

Il clima terrestre negli ultimi 10'000 anni e i cambiamenti recenti

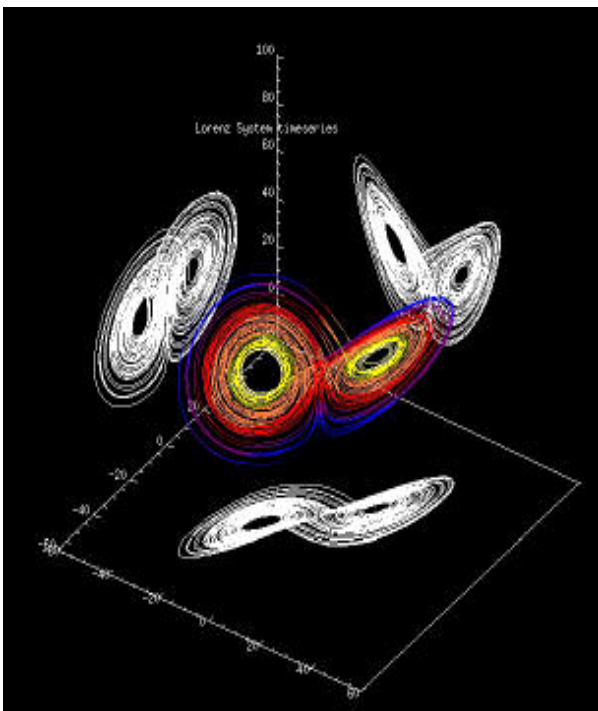
Luca Mercalli, Società Meteorologica Italiana onlus, Torino – info@nimbus.it

Il clima, un sistema complesso

«*Les saisons et les années se reviennent et se succèdent, mais elles ne se ressemblent pas*»

Con queste parole, Georges Carrel, direttore dell'Osservatorio meteorologico di Aosta, nel 1847 coglieva l'essenza di quelli che oggi chiamiamo sistemi *non-lineari*, tra i quali il clima è rappresentante d'eccellenza. Non era considerazione banale per i tempi. Il positivismo imperava da circa una ventina d'anni, anche il Carrel ne era influenzato, ma con misura: nutriva fiducia che l'osservazione dei fatti con metodo scientifico avrebbe condotto un giorno alla comprensione dei fenomeni meteorologici e finalmente a prevedere il tempo, e aveva ragione, visto che proprio oggi possiamo dire realizzato questo sogno. Ma contemporaneamente aveva percepito che eccessive semplificazioni dei problemi posti dalla natura non conducevano ai risultati attesi. In particolare la ricerca delle ciclicità nel clima lo lasciava scettico: «[...] *Un tel hiver [rigoureux] après une aussi belle année [1846], prouve évidemment que de l'été précédent, on ne peut déduire des probabilités pour l'hiver suivant...*».

Oggi, la luce gettata da un lato sul passato (dalla paleoclimatologia), dall'altro sul futuro (dai modelli numerici di simulazione della circolazione atmosferica generale), permette di affermare che il sistema climatico è il risultato di un delicato equilibrio tra interazioni *non-lineari* (e quindi con una porzione di comportamento caotico) che coinvolgono in una intricata rete la fisica dell'atmosfera e degli oceani, le risposte della biosfera, e - in maniera più evidente da un paio di secoli a questa parte - anche le scelte economiche e politiche dell'umanità.



Complessità climatica

Il clima terrestre è frutto di un continuo flusso di energia (proveniente dal sole) e materia (vapore acqueo, CO₂ e altri gas) tra atmosfera, oceani, vita animale e vegetale, suolo e vulcani. Nel corso delle ere geologiche il clima terrestre ha raggiunto diversi stati di equilibrio, come quello attuale oppure quello delle ere glaciali, rispondendo a fattori "forzanti" esterni, vale a dire variazioni nell'attività solare, differente geometria dell'orbita terrestre, e interni, come il contenuto atmosferico di gas serra o di ceneri vulcaniche. La variegata combinazione di questi fattori fa del clima terrestre un sistema in perenne mutamento. Esso è dunque un sistema instabile ma non ciclico, nel senso che mai si ripropongono condizioni identiche. In questo sta il significato del termine "complesso", che non vuol dire solo "complicato" ma significa che tutte le interazioni tra le molteplici variabili sono legate dalla dinamica *non lineare*, ovvero non sono riducibili a equazioni dove il rapporto causa-effetto è identificabile e prevedibile con accuratezza. E c'è dell'altro, nella dinamica non lineare talora piccole cause possono dare grandi effetti, il noto effetto farfalla scoperto dal meteorologo Edward Lorenz. Seguendo Luigi Sertorio (2002): "Complesso include il clima, l'ecosistema, la collettività umana. Qui compaiono il concetto di biforcazione e il concetto di frattale. (...) le equazioni non lineari possono anche ospitare delle biforcazioni, come ad esempio degli scambi di stabilità, il che vuol dire che, modificando uno o più parametri regolatori, tutta l'architettura complessa delle soluzioni delle equazioni governanti può cambiare. E qui si tratta della comprensione dell'andamento globale di tutta la Terra, e di tutta la vita che essa ospita".

Oltre 10000 anni fa: le glaciazioni del Pleistocene

Nell'ultimo mezzo milione di anni la terra ha conosciuto quattro periodi glaciali, il cui innesco fu dovuto in massima parte a modifiche nell'assetto orbitale della terra e alle conseguenti variazioni dell'energia solare in arrivo. La periodicità tra i diversi massimi glaciali è stata di circa 100.000 anni, secondo la teoria del matematico serbo Milutin Milankovitch (1879-1958) ed è stata

La ricostruzione della temperatura tramite la determinazione del rapporto isotopico $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$.

Il metodo è basato sulla misura del rapporto tra i due isotopi stabili dell'ossigeno in campioni prelevati da ghiacciai o da sedimenti oceanici. L'ossigeno è di norma composto da 8 protoni e 8 neutroni, che gli conferiscono un peso atomico pari a 16 (^{16}O), detto anche ossigeno "leggero". Una piccola frazione di atomi d'ossigeno (circa 1 su 500) ha 2 neutroni in più, il peso atomico è allora 18 (^{18}O), detto anche ossigeno "pesante". Il ghiaccio di ghiacciaio ha una relativa abbondanza di ossigeno pesante se si è formato in periodi caldi. Infatti il rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ nell'acqua dipende dall'evaporazione: l'acqua con ^{16}O , essendo più leggera, evapora maggiormente, ma nei periodi miti rientra nel ciclo idrologico e torna rapidamente al mare in modo che il rapporto $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ rimane costante, nei periodi freddi invece parte dell'acqua viene immobilizzata nei ghiacciai, dove la concentrazione di ^{16}O aumenta rispetto a quella di ^{18}O , che tende invece a rimanere nei mari. Essendo noto il valore medio del rapporto prevalente nell'atmosfera e nell'oceano, una differenza significativa da tale valore corrisponde ad una variazione di temperatura. Una diminuzione di 1 parte per milione di ^{18}O nel ghiaccio corrisponde a una diminuzione di 1.5°C nella temperatura al momento dell'evaporazione dell'acqua dalla superficie oceanica. La misura del rapporto isotopico $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ è espressa di solito come deviazione (δ) dal rapporto standard dove $\delta^{18}\text{O} = [\text{rapporto isotopico nel campione}]/[\text{rapporto standard}] - 1$. Durante i periodi glaciali gli oceani si arricchivano di ^{18}O , portando una deviazione isotopica positiva (+ 1 per mille) mentre i ghiacciai si impoverivano di ^{18}O , mostrando una deviazione isotopica negativa (-30 per mille).

confermata sia dall'analisi dei sedimenti oceanici, sia dal carotaggio delle calotte glaciali antartica (Vostok ed EPICA - European Project for Ice Coring in Antarctica) e della Groenlandia (GISP2 - Greenland Ice Sheet Project 2 e GRIP - Greenland Ice Core Project).

Il contributo più rilevante di questi carotaggi è la ricostruzione del contenuto di gas serra in atmosfera (analisi delle bollicine d'aria intrappolate nel ghiaccio) e della temperatura atmosferica al momento della formazione del ghiaccio (rapporto isotopico $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$).

