

6.61 - Un angolo ridente del villaggio di Ollomont in estate (13.08.2002, f. L. Mercalli). La montagna valdostana potrà offrire opportunità di piacevole villeggiatura, specialmente estiva, in località dal clima più fresco e gradevole rispetto alle città o alle coste arroventate dal riscaldamento climatico.



Non solo soggetti sensibili come bambini e anziani vi potranno trovare piacevole soggiorno, ma anche svariate categorie di professionisti potranno beneficiare di un luogo di lavoro meno oppresso dalla calura estiva, purché tutti i villaggi delle valli laterali vengano dotati di linee veloci per il collegamento a internet, al fine di sviluppare le possibilità di «telelavoro».

— Modificazioni nella stagionalità degli afflussi turistici, con potenziale incremento del turismo di stampo estivo — quanto meno nei fine settimana — in mesi come maggio e settembre, per via delle temperature più elevate.

Potenziali effetti negativi:

— Carenza frequente e prolungata di innevamento sui comprensori sciistici a quota inferiore per nevicate più rare e fusione più rapida del manto (cfr. cap. 8).

— Regresso dei ghiacciai con perdita di attrazione turistica da parte dell'alta montagna (cfr. pag. 74).

— Alterazione e scomparsa del *permafrost* con problemi di stabilità di infrastrutture turistiche in alta quota (piloni di impianti a fune, rifugi, strutture di protezione paravalanghe).

Strategie di mitigazione e adattamento:

— Eventuale mantenimento degli impianti di innevamento programmato, ma soltanto ove questo sia sostenibile economicamente e consenta — con investimenti ragionevolmente contenuti — di attenuare/risolvere le principali le crisi di innevamento. Questa situazione potrebbe realizzarsi soltanto oltre i 1800-2000 m circa, mentre a quote inferiori l'aumento delle temperature potrebbe spesso compromettere la funzionalità degli impianti anche in pieno inverno. Si tenga tuttavia presente che tale soluzione comporta elevati dispendi energetici con ulteriore incremento delle emissioni climalteranti, pertanto la sua espansione deve essere attentamente valutata anche in termini di *esterneità negative*.

— Ove non sostenibile/conveniente il

mantenimento degli impianti di innevamento programmato, è necessaria una progressiva conversione delle attività turistiche in vista di nuove condizioni climatiche, slegandosi per quanto possibile dalla «monocultura» dello sci di pista, privilegiando il più possibile approcci di fruizione dell'ambiente invernale non necessariamente innevato in modo ottimale, ma pur sempre ricco di fascino.

4) Foreste: aumento dello stress per caldo e siccità estiva

L'incremento dell'effetto serra sarà certamente in grado di causare importanti conseguenze sulla dinamica degli ecosistemi forestali, tuttavia molte incertezze regnano ancora sull'effetto che un forte incremento

del CO₂ atmosferico e in generale il cambiamento climatico potrebbe avere sulle piante forestali. Diffusamente si ritiene che una maggiore concentrazione di biossido di carbonio favorisca una migliore utilizzazione dell'acqua da parte di alcune essenze (per via della chiusura degli stomi), nonché un maggiore accrescimento di varie specie di pioppi, ma al contrario su altre come l'abete di Douglas e il pioppo tremolo queste conseguenze positive sarebbero assai meno evidenti. E la previsione è resa ancora più complicata dalle possibili interazioni con altri inquinanti di origine antropica: si è visto ad esempio che l'ozono (O₃) reca danni agli alberi, e può compromettere i potenziali effetti positivi sull'accrescimento dati dall'aumento di CO₂ (KARNOSKY

6.62 - Vivaci colori d'autunno sui lariceti di Estoul (Vale d'Ayas) il 04.11.2001 (f. D. Cat Berro). Difficile prevedere gli effetti del futuro aumento di temperatura sulle foreste valdostane. Tutto dipenderà dalla rapidità del cambiamento: se questo sarà troppo veloce rispetto alla capacità degli alberi di adattarsi o migrare, potrebbero instaurarsi condizioni di stress fisiologico con frammentazione degli habitat.



& *al.*, 1999; ISEBRANDS & *al.*, 2001). Ma più che altro, a mettere in difficoltà vaste porzioni di bosco in Valle d'Aosta durante il XXI secolo potrebbero essere il rapido aumento della temperatura e la possibile variazione nel regime delle precipitazioni: lo stress estivo per caldo e siccità (come quello osservato nel 2003, che comportò una preoccupante moria di abete rosso sulle Alpi) potrà divenire più frequente, e in generale il cambiamento dei fattori climatici potrebbe essere superiore alle capa-

«L'aumento di perturbazioni quali le infestazioni di insetti e gli incendi potrebbero scatenare rapidi cambiamenti strutturali e funzionali delle foreste». (GITAY & *al.*, 2001)

cità di adattamento delle piante e alla loro velocità di migrazione verso l'alto lungo i piani altitudinali. A sua volta, la sofferenza fisiologica degli alberi predisporrebbe le condizioni per più frequenti e vasti attacchi di parassiti e insetti. Non è tutto: la stessa migrazione delle piante verso latitudini e altitudini più adatte potrebbe risultare compromessa da difficoltà riproduttive o dalla frammentazione degli habitat, nonché da altri fattori quali la disponibilità di nutrienti e umidità nei suoli di potenziale nuova colonizzazione. E' verosimile che anche gli incendi boschivi, in particolare su conifere, divengano più diffusi durante l'estate per la maggiore siccità del sottobosco. Si può concludere che gli effetti finali potranno essere assai diversi in base alle situazioni locali e alla composizione delle foreste, poiché esistono specie più tolleranti e adattabili, e altre più esigenti e dunque potenzialmente più a rischio. Queste considerazioni, riportate da WARREN & *al.* (2004) nel caso delle foreste canadesi, non sono fuori luogo se estese alla situazione valdostana, sebbene gli aumenti di tem-

6.63 -
Sottobosco di
lariceto a La
Magdeleine, il
07.07.1991 (f. L.
Mercalli).



peratura previsti sulle Alpi siano inferiori a quelli stimati per l'estremo Nord del continente americano.

Occorre esaminare contemporaneamente tutti i fattori citati per stimare la vulnerabilità complessiva degli ecosistemi forestali valdostani. Poiché non esistono previsioni precise sugli effetti futuri sulle foreste, si impone la necessità di intervenire con adeguate politiche di gestione forestale sul lungo periodo che possano mantenere o, anzi, migliorare la resistenza delle foreste al cambiamento.

