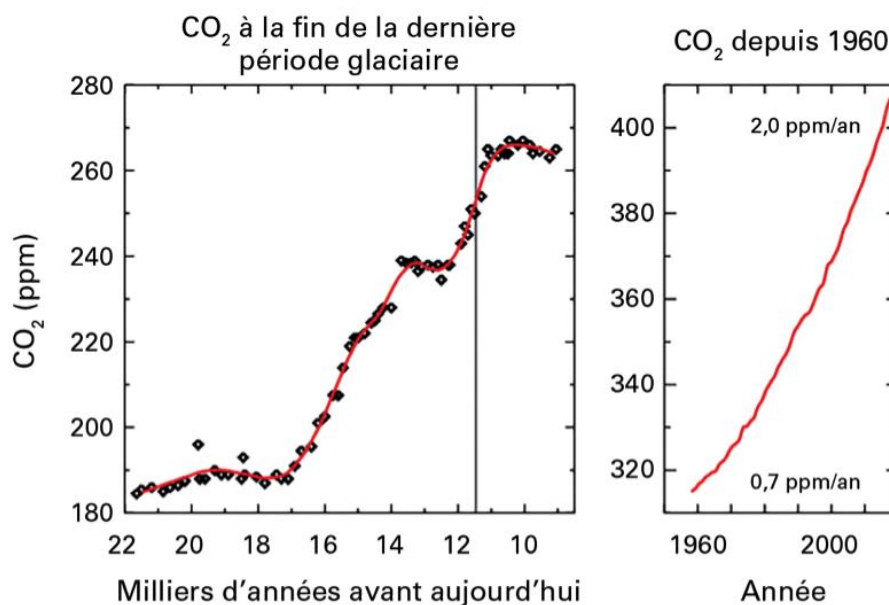
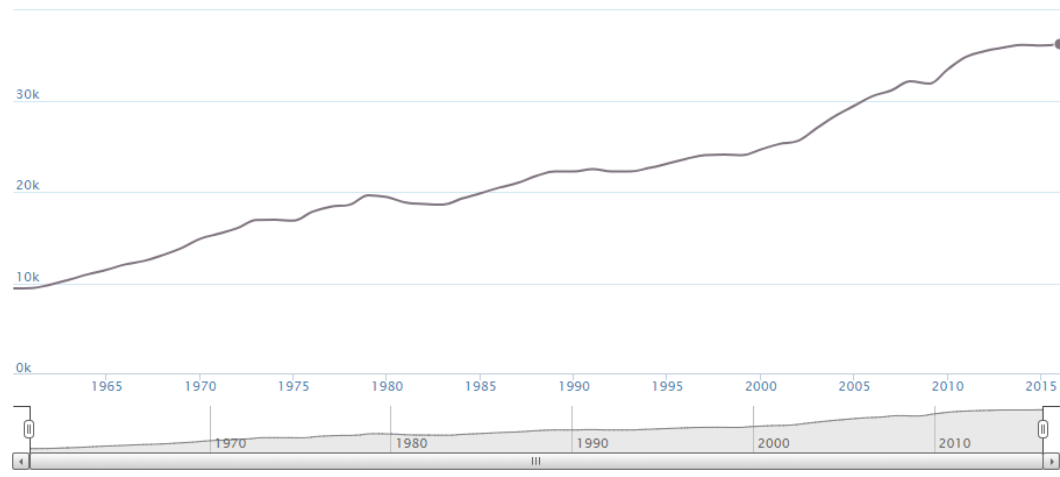


Figura 5.1. Evoluzione delle concentrazioni di CO₂. Fonte: WMO. Greenhouse Gas Bulletin, 2017

Territorial (MtCO₂)

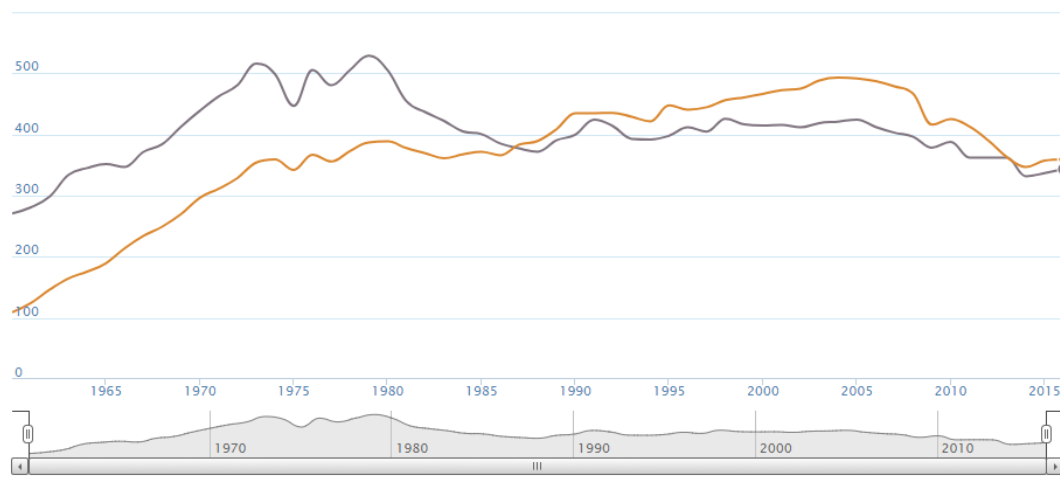


2016

X World 36183

a

Territorial (MtCO₂)



2016

X France 344
X Italy 359

b

Figura 5.2. Emissioni di MtCO₂ dal 1960 al 2016 mondiali (a) e dell'Italia e della Francia (b). Fonte: Global Carbon Atlas -2017

5.1.2. AUMENTO DELLA TEMPERATURA

Così come per la CO₂, anche l'aumento della temperatura può avere impatti differenti sulle piante e sugli ecosistemi forestali in funzione delle interazioni con gli altri fattori di impatto.

L'aumento di temperatura, riferendosi agli effetti diretti sulle piante, può manifestare anche effetti positivi. Aumenta la lunghezza della stagione vegetativa ma, in queste condizioni il fattore limitante diventa la disponibilità acqua.

Nelle aree con clima mediterraneo o nelle aree montane a quote inferiori l'aumento di temperatura, se non associato alla disponibilità di acqua, non comporta variazioni di accrescimento.

Nelle aree alpine invece, dove l'acqua è di norma abbondante, è visibile l'aumento degli accrescimenti degli individui (A.VV, 2008) e l'incremento di massa dei boschi.

La variazione della lunghezza della stagione vegetativa consente inoltre alle specie normalmente situate a quote inferiori e limitate dall'asprezza del clima, di poter salire di quota entrando in competizione con le specie ivi presenti.

Le piante più specializzate o più resistenti ai climi rigidi sono quindi minacciate dalla accresciuta competitività delle altre specie.

Relativamente al limite superiore della quota attuale di insediamento della vegetazione arborea, il discorso è più complesso poiché, se da un lato è evidente che il bosco sta invadendo ampie aree prative, risulta difficile distinguere le evoluzioni di copertura forestale dovute ai mutamenti climatici rispetto a quelle originate dai mutamenti di natura socio-economica del territorio montano. Nella maggior parte dei casi si può affermare che tale processo di colonizzazione sia dovuto principalmente all'abbandono della pratica del pascolo piuttosto che da fenomeni correlabili ai cambiamenti climatici.

5.1.3. VARIAZIONI DELLE PRECIPITAZIONI

La variazione delle precipitazioni influisce direttamente sull'accrescimento delle piante.

La disponibilità di acqua nel suolo, abbinata ad altri fattori d'impatto, costituisce il fattore limitante per lo sviluppo del bosco:

- il consumo di acqua è direttamente correlato alla fotosintesi e di conseguenza alla concentrazione di CO₂ nell'aria;
- l'aumento delle temperature, in assenza una adeguata disponibilità di acqua nel suolo, può portare a condizioni di siccità.

La siccità determina numerosi effetti, diretti e indiretti, sugli ecosistemi forestali e questa situazione di criticità, ormai evidente nelle aree mediterranee, potrebbe diventare un fattore limitante anche nelle aree montane e alpine. Gli effetti sono evidenti, soprattutto se il fenomeno assume rilevanza in termini di intensità e durata. Nel 2003, ad esempio, lo stress causato da siccità ed elevate temperature ha determinato diffusi fenomeni di mortalità in varie aree forestali europee. La mortalità si è protratta per alcuni anni, con comportamenti diversi in funzione delle specie più colpite.

In condizioni di siccità aumenta l'evapotraspirazione delle piante per mantenere una adeguata temperatura delle lamine fogliari mentre, contestualmente, l'acqua nel suolo viene persa per evaporazione. Lo squilibrio che ne consegue genera stress.

Alcune specie, tra le quali il faggio è di particolare importanza sotto il profilo selvicolturale, sono a questo riguardo particolarmente sensibili. L'accrescimento del faggio diminuisce sensibilmente in presenza di temperature elevate e in assenza di precipitazioni. Ci si aspetta quindi una riduzione del suo areale di diffusione nelle aree meridionali del continente europeo (Jump, Hunt, & Penuelas, 2006) e alle quote inferiori dove la pianta è minacciata dalle specie più xerofile, mentre a quote superiori entra come rinnovazione nei boschi di conifere.

Tra le latifoglie, è stata anche dimostrata una correlazione tra il deperimento delle popolazioni di castagno e la siccità. La mortalità delle piante di castagno, già colpite da numerosi patogeni, aumenta durante i periodi siccitosi (Waldboth & Oberhuber, 2009). Il rovere risulta al contrario essere pianta più resiliente.

Per quanto concerne le conifere, studi effettuati sugli accrescimenti radiali di alcune specie forestali durante le stagioni siccitose del 1976 e del 2003, hanno appurato una maggiore resistenza ai fenomeni siccitosi da parte dell'abete bianco rispetto all'abete rosso che ha manifestato una significativa riduzione della sua crescita radiale (Vitali, Büntgen, & Bauhus, 2017).

È evidente quindi che la diversa reazione delle specie agli stress idrici comporta anche un'alterazione delle capacità competitive reciproche e di conseguenza una variazione delle composizioni forestali.

La siccità influisce inoltre direttamente sulla flora fungina e riduce la formazione di corpi fruttiferi. Numerosi ricerche dimostrano che i funghi micorrizici stanno progressivamente diminuendo. Le cause parrebbero molteplici (ad es. variazioni di azoto nel suolo, fisiologia delle piante), tuttavia tra queste va annoverata anche la siccità.

Seppure non esistano ancora studi completi in merito, pare acclarata la diretta relazione esistente tra la flora fungina e la produttività delle piante. Numerosi esperimenti in serra con presenza o assenza di funghi micorrizici attestano tale relazione, misurabile in un calo di produzione e una minore resistenza agli stress da parte delle piante non micorrizzate (Egli, 2009). Mutamenti climatici limitanti nei confronti dei funghi, quali la siccità, contribuiranno quindi a ridurre la resilienza complessiva degli ecosistemi.

Le precipitazioni hanno inoltre una grande influenza sulle caratteristiche chimico-fisiche e biologiche dei suoli forestali. L'aumento delle temperature accompagnato da adeguata disponibilità di acqua determina un aumento della decomposizione delle lettiere, mentre il solo aumento di temperatura, in assenza di precipitazioni, potrebbe favorirne l'aumento.

Esiste infine una correlazione diretta tra umidità della frazione organica del suolo e incendi. Anche in questo caso la specie più in difficoltà è il faggio. La sua bassa resilienza e resistenza al fuoco e la difficoltà nel rinnovarsi dopo il passaggio di incendi comporta il rischio che le coperture forestali evolvano verso coperture arbustive.

5.1.4. DISTURBI DI CARATTERE ABIOTICO

I cambiamenti climatici, quando si manifestano in forma sinergica, determinano numerosi impatti di carattere abiotico a carico delle aree forestali quali incendi, dissesti idrogeologici, tempeste di vento.

Per i prossimi decenni, in correlazione all'intensificarsi ai cambiamenti climatici, si prevede un incremento dell'intensità di questi impatti.

Tali fenomeni, oltre che interferire direttamente con struttura, composizione specifica e funzioni del bosco causando la morte delle piante, spesso determinano condizioni di alterazione anche a carico del suolo.

Si tratta inoltre di tipologie di impatto che hanno una diretta relazione con i temi di protezione civile e che di conseguenza dovranno sempre più essere tenuti in considerazione.

Anche la pianificazione del territorio dovrà sempre più tenere in considerazione l'interazione tra aree urbane e aree forestali dal momento che si tratta di modelli di uso del suolo che, nelle situazioni di interfaccia e in presenza dei cambiamenti dei parametri climatici, generano reciprocamente rischi ambientali.

Gli incendi

Gli incendi, oltre a danneggiare direttamente il soprassuolo arboreo e arbustivo, distruggono la materia organica presente al suolo con una notevole perdita di carbonio stoccato, rendono inoltre il suolo molto vulnerabile rispetto ad altri fattori quali l'acqua di ruscellamento e il vento che possono dilavare e asportare la parte superficiale di suolo, non più protetta.

Secondo i dati riportati dal progetto Alp FFIRS (Programma Alpine Space) nel territorio alpino tra il 2000 e il 2009 si sono verificati 7.646 incendi per una superficie totale bruciata pari ad 68.835 ettari.

Negli ultimi anni, in tutto l'arco delle Alpi, si sono osservati, in termini qualitativi, i seguenti due fenomeni: un numero crescente di incendi divampa in aree normalmente non coinvolte; i periodi di rischio incendio si stanno ampliando significativamente con avvio precoce in primavera e prolungamento in autunno.

Questi fenomeni sono destinati ad intensificarsi in stretta relazione con il procedere dei cambiamenti climatici.

Dissesti

Le foreste svolgono un cruciale ruolo nella protezione dal dissesto idrogeologico.

Negli ecosistemi forestali il bilancio idrico è caratterizzato da una fase di input, dovuta alle precipitazioni e all'infiltrazione, e di output dovuta alla traspirazione e all'evapotraspirazione. I processi idrici coinvolgono l'intero ecosistema: l'intercettazione della pioggia si manifesta a livello della copertura

forestale; l'infiltrazione si sviluppa a livello del suolo, l'evapotraspirazione coinvolge entrambi. Questi processi regolano, direttamente e indirettamente, i volumi di acqua presenti nel suolo, cui sono dovute le modalità di generazione dei deflussi. Il bilancio tra i flussi di entrata (precipitazioni – intercettazione – infiltrazione) e quelli in uscita, indica l'efficienza idrologica dei boschi. Questa si manifesta attraverso una riduzione del deflusso superficiale, un aumento dei tempi di corrivazione e, quindi, della capacità di laminazione dei bacini (Iovino, 2016).

Tuttavia lo squilibrio originato dai cambiamenti climatici, ed in particolare i fenomeni di concentrazione delle precipitazioni, possono dare origine a superamenti della capacità di regimazione delle formazioni forestali. In tali situazioni gli eventi di dissesto, dall'erosione superficiale e sottosuperficiale alle frane e alle alluvioni, possono coinvolgere direttamente le coperture forestali. Le superfici rimaste così prive di copertura vegetale a seguito di frane o ad eventi alluvionali diventano molto più vulnerabili.

A questo proposito, a titolo di esempio, è utile tenere presente che secondo l'analisi dei dissesti da frana in Piemonte (Colombo & Ramasco, 2005) l'indice di franosità espresso in percentuale rispetto all'uso prevalente del suolo (superficie occupata dai fenomeni franosi rapportata alla superficie occupata da ciascuna classe d'uso suolo) ha messo in evidenza per la copertura boschiva un valore pari a circa il 15%.e per le superfici a vegetazione rada o assente un valore che si colloca intorno al 27%.

Tempeste di vento

Le tempeste di vento sono un fenomeno tipico delle zone forestali nord-europee, tuttavia sempre più frequentemente si riscontrano schianti da vento anche nelle aree alpine e mediterranee. Questi fenomeni estremi possono produrre effetti molto rilevanti sulle foreste non solo in termini di riduzione della produzione legnosa, ma anche di perdita della capacità di fornire fondamentali utilità ecosistemiche.

Il vento può impattare gli ecosistemi forestali a diverse scale, dal paesaggio al popolamento, fino al singolo albero. Un insieme di effetti rende i danni da vento nelle foreste molto diversi rispetto a quelli di altri fattori di disturbo naturali: a scala di paesaggio il vento può modificare la dimensione e le caratteristiche delle diverse tessere forestali; a livello di soprassuolo, aprendo la copertura delle chiome, influenza la quantità di luce e di risorse disponibili al suolo; infine, lo sradicamento di singole piante crea condizioni micro-topografiche ed edafiche particolari che possono persistere anche molto a lungo.

Gli effetti del vento sono diversi in relazione alla struttura dei soprassuoli:

- fustaie (conifere e faggio): stroncamenti e sradicamenti;
- cedui adulti: sradicamento ceppaie e/o stroncamento polloni;
- cedui giovani (pochi casi): abbattimento delle matricine.

Gli effetti del vento possono influenzare direttamente la stabilità ecologica del soprassuolo. Le nuove aperture create dal vento alterano il microclima forestale, aumentano l'illuminazione del suolo e influiscono direttamente sulla rinnovazione del soprassuolo forestale interferito.

Uno studio specifico ha evidenziato una correlazione tra la siccità e gli schianti da vento. La siccità indebolisce fisiologicamente le piante rendendole più suscettibili a rottura per il carico a cui sono

sottoposte durante le tempeste di vento. Anche le piogge abbondanti, imbibendo il suolo, rendono le piante più suscettibili al ribaltamento durante le tempeste di vento.

È dunque importante sempre valutare gli effetti del vento in correlazione ad altri fattori climatici di impatto.

5.1.5. DISTURBI DI CARATTERE BIOTICO

Tra gli organismi potenzialmente nocivi per il bosco figurano: insetti, nematodi, fitoplasmi, batteri, funghi, virus e viroidi. Il ciclo biologico di tutti questi organismi è direttamente influenzato da parametri climatici.

Il cambiamento climatico avrà pertanto un impatto sulle dinamiche di popolazione di queste specie, influenzando la frequenza, la dimensione e la distribuzione geografica delle epidemie nonché le loro conseguenze.

Gli attuali equilibri tra ospiti e parassiti saranno dunque probabilmente disturbati. Ad esempio nei territori dove gli agenti patogeni sono stati finora meno aggressivi grazie alla rigidità del clima, i cambiamenti in corso potranno mettere a rischio le specie arboree più vulnerabili.

Potrà variare non solo la tipologia di parassiti presenti, ma anche (a lungo termine) la distribuzione delle specie di alberi ospitanti che saranno quindi a contatto con nuovi patogeni.

Gli eventi catastrofici, in particolare, potranno determinare la diffusione improvvisa di agenti patogeni.

In questo quadro non va trascurato che una maggiore invasività dei patogeni sarà correlabile al possibile peggioramento delle condizioni fisiologiche delle piante causato dal già citato fenomeno di alterazione dei processi di decomposizione della lettiera che ridurrà, nel lungo periodo, la disponibilità di nutrienti.

Riguardo specificatamente alle popolazioni di insetti, i cambiamenti di distribuzione delle specie forestali e di clima influenzano la dinamica dell'interazione tra le principali specie di parassiti forestali.

I coleotteri della corteccia (*Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae*) sono normalmente presenti negli abeti spezzati o gravemente stressati. Ad alte densità di popolazione alcune specie possono colonizzare e determinare la morte sia di singoli alberi sani che di interi nuclei. Numerose ricerche hanno evidenziato una correlazione tra l'aumento dei coleotteri e l'aumento della temperatura, della velocità del vento e della variabilità delle precipitazioni.

5.1.6. ULTERIORI IMPATTI SU ASPETTI DI FISIOLOGIA DELLE PIANTE

Negli ultimi anni sono sempre più frequenti gelate e nevicate tardive. Si tratta di eventi non ancora sufficientemente indagati, che tuttavia hanno determinato impatti evidenti sulle coperture forestali. Le piante già in vegetazione che subiscono gelate tardive devono ricacciare le gemme e rivegetare con conseguente stress fisiologico.

Le gelate e le nevicate , o le piogge abbondanti, sulle fioriture determinano, come dimostrano i dati relativi agli ultimi anni, ricadute negative indirette anche sulla produzione di miele,.

Infine anche le nevicate precoci, che si verificano prima della caduta delle foglie, possono dare origine a danni ingenti, soprattutto sui lotti di bosco utilizzati da poco tempo, con nuclei di rinnovazione ancora non ben consolidati e quindi particolarmente soggetti a schianti da neve.

5.1.7. SENSIBILITÀ SPECIFICA

Un recente studio (Frank et al., 2017) condotto in Svizzera ha preso in esame, attraverso l'analisi della variazione genetica, la capacità di adattamento a tre diverse proiezioni di cambiamento climatico di tre specie importanti per le foreste alpine: l'abete rosso (*Picea abies*), l'abete bianco (*Abies alba*) e il faggio (*Fagus sylvatica*).

Dallo studio è emerso che l'insufficiente adattamento genetico potrà probabilmente costituire una criticità entro la fine del secolo per il faggio e l'abete rosso mentre l'abete bianco dovrebbe dimostrarsi specie più resiliente.

5.2. IMPATTI SOCIO-ECONOMICI

L'azione congiunta dei vari fattori influenti sui cambiamenti climatici comporta un'influenza diretta anche sui comportamenti antropici che, modificandosi in funzione delle condizioni climatiche generali, hanno a loro volta ricadute sugli ecosistemi forestali.

Il prolungamento della stagione calda prolunga la stagione lavorativa in bosco. Ad esempio si è verificato che la quasi totale assenza di neve in alcune aree alpine nell'inverno 2015/2016 ha consentito alle imprese forestali di lavorare in bosco continuativamente. Le ripercussioni non sono ancora state valutate in modo approfondito, ma si è riscontrato che il tempo necessario all'utilizzazione dei lotti si è ridotto ed è aumentata consistentemente la disponibilità di legna da ardere e il mercato si è conseguentemente saturato. La ricaduta sul bosco si è avvertita nell'anno successivo con il mancato taglio di numerosi lotti boschivi maturi e il disallineamento delle pratiche selvicolturali rispetto alle previsioni dei piani forestali.

L'innalzamento delle temperature negli ultimi inverni ha inoltre influito significativamente sulle dinamiche del mercato del legno da ardere: se da un lato si è ridotta il fabbisogno complessivo di combustibile, dall'altro è comunque aumentata la richiesta di legna da ardere poiché molto spesso nelle aree rurali il riscaldamento centralizzato, a combustibili fossili, è integrato dal riscaldamento con stufe a legna e le temperature elevate hanno reso sufficiente il solo utilizzo delle stufe di supporto a discapito degli impianti di riscaldamento centralizzati degli edifici.

6. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUL SISTEMA INSEDIATIVO

6.1. INTRODUZIONE

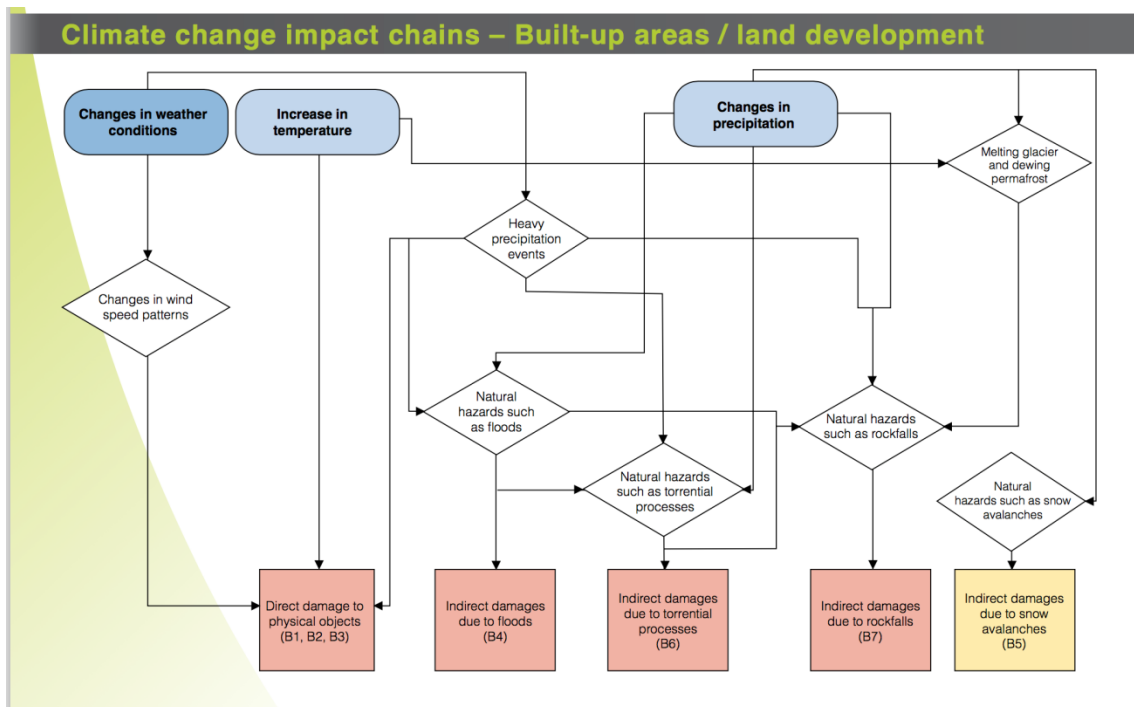
Studi specifici sulle conseguenze del cambiamento climatico sugli ambienti alpini sono prevalentemente concentrati sugli aspetti ambientali e agli impatti economici del settore turistico. La letteratura sugli impatti del cambiamento climatico sul sistema insediativo è invece piuttosto limitata e non riesce ancora a diventare un dibattito scientifico a sé stante. Anche l'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) ha inserito un capitolo sugli insediamenti umani e le aree urbane solo a partire dal *Fourth Assessment Report* (AR4) del 2007, mentre in precedenza questo tema veniva trattato all'interno di altri capitoli. Da allora sta comunque crescendo il riconoscimento del contributo che le aree urbane hanno nell'emissione di gas serra e il loro potenziale ruolo nella mitigazione del cambiamento climatico.

La maggior parte degli studi che mette in relazione il cambiamento climatico ai sistemi insediativi prende in considerazione soprattutto gli impatti nei grandi agglomerati urbani, principalmente a causa della continua crescita urbana nel mondo, soprattutto in termini di produzione di CO₂ (IPCC, 2014); sono invece poco considerati i centri abitati minori, (tipici dell'arco alpino). Gli unici studi sui sistemi abitativi minori riguardano le misure di adattamento al cambiamento climatico con una localizzazione geografica specifica: i paesi in via di sviluppo.

Tuttavia, molti degli elementi che riguardano gli impatti del cambiamento climatico sui sistemi insediativi possono essere ritrovati in altri filoni della letteratura sul cambiamento climatico, quali: (a) gli impatti diretti e indiretti del cambiamento climatico sul carico antropico (disponibilità di risorse, aumento del fabbisogno energetico, impatti sull'agricoltura e crescente vulnerabilità delle infrastrutture) e (b) gli impatti alla scala di edificio. Nei paragrafi successivi verrà sintetizzata una panoramica degli impatti diretti e indiretti sui sistemi abitativi che è possibile ipotizzare a partire dagli scenari di cambiamento climatico previsti per l'arco alpino.

6.2. IMPATTI DIRETTI E INDIRETTI SUL SISTEMA INSEDIATIVO

All'interno del progetto *CLISP – Climate Change Adaptation by Spatial Planning in the Alpine Space* (Alpine Space 2007-2013), sono state individuate in maniera sintetica le catene di impatti generati dal cambiamento climatico su specifici settori. Nell'immagine seguente vengono indicati gli impatti sul sistema insediativo partendo da tre determinanti e prendendo in considerazione impatti intermedi, correlati e non, e finali (Figura 6.1).



Legenda

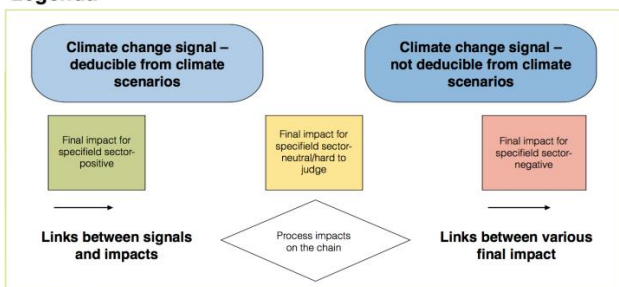


Figura 6.1. Catena di impatti sull'ambiente costruito. Fonte: Clisp, 2012

Come si vede, sull'ambiente costruito si prevedono impatti diretti e indiretti dovuti alla maggiore incidenza dei fenomeni climatici estremi, che porteranno a un aggravio del rischio idrogeologico e dei costi economici collegati. Come anticipato nei capitoli 1 e 2, le simulazioni climatiche regionali prevedono infatti drastici cambiamenti nel sistema idrologico alpino con forti modifiche del ciclo dell'acqua, nell'innnevamento e nello stoccaggio dei ghiacciai provocando da un lato l'aumento di periodo di siccità e dall'altro un incremento delle precipitazioni eccezionali. Sarà soprattutto il versante meridionale delle Alpi a subirne i maggiori effetti a causa dell'esposizione ai flussi caldi del clima mediterraneo. Il rischio idrogeologico – che in Italia, in particolare nella valle del Po, e in Francia nelle aree di confine sud-orientale è già notevole – non potrà quindi che aumentare, esercitando un maggiore stress sulle strutture abitative, sulle infrastrutture turistiche e di trasporto e incrementando i costi, non solo in termini economici, ma anche umani per le comunità residenti (Carraro, Crimi, & Sgobbi, 2007). Ad oggi si registra già un aumento dei danni e dei costi dovuti a frane e valanghe soprattutto alle infrastrutture e ai centri abitati. In particolare i danni alle infrastrutture hanno ripercussioni

sull'accessibilità all'abitato, possono infatti lasciare isolati i centri abitati e quindi generare un aumento dei fenomeni di abbandono da parte della popolazione delle terre alte. Oltre ai danni alle infrastrutture per la mobilità va tenuto conto anche di quelli alle infrastrutture di erogazione dell'acqua, della corrente elettrica e alle infrastrutture telefoniche, già oggi in ritardo di sviluppo nelle aree montane più remote.

Il cambiamento climatico inciderebbe in maniera significativa anche sulle pratiche del fruire e dell'abitare in ambito montano. Una delle principali attività economiche in ambito alpino è il turismo, che è fortemente dipendente dalle condizioni climatiche e dalle risorse naturali sia nel periodo invernale che in quello estivo (Serquet & Rebetz, 2011). Come si approfondirà nel capitolo 8, gli impatti del cambiamento climatico sul settore turistico rappresentano il principale campo di interesse della letteratura odierna proprio in virtù dell'alto valore economico del settore (Becken, 2013). Si stima, infatti, che il settore turistico sia in grado di generare nell'arco alpino circa 50 miliardi l'anno. L'innalzamento delle temperature avrà conseguenze sul turismo in tutte le stagioni. Già da una decina di anni, infatti, si registra una diminuzione del manto nevoso, soprattutto differenziato per altitudine, con un aumento dei costi dovuti alle pratiche di innevamento artificiale sempre più frequenti. In caso di innalzamento delle temperature, questi costi sono destinati ad aumentare, soprattutto se si considera il consumo energetico e l'incremento nell'uso della risorsa idrica (EEA, 2009). Inoltre, come già accennato, l'aumento (di frequenza e durata) del rischio frane, valanghe e alluvioni può portare ad un aumento anche dei costi di manutenzione e di spese per le attività di prevenzione e protezione per i villaggi turistici e gli impianti di risalita. Tutti questi impatti di tipo economico vanno a ricadere anche su aree marginali in termini di benessere economico, piccoli centri dove in alcuni casi vi sono pochi margini dal punto di vista delle risorse pubbliche. La diminuzione degli strati nevosi e la riduzione dei ghiacciai pone anche la questione della riconversione dei rifugi alpini destinati allo sci estivo, sempre meno utilizzati.

Allo stesso tempo il prolungamento della stagione estiva fa registrare anche impatti apparentemente positivi nell'aumento di presenze del periodo estivo. I turisti sembrano già reagire alle ondate di calore, prolungando la media dei loro soggiorni in montagna, soprattutto a basse quote, e in futuro se le ondate di calore dovessero diventare più regolari potrebbero ulteriormente incrementare i pernottamenti nella stagione estiva (Serquet & Rebetz, 2011). L'aumento dei flussi turistici può però rappresentare anche una minaccia. Le maggiori pressioni antropiche possono infatti deteriorare l'ambiente naturale, con gravi effetti negativi sui servizi ecosistemici come la disponibilità di risorse idriche (Beniston, 2003). Una diminuzione nella disponibilità di risorse idriche avrebbe grandi ripercussioni su tutti i settori che fanno affidamento sull'acqua tra cui l'agricoltura, la produzione idroelettrica, la fornitura acqua potabile e il turismo (Hohenwallner, 2011). Le problematiche relative alle risorse idriche possono far aumentare il rischio di conflitti non solo tra gli utenti della regione alpina (in particolare per le Alpi meridionali) ma anche tra questi e gli utenti al di fuori delle Alpi dove si prevede che i fenomeni di siccità saranno sempre più frequenti. Sul versante italiano dal 1960 il fiume Po ha subito un aumento di temperatura media annua dell'acqua di 2°C e si prevede che entro la fine del secolo possa aumentare ancora di 3-4°C, mentre sul versante francese il fiume Rhône ha ormai diminuito le sue portate medie annue a causa della riduzione dei ghiacciai (EEA, 2009).

Dal punto di vista dei sistemi insediativi, le maggiori permanenze dei turisti o l'arrivo di nuovi abitanti stagionali in fuga dalle isole di calore delle aree urbane della pianura potrebbe comportare una nuova ondata di consumo di suolo dovuto al fenomeno delle seconde case, specialmente nelle aree montane più vicine ai grandi centri città, dove già tra anni '80 e '90 si è assistito alla nascita di aree residenziali destinate all'uso temporaneo e vacanziero del turismo invernale. Anche alcune tipologie di attività economiche potrebbero considerare lo spostamento o apertura nelle località montane, generando un

aumento della produzione di CO₂. Oltre agli impatti negativi già evidenziati in precedenza rispetto ad un maggiore carico antropico, va tenuto conto che un ampliamento dell'abitato può generare anche nuove isole di calore con impatti sul consumo di elettricità del settore edilizio. Potrebbe infatti generarsi un aumento della domanda di energia necessaria per raffreddare gli edifici in estate e una diminuzione dell'energia necessaria per riscaldare in inverno (Santamouris, Cartalis, Synnefa, & Kolokotsa, 2015; Spinoni et al., 2017). Questo avrà ripercussioni anche sul settore delle costruzioni in ambito alpino, che dovrà raggiungere obiettivi sempre più alti di efficienza energetica. Sarà infatti richiesto un cambiamento al comportamento termico degli edifici con una maggiore attenzione verso gli sbalzi di temperatura (eventi con temperature estreme) e le problematiche del raffrescamento nella stagione estiva.

In ultimo l'aumento della frequenza di periodi di siccità, le alte temperature e la bassa umidità porteranno anche a un aumento del rischio incendi con una minaccia sempre maggiore per i centri abitati, come già registrato sul versante italiano occidentale nell'ottobre del 2017 (Val di Susa, Valle Orco, Val Noce, Val Chisone e Val Germanasca le aree più colpite). Oggi, la scarsa attenzione alla prevenzione attraverso la realizzazione e manutenzione di fasce tagliafuoco, la pulizia dei sottoboschi, delle fasce laterali delle strade e delle linee di comunicazione aumenta l'esposizione di questi territori agli incendi boschivi.

7. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SUL TURISMO

7.1. INTRODUZIONE

La letteratura scientifica sulla relazione tra cambiamento climatico e turismo è stata piuttosto limitata fino ai primi anni Duemila, per poi crescere molto rapidamente, al punto da essere oggi riconosciuta come un dibattito disciplinare a sé (Becken, 2013). Persistono tuttavia alcuni nodi teorici e metodologici critici nella conoscenza sia degli impatti del cambiamento climatico sul turismo e alle strategie di adattamento da parte di quest'ultimo, sia del contributo che il settore del turismo dà al cambiamento climatico (Hall, 2008).

Alcuni studi hanno provato a stimare, tramite simulazioni modellistiche, come potrebbero cambiare i flussi turistici, a seguito del cambiamento climatico, sia a livello globale (si vedano, per esempio, Hamilton, Maddison, & Tol, 2005, e Lise & Tol, 2002), sia più specificatamente all'interno dell'Europa (Amelung & Moreno, 2012; Amelung & Viner, 2006). Essi si basano sull'uso del cosiddetto *Tourism Climatic Index* (TCI), introdotto per la prima volta da Mieczkowski (1985), che misura il comfort climatico di una certa area come fattore di attrazione dei turisti sulla base di indici relativi a temperature, umidità, precipitazioni, ore di luce e vento. Gli scenari che descrivono come cambierà il TCI in Europa dal 2005 al 2080 a seguito del cambiamento climatico mostrano che l'impatto complessivo a livello continentale potrebbe anche essere positivo, con un incremento delle presenze, che però si ripartirà in modo non omogeneo tra i vari paesi. In particolare, guadagnerebbero turisti i paesi del nord Europa come Gran Bretagna, Germania, Paesi Bassi e paesi scandinavi, a discapito di quelli del sud Europa come Spagna, Italia e Grecia. Altri paesi che potrebbero vedere incrementare le presenze sono quelli che hanno quote altitudinali mediamente elevate, come l'Austria, perché, pur conoscendo incrementi di temperatura significativi, continueranno a mostrare in TCI relativamente migliore che non le aree di bassa quota (Amelung & Moreno, 2012). Occorre però tenere conto che il TCI non differenzia valori stagionali, quindi non permette di disaggregare l'effetto del cambiamento climatico tra inverno ed estate; questa differenza è però sostanziale nel caso del turismo montano.

7.2. IL TURISMO NELLE ALPI

Il turismo costituisce una delle attività più rilevanti per le comunità alpine. Le Alpi sono visitate ogni anno da 60-80 milioni di turisti, un valore pari a 4 - 6 volte la popolazione locale. Il turismo vi genera un fatturato di circa 50 miliardi di euro all'anno e incide per il 10-12% sull'occupazione, anche se di fatto interessa solo il 10% delle comunità locali (Agrawala, 2007).

Le Alpi rappresentano la destinazione montana prevalente in Italia: vi si concentra oltre il 90% delle presenze turistiche in aree montane, per il 70-75% sulle Alpi orientali, per il 15-20% su quelle centrali e occidentali. La stagione invernale (dicembre-marzo) pesa per circa il 40% sul totale delle presenze turistiche nelle aree alpine (Machiavelli, 2011)

Anche in Francia le Alpi sono la prima destinazione montana per il turismo invernale. In Francia, vi si concentra il 77,5% delle presenze turistiche del Paese nella stagione invernale; di queste, il 37% in Savoia e il 32% in Alta Savoia (Abegg, Agrawala, Crick, & de Montfalcon, 2007).

Sulle Alpi sono localizzate 666 stazioni sciistiche⁴, di cui 228 in Austria, 164 in Svizzera, 148 in Francia, 87 in Italia (di cui 18 in Piemonte) e 39 in Germania (42 in Savoia e 37 in Alta Savoia) (Abegg et al., 2007).

