

Figura 4.9 – MAPPA DI RISCHIO TOTALE DA INCENDI BOSCHIVI SUL TERRITORIO LOMBARDO

Il rischio di incendi boschivi tiene conto, oltre che della probabilità del verificarsi di incendi dovuti a cause sia dolose sia colpose, anche della vulnerabilità del territorio regionale connessa alla presenza antropica. Per distribuzione territoriale il fenomeno degli incendi si manifesta in modo diverso sul territorio lombardo in funzione della presenza di soprassuoli boscati e dei prato-pascoli. (Fonte: Regione Lombardia, “Programma Regionale Integrato di Mitigazione dei Rischi”, 2008)

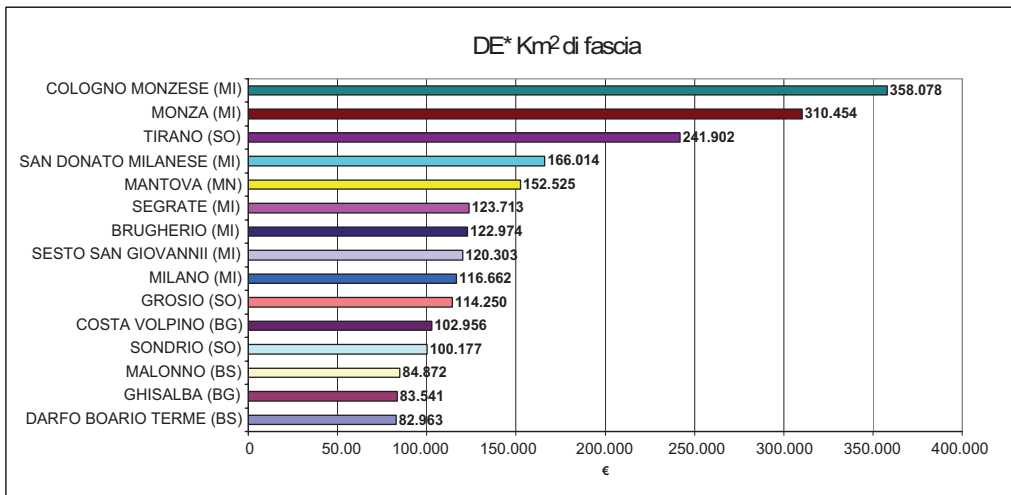


Figura 4.10 – DANNO ECONOMICO PER 15 COMUNI DELLA FASCIA FLUVIALE

La figura riporta il danno economico potenziale per alluvioni, normalizzato alla superficie (in km²) indicizzato al valore delle infrastrutture presenti nelle fasce fluviali B e C a livello comunale sui principali 7 fiumi della Lombardia. Questo grafico ci permette di conoscere quali sono i Comuni con il tasso di antropizzazione delle fasce più elevato e, quindi, le località verso le quali si dovrebbero indirizzare gli interventi prioritari di messa in sicurezza del territorio. Si possono infatti individuare 3 macroaree ad elevato rischio economico: la prima è formata da Milano, Cologno Monzese, Monza e San Donato Milanese; la seconda da Mantova, Goito, Bagnolo San Vito, Virgilio e Marcarla; e la terza da Pavia e Travacò Siccomario.

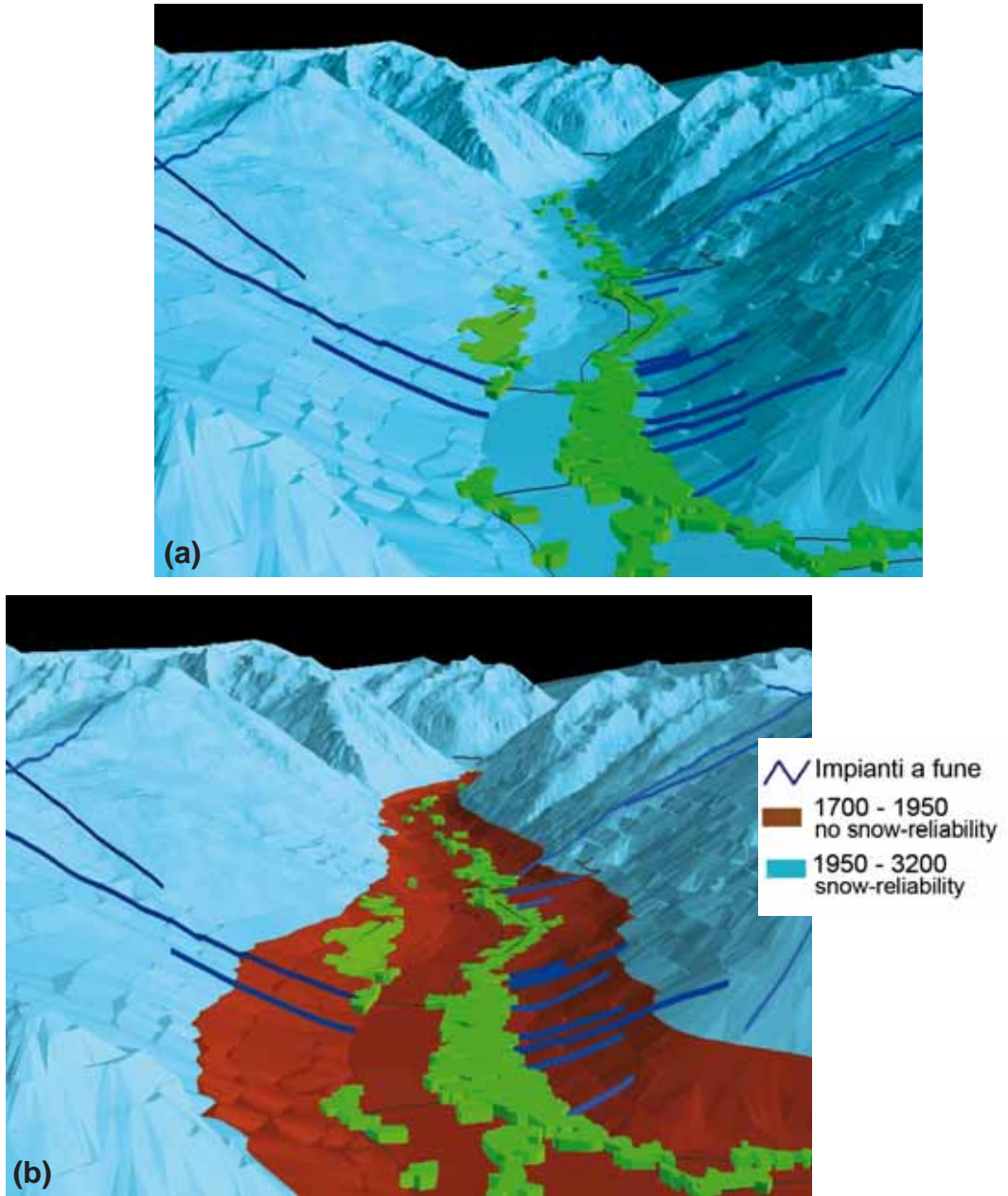


Figura 4.11 – LINEA DI AFFIDABILITÀ DELLA NEVE A LIVIGNO

Dalla figura (a) si vede che nei mesi invernali (da metà dicembre a metà marzo), la Linea di Affidabilità della Neve (LAN o Line Snow Reliability) è più bassa del fondo valle di Livigno (posto a quota 1.700 m slm) e quindi la sciabilità è garantita nelle condizioni attuali per tutta la stagione invernale. Dalla figura (b), invece, si evince che nel 2050, per uno scenario prudente di emissioni di gas serra, la linea di affidabilità della neve risulta più alta del fondovalle e di conseguenza si ha una perdita di una parte delle piste sciabili. In generale, dallo studio è emerso che in Lombardia il 36% delle piste si troverà al di sopra della LAN; di queste, la maggior parte appartiene alla provincia di Sondrio.

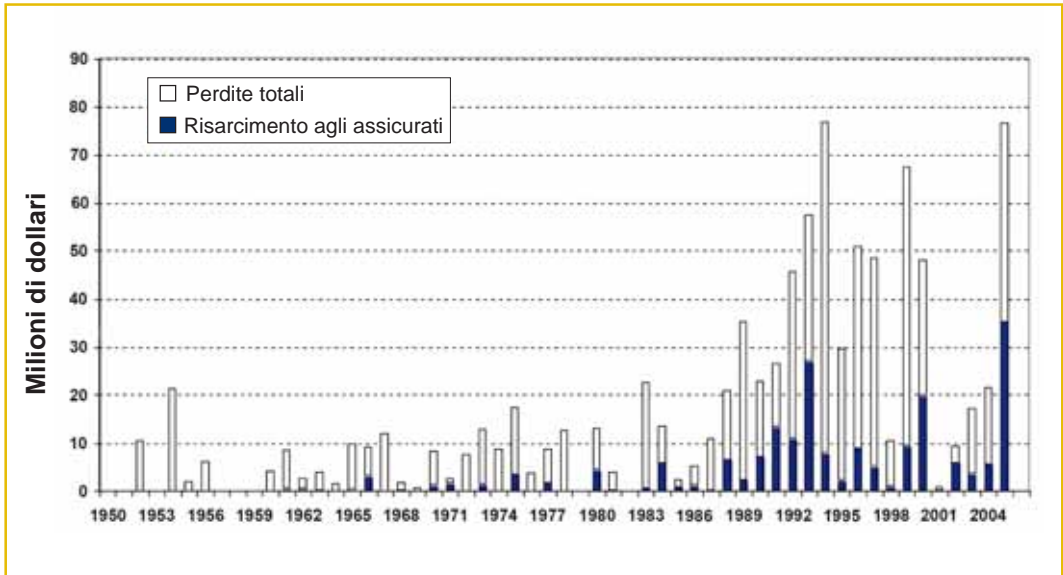


Figura 4.12 – PERDITE ECONOMICHE E COSTI ASSICURATIVI CAUSATI DA EVENTI METEO-CLIMATICI

Il settore assicurativo è tra i più sensibili del mercato ai rischi derivanti dai cambiamenti climatici in quanto, se venisse confermata la tendenza ad un aumento di intensità e frequenza degli eventi climatici estremi e dei danni da essi provocati, dovrà prepararsi a sostenere una crescita delle richieste di risarcimento. Per questo motivo, la case assicuratrici hanno preso molto seriamente questa minaccia e stanno studiando il fenomeno e monitorando la situazione da diversi anni. (Fonte: Munich Re, NatCat Service, 2004)

4.5 Che cosa si sta facendo e che cosa si può fare

Per valutare i danni economici e stimare i costi sociali del riscaldamento globale è necessario approfondire la conoscenza di come i cambiamenti climatici abbiano agito e di come agiranno in futuro. Questo implica necessariamente uno sforzo nella raccolta, nell'organizzazione e nell'elaborazione dei dati necessari e nello sviluppo di nuove metodologie di calcolo.

La caratterizzazione delle condizioni future ai fini delle analisi d'impatto è ricca di incertezze a causa della conoscenza ancora approssimata del sistema climatico e dell'imprevedibilità dei sistemi sociali ed economici, la cui evoluzione è legata a decisioni e comportamenti umani impossibili da anticipare con sufficiente confidenza.

- a. L'incertezza legata alle componenti socio-economiche è generalmente affrontata con l'utilizzo di **scenari**, che sono descrizioni plausibili, coerenti e internamente consistenti del possibile stato futuro del mondo. L'uso di più scenari alternativi consente di valutare il ventaglio delle possibili evoluzioni del sistema; in particolare, sono stati definiti 40 scenari che secondo l'IPCC coprono tutte le possibili traiettorie emissive.
- b. Le incertezze sul sistema climatico dipendono dalle ipotesi semplificative utilizzate nella creazione dei **modelli di circolazione generale (GCM)**, che portano a trascurare alcuni processi, e da parametrizzazioni imprecise.