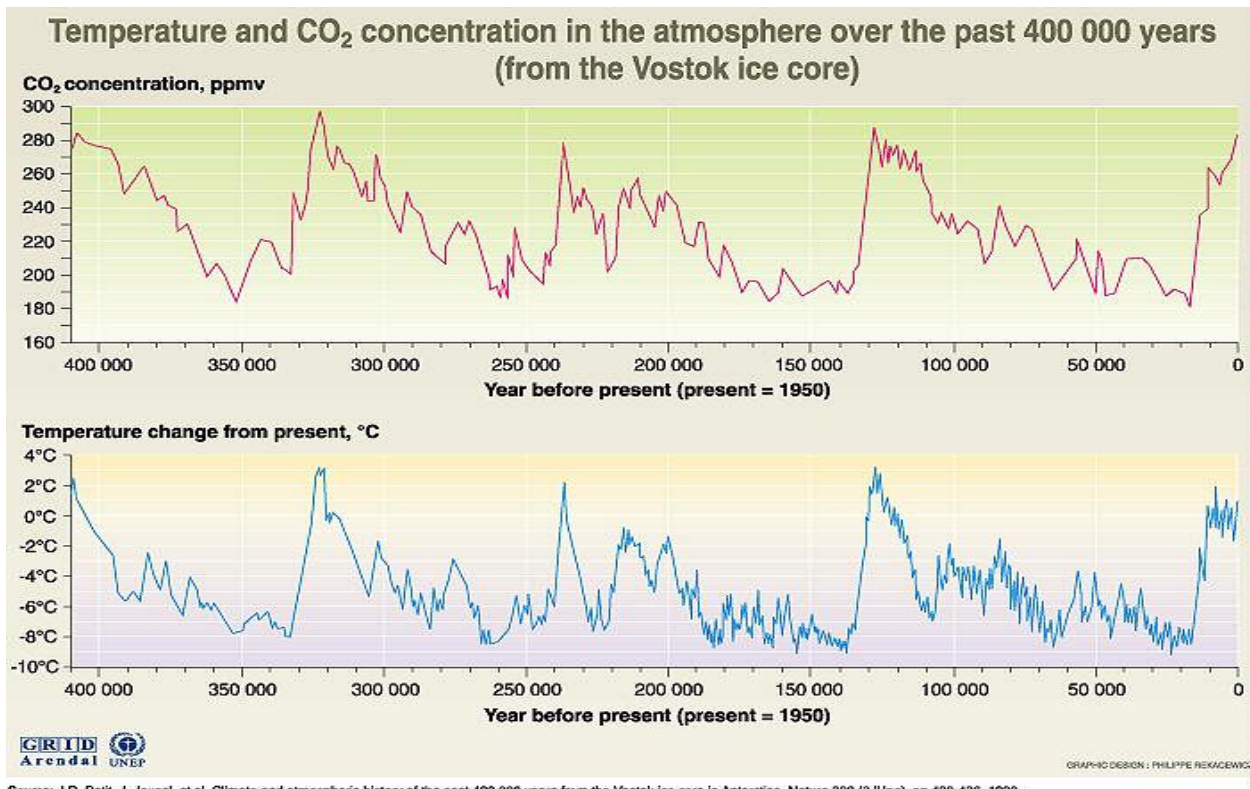
Durante i massimi glaciali la temperatura media terrestre era di 6÷8 °C inferiore all'attuale, ma nelle zone polari si giunse fino a 10÷14 gradi in meno.

L'inizio della fusione dei ghiacci dell'ultima era glaciale (LGM), evidenziato dall'aumento di livello dei mari, ha avuto luogo circa 19000 anni fa, con i maggiori eventi di deglaciazione collocabili circa 14000 e 11000 anni fa. Approssimandosi all'orizzonte dei 10000 anni fa ha inizio

l'Olocene, ovvero il periodo della storia terrestre nel quale ci troviamo tuttora, caratterizzato da temperature relativamente stabili (variazioni comprese tra 1÷3 °C) e favorevoli allo sviluppo dell'umanità.

Dalle analisi della carota glaciale di Vostok (Antartide) si è potuta ricostruire la concentrazione di CO_2 e la variazione di temperatura negli ultimi 400.000 anni (grafico seguente). È ben visibile l'alternarsi delle 4 ere glaciali con i periodi caldi interglaciali. È rilevante notare che la concentrazione di CO_2 non ha mai oltrepassato le 300 ppmv (parti per milione in volume), mentre attualmente è attorno alle 373 ppmv (dato non riportato sul grafico, uscirebbe dalla scala!).

Anche se sono ancora molti i dubbi nell'interpretazione dell'esatto meccanismo di azione-reazione tra andamento della concentrazione di CO_2 e temperatura atmosferica, è tuttavia chiaro che le due grandezze sono fortemente correlate.

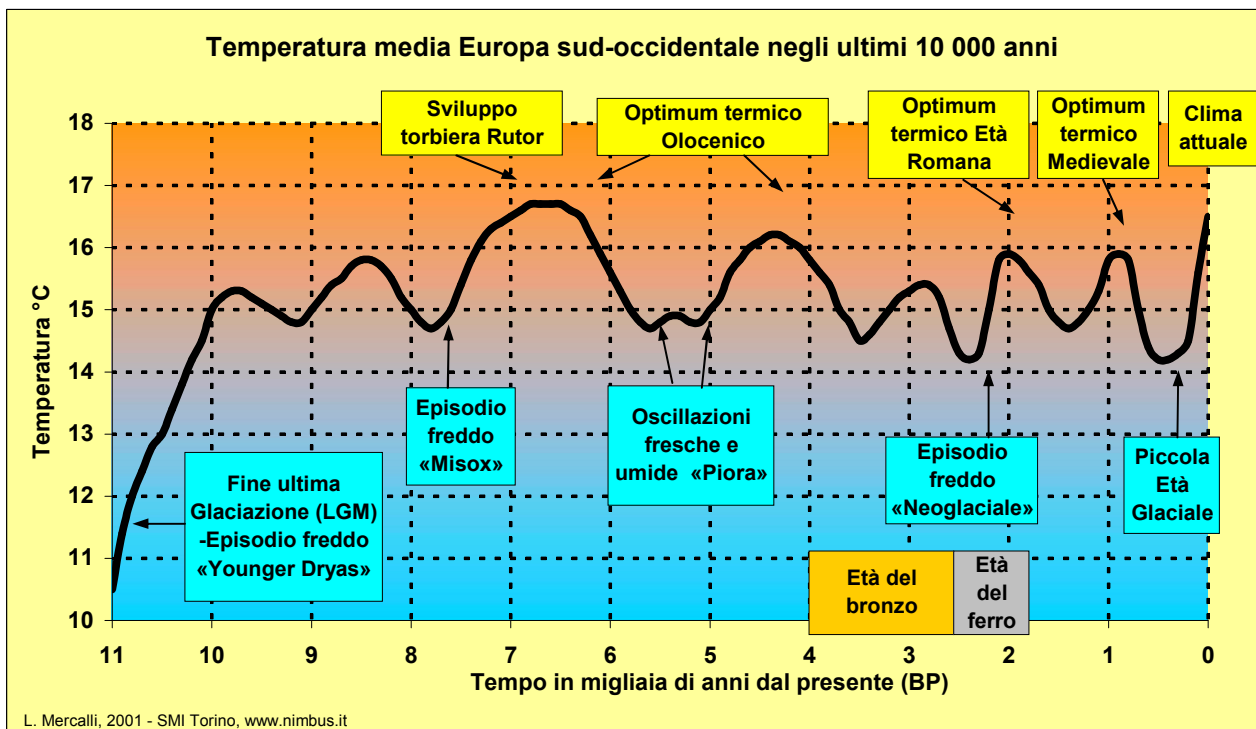


Gli ultimi 10000 anni: dai ghiacciai ai mandorli

La ricostruzione del clima degli ultimi 10000 anni, periodo detto Olocene, può essere tentata grazie agli apporti delle ricerche effettuate in tutte le Alpi, ma è ben lungi dal rappresentare un risultato definitivo e sicuro.

L'andamento termico è l'unico sul quale è possibile proporre un quadro accettabile, sia pur - e ciò lo si ribadisce ancora una volta - non scevro da incertezze.