7.3. LA RELAZIONE TRA TURISMO ALPINO INVERNALE E CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il turismo sulle Alpi è fortemente dipendente dalle condizioni climatiche e dalle risorse naturali, sia nel periodo invernale che in quello estivo. Per questo, studiare le dinamiche del cambiamento climatico – che nell’area alpina sono particolarmente significative – è indispensabile per poter capire quale evoluzione esso potrà determinare sul settore turistico nel medio e nel lungo periodo (Balbi, 2012).

Per quanto riguarda il turismo alpino invernale, il fattore chiave è rappresentato dalla neve, che costituisce il principale elemento di attrazione. Già alla fine degli anni '80, un calo delle nevicate (in particolare nelle stagioni dal 1987-88 al 1989-90) aveva fatto emergere la forte dipendenza dell’industria turistica invernale dalla presenza di neve. In Svizzera (Koenig & Abegg, 1997), il fatturato degli impianti di funivia era calato mediamente del 20% rispetto ad un inverno “normale” quale era stato quello dell’anno precedente. L’impatto era però risultato differenziato per altitudine: le stazioni sciistiche poste a quote maggiori avevano registrato risultati migliori che negli anni passati, perché avevano beneficiato dell’assenza di neve nella media e bassa montagna. Questi eventi portarono negli anni Novanta ad avviare, in Svizzera, studi sui potenziali effetti del cambiamento climatico sul turismo: le prime stime sui potenziali costi annuali del cambiamento climatico indicavano per il 2050 valori pari allo 0,6-0,8% del PIL del 1995 (Elsasser & Bürki, 2002). Un’indagine condotta a fine anni Novanta tra i turisti svizzeri aveva fatto emergere quanto il cambiamento climatico fosse già percepito tra i turisti invernali come un problema rilevante, e come l’affidabilità nella presenza di neve rappresentasse l’elemento chiave per i turisti: il 49% degli intervistati dichiarava che, di fronte alla prospettiva di 5 successivi inverni poco nevosi, si sarebbe spostato verso aree sciistiche che garantissero maggiore certezza di presenza di neve; il 32% avrebbe accettato di sciare di meno; il 4% avrebbe smesso di sciare (Behringer, Buerki, & Fuhrer, 2000). L’organizzazione di eventi ed altre attrazioni non era vista dagli sciatori come un fattore in grado di compensare la scarsità di neve (Elsasser & Messerli, 2001). Un’indagine più recente condotta in Austria (Unbehaun, Pröbstl, & Haider, 2008) conferma la centralità della neve per il turismo alpino invernale: la principale strategia di adattamento degli sciatori alla minore presenza di neve è viaggiare più a lungo per raggiungere stazioni sciistiche più alte; l’offerta di attività diversificate rispetto allo sci sembra destinata ad avere effetti limitati.

Alla luce della centralità del fattore neve, gli effetti del cambiamento climatico sul turismo alpino invernale sono strettamente correlati a come tale cambiamento inciderà sull’innnevamento. Da un lato, gli scenari sul cambiamento climatico sulle Alpi prevedono un aumento delle temperature medie, sia nel periodo estivo che in quello invernale. Dall’altro lato, sono previste maggiori precipitazioni nevose ad alta quota e piovose a bassa quota. Nel complesso, nella stagione invernale il primo effetto sarà prevalente sul secondo, ossia le maggiori nevicate non saranno sufficienti a compensare le più alte temperature: si registrerà così una riduzione dello strato nevoso, meno accentuata alle quote maggiori e più significativa a quelle minori, con una sua minore durata complessiva per l’arrivo più tardivo delle nevicate e la loro fine anticipata (Hantel & Hirtl-Wielke, 2007).

⁴ Le stazioni sciistiche conteggiate sono quelle che presentano almeno 3 infrastrutture per il trasporto degli sciatori (come skilift e seggiovie) e almeno 5 chilometri di piste aperte non soltanto nei fine settimana.

Uno dei criteri che identifica quanto una certa stazione sciistica sia “affidabile” per i turisti, ossia offra un’adeguata garanzia di presenza di neve, è la cosiddetta “regola dei cento giorni”, introdotta da Witmer (1984): essa definisce come “affidabile” un’area per sciatori che abbia una copertura nevosa di almeno 30-50 cm (a seconda della pendenza) per almeno 100 giorni in 7 inverni su 10 nel periodo che intercorre dal 1° dicembre al 15 aprile.

Attualmente, questa regola è rispettata ad altezze diverse nelle varie regioni alpine. In Austria, Svizzera e Germania è verificata oltre i 1.200 metri, o anche meno (1.050 m) in alcune regioni. Su tutte le Alpi italiane, è riscontrabile solo oltre i 1.500 metri. In Francia è rispettata oltre i 1.200 metri in alcune regioni come la Savoia e l’Alta Savoia, oltre i 1.500 metri in altre come le Alpi dell’Alta Provenza e quelle Marittime. Nel complesso, oggi il 91% delle 666 delle stazioni sciistiche alpine individuate da Abegg et al. (2007) rispettano questa regola: nella maggior parte delle Alpi, attualmente la stagione sciistica dura più di 120 giorni.

Gli effetti previsti del cambiamento climatico, in termini di incremento delle temperature e di variazione delle precipitazioni nevose, sembrano destinati a modificare significativamente questo scenario. In particolare, si stima che ogni aumento di 1°C della temperatura media annuale comporterà un innalzamento di 150 metri della linea oltre cui la regola dei 100 giorni è rispettata. Di conseguenza, diminuiranno le stazioni sciistiche che potranno essere considerata “affidabili” in termini di presenza di neve:

- con un aumento della temperatura di 1° C, le aree sciistiche affidabili saranno 500, ossia il 75% delle 666 attuali;
- con un aumento di 2°C, saranno 404, ossia il 61% di quelle attuali;
- con un aumento di 4°C, saranno 202, ossia il 30% di quelle attuali.

In termini regionali, la regione alpina tedesca sarà la più colpita da questo effetto: l’aumento di 1°C comporterà una riduzione del 60% delle aree sciistiche affidabili. La Svizzera viceversa sarà quella meno colpita: anche con un incremento di 2°C l’80% delle sue aree sciistiche resterà affidabile. Nel caso della Francia, l’impatto sarà più elevato che quello medio sull’arco alpino, con una riduzione delle 143 stazioni sciistiche attualmente affidabili del 14% per 1°C, del 33% per 2°C e del 62% per 4°C. In particolare, nel caso della Savoia, la riduzione sarebbe più limitata: -5% per 1°C, -10% per 2°C, -29% per 4°C; ben più elevata per l’Alta Savoia: -23% per 1°C, -49% per 2°C, -80% per 4°C. L’Italia si trova invece in condizioni leggermente migliori della media, almeno per i decenni più prossimi, con una riduzione prevista di aree sciistiche affidabili pari al 12% delle 81 attuali per 1°C, del 27% per 2°C e del 74% per 4°C. In questo contesto nazionale, il Piemonte subirebbe impatti più limitati: -11% per 1°C, -17% per 2°C, -72% per 4°C.

Quanto alle tempistiche su cui questi scenari si potrebbero concretizzare, Abegg et al. (2007) ipotizzano il 2050 per l’aumento di 2°C rispetto al 2010, e il 2100 per un incremento di 4°C. Gobiet et al. (2014), nella loro rassegna sulle simulazioni condotte con modelli climatici regionali sulle Alpi, giungono ad uno scenario non molto diverso, anche se appena più attenuato: +1,5°C a metà secolo, +3,3°C a fine XIX secolo.

Il risultato di questo scenario potrebbe essere una dinamica selettiva di “vincitori e vinti”, con una concentrazione dei turisti invernali sulle stazioni sciistiche poste alle quote più elevate e dotate degli impianti di dimensioni maggiori, ossia quelle in grado di assicurare una maggiore affidabilità di presenza di neve e di sostenere gli investimenti necessari per favorire tale affidabilità, tipicamente attraverso

l'innervamento artificiale. Rischierebbero invece di risultare finanziariamente non più sostenibili le stazioni poste a bassa quota o quelle, pur poste a quote medio-alte, che per le loro dimensioni limitate non sono in grado di sostenere gli investimenti necessari per mettere in campo misure di adattamento climatico. Il rischio di questa evoluzione potrebbe però essere complessivamente negativo, sul lungo periodo, anche per i "vincitori": le stazioni a bassa quota sono infatti frequentate soprattutto dagli sciatori principianti e da quelli occasionali, e una loro chiusura rischia di determinare il mancato avvio alla pratica sciistica – se non in termini percentuali molto limitati – di nuove leve di sciatori (Elsasser & Messerli, 2001).

La strategia di adattamento al cambiamento climatico più diffusa sull'arco alpino è il ricorso all'innervamento artificiale (Wolfsegger, Gössling, & Scott, 2008): già oggi, in alcune aree delle Alpi italiane esso può essere assicurato sul 100% delle piste (Rixen et al., 2011). Questa strategia presenta però riconosciuti limiti fisici ed economici. In primo luogo, a causa dell'innalzamento delle temperature l'innervamento artificiale rischia di non essere praticabile alla fine dell'autunno / inizio dell'inverno, proprio quando si dovrebbe creare lo strato nevoso di base delle piste (Steiger & Mayer, 2008). Secondo Steiger (2010), l'innervamento artificiale è una strategia di adattamento che difficilmente potrà essere efficace oltre la metà del XIX secolo. A titolo d'esempio, al 2080, per assicurare il rispetto della regola dei 100 giorni nella regione austriaca del Tirolo sarebbe necessaria una produzione di neve artificiale pari al 330% di quella attuale, con costi insostenibili. Ancor più che il consumo energetico, il maggior impatto negativo dell'innervamento artificiale è legato al consumo di acqua (Rixen et al., 2011): occorrono 70-120 litri d'acqua per assicurare una copertura di 20-35 cm di neve su un metro quadrato; se si dovessero coprire di neve artificiale tutte le piste da sci alpine attualmente dotate di impianti di questo tipo si avrebbe ogni anno un consumo idrico pari a quello annuale di una città di 1,5 milioni di abitanti (Abegg et al. 2007). Inoltre, l'innervamento artificiale sembra poter avere impatti sulla fauna e sulla biodiversità (Wipf, Rixen, Fischer, Schmid, & Stoeckli, 2005). Infine, rischia di accentuare l'effetto di selezione tra le stazioni sciistiche: solo gli impianti di dimensioni maggiori possono permettersi impianti per l'innervamento artificiale; di conseguenza, quelle minori e quelle poste a quote più basse rischiano di soccombere; al tempo stesso, anche per le stazioni principali i costi di un uso intensificato degli impianti di innervamento artificiale rischia di innescare un circolo perverso tra aumento dei costi operativi, ricarico sui turisti e quindi declino delle loro presenze (Unbehaun, Pröbstl, & Haider, 2008).

Anche altre strategie di adattamento possono presentare rischi di inefficacia o comportare impatti significativi in termini ecosistemici. Le pratiche di modifica dei pendii, volte a ottenere maggiori pendenze per ridurre lo spessore dello strato nevoso necessario per sciare, possono comportare danni significativi alla flora e deturpazioni del paesaggio, con ricadute negative sul turismo estivo. Lo spostamento dell'attività sciistica sempre più in alto e con affaccio a nord comporta un maggior rischio di incorrere in valanghe e forte vento, oltre a richiedere di sciare senza un'adeguata esposizione al sole; inoltre, introduce pressioni antropiche significative su ambienti che, proprio per la loro altitudine, sono particolarmente fragili dal punto di vista ecosistemico (Abegg et al. 2007).

7.4. LA RELAZIONE TRA TURISMO ALPINO ESTIVO E CAMBIAMENTO CLIMATICO

Per quanto riguarda il turismo estivo, l'impatto del cambiamento climatico potrebbe essere per certi versi vantaggioso per i territori alpini, perché potrebbe accrescerne l'attrattività in termini relativi: l'innalzamento delle temperature nelle aree di pianura, legato soprattutto all'effetto "isola di calore", potrebbe favorire un maggiore afflusso di persone dalle aree urbane nei mesi estivi.

Ad esempio, Serquet & Rebetez (2011) hanno analizzato la relazione tra andamento della temperatura a bassa quota e numero di presenze in 40 stazioni alpine svizzere: ne è emersa una correlazione significativa, evidente soprattutto nel mese di giugno (quando le presenze in montagna sono di solito più occasionali rispetto a luglio e agosto) e per le stazioni poste più vicine alle città. In altre parole, il surriscaldamento delle aree urbane a più bassa quota potrebbe incrementare il numero di turisti che in estate (non solo nei mesi vacanzieri, ma anche in particolare a inizio estate) “fuggono” dalle città nel fine settimana per cercare refrigerio in aree alpine. In questo senso, il cambiamento climatico potrebbe favorire le aree di mezza montagna, ancor più che quelle di alta montagna.

Un'altra opportunità connessa al cambiamento climatico per il turismo estivo nelle aree di media montagna potrebbe derivare dalla sinergia con l'agricoltura. Il rischio di un minor numero di presenze turistiche invernali potrebbe infatti incidere negativamente sul fatturato delle aziende agricole locali; queste potrebbero allora essere indotte, per reazione, a potenziare la loro attività agricola grazie anche alla maggior disponibilità di terra coltivabile (e su più lunghi periodi) derivante proprio dal cambiamento climatico: l'offerta di prodotti agricoli tipici locali potrebbe essere un'ulteriore fattore di attrattività per i turisti estivi (Behringer, Buerki, & Fuhrer, 2000).

Per altri versi, il cambiamento climatico potrebbe agire negativamente sull'attrattività delle aree alpine, non tanto direttamente in relazione all'innalzamento delle temperature, quanto piuttosto per i suoi effetti sulla disponibilità di risorse d'acqua e sulla maggiore frequenza ed entità di calamità naturali. In particolare, uno dei richiami delle aree montane nella stagione estiva potrebbe diventare sempre più la possibilità di svolgere attività nei corsi d'acqua: torrentismo, rafting, kayaking, canyoning ecc. Queste attività dipendono però molto dal regime idrico dei torrenti alpini, che potrebbe in futuro ridursi significativamente a causa delle minori precipitazioni (anche se resta da capire quanto tale calo potrebbe essere compensato dal più intenso scioglimento dei ghiacciai). Inoltre, un incremento del numero di presenze turistiche nella stagione estiva potrebbe accrescere la pressione in termini di domanda di acqua potabile, andando ad incidere ancora più negativamente sulle risorse disponibili (Hohenwallner, 2011).

Altre attività tipiche del turismo montano, legate alla fruizione delle risorse naturali e del paesaggio, come il trekking, l'arrampicata, il mountain biking ecc., potrebbero invece essere messe a repentaglio dall'aumento di rischi naturali, quali cadute di massi e ghiaccio per lo scioglimento dei ghiacciai, smottamenti e colate di fango dovuti all'aumentata incidenza delle precipitazioni estreme, ecc. (Urbanc & Pipan, eds., 2011). Tali rischi possono inoltre incidere sulla fruibilità delle infrastrutture che garantiscono l'accessibilità alle aree montane per i turisti (Pütz et al., 2011).

Nel complesso, comunque, la possibile crescita del turismo estivo difficilmente sarà in grado di compensare la probabile diminuzione delle presenze invernali legate agli sport invernali. Un indizio in tal senso viene dallo studio di Müller & Weber (2008), che hanno provato a simulare la riduzione del fatturato nel settore del turismo dovuto agli impatti del cambiamento climatico nell'Oberland Bernese. Nonostante si tratti di una regione caratterizzata dalla presenza di numerose stazioni sciistiche poste a quote elevate, dunque meno soggette agli effetti negativi del cambiamento climatico, secondo questo studio al 2030 il fatturato dovrebbe registrare una contrazione, rispetto al 2006, del 30% nella stagione invernale. La crescita del fatturato stimata per la stagione estiva, pari a +7%, non sarebbe sufficiente a compensare la perdita invernale: nel complesso, il fatturato annuale si ridurrebbe del 7%. Secondo le previsioni degli autori, l'adozione di misure di adattamento al cambiamento climatico permetterebbe di contenere queste perdite, senza però eliminarle del tutto: il fatturato invernale si ridurrebbe del 22%, quello annuale complessivo del 4%.

8. GLI IMPATTI INTERSETTORIALI E I SERVIZI ECOSISTEMICI

8.1. LA MATRICE INTERSETTORIALE DEGLI IMPATTI

Come emerge dalla rassegna condotta nei precedenti capitoli, una parte degli impatti che il cambiamento climatico ha sui vari settori non restano limitati a tali settori, ma finiscono per propagarsi da un settore all'altro, generando degli impatti "intersettoriali".

Un ruolo importante in questa intersettorialità è giocato in particolare dai rischi naturali, che impattano tanto sull'ambiente naturale che su quello antropico, e finiscono per coinvolgere tutti i settori.

	Rischi naturali	Biodiversità	Foreste	Agricoltura	Turismo	Sistema insediativo
Rischi naturali		Scomparsa specie più sensibili.	Maggiore mortalità forestale causa eventi estremi.	Maggiori danni alle colture.	Aumento danni agli impianti. Maggiore vulnerabilità dei fruttori	Aumento dei danni a cose e persone. Aumento dei costi di manutenzione. Diminuzione accessibilità.
Biodiversità			Danni alle foreste per aumento fitopatologie	Aumento fitopatologie. Aumento popolazione di animali selvatici in interazione con agricoltura e allevamento. Peggioramento condizioni di lavoro dei margari.	Aumento parassiti e possibilità di trasmissione di malattie	Maggiore presenza di animali selvatici nei centri abitati
Foreste	Instabilità dei terreni. Riduzione deflusso superficiale. Aumento tempi di corruzione.	L'aumento degli incendi può minacciare alcune specie animali e vegetali.	-	Allargamento dei boschi di invasione a scapito dei terreni agricoli (soprattutto a bassa redditività).	Minaccia agli impianti. Maggiore vulnerabilità dei fruttori.	Aumento rischio incendi per centri e abitazioni sparse. Aumento vulnerabilità infrastrutture. Peggioramento qualità dell'aria per aumento incendi (aumento CO ₂).
Agricoltura	Abbandono terreni a bassa produttività	Nuove coltivazioni di specie alloctone resistenti alle nuove condizioni climatiche a danno di quelle autoctone.			Minore disponibilità di produzioni locali.	Minore disponibilità di produzioni locali. Perdita redditività e posti di lavoro.
Turismo	La modifica dei pendii per carenza neve aumenta il rischio di dissesto.	Asfissia dei manti vegetali dei terreni soggetti a innevamento artificiale e conseguente ritardo dell'attività vegetativa.		La diminuzione del turismo invernale fa diminuire la domanda di alcune produzioni locali. All'aumento del turismo estivo può non corrispondere una capacità dei produttori locali di fornire beni.		Aumento abitanti stagionali con conseguente consumo di suolo (a causa del possibile aumento delle seconde case) e aumento dei consumi idrici e elettrici
Sistema insediativo	Abbandono dei territori montani.	Aumento di opere di ingegneria idraulica a scapito degli ambienti naturali.	Il minore bisogno di riscaldamento può comportare perdita di redditività per l'economia forestale.	In bassa e media valle le condizioni climatiche più miti possono incentivare l'allargamento dei sistemi insediativi a scapito dei terreni agricoli.		

Tabella 8.1. La matrice degli impatti intersettoriali

Un ruolo altrettanto importante è svolto dalla risorsa acqua: molte dinamiche di cambiamento climatico possono comportare da un lato una riduzione delle risorse idriche disponibili, dall'altro un incremento del loro consumo. Questo meccanismo può determinare forme di conflittualità e concorrenza tra i vari settori nell'accesso a tale risorsa preziosa e nel suo utilizzo.

Nella tabella 8.1 gli impatti intersettoriali emersi dalle analisi dei precedenti capitoli vengono sintetizzati in una matrice quadrata a due entrate: sulle righe sono riportati i settori che determinano gli impatti sui settori in colonna. Ogni casella riassume dunque i principali impatti del cambiamento climatico che dal settore in riga vanno a riverberarsi sul settore in colonna.

8.2. SERVIZI ECOSISTEMICI

Per lo studio degli effetti intersettoriali degli impatti dovuti ai cambiamenti climatici si è convenuto di procedere alla valutazione economica dei servizi ecosistemici (SE).

Ai fini del progetto ARTACLIM la valutazione economica dei SE presenta due indiscutibili vantaggi:

- permette di prendere contemporaneamente in considerazione le interferenze esercitate dai cambiamenti climatici su tutti i settori di attività e le componenti ambientali assunti come recettori di impatto (turismo, ambiente costruito, rischi naturali, biodiversità, agricoltura, foreste);
- permette di esprimere in valori monetari (euro) il valore attuale dei SE (baseline) e quello che potrebbe venirsi a determinare a seguito dell'affermarsi dei cambiamenti climatici nei diversi scenari rendendo in tal modo più agevoli le attività di comunicazione e divulgazione;

8.2.1. METODOLOGIA

Per la determinazione della *baseline* si è fatto riferimento ai dati emergenti da uno studio pubblicato nel 2012 e che giungeva a formulare una stima del valore economico dei SE prodotti a livello provinciale (Scolozzi, Morri, & Santolini, 2012).

La metodologia adottata dallo studio si basa su tre passaggi:

- esame della letteratura economica per definire un mercato surrogato, per esempio una raccolta del valore monetario dei servizi ecosistemici forniti da ciascuna copertura del suolo (LC);
- consultazione di esperti, attraverso la costituzione di focus group e l'applicazione del metodo Delphi, per stimare il peso da attribuire alle diverse coperture del suolo che forniscono servizi ecosistemici anche prendendo in considerazione alcune caratteristiche spaziali quali l'altitudine e la distanza dalle aree urbane;
- stima del valore dei servizi ecosistemici e loro riferimento spaziale a partire dalla elaborazione dei dati di uso del suolo e l'aggregazione di tali valori per ogni provincia del territorio nazionale; calcolo dei cambiamenti intercorsi in tale periodo.

La valutazione si basa dunque sul metodo del *benefit transfer* (es. Costanza et al., 2006), in cui il valore dei servizi ecosistemici per ogni poligono di uso del suolo viene calcolato con la seguente equazione:

$$VSE_{i,k} = A_k \cdot w_i(\text{LC, elevation, dist}) \cdot v_i(\text{LC})$$

dove:

$VSE_{i,k}$: valore (€/anno) del i-ES del k-poligono di uno specifico uso suolo

A_k : area del k-poligono (ha)

w_i : coefficiente [0,1] determinato per ciascun SE e per ogni specifica LC considerando le variabili di contesto (altitudine e distanza dalle aree urbane). Per i disturbi generati dalle aree urbane, sono state prese in considerazione solo le aree con superficie superiore ai 100 ha.

v_i : valore monetario dei-SE per un definito LC (€/ha)

In particolare, con il fattore w_i si intende la capacità potenziale di una determinata LC di offrire uno specifico SE. L'intervallo di valori è compreso tra un livello trascurabile (0) ad un livello di piene capacità (1).

Lo studio in esame prende in considerazione 10 servizi ecosistemici, di seguito descritti:

- Climate and atmospheric gas regulation: ruolo dei processi biotici e abiotici nel mantenere il ciclo chimico e climatico in atmosfera (es. bilancio CO₂/O₂, strato dell'ozono, SO_x, livelli di regolazione...)
- Disturbance prevention: funzione buffer e protezione dai disturbi (es. protezione dalle tempeste, controllo delle inondazioni, erosione, ecc.)
- Freshwater regulation and supply: regolazione del deflusso e della portata del fiume, ricarica dell'acqua, costi evitati per la purificazione dell'acqua, fornitura di acqua (es. potabile, per irrigazione e uso industriale)
- Waste assimilation: funzione buffer e riduzione dei rifiuti derivanti da attività umane (es. patogeni come Escherichia coli) e nutrienti come azoto, potassio, filtraggio di particelle di polvere, composti tossici dell'aria
- Nutrient regulation: riciclaggio di nutrienti rimossi da piante (agricoltura) e animali.
- Habitat refugium: messa a disposizione di siti adeguati per rifugio, alimentazione, riproduzione, nidificazione e sviluppo di specie animali e vegetali utili (direttamente e indirettamente) al benessere umano
- Recreation: messa a disposizione di aree per attività ricreative (caccia, pesca, canottaggio, ciclismo..) che forniscono benefici diretti (spese per l'esercizio delle attività), ma anche benefici indiretti (es. salute della popolazione)
- Aesthetic and amenity: per le funzioni estetiche e spirituali, il valore è riferito al non uso, alla disponibilità a pagare per il mantenimento della qualità e dell'integrità del sito
- Soil retention and formation: il suolo svolge diverse funzioni: filtraggio e stoccaggio dell'acqua, decomposizione di rifiuti organici. I sistemi naturali creano e arricchiscono il suolo e prevengono l'erosione durante le piogge.
- Pollination: l'impollinazione da animali impollinatori riveste un grande valore per le attività umane, es. l'80% delle piante commestibili dipendono dagli impollinatori.

Per quanto riguarda i dati spaziali, lo studio citato utilizza i dati della cartografia CORINE Land Cover (CLC), terzo livello del 1990 e del 2000.

Per la stima del valore economico dei potenziali SE, le classi del CLC terzo livello sono state aggregate in 6 macrocategorie di uso suolo, coerenti con i dati disponibili in letteratura in riferimento al "mercato surrogato", secondo tale schema:

- Verde urbano
 - Aree verdi urbane (141)
 - Aree ricreative e sportive (142)
- Aree agricole
 - Terreni arabili in aree non irrigue (211)
 - Seminativi in aree irrigue (212)
 - Risaie (213)
 - Vigneti (221)
 - Frutteti (222)
 - Colture annuali associate a colture permanenti (241)
 - Sistemi colturali e particellari complessi (242)
 - Prati stabili (231)
- Pascoli
 - Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti (243)
 - Aree a pascolo naturale e praterie d’alta quota (321)
 - Brughiere e cespuglieti (322)
- Foreste
 - Aree a vegetazione scerofilla (323)
 - Vegetazione in evoluzione (324)
 - Aree agro-forestali (244)
 - Boschi di latifoglie (311)
 - Boschi di conifere (312)
 - Boschi misti di conifere e latifoglie (313)
- Aree umide
 - Paludi interne (411)
 - Torbiere (412)
- Acque
 - Corsi d’acqua (511)
 - Bacini d’acqua (512)

Dall’esame della letteratura economica, grazie al metodo del mercato surrogato, sono stati collezionati dei valori monetari per SE fornito da ogni copertura del suolo (LC), espressi in euro per ettaro di uso suolo.

Di seguito si riporta la tabella 8.2 con il valore monetario (€/ha per anno) dei servizi ecosistemici per ogni classe di uso suolo.

Le celle vuote indicano che, all’epoca dello studio, non risultavano disponibili, nella vasta letteratura esaminata, valori economici consolidati relativi a quegli specifici SE quando espressi da quei particolari usi del suolo.

SE	Valore dei servizi ecosistemici (€/ha anno)					
	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque
Climate and atmospheric gas regulation	23,00	7,50	124,00	623,30	232,00	-
Disturbance prevention	-	-	163,00	-	6.346,00	-
Freshwater regulation and supply	58,00	3,00	3.988,00	10,00	4.047,50	640,00
Waste assimilation	-	76,00	76,00	-	1.454,00	583,00
Nutrient regulation	145,00	-	317,00	-	212,00	-
Habitat refugium and biodiversity	1.548,00	-	629,33	-	80,37	-
Recreation	27,90	2,00	107,46	4.609,00	1.310,00	685,00
Aesthetic and amenity	31,45	1,00	1,51	-	3.484,00	129,00
Soil retention and formation	3,97	5,00	9,05	-	-	1.067,00
Pollination	30,62	24,00	301,66	-	-	-

Tabella 8.2. Valori monetari dei se per ogni classe di uso suolo (Scolozzi et al., 2012)

8.2.2. DETERMINAZIONE DELLA BASELINE PER LA VALUTAZIONE DEI SE NELL'AREA PINEROLESE

Nell'ambito del progetto ARTACLIM, per poter valutare gli effetti intersettoriali degli impatti generati dai cambiamenti climatici, è stata replicata tale metodologia sul territorio del caso studio italiano della Zona omogenea del Pinerolese (costituita da 45 comuni). In questo modo è possibile esprimere una valutazione economica sia dei servizi ecosistemici allo stato attuale sia della loro variazione a seguito degli impatti generati dai cambiamenti climatici.

Per la valutazione della *baseline* dei SE, si è sperimentato l'utilizzo di dati provenienti da diverse fonti, in modo da poter confrontare i risultati finali.

In particolare, per l'analisi dell'uso del suolo, che sta alla base della metodologia proposta dallo studio citato, si sono utilizzati i dati derivanti da:

- Corine Land Cover Nazionale del 2000 (CLC 2000)⁵, con dettaglio al terzo livello;
- Corine Land Cover Nazionale del 2012 (CLC 2012)⁶, con dettaglio al terzo livello;
- Corine Land Cover Piemonte del 2010 (CLP 2010)⁷, con dettaglio al terzo livello;
- Piani Forestali Territoriali del 2000 (PFT 2000)⁸, a seguito di costituzione di corrispondenze tra categorie di uso suolo e classi del CLC.

⁵ Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/corine-land-cover>

⁶ Fonte: <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/corine-land-cover>

⁷ Fonte: <http://www.geoportale.piemonte.it/cms/>

⁸ Fonte: Sistema Informativo Forestale Regionale (SIFOR). I Piani Forestali Territoriali si ritengono convenzionalmente aggiornati all'anno 2000

Di seguito in tabella 8.3 si riportano le categorie di uso del suolo presenti nell'Area Omogenea del Pinerolese, aggregate per macrocategorie.

Macrocategoria	CLC 2000 (ha)	CLC 2012 (ha)	PFT 2000 (ha)	CLP 2010 (ha)
Acque	655,41	488,97	780,06	1.593,77
Aree agricole	32.517,50	32.612,86	30.915,12	31.835,89
Foreste	56.866,72	58.505,86	56.341,42	44.847,45
Pascoli	24.579,82	28.401,09	29.003,10	37.278,53
Verde urbano	-	-	171,78	1.239,85
Altre coperture	15.604,39	10.215,05	13.256,63	13.395,35
Totale complessivo	130.223,83	130.223,83	130.468,11	130.190,83

Tabella 8.3. Categorie di uso del suolo presenti nella Zona omogenea del Pinerolese

Considerando che la Zona omogenea del Pinerolese ha un'estensione pari a 130.223,83 ha, dalla tabella sopra riportata risulta subito evidente come la superficie totale degli usi del suolo proveniente dai PFT 2000 e dal CLP 2010, si discosti dalla superficie totale dell'area.

Tale differenza è dovuta alla non perfetta sovrapposizione tra i confini dei poligoni degli usi del suolo dei PFT 2000 e del CLP 2010 e i limiti amministrativi⁹ dei comuni facenti parte dell'area del Pinerolese.

Inoltre si sottolinea come nel CLC Nazionale, l'uso suolo "verde urbano" non risulti presente, a causa della scala di minor dettaglio rispetto ai PFT 2000 e al CLP 2010.

Come si è detto a commento della metodologia assunta a riferimento, alcuni SE assumono diversa rilevanza in funzione della diversa fascia altitudinale o della distanza dai centri urbani a cui si trova la LC che li genera.

Per poter valutare il diverso peso dei SE in relazione a tali variabili, si è proceduto all'elaborazione, in ambiente G.I.S., delle fasce altimetriche a partire da Digital Terrain Model (DTM)¹⁰.

Inoltre è stato generato un buffer di distanza dai centri abitati, prendendo in considerazione i soli centri abitati di estensione superiore ai 100 ha prendendo in considerazione la superficie dell'edificato continuo rappresentato nelle Carte Tecniche Regionali (C.T.R.).

Infine, grazie all'utilizzo dei *tools* di G.I.S., i dati relativi alle fasce altimetriche e i buffer di distanza dai centri abitati sono stati abbinati a ciascun poligono di LC. In particolare, in base alla metodologia di Scolozzi et al., i SE la cui rilevanza dipende dalla distanza dai centri abitati di estensione superiore ai 100 ha sono:

- *Habitat refugium and biodiversity*
- *Disturbance prevention*
- *Waste assimilation*
- *Recreation*
- *Pollination*

⁹ Fonte: <http://www.geoportale.piemonte.it/cms>

¹⁰ Fonte: <http://www.geoportale.piemonte.it/cms/>

Il solo SE “*Climate and atmospheric gas regulation*” dipende dalla fascia altimetrica a cui si trova la LC che lo genera.

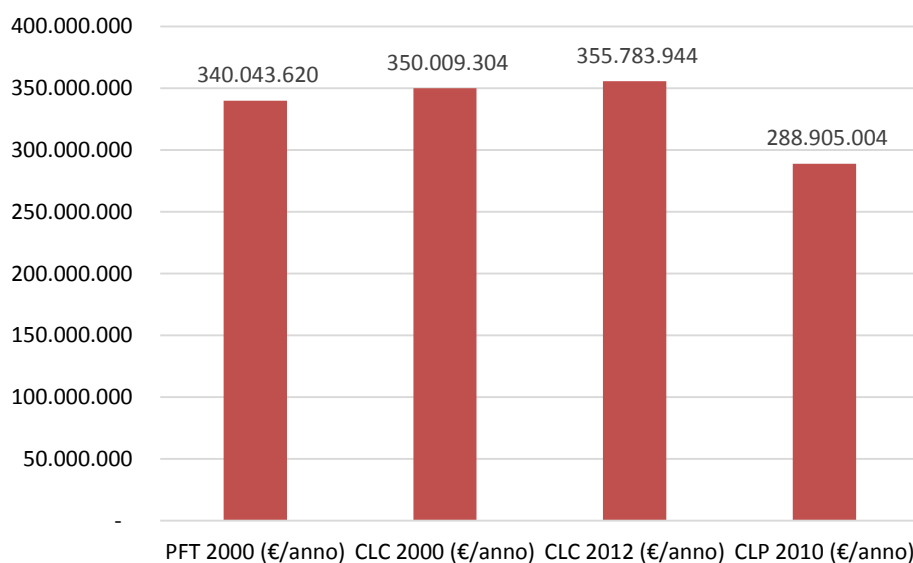
I restanti SE non risultano influenzati né dalla fascia altimetrica né dalla distanza dai centri abitati.

Applicando i valori monetari¹¹ e i fattori w_i ¹² ai diversi poligoni di uso suolo, si ottengono i seguenti valori complessivi per i servizi ecosistemici offerti dalla Zona omogenea del Pinerolese:

Servizi ecosistemici	PFT 2000 (€/anno)	CLC 2000 (€/anno)	CLC 2012 (€/anno)	CLP 2010 (€/anno)
Climate and atmospheric gas regulation	6.614.926,06	6.637.115,41	6.759.072,10	6.266.795,33
Disturbance prevention	7.640.301,09	7.682.097,94	7.759.927,93	6.149.965,93
Freshwater regulation and supply	220.548.500,30	222.651.324,97	225.896.925,22	177.282.379,95
Waste assimilation	5.030.048,59	4.777.183,27	4.897.102,82	5.151.020,31
Nutrient regulation	21.122.799,75	21.760.855,84	22.400.161,79	17.907.513,28
Habitat refugium	52.286.003,03	60.193.223,38	61.382.225,55	48.653.890,26
Recreation	6.623.179,48	5.991.964,45	5.944.063,20	9.715.954,71
Aesthetic and amenity	635.474,64	761.084,82	738.076,59	744.247,17
Soil retention and formation	1.607.557,04	1.463.705,38	1.320.761,80	2.414.895,97
Pollination	17.934.830,29	18.090.748,95	18.685.626,78	14.618.341,37
Totale (€/anno)	340.043.620	350.009.304	355.783.944	288.905.004

Il valore complessivo dei SE offerti dall’Area omogenea del Pinerolese risulta dunque compreso tra i 288.905.004 €/anno (CLP 2010) e i 355.783.944 €/anno (CLC 2012) a seconda della fonte dei dati utilizzata per il calcolo.

Valore dei servizi ecosistemici (€/anno)



¹¹ Vedi tabella 8.2- Valori monetari dei SE per ogni classe di uso suolo (Scolozzi et al., 2012)

¹² Per fattore w_i si intende il potenziale di un determinato LC di offrire uno specifico SE, variabile da un livello trascurabile (0) ad una piena capacità(1), tenendo in considerazione le variabili di contesto (altitudine e distanza dalle aree urbane).

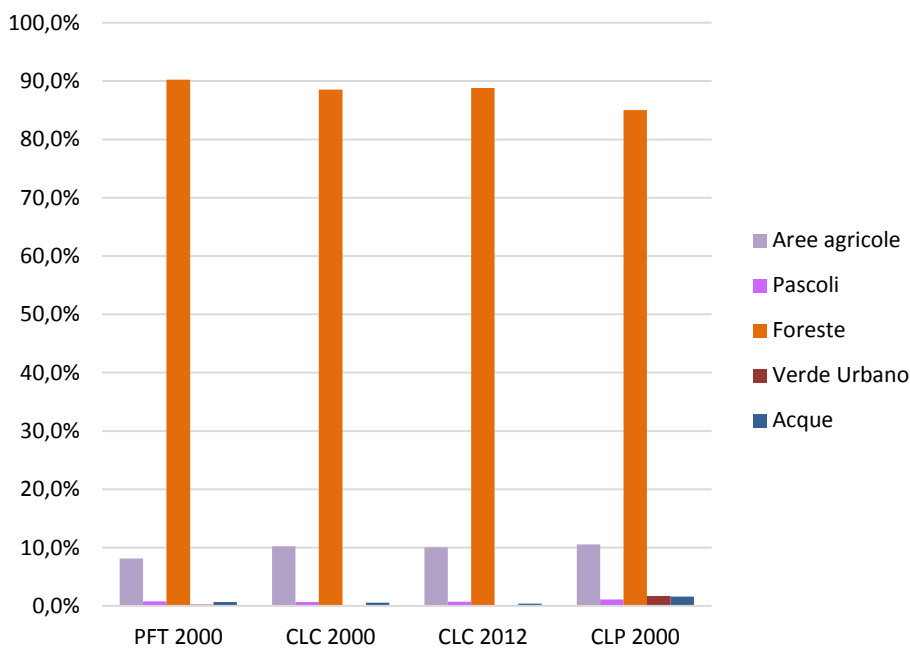
Valutando l'incidenza dei singoli servizi ecosistemici sul valore totale, si ha la seguente situazione:

Servizi ecosistemici	PFT 2000	CLC 2000	CLC 2012	CLP 2010
Climate and atmospheric gas regulation	1,9%	1,9%	1,9%	2,2%
Disturbance prevention	2,2%	2,2%	2,2%	2,1%
Freshwater regulation and supply	64,9%	63,6%	63,5%	61,4%
Waste assimilation	1,5%	1,4%	1,4%	1,8%
Nutrient regulation	6,2%	6,2%	6,3%	6,2%
Habitat refugium	15,4%	17,2%	17,3%	16,8%
Recreation	1,9%	1,7%	1,7%	3,4%
Aesthetic and amenity	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%
Soil retention and formation	0,5%	0,4%	0,4%	0,8%
Pollination	5,3%	5,2%	5,3%	5,1%

da cui si evince che, indipendentemente dalla fonte dei dati utilizzata, il SE "Freshwater regulation and supply" risulta quello di maggiore rilevanza.