È necessario investire nella ricerca per ridurre le incertezze dei cambiamenti climatici attesi e dei loro impatti

Gli errori possono riguardare le concentrazioni dei gas climalteranti, le forzanti radiative, la sensibilità climatica (risposta globale del clima alle pressioni antropiche) e i *pattern* regionali di cambiamento. Infine, la maggior parte dei GCM presenta una griglia di risoluzione geografica pari a circa 2,5° di latitudine per 3,75° di longitudine, del tutto insufficiente per descrivere efficacemente le complesse caratteristiche geografiche e orografiche di un territorio. Per esempio, la cella del Nord Italia che comprende la Lombardia è

considerata come un altopiano omogeneo di 1.500 m di altitudine.

Poiché le dinamiche dei sistemi fisici e naturali sono governate da fenomeni che avvengono alle piccole scale, risulta necessario applicare **tecniche di regionalizzazione delle simulazioni dei GCM per produrre scenari climatici a piccola scala spaziale**.

Ulteriori incertezze derivano da queste tecniche di regionalizzazione.

Tutte queste incertezze si moltiplicano a ogni passaggio della **procedura di valutazione degli impatti**. È, quindi, auspicabile aumentare lo sforzo per un corretto e sistematico *downscaling* delle previsioni fornite dai GCM, in modo tale che sia possibile formulare delle stime sull'evoluzione futura dei fenomeni oggetto di studio e dei relativi impatti. Per esempio, PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk/>) è un progetto il cui

obiettivo è quello di definire tecniche di regionalizzazione per fornire serie ad alta risoluzione dei cambiamenti climatici per scenari al 2071-2100 in Europa.

Si sottolinea l'importanza di avere a disposizione una **conoscenza il più possibile robusta degli impatti dei cambiamenti climatici**.

Tra i progetti di livello internazionale con l'obiettivo di costruire questa importante base di conoscenze, si può citare, per esempio, il progetto GLORIA (<http://www.gloria.ac.at/>) che, a oggi, studia più di 50 aree per monitorare gli effetti dei cambiamenti climatici sulla vegetazione di alta montagna.

Progetti di questo tipo dovrebbero essere promossi e valorizzati. Senza queste conoscenze risulta infatti difficile la formulazione di efficaci politiche di mitigazione e di adattamento. Lo sviluppo delle conoscenze sugli impatti dei cambiamenti climatici sia sugli ambienti naturali, sia sui settori socio-economici è necessario per ridurre le incertezze, per migliorare la comprensione dei processi che indirizzano il cambiamento e per sviluppare la capacità di previsione dei cambiamenti futuri.

Purtroppo, a oggi, questa base di conoscenze in Lombardia e, in generale, in Italia, è piuttosto debole. In Italia, le Alpi sono le uniche aree da cui provengono dati ritenuti attendibili dal Quarto Rapporto dell'IPCC. Secondo questo Ente sono attendibili quei dati che provengono da studi di durata di almeno 20 anni.

Purtroppo, a oggi, questa base di conoscenze in Lombardia e, in generale, in Italia, è piuttosto debole. In Italia, le Alpi sono le uniche aree da cui provengono dati ritenuti attendibili dal Quarto Rapporto dell'IPCC. Secondo questo Ente sono attendibili quei dati che provengono da studi di durata di almeno 20 anni.

Mancano invece studi di impatti su tutto il resto del territorio nazionale, mostrando una grave lacuna di ricerche di lungo termine in un Paese vulnerabile e al tempo stesso appartenente alla lista degli hotspots mondiali della biodiversità (Myers et al., 2000).

Purtroppo la base di conoscenze sugli impatti dei cambiamenti climatici in Italia è piuttosto debole

Per saperne di più su siti web, pubblicazioni e bibliografia fondamentale consultare il capitolo *Avviso ai navig@nti* a pagina 269

4.6 – A domanda risponde. Le domande più comuni che affiorano in base alla ricerca, seguite dalle risposte dei ricercatori

1. QUALI SONO I PRINCIPALI IMPATTI DIRETTI O PRIMARI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN LOMBARDIA?

Gli effetti macroscopici più rilevanti sono ovviamente riconducibili all'aumento di frequenza dei fenomeni estremi, in modo particolare temperatura e precipitazioni, con effetti che andranno a sovrapporsi e a interagire pericolosamente con problematiche strutturali caratteristiche del sistema socio-economico e naturale lombardo, quali l'invecchiamento della popolazione, il dissesto idrogeologico, la crescita della domanda energetica, la difficoltà di sostenere la produzione agricola, la necessità di conservare biodiversità e la rete delle aree naturali protette della Regione Lombardia.

Tenuto conto che gli scenari dell'IPCC prevedono un aumento della temperatura compreso fra 1,4°C e 5,8°C per la fine del secolo, a fronte dell'aumento già osservato ai nostri giorni di 0,7-1°C, è verosimile che nei prossimi anni possano verificarsi nuovamente ondate di calore simili a quella record che ha colpito il Nord Italia nel 2003 (come del resto l'Europa) e che ha provocato oltre 7 mila morti nel nostro Paese con temperature di 4 gradi sopra la media stagionale per oltre tre mesi. Le analisi sulla frequenza dei ricoveri ospedalieri a Milano nell'estate del 2003 hanno messo in evidenza che l'effetto delle ondate di caldo risulta significativo a partire dal quinto giorno consecutivo di superamento dei 32°C e in forte crescita a partire dall'ottavo. **Le aree più critiche saranno quelle urbane ad alta densità abitativa a causa del concomitante effetto "isola di calore" che comporta un aumento della temperatura rispetto alle aree periurbane.**

I cambiamenti climatici avranno del resto un impatto diretto sul ritiro, evidente già da alcuni decenni, dei ghiacciai nelle zone montane della regione e determineranno in media una diminuzione della **copertura nevosa** durante la stagione invernale. Questi fenomeni influenzeranno a loro volta il **regime idrico** durante il periodo di scioglimento delle nevi e potranno determinare una riduzione dell'invaso dei bacini e una diminuzione della ricarica delle falde.

Lo stress termico legato alle ondate di calore e quello idrico conseguente a una diminuzione delle precipitazioni e, quindi, a una riduzione della disponibilità idrica nel periodo estivo nel momento del picco massimo della domanda potranno ripercuotersi negativamente sulla **produzione agricola** soprattutto fra giugno e luglio, in particolare in quelle zone già caratterizzate tradizionalmente da deficit idrico nel periodo estivo, come per esempio la Bassa padana. Le colture di mais e orticole saranno verosimilmente quelle più colpite dai cambiamenti climatici.

Non meno rilevanti saranno gli **impatti sulla componente naturale**, in particolare sulla struttura e il funzionamento degli ecosistemi terrestri, sulla fisiologia e fenologia

delle specie vegetali e animali, sulla localizzazione degli areali di distribuzione delle specie. In questo ambito, oltre all'evidente impatto negativo generato dall'aumento di frequenza degli eventi estremi (ondate di calore, siccità, precipitazioni intense), giocano un ruolo fondamentale anche **le variazioni piccole ma continue e progressive della temperatura** capaci di influenzare il ciclo biologico di molte specie animali e vegetali. Per esempio, inverni mediamente più miti e brevi possono modificare le relazioni competitive fra le specie alterando la struttura delle comunità biologiche e, in alcuni casi, favorendo la diffusione di agenti parassitari la cui azione negativa è peraltro già stata osservata anche in agricoltura.

Le aree naturali più vulnerabili della regione Lombardia saranno quelle tendenzialmente isolate, localizzate in particolare in zone montane, come gli **ecosistemi fragili alpini**. Infatti, un aumento della temperatura provocherà una riduzione degli habitat adatti alla sopravvivenza delle specie alpine e caratterizzati da condizioni estreme; la presenza di barriere naturali o antropiche impedirà inoltre la migrazione delle specie verso habitat caratterizzati da un clima più adatto. Questo fenomeno interesserà del resto anche gli ambienti naturali collinari e di pianura a causa dell'elevato livello di frammentazione degli habitat. Impatti diretti si potranno verificare anche sugli **ecosistemi acquatici** a causa dell'aumento della temperatura dell'acqua e alla possibile riduzione delle portate dei torrenti nel periodo estivo. Le specie ittiche saranno particolarmente vulnerabili in quanto lo spostamento degli individui è ostacolato dalla presenza di numerose barriere di origine antropica che interrompono e dividono i corsi d'acqua.

2. ESISTONO ANCHE IMPATTI SECONDARI O INDIRETTI CHE POTREBBERO ESSERE RILEVANTI? QUALI SONO?

Oltre ai fenomeni più eclatanti legati all'aumento di frequenza e intensità degli eventi estremi, **i cambiamenti climatici possono esercitare pressioni che si ripercuotono a cascata in una catena di impatti secondari o indiretti sul sistema socio-economico e naturale della Lombardia**. Per quanto riguarda l'ambito sanitario, oltre al già citato impatto delle ondate di calore, un aumento anche lento ma progressivo della temperatura che comporti inverni più miti e un'anticipazione delle temperature tipiche del periodo primaverile favoriranno la diffusione dei pollini responsabili di **allergie e problemi respiratori, come l'asma bronchiale e la rinite**.

Alte temperature ed elevati livelli di umidità, caratteristici di ondate di calore estive potenzialmente sempre più frequenti, sono condizioni favorevoli alla **produzione di aflattossine** – uno dei più potenti cancerogeni naturali – da parte di funghi presenti su vari substrati vegetali (foraggi, insilati, cereali, farine di estrazione, arachidi) in agricoltura. Sebbene inizi sul campo, la contaminazione può interessare successivamente le fasi di raccolta, essiccazione, conservazione, trasformazione, manipolazione e trasporto e diffondersi nella catena alimentare agro-zootecnica fino a costituire una potenziale mi-

naccia per la salute umana, come avvenuto nella primavera successiva all'ondata di caldo del 2003. Un aumento della durata dei periodi con stabilità atmosferica e una diminuzione della copertura nuvolosa, accompagnato da una riduzione delle precipitazioni, potrebbe aggravare il problema della qualità dell'aria nella **aree urbanizzate**, sia per la riduzione dell'effetto di dilavamento delle piogge e di rimozione delle polveri dalle strade, sia per la formazione di inquinanti chimici secondari come le polveri fini e l'ozono, tipicamente nel periodo estivo, con conseguente acutizzarsi delle patologie respiratorie a essi associate.

Al contrario, **inverni più miti avranno il vantaggio quanto meno di ridurre i consumi per riscaldamento con una conseguente riduzione delle emissioni di polveri**. Un aumento della temperatura, unitamente alla riduzione delle portate, potrà inoltre peggiorare la qualità delle acque superficiali e favorire la diffusione di salmonellosi e infezioni gastrointestinali creando anche **problemi per la balneazione dei laghi lombardi**, soprattutto quelli di dimensioni medio-piccole (come Iseo, Idro, Varese e il tratto lombardo del lago di Lugano) già caratterizzati da uno scarso livello di qualità delle acque. Un aumento della temperatura può inoltre creare condizioni favorevoli a **esplosioni algali** che contribuiranno a peggiorare ulteriormente la qualità delle acque. L'aumento progressivo della temperatura potrà favorire in prospettiva anche la **diffusione di malattie portate da vettori**, tipicamente insetti e roditori che, oltre a colpire la fauna selvatica, possono trasmettersi all'uomo (zoonosi). Mentre sembra lontano il rischio della trasmissione della malaria attraverso le zanzare o dell'Hantavirus (noto anche come agente bio-terroristico), maggiore attenzione deve essere posta nei confronti del ruolo delle **zecche**.