5) Biodiversità ed ecosistemi: minacce di estinzione

Le regioni montuose in generale sono territori molto delicati ed esposti agli effetti del cambiamento climatico. Sono da



aspettarsi in futuro grandi cambiamenti nella composizione e nella varietà delle comunità viventi, vegetali e animali; l'aumento della temperatura potrà causare la degradazione e la frammentazione degli habitat, nonché la comparsa di specie vegetali esotiche, come già osservato nei boschi del Canton Ticino, Svizzera (GUISAN, 2006). Una specie vivente può reagire al riscaldamento atmosferico in tre modi: *adattandosi, migrando, oppure estinguen-*

dosi qualora l'evoluzione climatica sia più rapida della capacità di adattamento/migrazione, come è probabile che sia in futuro; in questo caso sarebbe probabile la scomparsa soprattutto delle specie alpine «cacuminali», che già oggi si trovano a quote elevate e con l'aumento di temperatura non potrebbero riparare altrove migrando. Durante il XX secolo tassi di migrazione verticale di specie vegetali di 0.5÷4 m per decennio, parallelamente a un arricchimento della flora d'alta quota, sono stati osservati sulle Alpi svizzere, ma in futuro il cambiamento

potrebbe essere troppo veloce per consentire l'adattamento e la migrazione (GUISAN, 2006). La risposta delle specie vegetali a un aumento termico non è lineare, e può manife-

stare un'inerzia fino a 1÷2 °C, ma un aumento di 3÷4 °C nelle temperature medie potrebbe avere profondi effetti a ogni livello di complessità degli ecosistemi, in quanto eguaglierebbe l'ampiezza termica di un'intera fascia vegetazionale, che è dell'ordine di 500 m. Piante alpine endemiche delle vette di montagne piuttosto basse sono minacciate severamente di estinzione per aumenti termici di 3÷4 °C, in quanto verrebbe a mancare un ambiente

6,64 -
Esemplare di
Pulsatilla
sulphurea a
Dondena
(11.05.2003, f.
D. Cat Berro).
Le specie
vegetali cacu-
minali, presenti
in alta quota
oltre i 2200-
2500 m, sono
potenzialmen-
te tra le più
sensibili all'au-
mento delle
temperature,
per il rischio di
scomparsa dei
loro ambienti
di diffusione, e
talora per l'im-
possibilità di
migrare verso
quote più ele-
vate dal clima
più consono
alle loro esi-
genze.



1920

6-14. M. Ross - Punta Vincent (m. 4638)



2000

6.65 a, b - La fotografia aiuta a comprendere l'evoluzione del territorio d'alta quota nell'ultimo secolo. Qui il ghiacciaio d'Indren (Gressoney) visto in una cartolina degli Anni 1920 (in alto) e nel settembre 2000 (f. L. Mercalli). In soli 80 anni la perdita di superficie e spessore è stata impressionante.

più freddo a quote superiori quale rifugio per la migrazione (THEURILLAT & *al.*, 1998). Dai risultati del progetto ATEAM (*Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling*) del *Potsdam Institute for Climate Impact Research*, emerge come entro il 2080 — basandosi sullo scenario A1f applicato al modello HadCM3 — sulla regione alpina potrebbe scomparire il 46% delle 2000 specie viventi considerate nello studio (tra cui 1350 piante, 157 mammiferi, 108 rettili e anfibi, 383 uccelli).

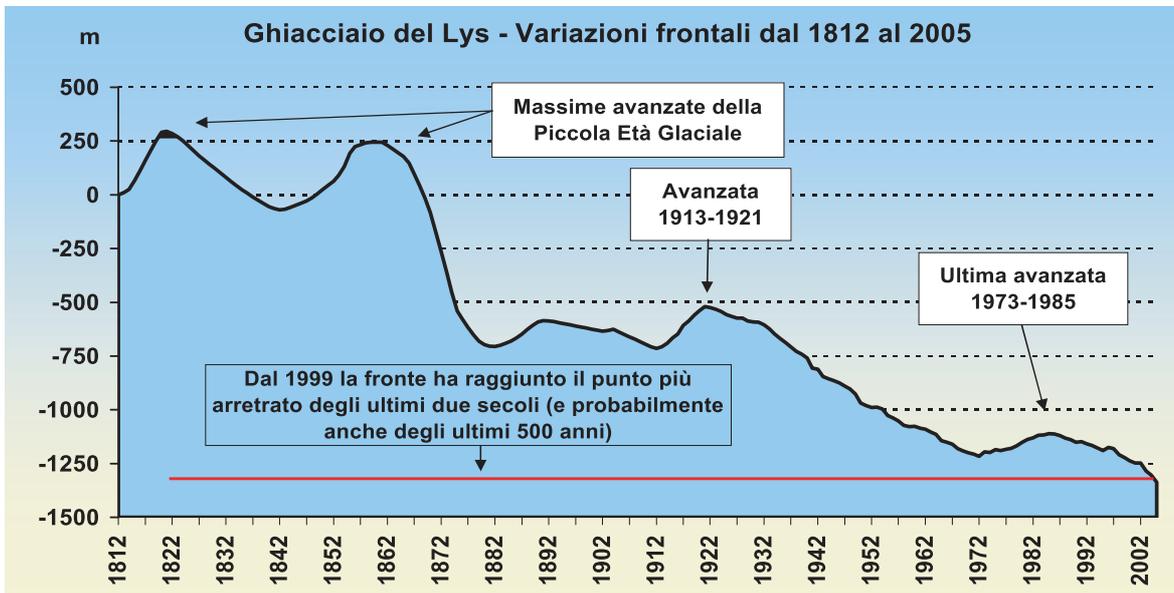
In Europa sarebbe maggiormente a rischio proprio la biodiversità delle zone di transizione dai climi mediterranei a quelli euro-siberiani (LAVOREL S., THUILLER W., ARAÚJO M. B., in AA.VV., 2005).