Attorno a 11000 anni fa ha termine l'ultima glaciazione o LGM-Last Glacial Maximum (anche nota come Würm, nomenclatura oggi non più ritenuta significativa). La temperatura media, allora di circa 5÷6 °C inferiore all'attuale, inizia rapidamente a risalire, sia pur interrotta da brutali episodi freddi probabilmente connessi con l'instaurarsi di una nuova circolazione delle acque atlantiche. L'ultimo episodio freddo, collocabile circa 11600 anni fa, è il *Dryas recente* dal nome della *Dryas octopetala* (Camedrio alpino), piccola rosacea dai fiori bianchi, indicatrice di climi boreali. In seguito la temperatura va aumentando fino a raggiungere l'*Optimum Termico Olocenico*, culminato tra 7 e 6 millenni dal presente e mai più eguagliato; è in questo periodo mite che si può collocare il massimo sviluppo della torbiera del ghiacciaio del Rutor (Valle d'Aosta, presso il Piccolo San Bernardo). Qui, a quota di circa 2500 m, presso l'attuale fronte del ghiacciaio, sono affiorati - tra il 1957 e il 1970 - i resti di una torbiera in ottimo stato di conservazione. I campionamenti e le analisi polliniche hanno consentito di tracciare un quadro della storia del clima locale. Le date ¹⁴C ottenute dai sedimenti più antichi evidenziano che il ghiacciaio era ridotto a dimensioni simili o inferiori a quelle attuali a partire da circa 10000 anni fa; subito dopo aveva inizio la deposizione continua di torba protrattasi fino a circa 5500 anni dal presente, limite temporale oltre il quale il ghiacciaio sembra aver ripreso dominio dell'area, con estensioni a tratti maggiori, a tratti prossime alla situazione recente. Questo lungo periodo, noto come *Neoglaciazione* è culminato con le avanzate della Piccola Età Glaciale (1450÷1850). Il successivo rapido ritiro ha portato il ghiacciaio del Rutor in una posizione che attualmente è quasi prossima alle dimensioni che aveva nella fase di optimum climatico olocenico, scoprendo dunque il deposito torboso.

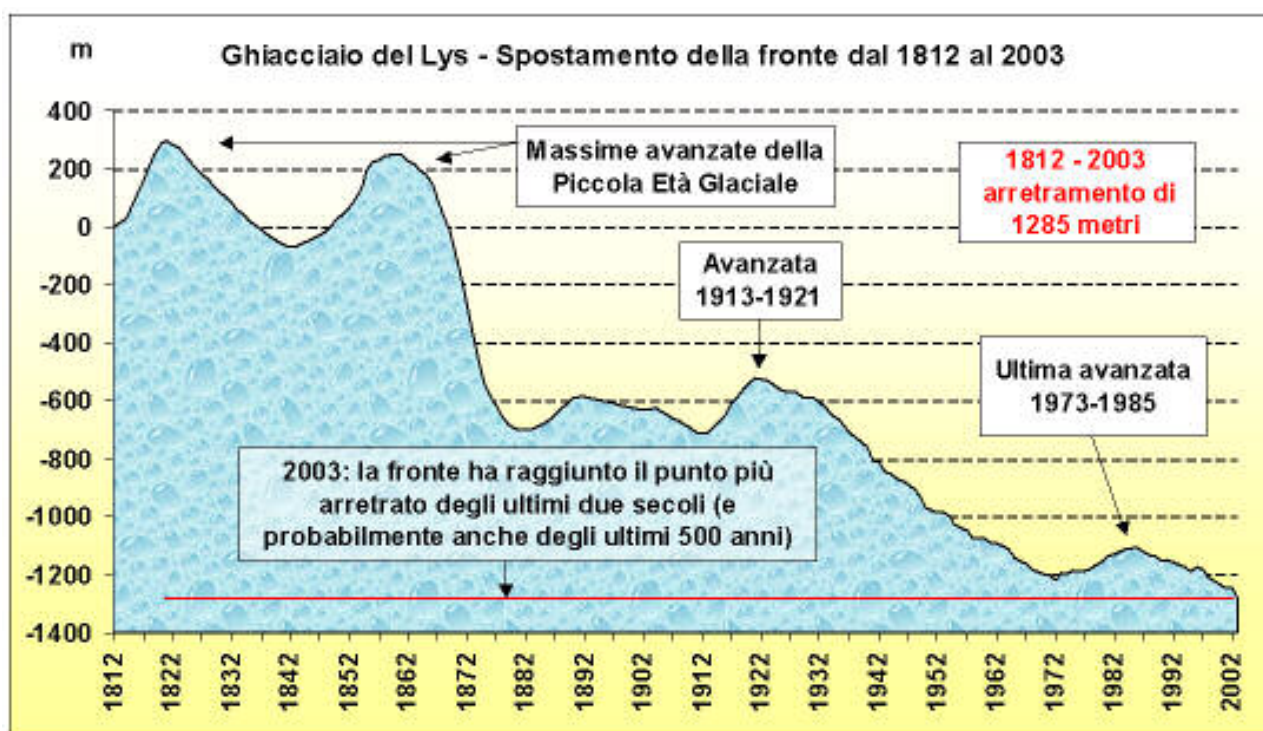


Tornando alla visione su scala alpina, attorno a 5500 anni fa compaiono alcune oscillazioni fresche, denominate «Piora» dall'omonima valle ticinese dove sono state identificate mediante analisi di pollini fossili. Nuova ripresa del clima mite verso 4500 anni fa, ma meno pronunciata. Tra 4 e 3 millenni dal presente - siamo in piena Età del bronzo - si assiste a una moderata oscillazione tra climi freschi e miti, fino a un episodio freddo della «Neoglaciazione», probabilmente suddiviso in più fasi, ma comunque non più intenso della successiva «Piccola Età Glaciale». E' collocabile qui l'Età del Ferro, cui fa seguito l'Età Romana, nuovamente assai mite e dunque probabilmente favorevole alla colonizzazione alpina. Un moderato peggioramento climatico interessa l'inizio del Medio Evo, seguito da un nuovo periodo mite verso l'Anno Mille, l'*Optimum Termico Medievale*. Qui i documenti storici cominciano a farsi via via più fitti e confermano il quadro dei dati geofisici. Per esempio, verso la metà del 1300 in Valle d'Aosta si ha l'apice dell'attività dei canali d'irrigazione (*ru*), attribuiti, almeno in parte, ad una reazione a un periodo di siccità e di temperature elevate. I valichi d'alta quota erano allora attivamente frequentati senza mostrare troppi condizionamenti per via dell'innevamento persistente. Per esempio, Piero Giacosa, nel suo volume dedicato a Cogne (1925) scrive: *«Il comune di Cogne possedeva nell'alto Canavese sulla montagna di Teleccio, in val di Piantonetto sopra Locana, dei pascoli e le mandre per molti anni valicarono dall'uno all'altro versante della catena per un passaggio che ora è occupato da un ghiacciaio ed è affatto impraticabile al bestiame [colle di Teleccio, 3304 m].*

Dopo il 1450 si fa gradualmente strada la **Piccola Età Glaciale**, il deterioramento climatico forse più spiccato dell'intero Olocene, che segnerà profondamente l'ambiente glaciale e la cultura alpina fino al 1850. I documenti storici sull'argomento si fanno assai numerosi e riguardano in particolare la graduale chiusura dei valichi di alta montagna da parte dei ghiacci permanenti e l'avvio di un'imponente fase di avanzata dei ghiacciai che porterà le loro fronti a lambire i terreni a pascolo e in alcuni casi il fondovalle, in particolare nella zona del Monte Bianco (in proposito fa scuola l'ormai classico LE ROY LADURIE, 1968). Significativo il commento di Marc Theodore Bourrit, che nel 1785 in *Nouvelle Description des Glacier de Savoye*, a proposito dell'antica comunicazione fra Chamonix e Courmayeur, scrive: *«Les glaces se seront donc augmentées, non tout-à-coup, mais insensiblement; des sommets elles seront descendues dans la vallée, se pressant les unes les autres,*

se precipitant et s'accumulant dans les gorges où étoient les anciens passages, et ces gorges comblées par le temps, se seront élevées et auront présenté un rempart de glace à ceux qui voulaient tenter de franchir. Telle sont les causes qui auront changé la face de cette vallée, et fermé pour toujours les chemins qui conduiseront à la Val d'Aoste». La considerazione è ben confermata dall'ingegnere idraulico torinese Giuseppe Castellani, che in un saggio sull'influenza delle selve sul corso delle acque, pubblicato a Torino nel 1818, accenna all'aumento delle masse glaciali in Valle d'Aosta in atto da circa 50 anni (più o meno dal 1770). Il commento, scritto da un uomo di scienza, non sembra affetto da esagerazioni o secondi fini, è ricco di riferimenti topografici relativi a nuovi apparati glaciali, e conferma i problemi di transito per gli alti valichi nonché la crisi della coltivazione del mandorlo in Valle d'Aosta e dell'olivo sulle colline d'Ivrea.