Le zecche possono essere vettori di malattie come l'encefalite virale e l'erlichiosi, capaci di causare anche effetti letali per l'uomo.

Sempre sul fronte sanitario, è infine possibile che l'**esondazione di rogge e corpi d'acqua inquinati**, come il Lambro, il Seveso e l'Olona, in conseguenza di precipitazioni particolarmente intense, possa provocare la risospensione del sedimento di fondo e favorire così la **contaminazione delle aree allagate**. Le aree alluvionate sono comunque soggette a un peggioramento della qualità delle acque a causa del ristagno e dei danni generati al sistema fognario e alla rete dell'acqua potabile.

Se verrà confermata la tendenza a un aumento dei fenomeni di precipitazione breve ma intensa, i processi di dissesto idrogeologico potranno subire un'accelerazione che comporterà un aumento dei **fenomeni franosi nelle zone montane e collinari e del rischio alluvionale in modo particolare nelle aree storicamente già interessate da allagamenti**. L'aumento di questi fenomeni avrà conseguenze negative sia per i danni generati al sistema delle infrastrutture, sia per le conseguenze sull'indotto socio-economico delle aree alluvionate.

Mentre l'attenzione è generalmente concentrata su eventi catastrofici con elevato tempo di ritorno, ovvero 200 e 500 anni, la maggior parte dei danni monetari rilevati dal

settore assicurativo proviene in genere da eventi di piena con tempi di ritorno inferiori, ovvero quelli per cui si percepirà più chiaramente un aumento della frequenza a causa dei cambiamenti climatici.

Analisi preliminari sui **flussi turistici** negli ultimi vent'anni in alcune stazioni sciistiche lombarde mostrano chiaramente che inverni più miti e meno nevosi potranno condizionare gli afflussi turistici nelle località montane, in modo particolare in quelle situate a quote più basse e quindi più sensibili a una riduzione delle precipitazioni nevose. In questa situazione, l'innalzamento dello zero termico vanificherà il ricorso a sistemi di innevamento artificiale.

Bisogna tener presente che più che una mera ipotesi questo è un fenomeno già in atto da oltre un decennio: la **riduzione delle precipitazioni nevose** è un fatto che, con poche eccezioni, ha interessato l'intero settore meridionale delle Alpi, senza particolari distinzioni geografiche o altimetriche. La riduzione è stata in media di poco inferiore al 20% in vent'anni con punte del 40% per le località a bassa quota, un fenomeno evidentemente correlato con l'aumento delle temperature nello stesso periodo. L'utilizzo dell'innnevamento artificiale, laddove tecnicamente possibile, comporta del resto impatti ambientali sia per la realizzazione delle opere e degli impianti, sia per la tipologia stessa della neve artificiale che risulta dalle 4 alle 5 volte più pesante di quella naturale producendo così una pressione anomala sul suolo.

Una conseguenza dell'aumento della temperatura durante il periodo estivo sarà quella di **accelerare la vendita di condizionatori per uso domestico: nel 2003 l'incremento è stato del 45% rispetto all'anno precedente.**

Il maggior ricorso a impianti di condizionamento nel settore civile, industriale e dei servizi sostenuto dalla necessità di difendersi dalle ondate di calore comporterà inevitabilmente un **aumento dei consumi energetici** nel periodo estivo che già da qualche anno hanno raggiunto e si avviano ormai a superare quelli invernali, un problema non marginale per un Paese come l'Italia in cui la capacità produttiva fa fatica a soddisfare la crescente domanda energetica. Se non si riuscirà ad agire efficacemente sulla promozione del risparmio energetico, dell'efficienza energetica e delle fonti di energia rinnovabile, l'unica possibilità per scongiurare i blackout controllati che già nel giugno del 2003 hanno interessato il nostro Paese, provocando notevoli danni al sistema produttivo e disagi alla popolazione, sarà quella di aumentare la produzione di energia con sistemi basati su combustibili fossili (gas, carbone, olio combustibile) che, per loro natura, aumenteranno le **emissioni di gas serra** e quindi ci allontaneranno dagli obiettivi fissati dal Protocollo di Kyoto per l'Italia. Nel quadro della Direttiva europea sull'*Emission Trading*, la crescita delle emissioni di gas climalteranti non si pone soltanto come un grave problema ambientale ma, nel caso non si riuscisse a rispettare le quote di emissione previste dal Piano Nazionale di Allocazione, comporterà anche un aumento della bolletta energetica nazionale a causa della necessità di acquistare quote sul mercato dei diritti di emissione o di pagare una multa che, nella seconda fase di attuazio-

ne della Direttiva, salirà a 100 euro/tonnellata di CO₂ emessa oltre il limite prefissato. Per quanto riguarda la **produzione di energia idroelettrica**, già molto rilevante in Lombardia, è necessario tener presente che una variazione del regime delle precipitazioni nella direzione di un aumento della frequenza delle piogge brevi e intense e di un prolungamento dei periodi siccitosi potrebbe comportare una riduzione – anche a parità di precipitazioni annuali – della reale capacità di generazione di energia dei bacini idroelettrici a causa della difficoltà di garantire un sufficiente invaso nei periodi in cui è maggiore il picco di domanda energetica. La riduzione delle precipitazioni nevose a causa di temperature invernali sempre più miti produrrà una sensibile diminuzione degli apporti al sistema idrico di superficie e a quello delle acque sotterranee.

L'aumento delle derivazioni nel settore mini-idroelettrico per incrementare la capacità produttiva dovrà, d'altro canto, fare i conti col problema di **assicurare le portate minime vitali** per il rispetto dell'integrità ecologica dei corsi d'acqua soggetti a prelievo nel rispetto della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE.

Sprechi e consumi crescenti portano in **deficit il bilancio fra domanda e disponibilità idrica**. Secondo la ricerca *Water Footprints of Nations* (2007), ogni italiano consuma 2.332 metri cubi d'acqua all'anno (equivalenti a 2 milioni e 332 mila litri). L'Italia è prima in Europa per il consumo d'acqua e terza nel mondo, più di noi soltanto gli Stati Uniti e il Canada. Gli italiani consumano quasi otto volte l'acqua usata in Gran Bretagna, dieci volte quella usata dai danesi e tre volte quello che consumano in Irlanda o in Svezia. In questo quadro, l'intensificarsi dei periodi siccitosi renderà drammatici gli storici **conflitti connessi alla gestione delle risorse idriche** nel settore civile, agricolo e industriale.

Gli effetti di una riduzione degli apporti idrici sul sistema socio-economico e produttivo saranno molteplici. La siccità dell'estate del 2003 e il conseguente deficit della rete idrica superficiale hanno reso problematico il rispetto dei limiti di legge sugli **scarichi termici** delle centrali termoelettriche. A questo problema si pose rimedio col DL 239/2003 che evitò il temuto fermo di esercizio degli impianti proprio nel momento in cui la domanda energetica era particolarmente alta. Al di là degli aspetti di carattere normativo, è evidente che una **riduzione delle portate** e un aumento della temperatura dell'acqua di approvvigionamento potrà mettere in difficoltà i sistemi di raffreddamento delle centrali termoelettriche oltre a generare un conflitto fra l'uso per raffreddamento e quello per irrigazione in agricoltura.

Il perdurare di periodi siccitosi potrebbe portare a una riduzione dell'invaso dei grandi laghi lombardi e della portata del Po, cosa che metterà in seria difficoltà la **navigazione lacustre e fluviale** generando difficoltà nel trasporto merci e persone.

Un aumento di frequenza dei fenomeni siccitosi avrà inevitabilmente ripercussioni sul regime degli **incendi boschivi** con un possibile aumento di frequenza e severità e ricadute sulla conservazione degli habitat e della biodiversità. I cambiamenti climatici avranno

impatti secondari sulle **interazioni tra le specie**, favoriranno la diffusione di **specie invasive, vettori di malattie e agenti infestanti negli ecosistemi terrestri**, fenomeni del resto già osservati nel recente passato.

Inverni più miti e l'anticipazione del ciclo biologico potranno favorire **la diffusione di malattie e di agenti infestanti in agricoltura** per il controllo dei quali potrebbe essere necessario ricorrere a un uso più intenso di pesticidi. Ammesso che questi siano sempre efficaci nel controllo dei patogeni e parassiti, è evidente che un uso maggiore di pesticidi avrà inevitabili ricadute sulla qualità dell'ambiente e delle acque.

Al di là degli ovvi impatti in **agricoltura** generati da **fenomeni climatici estremi** come le ondate di calore, le alluvioni e il perdurare di periodi siccitosi, **un incremento anche lento ma graduale della temperatura** potrebbe influenzare la geografia del **settore vinicolo** nel centro-sud Europa, alterando direttamente le condizioni di crescita della vite e di maturazione dell'uva al punto da richiedere cambiamenti strutturali delle produzioni.

Gli effetti di piccoli cambiamenti di temperatura sulla crescita e maturazione dell'uva e quindi sulla qualità del prodotto finale potranno nel caso essere corretti con interventi tecnologici durante il processo di produzione ma, per vitigni che si trovano già ai margini dell'intervallo ammissibile di temperatura per una specifica produzione, un incremento della temperatura potrebbe rendere vano ogni correzione e richiedere quindi un cambiamento di produzione a partire dal vitigno.

Infine, il **settore assicurativo** dovrà fronteggiare una situazione che vede le catastrofi naturali (generate da tempeste e alluvioni) in progressivo aumento a livello globale, come riportato nel rapporto della Harvard Medical School e sponsorizzato dalla Swiss Re Assicurazioni (2005). Lo stesso rapporto evidenzia che **i danni economici generati da eventi climatici sono andati sensibilmente aumentando nel corso degli ultimi cinquant'anni** così come i conseguenti indennizzi. E' altresì chiaro che un aumento dei premi assicurativi graverà sui bilanci di quelle attività che più possono risentire della variabilità climatica e di eventi meteorologici estremi.

3. QUALI SARANNO I SETTORI SOCIALI ED ECONOMICI PIÙ COLPITI IN REGIONE LOMBARDA? È POSSIBILE STIMARE L'INFLUENZA DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUL SISTEMA INFRASTRUTTURALE, SUL SETTORE ENERGETICO E TURISTICO, SULL'UTILIZZO DI RISORSE QUALI L'ACQUA? CON QUALE GRADO DI INCERTEZZA?

Il settore socio-sanitario risentirà ovviamente dell'aumento della **frequenza delle ondate di calore**, anche a causa del progressivo invecchiamento della popolazione e quindi della maggiore consistenza numerica delle classi anziane, le più vulnerabili allo stress termico. **L'aumento dei ricoveri ospedalieri** potrà comportare un aggravio della corrispondente spesa sanitaria. **La relazione causa-effetto fra stress termico e decessi e/o ricoveri ospedalieri è assai robusta** ma la stima della dimensione e l'importanza del

fenomeno necessitano di previsioni quantitative sulle caratteristiche locali del clima e della frequenza delle ondate di calore a livello regionale che ancora non sono disponibili. Se queste ondate di calore si verificheranno di nuovo, come sembra probabile, l'impatto sulla crescente popolazione anziana sarà ineluttabile in assenza di opportuni interventi sanitari.

