



12. CAMBIAMENTI CLIMATICI

Il clima terrestre è il risultato di numerose interazioni di carattere astronomico, geologico, geografico e chimico-fisico, ed è dotato di una sua intrinseca variabilità naturale. Nella storia geologica il clima terrestre è infatti cambiato più volte, talvolta anche in modo repentino, per cause naturali. A questo tipo di variabilità si sovrappone da circa un secolo una forzante di origine antropica, che trova nell'emissione in atmosfera di gas climalteranti (*greenhouse gases* o GHG: anidride carbonica, metano, protossido d'azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo) la più nota causa determinante. Il principale di questi gas – l'anidride carbonica o CO₂ – ha rapidamente visto aumentare la propria concentrazione atmosferica media da circa 280 parti per milione (ppm) nell'epoca pre-industriale fino ai livelli attuali ormai prossimi a 400 ppm; le analisi dei ghiacci delle calotte polari dimostrano che si tratta di valori mai raggiunti da centinaia di migliaia di anni almeno.

La variazione della composizione dell'atmosfera ha innescato una serie di effetti fra i quali il più concordemente accertato è l'aumento della temperatura globale, particolarmente evidente negli ultimi decenni: rispetto alla tendenza globale media si registrano variazioni locali (l'Europa, ad esempio, si sta riscaldando più velocemente del resto del mondo) ma il fenomeno appare inequivocabile.

LA VARIAZIONE DELLA COMPOSIZIONE DELL'ATMOSFERA HA INNESCATO UNA SERIE DI EFFETTI FRA I QUALI IL PIÙ CONCORDAMENTE ACCERTATO È L'AUMENTO DELLA TEMPERATURA GLOBALE, PARTICOLARMENTE EVIDENTE NEGLI ULTIMI DECENNI

Per altre tipologie di effetti – come ad esempio quelli sulle precipitazioni – i segnali sono meno marcati a livello globale, e caratterizzati da notevoli disomogeneità spaziali e temporali.

La comunità scientifica internazionale – e primo fra tutti il Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici dell'ONU (IPCC) – è concorde nel considerare questi cambiamenti un pericolo da affrontare sia agendo sulle cause mediante *strategie di mitigazione* (ad esempio la riduzione delle emissioni di GHG), sia agendo sugli effetti attraverso *strategie di adattamento* (ad esempio gestendo il consumo di acqua, risorsa la cui disponibilità nelle stagioni sta subendo variazioni).

Gli obiettivi di riduzione delle emissioni di GHG sono un impegno vincolante per gli Stati aderenti al Protocollo di Kyoto: l'Italia contribuisce all'impegno dell'Unione Europea attraverso la riduzione delle proprie emissioni climalteranti del 6,5% rispetto a quelle dell'anno base 1990, riduzione da realizzarsi nel periodo 2008-2012. Purtroppo, a livello nazionale le emissioni di *Gas serra* tendevano ad aumentare ancora nel 2004 e a livello regionale – fra il 2003 e il 2005 – si è registrato l'incremento del 7% delle emissioni di GHG, da imputare per una quota preponderante al settore dell'energia (che ha incrementato la produzione per colmare il deficit energetico regionale). Per innescare l'inversione di tendenza sono già stati resi operativi strumenti per il risparmio





energetico, per l'utilizzo delle fonti rinnovabili nonché attivati i meccanismi flessibili individuati dal Protocollo di Kyoto.

Numerosi sono gli effetti dei cambiamenti climatici: essi possono agire anche a livello regionale, non solo sugli ecosistemi ma anche sui settori produttivi ed economici e sulla stessa salute umana.

Dal punto di vista ambientale,

si ritiene che i cambiamenti climatici si riveleranno la principale causa della perdita di biodiversità e le aree più vulnerabili saranno quelle montane; si ritengono possibili impatti sia sulla flora (quali variazioni dei cicli fenologici, differenziazione nella distribuzione areale delle specie, maggiore vulnerabilità a fitopatie) che sulla fauna (quali l'affermazione di specie alloctone che migrano a latitudini più settentrionali e ad altitudini maggiori) nonché una compromissione generale determinata dal probabile aumento della frequenza degli incendi.