6) Ghiacciai: riduzione massiccia nei prossimi decenni

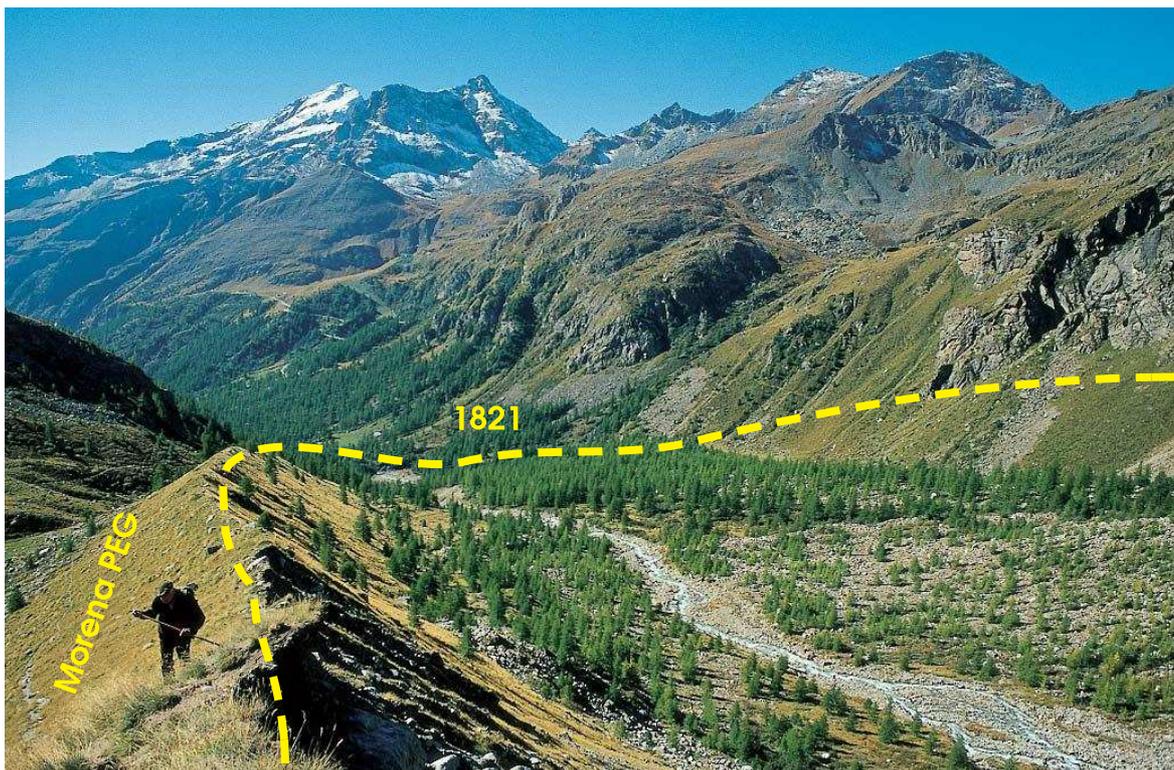
In un territorio alpino come quello valdostano, il regresso dei ghiacciai è senz'altro il fenomeno nell'immediato più appariscente tra quelli scatenati dall'aumento delle temperature. **Sulle Alpi i ghiacciai sono in ritiro dalla metà del 1800, termine della Piccola Età Glaciale (vedi p. 32), e da allora circa la metà della loro superficie è scomparsa.** Temporanee e brevi fasi di progresso si sono avute negli Anni 1920 e 1970-86 (alcuni ghiacciai del Monte Bianco hanno proseguito l'avanzata fino al 1988). La riduzione si è bruscamente accentuata dalla fine degli Anni 1980, e in particolare le stagioni 1990, 1991, 1998 e quelle dal 2003 al 2005 hanno sperimentato imponenti perdite di massa glaciale.

In Valle d'Aosta sono disponibili due lunghe serie di variazioni frontali: quella del ghiacciaio del Lys (Gressoney, Monte Rosa), con inizio dal 1812, frutto in particolare dei lavori di Umberto Monterin, e quella del ghiacciaio di Pré de Bar (Monte Bianco), dal 1820: dalle massime avanzate del XIX secolo, in poco meno di duecento anni, i

6.66 - Variazioni frontali cumulative al ghiacciaio del Lys dal 1812 al 2005. Dalla massima pulsazione della Piccola Età Glaciale, registrata nel 1821, il ghiacciaio è arretrato complessivamente di ben 1630 m, e dal 1999 la fronte ha toccato il punto più arretrato almeno dal 1812, ma verosimilmente anche dall'inizio della Piccola Età Glaciale verso il XV secolo.

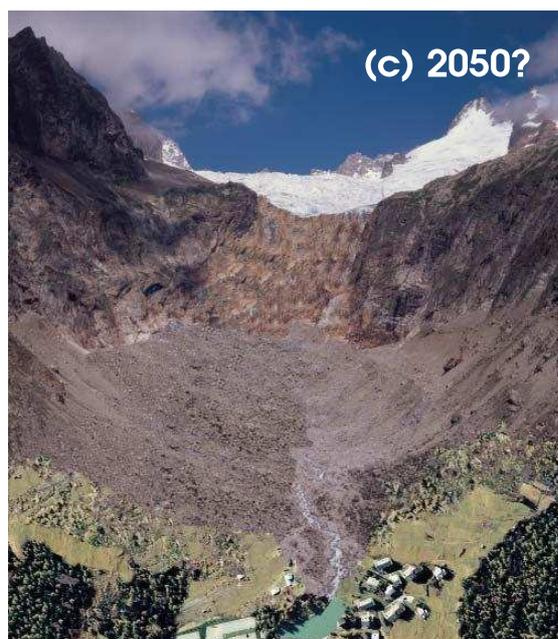
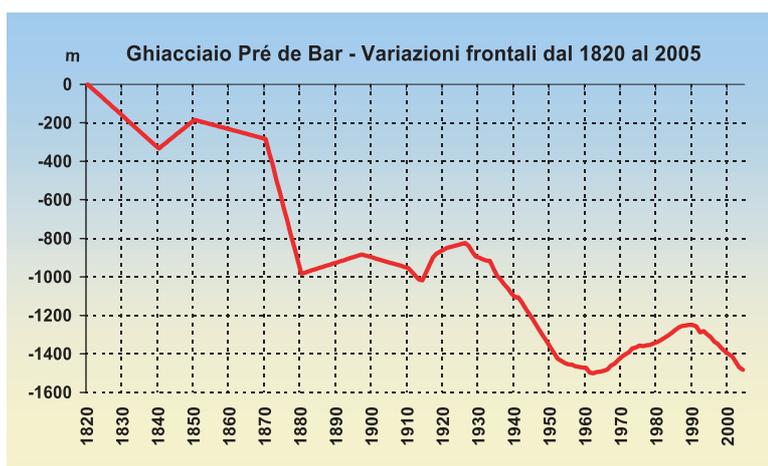
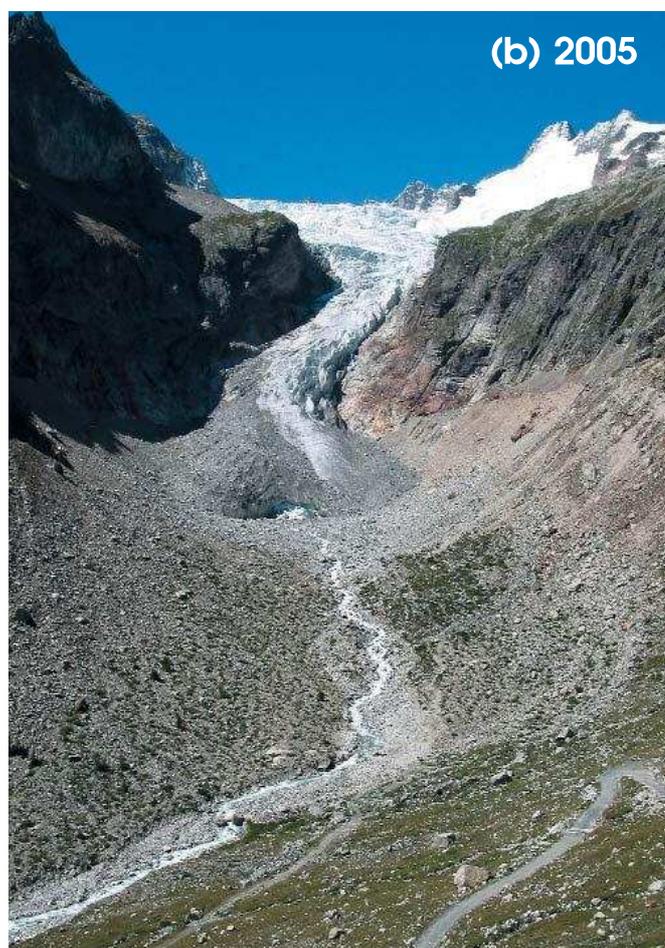
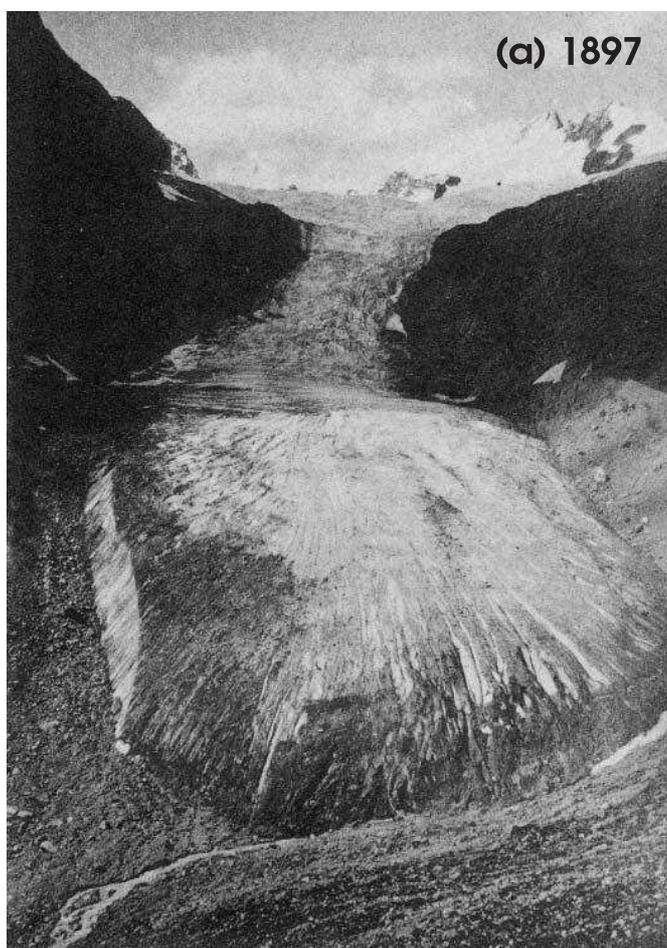