In termini di politiche di prevenzione, i risultati del Progetto Kyoto Lombardia hanno messo in evidenza che è tanto più importante porre in condizioni di allerta le popolazioni esposte al rischio e le strutture preposte a gestire le emergenze quando siano previsti più giorni consecutivi di caldo eccezionale. Sarà quindi opportuno non basarsi solo sulla previsione giorno per giorno ma sulle previsioni per più giorni e aumentare il livello di allerta in funzione della durata stessa. Per calibrare la capacità di accoglienza delle strutture sanitarie, sarà utile sapere che il numero atteso di ricoveri giornalieri cresce man mano con il passare dei giorni durante l'ondata di caldo.

L'**agricoltura** è ovviamente un altro comparto che risentirà fortemente di un possibile aumento di frequenza dei fenomeni siccitosi. Maggiori approfondimenti su questi comparti vengono presentati nel seguito, ma si può anticipare che anche in questo caso la relazione causa-effetto risulta molto robusta, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti associati al deficit idrico e allo stress termico. L'aumento della diffusione di agenti infestanti in agricoltura a causa dei cambiamenti climatici è un problema concreto anche se la valutazione quantitativa degli impatti risulta invece di più difficile previsione.

Anche il **turismo** potrà risultare fortemente influenzato dai cambiamenti climatici. Quello turistico è un settore economico assai rilevante per la **Lombardia**: contribuisce a circa il 7% del PIL regionale con 25 milioni di presenze nel 2002 e un incremento del 35% delle presenze e dell'85% dei turisti stranieri in 10 anni. Il **turismo invernale sull'arco alpino** sarà ovviamente colpito da una possibile riduzione delle precipitazioni nevose. Infatti, analizzando i dati degli ultimi quarant'anni, è già possibile evidenziare un andamento tendenzialmente decrescente nelle presenze turistiche durante i mesi invernali in località di media e bassa quota, ovvero quelle più sensibili a una riduzione dell'innevamento. Ovviamente, un ulteriore innalzamento della Linea di Affidabilità della Neve (LAN o *snow-reliability*, ovvero la quota al di sopra della quale è garantita una copertura nevosa di almeno 30 cm di neve per un periodo di 100 giorni fra dicembre e aprile durante la stagione invernale) in conseguenza dell'aumento dello zero termico, fenomeno previsto dai principali modelli presentati nel Quarto Rapporto dell'IPPC, limiterà la praticabilità degli sport invernali e in particolare la fruibilità degli impianti sciistici posti a bassa quota. Proprio su questi impianti è possibile prevedere un impatto importante con una notevole perdita per il turismo invernale cui contribuirà anche l'impossibilità di ricorrere a sistemi di innevamento artificiale, a causa proprio dell'innalzamento dello zero termico.

Per quanto riguarda il **settore energetico** si è già accennato precedentemente ai problemi esistenti sia sul lato della domanda che su quello della produzione. Esiste la pos-

sibilità che i quasi 300 impianti di produzione di energia idroelettrica localizzati principalmente in Valtellina e che già nel 1997 contribuivano a coprire circa un quinto della domanda di energia a livello regionale potrebbero risentire delle variazioni del regime delle precipitazioni invernali ed estive.

La prevista diminuzione di precipitazioni nevose dovuta a variazioni del regime delle precipitazioni e all'aumento di temperatura durante il periodo invernale farà diminuire, infatti, l'accumulo di acqua sotto forma di neve e conseguentemente **la disponibilità di acqua** nella stagione estiva e in quella primaverile.

D'altro canto nei periodi di precipitazione più intensa si potrebbe raggiungere rapidamente la massima capacità di invaso dei bacini idroelettrici senza la possibilità di accumulare il surplus di risorsa idrica da sfruttare successivamente nei periodi di picco della domanda energetica. Una stima quantitativa dell'entità di questi fenomeni non è però ancora possibile, sia per la difficoltà di reperire informazioni anche solo sulle modalità attuali di gestione dei bacini per uso idroelettrico, sia per il notevole livello di incertezza associato alla stima delle precipitazioni future, non solo quelle medie annuali o mensili, ma soprattutto quelle di breve durata, da poche ore a pochi giorni, che sono fondamentali per la determinazione degli afflussi e la formazione delle piene.

4. A LIVELLO LOCALE NEGLI ULTIMI 10 ANNI QUALI SONO STATI GLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA MORTALITÀ IN LOMBARDIA? E GLI EFFETTI SUGLI EPISODI E I RICOVERI D'EMERGENZA?

Gli effetti del cambiamento climatico sulla salute in Lombardia sono stati studiati a livello locale, nei comuni di **Milano** e di **Brescia**. Gli studi condotti a livello locale hanno consentito infatti di cogliere in modo puntuale gli effetti dei cambiamenti climatici sulla salute delle popolazioni residenti nelle aree di interesse, concentrandosi in particolare sugli effetti della temperatura (principale veicolo attraverso cui si manifestano gli effetti del cambiamento climatico nei Paesi sviluppati).

L'analisi degli effetti della temperatura sia sui decessi sia sui ricoveri è stata sviluppata in prima battuta stimando e selezionando Modelli Additivi Generalizzati (GAM) sul numero di eventi giornalieri, considerati distintamente. In una seconda fase si è deciso di approfondire l'importanza che può rivestire, sulla salute delle popolazioni residenti, il persistere di condizioni climatiche avverse, studiando gli effetti delle ondate di calore, quali l'estate calda del 2003, sulla salute.

La ricerca condotta è stata poi dedicata alla comparazione degli effetti climatici sui ricoveri nelle due città, effettuata includendo nei modelli una variabile *dummy* e un termine di interazione in grado di cogliere il ruolo della città, anche in termini marginali, nell'effetto della temperatura sui ricoveri.

La procedura di stima e di selezione dei modelli GAM è stata applicata ai conteggi dei ricoveri e dei decessi, sia di Milano sia di Brescia, considerando tutti i ricoveri (sia per

malattie del sistema cardiocircolatorio, sia per malattie del sistema respiratorio). La forma della relazione è sostanzialmente quella attesa, ovvero una **relazione crescente tra le due variabili (temperatura ed episodi sanitari)** che, in qualche caso, risulta lineare. Inoltre un effetto marginale positivo, anche se contenuto, è stato individuato per Brescia. L'analisi degli effetti delle ondate di calore ha consentito di evidenziare, attraverso le procedure di selezione, come le ondate di calore siano significative per spiegare il numero di ricoveri e quanto questa conclusione sia robusta rispetto alla definizione di ondata di calore e di intensità della stessa.

In tale contesto il miglior modello è risultato quello basato su ondate di calore definite come periodo di almeno due giorni con temperatura massima al di sopra di 32°C e con P(L)t (variante della posizione del giorno entro l'ondata di calore) come misura di intensità dell'ondata di calore.

5. IN FUNZIONE DEGLI SCENARI DI PREVISIONE SULL'ANDAMENTO DEL CLIMA NEL MEDIO E LUNGO PERIODO, QUALI IMPATTI POSSIAMO ASPETTARCI PER I PROSSIMI ANNI SUL SETTORE DELLA SALUTE NELLA REGIONE?

Per valutare gli impatti futuri del cambiamento climatico sulla salute sono state utilizzate delle simulazioni relative all'aumento della temperatura previsto dal 2000 al 2020, al 2050 e al 2099 in base a due scenari IPCC, A2 e B2, per Milano e Brescia. Gli impatti sono stati stimati sul numero di ricoveri e decessi giornalieri per gli anziani nel periodo estivo. L'analisi mostra un incremento atteso del numero di ricoveri giornalieri e di decessi per tutte le diagnosi, relativamente alla città di Milano. L'effetto è comunque percentualmente più elevato sui ricoveri piuttosto che sui decessi. Relativamente alla città di Brescia, appare evidente l'effetto di un incremento medio della temperatura massima sul numero di decessi giornalieri di soggetti con più di settantacinque anni per patologie respiratorie.

6. SI È REGISTRATO NEGLI ULTIMI ANNI UN AUMENTO DEI DANNI ALLE INFRASTRUTTURE LOMBARDE IN SEGUITO AD ALLUVIONI E/O SMOTTAMENTI E/O VALANGHE ATTRIBUIBILE AL VERIFICARSI DI EVENTI ESTREMI? LA FREQUENZA DI QUESTI EVENTI È CORRELATA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI? È POSSIBILE SVOLGERE UNA MONETIZZAZIONE DEI DANNI SUBITI?

Per quanto riguarda **la monetizzazione dei danni legati a un aumento del rischio alluvionale** è possibile effettuarne una stima preliminare per la **Lombardia** che risulta ovviamente caratterizzata da un certo grado di incertezza legato a fattori quali l'elevata dimensione territoriale, la varietà di ambiti territoriali presenti, la mancanza di affidabili modelli previsionali delle precipitazioni future e soprattutto dell'eventuale variazione nel regime pluviometrico in relazione ai mutamenti climatici.

Nonostante queste difficoltà è stato sviluppato un **semplice modello costruito a partire dalla definizione classica di rischio**. Con questo modello è stato possibile stimare **l'entità dei danni materiali alle infrastrutture viarie** – misurati in termini di costi di ripristino – in conseguenza di un aumento di frequenza delle piene di progetto di 200 e 500 anni utilizzate dall'Autorità di Bacino del Fiume Po per determinare rispettivamente le fasce fluviali B e C. Un'analisi territoriale condotta in questo studio su principali corpi idrici della Lombardia (Adda, Chiese, Lambro, Mincio, Oglio, Serio e Ticino) ha stimato che il valore di determinate infrastrutture (strade, elettrodotti, aree residenziali) localizzate all'interno di aree a rischio alluvionale è vicino ai 35 miliardi di euro. Nello studio non è stato possibile stimare il valore delle restanti infrastrutture, altrimenti la cifra sarebbe stata di gran lunga superiore. **Il danno che un evento con tempo di ritorno di 200 anni potrebbe generare su scala regionale per le sole infrastrutture considerate è di circa 1 miliardo e 300 milioni di euro che sale a 15 miliardi e 200 milioni per piene con tempi di ritorno di 500 anni.** Un aumento sensibile della frequenza delle piene di progetto, ovvero della probabilità che si verificano eventi alluvionali di questa importanza, avrebbe quindi delle conseguenze drammatiche. Purtroppo non è stato possibile condurre un'indagine simile anche per il rischio valanghe, per quanto l'interazione fra andamento della temperatura e regime delle precipitazioni risulti ovviamente determinante nell'insorgere di questo fenomeno. Infatti, la variazione di questi due fattori meteo-climatici in seguito ai cambiamenti climatici, in particolare all'aumento della temperatura, può quindi **favorire la formazione di valanghe**.

7. È POSSIBILE PREVEDERE LA VARIAZIONE SUPERFICIALE DELLE FASCE ESONDABILI, OVVERO VALUTARE COME UN CAMBIAMENTO DEL REGIME PLUVIOMETRICO INFLUENZI L'ESONDABILITÀ DI ALCUNE AREE?

Stimare come si modificheranno le **fasce esondabili** in conseguenza dei cambiamenti climatici è un'operazione che a oggi risulta affetta ancora da notevole incertezza. Essa infatti richiede di conoscere con un ragionevole livello di precisione come si modificherà il regime delle precipitazioni a livello di scala di bacino e su intervalli di tempo molti brevi per il corretto calcolo della formazione degli afflussi e quindi della portata di piena. Purtroppo, per il momento non sono ancora disponibili queste informazioni a causa del notevole livello di incertezza delle previsioni dei modelli climatici su scala locale – con l'eccezione dei bacini più grandi, essenzialmente, per quel che riguarda il nostro territorio, per il fiume Po per il quale è possibile cominciare a formulare delle previsioni a scala di bacino. Per superare queste difficoltà, invece che sull'aumento di portata a parità di tempi di ritorno, è però possibile lavorare sull'aumento di frequenza delle piene di progetto di 200 e 500 anni che sono state utilizzate per determinare le fasce fluviali B e C. Così, operando a parità di portata, è lecito supporre che in prima approssimazione le fasce alluvionali rimangono sostanzialmente invariate.