Sul Monte Rosa, dettagliate analisi sulle variazioni glaciali sono state condotte da UMBERTO MONTERRIN negli anni 1930: si mette in luce il notevole progresso delle fronti con le pulsazioni nette del 1820 e del 1850: il ghiacciaio del Lys giunge fin nei pressi dell'Alpe Courtlys, a circa 2000 m di quota. Una prima marcata fase di regresso avverrà dopo il 1870 e la seconda dopo il 1920 porterà il ghiacciaio alle condizioni attuali, in continuo regresso. Oggi la fronte è nella sua posizione più arretrata dall'inizio delle misure e forse dall'inizio stesso della Piccola Età Glaciale; dal 2002 al 2003 l'arretramento è stato di ben 38 m.



In anni recenti il contributo più importante alla metodologia di studio della storia del clima viene da CHRISTIAN PFISTER che, in particolare per la Svizzera, ha ricostruito gli indici di evoluzione termopluviometrica a partire dal 1496 sulla base delle cronache storiche. L'informazione che emerge è che anche la Piccola Età Glaciale non è stato un periodo di condizioni climatiche continuamente impostato sul freddo bensì un susseguirsi di fasi critiche più fredde ed altre più miti; la combinazione di alcune sequenze di anni anomali - per esempio più freddi e nevosi della norma - era sufficiente a condizionare pesantemente l'agricoltura e ad attivare le pulsazioni glaciali.



Il ghiacciaio di Pré de Bar, sul versante italiano del Monte Bianco, come si presentava nel 1897 e oggi. In circa un secolo il ghiacciaio è arretrato di 500 m. Sulle Alpi, la riduzione areale dei ghiacciai nello stesso periodo è dell'ordine del 40%.

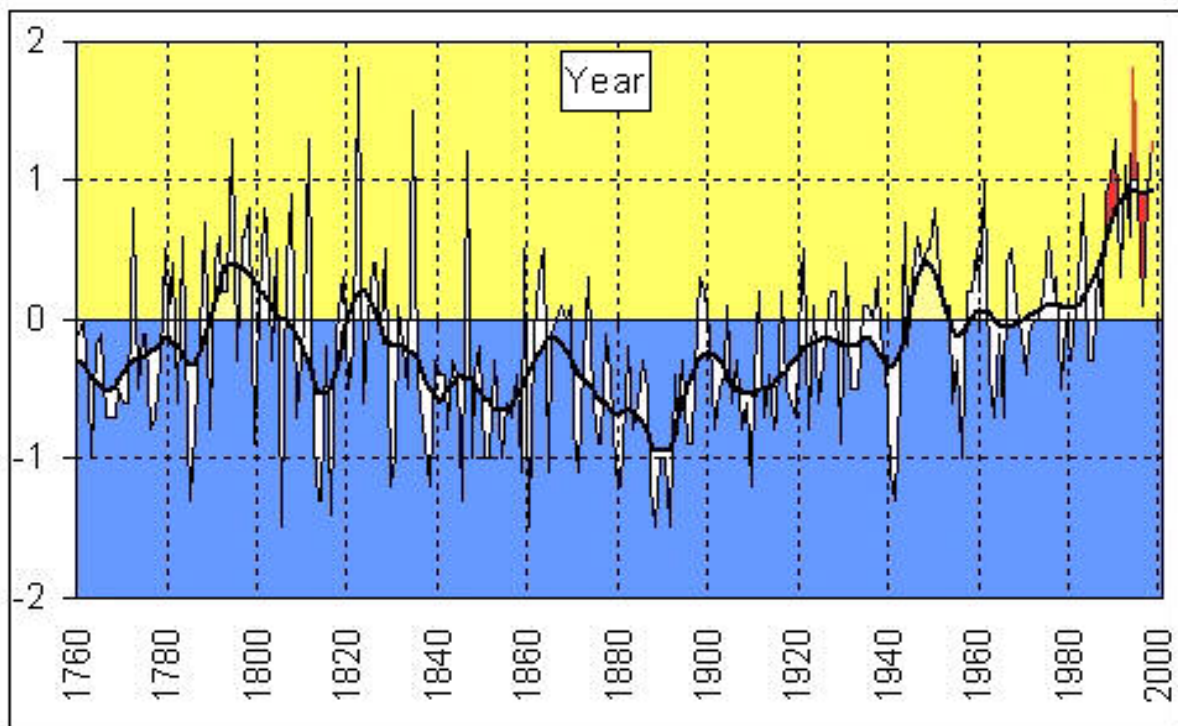
Le cronache storiche sono infatti in apparenza contraddittorie: ad anni di gran freddo vengono contrapposti episodi di caldo fuori stagione con fioriture delle piante in pieno inverno, il che lascia intravedere, pur in un quadro termico di circa 1,5 °C inferiore a quello attuale, soprattutto una maggior variabilità interannuale.

Gli ultimi 150 anni: dalla Piccola Età Glaciale al riscaldamento globale.

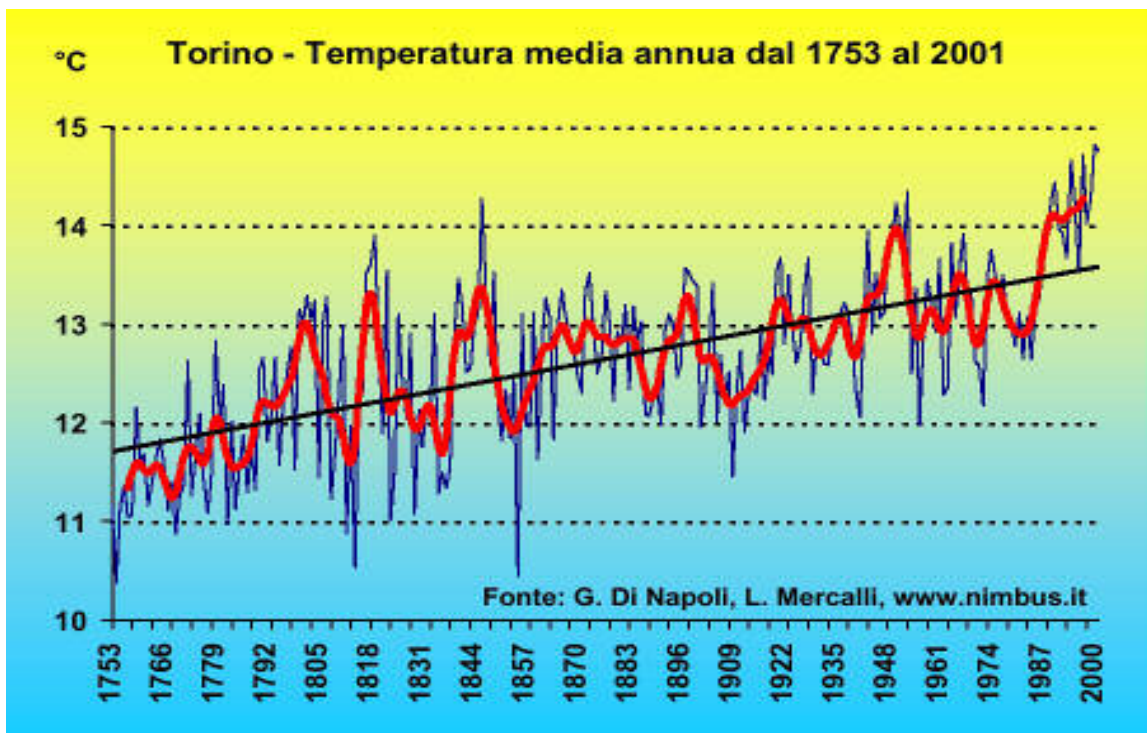
Il contributo delle serie di dati meteorologici

Dopo il 1850 il clima torna a farsi più mite, fino al netto aumento termico del presente. In questo periodo la disponibilità dei dati meteorologici viene a migliorare il quadro della comprensione delle variazioni climatiche. La temperatura globale è cresciuta nell'ultimo secolo di circa 0,7 °C ed esiste una forte correlazione con la curva di aumento della concentrazione di gas serra.