6.67 - Veduta dell'alta Valle del Lys e dell'interno delle morene PEG (Piccola Età Glaciale) dell'omonimo ghiacciaio. La linea tratteggiata indica grosso modo l'estensione del ghiacciaio attorno al 1821. Oggi, in poco meno di due secoli, l'aumento di temperatura di circa 1.5 °C ha determinato non solo la scomparsa del ghiacciaio, ma anche la scomparsa di un rado bosco di larici, a indicare la forte sensibilità degli ambienti d'alta quota al cambiamento climatico (f. L. Mercalli, 23.09.2000).



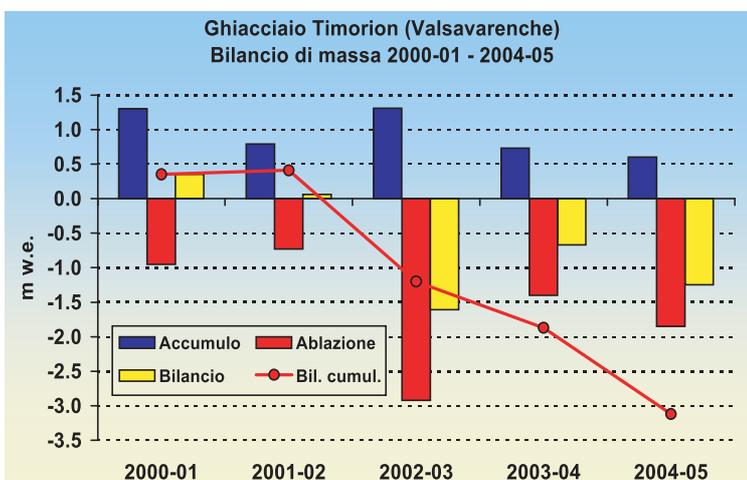
due ghiacciai sono arretrati rispettivamente di 1630 e 1500 m, e le aree che alla metà del XIX secolo erano ancora occupate dai ghiacci oggi sono ricoperte da radi boschi di larici, il tutto a causa di un aumento di temperatura dell'ordine di 1.5

°C. Questo consente di capire come l'ambiente sia particolarmente sensibile a incrementi termici in apparenza modesti. Le annuali campagne di misura delle variazioni frontali sono coordinate dal Comitato Glaciologico Italiano, istituito nel



6.68 a, b, c - Evoluzione del ghiacciaio di Pré de Bar (Courmayeur, Val Ferret) nel corso del XX secolo. In alto, una veduta del 1897, in cui il ghiacciaio si protendeva ancora verso la zona dell'attuale Rifugio Elena con una vasta fronte turgida (f. Druetti). Da allora, fino al 2005 (immagine in alto a destra di L. Mercalli, 16.08.2005) il ghiacciaio è arretrato di circa 600 m. A destra, simulazione di come potrebbe presentarsi il ghiacciaio attorno al 2050: con il ritiro della fronte e il progressivo assottigliamento della seraccata, nei prossimi decenni il ghiacciaio potrebbe rimanere confinato oltre la soglia rocciosa, mentre si avrebbe la colonizzazione delle morene storiche da parte di specie vegetali in migrazione dal fondovalle.

6.69 - Variazioni frontali del ghiacciaio Pré de Bar dal 1820 al 2005. La pulsazione PEG del 1820 è stata superiore a quella del 1850, e in 185 anni la fronte è arretrata di circa 1500 m. Attualmente il tasso di regresso è dell'ordine dei 20-30 m / anno.



6.70 - Bilancio di massa del ghiacciaio Timorion, tra le stagioni idrologiche 2000-01 e 2004-05. L'anno più negativo è stato il 2002-03, con una perdita specifica di massa pari a -1.61 m w.e., mentre il bilancio specifico cumulato nei cinque anni ha raggiunto i -3.12 m w.e. (fonte: ARPA VdA).

6.71 - Il ghiacciaio Timorion dai pressi di Levionna Superiore (12.09.2003, f. D. Cat Berro).

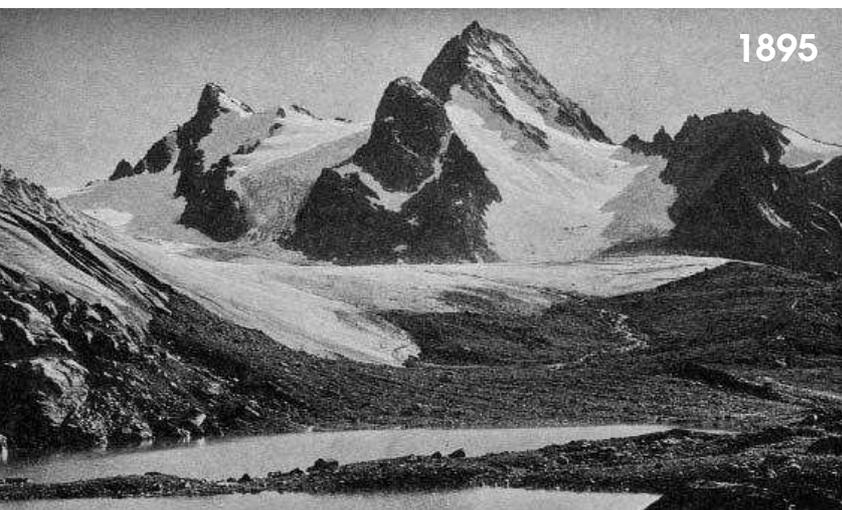
1895 per promuovere le ricerche glaciologiche in Italia.