In questo modo è stato possibile operare un inquadramento generale delle problematiche legate al rischio alluvionale e avere così una valutazione preliminare dell'entità degli impatti economici generati da un aumento del rischio alluvionale. Auspicabilmente, la messa a punto di procedure di calcolo per il *downscaling* a livello locale delle previsioni dei modelli climatici globali permetterà nel futuro prossimo venturo di lavorare direttamente su modelli idraulici di formazione degli afflussi.

8. È POSSIBILE PREVEDERE LA VARIAZIONE SUPERFICIALE DELLE FASCE SOGGETTE A FRANE E/O SMOTTAMENTI IN SEGUITO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI PREVISTI PER LA REGIONE LOMBARDIA?

Frane e smottamenti sembrano risentire degli effetti dei cambiamenti climatici; in particolare, **nell'ultimo secolo** si è verificato un **aumento degli eventi franosi** in parte **connessi col cambiamento di uso del suolo**. Tuttavia, quantificare in maniera precisa la relazione che intercorre tra frane e smottamenti e i cambiamenti climatici non è semplice anche se gli studi più recenti sullo stato del permafrost alpino hanno cominciato a portar luce su questo problema. I dati ottenuti dalle perforazioni dei versanti condotte nell'ambito del progetto PACE (*Permafrost and Climate in Europe*), hanno evidenziato inequivocabilmente un aumento notevole della temperatura interna ai versanti alpini ghiacciati, ben al di sopra dei valori di riscaldamento della temperatura atmosferica, in costante incremento negli ultimi decenni a causa dell'immissione di gas serra. Le stime indicano un aumento complessivo della temperatura del permafrost alpino da 1°C a 2°C nel secolo scorso. Tra gli ulteriori fattori scatenanti vi sarebbe poi il progressivo ritiro dei ghiacciai che lascia esposte intere superfici ghiacciate agli effetti deleteri del calore estivo. Il disgelo del permafrost rende maggiormente instabili i pendii e l'alterazione dei flussi idrici può avere effetti diretti sulla frequenza di accadimento di frane e smottamenti provocando frane e colate di fango di dimensioni potenzialmente molto rilevanti. Le aree più a rischio sono i cosiddetti "ghiacciai di roccia", giganteschi accumuli di roccia e ghiaccio simili a colate di lava e in lentissimo movimento verso valle. Fra le zone a rischio, per esempio, c'è il **Passo dello Stelvio**, dove la coltre ghiacciata raggiunge i 100 metri di profondità a quote di 2.400 metri. Nonostante la difficoltà di fare previsioni quantitative sui tempi e modi con cui potrebbero verificarsi eventi franosi innescati o accelerati dai cambiamenti climatici globali, questa problematica non può essere trascurata in una regione come la Lombardia che, fra le regioni italiane, è ai primi posti come numero di eventi legati ai dissesti idrogeologici.

9. QUALI PROBLEMATICHE SOCIO-ECONOMICHE LEGATE AL TURISMO INVERNALE POSSONO ESSERE CAUSATE DALLA RIDUZIONE DELLA COPERTURA NEVOSA?

La copertura nevosa rappresenta una risposta integrata alla variazione sia della **tempe-**

ratura sia della precipitazione. Le proiezioni per il XXI secolo danno una diminuzione distribuita su vaste aree del Pianeta, ed è attesa una riduzione della copertura nevosa annuale nell'emisfero nord intorno al 13%. Le conseguenze sono (peraltro già evidenti) un ritardo nell'accumulo di neve al suolo nella stagione invernale e un anticipo nello scioglimento in primavera.

Utilizzando i dati di 35 stazioni di rilevamento alpine indicative dei settori alpini meridionali posti tra i 1.000 e i 2.500 metri di quota, fascia entro cui si trova la maggior parte delle stazioni sciistiche invernali (WWF, 2006), è stato stimato che le precipitazioni nevose hanno subito mediamente una diminuzione complessiva del 18,7 % nel periodo 1982-2003.

Il turismo invernale è stato, di conseguenza, sfavorito da questa situazione a causa dello spostamento verso quote più alte della Linea di Affidabilità della Neve (quella quota al di sotto della quale lo spessore di neve al suolo è insufficiente per praticare sport invernali).

Poiché la dipendenza dalla neve di tutte le località turistiche invernali è totale, si è cercato di ovviare al deficit delle precipitazioni nevose con l'innevamento artificiale, oggi una necessità per garantire la sciabilità al di sotto di 2.500 m per tutta la stagione. In analogia a uno studio condotto nella vicina Svizzera, si è assunto che ogni grado centigrado di aumento di temperatura media invernale a causa dei cambiamenti climatici, la LAN – tradizionalmente posta a circa 1.200-1.500 metri di quota – sale di circa 150 m. Grazie al *downscaling* effettuato per le stazioni sciistiche della Lombardia dall'Istituto di Fisica Generale Applicata dell'Università degli Studi di Milano sulle previsioni di temperatura generate dai modelli climatici globali, è stato calcolato che **oltre il 60% delle piste attuali non sarà più fruibile nel giro di 60 anni.**

10. QUALI SONO LE AREE IN CUI SONO PIÙ VISTOSE LE LACUNE DI CONOSCENZA SCIENTIFICA, MONITORAGGIO, DISPONIBILITÀ DI DATI SU CUI SAREBBE NECESSARIO OPERARE PER MIGLIORARE LA STIMA DEI COSTI SOCIALI ED ECONOMICI DOVUTI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI?

In relazione alla valutazione del danno economico e alla stima dei costi sociali dei cambiamenti climatici è necessario sicuramente approfondire la conoscenza dei possibili effetti che tali cambiamenti hanno prodotto in passato e potranno produrre in futuro su scala regionale. Questo implica necessariamente uno sforzo nella raccolta, nell'organizzazione e nell'elaborazione dei dati necessari e nello sviluppo di nuove metodologie di calcolo.

Per quanto riguarda il **rischio idraulico**, la stima del danno alluvionale beneficerebbe di analisi quantitative sulle aree esondabili calcolate per piene con tempi di ritorno inferiori ai 200 anni, visto che questi saranno gli eventi per cui verosimilmente si registrerà più facilmente un aumento di frequenza di accadimento nei prossimi 20-50 anni. Sarà necessario mettere a punto una metodologia standardizzata per il calcolo delle

aree esondabili, eventualmente estendibile anche ai corsi d'acqua minori ma di interesse da un punto di vista alluvionale.

Per la stima del **rischio valanghe, di frane e di smottamenti** si dovrà senz'altro concentrare gli sforzi sull'elaborazione di modelli che possano riprodurre condizioni di instabilità dei versanti indotta dalla fusione e degradazione dei terreni gelati, e stimare di conseguenza i potenziali rischi ai quali le popolazioni montane saranno sottoposte a causa dei cambiamenti climatici. Sarà necessario concentrare lo sforzo sul **monitoraggio delle zone a rischio e sulla realizzazione di database contenenti serie storiche di portate, precipitazioni, temperature, grazie alle quali si potranno produrre mappe di rischio relative allo stato attuale.**

È infine auspicabile aumentare lo sforzo per un corretto e sistematico *downscaling* delle previsioni fornite dai modelli climatici globali, in modo tale che sia possibile formulare delle stime sull'evoluzione futura dei fenomeni oggetto di studio.

11. COSA SI PUÒ FARE PER FAR FRONTE A UNA CRESCITA DEL RISCHIO ALLUVIONALE E DI DISSESTO IDROGEOLOGICO?

In primo luogo è necessario rafforzare la coscienza istituzionale di questi fenomeni attraverso robuste previsioni meteorologiche delle forzanti naturali di questi fenomeni. In secondo luogo **sarà necessario creare meccanismi di “condivisione del rischio”** (*risk sharing*) che coinvolgano tutti gli attori istituzionali che si occupano di protezione civile e di pianificazione e prevenzione a livello nazionale e regionale attraverso il coinvolgimento delle Direzioni Generali della Regione direttamente interessate, i Ministeri e i dipartimenti nazionali della Protezione Civile e a livello locale, attraverso il coinvolgimento di Comuni, Province, Comunità montane, Parchi ecc.

Perché i piani di emergenza siano poi efficaci, bisognerà effettuare una capillare opera di sensibilizzazione/informazione della popolazione e dei soggetti interessati. Sarà inoltre necessario migliorare, attraverso il finanziamento alla ricerca, gli strumenti previsionali; individuare e mappare aree potenzialmente pericolose, sulla base dell'utilizzo di metodologie inferenziali, statistiche e fisiche; calibrare e ridefinire gli scenari di rischio utili alla valutazione delle possibili perdite dal punto di vista naturale, economico e sociale e ridefinire un'efficace pianificazione delle future destinazioni d'uso del territorio in corrispondenza di aree potenzialmente pericolose. Si richiama infine la necessità di valutare gli interventi proposti in un'ottica di tipo costi/benefici.

12. QUALI MISURE DIFENSIVE E DI ADATTAMENTO POSSONO ESSERE INTRAPRESE PER FAR FRONTE AGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUL SISTEMA INFRASTRUTTURALE?

Per far fronte agli impatti dei cambiamenti climatici sul sistema infrastrutturale è necessario approfondire la conoscenza del rischio sul territorio regionale. **Applicando modelli per la stima del danno economico sulle diverse aree a rischio** è infatti possi-

bile valutare, in base alla quantità di beni presenti, all'entità del danno potenziale calcolato e del danno economico atteso su base annua, quali siano le situazioni su cui è più urgente un intervento. Avendo la consapevolezza di quale potrebbe essere la dimensione delle perdite sia in base alla situazione attuale del rischio, sia in relazione ai possibili effetti che i mutamenti climatici stanno producendo e produrranno in futuro, è possibile pianificare le azioni e dirigere gli sforzi in maniera più corretta. Naturalmente l'applicazione di questi modelli richiede di disporre di una serie di dati di carattere idraulico, morfologico, climatologico che ne determinano il grado di rappresentatività. Inoltre una valutazione del rischio su larga scala diventa efficace strumento per la pianificazione territoriale, per quanto riguarda la localizzazione di nuove infrastrutture o altre opere antropiche, dal momento che consente di individuare le porzioni di territorio disponibili e di escludere eventualmente quelle in cui il rischio stesso è ritenuto troppo elevato. Grazie alla determinazione della mappa dei rischi, sarà quindi possibile pianificare anche **azioni per la messa in sicurezza** sulla base delle priorità emerse nello studio.

13. NEL SISTEMA AGRICOLO LOMBARDO, QUALI SONO LE COLTURE PIÙ VULNERABILI, E QUALI QUELLE FAVORITE DAI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ATTO E PREVISTI?