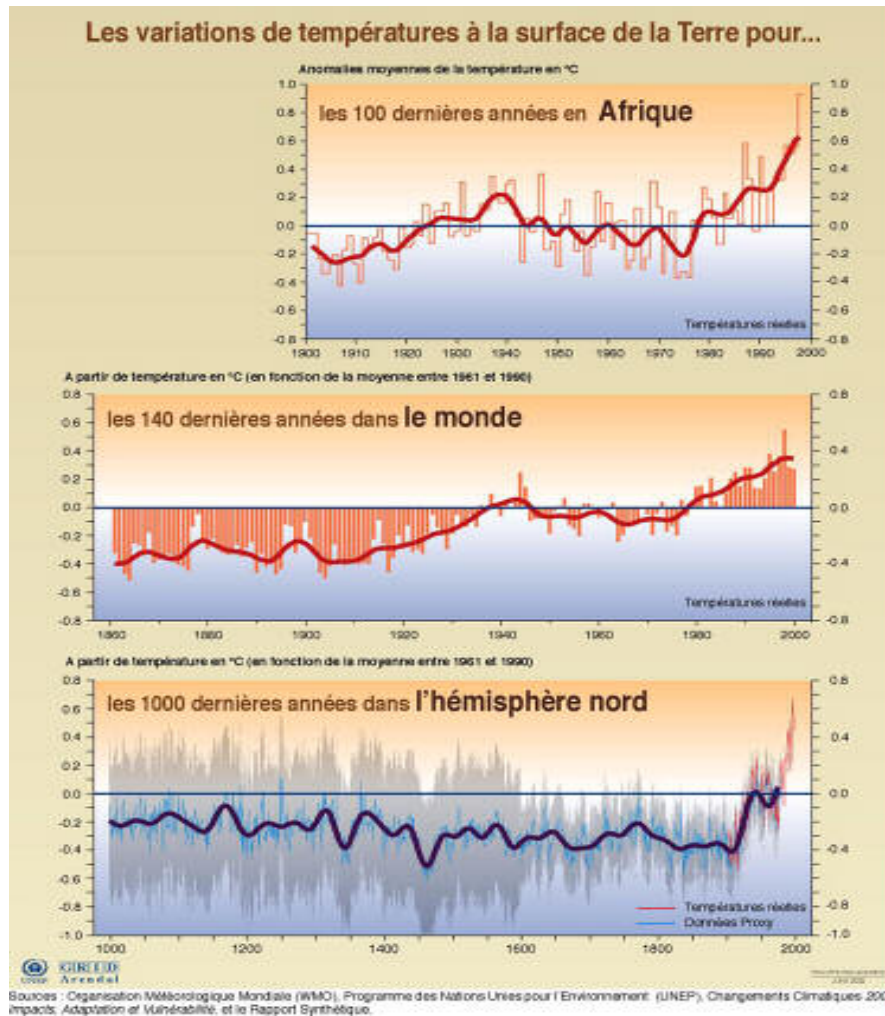
Spesso si avanzano dubbi sull'attendibilità delle antiche misure di temperatura. Vero è che in oltre un secolo di osservazioni si sono accumulati errori, l'ambiente circostante le stazioni meteorologiche si è urbanizzato, ma nonostante ciò, il segnale verso l'aumento termico è confermato dalla riduzione dei ghiacciai, fenomeno diffuso in quasi tutto il mondo. Sulle Alpi, rispetto a un secolo fa, la superficie glaciale si è ridotta di oltre il 40%, fatto che si accorda con il lavoro di Reinhard Boehm del servizio meteorologico austriaco, il quale grazie ai colleghi degli altri paesi alpini ha raccolto i dati di tutte le più lunghe serie climatiche, evidenziando un aumento di circa 1°C negli ultimi 150 anni.



La serie delle temperature medie annue sull'intero arco alpino, dal 1760 al 2000. Pur con alcuni episodi miti verso la fine del 1700, il periodo più recente mostra una netta tendenza all'aumento termico (+1,1°C dal 1890). La curva è ottenuta dall'analisi di 97 serie storiche dei paesi alpini, effettuata da BOEHM e collaboratori nell'ambito del progetto europeo ALPCLIM (2001, ZAMG, Vienna).



L'andamento della temperatura media annua a Torino, dove i rilevamenti sono iniziati nel 1753, mostra una evidente tendenza all'aumento. Parte di tale incremento è da attribuirsi all'urbanizzazione (effetto isola di calore), ma il segnale climatico è comunque realistico.

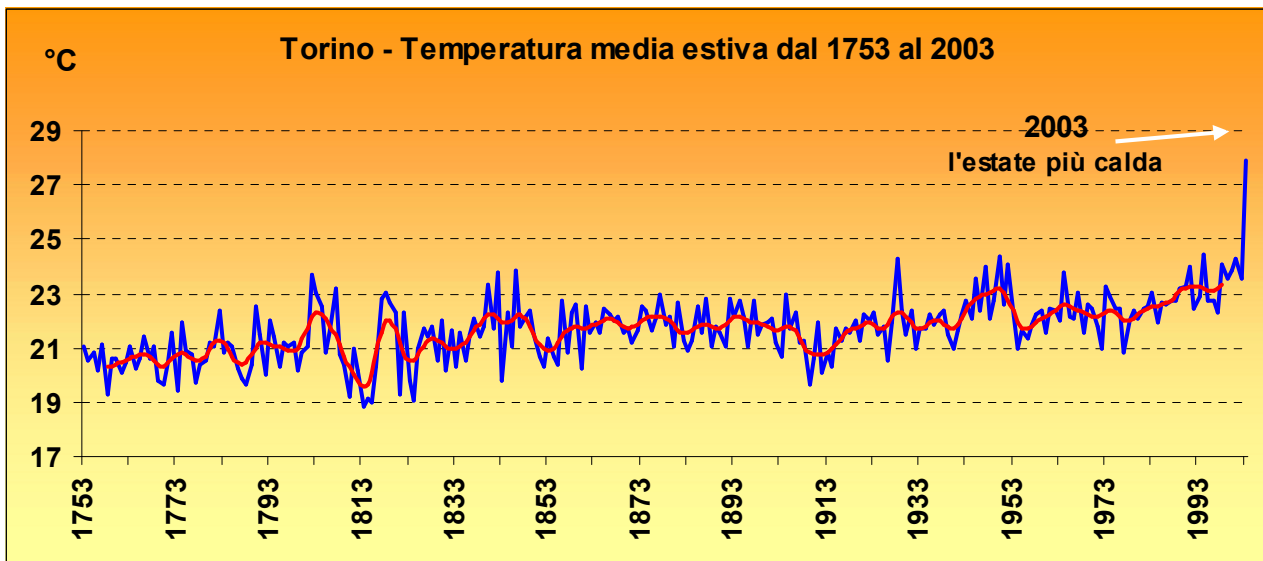


Talora si adduce a prova dell'incertezza dei dati paleoclimatici il fatto che attorno all'Anno Mille la Groenlandia era verde e abitata, che i ghiacciai alpini erano più ridotti di oggi e il limite altimetrico del bosco era più elevato, che la vite era coltivata in Inghilterra e l'olivo in Piemonte. Ma non si tiene conto che la rapidità del cambiamento di questi ultimi anni non ha ancora avuto il tempo di agire sul paesaggio: occorrono decenni prima che i ghiacci liberino il suolo, si insedino erbe in grado di produrre *humus*, ed infine crescano gli alberi. Più facile introdurre con l'agricoltura specie nuove, ma oggi chi si sognerebbe di impiantare il vigneto in condizioni marginali quando i vivaci traffici

commerciali sono in grado in poche ore di importare i migliori vini dalle zone d'origine vocate? I periodi di optimum climatico dell'ultimo millennio potrebbero dunque essere stati il risultato di lunghe sequenze di anni con temperature sia pur miti ma inferiori alle attuali. Il ritrovamento dell'*uomo del Similaun* che da 5000 anni giaceva sotto i ghiacci dell'Alto Adige, estende questa considerazione ad altri 4 millenni. Del resto, è difficile stabilire in quale misura l'intervento umano si sovrapponga al segnale climatico naturale, ma L'IPCC, la più autorevole fonte internazionale per lo studio dei cambiamenti climatici, ritiene che esso stia cominciando a mostrare i primi "sintomi" che esulano dalla variabilità naturale dell'ultimo millennio. I modelli di simulazione del comportamento del clima a scala globale stimano aumenti termici tra 2 e 6 °C entro i prossimi 100 anni. (IPCC, 2001).

L'estate africana del 2003: un caso isolato o un segnale d'allarme?

Dall'inizio di maggio alla fine di agosto 2003 una fase di caldo anomalo e straordinario ha interessato l'Europa centro-meridionale e le Alpi, assumendo caratteri di eccezionalità per la lunga durata, i valori medi stagionali e i singoli picchi giornalieri di temperatura massima. Dalla lunga serie storica di riferimento relativa a Torino, iniziata nel 1753, si evince che mai si era avuta un'estate così calda, con temperature medie stagionali di 2-3 °C superiori ai precedenti massimi noti.