Infine, esaminando la rilevanza dei singoli ecosistemi nel fornire SE, risulta che il peso maggiore (circa il 90%) è a carico dell'ecosistema foreste, come evidenziato nel grafico di seguito riportato

Rilevanza dell'ecosistema



8.2.3. ANALISI DELLA METODOLOGIA APPLICATA PER LA VALUTAZIONE DEI SE

Dall'analisi della metodologia applicata per la valutazione dei SE emergono alcune criticità:

1. Non viene preso in esame alcun SE di approvvigionamento;
2. I SE forniti dai pascoli vengono sottostimati, in quanto vengono attribuiti valori monetari per unità di superficie molto modesti, in particolare in relazione al SE "Recreation";
3. L'analisi delle coperture del suolo con il CLC Nazionale risulta di insufficiente dettaglio su scala locale, come nel caso dell'Area omogenea del Pinerolese. Infatti, dall'analisi del CLC, risultano decisamente sottostimati gli ecosistemi legati alle acque (ambienti umidi e acque correnti), e risulta completamente assente la macrocategoria "verde urbano"

Interessante risulta il confronto tra il valore dei SE forniti dalla Provincia di Torino ottenuti dallo studio di Scolozzi et al. (2012) e il valore dei SE forniti dall'Area omogenea del Pinerolese, utilizzando come fonte dei dati omogenea il CLC 2000.

Il valore complessivo dei SE forniti dalla Provincia di Torino nel 2000 risulta collocarsi tra i 1.500 M€ e i 2.000 M€, mentre la Zona omogenea del Pinerolese raggiunge un valore complessivo dei SE pari a circa 350 M€ nello stesso anno rappresentano dunque tra il 17,5% e il 23,3% del valore dell'intera provincia.

In termini di territorio, la Zona omogenea del Pinerolese (130.223 ha) rappresenta circa il 19% dell'intera provincia (682.700 ha), pertanto si può affermare che il territorio del pinerolese fornisce SE in modo proporzionale all'estensione del suo territorio.

Qui di seguito si riportano le tabelle per il calcolo del valore dei SE, a partire dalle quattro diverse fonti di uso del suolo.

Tablelle per il calcolo del valore dei servizi ecosistemici

Land Cover Piemonte (CLP) – 2010

SE	Valore monetario dei servizi ecosistemici (€/ha anno)						Valore dei SE (€/anno)						
	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque	
Climate and atmospheric gas regulation	23,00 €	7,50 €	124,00 €	623,30 €	232,00 €	- €	463.665,27 €	183.514,71 €	4.862.625,29 €	756.990,05 €	- €	- €	6.266.795,33 €
Disturbance prevention	- €	- €	163,00 €	- €	6.346,00 €	- €	- €	- €	6.149.965,93 €	- €	- €	- €	6.149.965,93 €
Freshwater regulation and supply	58,00 €	3,00 €	3.988,00 €	10,00 €	4.047,50 €	640,00 €	1.098.656,35 €	98.070,96 €	175.056.235,36 €	11.094,91 €	- €	1.018.322,37 €	177.282.379,95 €
Waste assimilation	- €	76,00 €	76,00 €	- €	1.454,00 €	583,00 €	- €	1.823.134,87 €	2.578.817,54 €	- €	- €	749.067,91 €	5.151.020,31 €
Nutrient regulation	145,00 €	- €	317,00 €	- €	212,00 €	- €	4.311.956,67 €	- €	13.595.556,61 €	- €	- €	- €	17.907.513,28 €
Habitat refugium	1.548,00 €	- €	629,33 €	- €	80,37 €	- €	22.683.211,59 €	- €	25.970.678,67 €	- €	- €	- €	48.653.890,26 €
Recreation	27,90 €	2,00 €	107,46 €	4.609,00 €	1.310,00 €	685,00 €	441.866,93 €	51.008,09 €	4.040.522,73 €	4.228.309,88 €	- €	954.247,08 €	9.715.954,71 €
Aesthetic and amenity	31,45 €	1,00 €	1,51 €	- €	3.484,00 €	129,00 €	441.178,94 €	31.593,84 €	66.218,79 €	- €	- €	205.255,60 €	744.247,17 €
Soil retention and formation	3,97 €	5,00 €	9,05 €	- €	- €	1.067,00 €	125.327,52 €	186.163,17 €	405.670,97 €	- €	- €	1.697.734,32 €	2.414.895,97 €
Pollination	30,62 €	24,00 €	301,66 €	- €	- €	- €	841.909,55 €	878.241,06 €	12.898.190,76 €	- €	- €	- €	14.618.341,37 €
							30.407.772,82 €	3.251.726,70 €	245.624.482,64 €	4.996.394,84 €	- €	4.624.627,28 €	288.905.004,28 €

Superficie degli ecosistemi ponderata in funzione del fattore w_i (ha)

	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque
Climate and atmospheric gas regulation	20.159,36	24.468,63	39.214,72	1.214,49	-	1.593,77
Disturbance prevention	31.568,64	37.232,63	37.729,85	1.120,05	-	1.591,13
Freshwater regulation and supply	18.942,35	32.690,32	43.895,75	1.109,49	-	1.591,13
Waste assimilation	31.568,64	23.988,62	33.931,81	1.120,05	-	1.284,85
Nutrient regulation	29.737,63	37.232,63	42.888,19	1.120,05	-	1.591,13
Habitat refugium	14.653,24	37.232,63	41.267,19	1.120,05	-	1.505,19
Recreation	15.837,52	25.504,05	37.600,25	917,40	-	1.393,06
Aesthetic and amenity	14.027,95	31.593,84	43.853,51	1.120,05	-	1.591,13
Soil retention and formation	31.568,64	37.232,63	44.825,52	1.120,05	-	1.591,13
Pollination	27.495,41	36.593,38	42.757,38	1.120,05	-	1.591,13

Corine Land Cover (CLC) - 2000

SE	Valore dei servizi ecosistemici (€/ha anno)						Valore dei SE (€/anno)						
	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque	
Climate and atmospheric gas regulation	23,00 €	7,50 €	124,00 €	623,30 €	232,00 €	- €	511.796,43 €	151.479,02 €	5.973.839,96 €	- €	- €	- €	6.637.115,41 €
Disturbance prevention	- €	- €	163,00 €	- €	6.346,00 €	- €	- €	- €	7.682.097,94 €	- €	- €	- €	7.682.097,94 €
Freshwater regulation and supply	58,00 €	3,00 €	3.988,00 €	10,00 €	4.047,50 €	640,00 €	1.220.589,92 €	67.928,27 €	220.943.347,25 €	- €	- €	419.459,52 €	222.651.324,97 €
Waste assimilation	- €	76,00 €	76,00 €	- €	1.454,00 €	583,00 €	- €	1.317.197,74 €	3.115.966,94 €	- €	- €	344.018,58 €	4.777.183,27 €
Nutrient regulation	145,00 €	- €	317,00 €	- €	212,00 €	- €	4.402.881,32 €	- €	17.357.974,52 €	- €	- €	- €	21.760.855,84 €
Habitat refugium	1.548,00 €	- €	629,33 €	- €	80,37 €	- €	27.604.897,78 €	- €	32.588.325,60 €	- €	- €	- €	60.193.223,38 €
Recreation	27,90 €	2,00 €	107,46 €	4.609,00 €	1.310,00 €	685,00 €	505.633,76 €	38.179,09 €	5.043.944,51 €	- €	- €	404.207,08 €	5.991.964,45 €
Aesthetic and amenity	31,45 €	1,00 €	1,51 €	- €	3.484,00 €	129,00 €	570.507,43 €	23.974,73 €	82.055,36 €	- €	- €	84.547,31 €	761.084,82 €
Soil retention and formation	3,97 €	5,00 €	9,05 €	- €	- €	1.067,00 €	127.956,23 €	122.105,32 €	514.326,16 €	- €	- €	699.317,68 €	1.463.705,38 €
Pollination	30,62 €	24,00 €	301,66 €	- €	- €	- €	909.891,51 €	558.491,94 €	16.622.365,50 €	- €	- €	- €	18.090.748,95 €
							35.854.154,38 €	2.279.356,11 €	309.924.243,73 €	- €	- €	1.951.550,18 €	350.009.304,40 €

Superficie degli ecosistemi ponderata in funzione del fattore w_i (ha)

	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque
Climate and atmospheric gas regulation	22.252,02	20.197,20	48.176,13			655,41
Disturbance prevention	32.230,79	24.421,06	47.129,44			655,41
Freshwater regulation and supply	21.044,65	22.642,76	55.402,04			655,41
Waste assimilation	32.230,79	17.331,55	40.999,56			590,08
Nutrient regulation	30.364,70	24.421,06	54.757,02			655,41
Habitat refugium	17.832,62	24.421,06	51.782,57			616,94
Recreation	18.123,07	19.089,54	46.937,88			590,08
Aesthetic and amenity	18.140,14	23.974,73	54.341,30			655,41
Soil retention and formation	32.230,79	24.421,06	56.831,62			655,41
Pollination	29.715,59	23.270,50	55.102,98			655,41

Corine Land Cover (CLC) – 2012

SE	Valore dei servizi ecosistemici (€/ha anno)						Valore dei SE (€/anno)						
	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque	
Climate and atmospheric gas regulation	23,00 €	7,50 €	124,00 €	623,30 €	232,00 €	- €	509.875,99 €	172.590,11 €	6.076.606,01 €	- €	- €	- €	6.759.072,10 €
Disturbance prevention	- €	- €	163,00 €	- €	6.346,00 €	- €	- €	- €	7.759.927,93 €	- €	- €	- €	7.759.927,93 €
Freshwater regulation and supply	58,00 €	3,00 €	3.988,00 €	10,00 €	4.047,50 €	640,00 €	1.222.190,72 €	79.654,71 €	224.282.141,13 €	- €	- €	312.938,68 €	225.896.925,22 €
Waste assimilation	- €	76,00 €	76,00 €	- €	1.454,00 €	583,00 €	- €	1.497.927,32 €	3.151.298,81 €	- €	- €	247.876,69 €	4.897.102,82 €
Nutrient regulation	145,00 €	- €	317,00 €	- €	212,00 €	- €	4.442.697,38 €	- €	17.957.464,41 €	- €	- €	- €	22.400.161,79 €
Habitat refugium	1.548,00 €	- €	629,33 €	- €	80,37 €	- €	27.468.067,24 €	- €	33.914.158,31 €	- €	- €	- €	61.382.225,55 €
Recreation	27,90 €	2,00 €	107,46 €	4.609,00 €	1.310,00 €	685,00 €	506.770,86 €	44.467,07 €	5.101.580,80 €	- €	- €	291.244,48 €	5.944.063,20 €
Aesthetic and amenity	31,45 €	1,00 €	1,51 €	- €	3.484,00 €	129,00 €	564.979,98 €	27.870,23 €	82.149,68 €	- €	- €	63.076,70 €	738.076,59 €
Soil retention and formation	3,97 €	5,00 €	9,05 €	- €	- €	1.067,00 €	128.589,61 €	141.262,35 €	529.182,40 €	- €	- €	521.727,45 €	1.320.761,80 €
Pollination	30,62 €	24,00 €	301,66 €	- €	- €	- €	914.023,54 €	651.433,85 €	17.120.169,39 €	- €	- €	- €	18.685.626,78 €
							35.757.195,31 €	2.615.205,63 €	315.974.678,86 €	- €	- €	1.436.863,99 €	355.783.943,78 €

Superficie degli ecosistemi ponderata in funzione del fattore w_i (ha)

	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque
Climate and atmospheric gas regulation	22.168,52	23.012,01	49.004,89			488,97
Disturbance prevention	32.390,33	28.252,47	47.606,92			488,97
Freshwater regulation and supply	21.072,25	26.551,57	56.239,25			488,97
Waste assimilation	32.390,33	19.709,57	41.464,46			425,17
Nutrient regulation	30.639,29	28.252,47	56.648,15			488,97
Habitat refugium	17.744,23	28.252,47	53.889,31			477,58
Recreation	18.163,83	22.233,54	47.474,23			425,17
Aesthetic and amenity	17.964,39	27.870,23	54.403,76			488,97
Soil retention and formation	32.390,33	28.252,47	58.473,19			488,97
Pollination	29.850,54	27.143,08	56.753,20			488,97

Piani Forestali Territoriali (PFT) - 2000

SE	Valore dei servizi ecosistemici (€/ha anno)						Valore dei SE (€/anno)						
	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque	
Climate and atmospheric gas regulation	23,00 €	7,50 €	124,00 €	623,30 €	232,00 €	- €	442.829,80 €	165.539,93 €	5.900.362,08 €	106.194,25 €	- €	- €	6.614.926,06 €
Disturbance prevention	- €	- €	163,00 €	- €	6.346,00 €	- €	- €	- €	7.640.301,09 €	- €	- €	- €	7.640.301,09 €
Freshwater regulation and supply	58,00 €	3,00 €	3.988,00 €	10,00 €	4.047,50 €	640,00 €	1.064.497,71 €	82.802,79 €	218.900.613,38 €	1.613,75 €	- €	498.972,67 €	220.548.500,30 €
Waste assimilation	- €	76,00 €	76,00 €	- €	1.454,00 €	583,00 €	- €	1.471.304,19 €	3.175.756,16 €	- €	- €	382.988,23 €	5.030.048,59 €
Nutrient regulation	145,00 €	- €	317,00 €	- €	212,00 €	- €	4.235.314,10 €	- €	16.887.485,65 €	- €	- €	- €	21.122.799,75 €
Habitat refugium	1.548,00 €	- €	629,33 €	- €	80,37 €	- €	20.074.673,97 €	- €	32.211.329,07 €	- €	- €	- €	52.286.003,03 €
Recreation	27,90 €	2,00 €	107,46 €	4.609,00 €	1.310,00 €	685,00 €	459.079,54 €	44.262,07 €	5.021.663,12 €	626.106,08 €	- €	472.068,67 €	6.623.179,48 €
Aesthetic and amenity	31,45 €	1,00 €	1,51 €	- €	3.484,00 €	129,00 €	424.851,33 €	27.265,44 €	82.783,69 €	- €	- €	100.574,18 €	635.474,64 €
Soil retention and formation	3,97 €	5,00 €	9,05 €	- €	- €	1.067,00 €	121.438,39 €	144.714,37 €	509.523,30 €	- €	- €	831.880,99 €	1.607.557,04 €
Pollination	30,62 €	24,00 €	301,66 €	- €	- €	- €	821.845,00 €	676.704,54 €	16.436.280,75 €	- €	- €	- €	17.934.830,29 €
							27.644.529,83 €	2.612.593,33 €	306.766.098,28 €	733.914,08 €	- €	2.286.484,74 €	340.043.620,27 €

Superficie degli ecosistemi ponderata in funzione del fattore w_i (ha)

	Aree agricole	Pascoli	Foreste	Verde Urbano	Aree umide	Acque
Climate and atmospheric gas regulation	19.253,47	22.071,99	47.583,57	170,37	-	780,06
Disturbance prevention	30.589,01	28.942,87	46.873,01	161,38	-	779,64
Freshwater regulation and supply	18.353,41	27.600,93	54.889,82	161,38	-	779,64
Waste assimilation	30.589,01	19.359,27	41.786,27	161,38	-	656,93
Nutrient regulation	29.209,06	28.942,87	53.272,83	161,38	-	779,64
Habitat refugium	12.968,14	28.942,87	51.183,53	161,38	-	734,23
Recreation	16.454,46	22.131,03	46.730,53	135,84	-	689,15
Aesthetic and amenity	13.508,79	27.265,44	54.823,64	161,38	-	779,64
Soil retention and formation	30.589,01	28.942,87	56.300,92	161,38	-	779,64
Pollination	26.840,14	28.196,02	54.486,11	161,38	-	779,64

9. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NELLA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES DU HAUT CHABLAIS

9.1. INTRODUZIONE

Se la Communauté de Communes du Haut Chablais (CCHC) si è impegnata in questo progetto Interreg Alcotra, è perché gli effetti del cambiamento climatico sono un problema per questo territorio di media montagna. Una riflessione, condotta dalla CCHC e dal RAEE nel 2015 sulla catena degli impatti associati ai cambiamenti climatici sul territorio (figura 9.1) ne è la testimonianza.

Questo primo approccio permette di evidenziare: 1) quali sono gli effetti dei cambiamenti climatici che appaiono significativi per il territorio, 2) quali sono i possibili impatti sulle risorse, 3) quali sono gli impatti sulle persone e sulle loro attività e infine 4) come tutto ciò intervenga nel particolare contesto territoriale della CCHC.

Gli effetti più temuti sono, da un lato, l'aumento delle temperature e le sue possibili ripercussioni sulle condizioni estive e sull'innevamento e, dall'altro, la modifica del regime delle precipitazioni che si traduce in inondazioni o siccità (e potenzialmente in incendi). Essi operano su un territorio caratterizzato dall'invecchiamento della popolazione, da una forma di abbandono rurale a favore delle aree urbane, da una forte dipendenza dai combustibili fossili e dall'aumento dei prezzi dell'energia, ma anche dallo sviluppo delle energie rinnovabili e dalla rilocalizzazione e diversificazione delle attività economiche.

Gli impatti sulle risorse riguardano principalmente l'acqua (approvvigionamento per alcuni comuni e gestione della risorsa più in generale) e la biodiversità (modifica e diminuzione potenziale). Gli effetti sulle persone e sulle loro attività riguardano la salute (diffusione di virus, qualità dell'aria), la pianificazione e la gestione dei sistemi insediativi (impatto sulle strade, sui vecchi edifici), il turismo (cambiamenti di attività dovuti a cambiamenti nell'innevamento, problemi di sicurezza, cambiamenti nei periodi turistici), l'agricoltura e l'allevamento (sviluppo di parassiti e malattie, cambiamenti nella biodiversità e effetti indotti sulla produzione soggetta a marchio), l'industria forestale (cambiamenti nella qualità).

Sulla base di questa prima rilevazione, la CCHC desidera approfondire alcuni dei punti sollevati, precisarli e individuare possibili forme di adattamento attraverso gli strumenti di pianificazione a sua disposizione. Al fine di accompagnarla al meglio in questa dinamica, il presente capitolo propone una ricostruzione dello stato attuale affrontando 1) gli effetti più precisi del cambiamento climatico sul territorio, 2) le sfide per il territorio su questa questione e (nel report 3.1b) 3) gli strumenti di pianificazione esistenti e la loro adattabilità al problema del cambiamento climatico.

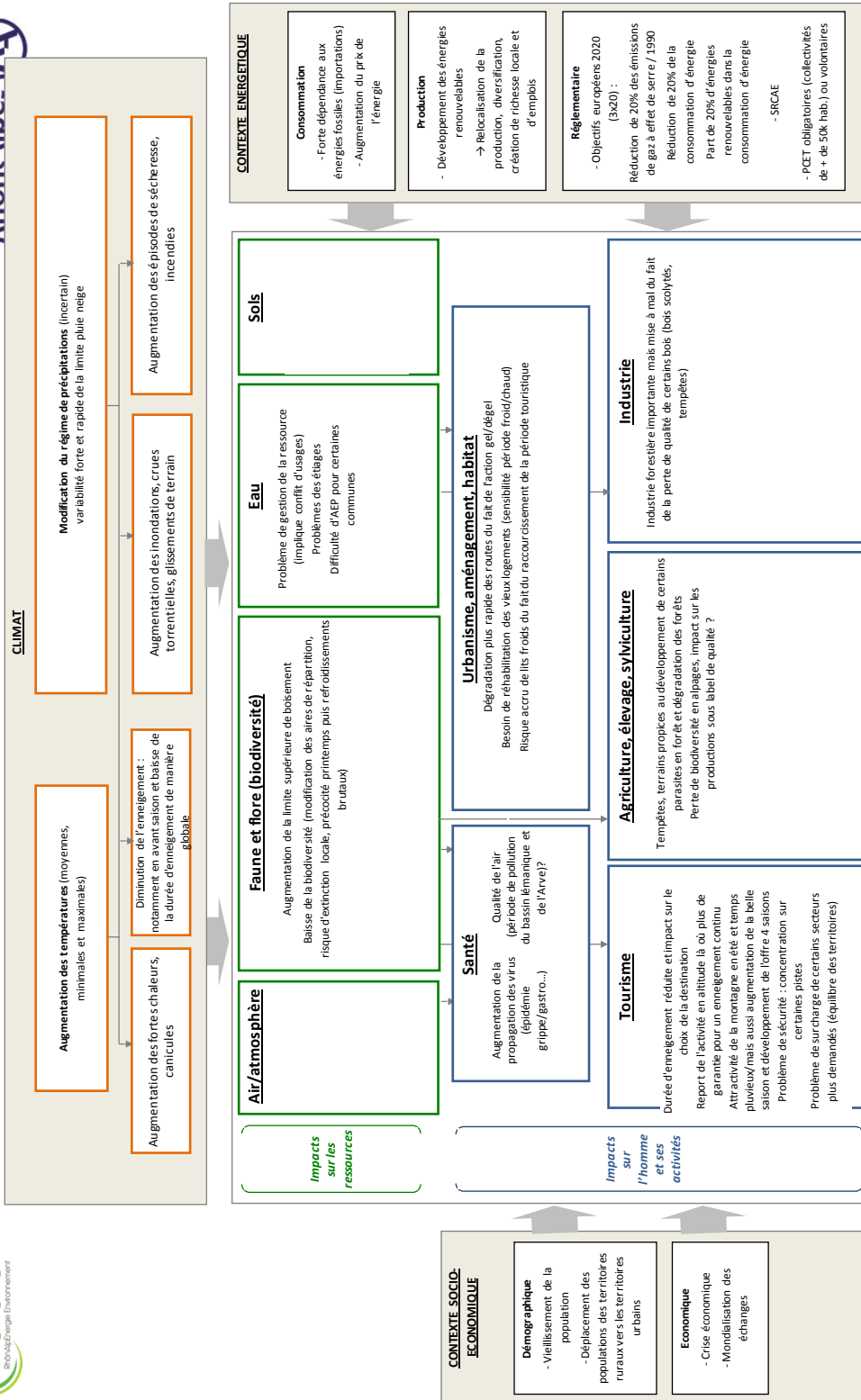


Figura 9.1. Sintesi dello studio CCHC – RAEE sulla catena di impatti associati al cambiamento climatico sul territorio della CCHC. Fonte: RAEE & CCH (2015)

9.2. METODOLOGIA

Per realizzare questa ricognizione, si sono incrociate letteratura scientifica, letteratura grigia e percezioni degli attori del territorio. L'analisi della letteratura è stata condotta concentrandosi su studi e articoli relativi agli impatti dei cambiamenti climatici sul territorio dell'Haut Chablais in modo specifico e sulle zone limitrofe o comparabili. Per quanto riguarda le percezioni degli attori, nell'inverno 2017-2018 sono state organizzate una quindicina di interviste semi-strutturate.

La struttura dell'intervista si basava sui seguenti elementi:

- il cambiamento climatico oggi: percezioni e impatti
- l'adattamento: quali azioni sono già state attuate oggi?
- la percezione dell'evoluzione del cambiamento climatico domani?
- i determinanti / le forze sul territorio
- le aspettative rispetto agli strumenti

Al fine di raccogliere una diversità di punti di vista, si è cercato di incontrare persone con diversi problemi e questioni:

- 2 agricoltori
- 1 botanico
- 2 Uffici di progettazione attivi nel territorio del CCHC
- 1 rappresentante eletto e 1 responsabile del SIAC
- 2 responsabili eletti della CCHC
- 2 guide alpine / maestri di sci
- 1 associazione ambientalista
- 1 associazione di commercianti
- 2 responsabili ONF
- 1 responsabile Federazione caccia
- 1 responsabile impianti di risalita

Gli esiti delle interviste sono stati integrati con quelli di tre riunioni con gli amministratori della CCHC: due con l'ufficio di presidenza (8 dicembre 2017 e 9 febbraio 2018) e una con il consiglio dei sindaci.

Altre persone sono state contattate ma non hanno risposto all'invito o lo hanno declinato:

- 1 responsabile eletto
- 1 responsabile di una stazione sciistica
- 2 gestori di impianti di risalita
- 1 rappresentante EDF.

9.3. GLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA CCHC

Come si evince dallo studio preliminare condotto dalla CCHC e dal RAEE, gli effetti dei cambiamenti climatici sono già percepiti sul territorio. Per completare questa prima analisi, l'idea alla base di questo capitolo è quella di incrociare le percezioni degli attori incontrati con i dati disponibili.

Per quanto riguarda le osservazioni climatiche, non si è a conoscenza di dati specifici alla scala della CCHC, per cui saranno utilizzati i dati del lavoro dell'ORECC sul territorio della Communauté d'Agglomération de Thonon e della Communauté de Communes Pays d'Évian - Vallée d'Abondance (ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018a, 2018b). Purtroppo, i dati della stazione di Gets (altitudine 1.100 m, esposizione nord-ovest), la cui storia risale al 1988, non sono sufficienti per effettuare un'analisi dell'andamento climatico (è necessario confrontare due periodi di 30 anni) (ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2017).

Per quanto riguarda le proiezioni, ci si baserà sul lavoro svolto dal Centre d'Étude de la Neige nell'ambito del progetto Adamont sull'innevamento a media quota (1500 m). Questi sono stati prodotti a partire da analisi e osservazioni condotte tra il 1958 e il 2016 e utilizzando scenari sviluppati dall'IPCC (Verfaillie et al., 2017).

9.3.1. UN RISCALDAMENTO GLOBALE

Uno dei principali effetti del cambiamento climatico è l'aumento globale delle temperature.

Come illustrato in figura 9.2, si osserva un aumento delle temperature medie annue di +1,4°C a Thonon Inra tra il 1951 e il 2016 (ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018a).

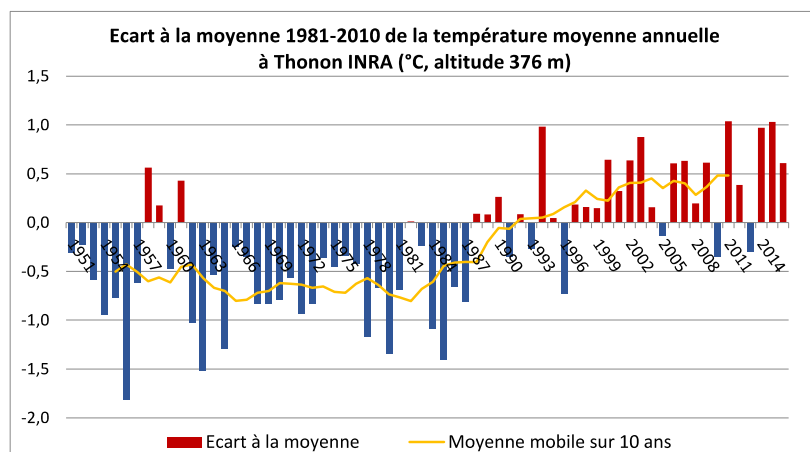


Figura 9.2. Scarto rispetto alla media 1981-2010 della temperatura media annuale a Thonon Inra (°C, altitudine 376 m)

Le variazioni di temperatura tra un anno e l'altro sono significative e lo rimarranno anche nei prossimi decenni. Tuttavia, le proiezioni a lungo termine in Auvergne-Rhône-Alpes indicano una continuazione della tendenza al riscaldamento già osservata fino al 2050, indipendentemente dallo scenario utilizzato. Nella seconda metà del XXI secolo, l'evoluzione della temperatura media annua varia a seconda dello scenario di evoluzione delle emissioni di gas a effetto serra considerato. L'unico che stabilizza l'aumento di temperatura è lo scenario RCP2.6 (politica climatica per ridurre le concentrazioni di CO₂). Secondo lo scenario RCP8.5 (scenario senza politica climatica), il riscaldamento globale potrebbe superare i +4°C entro il 2071-2100 (ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018a).

9.3.2. UN RISCALDAMENTO PIÙ MARCATO IN INVERNO

In base ai rilievi di temperatura effettuati a Thonon (tabella 9.1), l'aumento di temperatura è maggiore in inverno (+1,9°C) e in estate (+1,7°C) (figura 9.3).

Inverno	+1,9°C
Primavera	+1,5°C
Estate	+1,7°C
Autunno	+1,0°C
Media annuale	+1,4°C

Tabella 9.1. Evoluzione delle temperature medie a Thonon Inra. Fonte: ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018a)

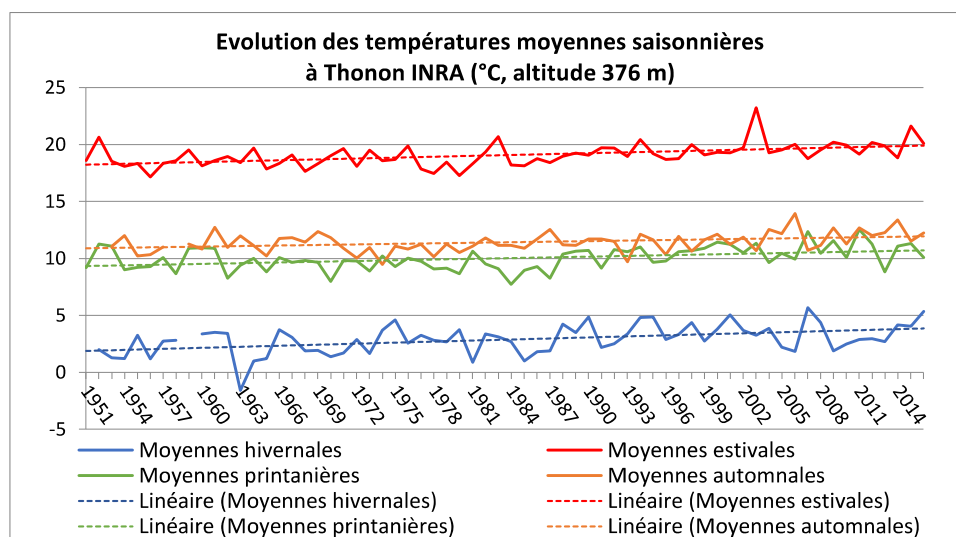


Figura 9.3. Evoluzione delle temperature medie stagionali a Thonon Inra (°C, altitude 376 M)

Per l'estate, la figura 9.4 mostra un aumento del numero di giorni di calore elevato¹³.

¹³ La nozione di calore elevato è definita a partire da soglie minime e massime di temperatura, raggiunte o superate simultaneamente in un dato giorno. Un'ondata di calore corrisponde ad una successione di almeno 3 giorni consecutivi di calore intenso. Il terzo giorno è quindi conteggiato come il primo giorno dell'ondata di caldo. Le soglie di temperatura utilizzate per definire le alte temperature e le ondate di calore sono state scelte sulla base di una collaborazione tra Météo France e l'Institut National de Veille Sanitaire, basata su criteri di salute pubblica. Esse corrispondono alle soglie alle quali la mortalità giornaliera in eccesso è risultata superiore del 50-100% alla mortalità media su tre anni nello stesso giorno per 14 agglomerazioni francesi. Per l'Alta Savoia si utilizzano i seguenti valori: temperatura minima di 19°, temperatura massima di 34° (ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018a).

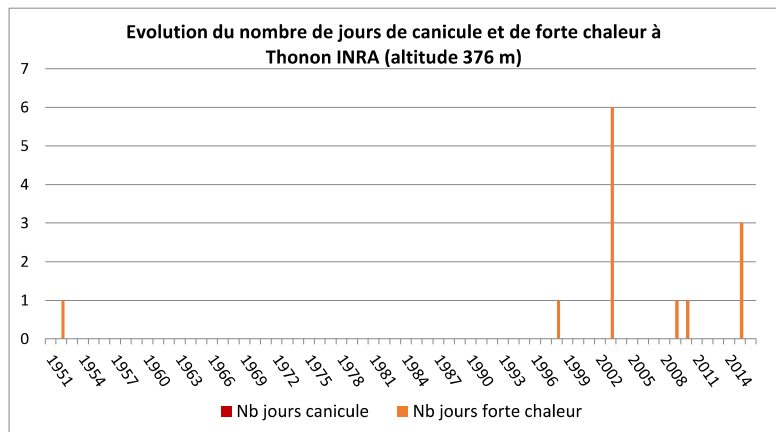


Figura 9.4. Evoluzione del numero di giorni caldi e di calore elevato a Thonon Inra (1951-2016, altitudine 376 m)

Secondo le proiezioni (figura 9.5), questo riscaldamento delle temperature in inverno aumenterà nella CCHC, qualunque sia l'altitudine: da +1 a +5°C secondo gli scenari. Gli interrogativi già menzionati sulle condizioni d'innevamento sono quindi fondamentali per il territorio.

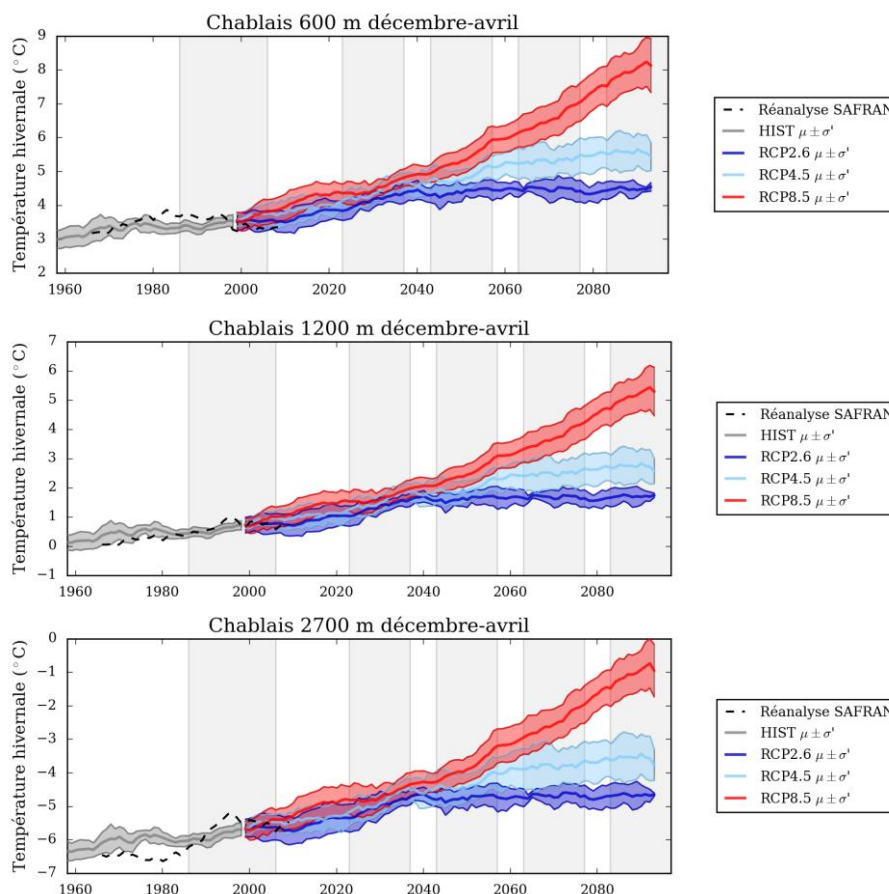


Figura 9.5. Proiezione dell'evoluzione delle temperature invernali tra dicembre ed aprile nella CCHC (a 900, 1200 e 2700m)

9.3.3. UNA RIDUZIONE DEL NUMERO DI GIORNI DI GELO

Sebbene il numero di giorni di gelo vari notevolmente da un anno all'altro, si è comunque registrato un calo di 14,2 giorni dal 1957 (figura 9.6; ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018a). All'altitudine di Thonon (376 m), l'evoluzione del numero di giorni di gelate stagionali mostra l'impatto particolarmente marcato di questa evoluzione sul periodo invernale, con una diminuzione di circa dieci giorni nei 65 anni di osservazione. Tuttavia, è dubbio che tale variazione del numero di giorni di gelata sia identica su tutte le altitudini coperte dal territorio. È possibile identificare una soglia altimetrica a partire dalla quale la variabilità è meno marcata? I dati attualmente disponibili non permettono di dirlo oggi.

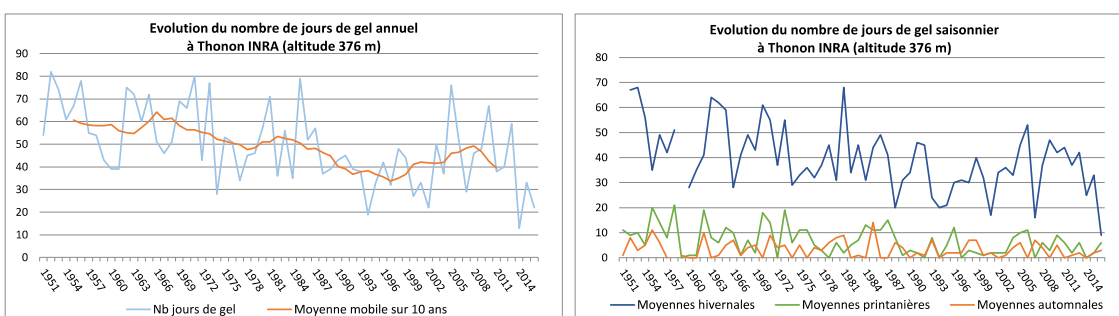


Figura 9.6. Evoluzione del numero di giorni di gelo per anno a Thonon Inra (1951-2016, altitudine 376 m)
Fonte: Orecc Auvergne-Rhone-Alpes, 2018a

9.3.4. PRECIPITAZIONI MOLTO VARIABILI

Il regime delle precipitazioni registrate alla stazione di Thonon (figura 9.7) mostra una grande variabilità da un anno all'altro.

«Il cambiamento climatico sta creando enormi effetti a dente di sega sulle precipitazioni».

Tuttavia, dall'inizio delle osservazioni non è stato per ora osservato alcun cambiamento significativo nell'andamento delle precipitazioni.

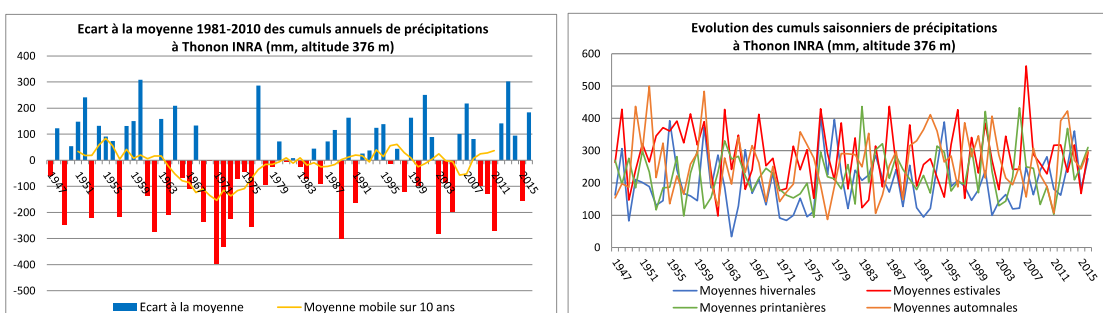


Figura 9.7. Evoluzione dei valori annuali e stagionali di precipitazioni a Thonon Inra (1947-2016, altitudine 376 m). Fonte: Orecc Auvergne-Rhone-Alpes, 2018a

Per quanto riguarda più specificamente le precipitazioni invernali, le proiezioni per la CCHC non consentono di definire delle tendenze principali per la fine del secolo, come più in generale avviene per tutte le zone di montagna (figura 9.8).

Sebbene le proiezioni rimangano molto incerte per quanto riguarda le precipitazioni stagionali, alcuni degli attori incontrati segnalano un aumento della siccità in estate. Un agricoltore menziona in particolare il fatto che ora deve portare acqua alle sue pecore nei prati a 600 m di altitudine, mentre prima la rugiada mattutina nell'erba era sufficiente. Tuttavia, le osservazioni e le conoscenze attuali non ci consentono di fornire tendenze molto chiare su questo punto.