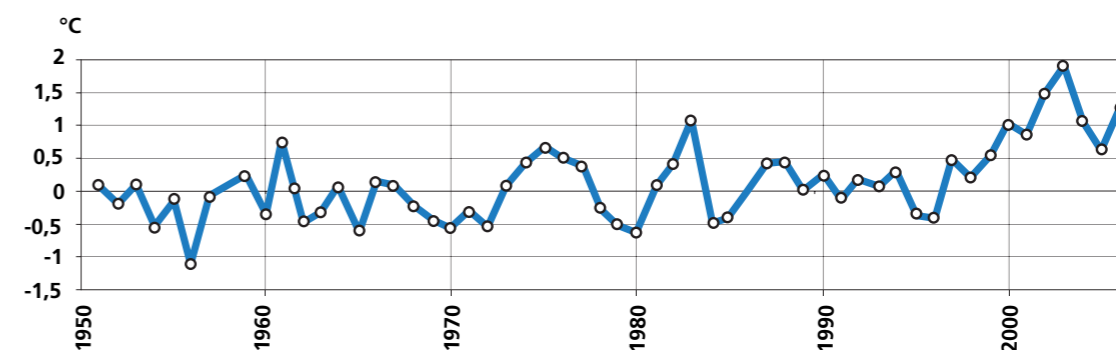
I cambiamenti climatici stanno determinando serie conseguenze sul ciclo idrologico: anche in Lombardia si registra una chiara tendenza all'aumento recente delle temperature e una lieve recente tendenza al calo delle precipitazioni totali e, soprattutto, alla loro differente distribuzione stagionale. Rimarchevoli risultano le anomalie recenti delle precipitazioni nevose; il manto nevoso risente del cambiamento climatico sia a causa della riduzione tendenziale dei quantitativi che precipitano, sia in quanto la neve permane per meno tempo al suolo a causa dell'aumento delle temperature. Preoccupante risulta l'andamento attuale del glacialismo lombardo, che registra forti decrementi di superficie e soprattutto di volume. Poiché la dinamica glaciale è funzione del bilancio annuale degli accumuli nevosi e delle fusioni (regolate dai regimi termici), i ghiacciai sono un ottimo indicatore dei cambiamenti climatici a scala locale.

Si modificano gli afflussi, i deflussi e le disponibilità idriche negli invasi: il cambiamento climatico pone quindi serie questioni sulla gestione della risorsa idrica in funzione dei suoi usi plurimi.

Dal punto di vista produttivo ed economico, il settore maggiormente esposto è quello agricolo a causa delle possibili variazioni areali delle specie coltivabili, della maggiore esposizione ai parassiti e, soprattutto, della tendenziale minore disponibilità idrica per l'irrigazione. Sono esposti anche il settore turistico, ad esempio nella fruizione invernale delle località montane di bassa quota, ed il settore energetico sia dal lato dell'offerta (ad esempio nella produzione idroelettrica a causa delle minori disponibilità idriche) che dal lato della domanda (con l'aumento dei consumi energetici in caso di estati calde).

La stessa salute umana è potenzialmente minacciata dai cambiamenti climatici: si registra il generale aumento del disagio bio-climatico estivo (in particolare in caso di ondate di calore) nonché la maggiore esposizione alle radiazioni UV, agli allergeni e agli inquinanti atmosferici.