Recentemente due ghiacciai della Valsavarenche, il Timorion e il Grand Etret, sono stati equipaggiati per le misure di bilancio di massa rispettivamente a cura dell'ARPA Valle d'Aosta e del Parco Nazionale Gran Paradiso: si tratta di una procedura che consente di valutare lo «stato di salute» del ghiacciaio attraverso il bilancio tra l'alimentazione nevosa invernale e la fusione estiva, misurate rispettivamente a inizio giugno (fine dell'inverno alpino alla quota dei ghiacciai, oltre i 3000 m) e a metà settembre. Tra il 2004 e il 2005 anche sul settore orientale del ghiacciaio

del Rutor sono state poste paline ablatometriche per la determinazione del bilancio di massa.

Nel grafico di fig. 6.70 sono riportati i dati annuali di accumulo, ablazione e bilancio di massa rilevati al ghiacciaio Timorion tra le stagioni 2000-01 e 2004-05: salvo il bilancio moderatamente positivo del 2000-01, con +0.36 m di equivalente d'acqua (w.e. = *water equivalent*), e quello sostanzialmente stazionario della successiva stagione 2001-02 (+0.06 m w.e.), in seguito hanno dominato forti perdite di massa, particolarmente pronunciate nella stagione 2002-03, quando in una sola stagione si è persa una quantità specifica di ben 1.61 m w. e. Complessivamente, il bilancio specifico cumulato nei 5 anni di misura ora disponibili ha raggiunto i -3.12 m w.e.; poiché la densità del ghiaccio di ghiacciaio si aggira attorno a 0.87 kg/dm³, ne consegue che la superficie del Timorion ha perso mediamente 3.6 m di spessore in cinque anni; a titolo di confronto, sul ghiacciaio Ciardoney — sito a quota più bassa (tra 2900 e 3140 m) sul versante piemontese del Gran Paradiso — nel medesimo periodo si è misurato un bilancio cumulato di -6.53 m w.e., più che doppio rispetto al ghiacciaio Timorion.

Una valutazione aggiornata delle superfici dei ghiacciai regionali è stata condotta di recente dalla Fondazione Montagna



1895



2000

6.72 a, b -
L'imponente
arretramento
del ghiacciaio
del Rutor avve-
nuto tra il 1895
(in alto, f.
Orioni) e il
2000 (qui
sopra, f. L.
Mercalli).

Sicura - Cabina di Regia dei ghiacciai valdostani, tramite analisi della ripresa ortofotogrammetrica del 1999; ne risulta una **superficie glacializzata complessiva di 156.8 km²**. Nel 1983 il catasto WGI (World Glacier Inventory) censiva un'area glaciale di 202 km² in Valle d'Aosta: dunque il 23% della superficie glaciale valdostana risulta scomparso in appena 16 anni.

Potenziati effetti negativi:

— Ulteriore regresso e probabile scomparsa dei ghiacciai al di sotto dei

3500 m entro il 2050. In Svizzera si prevede che il 70% della superficie glaciale presente nel 1995 potrebbe essere scomparso entro il 2060 (ZEMP & al., 2006; cfr. scenari proposti da M. MAISCH a p. 81). Nel caso dovessero ripetersi per una decina di volte le condizioni estreme dell'estate 2003, questo porterebbe alla pressochè totale scomparsa dei ghiacciai sulle Alpi; infatti, nel 2000 lo spessore medio dei ghiacciai alpini era di circa 30-35 metri e solo nell'estate 2003 si sono misurate perdite tra 2.5 e 3 metri di ghiaccio. Inoltre il 90% dei ghiacciai alpini ha un'estensione inferiore a 1 km², ed è quindi verosimilmente destinato a scomparire nei prossimi decenni. In Valle d'Aosta potrebbero mantenersi essenzialmente le calotte più elevate del Monte Bianco e del Monte Rosa, e parte dei maggiori apparati del Gran Paradiso-Rutor.

— Minore attrazione dell'ambiente d'alta montagna, calo di frequentazione di alcuni percorsi alpinistici per aumento delle difficoltà; probabile ripercussione sulle presenze nei rifugi del Monte Rosa e del Monte Bianco, la cui attività è basata essenzialmente sull'alpinismo su ghiaccio.

— Maggiore rischio di fenomeni legati alla dinamica glaciale: crolli di ghiacciai pensili, svuotamento di laghi glaciali (epiglaciali o endoglaciali), questi ultimi in rapida formazione, in questi anni, anche a quote elevate, oltre i 3200-3500 m.

Superficie glaciale valdostana (fonte: Fondazione Montagna Sicura)		
Codice bacino (WGI)	Denominazione bacino	Superficie totale 1999 (km²)
4LD1502	Gressoney	14.25
4LD1503	Chamoporcher	0.08
4LD1504	Ayas	13.54
4LD1505	Fenis - Clavalitè	0.10
4LD1506	Valtournenche - Marmore	4.74
4LD1507	Arpisson-Comboè-Laures	0.19
4LD1512	Cogne-Grand Eyvia	18.87
4LD1513	Valsavarenche	8.71
4LD1514	Rhêmes	10.52
4LD1515	Valgrisenche	13.35
4LD1516	La Thuile	13.14
4LD1517	Valli Veny-Ferret	39.42
4LD1521	Buthier-Ollomont-Menouve	2.66
4LD1522	Valpelline	17.22
	Totale Valle d'Aosta	156.79

potenziale idrico.

— Progressiva scomparsa del permafrost e conseguente destabilizzazione dei versanti rocciosi in quota, con aumento del rischio di crolli e frane, come peraltro già osservato nella caldissima estate 2003 (crollo della «*Chéminée*» lungo la via normale italiana al Cervino, e «chiusura» del percorso). Danni alle infrastrutture edificate sui versanti interessati.

Riscaldamento climatico e fusione nivoglaciale

Studi svolti su alcuni ghiacciai francesi (Saint Sorlin, Gébroulaz, Argentière e Mer de Glace) al fine di determinarne la risposta ai cambiamenti climatici nel XX secolo (VINCENT C., 2002) hanno mostrato una sensibilità dell'ablazione estiva alla temperatura in media di 0.5 m w.e. per ogni °C alla quota di 2900

6.73 -
Aggiornamento
1999 delle superfici
dei ghiacciai
valdostani
(fonte dati:
Cabina di Regia
dei ghiacciai
valdostani).