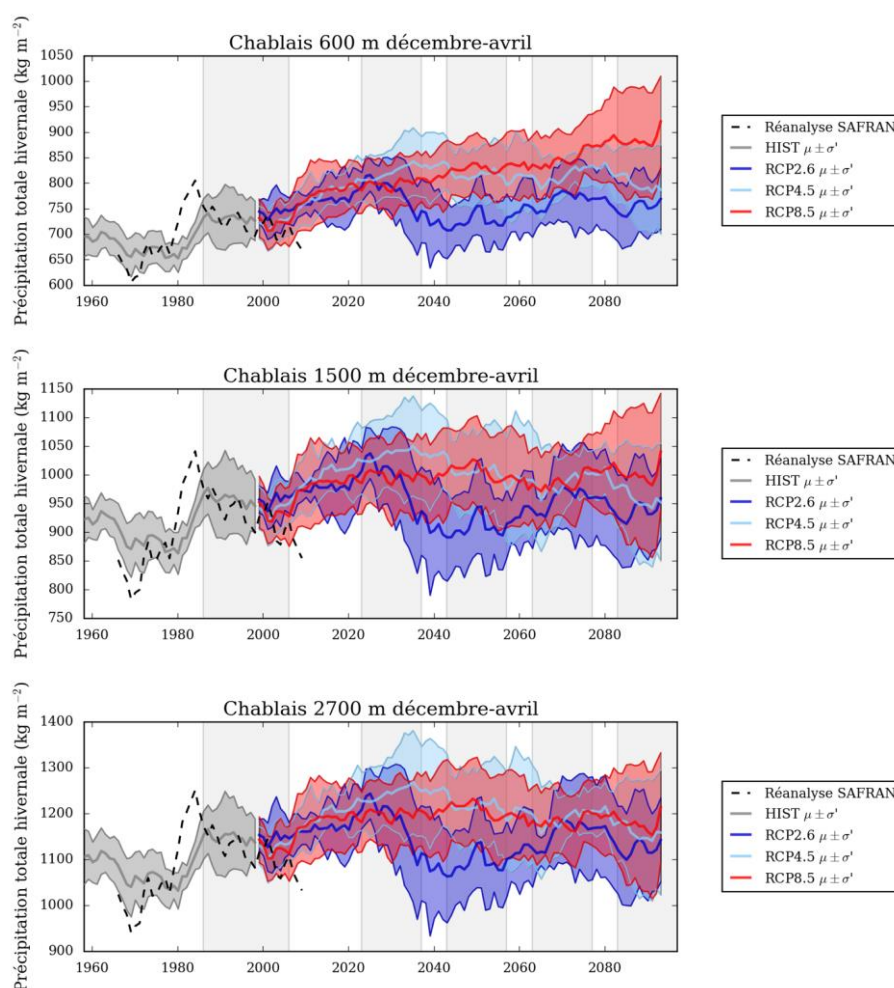


Figura 9.8. Proiezioni delle precipitazioni totali invernali nella CCHC a 600, 1500 e 2700m

9.3.5. UNA RIDUZIONE DELL'INNEVAMENTO

Particolare attenzione viene posta sul territorio alle precipitazioni nevose per la grande importanza dell'attività di turismo invernale.

La tabella 9.2 presenta alcuni elementi di sintesi sull'innevamento nell'area della CHCC riferiti alla seconda metà del Novecento e all'inizio degli anni Duemila.

Spessore massimo del manto nevoso invernale sul periodo novembre-aprile 1959-2005 (cm)	92 (1200m) 189 (1800m) 280 (2700m)
Numero medio di giorni con neve al suolo sul periodo 1959-2005	154 (1200m) 214 (1800m)
Data di inizio dell'innevamento continuo. Media sul periodo 1959-2005	8 Dic (1200m) 18 Nov (1800m)
Data di fine dell'innevamento continuo. Media sul periodo 1959-2005	7 Mag (1200m) 27 Mag (1800m)

Tabella 9.2. Dati sull'innevamento nella CCHC. Fonte: Durand et al. (2009a)

Sebbene le proiezioni climatiche non consentano di concludere che vi sia una chiara tendenza verso una diminuzione delle precipitazioni nevose in inverno, la maggior parte delle persone incontrate durante le interviste ha menzionato una diminuzione dell'innevamento (a parte, naturalmente, l'inverno 2017-2018, che è stato il settimo più nevoso dal 1959 nelle Alpi) (Chaix, 2018).

«Questi ultimi inverni, la neve cade molto presto poi scompare completamente anche in quota. Ci diciamo che siamo tranquilli con tutto ciò che cade, ma poi alla fine no: cortine di pioggia cadono in quota» (una guida).

Per un maestro di sci che abbiamo incontrato, il punto di svolta è stato osservato nell'inverno '89/'90: quell'inverno, le stazioni sono state in grado di aprire solo per pochi giorni. Questa osservazione è in effetti confermata dalla figura 9.9 che mostra, a partire dalla fine degli anni '80, l'inizio di una serie di inverni con deficit di neve a Chamonix.

Infatti, se non si osserva alcun cambiamento nel regime delle precipitazioni, l'aumento delle temperature genera un graduale innalzamento del limite pioggia/neve. Anche nell'inverno estremamente nevoso 2017-2018, a forti nevicate sono spesso seguiti episodi di pioggia, che hanno portato ad una costante lisciviazione del manto nevoso e a fenomeni di dilavamento insoliti (valanghe di neve bagnata in particolare, ecc.) (Chaix, 2018).

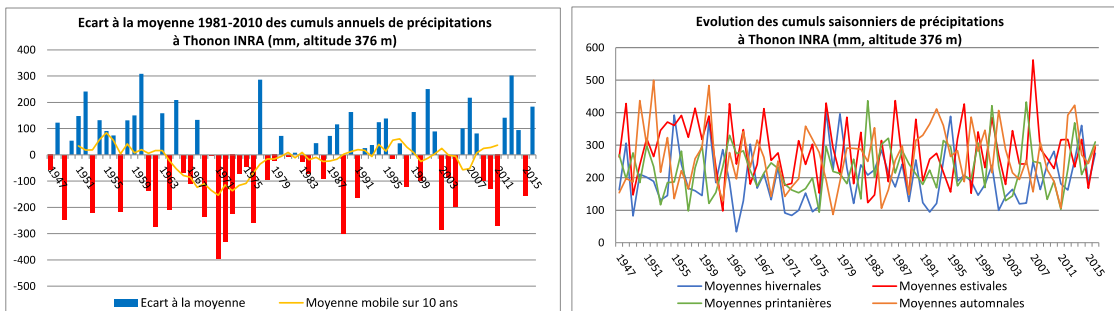


Figura 9.9. Evoluzione dell'altezza media della neve a Chamonix (1959-2017, altitudine 1.042m). Fonte: Orecc Auvergne-Rhone-Alpes, 2018a

Non si dispone di dati locali provenienti da rilevazioni precise per verificare queste percezioni (le rilevazioni del Gets hanno una storia troppo breve per consentirci di tracciare delle tendenze climatiche). Tuttavia, le rilevazioni di Chamonix (1.042 m s.l.m., tabella 9.3) mostrano un calo del 48,8% dell'altezza della neve (-22,2 cm) tra il periodo recente (1988-2017) e quello precedente (1959-1988). Questo calo è particolarmente marcato a fine stagione (-52%) (ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018a).

Inizio stagione (20 dic. – 10 gen.)	-13 cm	-40%
Mezza stagione (11 gen. – 10 feb.)	-23 cm	-45%
Fine stagione (11 feb. – 20 mar.)	-25 cm	-52%

Tabella 9.3. Evoluzione dell'altezza media della neve a inizio, metà e fine stagione a Chamonix (1959-2017, altitudine 1.042 m)

Questa tendenza di riduzione osservata a partire dagli anni '60 è inclusa nella proiezione volta a simulare le tendenze dell'innevamento sulla CCHC fino alla fine del secolo. Nella peggiore delle ipotesi, esso scompare quasi fino a 1500 m e ha un impatto minore a 2.700 m (scenario RCP8.5) (figura 9.10).

Questi risultati rispecchiano le preoccupazioni già espresse nello studio condotto dalla CCHC e dal RAEE sull'attività turistica invernale. Essi devono indurre l'intero territorio ad una riflessione di fondo sulle poste in gioco in termini di attività economica per i decenni a venire in questa prospettiva di profondo e continuo mutamento delle condizioni di innevamento.

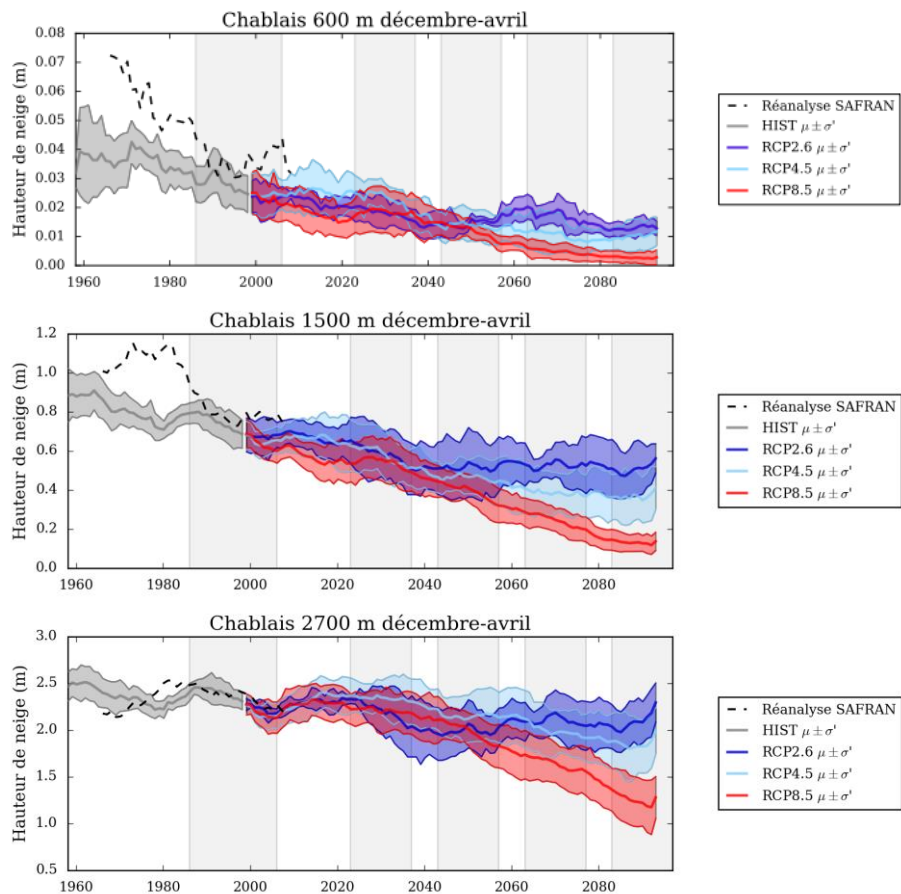


Figura 9.10. Proiezioni dell'altezza della neve nella CCHC a 600, 1500 e 2700 m

La tabella 9.4 presenta alcune proiezioni tratte dal progetto SCAMPEI. Il range di variabilità degli indici estratti per i due casi studio francesi del progetto ARTACLIM è legato ai diversi modelli utilizzati nel progetto e ai diversi scenari esplorati (A1b, A2, B1). Il periodo di riferimento è il 1961-1990.

Futuro prossimo: 2030	
Evoluzione dell'altezza della neve	-35% ; -57% (1200m) -19% ; -36% (1800m) -3% ; -26% (2400m)
Evoluzione della durata annuale dell'innevamento	-17% ; -29% (1200m) -10% ; -14% (1800m) -7% ; -10% (2400m)
Futuro lontano: 2080	
Evoluzione dell'altezza della neve	-60% ; -86% (1200m) -35% ; -70% (1800m) -15% ; -43% (2400m)
Evoluzione della durata annuale dell'innevamento	-31% ; -63% (1200m) -16% ; -40% (1800m) -13% ; -21% (2400m)

Tabella 9.4. Proiezioni sull'innevamento nella CCHC. Fonte: <http://www.umr-cnrm.fr/scampe/cen/index.php>

9.3.6. I RISCHI NATURALI

L'Haut-Chablais è solo moderatamente interessato dalla questione dei rischi naturali. Il territorio, pur essendo esposto a rischi ricorrenti nelle zone di media montagna in un contesto di cambiamento climatico (frane, attività torrentizie, valanghe) non presenta sfide prioritarie rispetto al problema dei rischi naturali. La concentrazione delle attività legate agli sport invernali pone tuttavia la questione della trasformazione del regime delle valanghe al centro del dibattito per le stagioni a venire. Data l'importanza del turismo invernale in questo territorio, la questione dei rischi si porrà anche per quanto riguarda la connettività del territorio e della sua rete (come dimostra il recente evento del 9 aprile 2017, che ha visto una frana di 350m³ di materiali tagliare la strada tra Thonon-les-Bains e la valle dell'Abondance).

9.3.7. ALTRI CAMBIAMENTI OSSERVATI SUL TERRITORIO

«Ciò che osserviamo soprattutto, più che l'innalzamento delle temperature, sono grandi variazioni di temperatura all'interno della stagione, questo è ciò che è più difficile da gestire» (un responsabile degli impianti di risalita)

Al di là del riscaldamento globale, gli intervistati hanno notato una variazione significativa delle condizioni meteorologiche, in particolare delle temperature, con episodi alternati di neve e pioggia, come se ci fossero "quindici stagioni in una".

«In inverno, si passa da -10°C a +10°C» (un agricoltore).

Il risultato è che le stagioni sono meno marcate, il che comporta un necessario adattamento delle pratiche sia nel settore degli sport invernali che in quello agricolo o forestale.

Questa variabilità genera forti incertezze e mette in discussione le conoscenze acquisite sul clima: sembra ormai difficile dire che agosto sia ad esempio il mese dei temporali, che possono verificarsi anche in primavera o all'inizio dell'estate. Associati allo scioglimento delle nevi, possono causare nuovi rischi, costringendo a mettere in discussione i metodi di gestione.

Alcune persone che abbiamo incontrato parlano anche di sfasamento delle stagioni. Un botanico evoca così alcuni fatti come gli uccelli che si riproducono prima, la comparsa di bruchi più presto nel tempo, a sua volta legata ad una fogliazione precoce. Un agricoltore dice di lasciare le pecore all'aperto più a lungo in autunno e di portarle all'aperto prima in primavera, cambiando la gestione del gregge e dell'alimentazione.

Infine, molti degli attori incontrati hanno parlato di un aumento della frequenza delle tempeste e degli eventi ventosi. Secondo un tecnico dell'ONF, questo aumento è confermato dalle banche dati del servizio di Restauration des Terrains en Montagne (RTM).

Non si hanno osservazioni climatiche per illustrare questi fenomeni. Se le conoscenze scientifiche esistenti sono in gran parte confermate dalle osservazioni effettuate direttamente sul campo dagli attori, altri parametri meriterebbero di essere studiati più specificamente sul territorio della CCHC, per valutarne l'evoluzione e studiarne le possibili conseguenze.

A questo proposito, come si è dimostrato attraverso alcuni estratti di interviste, alcune di queste conseguenze sono già ben identificate all'interno del territorio. Nel paragrafo seguente, si dettaglieranno le sfide percepite del cambiamento climatico nella CCHC.

9.4. LE SFIDE TERRITORIALI IN RAPPORTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Questo paragrafo presenta le sfide associate al cambiamento climatico nella regione della CCHC, quali sono emerse durante le interviste con gli stakeholder incontrati.

Sono state identificate otto questioni principali (l'ordine di presentazione non corrisponde a un ordine di importanza):

- L'acqua: soddisfare le esigenze e affrontare i rischi di inondazioni e smottamenti
- Il mantenimento e la diversificazione delle attività economiche
- La conservazione della biodiversità
- La salvaguardia dei paesaggi
- La tutela della salute e della sicurezza
- L'equilibrio nel territorio
- La governance: costruzione collettiva del territorio
- La produzione e il consumo di energia

Emerge chiaramente che il cambiamento climatico non creerà di per sé nuove sfide. Nella maggior parte dei casi è percepito come impattante sul territorio al pari di altri elementi, ma può fungere da acceleratore o indicatore di determinate priorità.

9.4.1. L'ACQUA: SODDISFARE LE ESIGENZE E AFFRONTARE I RISCHI DI INONDAZIONI E SMOTTAMENTI

L'acqua è una delle poste in gioco chiave, se non critica, per il territorio, sia in termini di disponibilità della risorsa che di rischio di alluvione. Il cambiamento climatico appare qui come un'ulteriore pressione sull'ambiente.

Pressioni sulla disponibilità di acqua

L'evoluzione del regime pluviometrico e nevoso delle Dranses (la principale rete idrografica dell'Haut Chablais, collegata al lago Léman), associata alle falde acquifere carsiche che complicano lo stoccaggio dell'acqua e al consumo significativo in certi periodi a causa dell'economia turistica, generano tensioni in termini di disponibilità della risorsa sul territorio, che sono destinate ad aumentare sotto l'effetto dei cambiamenti climatici.

La diagnosi condotta per il contratto di fiume menziona quindi deficit idrologici stagionali (durante i periodi di magra estivi o invernali) con riduzioni di portata dell'ordine del 5-15% per la Dranse de Morzine. È probabile che i cambiamenti climatici accentuino ulteriormente queste pressioni (dal 5 al 10% in più), mentre la domanda rimane forte nei periodi di magra in questa zona particolarmente caratterizzata dall'attività turistica (SIAC, 2017c).

Al centro del dibattito c'è anche l'uso della neve artificiale. Non proprio problematico per il SIAC, alcuni amministratori del CCHC ne fanno però una questione importante, in particolare a causa della posizione del territorio a capo del bacino:

«Dobbiamo parlare di RISORSE d'acqua: di quanta acqua abbiamo bisogno perché i pesci ci vivano. Nel mese di gennaio: tutti i turisti, la neve artificiale, proprio nel momento in cui ho meno acqua. Quindi il flusso più scarso nel fiume. Finora questo aspetto non è stato preso in considerazione. Nel quadro del nuovo piano direttore per l'acqua, eravamo sul punto di muoverci verso una situazione critica, ma i rappresentanti eletti non lo hanno voluto. È difficile dire se l'attuale situazione dell'acqua sia legata o meno al cambiamento climatico. Probabilmente un fattore. Abbiamo precipitazioni che variano molto. È una questione da approfondire. Ma l'altro fattore è l'aumento dei posti letto nelle strutture turistiche. La neve artificiale è a volte un falso problema, ma può anche essere una soluzione: mettiamo da parte dei fondi finanziari, ne avremo bisogno per ripristinare l'acqua quando non c'è» (un rappresentante eletto dalla SIAC).

Secondo la diagnosi effettuata nell'ambito del contratto di fiume delle Dranses, il consumo è legato principalmente all'utilizzo di acqua potabile (80%) (SIAC, 2017c). Uno dei problemi del territorio è l'aumento significativo del consumo invernale dovuto all'attività turistica, che coincide con il periodo invernale di magra. In altre parole, è quando la risorsa è minore che il consumo è maggiore. La questione non è nuova per il territorio: dagli anni '80 la stazione dei Gets si trova ad affrontare problemi di approvvigionamento di acqua potabile a causa di una subcalibrazione della rete idrica in relazione al numero di posti letto. Tuttavia, le pressioni sulla risorsa sono in aumento con il costante incremento di posti letto turistici nelle località.

Un altro elemento spesso evidenziato dagli attori incontrati è la diffusione di cannoni per la neve, e lo sviluppo di bacini di raccolta dell'acqua in collina. Per alcuni, essi contribuiscono alle pressioni

quantitative sulle risorse idriche. Per altri, i cannoni possono eventualmente rappresentare una soluzione, consentendo di avere una risorsa idrica quando è necessario.

Per alcuni, il cambiamento climatico potrebbe generare nuove pratiche. Un allevatore evoca così il fatto che ora deve portare acqua alle sue pecore nei prati a un'altitudine di 600 metri, mentre la rugiada presente nell'erba era sufficiente fino ad allora.

Queste pressioni supplementari devono mettere in discussione la risorsa rimanente per l'ambiente e il flusso necessario per la buona salute degli ecosistemi ma anche per la continuità di altre attività umane: dighe elettriche, uso ricreativo (kayak, pesca in particolare).

Rischi di inondazioni, slittamenti di terreno ed erosione

«Quello che mi preoccupa sono le alluvioni a gennaio, non le ho mai viste prima, è estremamente preoccupante» (una rappresentante eletta).

Il fenomeno delle alluvioni non è nuovo per il territorio, come dimostra la grande alluvione del 1968¹⁴. Ciò che è diverso, tuttavia, sono le inondazioni in inverno, nel periodo di magra. Il territorio ha subito nel 2015 alluvioni significative e devastanti a causa di precipitazioni record (sapendo che le osservazioni non vanno oltre il 1970). Alcuni pezzi di strada sono stati danneggiati. Un piccolo episodio di alluvione è stato osservato anche nell'inverno 2018. Secondo un tecnico del servizio RTM, questa sequenza di due eventi rilevanti consecutivi era piuttosto rara in precedenza.

Se la posta in gioco è alta, è perché la valle di Morzine è un "grande lavatoio" (come l'ha definita un ufficio di progettazione): l'acqua scorre velocemente e quindi facilita i fenomeni alluvionali. Quindi la questione è: come rallentare un po' l'acqua in modo che faccia meno danni. Tuttavia, la realizzazione di argini sulla Dranse per la costruzione della strada ha reso il corso d'acqua rettilineo: questo accelera il deflusso e in ultima analisi mette in discussione l'impatto sulla strada, ma anche più in generale sugli smottamenti che le inondazioni possono generare. Ad esempio, la zona di distacco dello slittamento di Reyvroz (1 milione di m³) si è riattivata nel marzo 2017 a seguito di forti precipitazioni (secondo un tecnico del RTM).

L'erosione del suolo può essere favorita anche dalle forti precipitazioni. Tuttavia, l'Haut Chablais beneficia ancora di suoli sufficientemente coperti di vegetazione, che lo proteggono da questo pericolo. Il rischio esiste però sulle piste da sci terrazzate, dove il terreno è lasciato a nudo. L'aumento delle forti precipitazioni in inverno, quando la vegetazione è poco sviluppata, aumenta la pressione sul suolo.

La gestione del rischio è quindi messa in discussione dalle manifestazioni visibili del cambiamento climatico. Oltre ai servizi direttamente coinvolti (in particolare il servizio RTM), la questione riguarda il territorio nel suo complesso, a causa delle perturbazioni che inondazioni e frane possono provocare, in particolare in termini di mobilità e sull'accessibilità, nei periodi critici per l'attività turistica (periodo invernale).

¹⁴ La violentissima tempesta che colpì lo Chablais il 21 settembre 1968 provocò un'importante alluvione della Dranse; la portata del fiume fu moltiplicata per 20 nello spazio di un giorno (portata di 42,2 m³/s a Reyvroz a fronte di una portata mensile media di 13,3) (DREAL Auvergne-Rhône-Alpes, 2018). "Oltre al crollo in diversi punti della strada che attraversa questa valle, le spalle del ponte di Vongy sono state abbattute". (Hubert, Marin, Meybeck, Olive, & Siwertz, 1969).

9.4.2. MANTENIMENTO E DIVERSIFICAZIONE DELLE ATTIVITÀ ECONOMICHE

Gli effetti locali dei cambiamenti climatici mettono in discussione lo sviluppo economico del territorio: quali saranno gli impatti su un'attività turistica invernale che appare particolarmente vulnerabile? Come superarli? Quali sono le opportunità?

Turismo

a) L'importanza del turismo invernale

Oggi il territorio è economicamente dipendente dall'attività turistica. Infatti, secondo uno studio dell'Agenzia economica dell'Haut Chablais (Chablais Léman Développement) del 2014, «l'economia locale si basa soprattutto sul turismo (20% del lavoro dipendente, vale a dire il doppio di quello dell'Alta Savoia) e sulle attività destinate a soddisfare le esigenze della popolazione locale (commercio, servizi alla persona ecc.)» (CLD - RAA, 2015).

L'attività è concentrata principalmente nel comprensorio sciistico delle Portes du Soleil¹⁵, dove rappresenta il 54% dei posti di lavoro del settore privato (principalmente negli impianti di risalita, nelle strutture commerciali e nella ristorazione). Nella CCHC, quest'attività turistica rappresenta il 18% dell'occupazione totale, contro il 7% alla scala del Rhône Alpes (EPODE et al., 2017).

Come mostra la figura 10, questa attività dominante si concentra non solo nello spazio, ma anche nel tempo, poiché la maggior parte dei pernottamenti riguarda il periodo invernale.

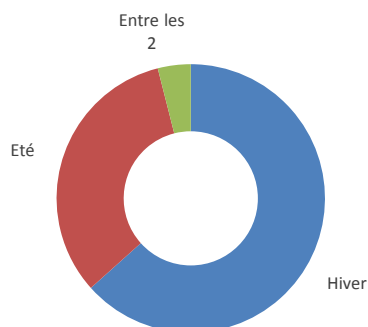


Figura 9.11. Ripartizione annuale delle presenze turistiche nell'Haut Chablais (Epoque et al., 2017)

b) Impatti della riduzione dell'innevamento

Un rappresentante della CCHC ha menzionato il fatto che il territorio è già colpito dal cambiamento climatico con un calo del 20% del fatturato. Inoltre, il fenomeno ha influenzato la chiusura della stazione del colle di Corbier.

¹⁵ Les Portes du Soleil è un comprensorio sciistico franco-svizzero che comprende 12 stazioni nel massiccio dello Chablais (tra cui Abondance, Avoriaz, La Chapelle d'Abondance, Châtel, Les Gets, Montriond, Morzine, Saint Jean d'Aulps). Con 650 km di piste e 200 impianti di risalita, si presenta come uno dei più grandi comprensori sciistici del mondo (<http://www.portesdusoleil.com>)

Tuttavia, gli effetti non sono omogenei su tutto il territorio. Le stazioni di media montagna sono più vulnerabili alla mancanza di neve. Avoriaz vede invece un'opportunità, considerata come una delle tre riserve innevate dell'Alta Savoia (con Chamonix e il Grand Massif), o anche come una "buca della neve" (una delle località più innevate per questa altitudine a causa della presenza del lago Léman). La mancanza di neve nelle stazioni a quote più basse provoca un ritiro di praticanti e turisti verso Avoriaz che beneficia così della sua eccezionale copertura nevosa. Questo fa dire a un gestore di impianti di risalita: *«saremo gli ultimi dei Mohicani»*.

c) Verso un adattamento : la gestione delle piste e la diversificazione

Che si tratti di una riduzione delle precipitazioni nevose o di un cambiamento delle dinamiche turistiche, la questione dell'adattamento delle stazioni sciistiche ai cambiamenti non è nuova:

«Da 30 anni ci poniamo la questione della diversificazione, ma non funziona, non basta a sostituire la neve» (un rappresentante eletto).

Questo adattamento dipende in gran parte da un forte investimento nella gestione delle aree sciistiche: rimodellamento delle piste, miglioramento e sviluppo degli innevatori sul territorio a partire dall'inverno '89/'90. Questi permettono di mantenere gli sciatori nelle stazioni degli Haut-Chablais, come sottolinea un istruttore di sci:

«Prima c'erano già problemi di neve. Si andava a Praz de Lys du Sommand, si portavano là gli allievi sciatori. I cannoni hanno permesso di mantenere l'innevamento. Ora non ci spostiamo più, anche per lo sci di fondo, ma siamo sul filo del rasoio».

Gli innevatori permettono di mantenere aperte le piccole stazioni, lo stesso istruttore aggiunge :

«È un bene perché i nostri clienti non possono permettersi di andare nei grandi resort».

Un'altra forma di adattamento è ridurre gli investimenti in attrezzature, come l'acquisto da parte del comune di Bellevaux di impianti di risalita usati e non nuovi per ridurre i costi e i tempi di ammortamento.

D'altra parte, anche i turisti sembrano adattarsi, e secondo un istruttore di sci, le loro aspettative sono inferiori per quanto riguarda la qualità della neve.

Tuttavia, alcuni attori mettono in dubbio la sostenibilità di questo approccio a lungo termine:

«L'innevamento artificiale ha i suoi limiti. Dà un supporto all'inizio della stagione. Una striscia di neve è invendibile. Se il bambino non può fare il suo pupazzo di neve, non verrà» (un rappresentante eletto).

Un'associazione ambientalista si interroga sugli impatti e i costi:

«L'adattamento è a brevissimo termine: vengono installati cannoni da neve. Ci rendiamo conto che alla fin fine tutto ciò non funziona, fa troppo caldo, quindi abbiamo creato fabbriche di neve. Si migliora il trattamento delle piste da neve per essere in grado di sciare su meno neve, acquistiamo macchine più potenti per battere 30 cm. Ma se non si dice quanto costa davvero, nessuno se ne rende conto. Dovrebbe essere condotto uno studio sui costi complessivi» (un responsabile dell'associazione ambientalista).

Anche la diversificazione e lo sviluppo delle "quattro stagioni" sono stati ripetutamente menzionati dagli attori locali. In questo senso, il forte sviluppo della mountain bike è spesso citato nel territorio, con una stagione che inizia ai primi di maggio e termina a fine settembre. Tanto che Morzine sarebbe diventato "uno dei luoghi principali della bicicletta nel mondo", secondo un commerciante. L'acquisto di biciclette a ruote grandi, biciclette elettriche, l'installazione di impianti di risalita, la realizzazione di percorsi di discesa più facili rispetto a quelli per le mountain bike, l'installazione di colonnine di ricarica elettrica in cima ai passi, servizi di sostituzione delle batterie, sono tutti investimenti fatti per facilitare lo sviluppo di questa attività.

Altre attività sono proposte per ampliare l'offerta esistente:

- Preparazione per l'ultratrail
- Sviluppo di bacini collinari per l'estate
- Sviluppo di strumenti per comprendere meglio le pratiche e le esigenze dei clienti
- Organizzazione di eventi

Tuttavia, queste nuove attività non sono prive di impatto sull'ambiente naturale (fauna, suolo e flora) e pongono problemi di compatibilità con altre attività. Alcune guide di media montagna stanno quindi modificando i loro percorsi escursionistici, oggi troppo frequentati dalle biciclette:

«Molte persone sono frustrate, trovare Morzine un inferno con tutte le biciclette» (una guida alpina).

Ultimamente, è possibile percepire tra alcuni degli attori incontrati una sorta di cautela in questa volontà di diversificare l'attività turistica:

«Bisogna diversificare, ma a un certo punto si esauriscono le idee» (un commerciante).

Inoltre, è l'attività invernale che paga sempre di più:

«Il fatturato totale estivo è equivalente a una settimana in febbraio (o anche a un lungo fine settimana di febbraio). Tutti sanno che questa situazione è destinata ad esaurirsi, ma per 30 anni è sopportabile» (un rappresentante eletto).

Emergono dubbi sulla possibilità stessa di ridiscutere il modello, come se si autoalimentasse:

- *«Come conciliare l'obiettivo dei 20.000 posti letto con l'adattamento?»* (un rappresentante di un'associazione ambientalista)
- *«Viviamo qui su un modello obsoleto, siamo sull'orlo del declino. Ma gli investimenti sono tali che è difficile dire le cose. Dobbiamo nutrire la bestia»* (una guida alpina)

Il turismo, una delle principali attività del territorio, sembra quindi essere una delle prime vittime del cambiamento climatico e gli attori sembrano averne una chiara consapevolezza. Tuttavia, le opinioni divergono su come adattarsi a questa situazione. Per alcuni, la soluzione è continuare a investire il più possibile per mantenere l'attuale sistema per tutto il tempo possibile nelle zone più adatte. Per altri, trovare altre forme di turismo, diversificare, aprirsi ad altre attività è un imperativo e allo stesso tempo un'opportunità di rinnovamento economico per il territorio.

Agricoltura

In confronto ad altri problemi, in particolare i conflitti di utilizzo con lo sviluppo dell'uso delle mountain bike, la pressione urbanistica, i prezzi bassi, l'insorgere di malattie, ecc., il cambiamento climatico non è considerato un problema reale dagli agricoltori incontrati. Essi rilevano tuttavia effetti positivi, come il fatto che l'erba cresce di più e ciò consente due falciature all'anno, o la possibilità di lasciare gli animali all'aperto più a lungo (in autunno come in primavera).

D'altra parte, induce anche un cambiamento nelle pratiche che possono apparire più negative, come la necessità di portare acqua agli animali in estate a quote di circa 800m, che genera lavoro supplementare in un periodo già impegnativo (nel bel mezzo della stagione del fieno).

Hanno inoltre osservato un aumento dell'essiccazione dei pascoli sui pendii. Inoltre, le praterie naturali delle zone umide dell'Haut Chablais, che finora hanno sofferto poco di siccità, sembrano più degradate che altrove dalle invasioni di arvicole (Guillot, 2017). Lo sottolinea un agricoltore che parla dei danni causati dai topi:

«Dobbiamo erpicare, è un massacro. Ciò riduce la redditività»

A prima vista, quindi, la questione del cambiamento climatico non sembra essere un problema grave per gli agricoltori. In alcuni casi può anche essere messa in discussione, in quanto il cambiamento climatico è considerato un fenomeno normale e di lunga data. Tuttavia, alcuni dei problemi inizialmente sollevati come i più preoccupanti possono essere direttamente collegati al cambiamento climatico. È il caso, ad esempio, dello sviluppo di alcune malattie o parassiti che possono colpire sia gli animali che le piante. Lo stesso vale per il conflitto d'uso con la pratica della mountain bike, che, come si è detto, può essere considerata come una possibile risposta alla diminuzione della copertura nevosa osservata negli ultimi decenni.

Il cambiamento climatico: un'opportunità per sviluppare un nuovo modello economico per la valle?

Se l'evocazione dei cambiamenti climatici si riferisce generalmente ai problemi, alcuni attori della CCHC esprimono tuttavia il desiderio di considerare i cambiamenti climatici come un'opportunità che costringe a riesaminare le scelte attuali e impegnarsi a diversificare il modello economico della valle. Alcune derivazioni vengono allora evocate, come ad esempio :

- La strutturazione della filiera del legno
- Lo sviluppo di spazi per il co-working
- La valorizzazione dei produttori locali in relazione al geoparco

9.4.3. SALVAGUARDIA DELLA BIODIVERSITÀ

Il cambiamento climatico ha e avrà un impatto sulla biodiversità dell'Haut-Chablais. Più che una rivoluzione o un'estinzione di massa, si tratta di un'evoluzione lenta e progressiva che avanza con piccoli passi.

Risalita in latitudine delle specie

Le osservazioni di un botanico alla scala dell'Haute-Savoie mostrano che alcune specie vegetali risalgono dal sud; gli elementi più sorprendenti sono: una specie di orchidea, la barli robertiana (che si trovava sulla costa mediterranea 40/50 anni fa), l'orchis spitzelii (osservata nei Bauges 15 anni fa, l'anno scorso alla Chapelle d'Abondance), la dittrichia viscosa (trovata tre anni fa ai piedi del Saleve), le asteraceae a fiore giallo (che esplodono un po' in tutto il territorio).

Per quanto riguarda la fauna, quest'inverno è stato osservato il primo sciacallo dorato nell'Haut-Chablais.

Risalita delle specie in altitudine

A causa delle temperature più elevate, le specie stanno gradualmente risalendo anche in altitudine. A questo proposito, una posta in gioco importante per il territorio è la risalita della foresta a scapito degli alpeggi, e ciò in termini paesaggistici, economici (aree sciistiche), ma anche di biotopi (in particolare per il fagiano di monte e la pernice bianca, come si dirà a breve). Questa risalita è riscontrata da un gran numero di operatori. Per il momento, tuttavia, non si tratta di una risalita complessiva, ma piuttosto dell'intrusione di alcune specie per punti. Ciò non è dovuto solo al cambiamento climatico, ma anche al graduale abbandono dei pascoli da parte degli agricoltori. Alla fine, il bosco riprende il suo posto. Ma, per il botanico incontrato: «È ovvio che sta risalendo».

Ad oggi, un bilancio positivo?

Oggi, secondo le persone che abbiamo incontrato, non osserviamo ancora realmente perdite di vegetazione: «Per il momento, stiamo guadagnando più specie di quante ne stiamo perdendo» (un botanico). Il cambiamento climatico può anche essere visto come un'opportunità per gli uccelli migratori, che ora trovano cibo tutto l'anno e non devono più necessariamente andarsene.

Infine, le perdite osservate oggi sono più legate alle attività umane dirette (edilizia, uso di pesticidi in agricoltura) che ai cambiamenti climatici. Di conseguenza, possiamo osservare la scomparsa dei biotopi, ma non necessariamente di specie.

Ma sul lungo termine...?

In ultima analisi, tuttavia, l'impatto potrebbe essere più negativo di quello attuale.

«Quando si perdono delle specie, spesso si tratta di specie di interesse» (un botanico).

L'impatto su certe specie è probabile a causa del graduale riscaldamento delle temperature: in un dato momento, non saranno più in grado di risalire in quota. Per quanto riguarda la flora, si tratta in particolare delle specie che crescono al freddo nelle torbiere. Alcune piante si muovono più facilmente di altre. È quindi possibile che alcune di esse scompaiano.

Anche la fauna è vulnerabile a lungo termine. Il fagiano di monte e la pernice bianca rischiano di essere molto colpiti dai cambiamenti climatici, subendo un duplice effetto: (1) la risalita della foresta (mentre il loro habitat è la fascia tra foresta e prato) e (2) la diminuzione dell'innevamento e di inverni veri e propri. Oggi, la tendenza è verso la stabilità, secondo i conteggi condotti dalla federazione venatoria. Il progetto di osservatorio realizzato dalla *Fédération de chasse 74* nel quadro di un progetto Interreg, in partenariato con *Les Portes du Soleil*, va in questa direzione. L'idea è quella di mettere i dati a disposizione delle stazioni di sci per aiutarle a tenere conto del fagiano di monte nelle loro scelte gestionali.

Lo sviluppo di piante invasive

Un'altra sfida per la biodiversità legata al cambiamento climatico è il possibile sviluppo di piante invasive (cioè piante esotiche che possono generare interferenze). Possiamo già osservare specie che progrediscono sempre di più, ma per le quali è difficile parlare di piante invasive, come l'*Inula graveolens* che si può osservare lungo le autostrade, ma che non è di origine esotica (mediterranea). Anche il Senecione sudafricano sta crescendo rapidamente, ma è difficile stabilire un legame diretto con il cambiamento climatico.

La gestione delle foreste

Una delle principali sfide legate a questa evoluzione della biodiversità, e più in generale al cambiamento climatico, è la gestione delle foreste, a causa della fragilità delle essenze e della difficoltà di sapere quali specie piantare oggi.

I forestali stanno osservando a livello globale un aumento delle malattie che indeboliscono le specie. Gli alberi di frassino sono affetti da sciarosio e non sono più piantati. Gli alberi di abete rosso, d'altra parte, sono pesantemente colpiti da ripetuti attacchi di coleotteri della corteccia. Prima, gli attacchi tornavano ogni 10 anni. Oggi, la frequenza è aumentata e questo è dovuto a due fattori: 1) gli insetti non scompaiono più a causa dell'assenza di periodi freddi e 2) gli alberi sono più fragili a causa della siccità. Tuttavia, non c'è davvero modo di controllare i coleotteri della corteccia (le trappole a feromoni non funzionano molto bene). In termini di prevenzione, i tronchi attaccati devono essere rimossi perché i coleotteri della corteccia passano sotto la corteccia. Il problema è che spesso è troppo tardi: una volta che l'albero è morto, l'insetto è già ripartito.