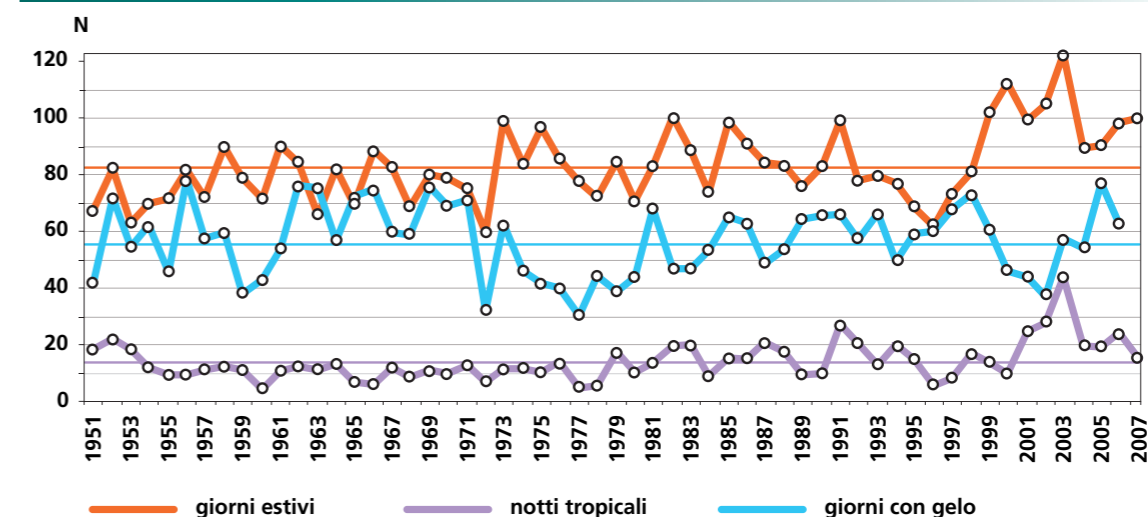
Anomalie di temperatura



Considerato quale valore normale per la temperatura media annuale quello calcolato sul trentennio di riferimento climatologico 1961-1990 – pari a 13 °C per le stazioni di misura lombarde studiate, e convenzionalmente indicato con il valore 0 – le temperature medie di ogni anno oscillano intorno a tale valore. L'aumento tendenziale delle temperature medie annuali – fenomeno ampiamente descritto a scala planetaria, continentale e nazionale – appare rilevabile anche alla scala regionale. **In Lombardia, sporadiche anomalie positive comprese fra 0,5°C e 1,0°C sono state registrate negli ultimi cinquant'anni ma è dal 1999 che la tendenza alle anomalie positive si è fatta decisa, raggiungendo il valore di 1,9°C sopra il valore di riferimento nel 2003.**

Fonte dei dati: ARPA Lombardia

Eventi estremi di temperatura

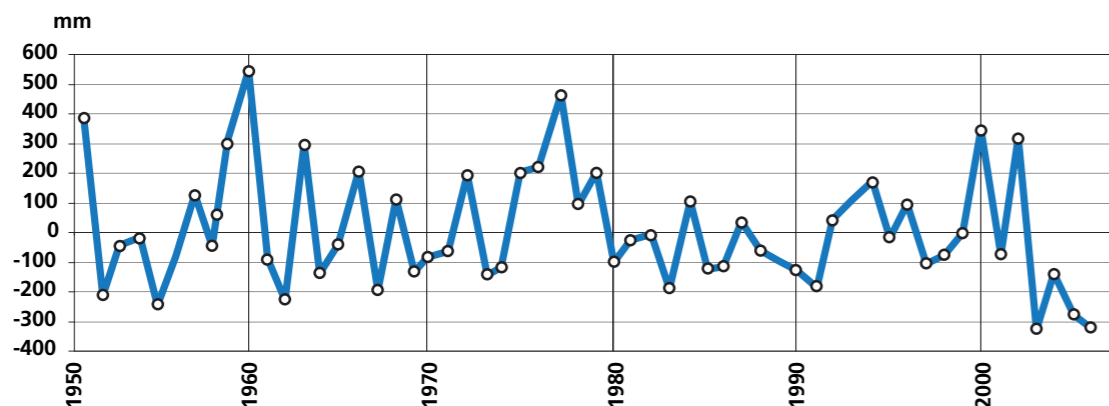


I principali indicatori che descrivono gli eventi estremi della temperatura atmosferica nell'arco dell'anno sono i giorni estivi (giorni in cui $T_{max} > 25^{\circ}C$), le notti tropicali (giorni in cui $T_{min} > 20^{\circ}C$) e i giorni con gelo (giorni in cui $T_{min} < 0^{\circ}C$).