I principali problemi connessi con il cambiamento climatico derivano dalle possibili limitazioni nelle disponibilità idriche, nell'eventuale incremento dei costi per l'acqua destinata a finalità irrigue, nella necessità di dotare le colture a più alto reddito di sistemi di difesa contro eventi climatici estremi, quando possibile. Il **riso**, anzitutto, se da un lato proprio grazie all'effetto termico dell'acqua riesce ad adattarsi meglio di altre colture all'aumento delle temperature, evidentemente è più sensibile alla disponibilità di acqua e al suo eventuale incremento di costi. Il **mais** e le **colture orticole** di pieno campo sono le altre colture che rischiano di essere più penalizzate dalle eventuali carenze idriche e da un eventuale aumento dei costi dell'acqua per irrigazione. Tuttavia, per le colture orticole l'uso di sistemi di irrigazione a goccia, costosi ma molto più razionali, possono sopperire in modo più efficiente alla eventuale scarsa disponibilità idrica (anche per l'aumentato fabbisogno dovuto alle temperature più elevate).

D'altro canto il mais può anche avvantaggiarsi, superate le eventuali carenze, sia delle alte temperature che dell'aumento di domanda (e di prezzo) connesso anche al potenziale utilizzo per finalità energetiche (produzione di biomasse per produzione di biogas, per esempio).

14. COME DOVRÀ ADATTARSI E DIVERSIFICARSI L'AGRICOLTURA LOMBARDA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI?

I principali adattamenti dovranno riguardare le modalità di irrigazione e la possibilità di razionalizzare la distribuzione della risorsa idrica anche in base alla

profitabilità del suo impiego. In altri termini, diventa sempre più indispensabile passare a un sistema di pagamento dell'acqua per uso irriguo in agricoltura che faccia effettivo riferimento ai consumi, al fine di ottimizzarne l'uso. Sarà necessario passare da forme di irrigazione che comportano grandi consumi e grandi perdite di acqua a forme più efficienti che permettano di realizzare interventi più mirati ed efficaci anche in presenza di risorse scarse. A tal fine sarà anche necessario **realizzare interventi mirati sulle infrastrutture irrigue per minimizzare le perdite** che si verificano nella fase di trasporto e distribuzione, e per rendere più mirato e flessibile possibile l'uso della risorsa. Un possibile adattamento, a fronte di eventuali carenze idriche, potrà anche consistere nella sostituzione di colture più esigenti in termini di necessità idriche con altre meno esigenti: per esempio cereali autunno-vernini (frumento e orzo) al posto di mais.

15. QUALI NUOVI INDIRIZZI DOVRANNO ESSERE PRESI PER LA RICERCA E LO SVILUPPO DI NUOVE VARIETÀ NELLE COLTURE, DI NUOVE TECNICHE PRODUTTIVE, DI NUOVI MACCHINARI?

La ricerca varietale, in ogni caso, dovrà essere sempre quanto meno accompagnata anche da una attenta valutazione della sensibilità e/o della resistenza ai fattori climatici potenzialmente limitanti (ondate di calore, carenze idriche). Tuttavia sarebbe importante realizzare una analisi sistematica delle diverse varietà delle principali colture di interesse per la regione anche dal punto di vista della resistenza e/o della **capacità di adattamento a calore e stress idrici**, in modo da poter divulgare agli agricoltori anche queste informazioni.

L'aspetto più rilevante dal punto di vista tecnologico, tuttavia, è quello relativo allo sviluppo e all'adozione generalizzata di **tecniche efficienti di irrigazione mirata**, in sostituzione dell'irrigazione a scorrimento o con irrigatori a lunga gittata che comportano grossi sprechi di acqua (in gran parte persa per evaporazione), di energia (date le notevoli potenze richieste per raggiungere le pressioni di esercizio) e che rischiano di generare ricadute negative dal punto di vista fito-sanitario (grande calore e pioggia sulle foglie comportano un grande aumento dei rischi di diffusione di funghi, in particolare). A tal proposito potrebbero essere utili, per esempio, innovazioni nel campo delle ale piovane anche di dimensioni relativamente limitate.

Un altro importante indirizzo certamente auspicabile è la diffusione su vasta scala delle tecniche agronomiche della minima lavorazione (*minimum tillage*) e, a seguire, della non lavorazione (*no tillage*), almeno nelle aree dove i terreni lo consentono più facilmente (non quelli più argillosi). Infine, nuove risorse per la ricerca potranno essere utilmente destinate a realizzare specifiche analisi della sostenibilità delle diverse tecnologie per la produzione di biomasse nello specifico contesto lombardo.

16. QUALI CAMBIAMENTI NELL'USO DEL SUOLO SI PROSPETTANO NEL LUNGO PERIODO?

I principali cambiamenti nell'uso del suolo non saranno dovuti principalmente alle politiche agricole o all'impatto diretto del cambiamento climatico sul settore: il tema emerso nuovamente negli ultimi anni resta quello della **perdita di superficie agricola a favore delle aree urbanizzate**. In questo senso, tuttavia, sarà sempre più necessario passare a politiche di sviluppo urbanistico che tendano a minimizzare lo spreco di queste superfici, per esempio dando priorità al razionale utilizzo delle aree urbane intercluse non utilizzabili per l'agricoltura, prima di consentire ulteriori espansioni urbane in territori agricoli. Ciò comporterebbe effetti positivi.

Un'area che potrebbe subire importanti cambiamenti è quella attualmente destinata alla risicoltura, anche se il cambiamento potrebbe essere dovuto direttamente prima a un cambiamento delle politiche agricole europee di sostegno del settore piuttosto che alla disponibilità di acqua. Ciò potrebbe avere, ovviamente, importanti ricadute anche sulla disponibilità e sulla domanda di acqua del settore agricolo nelle specifiche aree interessate.

17. QUALI LEGAMI E QUALI INTERAZIONI SI POSSONO AVERE TRA LE POLITICHE AGRICOLE-COMUNITARIE, IL PIANO DI SVILUPPO RURALE E LE SCELTE DI POLITICA REGIONALE, NEL CONTESTO DI CAMBIAMENTI CLIMATICI E DEI SUOI POSSIBILI EFFETTI SULL'AGRICOLTURA?

Uno degli aspetti critici legato alle politiche europee, nazionali e regionali è certamente quello delle **bioenergie**. Al di là dei primi entusiasmi e delle prime esperienze, è necessario passare a una più attenta valutazione della diffusione di queste tecnologie al fine di evitare uno sviluppo motivato solo dalla presenza di importanti sussidi e di guidare le scelte in un'ottica di sostenibilità dimostrata di lungo periodo, sia dal punto di vista ambientale che energetico e, in ultima analisi anche economico, sia pure in una prospettiva "pubblica". **È necessario interrogarsi più compiutamente, infatti, circa i veri effetti che le diverse opzioni tecnologiche hanno, o possono avere, su tutto il sistema e in tutta la durata dell'intervento.**

Nell'ambito del Piano di Sviluppo Rurale della Regione Lombardia, invece, appaiono certamente centrali i due temi sopra ricordati dell'adozione di tecniche di irrigazione più efficaci ed efficienti: gli interventi per il miglioramento dei sistemi di distribuzione delle acque irrigue e il sostegno all'adozione delle ricordate tecniche agronomiche di lavorazione minima o non lavorazione, anche al fine (da documentare) di aumentare significativamente la quantità di carbonio immagazzinata nei suoli (*sink* di carbonio).

18. IN FUNZIONE DEGLI SCENARI DI CAMBIAMENTO DEL CLIMA, QUALI SONO I POTENZIALI IMPATTI ECONOMICI DI MEDIO E LUNGO PERIODO SULL'AGRICOLTURA LOMBARDA?

Al fine di stimare l'impatto di possibili cambiamenti climatici sull'agricoltura regionale, si è ritenuto necessario analizzare congiuntamente due ordini di eventi: da un lato gli

effetti della riforma della PAC del 2003 sull'agricoltura lombarda, dall'altro gli effetti dei cambiamenti climatici. Partendo dalle elaborazioni svolte si è proceduto introducendo ulteriori elementi che permettessero di effettuare una stima delle variazioni in termini economici del valore aggiunto e del valore della produzione agricola lombarda al 2015 per l'effetto congiunto della riforma della PAC e del cambiamento climatico. Per fare questo sono state sviluppate due diverse serie di integrazioni e di modifiche. Anzitutto si è prolungata l'evoluzione delle rese stimate al 2007 per le colture principali fino al 2015, immaginando una sostanziale prosecuzione invariata in direzione ed intensità, delle rese già stimate al 2007. A queste rese si sono poi applicate delle riduzioni che servissero per rappresentare l'effetto delle variazioni climatiche sull'agricoltura. Per questa parte ci si è avvalsi dei dati delle riduzioni nelle rese registrate nel 2003.

La simulazione dei soli effetti della riforma della PAC si sintetizza in una riduzione del valore della produzione agricola ai prezzi di base pari al 6%, e a una riduzione del valore aggiunto ai prezzi di base del 3,5%. Se a queste valutazioni si aggiungono anche gli effetti stimati per le variazioni climatiche, gli stessi indicatori scendono ulteriormente fermandosi, nel caso del valore della produzione, ai prezzi di base a -7,8%, e per il valore aggiunto a -8,3%. **Complessivamente, quindi, l'aggravamento dei risultati economici dovuto alle variazioni climatiche**, secondo questo primo e iniziale tentativo di quantificazione, **non sarebbe particolarmente significativo**. Si deve ricordare, tuttavia, che in questo contesto si sono implicitamente ammessi e considerati gli adattamenti nei comportamenti degli agricoltori a fronte dei cambiamenti climatici e, essenzialmente, non sono stati posti vincoli sulla disponibilità idrica per irrigazione.

19. ESISTONO GIÀ SEGNALI DI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUGLI ECOSISTEMI NATURALI DELLA LOMBARDIA? QUALI SISTEMI NATURALI SI SONO MOSTRATI PIÙ SENSIBILI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI?

Per trovare evidenze di impatti dei cambiamenti climatici in atto è necessario far riferimento a studi realizzati su aree vicine o simili alla Lombardia, oppure a studi realizzati su una scala tale da comprendere anche il territorio regionale. **I sistemi naturali in Lombardia sono già soggetti agli effetti dei cambiamenti climatici globali**. Nel seguito sono riportate alcune delle evidenze che riguardano **fauna e flora** osservate su ecosistemi montani, tra i più vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici in Lombardia, e altri più generali.

Risultati importanti per la raccolta di prove degli impatti dei cambiamenti climatici sulla Lombardia sono stati conseguiti dal progetto europeo GLORIA (*paragrafo 4.5*) che studia gli impatti sulla vegetazione alpina. Numerose prove raccolte nell'ambito di questo progetto mostrano lo **spostamento di specie vegetali alpine verso quote più elevate** e, insieme, un aumento transitorio della biodiversità con la quota. Nelle Alpi l'aumento della temperatura ha, infatti, facilitato lo sviluppo delle specie di abeti e di pini nella regione

sub-alpina e ha fatto crescere arbusti sub-alpini sulle vette. Le specie vegetali endemiche di montagna sono quindi minacciate dalla migrazione verso Nord di arbusti sub-alpini e specie di alberi più competitivi, causata per larga parte dai cambiamenti climatici.

Uno studio realizzato sui bacini della Svizzera ha mostrato, sulla base di 25 anni di dati, a elevate risoluzioni spaziale e temporale, di temperatura, portata e di pescato di trote fario (*Salmo trutta*), che la **temperatura dei corsi d'acqua è aumentata coerentemente con l'aumento della temperatura atmosferica** e che il declino del pescato di fario (da 907 a 484 individui per chilometro prima e dopo gli anni caldi 1987/88) è attribuibile all'aumento della temperatura. Una concausa del declino della fario è sicuramente attribuibile alla malattia proliferativa renale (PKD) che ha iniziato a diffondersi in Svizzera dagli anni Settanta in poi, inizialmente attorno ai 400 metri sul livello del mare per poi raggiungere gli 800 m slm; l'estensione dell'areale di questa malattia può essere dovuto all'aumento della temperatura dei corsi d'acqua.