Anche a livello giornaliero sono stati raggiunti valori mai misurati in precedenza: a Torino per la prima volta in 250 anni è stata superata la soglia dei 40 °C, con una punta di ben 41.6 °C il giorno 11 agosto; ad Aosta-St-Christophe i picchi termici più elevati si sono avuti il 25 giugno con 38.6 °C e l'11 agosto con 38.5 °C, valori entrambi superiori al massimo precedente di 38.0 °C, registrato nel luglio 1957. A rendere eccezionale la situazione nel complesso ha contribuito un pronunciato deficit pluviometrico, iniziato fin da gennaio e protrattosi anche nel cuore dell'estate:

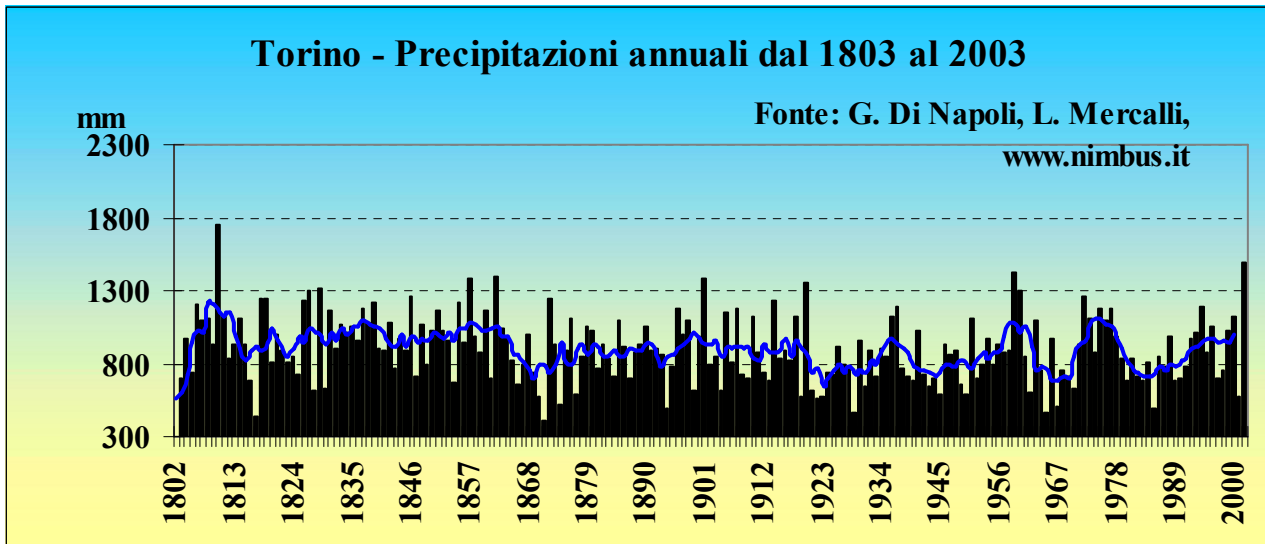
Sebbene non si possano effettuare considerazioni sull'evoluzione del clima in base un singolo episodio, lo straordinario caldo anomalo che ha interessato l'Europa nell'estate 2003 è coerente con le ipotesi formulate dalla comunità scientifica internazionale circa il riscaldamento globale dovuto all'incremento dell'effetto serra.

Precipitazioni: in leggera diminuzione rispetto al XIX secolo

Per le precipitazioni la descrizione degli andamenti è più problematica. Si ha una spiccata variabilità interannuale e i dati sono maggiormente dispersi, sia nel tempo, sia nello spazio. Limitandosi all'esame di serie storiche dell'Italia settentrionale, non è possibile individuare alcuna tendenza nel corso del XX secolo, ma è riscontrabile un lungo periodo dall'inizio del 1800 fin verso il 1860 caratterizzato da apporti frequentemente superiori alla media. Gli ultimi 70 anni mostrano un'alternanza di periodi ora più ora meno piovosi, senza alcuna periodicità significativa.

Al Sud Italia alcuni Autori rilevano una tendenza alla riduzione delle precipitazioni.

A nord delle Alpi l'unica tendenza rilevabile sembra essere un incremento del 20÷30% delle precipitazioni invernali nell'ultimo secolo (SCHMIDLI & al. 2001).



Torino: la lunga serie storica delle precipitazioni, iniziata nel 1802, non mostra particolari tendenze.

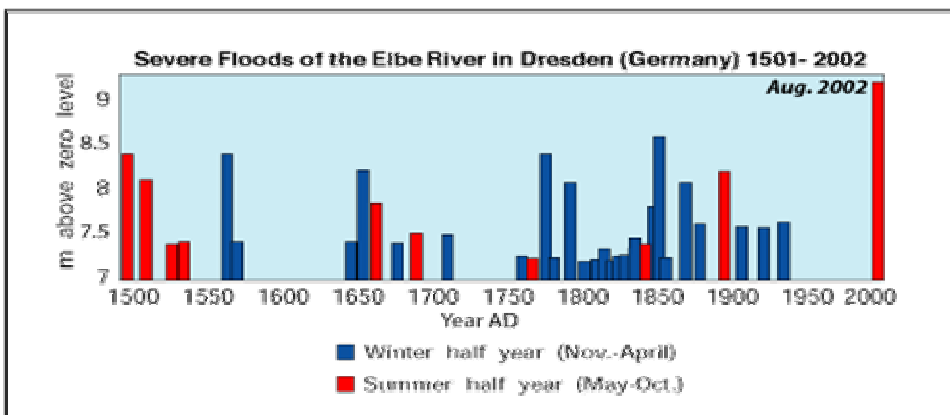
Precipitazioni intense: per ora non sembrano in aumento, ma l'analisi statistica è complessa

La ricerca di tendenze nella distribuzione degli eventi pluviometrici rari di forte intensità è estremamente complessa e soggetta a delicati problemi di interpretazione statistica, come hanno mostrato FREI & SCHÄR (2001b) nel loro lavoro sulle precipitazioni in Svizzera: per le piogge intense hanno trovato un leggero incremento di frequenza in inverno e in autunno sul versante nord delle Alpi e nessuna tendenza significativa a sud (Ticino).

Per il momento è presto per annunciare precisi andamenti validi a larga scala.

Il riscaldamento è un fenomeno globale, ma non è uniforme né nel tempo né nello spazio. Il sistema climatico è molto dinamico, non sono le modeste variazioni alla scala di giorni o di mesi a farne da specchio, ma sono le tendenze sul lungo periodo considerate sull'intero pianeta. Spesso si prendono come sintomo del cambiamento climatico gli eventi estremi, che si prestano magnificamente per fare notizia. In effetti è ragionevole ritenere che l'aumento termico possa portare in futuro a un più attivo scambio energetico tra atmosfera e oceani, con incremento di precipitazioni violente, siccità, tempeste. Ma per il momento è difficile individuare se gli eventi meteorologici estremi stiano aumentando di frequenza. I lavori di Glaser (Università di Heidelberg) sulle alluvioni registrate in Europa centrale fin dal 1300, evidenziano che l'attuale comparsa di fenomeni estremi ha già visto precedenti di pari o superiore entità in secoli passati; un lavoro recente conferma tuttavia che le grandi piene dell'Elba nell'Agosto 2002 hanno avuto un tempo di ritorno millenario, ma è difficile

associare tale estremo a una tendenza.

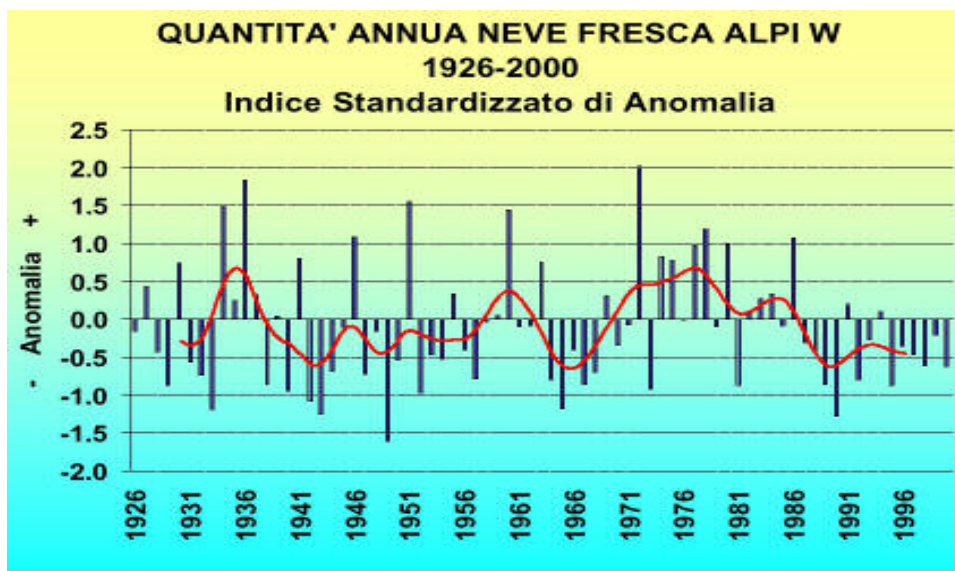


La piena dell'Elba dell'Agosto 2002 a Dresda, in base alle cronache storiche, sembra aver avuto un tempo di ritorno millenario (da ricerche di CH. PFISTER, PAGES website).