L'indicatore *giorni estivi* (per il quale il valore di riferimento calcolato sul periodo 1961-1990 è di 82) registra negli ultimi 9 anni un incremento tale per cui supera sempre il valore di 90, con l'estremo di 122 giorni nel 2003. Anche per le *notti tropicali* (il cui valore di riferimento è 12) si registra una certa tendenza all'aumento; entrambi gli indicatori si relazionano con il disagio bio-climatico della popolazione. L'indicatore *giorni con gelo* non mostra tendenze univoche rispetto al valore di riferimento (57 giorni).

Fonte dei dati: ARPA Lombardia

Anomalie di precipitazione



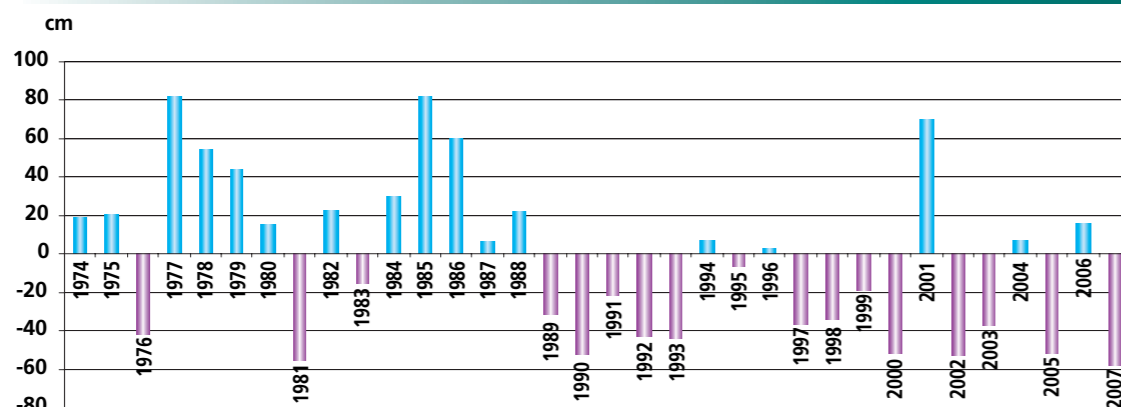
Considerato quale valore normale per la precipitazione sotto forma liquida cumulata annua in Lombardia quello calcolato sul trentennio di riferimento climatologico 1961-1990 – pari a 1008 mm, e convenzionalmente indicato con il valore 0 – ogni anno le precipitazioni cumulate oscillano intorno a tale valore.

Non si osservano tendenze decise sul lungo periodo a meno delle ultime annualità, che sono invece risultate fortemente deficitarie: gli anni 2003, 2005 e 2006 sono risultati fra i più secchi del secolo con anomalie negative pari a oltre il 30% del valore di riferimento.

La distribuzione delle precipitazioni nell'arco dell'anno si sta modificando: sta emergendo la tendenza alla riduzione del numero di eventi e alla loro intensificazione.

Fonte dei dati: ARPA Lombardia

Anomalie del manto nevoso



L'altezza media del manto nevoso misurata nel mese di marzo – confrontata con il valore di riferimento di 94 cm calcolato sul trentennio 1974-2003 sull'arco alpino lombardo, e indicato convenzionalmente con il valore 0 – consente di registrare anomalie dei quantitativi di neve al suolo. All'incirca negli ultimi vent'anni si è registrata un'elevata frequenza di anni poco nevosi, con l'anomalia negativa massima registrata nel 2007. **La diminuzione dei quantitativi di neve al suolo è il risultato combinato del calo delle precipitazioni nevose e dell'aumento delle temperature.**

Gli apporti nevosi sono determinanti per il glacialismo, che in Lombardia ha visto l'ultima breve fase di parziale avanzata delle fronti glaciali nei primi anni '80, seguita da una forte fase di regresso negli ultimi anni.