Altre evidenze degli impatti dei cambiamenti climatici riguardano l'**allungamento della stagione vegetativa delle piante osservato in Europa**. Da dati fenologici, è stato mostrato che, dal 1962 al 1995, si è verificato un allungamento di circa 10 giorni della stagione di crescita di diversi alberi. Simili evidenze sono state raccolte anche per specie animali; per esempio, la sopravvivenza di alcune specie di uccelli svernanti in Europa (airone grigio, poiana, cormorano, tordo bottaccio, tordo sassello) è cresciuta tra il 2 e il 6% per ogni grado di aumento di temperatura, a seconda delle specie. Il tasso di sopravvivenza sembra essere migliore per le specie dell'Europa settentrionale che traggono maggiori benefici dall'aumento della temperatura.

Infine, in molte parti del mondo, Europa inclusa, si è modificata la composizione delle specie e il tasso di estinzione è diventato tra 100 e 1.000 volte più alto delle condizioni definite normali; sebbene tale situazione sia causata da numerose pressioni dovute principalmente all'attività antropica, **alcuni studi mostrano un'alta correlazione tra le variazioni nella composizione delle specie e i cambiamenti climatici**.

Le evidenze scientifiche degli effetti dei cambiamenti climatici sono numerose e, anche se per ora riguardano aree e Paesi diversi dalla Lombardia o dall'Italia (a causa della scarsità di studi esistenti su queste aree), non è possibile pensare che la nostra regione sia rimasta esclusa da questi processi. È quindi necessario provvedere all'elaborazione di politiche adattative e mitigative, dopo aver inquadrato quali saranno i cambiamenti climatici attesi a livello regionale.

20 QUALI SONO I PRINCIPALI IMPATTI DIRETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUI SISTEMI NATURALI E SULLE SPECIE VEGETALI E ANIMALI NELLA LOMBARDIA? CON CHE GRADO DI PRECISIONE, IN PARTICOLARE SULLE SCALE TEMPORALI E SPAZIALI, È POSSIBILE STIMARE GLI IMPATTI?

Per rispondere a questa importante domanda, la linea di ricerca Esternalità ha predispo-

sto un **Quadro Sinottico degli impatti dei cambiamenti climatici globali sulla regione Lombardia** con l'intento di evidenziare i settori colpiti, gli impatti diretti e quelli indiretti e le relazioni di causa ed effetto esistenti. Il quadro sinottico riguarda tutti i macrosettori che possono subire modifiche in seguito ai cambiamenti climatici: sia settori socio-economici (infrastrutture, salute umana, agricoltura) sia settori ambientali (risorse idriche, ecosistemi terrestri e acquatici, il suolo).

Uno dei principali effetti diretti attesi dei cambiamenti climatici sulla flora è l'aumento della produzione primaria che può però essere ostacolato dalle temperature elevate, dalla scarsità idrica e dall'aumento della frequenza di periodi siccitosi. L'aumento della temperatura e la scarsità d'acqua influiscono anche sulla capacità del suolo di assorbimento del carbonio: una conseguenza piuttosto grave è quindi la **trasformazione da assorbitori a emettitori delle aree forestali e agricole e dai suoli**. Questo si è infatti verificato in Europa in seguito all'ondata di calore del 2003.

I cambiamenti climatici avranno impatti diretti anche sulla fisiologia e fenologia delle specie. Della vegetazione caratteristica della regione Lombardia, quella alpina è particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici: si stima che un aumento di 2-3°C della temperatura rispetto alla temperatura media del periodo 1961-1990, comporti un notevole aumento del rischio di estinzione. L'erba camozzera (*Ranunculus glacialis*), per esempio, è una specie caratteristica delle quote elevate (2.300-2.400 m) in ambiente alpino; questa specie nel tempo si è adattata a brevi periodi di crescita e basse temperature; l'aumento di temperatura la rende più vulnerabile e ne riduce il successo riproduttivo, poiché diminuisce il numero di semi all'aumentare della temperatura.

Impatti dei cambiamenti climatici si verificheranno anche sulla **fauna**, nonché sulla localizzazione degli areali di distribuzione negli ecosistemi terrestri.

Impatti diretti si verificheranno sugli **ecosistemi acquatici** a causa dell'aumento della temperatura dell'acqua che può rendere l'habitat inadatto ad alcune specie e può alterare i parametri demografici delle specie acquatiche.

Un effetto dei cambiamenti climatici è la perdita di habitat adatto alla presenza di una determinata specie animale, terrestre o acquatica. Nel caso studio dello stambecco alpino (*Capra ibex ibex*), si stima che la vocazionalità del Parco dell'Adamello subirà delle modifiche in seguito all'innalzamento della temperatura (secondo gli scenari emissivi dell'IPCC A2 e B2 al 2020 e al 2050). La variazione della vocazionalità è dovuta all'aumento della temperatura che sposta le aree adatte allo stambecco verso quote più elevate; insieme alla temperatura, contribuiscono a determinare la vocazionalità delle aree anche l'esposizione, la pendenza e la vegetazione. Grazie all'inverno più mite, aumentano le aree adatte allo svernamento degli stambecchi; le aree adatte, però, diminuiscono drasticamente nella stagione estiva, a causa dell'aumento della temperatura.

I cambiamenti climatici sono associati a un'elevata incertezza che riguarda prima di tutto le emissioni di gas climalteranti, quindi la risposta dovuta al ciclo del carbonio e al sistema climatico globale e, infine, gli impatti. Ciò nonostante, è possibile stimare gli

impatti dei cambiamenti climatici e valutare anche in quanto tempo questi si verifichino e su quale scala spaziale; per esempio, questo è stato realizzato per lo stambecco del Parco dell'Adamello, come descritto in precedenza.

Gli scenari dell'IPCC, infatti, permettono di studiare gli impatti dei cambiamenti climatici secondo diverse ipotesi di sviluppo futuro e, quindi, di emissioni di gas serra. Inoltre, i modelli di circolazione globale forniscono le simulazioni di temperatura, precipitazione e altre variabili meteorologiche fino al 2090. Metodi statistici di downscaling permettono di riscalarli questi valori di simulazione a scala locale, tenendo quindi in considerazione il clima a livello locale. Tutto questo permette di fare delle valutazioni sugli impatti attesi dei cambiamenti climatici che, comunque, richiedono complesse elaborazioni e che sono soggette alle incertezze di cui sopra.

21. ESISTONO ANCHE DEGLI IMPATTI INDIRETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUI SISTEMI NATURALI E SULLE SPECIE VEGETALI E ANIMALI DELLA LOMBARDIA? QUALI SONO E CON QUALE GRADO DI PRECISIONE, IN PARTICOLARE SULLE SCALE TEMPORALI E SPAZIALI, È POSSIBILE STIMARLI? SI POSSONO MISURARE ANCHE CONSEGUENZE SU SETTORI ECONOMICI E SOCIALI DIVERSI DALL'AMBIENTE NATURALE?

Gli impatti indiretti dei cambiamenti climatici sono descritti nell'esauritivo quadro sinottico che è strutturato secondo catene di impatti che evidenziano i legami di causa-effetto esistenti e, di conseguenza, anche gli impatti indiretti dei cambiamenti climatici. I cambiamenti climatici hanno numerosi **impatti indiretti sui sistemi naturali**, per esempio sulla struttura e il funzionamento degli ecosistemi terrestri, sulle interazioni tra le specie, sulla diffusione di specie invasive, dei vettori di malattie e degli agenti infestanti negli ecosistemi terrestri. Impatti indiretti derivano inoltre dalla possibile modifica del regime degli incendi.

Un impatto indiretto è il disaccoppiamento di eventi sincroni: la risposta individuale delle specie ai cambiamenti climatici può alterare le interazioni tra specie diverse, allo stesso livello trofico o a livelli adiacenti. Quando specie che interagiscono o competono tra di loro mostrano risposte divergenti, il risultato della loro interazione può modificarsi. Questo si è verificato, per esempio, in Gran Bretagna dove si è osservato un disaccoppiamento tra la nascita dei giovani della cinciallegra (*Parus major*) e la disponibilità di cibo: piante e insetti hanno anticipato fioritura e nascita, mentre la schiusa delle uova è rimasta inalterata, causando quindi uno sfasamento che aveva sempre assicurato l'abbondanza di cibo ai nuovi nati.

Anche l'**impatto sulla biodiversità** è indiretto poiché dipende da numerosi altri impatti subiti dalle specie: alterazione dei tassi demografici, spostamenti degli areali di distribuzione delle specie a seconda della loro capacità di dispersione, disaccoppiamento di eventi sincroni, frequenza e intensità di eventi estremi. In un interessante studio sono state stimate le percentuali di specie a rischio di estinzione a causa dei cambiamenti

climatici, usando la proiezione futura della distribuzione delle specie secondo diversi scenari di cambiamento climatico. Lo studio ha considerato una superficie che copre circa il 20% di quella globale per un totale di 1.103 specie animali e vegetali. Il **rischio di estinzione** è stimato pari al **18% per un aumento di temperatura rispetto al 1961-1990 di 0,8-1,7°C**; pari al **24% per un aumento di 1,8-2,0°C** e pari al **35% per un aumento di oltre 2°C**.

L'**alterazione della struttura e del funzionamento degli ecosistemi** è un impatto indiretto dei cambiamenti climatici, poiché dipende non solo da specifiche condizioni di temperatura e umidità, ma anche dalle specie e dai gruppi funzionali che compongono l'ecosistema, alterate dai cambiamenti climatici. La perdita di specie o di gruppi funzionali in un ecosistema può danneggiare il suo funzionamento e la sua capacità di fornire servizi alla società. Alcune specie o gruppi di specie hanno, infatti, una funzione unica all'interno dell'ecosistema e non possono quindi essere sostituiti. Anche la perdita di specie con funzioni simili potrebbe ridurre la resilienza dell'ecosistema e le sue capacità di adattarsi ai cambiamenti.

La **diffusione di malattie, agenti patogeni o infestanti** è un'ulteriore conseguenza indiretta dei cambiamenti climatici: l'aumento della temperatura espande l'areale di diffusione di tali agenti.

Dagli esempi degli impatti indiretti sinteticamente qui riportati, si evidenzia come questi siano da tenere in considerazione per i potenziali danni che possono causare al capitale naturale della regione, ma anche alla salute dell'uomo. Inoltre, l'alterazione della struttura e del funzionamento degli ecosistemi ha **ripercussioni sui beni e servizi** che questi ci forniscono (stabilità dei versanti, conservazione del suolo e dell'acqua, produzione di fibre e di cibo sono solo alcuni esempi).

22. È POSSIBILE PREVEDERE IL COMPORTAMENTO DI UN ECOSISTEMA O DI UNA SPECIE CHE LO COMPONE IN RISPOSTA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI?

Esistono diversi modelli che permettono di prevedere la risposta ai cambiamenti climatici di ecosistemi o di singole specie. Una prima distinzione può essere tra modelli statici e modelli dinamici: i primi modellizzano la relazione tra le caratteristiche della biosfera (per esempio la vegetazione) e dell'ambiente (per esempio il clima), senza simulare i processi in gioco; i secondi, invece, si occupano di modellizzare i processi che regolano la biosfera, studiando anche gli stati transitori che si creano come risposta a dei cambiamenti. Una seconda classificazione distingue i modelli su di una sola specie da quelli su un ecosistema o bioma.

