

Zeitschrift: Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

Herausgeber: Società Svizzera Ingegneri e Architetti

Band: - (2004)

Heft: 1

Artikel: Il clima terrestre negli ultimi 10'000 anni

Autor: Mercalli, Luca

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-132929>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 11.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Due anni fa ho pubblicato un articolo su "Il clima terrestre negli ultimi 10'000 anni" (vedi [www.smi.it](#)) che si è rivelato molto popolare. In questo articolo ho cercato di riassumere i dati disponibili sull'andamento del clima terrestre degli ultimi 10'000 anni, con particolare attenzione alle cause dei cambiamenti climatici.

Il clima terrestre negli ultimi 10'000 anni

Luca Mercalli
Società Meteorologica Italiana, Torino

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.

Oltre 10'000 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 confermata sia

dall'analisi dei sedimenti oceanici, sia dal carottaggio delle calotte glaciale 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 14'000 e 11'000 anni fa. Approssimandosi all'orizzonte dei 10'000 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 quattro 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. 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 strettamente correlate.

Gli ultimi 10'000 anni: dai ghiacciai ai mandorli

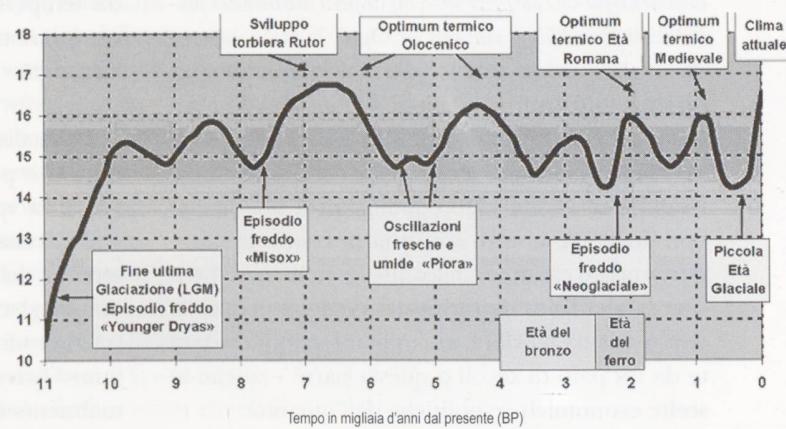
La ricostruzione del clima degli ultimi 10'000 anni, periodo detto Olocene, può essere tentata grazie agli apporti delle ricerche effettuate in tutte le

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 11'000 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 Olocoenico*, culminato tra sette e sei millenni dal presente e mai più egualato; 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 2'500 metri, 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 Olocoenico*, scoprendo dunque il deposito torboso.

Tornando alla visione su scala alpina, attorno a 5'500 anni fa compaiono alcune oscillazioni fredde, denominate *Piora* dall'omonima valle ticinese dove sono state identificate mediante analisi di pollini fossili. Nuova ripresa del clima mite verso 4'500 anni fa, ma meno pronunciata. Tra quattro e tre 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 successi-

va Piccola Età Glaciale. È 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 mandrie per molti anni vagilarono 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, 3'304 metri].

Temperatura media Europa sud-occidentale negli ultimi 10'000 anni



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 Roi Ladurie*, 1968). Significativo il commento di Marc Theodore Bourrit, che nel 1785 in *Nouvelle Description des Glacier de Savoie*, a proposito dell'antica comunicazione fra Chamonix e Courmayeur, scrive: «*Les glaces se seront donc augmentées, non tout-à-coup, mais insensiblement; des sommités elles seront descendues dans la vallée, se pressant les unes les autres, se précipitant 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 vouloient tenter les franchir. Telle sont les causes qui auront changé la face de cette vallée, et fermé pour toujours le chemins qui conduisent 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 affatto 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 Mònterin 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 2'000 metri 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. 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 termo-pluviometrica 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.

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 5'000 anni giaceva sotto i ghiacci dell'Alto Adige, estende questa considerazione ad altri quattro millenni. Del resto, è difficile stabilire in quale misura l'intervento umano si sovrapponga al segnale climatico naturale, ma L'IPCC, la più autoritativa 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).

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.

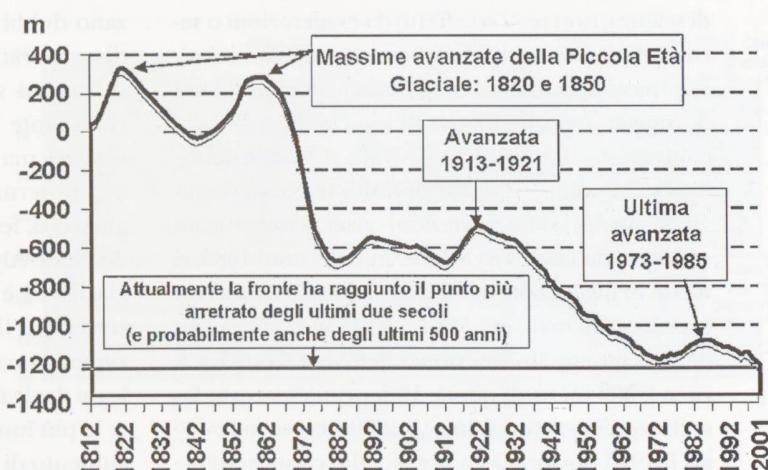
Al Sud Italia alcuni Autori rilevano una tendenza alla riduzione delle precipitazioni. A nord delle Alpi l'unica tendenza rilevabile sembra essere un incremento del 20÷30% delle precipitazioni invernali nell'ultimo secolo (Schmidli & al. 2001).

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.

Ghiacciaio del Lys, spostamento della fronte dal 1812 al 2001



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. 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.

Bibliografia orientativa

- www.nimbus.it, sito web della Società Meteorologica Italiana
- Barry & 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.
- Navarra A., Pinchera A. 2000 - *Il clima*, Laterza.
- Sertorio L., 2002. *Storia dell'abbondanza*, Bollati Boringhieri, Torino.

Testi tratti in gran parte da:

- Mercalli L. (Ed.), 2003 - *Atlante climatico della Valle d'Aosta*. SMS, Torino, p. 416.
- Mercalli L., 2000 - *Effetto serra e riscaldamento globale, conoscenze attuali, strategie future*, Nimbus 17/18.