— Iniziale effetto benefico della maggiore fusione per il contributo ai deflussi torrentizi e fluviali in estati siccitose, ma in seguito conseguente depauperamento del capitale glaciale con grave perdita di



1920



2004

6.74 a, b - Il ghiacciaio grande di Verra (Val d'Ayas) visto dal Palon di Résy intorno al 1920 (qui sotto) e il 24.10.2004 (f. M. Palomba). La grande e sinuosa lingua glaciale valliva è quasi del tutto scomparsa.

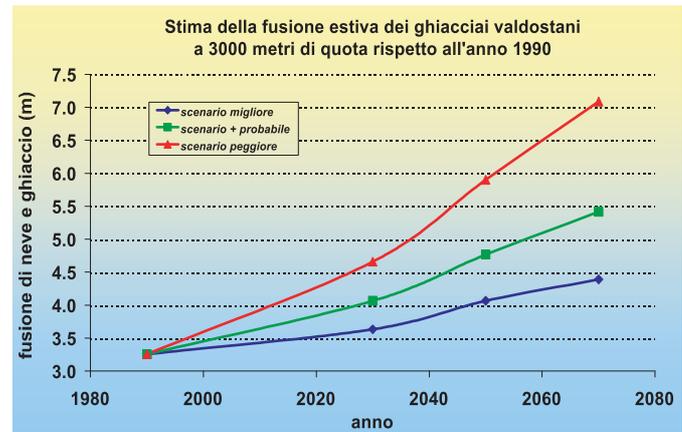
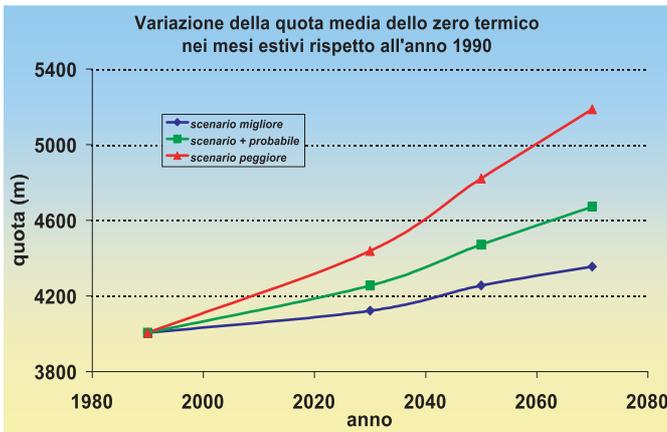


6.75 a, b - Il Ciarforon (3642 m) e la Becca di Monciair (3544 m) con il ghiacciaio di Moncorvè visti dal Rifugio Vittorio Emanuele II in una cartolina degli Anni 1920 (in alto) e il 25.08.2000 (qui sopra, f. D. Cat Berro). Si noti, oltre all'arretramento frontale, l'assottigliamento del ghiaccio sulla parete NW del Ciarforon.

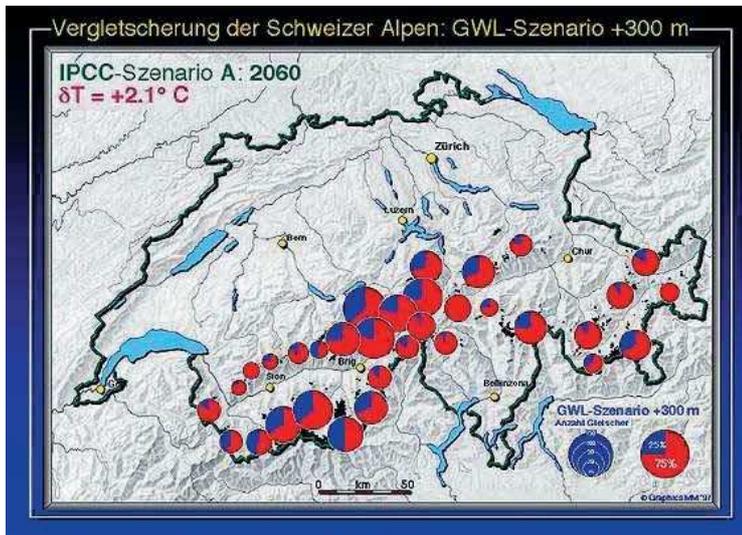
m, vale a dire una perdita di spessore di 0,4 m di neve e ghiaccio per ogni grado di temperatura media estiva maggiore di zero. Gli stessi calcoli applicati ai dati di bilancio di massa del Ghiacciaio Ciardoney in Valle Soana (Gran Paradiso) hanno determinato una sensibilità di 0,43 m w.e. per °C a 3050 m. Data la vicinanza geografica, si possono estendere questi risultati ai ghiacciai valdostani e affermare che oggi, durante la stagione estiva, a 3000 m viene perso in media uno spessore di 0,4 m di neve e ghiaccio per

ogni grado di temperatura media maggiore di zero. Utilizzando la quota media dello zero termico nei mesi estivi (giugno, luglio e agosto) come indicatore della quota al di sotto della quale avviene la fusione, si può stimare (dati di Plateau Rosa) che questa nel trentennio 1961-1990 avveniva in media al di sotto dei 3500 m. Dal momento che la temperatura media estiva a 3000 m nel trentennio 1961-1990 era di 3,0 °C, si può calcolare che in quel periodo a questa quota si aveva in media una perdita di spessore di neve e ghiaccio di $0,4 \times 3 = 1,2$ m per stagione estiva. Nel 1990 la quota media dello zero termico nella stagione estiva è stata di 4005 m, con una temperatura media a 3000 m di 6 °C; secondo questo modello in quell'anno la perdita di neve e ghiaccio a 3000 m nella stagione estiva è stata di $0,4 \times 6 = 2,4$ m.

I modelli climatici basati su un approccio probabilistico prevedono sulle Alpi occidentali come scenario più probabile un aumento di temperatura media estiva di 2,8 °C nel 2050 e di 4 °C nel 2070 rispetto al valore del 1990; questo farebbe innalzare la quota dello zero termico nei mesi estivi fino a circa 4470 m nel 2050 e a 4670 m nel 2070. Altri scenari meno probabili prevedono, sempre rispetto al 1990, un aumento di temperatura estiva di 2,1 °C (scenario migliore) o di 7,1 °C (scenario peggiore) nel 2070; in questo secondo caso la quota media dello zero termico nei mesi estivi si porterebbe addirittura



6.76, 6.77 - Stime della fusione nivoglaciale annua a quota 3000 m e della variazione di quota del livello medio dello zero termico sulle Alpi valdostane secondo tre differenti scenari di evoluzione climatica.