Un altro problema per i forestali è la previsione della specie da piantare: «*concretamente, quando un bosco si rigenera, l'abete raggiungerà la maturità?*». Inoltre, «*abbiamo specie più marittime che potrebbero essere meglio adattate in 100 anni ma che oggi non lo sono*» (un funzionario del NFB). Il faggio e l'abete sostituiscono gradualmente l'abete rosso, ma la trasformazione di queste specie è meno controllata a livello locale. Il faggio in montagna ha troppa tensione interna per produrre legname e viene utilizzato più come legna da ardere o pallet.

Oggi, la risposta del NFB in termini di gestione è duplice: 1) diversità genotipica e di specie e 2) rigenerazione naturale.

9.4.4. TUTELA DELLA SALUTE E DELLA SICUREZZA

L'impatto dei cambiamenti climatici sulla salute e la sicurezza sul territorio è stato spesso affrontato dagli attori incontrati. Si manifesta sotto varie forme: l'arrivo di nuovi agenti patogeni, l'evoluzione dei rischi naturali e il possibile deterioramento della qualità dell'aria.

Nuovi agenti patogeni

Secondo un esperto di fauna, flora e caccia, stanno emergendo nuovi problemi legati al cambiamento climatico. Nell'inverno 2018, il territorio è stato colpito dalla febbre catarrale bovina (legata ad un insetto che non era presente prima). Si osservano anche patologie legate alle zecche: una specie come il camoscio che non aveva problemi di zecche ne è oggi vittima, con conseguenze come lo sviluppo di ehrlichiosi che possono causare morte, aborti e potenzialmente una zoonosi (trasmissibile all'uomo o alle mucche). Questa proliferazione di zecche fino a 1.300 m pone problemi anche per gli esseri umani, in particolare per i tecnici dell'ONF, che sono particolarmente esposti al rischio.

Tecnici ambientali che abbiamo incontrato hanno anche menzionato la comparsa di patologie provenienti dall'Africa: febbre del Nilo, chikungunya.

L'evoluzione del rischio valanghe

In una situazione variabile e non univoca per quanto riguarda l'esposizione del territorio ai rischi naturali, la questione dell'evoluzione dei rischi naturali associati ai cambiamenti climatici non appare agli attori dell'Haut-Chablais così rilevante come potrebbe essere per altri settori o tematiche. Tuttavia, a causa della sua condizione di territorio di media montagna in un contesto di cambiamento climatico, la questione dei rischi naturali è destinata ad evolversi nei prossimi anni.

In particolare, per quanto riguarda il rischio legato all'evoluzione del regime delle valanghe, emergono due punti.

Innanzitutto, a causa della risalita del limite di innevamento, ci si può aspettare una diminuzione del numero di valanghe a bassa quota.

In secondo luogo, a causa del cambiamento nella stagionalità, che comporta variazioni di temperatura molto elevate nella stessa stagione, ci si può aspettare che i tipi di valanghe si modifichino, con un aumento delle valanghe di neve bagnata, che possono presentare volumi molto estesi nello spazio e generare pressioni maggiori rispetto alle valanghe fredde e secche.

Inoltre, il cambiamento nella stagionalità può anche essere all'origine di una nuova tipologia di rischio caratterizzata da un fenomeno di "pioggia sulla neve" che si traduce in flussi potenzialmente significativi di acqua sulla neve. Questi fenomeni sono stati molto osservati all'inizio del 2018 nel contesto di un mese di gennaio particolarmente caldo, inframmezzato in un inverno freddo e caratterizzato da un importante innevamento.

Gli incendi

Come per le valanghe, l'aumento del rischio di incendi, anche se non particolarmente significativo nell'Haut-Chablais, è legato, come in tutte le Alpi settentrionali, ad un cambiamento nella stagionalità. Ciò si traduce in un prolungamento della stagione degli incendi boschivi in primavera.

Qualità dell'aria

A causa della vicinanza della valle dell'Arve, la questione della qualità dell'aria è spesso sollevata dagli stakeholder incontrati. Tuttavia, è difficile fare un bilancio dello stato dell'aria nell'Haut-Chablais, in quanto il territorio non dispone di centraline di rilevazione. Alcune persone si preoccupano ed evocano gli strani colori del cielo che non vedevano prima (nuvole gialle). Tuttavia, non vi sono osservazioni concrete per verificare la pertinenza di tali timori.

Le poste in gioco legate al cambiamento climatico sono di due ordini:

- Il riscaldamento delle temperature in inverno potrebbe aumentare l'altitudine delle inversioni di temperatura, un fenomeno che non permette la dispersione degli inquinanti mantenendoli al contrario nella valle. Secondo un rappresentante di un'associazione ambientalista, il livello attuale è di circa 1200 metri. In questo senso, egli si rammarica che a livello territoriale non sia condotta alcuna riflessione sull'impatto dei caminetti chiusi sulla qualità dell'aria.
- Il riscaldamento delle temperature in estate favorirà episodi di inquinamento da ozono che saliranno ad altitudini più elevate.

9.4.5. L'EQUILIBRIO NEL TERRITORIO

Oggi il territorio si trova in un equilibrio tra l'alta valle e la bassa valle, pur con disuguaglianze di reddito e di attività: «*le medie località si considerano periferie operaie*» (un gestore di impianti di risalita). A lungo termine, il cambiamento climatico rischia di accentuare queste disparità concentrando l'attività turistica e la produzione di ricchezza in uno o due comuni, favorendo forse l'aumento delle disuguaglianze in termini di prezzi dei terreni, ecc.

9.4.6. GOVERNANCE: COSTRUZIONE COLLETTIVA DEL TERRITORIO

Gli effetti del cambiamento climatico richiedono approcci concertati al fine di sviluppare soluzioni adattate e pertinenti per il territorio in relazione alle questioni in gioco. La valle dispone di risorse sotto forma di strutture che favoriscono il dialogo: la CCHC, il Geoparco, il SIAC, Natura 2000.

Tuttavia, alcuni attori deplorano i metodi di lavoro che sono ancora compartimentati e che richiederebbero un maggiore dialogo (ad esempio nel settore del turismo o dell'agricoltura).

Preoccupazioni sono espresse anche per la mancanza di consapevolezza del cambiamento climatico e dei suoi effetti, nonché per la mancanza di dati o di monitoraggio in materia. Per molti, il sistema è ancora oggi così redditizio dal punto di vista economico che non ha senso metterlo in discussione. Un altro motivo è evocato: «*Il sistema delle stagioni è particolare, è un ritmo a parte. Di notte si è stanchi,*

non si vuole necessariamente essere informati, forse è per questo che non si cambia modello» (una guida alpina)

Una disponibilità esiste sul territorio, nonostante tutto:

- *«Mettersi in rete, mantenere il desiderio, sentirsi meno soli, rendersi conto che gli altri hanno le stesse difficoltà»* (Un'associazione ambientalista)
- *«Se conosci meglio ciò che l'altro sta facendo, sei meglio in grado di capire»* (una guida alpina).

9.4.7. PRODUZIONE E CONSUMO DI ENERGIA

L'impatto del cambiamento climatico sull'energia è ambivalente. Da un lato, il consumo può aumentare a causa di nuovi usi (come la produzione di neve artificiale, ad esempio). D'altra parte, temperature invernali più calde possono ridurre il consumo per riscaldamento.

Per quanto riguarda la produzione di energia, si pone la questione della disponibilità di acqua per la produzione di energia idroelettrica¹⁶.

¹⁶ A titolo di promemoria, nonostante le richieste, non si è stati in grado di incontrare EDF.

10. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NEL PARCO NATURALE REGIONALE DEL MASSICCIO DEI BAUGES

10.1. I DATI DISPONIBILI SUGLI IMPATTI

In termini di osservazioni climatiche, non si è a conoscenza di dati specifici sulla scala dei Bauges, quindi verranno utilizzati i dati della scheda tematica ORECC sulla *Communauté d'agglomération* di Chambéry e la *Communauté des communes du Cœur des Bauges* (ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018).

Per quanto riguarda le proiezioni, ci si basa su uno studio condotto dal *Centre national de recherches météorologiques* (CNRM, Météo-France/CNRS associato all'Università di Tolosa e all'Università Grenoble Alpes per il *Centre d'études de la neige*) e dall'équipe ETNA dell'Irstea a Grenoble. L'obiettivo di questo studio era quello di fornire nuove proiezioni sulla neve a media quota nel massiccio alpino settentrionale. I ricercatori si sono affidati alle proiezioni di ultima generazione sul clima globale (CMIP5) che hanno alimentato una serie di modelli climatici regionali nell'ambito del programma EUROCORDEX. Questa serie di proiezioni climatiche è stata adattata per essere utilizzata per le montagne francesi con il metodo ADAMONT sviluppato presso il CNRM, poi ha alimentato il modello Crocus di evoluzione del manto nevoso (Verfaillie et al., 2017).

10.1.1. UN RISCALDAMENTO GLOBALE

Uno dei principali effetti del cambiamento climatico è l'aumento globale delle temperature.

Nella scheda elaborata dall'ORECC per i Bauges, la stazione meteo di riferimento per le temperature è Cran-Gevrier, situata a 426 m di altitudine e rappresentativa del clima del territorio. Le misurazioni condotte dal 1945 mostrano un riscaldamento medio di 1,7° (ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018).

Come mostrato in figura 10.1, l'inizio del fenomeno del riscaldamento è osservabile dal 1988: da allora la maggior parte degli anni ha registrato temperature superiori alla media e ogni record di calore è stato via via superato.

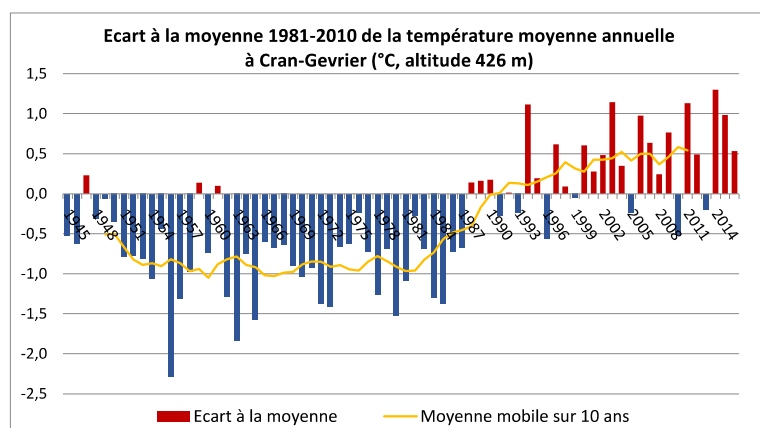


Figura 10.1. Proiezione dell'evoluzione della temperatura invernale tra dicembre e aprile nei Bauges (a 600, 1200 e 2100 m). Fonte: ORECC Auvergne-Rhone-Alpes (2018)

Il riscaldamento estivo è più marcato (+2,4°) rispetto alle altre stagioni, come mostrato in tabella 10.1.

Inverno	+1,6°C
Primavera	+1,6°C
Estate	+2,4°C
Autunno	+1,2°C
Media annuale	+1,7°C

Tabella 10.1. Evoluzione delle temperature medie a Cran-Gevrier tra il 1945 e il 2016 (426m). Fonte: ORECC Auvergne-Rhone-Alpes (2018)

Le variazioni di temperatura interannuali sono significative e lo rimarranno anche nei prossimi decenni. Tuttavia, le proiezioni a lungo termine in Auvergne-Rhône-Alpes indicano una continuazione della tendenza al riscaldamento già osservata fino al 2050, indipendentemente dallo scenario. Nella seconda metà del XXI secolo, l'evoluzione della temperatura media annua varia a seconda dello scenario di evoluzione delle emissioni di gas a effetto serra considerato. Secondo le proiezioni (figura 10.2), il riscaldamento delle temperature in inverno aumenterà nei Bauges, qualunque sia l'altitudine (600, 1200 o 2100m): da +1 a +6°C secondo gli scenari considerati.

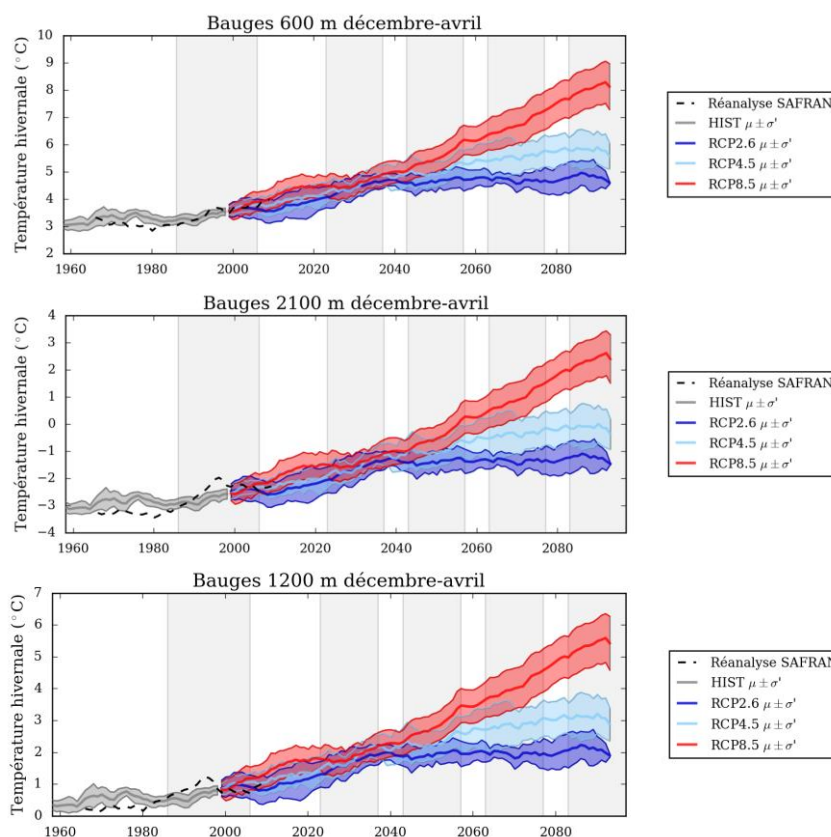


Figura 10.2. Proiezione della temperatura invernale media nei Bauges a 600, 1200 e 2100m. Fonte: Verfaillie et al. (2017)

10.1.2. UNA RIDUZIONE DEL NUMERO DI GIORNI DI GELO

Nel suo profilo climatico territoriale, l'ORECC (2018) utilizza la stazione di misurazione di Thônes (630 m) come riferimento per il numero di giorni di gelo. Le misurazioni mostrano una diminuzione di 20,1 giorni tra il 1957-86 e il 1987-2016 (figura 10.3). Come mostrano la figura 10.4 e la tabella 10.2, il calo maggiore nei giorni di gelo si verifica in primavera.

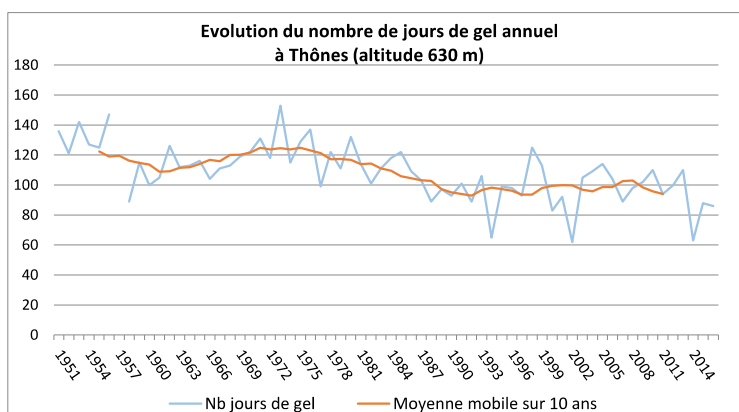


Figura 10.3. Evoluzione del numero di giorni di gelo per anno a Thones (1951-2016 - altitudine 630 m).
Fonte: ORECC Auvergne-Rhone-Alpes (2018)

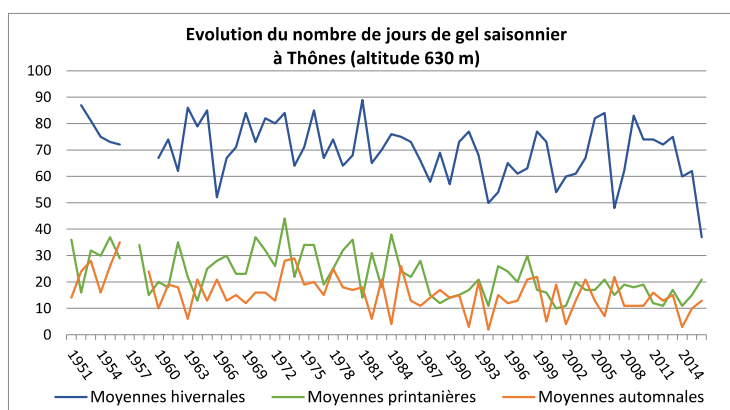


Figura 10.4. Evoluzione del numero di giorni di gelo stagionali a Thones (altitudine 630 m). Fonte: ORECC Auvergne-Rhone-Alpes (2018)

Inverno	-8,1
Primavera	-9,4
Estate	+0,0
Autunno	-4,1
Media annuale	-20,1

Tabella 10.2. Evoluzione del numero di giorni di gelo stagionali a Thones (altitudine 630 m) per stagione tra il 1957-86 e il 1987-2016. Fonte: ORECC Auvergne-Rhone-Alpes (2018)

10.1.3. PRECIPITAZIONI MOLTO VARIABILI

Per le precipitazioni, l'ORECC si basa sui dati raccolti presso la stazione meteorologica di Challes-les-Eaux. La figura 10.5 mostra un'ampia variabilità da un anno all'altro che rende difficile individuare una chiara tendenza nell'evoluzione delle precipitazioni a partire dal 1950. Sussistono forti incertezze circa la futura evoluzione di queste precipitazioni (ORECC Auvergne-Rhône-Alpes, 2018). Se si prendono in considerazione più specificamente le precipitazioni invernali, le proiezioni per i Bauges non permettono di definire tendenze evidenti per la fine del secolo (figura 10.6).

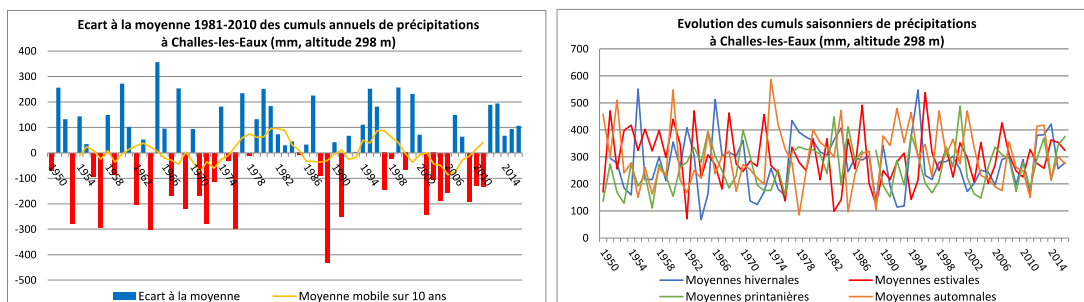


Figura 10.5. Evoluzione degli accumuli annuali e stagionali di precipitazioni à Challes-les-Eaux (1950-2016 - altitudine 298 m). Fonte: ORECC Auvergne-Rhone-Alpes (2018)

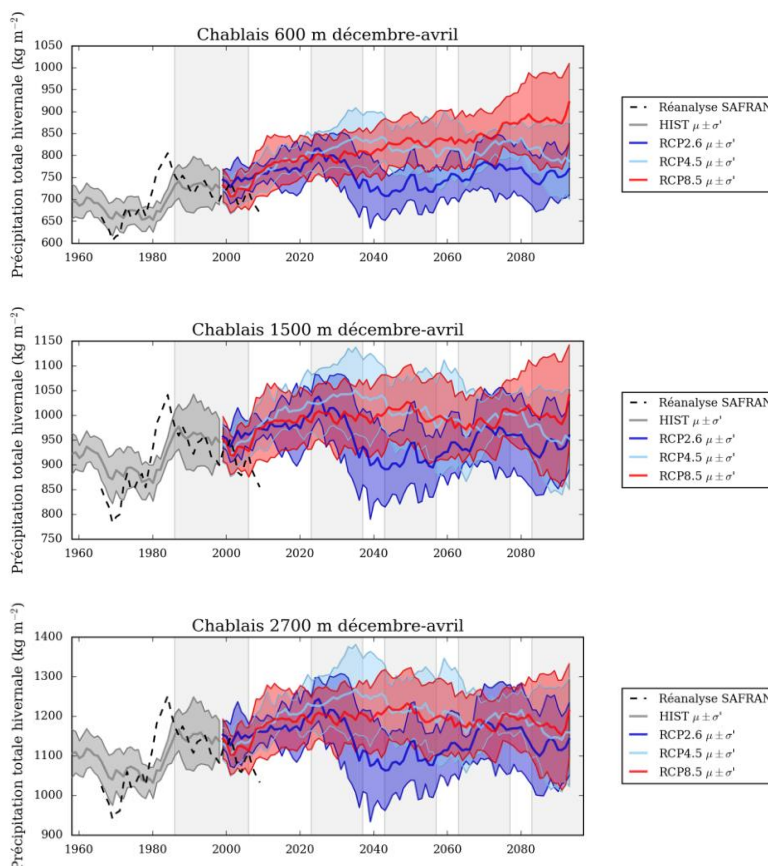


Figura 10.6. Proiezioni delle precipitazioni invernali totali nei Bauges a 600, 1200 e 2100 m). Fonte: ORECC Auvergne-Rhone-Alpes (2018)

10.1.4. UNA DIMINUZIONE DELL'INNEVAMENTO

La tabella 10.3 presenta alcuni elementi di sintesi sull'innnevamento nell'area dei Bauges riferiti alla seconda metà del Novecento e all'inizio degli anni Duemila

Spessore massimo del manto nevoso invernale sul periodo novembre-aprile 1959-2005 (cm)	117 (1200m) 212 (1800m)
Numero medio di giorni con neve al suolo sul periodo 1959-2005	158 (1200m) 214 (1800m)
Data di inizio dell'innnevamento continuo. Media sul periodo 1959-2005	8 Dic (1200m) 18 Nov (1800m)
Data di fine dell'innnevamento continuo. Media sul periodo 1959-2005	7 Mag (1200m) 6 Giu (1800m)

Tabella 10.3. Informazioni sull'innnevamento nel territorio dei Bauges. Fonte: Durand et al. (2009a)

I partecipanti al gruppo "Turismo" al workshop di gennaio 2018 (si veda 10.2) hanno segnalato una diminuzione dell'innnevamento. Questa tendenza negativa rilevata a livello globale a partire dagli anni '60 è integrata nella proiezione che simula le tendenze dell'innnevamento sui Bauges fino alla fine del secolo. Nello scenario peggiore (RCP8.5), esso scompare quasi fino a 1200 m (figura 10.7).

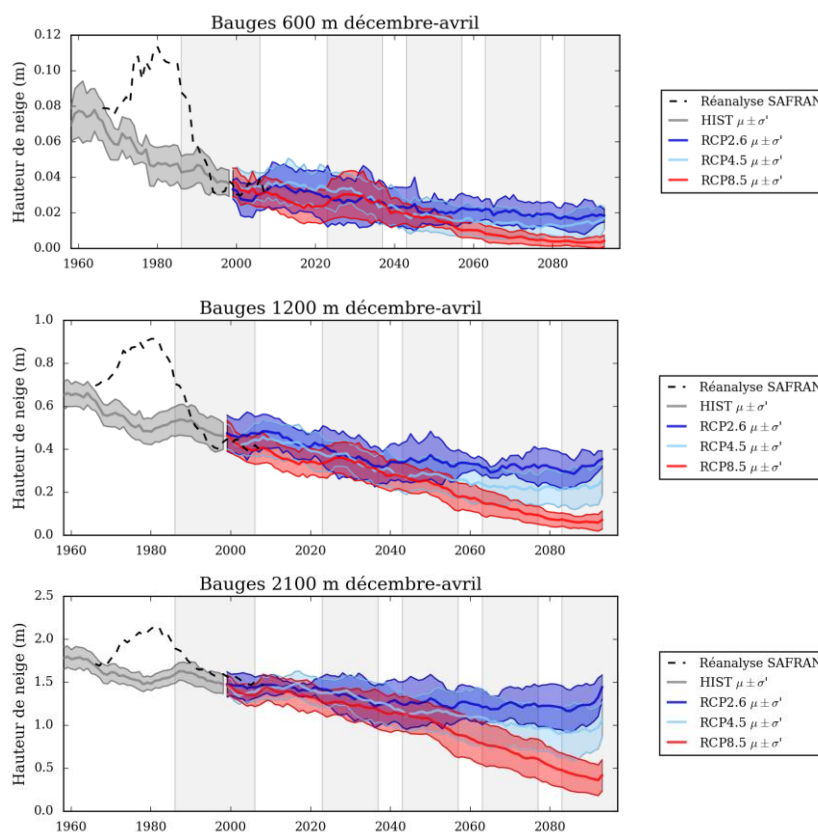


Figura 10.7. Proiezioni dell'altezza della neve nei Bauges a 600, 1200 e 2100m

Questa proiezione è confermata da quelle sulle date di inizio e fine della stagione dell'innevamento, sviluppate sempre dello studio del CEN, che mostrano un netto accorciamento di tale stagione (figura 10.8). Tuttavia, vi sono differenze a seconda dell'altitudine: se a 600 metri le proiezioni presentano una stagione ristretta in febbraio per il 2080, l'impatto è più moderato a 2100 metri (a seconda degli scenari: da dicembre a giugno per quello più ottimista, da gennaio ad aprile per quello RCP8,5).

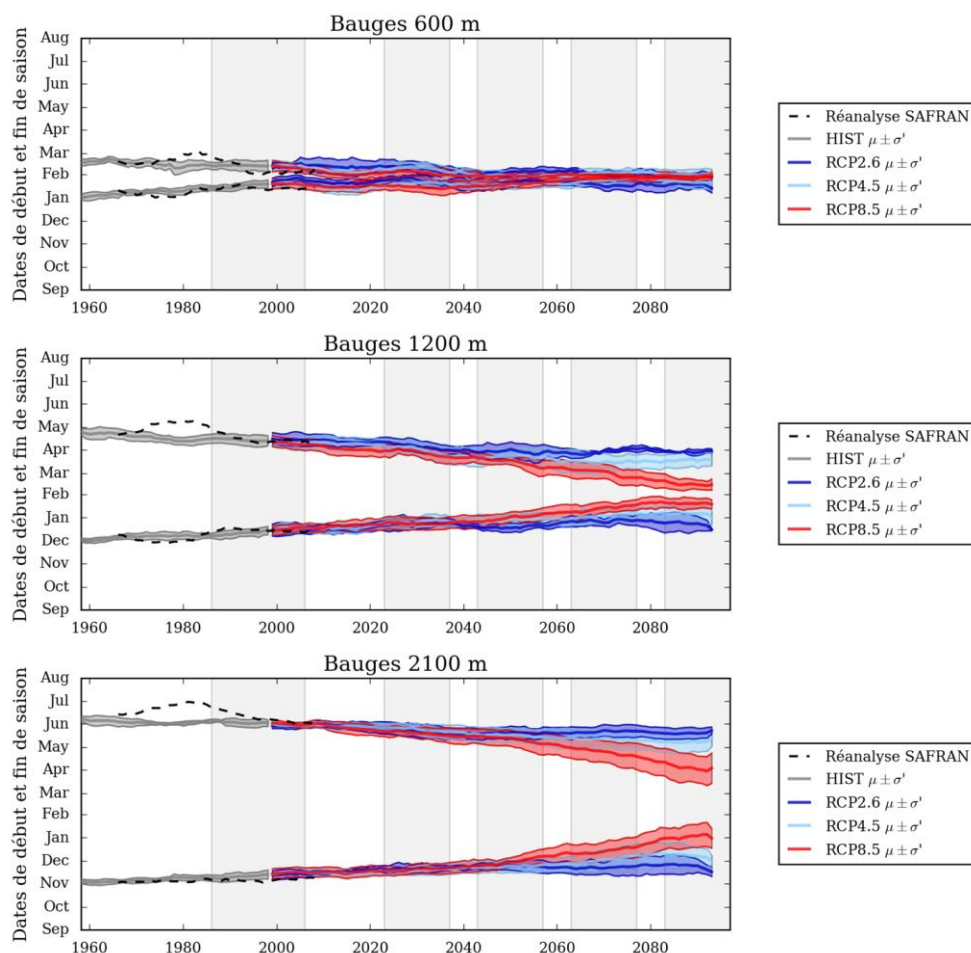


Figura 10.8. Proiezioni dell'inizio e della fine dell'innevamento nei Bauges a 600, 1200 e 2100 m

La tabella 10.4 presenta alcune proiezioni tratte dal progetto SCAMPEI. Il range di variabilità degli indici estratti per i due casi studio francesi del progetto ARTACLIM è legato ai diversi modelli utilizzati nel progetto e ai diversi scenari esplorati (A1b, A2, B1). Il periodo di riferimento è il 1961-1990.

Futuro prossimo: 2030	
Evoluzione dell'altezza della neve	-40% ; -55% (1200m) -20% ; -41% (1800m)
Evoluzione della durata annuale dell'innevamento	-20% ; -29% (1200m) -9% ; -16% (1800m)
Futuro lontano: 2080	
Evoluzione dell'altezza della neve	-67% ; -86% (1200m) -38% ; -72% (1800m)
Evoluzione della durata annuale dell'innevamento	-36% ; -63% (1200m) -16% ; -42% (1800m)

Tabella 10.4. Proiezioni sull'innevamento nell'area dei Bauges. Fonte: <http://www.umr-cnrm.fr/scampe/cen/index.php>

10.1.5. MINORI PORTATE D'ACQUA NEL CHÉRAN

Le portate medie sono diminuite del 13% e quelle primaverili del 25% tra prima e dopo il 1988 (figura 10.9), a causa di diversi fattori: l'aumento delle temperature e dell'evapotraspirazione, lo scioglimento sempre più rapido di una coltre nevosa sempre meno consistente (che provoca inoltre un anticipo del picco di piena da aprile a marzo), il tutto insieme all'avvio anticipato della fase vegetativa (Chaix, 2016).

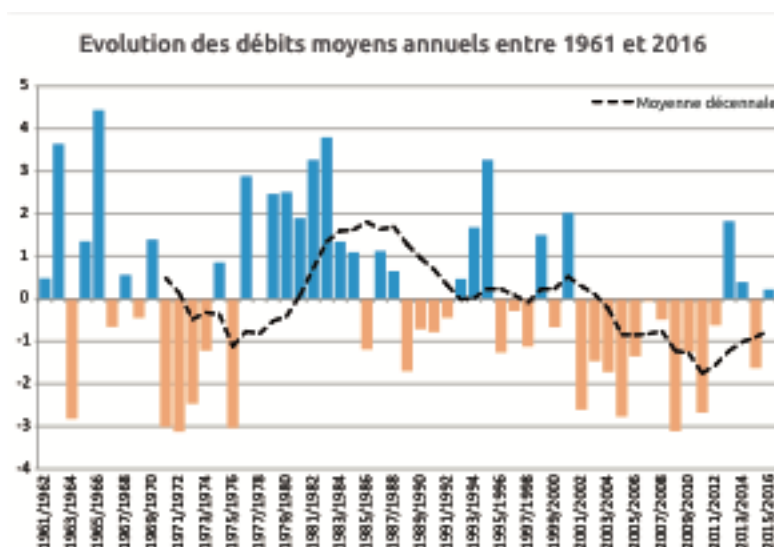


Figura 10.9. Scostamenti delle portate medie annue (sett. - ott.) del Chéran in m^3/s dalla media 1961-2016. Fonte: Chaix (2016)

10.1.6. I RISCHI NATURALI

Il territorio del massiccio dei Bauges, pur rimanendo moderatamente esposto, è comunque regolarmente colpito da calamità naturali (figura 10.10). L'analisi mostra che l'estate e l'inverno sono le due stagioni con il maggior numero di eventi meteorologici che provocano danni. La loro distribuzione sul territorio è omogenea, con una leggera prevalenza per i comuni situati lungo il lago di Annecy (PNR du Massif des Bauges, 2014).

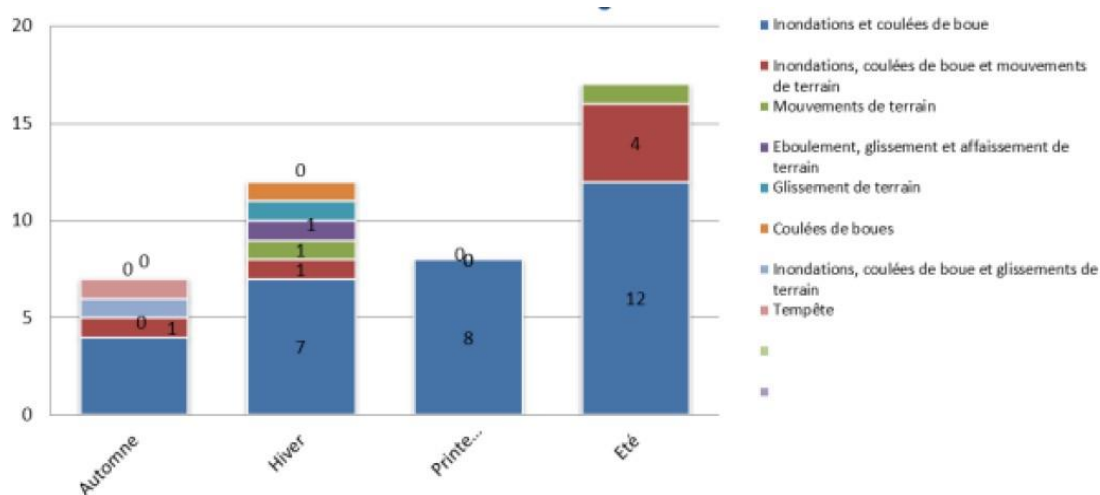


Figura 10.10. Catastrofi naturali sul territorio del PNR del Massiccio dei Bauges tra il 1981 e il 2012. Fonte: PNR du Massif des Bauges (2014)

Sebbene attualmente sotto controllo, la frana di Châtelard, attivatasi per la prima volta nel 1931 e una delle più importanti nella storia delle Alpi, è ancora sotto sorveglianza (con una riattivazione di 200.000 m³ nel 2015), a dimostrazione che, anche se il problema dei rischi naturali non è attualmente il più importante per gli attori del territorio, può evolversi rapidamente e richiede un monitoraggio permanente. L'evento è stato all'origine del film *Les Maîtres du Mont Déserté* coprodotto dall'IRMa, dall'ONF e dall'RTM, disponibile sul sito web dell'IRMa.

10.1.7. IN SINTESI

I seguenti elementi possono essere sintetizzati dalle informazioni presentate sugli effetti dei cambiamenti climatici sul territorio:

- mancanza di dati alla scala locale (i rapporti dell'OREC si basano sulle stazioni di Cran-Gevrier, Thônes, Challes les Eaux);
- forti incertezze sull'evoluzione delle precipitazioni;
- diminuzione dell'innnevamento (nello scenario peggiore, fino quasi alla sua scomparsa fino a 1.200 m) e riduzione della sua durata;
- diminuzione della portata del Cheran.

10.2. LE PERCEZIONI DEGLI ATTORI DEL TERRITORIO SUL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Questa parte è basata su un workshop organizzato dal Parco il 24 gennaio 2018, in cui sono stati riuniti attori del territorio e responsabili del Parco. L'obiettivo era quello di definire gli orientamenti strategici del progetto. L'organizzazione del workshop è stata la seguente:

- riepilogo delle sfide del cambiamento climatico nelle Alpi e nei Bauges in sessione plenaria;
- riflessione in 5 sottogruppi – compresi i 4 settori di vulnerabilità individuati nel PCET (PNR du Massif des Bauges, 2014b) – per segnalare gli impatti già osservati, gli impatti previsti e le azioni di adattamento già attuate: 1) agricoltura, 2) foresta, 3) turismo, 4) biodiversità / risorse naturali / rischi;
- restituzione e intervento di Stéphane Labranche in seduta plenaria

Verranno qui presentati gli esiti del workshop.

10.2.1. WORKSHOP RISCHI E BIODIVERSITÀ

Il RTM osserva che le valanghe sono più frequenti e scendono sempre più in basso nella valle. Per gli attori presenti, questo fenomeno è preoccupante, anche se è ben noto e monitorato.

Gli attori presenti al workshop hanno menzionato un aumento degli incendi boschivi e hanno identificato questo come un tema emergente.

La diminuzione della portata del Chéran è un fattore di preoccupazione per gli attori presenti. Essi osservano inoltre che il periodo di bassa si sta allungando (125 giorni all'anno al di sotto del livello di bassa).

Le idee forti emerse dal workshop sono le seguenti:

- c'è la necessità di comprendere meglio i fenomeni, con uno sguardo certamente globale ma anche locale perché i Bauges presentano specificità territoriali. Si tratterebbe di istituire meccanismi di monitoraggio locale sull'esempio del *Syndicat Mixte Interdépartemental d'Aménagement du Chéran*; le conoscenze locali consentono una risposta adeguata, in particolare nel settore della pianificazione;
- una volta acquisiti i dati, si dovrebbero analizzare e discutere collettivamente;
- dovrebbero essere condotte azioni di sensibilizzazione, condivisione delle informazioni, trasversalità, nonché studi sociologici per conoscere le percezioni del grande pubblico su questi fenomeni;
- la visione conservatrice della biodiversità deve essere riposizionata per quanto riguarda il cambiamento climatico, le sfide vanno ridefinite e le politiche pubbliche vanno adeguate ad esse. La strategia per la biodiversità del Parco, nella sua revisione, deve essere parte di questa visione evolutiva della biodiversità;
- deve essere messa in discussione la capacità di adattamento dell'area;
- vi sono incertezze sulle scelte da compiere in questo periodo di transizione. È necessario fare delle prove, il territorio del Parco è certamente adattato per svolgere questi test.