Le analisi delle precipitazioni secolari condotte in Svizzera da FREI (Università di Berna), hanno mostrato un leggero incremento nelle piogge invernali, non necessariamente legato ad episodi alluvionali. Insomma, per gli eventi estremi resta difficile isolare il segnale climatico antropico da quello naturale: forse abbiamo una qualche responsabilità, una frazione percentuale di un'alluvione o di una siccità potrebbe portare la nostra firma, ma non sappiamo quantificarla. Quindi è un argomento da affrontare con cautela, a differenza di quello dell'aumento della temperatura, che è più netto. Quel che è certo è che aumentano i danni, in risposta a una maggiore occupazione del territorio da parte delle infrastrutture antropiche, e bene fa l'Organizzazione Meteorologica Mondiale a pubblicare da qualche anno le gravissime statistiche dei disastri meteorologici nel mondo (www.wmo.ch), ma attenzione, non tutti sono colpa dell'incremento dell'effetto serra.

Neve caduta: quasi il 20% in meno nell'ultimo secolo

L'analisi di molte serie storiche in zona alpina mette in evidenza un'ampia variabilità interannuale del fenomeno. Tuttavia si individua una diminuzione degli apporti nel corso degli ultimi 15 anni.

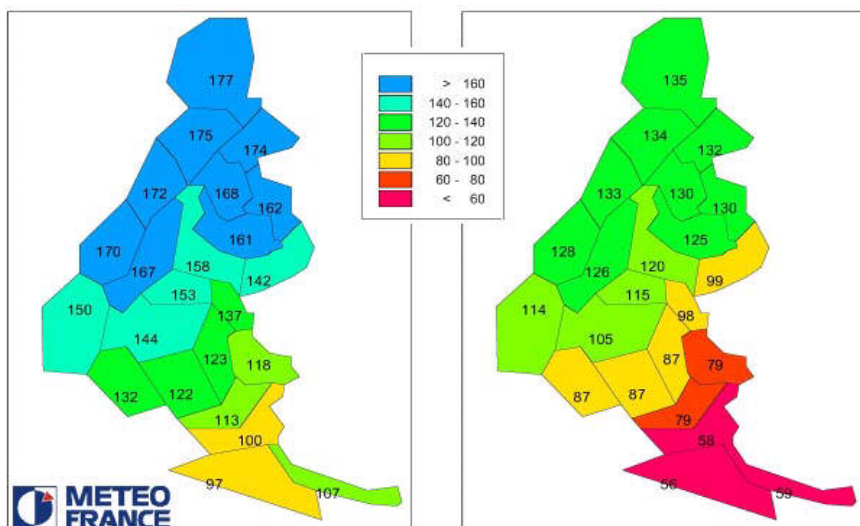


Nelle Alpi occidentali, l'analisi regionalizzata degli apporti di neve annui, mostra un'ampia variabilità. Gli ultimi 15 anni denotano un deficit prolungato. (SMI, Torino).

Durée moyenne de l'enneigement des Alpes à 1500 m d'altitude

Situation moyenne actuelle

Simulation en 2030 avec une augmentation de la température de 1.8 °C



La minore durata della neve al suolo nel periodo recente è sicuramente legata alla riduzione delle quantità di neve fresca caduta, ma l'incremento termico degli ultimi 15 anni e la maggiore frequenza di ondate di calore nel periodo primaverile, associate a scarse precipitazioni, può avere contribuito ad accentuare tale tendenza. La tendenza all'aumento termico potrà compromettere la durata del manto nevoso soprattutto alle quote medio-basse.

Le conseguenze del riscaldamento globale

Le regioni alpine, per la varietà degli ambienti e i delicati equilibri che li distinguono, sono particolarmente esposte alle variazioni climatiche, siano esse naturali o indotte dall'uomo.

Un'ottima sintesi in italiano su questo tema è in BARRY & PRICE (2000). La Svizzera, territorio limitrofo e affine alla Valle d'Aosta, ha da tempo intrapreso un organico programma di quantificazione dei cambiamenti climatici e dei loro impatti sugli ecosistemi e sull'economia montana: si tratta del progetto PROCLIM che ha portato alla pubblicazione di vari rapporti su Rischi climatici, disastri naturali ed economia svizzera (BADER & KUNZ, 2000), frutto dell'incontro tra esperti delle università, compagnie di assicurazione, settore bancario, industria privata e organizzazioni governative e ambientali. Riassumiamo e integriamo qui alcuni punti che possono essere di guida per approfondimenti.

Settore bancario - Il cambiamento climatico avrà un notevole impatto sull'economia globale e locale, che potrebbe manifestarsi dopo l'anno 2010 acuendo i grandi contrasti tra regione e regione, intensificando il divario sociale Nord-Sud. Il carattere globale del cambiamento del clima causerà notevoli flussi di capitali nel settore della prevenzione dei danni e della progettazione dei cambiamenti strutturali; l'effetto netto sull'economia sarà complessivamente negativo. Particolari impatti saranno subiti dal settore dell'energia, trasporti, turismo, costruzioni, assicurazioni, agricoltura, ricerca e sviluppo. Gli effetti economici sulle transazioni bancarie di settore come il turismo invernale e le assicurazioni sono già percepibili oggi.

Settore assicurativo - L'impresa assicurativa è abituata a lavorare secondo il concetto della massima perdita probabile o possibile. In questo caso anche il cambiamento del clima deve essere considerato in modo molto serio sia a livello di lente variazioni della media, sia di diversa frequenza di eventi estremi. I rischi minori possono essere affrontati con risorse correnti e disponibili e le misure di soccorso riportano il sistema alla normalità. Nel caso di rischi di media portata, vengono chiamate in causa risorse ausiliarie delle istituzioni, ma sul sistema colpito vengono già affrontati i livelli catastrofici (ad esempio l'alluvione di Briga del settembre 1993, che colpì anche l'Ossola e la Valle d'Aosta, e - dopo - quella dell'ottobre 2000). Nel caso dei rischi a grande scala l'intero sistema in questione viene indebolito al punto che le misure ricostitutive sono scarsamente efficaci o del tutto inattuabili. L'intera sopravvivenza del sistema è messa in dubbio. E' importante evidenziare che l'assicurazione contro le catastrofi naturali non è illimitata. La popolazione non deve cadere nella falsa sicurezza indotta dal ritenere che sia possibile assicurarsi contro qualsiasi evento.

Settore agricolo - L'agricoltura sarà fortemente colpita dal cambiamento climatico. Entro certi limiti le perdite produttive causate dal clima potranno essere compensate da nuove tecnologie e pratiche agronomiche (irrigazione con costruzione di invasi, colture protette, protezioni antigrandine, scelta genetica). L'adozione di questi nuovi metodi richiede tuttavia ingenti capitali e contro gli eventi estremi solo le compagnie assicurative possono offrire protezione finanziaria. L'estensione delle zone favorevoli all'agricoltura nei territori di montagna non porterà sostanziali vantaggi per la difficoltà di introdurre pratiche meccanizzate che rimarranno privilegio delle aree di pianura e bassa valle. L'aumento della disponibilità termica invernale è causa di anticipi vegetazionali con spostamento delle fasi fenologiche di prefioritura e fioritura verso la fine inverno/inizio primavera. Tale anticipo espone le colture ad un maggior rischio di danneggiamento in caso di gelate tardoprimaverili, anche di breve durata, ma assai frequenti nella casistica climatologica locale. L'aumento della temperatura potrebbe inoltre esporre le colture a una possibile proliferazione di patogeni fungini e insetti che potranno causare ingenti perdite di prodotto e determinare un incremento dei mezzi chimici di difesa. Scarsamente note le interazioni con il patrimonio forestale, che sarà soggetto da un lato a maggior potenzialità produttive per l'aumento di CO₂, dall'altro dovrà sottostare a vincoli di disponibilità idrica, processi evolutivi dei suoli e presenza di parassiti.