Evoluzione glaciale nel XXI secolo (scenario IPCC-A)

Anno	T °C	ELA m	% area (da 1995)
2015	+0.7 °C	+100 m	-19%
2035	+1.4 °C	+200 m	-56%
2060	+2.1 °C	+300 m	-70%
2080	+2.8 °C	+400 m	-84%

I diagrammi sulla cartina sopra (fig. 6.78) mostrano in rosso la frazione di superficie glaciale che potrebbe scomparire nei massicci alpini svizzeri entro il 2060 (-70%). Qui riportiamo anche i previsti valori di aumento di temperatura, della quota della linea di equilibrio (ELA = Equilibrium Line Altitude) e della perdita di area glaciale riferiti ad altri orizzonti temporali del XXI secolo. Le informazioni sono desunte dalle ricerche di MAX MAISCH, del Dipartimento di Geografia dell'Università di Zurigo.

www.geo.unizh.ch/phys/research/groupA/szenariench.html

fino a 5190 m nel 2070 (fig. 6.76). A 3000 m di quota, nello scenario più probabile, si passerebbe quindi da una temperatura media estiva di 6 °C nel 1990 a 9 °C nel 2050 e 10 °C nel 2070, che comporterebbe rispettivamente una perdita annua di spessore di neve e ghiaccio di 3.6 m e 4 m. Considerando invece l'aumento di temperatura previsto dallo scenario meno probabile, ma peggiore, la temperatura media estiva a 3000 metri passerebbe da 6 °C a 11 °C nel 2050 e a 13 °C nel 2070, determinando una perdita di spessore di neve e ghiaccio rispettivamente di 4.4 m e 5.2 m all'anno (fig. 6.77). In tali condizioni i ghiacciai valdostani sarebbero destinati alla scomparsa pressoché totale.

7) Produzione idroelettrica: via via meno acqua d'estate

Con l'aumento delle temperature estive, la produzione idroelettrica potrà inizialmente beneficiare di maggiori afflussi d'acqua di

6.79 - La diga di Place Moulin, in Valpelline, è il più grande invaso idroelettrico valdostano, con una capienza massima di 105 milioni di m³. Le sue acque provengono in gran parte dai ghiacciai di Tsa de Tsan e delle Grandes Murailles. La produzione idroelettrica potrebbe risentire in futuro dell'alterazione dei regimi di deflusso dovuta all'aumento delle temperature, con fusione nivale più precoce e afflussi estivi via via meno abbondanti per il regresso dei ghiacciai (f. L. Mercalli, 13.08.2002).

fusione negli invasi sottesi a bacini di origine glaciale (es. Place Moulin, Beaugard), utile specialmente durante le estati siccitose. Tuttavia, questo effetto progressivamente verrà meno con il regresso e la scomparsa dei ghiacciai, lasciando emergere le conseguenze negative del modificato regime dei deflussi in quota (cap. 8).

8) Edilizia e consumi: imporre risparmio ed efficienza energetica

Difficile prevedere quale effetto complessivo avrà, in Valle d'Aosta, il riscaldamento climatico sui consumi energetici: se da un lato la domanda per il riscaldamento degli edifici diminuirà con inverni più miti (in Europa i tiepidi inverni dal 1988 al 1990 hanno comportato un calo di consumi del 2%), dall'altra quella per la climatizzazione potrà aumentare in estate.

Potenziali effetti positivi / opportunità:

- minori consumi invernali per il riscaldamento degli edifici.

Potenziali effetti negativi:

- maggiori consumi estivi per la climatizzazione.
- perdita di stabilità di infrastrutture in aree soggette all'alterazione del *permafrost*.

Strategie di mitigazione e adattamento:

Molto si potrà fare per limitare l'impatto dei cambiamenti climatici su consumi ed efficienza energetica. Il comfort estivo potrà essere migliorato attraverso opportune scelte in ambito edilizio, architettonico e urbanistico, come l'installazione di protezioni solari, di isolamenti termici in pareti e soffitti, lo sviluppo di aree verdi. Sconsigliabile la costruzione di edifici a superficie vetrata, suscettibili di eccessivo surriscaldamento estivo e dispersione invernale (AA.VV., 2003).

9) Trasporti

L'aumento delle temperature avrà almeno un paio di effetti diretti anche sulla rete dei trasporti stradali.

Potenziali effetti positivi / opportunità:

- Minore presenza invernale di neve e ghiaccio sulla rete stradale per le temperature più elevate; minori costi per lo sgombero della neve e per la salatura contro il gelo. Apertura primaverile più anticipata e chiusura autunnale più tardiva dei valichi del Piccolo e Gran San Bernardo.



7. LE PRECIPITAZIONI

«Le conseguenze del cambiamento climatico sulle risorse idriche dipendono non solo dalle possibili variazioni della risorsa stessa... ma anche dalle variazioni nei consumi da parte degli esseri umani e dell'ambiente.» (ARNELL & LIU, 2001)

Quali segnali di cambiamento?

Sulle precipitazioni i segnali del cambiamento climatico in atto sono meno chiari e distinguibili rispetto alle temperature, e si presentano irregolari nello spazio. Le osservazioni condotte da oltre un secolo indicano che globalmente gli apporti pluviometrici sono aumentati dell'1% circa sulle terre

emerse — probabilmente per l'intensificazione del ciclo dell'acqua conseguente all'aumento delle temperature — e fino all'8% in alcune regioni tra il 40° e l'80° parallelo N, mentre sarebbero diminuite nella fascia subtropicale (SCHÄR C., OHMURA A., in AA.VV, 2003). Sul Nord-Ovest d'Italia gli ultimi due secoli hanno visto un calo della piovosità, confermato in ogni stagione (AUER & *al.*, 2005a, BRUNETTI & *al.*, 2006). Grande interesse e dibattito suscita l'evoluzione delle piogge estreme; tuttavia, per l'esiguità del campione di dati a disposizione, gli episodi rari mal si prestano a una significativa analisi statistica. Sul versante

7.1 -
Un
Cumulonim-
bus incus si
erge sui cieli
del Lago
d'Arpy (presso
il Colle San
Carlo. La
Thuille) nel
tardo pome-
riggio del
09.08.1998. Sta
per scoppiare
un temporale
di calore (f. D.
Cat Berro).