10.2.2. WORKSHOP AGRICOLTURA

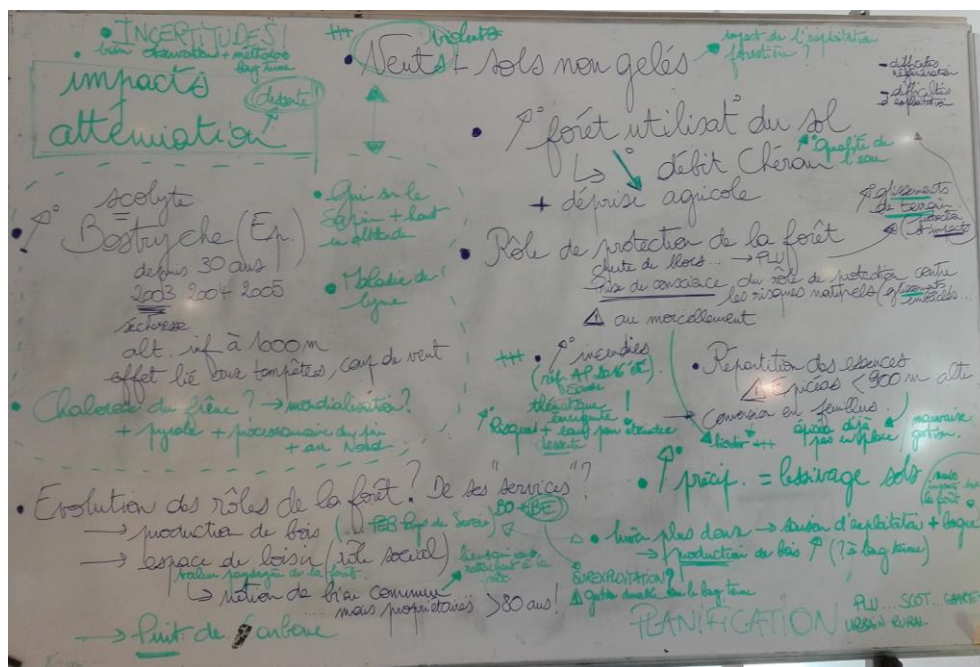
Gli effetti del cambiamento climatico sull'agricoltura emersi dal workshop sono i seguenti:

	Effetti sui ritmi	Effetti sullo spazio
Positivi	<p>Precocità della vegetazione: permette più raccolti.</p> <p>Resilienza: allevamento estensivo. Effetto limitato dei cambiamenti di ritmo</p> <p>Viticoltura: quantità e qualità del vino</p>	<p>Zone umide diventano accessibili perché si seccano naturalmente</p>
Negativi	<p>Aumento dei costi di produzione</p> <p>Gelo tardivo, grandine</p> <p>Parassiti</p> <p>Ciclo vegetativo più breve</p> <p>Rapidi cambi di qualità</p> <p>Pressione sulle attività</p> <p>Maggiore richiesta di soluzioni tecniche</p>	<p>Concorrenza nel settore del legno - altri usi</p> <p>Risalita del bosco: qualità del paesaggio</p> <p>Accesso all'acqua e conflitti d'uso</p> <p>Concorrenza con lo sviluppo insediativo</p> <p>Adattamento, pratiche di gestione del foraggio</p>

Da queste constatazioni sono emerse proposte di azioni da mettere in opera :

- pianificazione :
 - tutelare i terreni agricoli,
 - limitare l'espansione urbana,
 - consorziare i terreni per un migliore sfruttamento,
 - promuovere il cambiamento delle pratiche per un migliore adattamento ai cambiamenti climatici;
- valutazione di fattibilità:
 - volontà politica,
 - sostegno finanziario,
 - problema del cambiamento della cultura di trasmissione del patrimonio (vendita di terreni agricoli);
- accompagnare la transizione:
 - sviluppo di filiere corte,
 - decisioni locali: mense ecc.,
 - far conoscere le associazioni e le iniziative che vanno in questa direzione,
 - incentivi per sviluppare ricettività nelle fattorie (nuove competenze e nuovi posti di lavoro),
 - decisioni politiche attuali in questa direzione
- formazione :
 - nelle scuole agrarie,
 - nelle *maisons familiales*,
 - sensibilizzazione nelle scuole, nei collegi, nei licei;
- utilizzo di energie rinnovabili;
- gestione e condivisione delle risorse idriche.

10.2.3. WORKSHOP FORESTE



Gli attori del workshop sulle foreste segnalano una risalita delle essenze: l'abete rosso risale oltre i 900 m e viene gradualmente sostituito dalla latifolia. Peraltro, le scelte di piantumazione effettuate alcuni anni fa non sembrano necessariamente molto adatte al cambiamento climatico. Si assiste quindi all'abbattimento di alberi da parte del vento che destabilizza il suolo e un aumento delle zone aperte che favorisce l'aumento dei fenomeni erosivi.

Viene sottolineata la maggiore vulnerabilità del bosco dovuta allo sviluppo di malattie e agenti patogeni: l'aumento negli ultimi 30 anni del bostrico (uno dei più diffusi scarabei della corteccia) a causa soprattutto delle ripetute siccità (2003, 2004, 2005), la Chalara fraxinea, la processionaria dei pini, il vischio sugli abeti d'alta quota. Allo stesso tempo, le zecche sono in aumento.

Un effetto positivo dei significativi cambiamenti climatici è legato alla minor rigidità degli inverni, che consente una stagione di raccolto più lunga e quindi un aumento della produzione. Ma quale impatto può avere sulla foresta nel lungo periodo?

I partecipanti del workshop arrivano a porre la questione dell'evoluzione dei servizi ecosistemici della foresta a causa di questi effetti: produzione di legno, spazio per il tempo libero, deposito del carbonio, protezione del suolo ecc.

10.2.4. WORKSHOP TURISMO

Gli impatti attuali

Per quanto riguarda il turismo invernale, gli attori segnalano effetti già osservabili: la diminuzione del giro d'affari degli impianti di risalita e delle settimane bianche per i bambini.

La stazione di Aillon le Jeune è in procedura di salvaguardia: che ne sarà dei 350 posti di lavoro a termine?

Si ricorda che è necessario differenziare gli impatti sullo sci alpino e sullo sci nordico

Per quanto riguarda il turismo estivo, si osserva un aumento della domanda turistica alla ricerca di maggiore frescura (altitudine e laghi).

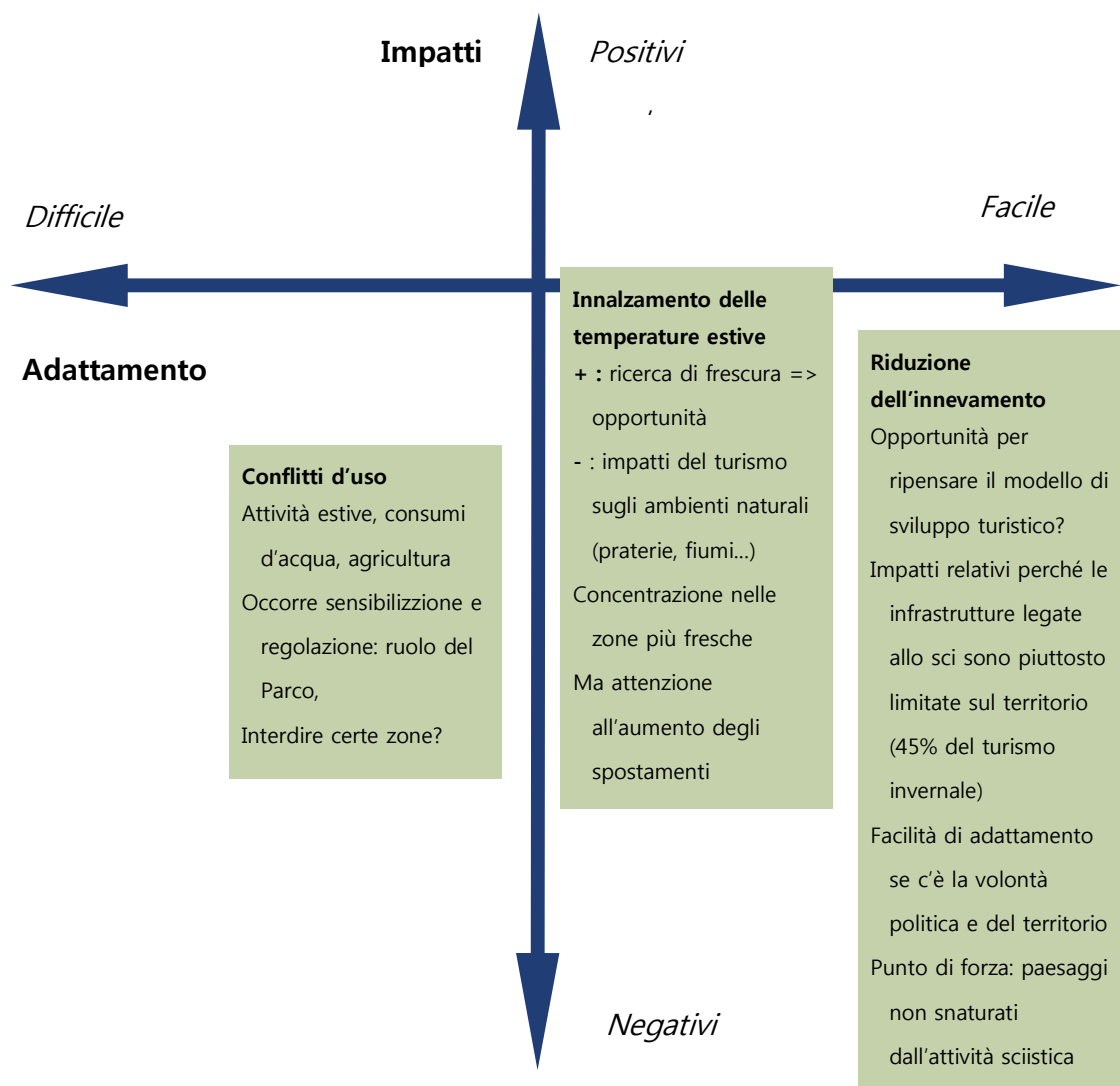
Più in generale, le prenotazioni negli esercizi ricettivi sono sempre più dipendenti dalle condizioni meteorologiche: le prenotazioni e le cancellazioni sono effettuate all'ultimo minuto.

In questo contesto, il cambiamento climatico potrebbe essere l'opportunità necessaria per il territorio di cambiare il proprio modello turistico?

Soluzioni di adattamento messe in pratica

- uso di innevatori artificiali (tranne a Margeriaz) :
 - ma che ne è della temperatura dell'acqua ad Aillon e Feclaz?
 - i costi di investimento e di gestione sono elevati;
 - il loro utilizzo è limitato dalla temperatura che aumenta in inverno;
- formazione degli operatori della ricettività turistica su temi del cambiamento climatico;
- diversificazione:
 - pratiche per tutte e quattro le stagioni;
 - geoparco;
 - attenzione ai costi legati alla diversificazione delle attività sportive (ad es. cani da slitta): non sono accessibili a tutti;
 - rivendicare un nuovo posizionamento di Aillon basato sul tempo libero?
 - strutture ricettive: organizzazione di seminari... (meno dipendenza dalle condizioni meteorologiche);
 - punti di forza della diversificazione: paesaggi dei Bauges, prossimità a grandi agglomerati urbani, l'economia turistica è nelle mani dei comuni;
 - punti di debolezza: i Bauges non sono necessariamente associati ad un'immagine di montagna, il degrado urbanistico delle stazioni e delle strutture turistiche (in particolare l'Aillon);
 - minacce: politica regionale e dipartimentale per lo sviluppo dello sci alpino;
 - punti di attenzione: come ottimizzare gli spostamenti associati ad un aumento del numero di turisti? Quale impatto ha l'ingresso del territorio nelle agglomerazioni in termini di gestione del turismo? Frequentazione dei siti turistici: è necessario stabilire delle soglie massime di accesso per preservare gli ambienti?
 - questione: Il turismo è un'attività complementare o principale sul territorio?

Gerarchizzazione degli effetti



10.2.5. IN SINTESI

Il workshop è stato interessante per avviare una prima riflessione, e in particolare in termini di processo:

- ha favorito l'incrocio dei punti di vista degli attori sui 4 temi;
- ha offerto l'opportunità di sensibilizzare nuovamente sulle questioni climatiche e di ricordare le sfide a livello locale;
- ha avviato la riflessione del territorio sul tema dell'adattamento.

Tuttavia, questo contenuto dovrebbe essere integrato da un approccio più fine, in particolare attraverso interviste individuali che consentano di far emergere le poste in gioco per il territorio in materia di cambiamenti climatici.

11. GLI IMPATTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO NELLA ZONA OMOGENEA DEL PINEROLESE

11.1. INTRODUZIONE

L'analisi degli impatti del cambiamento climatico nel Pinerolese è stata condotta attraverso un duplice approccio. Da un lato, sono stati passati in rassegna gli studi e le ricerche esistenti che hanno indagato e monitorato il cambiamento climatico, riferiti al territorio pinerolese e – in seconda battuta – ad una scala più ampia (provinciale e regionale). Dall'altro lato, è stato somministrato un questionario agli amministratori e tecnici comunali della Città Metropolitana di Torino, con l'obiettivo di far emergere la percezione del cambiamento climatico, le pratiche di adattamento e gli ostacoli nella pianificazione territoriale dell'area di studio.

La combinazione di questi due approcci ha consentito di ottenere un quadro quali-quantitativo che costituirà la base per lo sviluppo delle successive azioni previste dal progetto nell'area di studio del Pinerolese. I paragrafi che seguono riassumono sinteticamente i risultati dell'analisi, dapprima secondo quanto emerge dagli studi e dalle ricerche esistenti e in seguito presentando il punto di vista di tecnici e amministratori locali.

11.2. STUDI E RICERCHE SUL CAMBIAMENTO CLIMATICO NEL PINEROLESE

Lo stato dell'arte della letteratura sull'impatto del cambiamento climatico nella Zona Omogenea del Pinerolese evidenzia la carenza di studi e ricerche sul tema in questo ambito territoriale. Lo studio che descrive con più dettaglio l'area in oggetto è *Lo Stato dell'Ambiente del Pinerolese* (Arpa Piemonte, 2013). Il documento analizza i diversi aspetti dello stato ambientale del territorio, con riferimenti anche al clima e al suo impatto sulla salute umana, per quanto riguarda, per esempio, le ondate di calore.

Vi sono poi studi riferiti ad ambiti territoriali di analisi più vasti, all'interno dei quali si trova il Pinerolese. In particolare, *Cambiamenti climatici e governo del territorio in Provincia di Torino* (Società Meteorologica Subalpina e Provincia di Torino, 2008) fornisce un quadro del problema alla scala di Città Metropolitana, considerando sia gli indicatori climatici che gli impatti sui flussi turistici, sul sistema insediativo, sui rischi naturali, sulle foreste, sull'agricoltura, sulla produzione di energia idroelettrica, sui flussi idrici e sulla salute umana. Lo studio, inoltre, propone un'analisi di quelli che potrebbero essere gli scenari futuri in questa zona.

A livello regionale sono stati condotti diversi studi: *Il Piemonte nel cambiamento climatico – Osservazioni passate, impatti presenti e strategie future* (Arpa Piemonte, 2007); *Cinquant'anni di dati meteo-climatici in Piemonte – Temperatura e Precipitazioni giornaliere (1958-2009) – Integrazioni sul territorio, Analisi statistiche e Confronti storici* (Arpa Piemonte, 2011a) e *Il cambiamento climatico: le attività di Arpa Piemonte su stato, impatti e risposte* (Arpa Piemonte, 2011b). In questo quadro si inserisce anche il portale interattivo dell'Arpa Piemonte relativo alla *Relazione sullo Stato dell'Ambiente in Piemonte 2017*.

Esiste inoltre uno studio condotto sulle sole aree montane regionali che fornisce dati ad ampio spettro tematico: *Cambiamenti climatici sulla montagna piemontese* (Società Meteorologica Subalpina e Regione Piemonte, 2008)

In *Il clima di Torino*, Di Napoli & Mercalli (2008) tracciano un'approfondita analisi climatica del capoluogo regionale e ne descrivono anche in parte l'evoluzione recente dovuta al cambiamento climatico. A supporto di ciò riportano la serie storica delle rilevazioni termometriche giornaliere effettuate nella città di Torino a partire dal 1753, una delle più lunghe e complete in Italia e nel mondo.

Documento di impronta più settoriale è, invece, *L'innevamento naturale delle Alpi piemontesi e le condizioni meteorologiche favorevoli alla produzione di neve programmata* (Società Meteorologica Subalpina e Arpa Piemonte, 2008), che si concentra sul problema della scarsità sempre maggiore di precipitazioni nevose.

Infine si segnala uno studio condotto dal Dipartimento di Scienze Naturali dell'Università degli Studi di Torino, *Contributo allo studio del cambiamento climatico sulle alpi occidentali: il caso della Valle Maira* (Fratianne, Brunatti, Acquavota, & Cordola, 2010), che propone un'analisi dell'evidenza del cambiamento climatico in una valle non lontana dalla Zona Omogenea del Pinerolese. Esso potrebbe costituire un modello per lo sviluppo di un'indagine climatica nell'area di interesse del progetto.

11.2.1. INDICATORI CLIMATICI

Gli studi analizzati hanno permesso, innanzitutto, di delineare l'evoluzione dei parametri climatici nel Pinerolese. Tra questi, la temperatura è sicuramente uno degli indicatori che meglio evidenzia le trasformazioni indotte dal cambiamento climatico negli ultimi decenni. Se, infatti, la tendenza al riscaldamento è in corso già dalla fine dell'Ottocento, a partire dalla fine degli anni '80 il tasso di crescita delle temperature medie annuali e stagionali è sensibilmente aumentato. Per la città di Torino, risulta un aumento dell'ordine dei 2°C della temperatura media annuale nel corso di un secolo (Arpa Piemonte, 2008). Le tendenze medie regionali indicano, invece, un aumento di 1,1°C delle temperature medie annue e identificano l'autunno come la stagione che presenta gli incrementi minori (Società Meteorologica Subalpina e Regione Piemonte, 2008).

Per verificare l'allineamento del clima del Pinerolese con le tendenze regionali, è stata analizzata la serie storica delle temperature registrate nella stazione meteorologica di Luserna San Giovanni, posta a 475 m s.l.m. e attiva dal 1988. I dati sono stati ottenuti tramite la banca dati dell'Arpa Piemonte e la stazione è stata scelta in quanto, tra quelle situate nell'area in analisi, è quella che presenta la serie più lunga e completa. I dati della temperatura media annuale sono stati analizzati tramite una regressione lineare (figura 11.1), che ha evidenziato un incremento annuale intorno a 0,08°C. Tale dato sorprendentemente elevato deve, tuttavia, essere letto con la consapevolezza che il periodo di tempo preso in considerazione (1989-2017) è soggetto ad importanti oscillazioni annuali, nonché relativamente breve e limitato agli ultimi trenta anni, ovvero quelli interessati dalla maggior variazione della temperatura anche a livello globale. Gli anni 1997, 1999, 2001 e 2004 non sono stati inclusi nell'analisi a causa della mancanza di un numero di dati sufficiente.

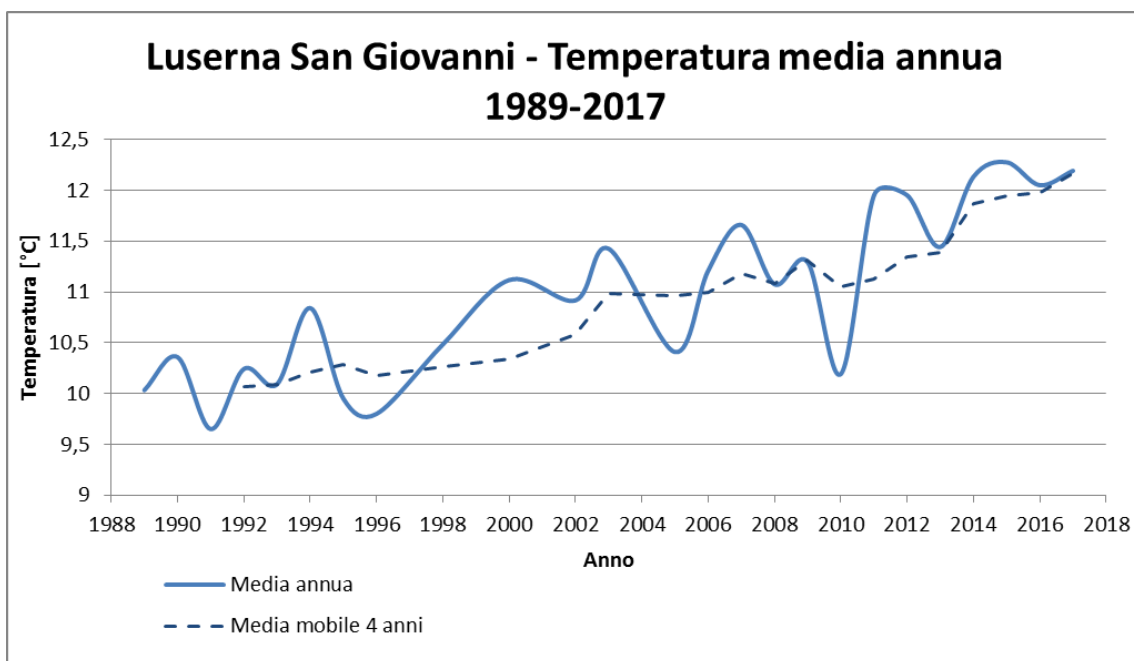


Figura 11.1. Andamento della temperatura media annuale nella stazione di Luserna San Giovanni tra il 1989 e il 2017.

Per quanto riguarda le aree montane, a subire le maggiori variazioni sono le temperature minime: ciò è dovuto dalla minor frequenza dei forti geli e dal ritardo nell'avvio dei geli autunnali, nonché da un anticipo nella fine dei geli primaverili (SMS, Regione Piemonte, 2008). Questo andamento influenza notevolmente la quantità media di neve fresca, che è diminuita in modo evidente, in particolare al di sotto dei 1000-1500 m di altitudine (Arpa Piemonte, 2008). Ancora più drastica è la riduzione degli spessori medi della neve al suolo, a causa dello scioglimento dovuto alle temperature invernali e primaverili maggiori. Lo spessore del manto nevoso tra gli anni 1990 e 2007 è circa dimezzato, su quasi tutte le aree montane della provincia (tabella 11.1; mancano dati specifici sull'area del Pinerolese), rispetto al periodo 1961-1989 (Arpa Piemonte, 2008).

Riepilogo delle variazioni di innevamento osservate sulle Alpi piemontesi tra i periodi 1961-1989 e 1990-2007				
Località	Quota (m)	Totale annuo neve fresca	Media annua spessore neve al suolo	Numero annuo giorni con suolo innevato
Torino	250	-36%	*	*
Cuneo	565	-35%	*	*
Entracque (Valle Gesso, CN)	900	-32%	-54%	-22%
Formazza (Val Formazza, VB)	1280	-31%	-33%	-14%
Balme (Valli di Lanzo, TO)	1440	-31%	-50%	-26%
Lago Saretto (Val Maira, CN)	1540	-18%	-49%	-24%
Ceresole Reale (Valle Orco, TO)	1579	-24%	-48%	-13%
Lago Rochemolles (Val di Susa, TO)	1926	-22%	-46%	-6%
Lago Toggia (Val Formazza, VB)	2200	-10%	-18%	-7%
Lago Valsoera (Valle Orco, TO)	2440	-22%	-45%	-7%
Media		-26%	-43%	-15%

Variazione del numero di giorni con spessore nevoso pari o superiore alle soglie di 10, 40 e 70 cm										
Località	Quota (m)	10 cm			40 cm			70 cm		
		1961-1989	1990-2007	%	1961-1989	1990-2007	%	1961-1989	1990-2007	%
Entracque (Valle Gesso, CN)	900	85	55	-35	47	20	-57	26	7	-73
Formazza (Val Formazza, VB)	1280	147	111	-24	106	74	-30	70	39	-44
Balme (Valli di Lanzo, TO)	1440	134	88	-34	85	39	-54	45	17	-62
Lago Saretto (Val Maira, CN)	1540	139	100	-28	87	48	-45	51	19	-63
Ceresole Reale (Valle Orco, TO)	1579	140	104	-26	97	47	-52	51	20	-61
Lago Rochemolles (Val di Susa, TO)	1926	178	163	-8	141	106	-25	105	55	-48
Lago Toggia (Val Formazza, VB)	2200	239	219	-8	215	193	-10	191	172	-10
Lago Valsoera (Valle Orco, TO)	2440	230	227	-1	187	164	-12	161	118	-27

Tabella 11.1. In alto: riepilogo delle variazioni percentuali osservate nei totali annui di neve fresca, nelle medie annue dello spessore nevoso, e nel numero annuo di giorni con suolo innevato, nel periodo 1990-2007 rispetto al precedente periodo 1961-1989. In basso: riepilogo del numero annuo di giorni con spessore nevoso pari o superiore alle soglie di 10, 40 e 70 cm nei periodi 1961-1989 e 1990-2007, e relativa variazione percentuale.

Le precipitazioni, diversamente dalle temperature, non mostrano al momento particolari cambiamenti a livello regionale, a parte una leggera tendenza alla diminuzione degli apporti annuali (Arpa Piemonte, 2017). Gli scenari futuri elaborati dal progetto "Prudence" per la Svizzera meridionale, tuttavia, evidenziano come a Sud delle Alpi le precipitazioni potranno in parte aumentare soltanto in inverno, per

una probabile accentuazione dei regimi di venti tra Sud-Ovest e Ovest, cui corrisponderebbe una diminuzione nelle altre stagioni. Questa prospettiva potrebbe però non coinvolgere le valli del Torinese, lasciate in “ombra pluviometrica”¹⁷. In ogni caso, si osserverà probabilmente un’accelerazione dei deflussi invernali, causati da una fusione più rapida della neve per temperature più elevate e dalla più alta probabilità di avere precipitazioni sotto forma liquida anziché solida, e una diminuzione di quelli estivi (SMS, Regione Piemonte, 2008).

A tal proposito, sono stati analizzati i valori di portata giornaliera rilevati tra il 2003 e il 2016 dalla stazione idrologica di San Martino Chisone, posta sul torrente Chisone nel comune di Pinerolo (figure 11.2 e 11.3). I dati sono messi a disposizione dall’Arpa Piemonte.

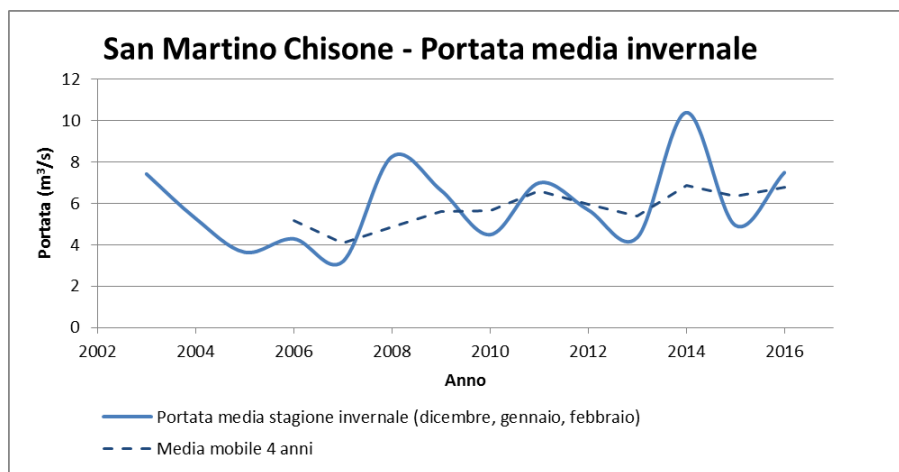


Figura 11.2. Andamento della portata media invernale nella stazione di San Martino Chisone tra il 2003 e il 2016.

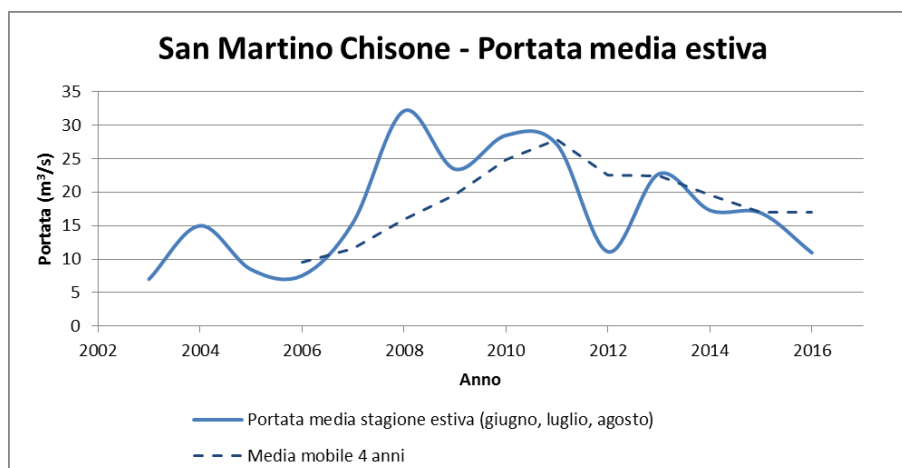


Figura 11.3. Andamento della portata media estiva nella stazione di San Martino Chisone tra il 2003 e il 2016.

¹⁷ Zone a scarse precipitazioni a causa della conformazione orografica. La presenza di versanti montani o di altri ostacoli geografici opposti ai venti prevalenti ostruiscono il passaggio dei sistemi nuvolosi impedendo che queste si verifichino.

Come si evince dai grafici riportati, se per le portate medie invernali è intuibile un andamento in leggera crescita, per quelle estive non è possibile definire un trend. In entrambi i casi, tuttavia, l'esiguo numero di anni di registrazioni e l'elevata variabilità dei valori non permettono ancora di definire con chiarezza un trend. Sarà fondamentale, quindi, per il monitoraggio degli effetti del cambiamento climatico nella zona, analizzare periodicamente i dati della portata per confermare o meno le previsioni.

Anche l'aumento delle precipitazioni intense, come effetto dell'intensificazione del ciclo dell'acqua documentato per alcune regioni europee a Nord delle Alpi, non è al momento ancora evidente sul versante italiano della catena montuosa (SMS, Regione Piemonte, 2008). Si deve tener presente, invece, che la combinazione della riduzione della piovosità con l'aumento delle temperature, soprattutto per la stagione estiva, può portare alla maggior frequenza e durata delle condizioni siccitose. Ad aggravare questa situazione potrà essere la maggior richiesta di acqua in territorio montano in periodo estivo, dovuta ai probabili aumenti dei flussi turistici nella stagione calda, nonché il grande utilizzo di questa risorsa durante l'inverno per la produzione di neve artificiale.

11.2.2. INDICATORI DI IMPATTO

Come si è visto nei precedenti paragrafi, il cambiamento climatico ha un impatto sull'ambiente naturale e, di conseguenza, su differenti settori dell'attività umana. La biodiversità e la salute degli ecosistemi sono messi a repentaglio, specialmente nelle aree montane, che presentano gli equilibri più delicati. L'aumento delle temperature, in particolare, può causare l'elevazione della linea del limite del bosco e la migrazione generale verso l'alto delle specie. Ciò mette a rischio soprattutto le specie che occupano i territori più elevati. A causa della differente sensibilità delle diverse specie, possono avvenire anche grandi cambiamenti nella composizione e nella varietà delle comunità viventi, vegetali e animali (SMS, Regione Piemonte, 2008), esacerbati dall'arrivo di specie vegetali aliene.

L'agricoltura, direttamente legata agli equilibri ecosistemici, è uno dei settori economici le cui sorti sono più fortemente legate all'andamento climatico. Ciò è particolarmente rilevante per il territorio del Pinerolese, nel quale, secondo il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Torino (2009), si riscontra un certo fermento innovativo legato al settore vitivinicolo, alle attività agrituristiche e all'agricoltura biologica. Tuttavia, è al momento assai difficile stabilire se il clima futuro potrà rappresentare complessivamente un beneficio oppure un danno per la produzione agricola delle Alpi piemontesi (SMS, Regione Piemonte, 2008). I fattori da tenere in considerazione, infatti, sono molteplici. Il prolungamento della stagione vegetativa insieme alla maggior disponibilità di CO₂ potrebbe generare un aumento della produzione e sarà possibile coltivare a quote più basse. I danni da gelo primaverile, se il periodo di semina non verrà modificato, potranno diminuire. La minor umidità del suolo, inoltre, potrebbe ridurre l'insorgenza di attacchi da parte di organismi fungini. D'altra parte, l'arrivo di specie fitopatologiche legate a temperature più elevate e la scarsità idrica porranno significative criticità e sfide gestionali.

Altro settore economico di fondamentale importanza per il territorio pinerolese è quello turistico. Il turismo, sia estivo sia invernale, è un elemento strutturale del sistema socio-economico. I flussi turistici nel periodo primaverile ed estivo sono legati alla fruizione del paesaggio naturale, grazie anche alla presenza di itinerari cicloturistici e alle aree protette come il Parco Naturale di Conca Cialancia, il Parco Naturale della Val Tronca, il Parco Naturale del Monte Tre Denti – Freidou e il Parco Naturale Orsiera-Rocciavrè. A tal proposito, se da un lato l'aumento delle temperature può allungare la stagione turistica

estiva e dirottare i flussi dalle mete con temperature più elevate a quelle montane, la compromissione degli ecosistemi, in particolare forestali, e la perdita di biodiversità possono avere un'influenza negativa.

Il turismo invernale è invece legato prevalentemente alle stazioni sciistiche presenti nell'area. In seguito allo sviluppo delle strutture di ricettività e dei flussi impresso dalle Olimpiadi Invernali del 2006, il turismo invernale è oggi un elemento in grado di contribuire concretamente allo sviluppo socio-economico locale delle valli pedemontane della Città Metropolitana di Torino (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, 2009).

Tuttavia, la carenza frequente e prolungata di innevamento sui comprensori sciistici, a causa delle nevicate più rare e della fusione più rapida del manto, mettono in difficoltà questo settore (SMS, Regione Piemonte, 2008). A titolo di esempio, il numero di giorni con altezza della neve al suolo superiore a 40 cm presso la stazione meteorologica del lago Rochemolles, nella vicina Valle di Susa, è diminuito del 25% dal periodo 1961-1989 al periodo 1990-2007 (SMS e Arpa Piemonte, 2008). La produzione di neve programmata, inoltre, dipende da fattori climatici vincolanti: la temperatura e l'umidità determinano la resa, mentre il vento determina la capacità di trasporto. In particolare, tanto più è umida l'aria, tanto più bassa deve essere la temperatura perché si possano formare i cristalli di neve dalle sottili goccioline d'acqua. Nel periodo dal 1996-97 al 2007-08, nella stazione sciistica di Sestriere Principi, si è registrata tra dicembre e marzo una frequenza media del 28% di discrete condizioni per produrre neve, sebbene la frequenza delle condizioni migliori scenda al 15% (SMS e Arpa Piemonte, 2008).

L'alterazione e la scomparsa del permafrost genera, inoltre, problemi di stabilità di infrastrutture turistiche in alta quota e rende pericolose le attività alpinistiche a causa di potenziali crolli di rocce o valanghe.

Anche il settore della produzione di energia idroelettrica potrà risentire del cambiamento climatico. Nell'area sono presenti tre impianti di produzione idroelettrica, situati in comuni della fascia montana: Inverso Pinasca, Perrero e San Germano Chisone. Ad influire di più saranno le alterazioni nei regimi dei deflussi dalle alte quote, dovuti principalmente alle siccità estive più frequenti. In linea generale questo andamento potrà essere compensato dalla maggiore fusione glaciale durante estati calde, ma solo nel breve periodo, a causa della progressiva riduzione dei ghiacciai stessi (SMS, Regione Piemonte, 2008). Nell'area, inoltre, non sono più presenti ghiacciai responsabili diretti dell'afflusso ai corsi d'acqua. L'unico della zona, il ghiacciaio del Boucher nella vicina Valle di Susa, infatti, è segnalato come "estinto" già dal 1930 (CGI-CNR, 1961)¹⁸.

Il cambiamento climatico ha un impatto diretto anche sulla salute umana, sia per quanto riguarda le possibili ondate di calore e la diffusione di nuovi parassiti e malattie, sia relativamente ai rischi naturali ad esso connessi. Gli incrementi di temperatura rappresentano un potente fattore di rischio per la salute soprattutto per i soggetti fragili e si evidenzia nell'incremento dei decessi nelle fasce di età over 65 anni (ARPA, 2017). Il fenomeno, tuttavia, è limitato alle aree di pianura del Pinerolese. La diffusione di nuove malattie e parassiti, invece, interessa anche le aree montane. Ne sono un esempio i flebotomi vettori della leishmaniosi del cane, trasmissibili anche all'uomo ed endemici delle regioni mediterranee, che dal 2003 si sono diffusi anche nelle vallate alpine (Arpa Piemonte, 2008). L'allungamento della stagione di produzione dei pollini, inoltre, avrà un'influenza sull'insorgenza di allergie.

¹⁸ CGI-CNR - Comitato Glaciologico Italiano & Consiglio Nazionale delle Ricerche (1961a) - Catasto dei Ghiacciai Italiani, Anno Geofisico Internazionale 1957-1958. Ghiacciai del Piemonte. Comitato Glaciologico Italiano, Torino, vol. 2, 324 pp.

Al momento non vi sono evidenze di una maggior frequenza di eventi alluvionali o di dissesti rispetto al passato per quanto riguarda l'area alpina piemontese. L'intensità dei picchi di piena non sempre è legata direttamente alla quantità di precipitazione, poiché intervengono anche altri fattori, come la fusione nivale e la saturazione dei suoli all'arrivo delle piogge, rendendo complessa una previsione del trend di tali fenomeni (SMS, Regione Piemonte, 2008). Sarebbe opportuno approfondire il tema per il territorio del Pinerolese, analizzando la ricorrenza di eventi naturali catastrofici nel corso degli anni. I dati riguardanti le alluvioni finora disponibili presso il Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche presentano una problematica legata alla diversa quantità e qualità dell'informazione nella registrazione degli eventi nel tempo. L'Archivio Piene del Progetto AVI indica undici piene censite nel territorio del comune di Pinerolo, di cui la più vecchia risale al 1629.

Numero	Data	Ambiente fisiografico
10500029	/10/2000	Pianura
4500130	//1981	
4500121	18/05/1977	
4500070	03/05/1949	
4500020	21/07/1925	
4500001	24/09/1920	Montagna
4500011	/9/1920	
502198	29/7/1896	Montagna
502178	20/10/1872	Pianura
502144	19/5/1827	Montagna
500073	23/8/1629	Montagna

Tabella 11.2. Alluvioni censite dal Progetto Avi per il comune di Pinerolo. Fonte: http://wwwdb.gndci.cnr.it/php2/avi/piene_risassunto_d.php?comune=Pinerolo&lingua=it

Numero Sito	Località	Data	Scheda S4:
1001191999	Pinerolo - Lungo il Torrente Verzate		2000776
1001191001	Pinerolo - Lungo la SS n. 23	24/06/1992	6500255
1001191002	San Secondo di Pinerolo - Porte di Pinerolo (tra le due località lungo la strada)	25/04/1995	8500186

Tabella 11.3. Frane censite dal Progetto Avi per il comune di Pinerolo (fonte: http://wwwdb.gndci.cnr.it/php2/avi/piene_risassunto_d.php?comune=Pinerolo&lingua=it)

11.3. LA PERCEZIONE DEGLI IMPATTI

Al fine di ottenere un quadro più completo e rappresentativo degli impatti del cambiamento climatico nella Zona Omogenea del Pinerolese, rispetto a quello offerto dai non numerosi studi esistenti presentati nel paragrafo precedente, è stata condotta un'indagine della percezione dei cambiamenti climatici e delle azioni di governo del territorio predisposte per affrontarne gli impatti. In particolare, essendo il WP3 dedicato alla *Valutazione delle sfide climatiche per la pianificazione territoriale*, l'analisi è stata rivolta a tecnici e amministratori degli enti locali della Città Metropolitana di Torino, di cui la Zona Omogenea del Pinerolese fa parte.

La rilevazione, in questa prima fase, ha previsto un questionario a risposte chiuse rivolto ai Comuni della Città Metropolitana di Torino. Le domande a risposte aperte sono state limitate ad approfondimenti o chiarimenti da parte dei rispondenti. La metodologia di analisi prevede che a questa fase ne segua un approfondimento mediante interviste semi-aperte, i cui contenuti saranno informati e indirizzati dai risultati di questa prima fase.