Settore energetico - Riscaldamento domestico: la maggiore disponibilità termica invernale incide e inciderà sui consumi di combustibili per riscaldamento, con possibili riduzioni sia in termini di quantità, sia in termini di estensione del periodo di massima richiesta.

L'eventuale maggior frequenza di ondate di caldo renderà tuttavia meno confortevoli le condizioni ambientali nei grandi centri urbani favorendo l'installazione di sistemi di refrigerazione, per i quali esiste ancora un notevole spazio di mercato, soprattutto nell'utenza domestica e delle piccole unità produttive. Ciò sarà causa di un maggiore consumo di energia elettrica nei mesi estivi. (ciò si è effettivamente verificato nell'estate 2003).

Produzione energetica: i possibili risvolti dell'aumento termico e della diminuzione dell'innevamento nei bacini idrografici alpini riguardano la variazione dei regimi idrologici locali e quindi della regolazione degli invasi stagionali destinati alla produzione idroelettrica. La probabile concentrazione dei deflussi di fusione nivale in periodi di fine primavera, spesso coincidenti con la stagione di maggiore apporto pluviometrico potrebbe generare surplus idrici non stoccabili negli attuali invasi, mentre possibili fenomeni di carenza pluviometrica nei mesi estivi sarebbero esaltati dall'ormai avvenuto esaurimento nivale. Inoltre l'accentuata riduzione dei ghiacciai alpini comporterà sensibili variazioni nei deflussi di fusione estivi (*processi tutti verificatisi nella calda estate 2003*). L'aumento di erosione dei suoli di alta montagna privati della protezione nivoglaciale potrà inoltre accelerare l'interramento degli invasi.

Salute - La temperatura più elevata e la maggiore frequenza di ondate di calore favorirà l'esposizione al sole delle persone. Questo cambiamento di abitudini unito alla maggiore pericolosità della radiazione solare causata dall'assottigliamento della fascia d'ozono stratosferico potrebbe favorire l'insorgenza di malattie tumorali della pelle. E' altresì prevedibile un maggior consumo di prodotti cosmetici protettivi.

Turismo - Le maggiori implicazioni dell'aumento termico e della riduzione dell'innevamento saranno avvertite soprattutto dal settore del turismo invernale. Il *Centre d'Etude de la Neige* (Météo France-Grenoble), per le Alpi francesi del nord, nel caso di un aumento termico di 1,8 °C, stima una riduzione nella durata del manto nevoso del 20% (30÷40 giorni) a 1500 m. Le piccole stazioni sciistiche a bassa quota potrebbero andare incontro a una riduzione del periodo di funzionamento, ma anche i grandi comprensori potrebbero risentire di tale carenza nei settori a quote medio/basse. Saranno invece sempre più sottoposti a eccessiva pressione di utilizzo i grandi comprensori d'alta quota. La quantità di neve che si accumula da ottobre a dicembre riveste un importante investimento per la stagione turistica del periodo natalizio e di fine anno. Lo scarso innevamento in tale periodo ha comportato frequentemente negli ultimi anni un avvio parziale della stagione sciistica con un funzionamento parziale degli impianti di risalita, anche nei grandi comprensori sciistici dotati di impianti di innevamento programmato. Questi ultimi, così ampiamente adottati negli ultimi anni, potrebbero contrastare solo marginalmente gli effetti della mancanza di neve naturale, in quanto le maggiori temperature potrebbero vanificarne il funzionamento e ridurre ulteriormente la durata del manto prodotto. Inoltre la gestione di tali sistemi comporta ingenti richieste sia di acqua sia di energia elettrica, fattori di ulteriore aumento dei costi. Riflessi più negativi sono attesi sulle poche stazioni di sci estivo, a causa della riduzione delle aree glaciali. Si cita il caso degli impianti di sci estivo sul ghiacciaio d'Indren (Monte Rosa), dismessi recentemente a seguito dell'arretramento della massa glaciale.

Calamità atmosferiche - Le variazioni del sistema climatico globale inducono cambiamenti negli equilibri energetici dell'atmosfera. Si ritiene che fra le possibili conseguenze vi possa essere l'aumento della frequenza di fenomeni estremi quali precipitazioni intense, siccità, tempeste. In Italia è rilevante la sensibilità del territorio montano a fenomeni alluvionali, che negli ultimi anni hanno pesantemente inciso sulla sicurezza delle popolazioni. Il possibile incremento di tali fenomeni, che per il momento non è ancora osservabile sui dati a disposizione, introduce nuovi elementi di attenzione nella pianificazione territoriale e apre una vasta area normativa.

Influenze sui paesaggi e sugli ecosistemi

L'aumento della temperatura e le variazioni del regime pluvionivale imporranno all'ecosistema vegetale nuovi scenari, legati in particolare alla migrazione di specie verso nuove fasce altitudinali. La legge bioclimatica di Hopkins (1918) stima una migrazione altitudinale degli ecosistemi di 500 m per ogni variazione di 3 °C. Un incremento termico di 1 °C determinerebbe uno spostamento della fascia altitudinale della vegetazione arborea pari a circa 100 m. L'innalzamento della temperatura e la riduzione delle precipitazioni determinerebbe per alcune zone alpine, soprattutto nel settore *xerico* intralpino, una progressiva steppizzazione dei suoli con una conseguente migrazione di specie mediterranee verso latitudini più settentrionali. Se la tendenza alla salita della temperatura continuerà in futuro ad acuirsi, è ragionevole ritenere che i ghiacciai al di sotto dei 3500 m possano scomparire completamente, e quelli posti a quote superiori possano subire rilevanti riduzioni (dipenderà anche dalla variazione delle precipitazioni). In una prima fase si passerebbe a un ambiente simile a quello che già le Alpi conobbero 6500 anni fa, durante l'Optimum climatico olocenico, ma l'evoluzione seguente esulerebbe dalla scala di riferimento degli ultimi diecimila anni. Inoltre, la rapidità del cambiamento potrebbe rivelarsi di gran lunga più importante e più rischiosa per l'umanità di quanto accaduto in passato. Il paesaggio alpino, così ricco di sfaccettature e di criticità, da un lato sarà il primo a rispondere ai cambiamenti climatici, anche con modificazioni drastiche, dall'altro costituirà sempre un serbatoio di diversità che favorirà la creazione e la salvaguardia di nicchie ecologiche. Resta all'uomo decidere quale posto vorrà avere e come vorrà o potrà adattarsi.

Il principio di prudenza, il numero 15 della dichiarazione di Rio, recita: *“Dove ci siano pericoli di danni gravi o irreversibili, la mancanza di una piena certezza scientifica non va usata come ragione per posporre la messa in atto di misure efficaci volte a prevenire il degrado ambientale”*. Nella scienza l'incertezza è una compagna fedele e talora buona consigliera, ma volentieri lascia spazio all'evidenza dei fatti quel tanto che basta per consentirci – se vogliamo - di prendere decisioni sagge. L'imperativo è dunque diminuire gli sprechi energetici e di conseguenza le emissioni di gas serra, non solo in attesa che vengano introdotte energie alternative meno inquinanti, ma come regola di buon senso dettata, come ben illustra l'economista Nicholas Georgescu-Roegen, dal secondo principio della termodinamica. E renderci conto che il sistema climatico terrestre esige quel rispetto che si riconosce di solito a tutte le cose fragili e delicate.

Bibliografia orientativa

www.nimbus.it – Sito web della Società Meteorologica Italiana

BARRY R.G. & PRICE M.F., 2000 - *Il cambiamento climatico*. In: MESSERLI B., *Montagne del mondo*, Tararà Ed., Verbania.

IPCC – *Climate Change 2001*. Cambridge University Press.

BADER S., KUNZ P., 2000, *Climate Risks, The Challenge for Alpine Regions*, VDF, ETH Zurich

GEORGESCU-ROEGEN N., 2003 – *Bioeconomia*. Bollati Boringhieri, Torino.

MERCALLI L. (Ed.), 2003 – *Atlante climatico della Valle d'Aosta*. SMS, Torino, 416 p.

MERCALLI L., 2000 – *Effetto serra e riscaldamento globale, conoscenze attuali, strategie future*. Nimbus 17/18.

NAVARRA A., PINCHERA. A. 2000 – *Il clima*. Laterza.

SERTORIO L. 2002 – *Storia dell'abbondanza*. Bollati Boringhieri, Torino.