Fonte dei dati: ARPA Lombardia

LO STUDIO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Il cambiamento del clima è una problematica globale le cui conseguenze si manifestano soprattutto a livello locale. Ne deriva che istituzioni internazionali, sovranazionali e nazionali sono impegnate nel sostenere studi che indagano sui differenti aspetti dei cambiamenti climatici: dalla registrazione delle evidenze all'individuazione delle cause generatrici, dallo studio degli effetti a quello delle azioni di mitigazione.

ARPA Lombardia partecipa a numerosi progetti di studio dei cambiamenti climatici i cui obiettivi, le cui scale territoriali d'indagine e le cui metodologie sono molto differenti in quanto ogni progetto indaga – con approccio interdisciplinare – aspetti differenti.

Progetti, sia di carattere istituzionale che di ricerca, da citare in un elenco non esaustivo sono:

- **FORALPS** (<http://www.foralps.net>): è un progetto europeo che vede fra i propri obiettivi la ricerca e l'analisi di serie storiche (che comprendano almeno un secolo di dati a dettaglio giornaliero) relative a precipitazioni e temperatura di tutte le regioni interessate da territori alpini; l'analisi delle tendenze spaziali e temporali si avvale di metodologie comuni di omogeneizzazione e spazializzazione dei dati.
- **SCIA** (Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale – <http://www.scia.sinanet.apat.it>): attraverso questo progetto, coordinato da APAT, vengono armonizzati i dati di una rete di monitoraggio che si avvale di stazioni presenti sull'intero territorio nazionale; vengono inoltre resi disponibili i principali indicatori climatologici.

ISTITUZIONI INTERNAZIONALI, SOVRANAZIONALI E NAZIONALI SONO IMPEGNATE NEL SOSTENERE STUDI CHE INDAGHINO SUI DIFFERENTI ASPETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

- **RICLIC-WARM** (<http://www.riclic.unimib.it>): è un progetto a carattere locale che riguarda l'analisi dei processi naturali e antropici legati ai cambiamenti climatici e lo studio degli effetti sinergici nel territorio lombardo, con particolare riferimento agli impatti sulle risorse idriche.
- **CARIPANDA** (<http://www.parcoadamello.it>): è un progetto focalizzato sul territorio del Parco Naturale dell'Adamello. Studia gli effetti dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico – in particolare modo in relazione ad ambienti di alta quota, caratterizzati dall'alta vulnerabilità e da un intenso sfruttamento idroelettrico – e si propone anche di valutare scenari a medio e lungo termine relativi alla distribuzione spazio-temporale della risorsa idrica (in particolare sotto forma nivale e glaciale).
- **Re.Mo.** (<http://www.adbpo.it>): è un progetto promosso dall'Autorità di bacino del fiume Po, il cui obiettivo è la condivisione delle informazioni relative alle risorse idriche e l'integrazione dei sistemi informativi e di monitoraggio sviluppati dalle ARPA ricadenti nel territorio di competenza dell'Autorità stessa, al fine di affrontare i cambiamenti in atto nel bacino idrografico del Po e di pianificare l'uso delle risorse a livello di bacino.
- **Kyoto Lombardia** (<http://www.kyotolombardia.org>): è un progetto che ha operato su sei differenti linee tematiche legate alle cause, alle evidenze scientifiche e agli effetti del cambiamento climatico (linee: climatologia, emissioni, cicli dei gas serra, esternalità, scenari e politiche, comunicazione).
- **Kyoto-INV** (<http://kyoto-inv.pisa.intecs.it>): questo progetto è focalizzato sul monitoraggio sistematico dei processi di deforestazione, afforestazione e riforestazione a supporto della verifica dei risultati del Protocollo di Kyoto. Nello studio dei cicli dei *Gas serra* emerge infatti la necessità della caratterizzazione dei *sink* di carbonio, ovvero della potenzialità di sequestro della CO₂ da parte degli ecosistemi forestali. In tale contesto assume particolare importanza la conoscenza approfondita delle coperture boschive e delle loro variazioni nel tempo.