Il questionario è strutturato in cinque sezioni tematiche:

1. Il contesto territoriale (Comune di lavoro e dimensione, ruolo rivestito dal rispondente all'interno dell'Ente);
2. La percezione degli impatti del cambiamento climatico;
3. Le pratiche di governo del territorio connesse al cambiamento climatico;
4. La formazione sul tema;
5. Le barriere riscontrate nell'applicazione di misure di adattamento al cambiamento climatico.

Il questionario è stato somministrato in due modalità:

- su supporto cartaceo, distribuendolo in occasione di eventi (seminario di lancio del progetto e incontro con i sindaci della Zona Omogenea del Pinerolese);
- in modalità digitale, a mezzo di un messaggio di posta elettronica contenente le finalità e i dettagli del progetto e del questionario. Il messaggio conteneva in allegato il file del questionario da stampare, compilare e ritrasmettere via email, e in alternativa un link per compilare direttamente online il questionario (tramite Google Forms), senza necessità di stamparlo e ritrasmetterlo.

Prima della distribuzione, il questionario è stato sottoposto personalmente ad alcuni tecnici comunali che si erano resi disponibili, per testarne la chiarezza e l'efficacia insieme.

Il periodo di distribuzione e somministrazione del questionario è stato compreso tra il 1° dicembre 2017 e il 28 febbraio 2018.

Il questionario è stato trasmesso non solo ai 45 comuni della Zona Omogenea del Pinerolese ma a tutti i 316 comuni della Città Metropolitana di Torino. Ciò a un duplice fine: da un lato, ottenere un campione adeguato rispetto al tipo di analisi; dall'altro, poter comparare i risultati rilevati al territorio pinerolese con quelli complessivi della città metropolitana, consentendo di individuare eventuali peculiarità del territorio pinerolese.

Essendo il *deliverable* 3.1a incentrato sullo stato dell'arte degli impatti del cambiamento climatico, la presentazione dei risultati del questionario sarà qui circoscritta alle sezioni 1 (contesto) e 2 (percezione) del questionario, mentre i risultati delle altre sezioni sono presentati nel *deliverable* 3.1b.

11.3.1. I RISULTATI DELL'INDAGINE

Complessivamente, sono stati compilati 86 questionari, di cui 27 provengono da comuni che fanno parte della Zona Omogenea del Pinerolese. Quattro comuni hanno risposto in forma anonima e alcuni comuni hanno fornito più di un questionario, rappresentando diversi punti di vista (ad esempio quello del sindaco e quello di un tecnico comunale) all'interno di uno stesso comune. Il numero di comuni complessivamente rappresentati è 81. Gran parte dei comuni ha scelto di compilare il questionario direttamente online. Il ricorso a Google Forms si è quindi rivelato utile sia per gli utenti, che ne hanno apprezzato la praticità, sia per il gruppo di ricerca, in quanto lo strumento consente di trasferire direttamente i risultati in un foglio Excel, agevolando le operazioni di analisi e limitando i margini di errore.

I comuni della Zona Omogenea del Pinerolese sono rappresentati nella misura del 58%; quelli complessivi della Città metropolitana nella misura del 25%. Per quanto riguarda le figure professionali, hanno risposto in netta prevalenza tecnici comunali (86% dei questionari compilati).

Dall'analisi dei risultati dei questionari emerge che il territorio Pinerolese rispecchia, in generale, la percezione del cambiamento climatico rilevata sul campione complessivo, salvo alcune eccezioni. Considerato il fatto che il campione di questionari rilevati sul territorio pinerolese non è numericamente molto elevato in termini assoluti, le differenze rilevate tra la percezione del cambiamento climatico indicata dai comuni del pinerolese e quella dell'intero campione sono da ritenersi indicative di possibili ambiti di approfondimento conoscitivo ma non di per sé sufficienti per formulare ipotesi in merito alle ragioni che sottendono ad esse. Pertanto, i risultati dei questionari, presentati nelle prossime pagine, fanno riferimento al Pinerolese, senza confrontare i dati con quelli rilevati su tutta la Città Metropolitana di Torino ma potendo al tempo stesso contare sulla rappresentatività del campione.

I comuni che hanno risposto al questionario sono distribuiti in modo omogeneo (figura 11.4), sia sul territorio, sia per fasce altimetriche e tipologie di comuni (pianura, collina, montagna).

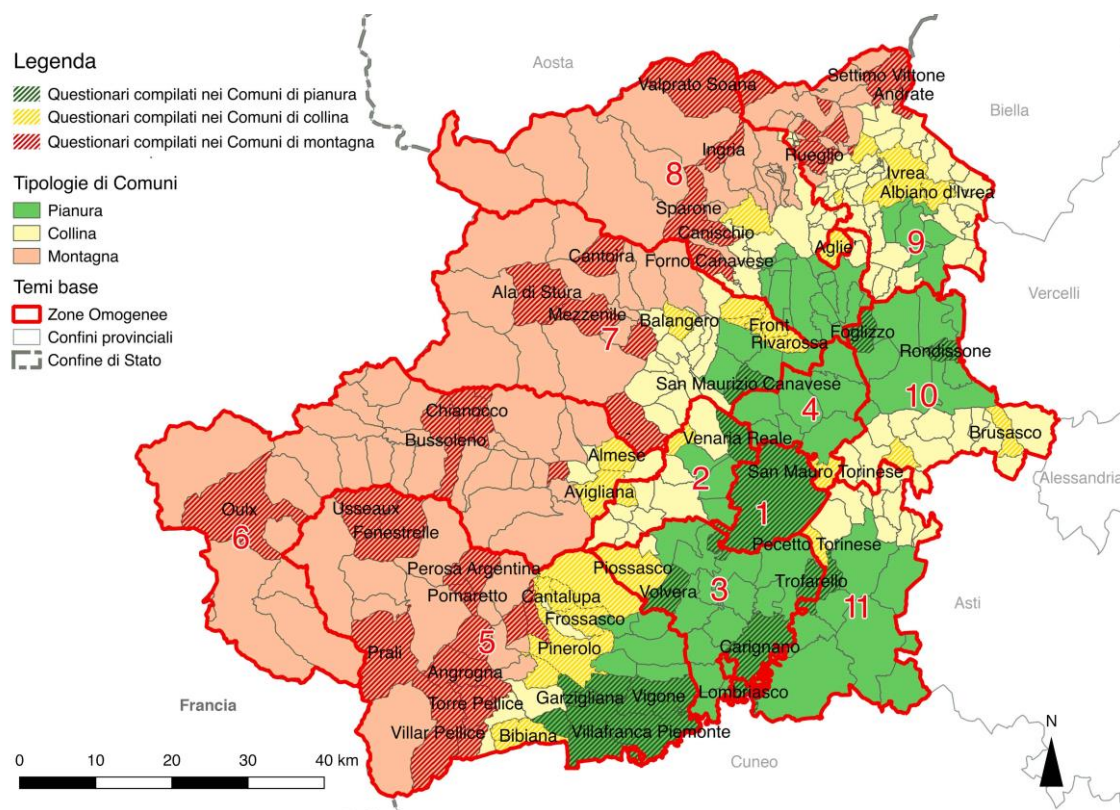


Figura 11.4. Mappa del territorio oggetto di analisi tramite questionari

Per quanto riguarda il pinerolese, la maggioranza dei questionari compilati proviene da comuni di montagna (44%). Considerando invece la rappresentatività del campione, sono i comuni di collina a essere rappresentati in modo più completo: 7 dei 10 comuni collinari del pinerolese hanno risposto al questionario, e un comune (Pinerolo) ha fornito risposte da parte di due punti di vista differenti (tecnico e dirigente del settore urbanistica).

Il tasso di risposta al questionario (figura 11.5) varia inoltre in funzione delle dimensioni demografiche dei comuni, con tassi più elevati per i comuni di dimensioni maggiori e tassi più contenuti per i comuni con meno di 5.000 abitanti. Tra le ragioni della minore partecipazione da parte dei comuni più piccoli vi è sicuramente la carenza di risorse umane all'interno delle amministrazioni comunali. Il tasso di risposta non è comunque mai inferiore al 50%. La partecipazione del territorio all'iniziativa è quindi da ritenersi complessivamente soddisfacente e rappresentativa.

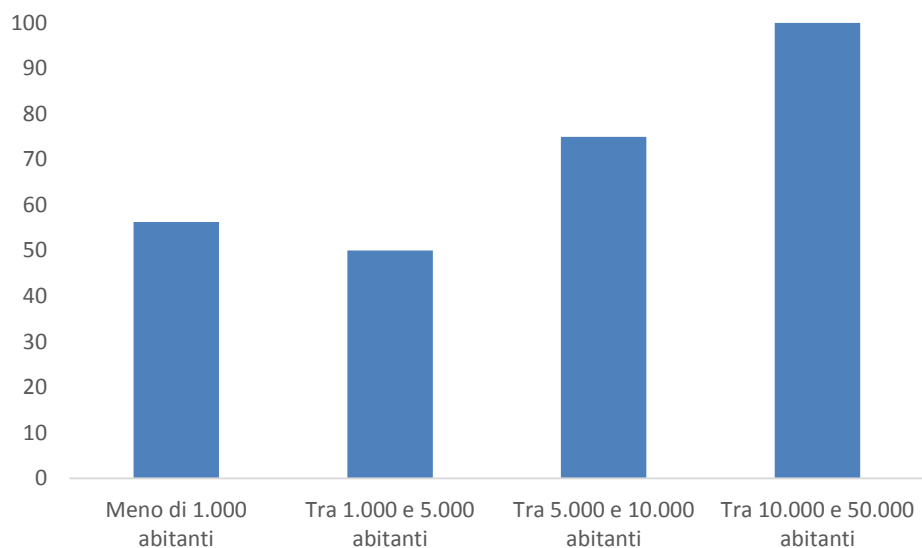


Figura 11.5. Tasso di risposta: percentuale di comuni che hanno risposto al questionario sul totale dei comuni, per dimensione demografica.

Le domande in merito alla percezione del cambiamento climatico erano riferite sia al momento attuale, sia al passato e al futuro. Gli effetti del cambiamento climatico risultano ampiamente percepiti (figura 11.6): l'85% dei rispondenti dichiara che gli effetti sono già riscontrabili, e la maggioranza di essi dichiara che sono percepiti da più di 5 anni.

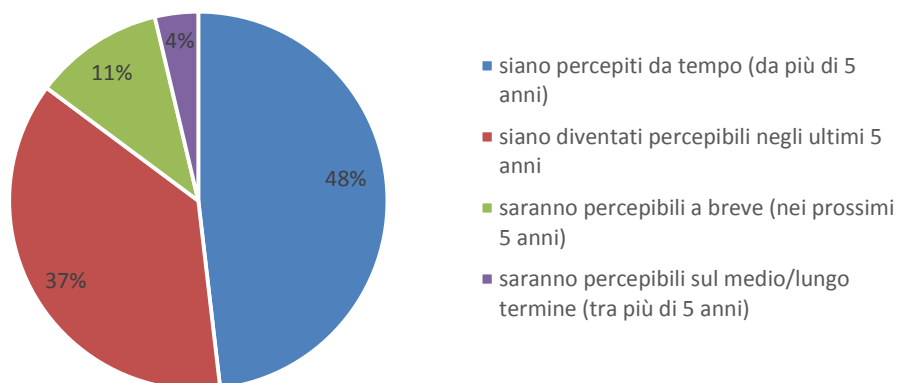


Figura 11.6. Risposte al quesito: "In quanto tecnico coinvolto nella pianificazione territoriale locale, ritiene che gli impatti del cambiamento climatico nel territorio del suo comune ..." (valori percentuali)

La percezione del cambiamento climatico varia inoltre sensibilmente a seconda degli ambiti in cui si ritiene che esso abbia prodotto effetti (figura 11.7). Due delle domande del questionario facevano

riferimento a 7 settori, chiedendo di indicare, in una scala da -2 a 2 (in ordine di incidenza, da -2 molto negativi a +2 molto positivi), la percezione degli impatti del cambiamento climatico su ciascuno specifico settore.

I 7 settori a cui il questionario fa riferimento sono quelli di riferimento per il progetto ARTACLIM:

- turismo;
- sistema insediativo (distinto in edilizia e approvvigionamento energetico);
- agricoltura;
- foreste e boschi;
- rischi naturali;
- biodiversità.

Se in alcuni settori, come quelli dell’edilizia e dell’approvvigionamento energetico, gli impatti sono ritenuti prevalentemente neutri o positivi, in altri, come quelli dei rischi naturali, della biodiversità, dell’agricoltura e di boschi e foreste, prevalgono nettamente gli impatti negativi. Nel caso del turismo, la percezione degli impatti è sostanzialmente neutra: gran parte dei rispondenti ha dichiarato che gli impatti del cambiamento climatico su questo settore non risultano ad oggi percepibili.

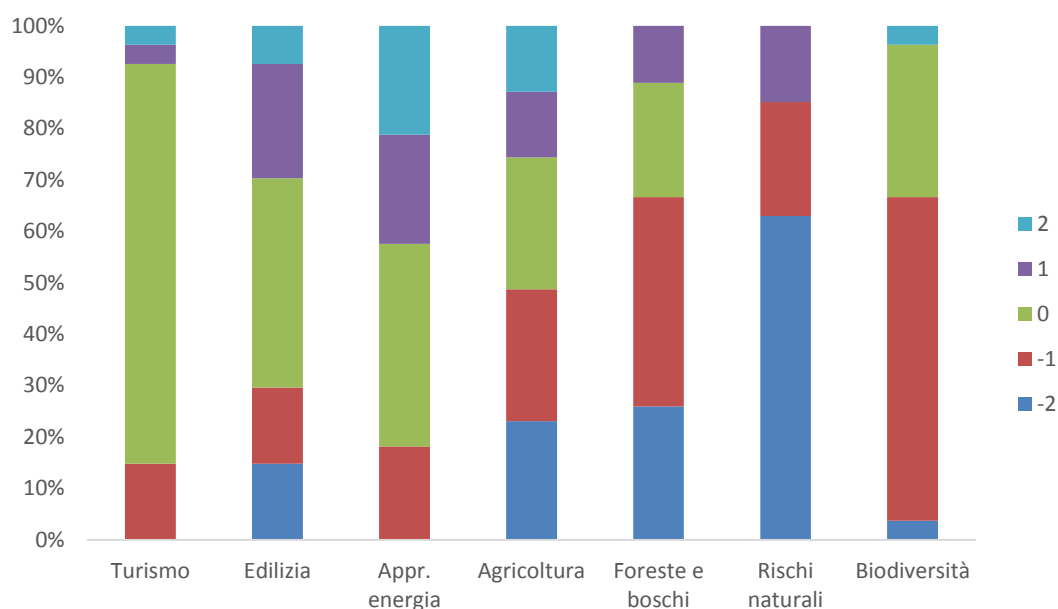


Figura 11.7. Risposte al quesito: “In quali dei seguenti ambiti settoriali ritiene che gli impatti del cambiamento climatico siano già oggi percepibili nel territorio del suo comune? sono positivi o negativi? Indichi la risposta su una scala da -2 (molto negativi) a +2 (molto positivi), dove lo 0 indica ‘non percepibili’ ”

Complessivamente, coloro che ritengono che gli impatti del cambiamento climatico siano soltanto positivi o neutri sono in larga minoranza, mentre il 37% dei rispondenti ritiene che il cambiamento climatico produca impatti solo neutri o negativi (figura 11.8).

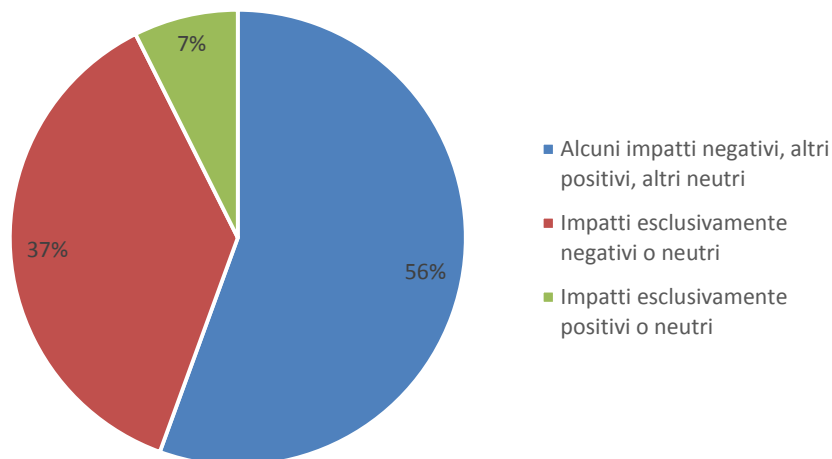


Figura 11.8. Percezione attuale degli impatti del cambiamento climatico

Confrontando le risposte riferite allo stato attuale con quelle riguardo allo scenario tra 15 anni (figura 11.9), la percezione degli impatti positivi è in aumento in tutti i settori, e in particolare nei settori dell'edilizia e dell'energia, i cui impatti percepiti risultavano già complessivamente positivi nello scenario attuale. Anche gli impatti negativi sono stimati in crescita, pur con margini di incremento più moderati rispetto a quelli positivi. In calo sensibile è la quota di coloro che ritengono che gli impatti del cambiamento climatico non siano percepibili: anche tra chi attualmente dichiara impatti neutri, vi è complessivamente la percezione che entro 15 anni il cambiamento climatico si farà sentire, nel bene e nel male, in tutti i settori.

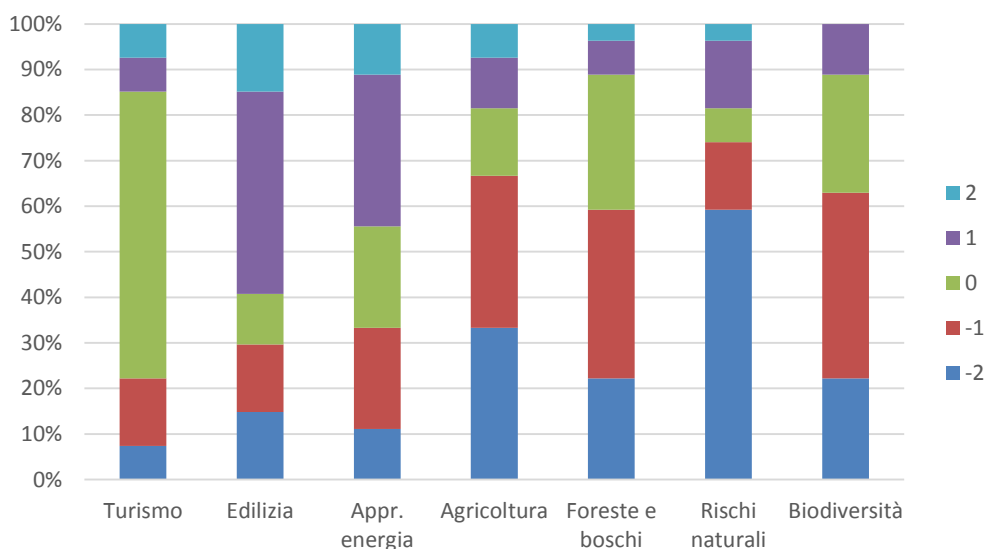


Figura 11.9. Risposte al quesito: "Ritiene che tali impatti nei diversi ambiti settoriali saranno percepibili nel territorio del suo comune fra 15 anni? Se sì, saranno positivi o negativi? Indichi la risposta su una scala da -2 (molto negativi) a +2 (molto positivi), dove lo 0 indica 'non percepibili' "

In dettaglio, rispetto allo scenario attuale, nello scenario futuro (tra 15 anni), la percezione degli impatti del cambiamento climatico si articola nei diversi settori come segue:

- turismo: benché anche nello scenario futuro la quota di coloro che ritengono che il cambiamento climatico non produrrà impatti percepibili rimanga elevata, aumenta la quota di chi prevede impatti negativi e anche, seppure in misura inferiore, quella degli impatti positivi;
- edilizia: la quota di coloro che ritengano che gli impatti siano positivi aumenta sensibilmente, mentre rimane stabile la quota di chi prevede impatti negativi;
- approvvigionamento energetico: le quote di chi prevede impatti positivi e negativi aumentano, e di conseguenza si riduce la quota di chi prevede impatti neutri;
- agricoltura: aumentano coloro che ritengono che il cambiamento climatico produrrà impatti negativi, mentre si riduce la quota degli impatti positivi;
- foreste e boschi: la percezione attuale è sostanzialmente analoga a quella futura;
- rischi naturali: si riduce la quota di chi prevede impatti negativi ed è in leggero aumento la quota di quelli positivi;
- biodiversità: aumentano leggermente sia la quota di chi prevede impatti negativi, sia quella di chi prevede impatti positivi.

Al di là del valore positivo o negativo associato al cambiamento climatico, l'importanza ad esso attribuita è elevata (figura 11.10): in una scala da 1 a 5, il 59% dei rispondenti ritiene il cambiamento climatico molto importante (valori 4 o 5), mentre solo il 22% ritiene il cambiamento poco importante (valori 1 o 2).

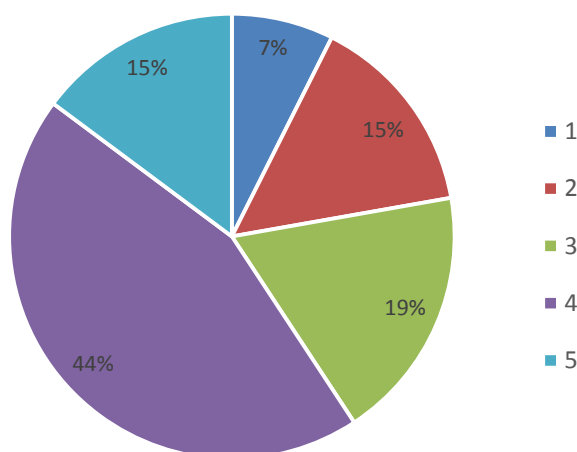


Figura 11.10. Risposte al quesito: "Guardando alla situazione attuale, come tecnico della pianificazione territoriale locale, quanto giudica il cambiamento climatico come un fenomeno importante sul suo territorio? Indichi la risposta su una scala da 0 (per niente importante) a 5 (estremamente importante)"

La percezione del cambiamento climatico è aumentata negli ultimi anni e ciò è avvenuto a seguito di eventi naturali che hanno reso evidenti e posto al centro del dibattito processi di cambiamento in atto

da tempo. Il questionario chiedeva espressamente di indicare se negli ultimi due o tre anni la percezione del cambiamento climatico fosse aumentata a seguito di eventi naturali (come alluvioni, siccità e incendi), invitando a specificare la natura di tali eventi. Dei 27 questionari compilati sul territorio Pinerolese, soltanto in un caso la percezione è rimasta la stessa, mentre in tutti i restanti casi la percezione è aumentata a seguito di eventi naturali. I principali eventi che hanno contribuito ad aumentare la percezione del cambiamento climatico sul territorio pinerolese sono di due tipi:

- piogge molto intense e alluvioni, indicate dal 78% dei rispondenti; direttamente correlati alle piogge sono anche i dissesti idrogeologici e i temporali particolarmente intensi;
- siccità, indicata dal 33% dei rispondenti, a cui si associano incendi e carenza di risorse idriche.

Oltre agli eventi connessi all'acqua – troppa o troppo poca che sia – sono stati segnalati l'aumento delle temperature, sia in inverno che in estate, e i fenomeni metereologici inconsueti per le rispettive stagioni (es: nevicata in primavera, grandinate e temporali in inverno).

CONCLUSIONI

L'analisi della letteratura scientifica e dei progetti di ricerca sul tema degli impatti del cambiamento climatico nel contesto alpino ha evidenziato quanto grande sia ancora il livello di incertezza sul tema. Tale incertezza è determinata da molti fattori, tra i quali il tipo di scenario che viene assunto come quadro per l'evoluzione futura, l'eterogeneità della regione alpina (che include al suo interno territori molto diversi a seconda dell'altitudine, del grado di urbanizzazione, del livello di accessibilità e fruizione ecc.), la diversa sensibilità dei settori e ambiti presi in considerazione, ecc.

Quanto più si scende di scala, passando dal complesso della grande regione alpina alle tre aree scelte come casi studio del progetto Artacim, tanto più aumenta questa incertezza, che si esplicita da più punti di vista. In primo luogo, concerne la magnitudine degli impatti, ossia in quanta parte un certo fenomeno naturale o antropico sia legato ai cambiamenti del clima, o ad altre dinamiche. In secondo luogo, riguarda la direzione dell'impatto, ossia se sia positivo o negativo: nel caso del sistema insediativo, ad esempio, è emerso come gli innalzamenti della temperatura stanno ad esempio portando ad una riduzione dei consumi energetici invernali per il riscaldamento degli edifici, ma al contempo li stanno aumentando in estate in relazione all'uso dei condizionatori.

Nonostante queste incertezze, l'evidenza di un cambiamento climatico emerge chiaramente sia dall'analisi della letteratura, sia dalle interviste e indagini condotte nei tre casi studio, che dimostrano una chiara percezione da parte degli attori locali del cambiamento in atto. Questo documento offre una sintesi degli impatti principali che il cambiamento climatico – pur con tutti i margini di incertezza di cui si è detto – sta generando sui territori alpini, e costituisce dunque un utile strumento per rispondere alla principale domanda che viene dalla Communauté de Communes du Haut Chablais, dal parco naturale regionale del Massiccio dei Bauges e dalla Zona omogenea del Pinerolese: una maggiore informazione sul cambiamento climatico, per poter agire con maggiore consapevolezza, a partire dalla predisposizione e dalla co-costruzione delle strategie di risposta e degli strumenti di pianificazione territoriale per attuarle.

Il rapporto 3.1b del progetto Artacim si affianca a quello presente proprio per passare in rassegna le buone pratiche che possono essere messe in campo a livello locale in risposta agli impatti del cambiamento climatico.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Capitolo 1

- AlpMedia. (2002). Le changement climatique et les Alpes. Un rapport de synthèse. Mars 2002, http://www.cipra.org/fr/dossiers/1/24_fr/inline-download
- Beniston, M. (2005). Mountain climates and climatic change: an overview of processes focusing on the European Alps. *Pure and Applied Geophysics*, 162(8-9), 1587-1606.
- Beniston, M., Stoffel, M., & Hill, M. (2011). Impacts of climatic change on water and natural hazards in the Alps: can current water governance cope with future challenges? Examples from the European “ACQWA” project. *Environmental science & policy*, 14(7), 734-743.
- Bernard, L. (2017). *Mécanismes fonctionnels de résilience des prairies subalpines au changement global* (Doctoral dissertation, Grenoble Alpes).
- Convenzione delle Alpi. (2013). *Orientations en matière d'adaptation locale au changement climatiques dans les Alpes*.
- Durand, Y., Laternser, M., Giraud, G., Etchevers, P., Lesaffre, B., & Mérindol, L. (2009a). Reanalysis of 44 yr of climate in the French Alps (1958–2002): methodology, model validation, climatology, and trends for air temperature and precipitation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(3), 429-449.
- Durand, Y., Giraud, G., Laternser, M., Etchevers, P., Mérindol, L., & Lesaffre, B. (2009b). Reanalysis of 47 years of climate in the French Alps (1958–2005): climatology and trends for snow cover. *Journal of applied meteorology and climatology*, 48(12), 2487-2512.
- EEA. (2009a). Regional Climate Change and Adaptation: The Alps Facing the Challenge of Changing Water Resources.
- EEA. (2009b). *Signaux de l'AEE 2009, Thèmes Environnementaux Clés Pour l'Europe*. In: European Environment Agency, *Regional climate change and adaptation, The Alps facing the challenge of changing water resources*. Copenhagen, Denmark.
- Gardent, M., Rabatel, A., Dedieu, J. P., & Deline, P. (2014). Multitemporal glacier inventory of the French Alps from the late 1960s to the late 2000s. *Global and Planetary Change*, 120, 24-37.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., & Stoffel, M. (2014). 21st century climate change in the European Alps—a review. *Science of the Total Environment*, 493, 1138-1151.
- Hewitt, C.D. (2005). *The ENSEMBLES Project: Providing ensemble-based predictions of climate changes and their impacts*. Published article appears in the EGGG newsletter, 13, 22-25. <http://www.the-eggs.org/?issueSel=24>
- Huss, M. (2012). Extrapolating glacier mass balance to the mountain range scale: the European Alps 1900–2100. *The Cryosphere Discuss.*, 6, 1117-1156. doi:10.5194/tc-6-713-2012, 2012.
- IPCC. (2013) [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... & Midgley, P. M.]. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1535 pp. doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Jacob, D.; Göttel, H.; Kotlarski, S. & Lorenz, P. (2007). *Mögliche Klimaänderungen im Alpenraum'*. In: Bundesumweltministerium (Ed.): *Klimawandel in den Alpen: Fakten — Folgen — Anpassung*, pp. 22–27.
- Lautenschlager, M., Keuler, K., Wunram, C., Keup-Thiel, E., Schubert, M., Will, A., ... & Boehm, U. (2008). Climate simulation with CLM, Climate of the 20th century, Data Stream 3: European region MPI-M/MaD. *World Data Center for Climate*.
- Météo-France. (2012). *Climat de la région Rhône-Alpes*. Document réalisé par Météo-France pour la DREAL Rhône-Alpes. http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Climat_actuel_en_Rhone-Alpes_septembre_2010_cle0b2cd1.pdf
- Moisselin, J. M. (2002). Les précipitations en France au XXème siècle. *Fr. Chang. Glob*, 13, 57-62.
- Morin, S., Lejeune, Y., Lesaffre, B., Panel, J. M., Poncet, D., David, P., & Sudul, M. (2012). An 18-yr long (1993-2011) snow and meteorological dataset from a mid-altitude mountain site (Col de Porte, France, 1325 m alt.) for driving and evaluating snowpack models. *Earth System Science Data*, 4(1), 13.

- Moss, R., Babiker, W., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., ... & Jones, R. N. (2008). Towards New Scenarios for the Analysis of Emissions: Climate Change, Impacts and Response Strategies. Geneva, Intergovernmental Panel on Climate Change, 132 p.
- Philippona, R. (2013). Greenhouse warming and solar brightening in and around the Alps. *International Journal of Climatology*, 33(6), 1530-1537.
- Prudent-Richard, G., Gillet, M., Vengeon, J.M., Descotes-Genon, S., Einhorn, B., Bourjot, L., ... & Marcelpoil, E. (2008), *Changement climatiques dans les Alpes : Impacts et risques naturels*. Rapport Technique N°1, ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique), Pôle Grenoblois d'études et de recherche pour la prévention des Risques Naturels (PGRN), Région Rhône-Alpes, 100 pp.
- Rabatel, A. (2015). *Apports d'une approche combinant mesures in situ et télédétection optique pour le suivi des glaciers de montagne: cas des Andes tropicales et des Alpes occidentales* (Doctoral dissertation, Université Grenoble Alpes).
- Schär, C., & Jendritzky, G. (2004). Climate change: hot news from summer 2003. *Nature*, 432(7017), 559.
- Scherrer, S. C., Appenzeller, C., Liniger, M. A., & Schär, C. (2005). European temperature distribution changes in observations and climate change scenarios. *Geophysical Research Letters*, 32(19).
- Schmidli, J., & Frei, C. (2005). Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *International Journal of Climatology*, 25(6), 753-771.
- Schöner, W., Auer, I., & Böhm, R. (2009). Long term trend of snow depth at Sonnblick (Austrian Alps) and its relation to climate change. *Hydrological Processes*, 23(7), 1052-1063.
- Sérès, C. (2010). Changement climatique et agriculture d'élevage en zone de montagne: premiers éléments de réflexion. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 58(58), 21-36.
- Verfaillie, D., Déqué, M., Morin, S., & Lafaysse, M. (2017). The method ADAMONT v1. 0 for statistical adjustment of climate projections applicable to energy balance land surface models. *Geoscientific Model Development*, 10(11), 4257-4283.

Capitolo 2

- ADAMONT – Impacts du changement climatique et adaptation des territoires de montagne. (2018a). *Changement climatique et risques naturels*, fiche thématique.
- ADAMONT – Impacts du changement climatique et adaptation des territoires de montagne. (2018b). *Changement climatique et forêts de montagne*, fiche thématique.
- Association Nationale pour l'Étude de la Neige et des Avalanches – ANENA. (2015). Dossier: Le changement climatique: impacts sur le climat, l'activité avalancheuse et l'activité des stations de skis. *Neige et Avalanches*, 151, octobre 2015, 10p.
- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., ... & Jones, P. (2007). HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International journal of climatology*, 27(1), 17-46.
- Beniston, M. (2005). Mountain climates and climatic change: an overview of processes focusing on the European Alps. *Pure and Applied Geophysics*, 162(8-9), 1587-1606.
- Beniston, M., Fox, D.G., Adhikary, S., Andressen, R., Guisan A., Holten, J., ... & Tessier, L. (1996). The Impacts of Climate Change on Mountain Regions. In: *Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), Chapter 5, Cambridge University Press, pp. 191-213.
- Blanchet, J., Molinié, G., & Touati, J. (2016). Spatial analysis of trend in extreme daily rainfall in southern France. *Climate Dynamics*, 1-14.
- Bodin, X., Schoeneich, P., Deline, P., Ravanel, L., Magnin, F., Krysiecki, J. M., & Echelard, T. (2015). Le permafrost de montagne et les processus géomorphologiques associés: évolutions récentes dans les Alpes françaises. *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine*, (103-2).
- Boudières, V., Delannoy, J.J., Einhorn, B., George-Marcelpoil, E., Peisser, C., & Piazza-Morel, D. (2013). Synthèse du Workshop «Changement global et risques naturels», PARN et Labex ITEM, 21-22 mars 2013, 30 pp.
- Carlson, B. Z., Georges, D., Rabatel, A., Randin, C. F., Renaud, J., Delestrade, A., ... & Thuiller, W. (2014). Accounting for tree line shift, glacier retreat and primary succession in mountain plant distribution models. *Diversity and Distributions*, 20(12), 1379-1391.

- Castebrunet, H., Eckert, N., Giraud, G., Durand, Y., & Morin, S. (2014). Projected changes of snow conditions and avalanche activity in a warming climate: the French Alps over the 2020-2050 and 2070-2100 periods. *The Cryosphere*, 8(5), 1673-1697.
- Convenzione delle Alpi. (2014). Orientations en matière d'adaptation locale au changement climatique dans les Alpes. Signaux alpins – 7, 45 pp.
- Convention Interrégionale du Massif des Alpes (CIMA) 2015-2020. (2015). Etat, Conseil régional Rhône-Alpes et Conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, 22pp.
- D'Amato, J., Hantz, D., Guerin, A., Jaboyedoff, M., Baillet, L., & Mariscal, A. (2016). Influence of meteorological factors on rockfall occurrence in a middle mountain limestone cliff. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(3), 719-735.
- Dupire, S., Curt, T., & Bigot, S. (2017). Spatio-temporal trends in fire weather in the French Alps. *Science of the Total Environment*, 595, 801-817.
- Durand, Y., Giraud, G., Laternser, M., Etchevers, P., Mérindol, L., & Lesaffre, B. (2009). Reanalysis of 47 years of climate in the French Alps (1958–2005): climatology and trends for snow cover. *Journal of applied meteorology and climatology*, 48(12), 2487-2512.
- Einhorn, B. (2015). Les risques naturels en montagne en 2015: un avant-goût des impacts du changement climatique? *Nature et Patrimoine en Pays de Savoie*, 47, pp. 26-31.
- Einhorn, B., & Gérard, S. (2017). Changement climatique et risques naturels dans les Alpes. Evénements remarquables 2015. Rapport technique PARN, 23pp.
- Einhorn, B., Eckert, N., Chaix, C., Ravanel, L., Deline, P., Gardent, M., ... & Schoeneich, P. (2015). Changements climatiques et risques naturels dans les Alpes. Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socio-économiques. *Journal of Alpine Research / Revue de géographie alpine*, (103-2).
- European Environment Agency – EEA. (2017a). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016, an indicator-based report. No 1/2017.
- European Environment Agency – EEA. (2017b). Climate change adaptation and disaster risk reduction in Europe, Enhancing coherence of the knowledge base, policies and practices. No 15/2017.
- Garitte, G., Lahousse, P., Thénard, L., & Salvador, P. G. (2007). Évolution contemporaine de l'activité torrentielle sur les cônes de déjection de la basse vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes françaises du Sud). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 13(4), 293-308.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., & Stoffel, M. (2014). 21st century climate change in the European Alps—a review. *Science of the Total Environment*, 493, 1138-1151.
- Jomelli, V., Brunstein, D., Déqué, M., Vrac, M., & Grancher, D. (2009). Impacts of future climatic change (2070–2099) on the potential occurrence of debris flows: a case study in the Massif des Ecrins (French Alps). *Climatic Change*, 97(1-2), 171-191.
- Jomelli, V., Pavlova, I., Eckert, N., Grancher, D., & Brunstein, D. (2015). A new hierarchical Bayesian approach to analyse environmental and climatic influences on debris flow occurrence. *Geomorphology*, 250, 407-421.
- Jouzel, J., Ouzeau, G., Déqué, M., Jouini, M., Planton, S., & Vautard, R. (2014). Le climat de la France au XXIe siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés: édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. *Rapports de la Direction générale de l'Énergie et du Climat*.
- Le Bidan, V. (2011). Adaptation de la gestion des risques naturels en Isère. Actes du séminaire international d'experts «Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique» 26 janvier 2011, Domancy (Haute-Savoie).
- Lescurier, A. (2011). Adaptation de la gestion des risques naturels en Savoie. Actes du séminaire international d'experts «Adaptation de la gestion des risques naturels face au changement climatique», 26 janvier 2011, Domancy (Haute-Savoie).
- Naaïm, M., Eckert, N., Giraud, G., Faug, T., Chambon, G., Naaïm-Bouvet, F., & Richard, D. (2016). Impact du réchauffement climatique sur l'activité avalanchreuse et multiplication des avalanches humides dans les Alpes françaises. *La Houille Blanche*, (6), 12-20.
- Observatoire régional des effets du changement climatique – ORECC. (2016). Profil Climat Territorial Montagne – Alpes du Nord, 26pp.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2007). Changements climatiques dans les Alpes européennes: Adapter le tourisme d'hiver et la gestion des risques naturels. Rapport, 140 pp.