I modelli che descrivono un ecosistema si basano in genere sullo studio di alcune specie che lo compongono e forniscono come risultato la variazione della biodiversità.

I modelli che descrivono invece i cambiamenti dei biomi in genere si basano sui gruppi funzionali. I modelli che studiano una sola specie sono diffusi e, in genere sono modelli

statici poiché si basano sull'assunto che ci siano relazioni di equilibrio a regolare la distribuzione delle specie e che queste si manterranno invariate in futuro.

Numerosi studi mettono in relazione l'areale di distribuzione di una o più specie con le variabili meteo-climatiche; al variare delle condizioni meteo-climatiche, questi modelli forniscono come risultato l'areale di distribuzione atteso in seguito ai cambiamenti climatici. Questi studi in genere si applicano a larga scala, poiché assumono più importanza i fattori climatici rispetto a fattori morfologici, edafici o antropici (per esempio per l'uso del suolo) che, invece, hanno importanza sulla piccola scala.

I due casi di studio di impatto dei cambiamenti climatici sono: il primo sullo stambecco alpino (*Capra ibex ibex*) nel Parco dell'Adamello, il secondo sulla trota fario (*Salmo trutta*) nell'Adda prelacuale.

Per stimare gli impatti attesi sono stati utilizzati **modelli che forniscono la vocazionalità di un territorio in funzione di diverse variabili ambientali, tra cui anche variabili meteo-climatiche che subiscono quindi variazioni per i cambiamenti climatici.** In entrambi i casi sono modelli statici per una sola specie che ci hanno permesso di studiare gli impatti a scala locale.

Nel caso dello stambecco sono state considerate, oltre alla temperatura, anche quota, esposizione, pendenza e vegetazione; i risultati del modello sono mappe di vocazionalità in cui si confronta l'area adatta a ospitare stambecchi nello scenario A2 e nello scenario di riferimento.

Nel caso della trota fario abbiamo applicato due modelli di vocazionalità: uno in funzione della temperatura dell'acqua e uno in funzione della portata dell'Adda prelacuale. La temperatura dell'acqua e la portata del fiume sono state modificate considerando gli impatti dei cambiamenti climatici su temperatura dell'aria e sul regime delle precipitazioni.

23. SI POSSONO PREVEDERE LE INTERAZIONI DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI CON ALTRI FATTORI DI VULNERABILITÀ DEI SISTEMI NATURALI ESISTENTI IN LOMBARDIA? DI QUALE TIPO DI INTERAZIONE SI TRATTA?

Il territorio della Lombardia è soggetto a numerose pressioni (per esempio distruzione degli habitat, inquinamento del suolo, dell'acqua e dell'aria) a cui si devono sommare le pressioni dovute ai cambiamenti climatici; queste pressioni aggravano gli impatti dei cambiamenti climatici, poiché diminuiscono la capacità di adattamento dei sistemi naturali e delle specie che li compongono. Per esempio, lo spostamento dell'areale di distribuzione delle specie terrestri è ostacolato dai cambiamenti di uso del suolo: **l'elevata frammentazione e la diffusa destinazione d'uso ad attività antropiche (aree urbanizzate, agricole e industriali) del territorio impediscono lo spostamento delle specie da habitat che i cambiamenti climatici hanno reso non adatti verso nuovi habitat più adatti.** Questo accade anche per le specie ittiche in quanto lo spostamento degli individui è ostacolato dalla presenza di numerose barriere di origine

antropica che interrompono e dividono il corso dei fiumi. Per quanto riguarda i corpi idrici della Lombardia, esistono degli indicatori che ne valutano, ove possibile, lo stato ecologico. Per il gruppo dei tre grandi laghi lombardi (Como, Garda e Maggiore) e dei laghi di media dimensione (Iseo, Idro, Varese e Lugano) risulta che i primi presentano un indice di stato ecologico sufficiente, i secondi tendenzialmente scadente (Iseo ha 2 stazioni di monitoraggio su 3 in condizione sufficiente).

Anche per i fiumi si evidenziano numerose criticità, in particolare nel periodo estivo: per esempio, il bacino Lambro-Seveso-Olona nella zona centro-occidentale della regione, e il sottobacino del Mella (bacino del fiume Oglio) per la zona centro-orientale. I cambiamenti climatici si aggiungono quindi alle pressioni già esistenti e possono peggiorare lo stato ecologico, già fragile, di questi corpi d'acqua, per esempio: per la modifica dell'apporto di nutrienti, in seguito non solo alle attività antropiche, ma anche solo in seguito all'intensificarsi di eventi estremi; oppure per l'aumentare di eventi siccitosi che possono mettere in serio pericolo gli ecosistemi acquatici.

24. È POSSIBILE FORNIRE UNA VALUTAZIONE ECONOMICA DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SUGLI ECOSISTEMI NATURALI? CON QUALI METODOLOGIE?

Esistono numerosi metodi per attribuire un valore economico agli impatti causati dai cambiamenti climatici ai sistemi naturali. Si possono utilizzare, per esempio, i metodi classici della valutazione di impatto ambientale (come analisi costi-benefici e valutazione contingente) che permettono di determinare il valore d'uso, ricreativo e d'esistenza di beni e servizi ambientali. La monetizzazione di danni a cose materiali viene semplicemente valutata attraverso la diminuzione del loro valore di mercato. I danni alla salute di una popolazione vengono quantificati attraverso metodi quali: accettazione del rischio, diminuzione della produttività, mancato reddito.

La monetizzazione rappresenta solo una parte della stima complessiva degli impatti dei cambiamenti climatici, in quanto deve essere accompagnata da altre valutazioni di tipo ambientale, sociale o tecnico. Si deve, infatti, tenere presente che il capitale naturale non è interamente sostituibile dal capitale economico e che, di conseguenza, una valutazione in termini economici non è esaustiva.

25. È POSSIBILE INDIVIDUARE LE AREE MAGGIORMENTE SENSIBILI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN REGIONE LOMBARDIA?

Il territorio della regione Lombardia è soggetto a numerosi impatti dei cambiamenti climatici che andranno a modificare gli ecosistemi caratteristici della regione. La Lombardia è caratterizzata da una elevata eterogeneità per quanto riguarda l'uso del suolo: aree urbanizzate e industriali, ma anche superfici agricole e aree protette. La superficie delle aree protette è particolarmente elevata e costituisce sicuramente un prezioso patrimo-

nio della Lombardia da salvaguardare anche nei confronti dei cambiamenti climatici. **Molte aree protette**, inoltre, **si trovano nelle aree di alta montagna, che sono quelle più vulnerabili all'aumento della temperatura. La vegetazione alpina**, infatti, **è particolarmente vulnerabile ai cambiamenti climatici**: si stima che un aumento di 2-3°C della temperatura rispetto alla temperatura media del periodo 1961-1990, comporti un **notevole aumento del rischio di estinzione**. Le aree alpine sono vulnerabili perché non hanno disponibile spazio per lo spostamento degli areali di distribuzione verso quote maggiori, spostamento causato dall'aumento della temperatura. I previsti cambiamenti della temperatura media annuale europea rimangono al di fuori dell'intervallo di tolleranza per molte specie di montagna, con il conseguente rischio di perdita di molte specie endemiche.

Sempre per mancanza di spazi adatti verso cui spostare il proprio areale di distribuzione, sono minacciate dai cambiamenti climatici le specie che si trovano in aree isolate, circondate da ambienti altamente antropizzati in cui non potrebbero sopravvivere. Un ottimo esempio è costituito dalle aree umide; alcune aree umide (come le Paludi di Ostiglia) sono una vera e propria isola circondata da terreni agricoli, ma sono luoghi fondamentali per garantire la biodiversità, in quanto forniscono riparo e cibo a numerose specie, spesso anche rare.

26. QUALI POLITICHE MITIGATIVE SI POSSONO INTRAPRENDERE PER PRESERVARE I SISTEMI NATURALI? È POSSIBILE FORMULARE POLITICHE CHE RISPONDANO A ESIGENZE DIVERSE, CONSIDERANDO ANCHE GLI ALTRI FATTORI DI VULNERABILITÀ CHE INSISTONO SUI SISTEMI NATURALI DELLA LOMBARDIA?

Si riportano di seguito alcuni esempi. Poiché lo spostamento degli areali di distribuzione delle specie si indirizza, assecondando l'aumento di temperatura, verso altitudini e/o latitudini maggiori, un'importante politica da perseguire è quella di **assicurare che esistano collegamenti tra aree naturali in modo da rendere possibili gli eventuali spostamenti delle specie verso habitat più adatti**. Questi **corridoi ecologici** possono essere creati o possono essere rafforzati laddove già esistano dei collegamenti; devono servire soprattutto a **creare un sistema a rete tra le numerose aree protette presenti nella Regione, in modo che il capitale naturale lì preservato non sia isolato**. Misure di riduzione dell'inquinamento di aria, suolo o acque possono invece ridurre le pressioni negative sinergiche sulle specie vegetali e animali e quindi facilitare la loro risposta ai cambiamenti climatici. Per quanto riguarda la distribuzione delle piante nelle regioni montane, tra le più vulnerabili in regione Lombardia, è necessario stabilire **riserve ecologiche per ridurre le pressioni antropiche di turismo o sfruttamento del suolo**. Per poter contare sull'assorbimento di carbonio terrestre da parte dei sistemi naturali si possono elaborare **strategie per l'incremento della capacità dei suoli di immagazzinamento di carbonio** e incrementare la coltivazione di specie arboree.

27. QUALI SISTEMI DI MISURAZIONE POSSONO ESSERE ATTIVATI PER MONITORARE IN LOMBARDIA LO STATO DELL'AMBIENTE, LE PRESSIONI DOVUTE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI E LE RISPOSTE DEI SISTEMI NATURALI? QUALE SET DI INDICATORI PUÒ ESSERE ADATTO A TALE MONITORAGGIO?

La mancanza di una raccolta regolare di dati nel passato (di tipo botanico, zoologico ed ecologico) rende ora difficile la ricostruzione degli impatti. Per stimare le possibili risposte degli ecosistemi ai cambiamenti climatici è, infatti, particolarmente importante conoscere le relazioni tra ecosistema e variabili meteo-climatiche: questo permette di capire quali siano i meccanismi attuali esistenti, in che modo possano essere modificati dai cambiamenti climatici e, infine, come questo influenzi l'ecosistema o le specie oggetto di studio.

Inoltre, per esempio, avere a disposizione serie storiche sulla localizzazione della flora alpina ha permesso a Grabherr et al. (1994) di trovare un **trend di spostamento verso altitudini maggiori a causa dell'innalzamento della temperatura**. Allo stesso modo, Parmesan et al. (1999) hanno potuto stimare lo spostamento degli areali di distribuzione di alcune specie di farfalla in Europa grazie alla disponibilità di dati sulla loro distribuzione che risalgono fino a cento anni fa. Questo a testimoniare quale risorsa possa essere una banca dati organizzata, ricca e accessibile. Nel caso studio degli impatti dei cambiamenti climatici sulla trota fario nell'Adda prelacuale, la scarsità di dati può avere portato a una sottostima degli impatti attesi. **La vocazionalità di un fiume, infatti, dipende dalla temperatura media settimanale massima dell'acqua registrata nell'arco di un anno.**

Gli impatti dei cambiamenti climatici possono, inoltre, essere valutati attraverso lo studio di alcune specie, dette **specie indicatrici**: queste, infatti, **rispondono rapidamente ai cambiamenti climatici e forniscono quindi una prima valutazione su come le specie o un ecosistema risponderanno**; le farfalle studiate da Parmesan et al. (1999), per esempio, sono specie indicatrici.