- Ouzeau, G., Déqué, M., Jouini, M., Planton, S., Vautard, R., & Jouzel, J. (2014). Le climat de la France au XXI^e siècle. *Rapport de la Direction générale de l'énergie et du climat*, www.developpement-durable.gouv.fr.
- Ouzeau, G., Soubeyrou, J. M., Schneider, M., Vautard, R., & Planton, S. (2016). Heat waves analysis over France in present and future climate: application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble. *Climate Services*, 4, 1-12.
- Parc Naturel Régional (PNR) du massif des Bauges. (2014). *Plan Climat Energie Territoire. Livre blanc*. Rapport, 99 p.
- PARN. (2017). Lettre d'information «Alpes-Climat-Risques», 6, Juillet 2017, 26 pp.
- PARN. (2018). Actes du séminaire transversal Science-Décision-Action: «L'enclavement des vallées alpines par les risques naturels», <http://risknat.org/seminaire-enclavement-des-vallées-alpines-par-les-risques-naturels/>
- Permanent Secretariat of the Alpine Convention. (ed.) (2011). Sustainable rural development and innovation, Report on the state of the Alps. Alpine Signals, Special edition 3, Permanent Secretariat of the Alpine Convention. Innsbruck, Bolzano,
- Philippe, F., Forestier, E., Piazza-Morel, D., & Arlot, M.P. (2017). *Atelier Risques naturels et accessibilité du 24 mars 2017, Compte rendu des échanges*. Projet ADAMONT, 14pp.
- PLANALP. (2012). *Alpine strategy for adaptation to climate change in the field of natural hazards*. Plateforme Risques naturels de la Convention Alpine, Berne.
- Programme Opérationnel Interrégional FEDER du Massif des Alpes (POIA) - Période 2014-2020. (2014). Version finale au 28/05 /2014, 108pp.
- Ravanel, L., Magnin, F., & Deline, P. (2017). Impacts of the 2003 and 2015 summer heatwaves on permafrost-affected rock-walls in the Mont Blanc massif. *Science of The Total Environment*, 609, 132-143.
- Rousselot, M., Durand, Y., Giraud, G., Mérindol, L., Dombrowski-Etchevers, I., Déqué, M., & Castebrunet, H. (2012). Statistical adaptation of ALADIN RCM outputs over the French Alps-application to future climate and snow cover. *The Cryosphere*, 6, 785-805.
- Saez, J. L., Corona, C., Stoffel, M., & Berger, F. (2013). Climate change increases frequency of shallow spring landslides in the French Alps. *Geology*, 41(5), 619-622.
- Vengeon, J.M. (2006). *Climate Change, Impacts and Adaptation Strategies in the Alpine Space* [ClimChAlp WP5 Knowledge base presentation]. Presentation at the Wengen Workshop 2006: "Adaptation to the Impacts of Climate Change in the European Alps", Wengen, October 4-6, 2006.

Capitolo 3

- Bosello, F., Marazzi, L., & Nunes, P. A. L. D. (2007, July). Le Alpi italiane e il cambiamento climatico: elementi di vulnerabilità ambientale ed economica, e possibili strategie di adattamento. In *Report prepared for the APAT Workshop on "Cambiamenti climatici e ambienti nivo-glaciali: scenari e prospettive di adattamento"*, Saint-Vincent (pp. 2-3).
- Bregaglio, S., Donatelli, M., & Confalonieri, R. (2013). Fungal infections of rice, wheat, and grape in Europe in 2030–2050. *Agronomy for sustainable development*, 33(4), 767-776.
- Chaix, C., Dodier, H. & Nettièr, B. (2017). *Comprendre le changement climatique en alpage*. Une production du réseau Alpages Sentinelles, 24 pp.
- CLIMAGRI - Cambiamenti Climatici e Agricoltura. (2003). *Agricoltura italiana e cambiamenti climatici* - Atti del Workshop. Zinoni, F. & Duce, P., Cagliari, 22 pp.
- Davidson, E. A., & Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440(7081), 165.
- Envirochange. L'impatto del cambiamento climatico sulle malattie delle piante. <http://www.ambienteterritorio.coldiretti.it/tematiche/Ogm/Documents/clima%20e%20fitosanitari.pdf>
- Flury, C., Huber, R., & Tasser, E. (2013). Future of mountain agriculture in the Alps. In *The Future of Mountain Agriculture* (pp. 105-126). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fuhrer, J., & Jasper, K. (2012). Demand and supply of water for agriculture: influence of topography and climate in pre-alpine, mesoscale catchments. *Natural Resources*, 3(03), 145.
- Fuhrer, J., Smith, P., & Gobiet, A. (2014). Implications of climate change scenarios for agriculture in alpine regions— A case study in the Swiss Rhone catchment. *Science of the Total Environment*, 493, 1232-1241.

- Iglesias, A., Quiroga, S., Moneo, M., & Garrote, L. (2012). From climate change impacts to the development of adaptation strategies: challenges for agriculture in Europe. *Climatic Change*, 112(1), 143-168.
- Lavalle, C., Micale, F., Houston, T. D., Camia, A., Hiederer, R., Lazar, C., ... & Genovese, G. (2009). Climate change in Europe. 3. Impact on agriculture and forestry. A review. *Agronomy for sustainable Development*, 29(3), 433-446.
- Mann, S. (Ed.). (2013). *The future of mountain agriculture*. Springer Science & Business Media.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., & Sinclair, L. A. (2002). *Animal Nutrition*, Prentice Hall.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. (2014). *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*. Roma, 878 pp.
- Mitchell, C. E., Reich, P. B., Tilman, D., & Groth, J. V. (2003). Effects of elevated CO₂, nitrogen deposition, and decreased species diversity on foliar fungal plant disease. *Global Change Biology*, 9(3), 438-451.
- Petzoldt, C. & Seaman, A., 2010. Climate Change Effects on Insects and Pathogens. pp. 6- 16. Petzoldt, C., & Seaman, A. (2010). *Climate Change Effects on Insects and Pathogens. Climate Change and Agriculture: Promoting Practical and Profitable Responses*. New York State Agricultural Extension Station, Geneva, NY 14456.
- Reddy, P. P. (2013). Impact of climate change on insect pests, pathogens and nematodes. *Pest Management In Horticultural Ecosystems*, 19(2), 225-233.
- Rossi, C.A.S. & Compiani R. (2017). Stress da caldo, compromesso il benessere dei bovini. *Informatore Zootecnico*, <https://informatorezootecnico.edagricole.it/>
- Rounsevell, M.D.A. (1999). *Spatial modelling at the regional scale of the response and adaptation of soils and land use systems to climate change: the IMPEL project*. Research report to the Commission of the European Communities, Environment and Climate Programme, Framework IV 1999.
- Sérès, C. (2010). Changement climatique et agriculture d'élevage en zone de montagne: premiers éléments de réflexion. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 58(58), 21-36.
- Vanham, D. (2012). The Alps under climate change: implications for water management in Europe. *Journal of Water and Climate Change*, 3(3), 197-206.
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of dairy science*, 86(6), 2131-2144.
- Williams, W. D. (2001). Anthropogenic salinisation of inland waters. In *Saline Lakes* (pp. 329-337). Springer, Dordrecht.

Capitolo 4

- Ambrosetti, W., & Barbanti, L. (2002). Physical limnology of Italian lakes. 1. Relationship between morphometry and heat content. *Journal of Limnology*, 61(2), 147-157.
- Angelini, P., & Weldeyesus E. (2017). Normativa e politiche della Convenzione delle Alpi in materia di aree protette. In AA.VV. *Sviluppare il potenziale delle aree protette alpine*. 1° Report della rete SAPA – Sistema delle aree protette alpine italiane. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
- Aublet, J. F., Festa-Bianchet, M., Bergero, D., & Bassano, B. (2009). Temperature constraints on foraging behaviour of male Alpine ibex (*Capra ibex*) in summer. *Oecologia*, 159(1), 237-247.
- Barnett, T. P., Adam, J. C., & Lettenmaier, D. P. (2005). Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature*, 438(7066), 303.
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. P. (2008). *Climate Change and Water: Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change [7.11 MB]*. IPCC Secretariat: Geneva.
- Battisti, A., Stastny, M., Buffo, E., & Larsson, S. (2006). A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Global Change Biology*, 12(4), 662-671.
- Battisti, A., Stastny, M., Netherer, S., Robinet, C., Schopf, A., Roques, A., & Larsson, S. (2005). Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological applications*, 15(6), 2084-2096.
- Bickford, D., Howard, S. D., Ng, D. J., & Sheridan, J. A. (2010). Impacts of climate change on the amphibians and reptiles of Southeast Asia. *Biodiversity and conservation*, 19(4), 1043-1062.
- Bisi, F., Wauters, L. A., Preatoni, D. G., & Martinoli, A. (2015). Interspecific competition mediated by climate change: which interaction between brown and mountain hare in the Alps?. *Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde*, 80(5), 424-430.

- Brambilla, M., Bergero, V., Bassi, E., & Falco, R. (2015). Current and future effectiveness of Natura 2000 network in the central Alps for the conservation of mountain forest owl species in a warming climate. *European journal of wildlife research*, 61(1), 35-44.
- Buffo, E., Battisti, A., Stastny, M., & Larsson, S. (2007). Temperature as a predictor of survival of the pine processionary moth in the Italian Alps. *Agricultural and Forest Entomology*, 9(1), 65-72.
- Cantonati, M., & Lazzara, M. (Eds.). (2006). *I laghi di alta montagna del bacino del fiume Avisio (Trentino Orientale)* (Vol. 3). MUSE-Museo delle Scienze.
- Carlson, B. Z., Georges, D., Rabatel, A., Randin, C. F., Renaud, J., Delestrade, A., ... & Thuiller, W. (2014). Accounting for tree line shift, glacier retreat and primary succession in mountain plant distribution models. *Diversity and Distributions*, 20(12), 1379-1391.
- Castellari, S., Venturini, S., Ballarin Denti, A., Bigano, A., Bindi, M., Bosello, F., ... & Filpa, A. (2014). Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia. *MATM-Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma*.
- D'Amen, M., & Bombi, P. (2009). Global warming and biodiversity: Evidence of climate-linked amphibian declines in Italy. *Biological Conservation*, 142(12), 3060-3067.
- D'Amen, M., Bombi, P., Pearman, P. B., Schmatz, D. R., Zimmermann, N. E., & Bologna, M. A. (2011). Will climate change reduce the efficacy of protected areas for amphibian conservation in Italy?. *Biological Conservation*, 144(3), 989-997.
- Domisch, S., Araújo, M. B., Bonada, N., Pauls, S. U., Jähnig, S. C., & Haase, P. (2013). Modelling distribution in European stream macroinvertebrates under future climates. *Global Change Biology*, 19(3), 752-762.
- Dorts, J., Grenouillet, G., Douxfils, J., Mandiki, S. N., Milla, S., Silvestre, F., & Kestemont, P. (2012). Evidence that elevated water temperature affects the reproductive physiology of the European bullhead *Cottus gobio*. *Fish physiology and biochemistry*, 38(2), 389-399.
- Eckhardt, K., & Ulbrich, U. (2003). Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *Journal of Hydrology*, 284(1-4), 244-252.
- Erschbamer, B., Unterluggauer, P., Winkler, E., & Mallaun, M. (2011). Changes in plant species diversity revealed by long-term monitoring on mountain summits in the Dolomites (northern Italy). *Preslia*, 83(3), 387.
- Ferrarini, A., Alatalo, J. M., & Gustin, M. (2017). Climate change will seriously impact bird species dwelling above the treeline: A prospective study for the Italian Alps. *Science of the Total Environment*, 590, 686-694.
- Gehrig-Fasel, J., Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2007). Tree line shifts in the Swiss Alps: climate change or land abandonment?. *Journal of vegetation science*, 18(4), 571-582.
- Grignolio, S., Rossi, I., Bassano, B., Parrini, F., & Apollonio, M. (2004). Seasonal variations of spatial behaviour in female Alpine ibex (*Capra ibex ibex*) in relation to climatic conditions and age. *Ethology Ecology & Evolution*, 16(3), 255-264.
- Hari, R. E., Livingstone, D. M., Siber, R., Burkhardt-Holm, P., & Guetinger, H. (2006). Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology*, 12(1), 10-26.
- Henle, K., Dick, D., Harpke, A., Kühn, I., Schweiger, O., & Settele, J. (2008, November). Climate change impacts on European amphibians and reptiles. In *Biodiversity and climate change: Reports and guidance developed under the Bern Convention Council of Europe Publishing, Strasbourg, France* (pp. 225-305).
- Imperio, S., Bionda, R., Viterbi, R., & Provenzale, A. (2013). Climate change and human disturbance can lead to local extinction of Alpine rock ptarmigan: New insight from the Western Italian Alps. *PloS one*, 8(11), e81598.
- Jasper, K., Calanca, P., Gyalistras, D., & Fuhrer, J. (2004). Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine river basins. *Climate Research*, 26(2), 113-129.
- Kernan, M., Battarbee, R. W., & Moss, B. R. (Eds.). (2011). *Climate change impacts on freshwater ecosystems*. John Wiley & Sons.
- Lappalainen, J., & Tarkan, A. S. (2007). Latitudinal gradients in onset date, onset temperature and duration of spawning of roach. *Journal of Fish Biology*, 70(2), 441-450.
- Ludovisi, A., Gaino, E., Bellezza, M., & Casadei, S. (2013). Impact of climate change on the hydrology of shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy): History, forecasting and management. *Aquatic ecosystem health & management*, 16(2), 190-197.

- Luoto, T. P., & Nevalainen, L. (2012). Ecological responses of aquatic invertebrates to climate change over the past~ 400 years in a climatically ultra-sensitive lake in the Niedere Tauern Alps (Austria). *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 181(3), 169-181.
- Luoto, T. P., & Nevalainen, L. (2013). Climate-driven limnological changes determine ecological thresholds in an alpine lake. *Aquatic Biology*, 18(1), 47-58.
- Markovic, D., Carrizo, S., Freyhof, J., Cid, N., Lengyel, S., Scholz, M., ... & Darwall, W. (2014). Europe's freshwater biodiversity under climate change: distribution shifts and conservation needs. *Diversity and Distributions*, 20(9), 1097-1107.
- Matulla, C., Schmutz, S., Melcher, A., Gerersdorfer, T., & Haas, P. (2007). Assessing the impact of a downscaled climate change simulation on the fish fauna in an Inner-Alpine River. *International journal of biometeorology*, 52(2), 127-137.
- Mehner, T., Emmrich, M., & Kasprzak, P. (2011). Discrete thermal windows cause opposite response of sympatric cold-water fish species to annual temperature variability. *Ecosphere*, 2(9), 1-16.
- Mietkiewicz, N., Kulakowski, D., Rogan, J., & Bebi, P. (2017). Long-term change in subalpine forest cover, treeline, and species composition in the Swiss Alps. *Journal of Vegetation Science*. 28, 951-964.
- Mingozzi, T., Storino, P., Venuto, G., Alessandria, G., Arcamone, E., Urso, S., ... & Massolo, A. (2013). Autumn migration of Common Cranes *Grus grus* through the Italian Peninsula: new vs. historical flyways and their meteorological correlates. *Acta Ornithologica*, 48(2), 165-177.
- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. (2011). *Breve guida alla Strategia Nazionale per la Biodiversità*.
- Mura, G., & Rossetti, G. (2002). On the rediscovery of *Chirocephalus ruffoi* Cottarelli & Mura, 1984 in temporary pools of the Secchia and Panaro valleys (Tuscan-Emilian Apennines, northern Italy)(Branchiopoda, Anostraca). *Crustaceana*, 75(8), 969-977.
- Oertli, B., Indermuehle, N., Angélibert, S., Hinden, H., & Stoll, A. (2008). Macroinvertebrate assemblages in 25 high alpine ponds of the Swiss National Park (Cirque of Macun) and relation to environmental variables. *Hydrobiologia*, 597(1), 29-41.
- Paerl, H. W., & Huisman, J. (2009). Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental microbiology reports*, 1(1), 27-37.
- Parnesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37, 637-669.
- Posch, T., Köster, O., Salcher, M. M., & Pernthaler, J. (2012). Harmful filamentous cyanobacteria favoured by reduced water turnover with lake warming. *Nature Climate Change*, 2(11), 809.
- Providoli, T., & Kuhn, N. J. (2012). Climate and land use effects on forest cover in the Bernese Alps during the 20th century. *Geographica Helvetica*, 67(1/2), 15-25.
- Reading, C. J. (2007). Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*, 151(1), 125-131.
- Rézouki, C., Tafani, M., Cohas, A., Loison, A., Gaillard, J. M., Allainé, D., & Bonenfant, C. (2016). Socially mediated effects of climate change decrease survival of hibernating Alpine marmots. *Journal of Animal Ecology*, 85(3), 761-773.
- Rubolini, D., Ambrosini, R., Caffi, M., Bricchetti, P., Armiraglio, S., & Saino, N. (2007). Long-term trends in first arrival and first egg laying dates of some migrant and resident bird species in northern Italy. *International journal of biometeorology*, 51(6), 553-563.
- Solheim, A. L., Austnes, K., Eriksen, T. E., Seifert, I., & Holen, S. (2010). Climate change impacts on water quality and biodiversity. *Background Report for EEA European Environment State and Outlook Report*.
- Tafani, M., Cohas, A., Bonenfant, C., Gaillard, J. M., & Allainé, D. (2013). Decreasing litter size of marmots over time: a life history response to climate change?. *Ecology*, 94(3), 580-586.
- Tartari, G., Copetti, D., & Marchetto, A. (2002). Northern Italian lakes: regionalization of limnological features and pressure factors relationships. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 28(1), 223-227.
- Tartari, G., Marchetto, A., & Copetti, D. (2000). Qualità delle acque lacustri della Lombardia alle soglie del 2000. *Fondazione Lombardia per l'Ambiente. Ricerche & Risultati*, 44, 226.

- Thackeray, S. J., Jones, I. D., & Maberly, S. C. (2008). Long-term change in the phenology of spring phytoplankton: species-specific responses to nutrient enrichment and climatic change. *Journal of Ecology*, *96*(3), 523-535.
- Virkkala, R., & Lehikoinen, A. (2017). Birds on the move in the face of climate change: High species turnover in northern Europe. *Ecology and Evolution*, *7*(20), 8201-8209.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., ... & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature*, *416*(6879), 389.
- Zierl, B., & Bugmann, H. (2005). Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. *Water Resources Research*, *41*(2).

Capitolo 5

- AA.VV. (2012). *Gli incendi boschivi nelle Alpi. Conoscenza, previsione e cooperazione per difendere il nostro patrimonio forestale*. Progetto Alp FFIRS, Programma Alpine Space. Rapporto finale
- Bottalico, F., Nocentini, S., & Travaglini D. (2016). Linee guida per la ricostituzione del potenziale forestale nelle aree danneggiate dal vento: il caso dei boschi della Toscana. *L'Italia forestale e montana*. *71*, 227-238.
- Colombo, A., & Ramasco, M. (2005). *Rapporto sulle frane in Italia. Analisi del dissesto da frana in Piemonte*. Torino, ARPA
- Csilléry, K., Kunstler, G., Courbaud, B., Allard, D., Lassegues, P., Haslinger, K., & Gardiner, B. (2017). Coupled effects of wind-storms and drought on tree mortality across 115 forest stands from the Western Alps and the Jura mountains. *Global change biology*.
- Egli, S. (2009). Quale impatto ha per la foresta il declino dei funghi micorrizici? www.waldwissen.net
- Frank, A., Howe, G. T., Sperisen, C., Brang, P., St Clair, J. B., Schmatz, D. R., & Heiri, C. (2017). Risk of genetic maladaptation due to climate change in three major European tree species. *Global change biology*.
- Global Carbon Atlas. <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>
- Iovino, F. (2016). *Gestione forestale e tutela dal dissesto idrogeologico nei territori montani*. Accademia Italiana di Scienze Forestali
- Jump, A. S., Hunt, J. M., & Penuelas, J. (2006). Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology*, *12*(11), 2163-2174.
- Lindner, M., Garcia-Gonzalo, J., Kolström, M., Green, T., Reguera, R., Maroschek, M., ... & Kremer, A. (2008). Impacts of climate change on European forests and options for adaptation. *Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development*, 173.
- Roy, B. A., Güsewell, S., & Harte, J. (2004). Response of plant pathogens and herbivores to a warming experiment. *Ecology*, *85*(9), 2570-2581.
- Vitali, V., Büntgen, U., & Bauhus, J. (2017). Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Global change biology*. *23*, 5108–5119
- Waldboth, M., & Oberhuber, W. (2009). Synergistic effect of drought and chestnut blight (*Cryphonectria parasitica*) on growth decline of European chestnut (*Castanea sativa*). *Forest Pathology*, *39*(1), 43-55.
- World Meteorological Organization. (2017). *Greenhouse Gas Bulletin, 2017*. https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=4022

Capitolo 6

- Becken, S. (2013). A review of tourism and climate change as an evolving knowledge domain. *Tourism Management Perspectives*, *6*, 53–62.
- Beniston, M. (2003). Climatic Change in Mountain Regions: A Review of Possible Impacts. *Climatic Change*, *59*(1–2), 5–31.
- Bindi, M., & Olesen, J. E. (2011). The responses of agriculture in Europe to climate change. *Regional Environmental Change*, *11*(1), 151–158.
- Carraro, C., Crimi, J., & Sgobbi, A. (2007). *La valutazione economica degli impatti dei cambiamenti climatici in Italia e delle relative misure di adattamento*. *Cambiamenti climatici e strategie di adattamento in Italia: una valutazione economica*. Il Mulino, Bologna.

- EC - European Commission. (2009). *Adapting to climate change: Towards a European framework for action. White paper*. COM(2009), 147/4 final.
- EEA. (2009). *Regional climate change and adaptation - The Alps facing the challenge of changing water resources*. (Vol. EEA Report). Copenhagen.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., & Stoffel, M. (2014). 21st century climate change in the European Alps—a review. *Science of the Total Environment*, 493, 1138–1151.
- Hohenwallner, D. (2011). *Water Management in a Changing Environment Strategies against Water Scarcity in the Alps. Project Outcomes and Recommendations*. Rapporto del progetto Alp-Water-Scarce.
- IPCC. (2001). *Third Assessment Report: Climate Change 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability*.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014—Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects*. Cambridge University Press.
- Lindner, M., Fitzgerald, J. B., Zimmermann, N. E., Reyer, C., Delzon, S., van der Maaten, E., ... van der Maaten-Theunissen, M. (2014). Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management? *Journal of environmental management*, 146, 69–83.
- Pütz, M., Gallati, D., Kytzia, S., Elsasser, H., Lardelli, C., Teich, M., ... Rixen, C. (2011). Winter tourism, climate change, and snowmaking in the Swiss Alps: tourists' attitudes and regional economic impacts. *Mountain Research and Development*, 31(4), 357–362.
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings*, 98, 119–124.
- Serquet, G., & Rebetez, M. (2011). Relationship between tourism demand in the Swiss Alps and hot summer air temperatures associated with climate change. *Climatic Change*, 108(1), 291–300.
- Spinoni, J., Vogt, J. V., Barbosa, P., Dosio, A., McCormick, N., Bigano, A., & Füssler, H. M. (2018). Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100. *International Journal of Climatology*, 38, e191-e208.

Capitolo 7

- Abegg, B., Agrawala, S., Crick, F., & de Montfalcon, A. (2007). Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In: Agrawala, S. (ed.), *Climate change in the European Alps: Adapting winter tourism and natural hazards management*. Pp. 25-58.
- Agrawala, S. (2007). Climate change in the European Alps: adapting winter tourism and natural hazards management. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20083318183>
- Amelung, B., & Moreno, A. (2012). Costing the impact of climate change on tourism in Europe: results of the PESETA project. *Climatic Change*, 112(1), 83–100.
- Amelung, B., & Viner, D. (2006). Mediterranean Tourism: Exploring the Future with the Tourism Climatic Index. *Journal of Sustainable Tourism*, 14(4), 349–366.
- Balbi, S. (2012). *Climate change and Tourism in the Alps: a position paper in view of the upcoming Alpine Convention Fourth Report on the State of the Alps on Sustainable Tourism*. Centro EuroMediterraneo per i Cambiamenti Climatici, Research Papers Issue RP0127.
- Becken, S. (2013). A review of tourism and climate change as an evolving knowledge domain. *Tourism Management Perspectives*, 6(Supplement C), 53–62.
- Behringer, J., Buerki, R., & Fuhrer, J. (2000). Participatory integrated assessment of adaptation to climate change in Alpine tourism and mountain agriculture. *Integrated Assessment*, 1(4), 331–338.
- Elsasser, H., & Bürki, R. (2002). Climate change as a threat to tourism in the Alps. *Climate Research*, 20(3), 253–257.
- Elsasser, H., & Messerli, P. (2001). The Vulnerability of the Snow Industry in the Swiss Alps. *Mountain Research and Development*, 21(4), 335–339.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., & Stoffel, M. (2014). 21st century climate change in the European Alps—A review. *Science of The Total Environment*, 493(Supplement C), 1138–1151.
- Hall, C. M. (2008). Tourism and Climate Change: Knowledge Gaps and Issues. *Tourism Recreation Research*, 33(3), 339–350.
- Hamilton, J. M., Maddison, D. J., & Tol, R. S. J. (2005). Climate change and international tourism: A simulation study. *Global Environmental Change*, 15(3), 253–266.

- Hantel, M., & Hirtl-Wielke, L.-M. (2007). Sensitivity of Alpine snow cover to European temperature. *International Journal of Climatology*, 27(10), 1265–1275.
- Hohenwallner, D. (2011). *Water Management in a Changing Environment Strategies against Water Scarcity in the Alps. Project Outcomes and Recommendations*. Report del progetto Alp-Water-Scarce.
- Koenig, U., & Abegg, B. (1997). Impacts of Climate Change on Winter Tourism in the Swiss Alps. *Journal of Sustainable Tourism*, 5(1), 46–58.
- Lise, W., & Tol, R. S. J. (2002). Impact of Climate on Tourist Demand. *Climatic Change*, 55(4), 429–449.
- Machiavelli, A. (2011). La montagna nel turismo italiano. In: Becheri, E., Maggiore, G. (a cura di), *Rapporto sul turismo italiano 2010-2011*. Milano: FrancoAngeli, pp. 499-520.
- Mieczkowski, Z. (1985). The tourism climatic index: A method of evaluating world climates for tourism. *The Canadian Geographer / Le Géographe Canadien*, 29(3), 220–233.
- Müller, H., & Weber, F. (2008). Climate change and tourism – scenario analysis for the Bernese Oberland in 2030. *Tourism Review*, 63(3), 57–71.
- Pütz, M., Gallati, D., Kytzia, S., Elsasser, H., Lardelli, C., Teich, M., ... Rixen, C. (2011). Winter Tourism, Climate Change, and Snowmaking in the Swiss Alps: Tourists' Attitudes and Regional Economic Impacts. *Mountain Research and Development*, 31(4), 357–362.
- Rixen, C., Teich, M., Lardelli, C., Gallati, D., Pohl, M., Pütz, M., & Bebi, P. (2011). Winter Tourism and Climate Change in the Alps: An Assessment of Resource Consumption, Snow Reliability, and Future Snowmaking Potential. *Mountain Research and Development*, 31(3), 229–236.
- Serquet, G., & Rebetez, M. (2011). Relationship between tourism demand in the Swiss Alps and hot summer air temperatures associated with climate change. *Climatic Change*, 108(1-2), 291–300.
- Steiger, R. (2010). The impact of climate change on ski season length and snowmaking requirements in Tyrol, Austria. *Climate Research*, 43(3), 251–262.
- Steiger, R., & Mayer, M. (2008). Snowmaking and Climate Change. *Mountain Research and Development*, 28(3/4), 292–298.
- Unbehaun, W., Pröbstl, U., & Haider, W. (2008). Trends in winter sport tourism: challenges for the future. *Tourism Review*, 63(1), 36–47.
- Urbanc M., Pipan P. (ed.) (2011). *ClimAlpTour. Il cambiamento climatico e i suoi impatti sul turismo nello spazio alpino*. Ljubljana: Založba.
- Wipf, S., Rixen, C., Fischer, M., Schmid, B., & Stoeckli, V. (2005). Effects of ski piste preparation on alpine vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 306-316.
- Wolfsegger, C., Gössling, S., & Scott, D. (2008). Climate change risk appraisal in the Austrian ski industry. *Tourism Review International*, 12(1), 13-23.

Capitolo 8

- Costanza, R., Wilson, M., Troy, A., Voinov, A., Liu, S., & D'Agostino, J. (2006). *The value of New Jersey's Ecosystem Services and Natural Capital*. Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, Burlington
- Scolozzi, R., Morri, E., & Santolini, R. (2012). Delphi-based change assessment in ecosystem service values to support strategic spatial planning in Italian landscapes. *Ecological Indicators*, 21, 134-144.

Capitolo 9

- Chaix, C. (2018, mars). Bilan climatique hiver 2017-2018. <http://www.mdp73.fr/index.php/10-les-observatoires/observatoire-savoie-du-changement-climatique/20-les-bilans-climatiques-de-l-observatoire>
- Chambre d'agriculture Savoie Mont Blanc, & SIAC. (2014). *Projet agro-environnemental et climatique du Chablais* (p. 71). <https://www.siac-chablais.fr/documentation/agriculture-et-foret/843-paec-du-chablais-dossier-de-candidature-oct-2014/file>
- DREAL Auvergne-Rhône-Alpes. (2018). Situation hydrologique - Station : Reyvroz [bioge] (V0334010) - Cours d'eau : La Dranse. <https://www.rdbm.com/hydroreel2/station.php?codestation=1062>
- EPODE, BLEZAT, AGRESTIS, CICL, NICOT, & CDMF. (2017). *Plan Local d'urbanisme intercommunal CCHC - Rapport de présentation Tome 1* (p. 106).

- Groupe d'Action Locale du Chablais. (2015). L'innovation au service de la ressource forestière - Programme LEADER 2014-2020 - Réponse à l'appel à manifestation d'intérêt (p. 74). Thonon-les-Bains: SIAC. <https://www.siac-chablais.fr/documentation/leader-1/candidature-leader-20172020/925-01-dossier-de-candidature-leader-2014-2020/file>
- Hubert, P., Marin, E., Meybeck, M., Olive, P., & Siwertz, E. (1969). Aspects hydrologique, géochimique et sédimentologique de la crue exceptionnelle de la Dranse du Chablais du 22 Septembre 1968. *Archives des Sciences*, 22(3), 581-604.
- ORECC Auvergne-Rhône-Alpes. (2017). *Changement climatique et tourisme en Auvergne-Rhône-Alpes - Températures, enneigement et fréquentation des domaines skiables* (p. 31). http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orecc/Documents/Donnees_territoriales/Indicateurs/ORECC_2017_IND_TOUR__1_2_Fiche_Temp_Neige_vff.pdf
- ORECC Auvergne-Rhône-Alpes. (2018a). *Le changement climatique en Auvergne-Rhône-Alpes Profil climat territorial - Territoire : CA Thonon Agglomération* (p. 10). http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orecc/Documents/Donnees_territoriales/Profils_EPCI/Fiche_CA_Thonon_Agglomeration.pdf
- ORECC Auvergne-Rhône-Alpes. (2018b). *Le changement climatique en Auvergne-Rhône-Alpes Profil climat territorial - Territoire : CC Pays d'Évian Vallée d'Abondance* (p. 10). http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orecc/Documents/Donnees_territoriales/Profils_EPCI/Fiche_CC_Pays_d_Evian_Vallee_d_Abondance.pdf
- RAEE, & CCHC. (2015). *La chaîne d'impacts associés au changement climatique sur le territoire de la CCHC*.
- Sérès, C. (2010). Changement climatique et agriculture d'élevage en zone de montagne : premiers éléments de réflexion. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, p. 21-37.
- SIAC. (2012a). *SCOT - Tome 1 bis - Rapport de présentation - Diagnostic et EIE* (p. 428). Thonon. <https://siac-chablais.fr/documentation/scot-dossier-officiel/le-scot-du-chablais-approuve-le-23-02-2012/367-2-scot-approuve-tome-1bis-diagnostic-et-etat-initial-de-l-environnement-26-mo/file>
- SIAC. (2012b). *SCOT - Tome 2 - Projet d'aménagement et de développement durable* (p. 20). <https://siac-chablais.fr/documentation/scot-dossier-officiel/le-scot-du-chablais-approuve-le-23-02-2012/364-6-scot-approuve-tome-2-padd-6-5-mo/file>
- SIAC. (2016a). *Révision du Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) du Chablais - Haute-Savoie Projet d'Aménagement et de Développement Durables – PADD*. <https://siac-chablais.fr/documentation/scot-en-revision/1193-01-padd-du-scot-debattu-le-24-novembre-2016/file>
- SIAC. (2016b, juin). *Les collectivités membres du SIAC au 01/01/2017*. <https://siac-chablais.fr/documentation/siac-administration-generale/statuts-et-perimetre/565-carte-des-collectivites-membres-du-siac/file>
- SIAC. (2017a). *Contrat de rivières des Dranses et Est Lémaniques 2017 - 2022 - Fascicule A - Document contractuel* (p. 38). <https://www.siac-chablais.fr/documentation/contrat-de-rivieres/dossier-du-contrat-de-rivieres-des-dranses-et-de-l-est-lemanique/1374-dossier-definitif-contrat-de-rivieres-fascicule-a-document-contractuel/file>
- SIAC. (2017b). *La révision du SCoT lancée en 2015*. <https://siac-chablais.fr/amenager-scot/scot-en-revision>
- SIAC. (2017c). *Projet de contrat de rivière des Dranses / Est lémanique 2017-2022 - Fascicule B - Etat des lieux et diagnostic* (p. 126). Thonon-les-Bains. <https://www.siac-chablais.fr/documentation/contrat-de-rivieres/dossier-du-contrat-de-rivieres-des-dranses-et-de-l-est-lemanique/1375-dossier-definitif-contrat-de-rivieres-fascicule-b-etat-des-lieux-et-diagnostic/file>
- Verfaillie, D., Lafaysse, M., Déqué, M., Eckert, N., Lejeune, Y., & Morin, S. (2017). Multi-components ensembles of future meteorological and natural snow conditions in the Northern French Alps. *The Cryosphere Discussions*, 1-36.

Capitolo 10

- Chaix, C. (2016). *Rivières 2015/2016 - Débits du Chéran* (Les notes de l'Observatoire - Impacts n°18). Observatoire Savoyard du Changement Climatique dans les Alpes du Nord. <http://www.mdp73.fr/index.php/publications/category/8-impacts-du-changement-climatique?download=266:impacts>
- Chambéry métropole - mission développement durable. (2016). *Territoire à énergie positive - La transition*

- énergétique sur le territoire des agglomérations de Chambéry et d'Annecy et du Parc naturel régional du massif des Bauges. http://www.parcdesbauges.com/images/contenus/agir/que-fait-parc/developper-territoire/energie-eco-construct-mobil/tepos/20161125_dossier_presentation_TEPOS.pdf
- Communauté de communes Cœur de Savoie. (2016). *Territoire à énergie positive : Un programme ambitieux pour un territoire audacieux*. Montmélian.
- ORECC Auvergne-Rhône-Alpes. (2018). *Le changement climatique en Auvergne-Rhône-Alpes Profil climat territorial - Territoire : CA Chambéry Métropole - Cœur des Bauges*. http://orecc.auvergnerhonealpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orecc/Documents/Donnees_territoriales/Profils_EPCI/Fiche_CA_Chambéry_Metropole-Coeur_des_Bauges.pdf
- PNR du Massif des Bauges. (2006a). *Nouvelle Charte 2007-2019 - Rapport d'orientations opérationnelles*. http://www.parcdesbauges.com/images/contenus/mediatheque/votre_parc/PNRMB%20Charte%202007_2019%20Rap%20Orient%20operationnelles.pdf
- PNR du Massif des Bauges. (2006b). *Nouvelle Charte 2007-2019 - Rapport d'orientations stratégiques*. http://www.parcdesbauges.com/images/contenus/mediatheque/votre_parc/PNRMB%20Charte%202007_2019%20Rap%20Orient%20strategiques.pdf
- PNR du Massif des Bauges. (2009). *Charte forestière de territoire du massif des Bauges 2009-2013*. http://www.parcdesbauges.com/images/contenus/agir/que-fait-parc/developper-territoire/foret-et-filiere-bois/pdf/_CFT_Massif_des_Bauges_2009-2013.pdf
- PNR du Massif des Bauges. (2014a). *Leader 2014 / 2020 Appel à manifestation d'intérêt - Candidature du Massif des Bauges*. http://www.parcdesbauges.com/images/contenus/menu-bas-page/programme-leader/pdf/GAL_DU_MASSIF_DES_BAUGES_-_CANDIDATURE_LEADER_2014-2020-light.pdf
- PNR du Massif des Bauges. (2014b). *Plan Climat Énergie Territoire - Livre blanc pour prendre en compte les effets du changement climatique et lutter contre les émissions de gaz à effet de serre sur le territoire du Parc naturel régional du Massif des Bauges* (p. 100).
- PNR du Massif des Bauges. (2015). *Révision de la candidature Espace Valléen - Proposition de nouveaux axes stratégiques*. http://www.parcdesbauges.com/images/contenus/mediatheque/tourisme/candidature_espace_v_101115.pdf
- PNR du Massif des Bauges. (s. d.). *Agriculture*. <http://www.parcdesbauges.com/fr/agir/que-fait-le-parc/developper-le-territoire/agriculture.html#.WzJaai3pPOR>
- Union Européenne, Région PACA, & Région Auvergne-Rhône-Alpes. (2015). *APPEL A PROJETS - Programme Opérationnel Interrégional FEDER du Massif des Alpes- (Axe 1/OS 1) « Protéger et valoriser les ressources alpines pour un développement durable des territoires de Montagne » - INGENIERIE ESPACES VALLEENS*. http://www.isere.gouv.fr/content/download/21938/148310/file/AAP_POIA_Ingenierie_Espaces_Valleens_01.pdf
- Verfaillie, D., Lafaysse, M., Déqué, M., Eckert, N., Lejeune, Y., & Morin, S. (2017). Multi-components ensembles de future meteorological and natural snow conditions in the Northern French Alps. *The Cryosphere Discussions*, 1-36.

Capitolo 11

- ARPA. (2017). *Relazione sullo Stato dell'Ambiente in Piemonte*
- Bovo, S., Cagnazzi, B., De Luigi, C., Lattuca, L., Paesano, G., Pelosini, R., ... & Provenzale, A. (2011). *Cinquant'anni di dati meteo-climatici in Piemonte - Temperatura e Precipitazioni giornaliere (1958-2009) - Integrazioni sul territorio. Analisi statistiche e Confronti storici*. Arpa Piemonte
- Bovo, S., Cordola, M., Pelosini, R., Nicoletta, M., Ronchi, C., & Turrone, E. (2008). *L'innevamento naturale delle Alpi piemontesi e le condizioni meteorologiche favorevoli alla produzione di neve programmata*. Arpa Piemonte
- Cagnazzi, B., Cremonini, R., De Luigi, C., Loglisci, N., Paesano, G., Ronchi, C., ... & Cesare, M. R. (2007). *Piemonte II Piemonte nel Cambiamento climatico osservazioni passate, impatti presenti e strategie future*. ARPA Piemonte
- Cane, D., De Luigi, C., Ronchi, C., Paro, L., Borasi, L., Maffiotti, A., ... & Pelosini, A. (2011). *Il cambiamento climatico: le attività di Arpa Piemonte su stato, impatti e risposte*. Arpa Piemonte.
- 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(2-3), 185-195.

- Di Napoli, G., & Mercalli, L. (2008). *Il clima di Torino: tre secoli di osservazioni meteorologiche*. SMS-Società Meteorologica Subalpin.
- Fратиани, S., Brunatti, S., Acquaotta, F., & Cordola, M. (2010). Contributo allo studio del cambiamento climatico sulle Alpi Occidentali: il caso della Valle Maira. *Neve e Valanghe*, 69, 20-25.
- Mercalli, L., Cat Berro, D., Acordon, V., & Di Napoli, G. (2008). Cambiamenti climatici sulla montagna piemontese. *Rapporto tecnico realizzato per la Società meteorological Subalpina*, 143.
- Pannocchia, A., Penon, A., Nappi, P., & Converso, C. (2013), *Lo Stato dell'Ambiente del Pinerolese*. Arpa Piemonte
- Rivella, E. (2016). *Risposte biologiche al cambiamento climatico, monitoraggio e adattamento della biodiversità regionale*. Arpa Piemonte
- Robotto, A. (2016), *Cambiamenti climatici in Piemonte*. Arpa Piemonte