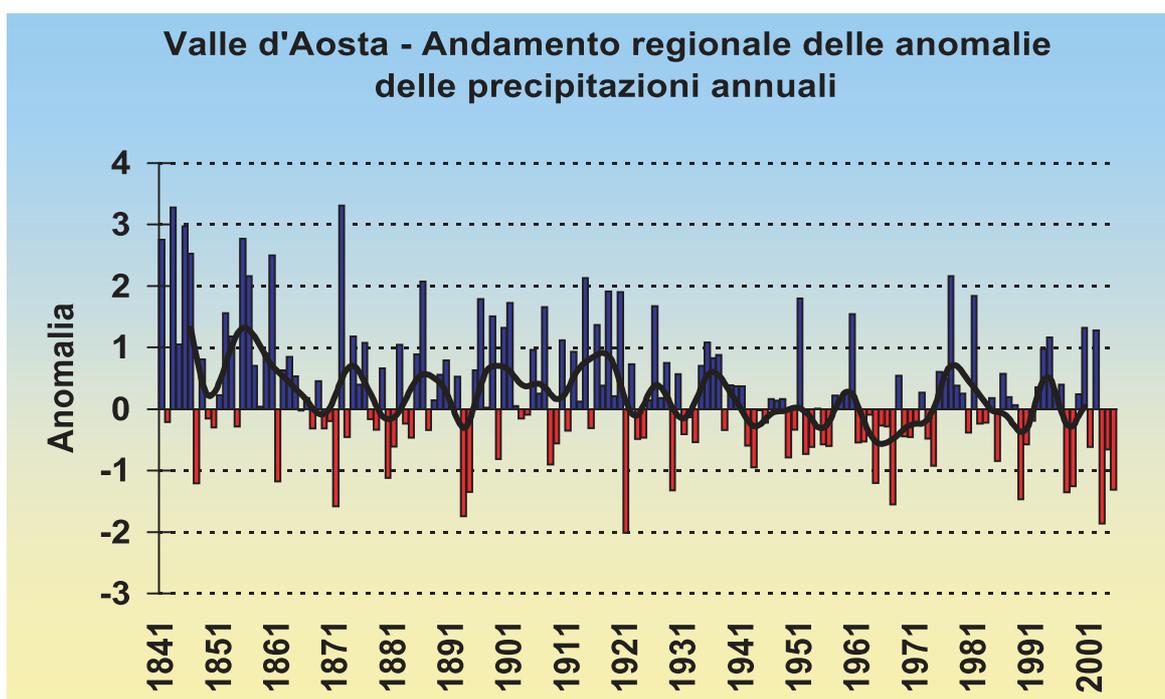
nord-alpino, i climatologi svizzeri hanno individuato tendenze all'aumento di frequenza delle quantità di piogge giornaliere che hanno tempo di ritorno di un mese sul lungo periodo (FREI & SCHÄR, 2001); la tendenza è significativa nel 30% delle stazioni considerate, e gli aumenti si collocano tra il 20 e l'80% in un secolo; e a conclusioni simili si è giunti per le precipitazioni intense della durata di 2-5 giorni; nessuna tendenza è stata individuata invece sul versante sud-alpino della Svizzera.

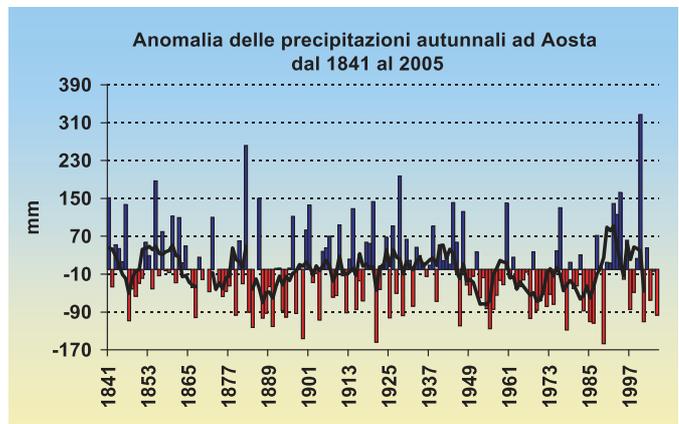
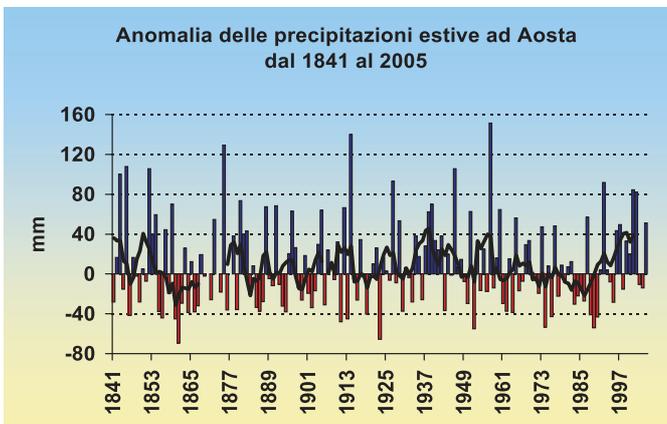
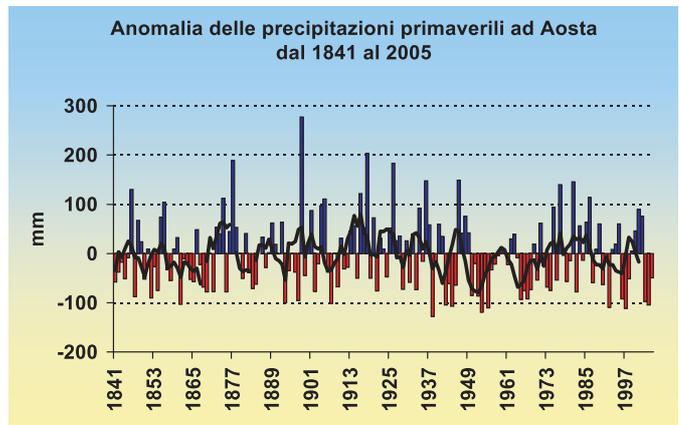
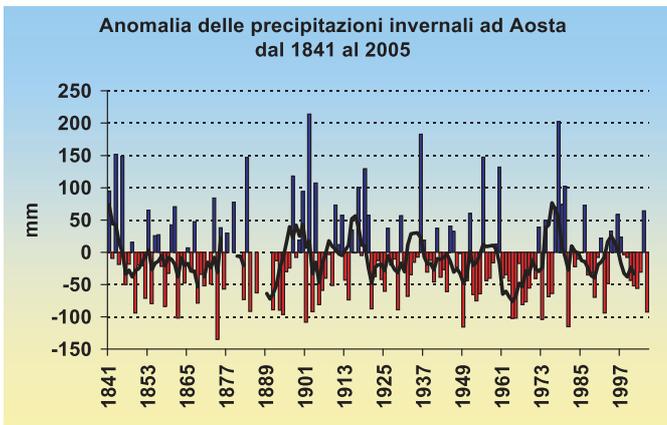
La situazione in Valle d'Aosta: nel 1800 pioveva di più

Anche per le precipitazioni si è calcolato l'indice di anomalia regionalizzato (SAI) per evidenziare l'evoluzione nel tempo del parametro (Fig. 7.2).

Il periodo di indagine comincia nel 1841, anno di inizio della serie pluviometrica di Aosta, ma soltanto dal 1913 - con l'istituzione dell'Ufficio Idrografico del Po - il numero di stazioni disponibili cresce rapidamente, fino a superare le 40 unità tra il 1930 e il 1970. Dall'analisi delle anomalie regionalizzate si **individua una lieve tendenza al calo nella quantità di precipitazione**, a conferma di quanto osservato altrove al Nord Italia. Si riscontra un lungo periodo, dalla seconda metà del 1800 fin verso il 1940, segnato da apporti spesso superiori alla media. In seguito si instaura un'alternanza irregolare di periodi più o meno piovosi, senza alcuna periodicità significativa, comunque gli anni piovosi divengono meno frequenti, a vantaggio di quelli più asciutti del normale. Una fase di relativo

7.2 - Evoluzione dell'indice standardizzato di anomalia (SAI) delle precipitazioni annue in Valle d'Aosta, dal 1841 al 2005. Per quasi tutto il XIX secolo la curva è stata ottenuta dalla sola stazione di Aosta. Solo nel 1913, con la fondazione dell'Ufficio idrografico del Po, la disponibilità di dati continuativi aumenta considerevolmente. Si nota una lieve tendenza alla diminuzione degli apporti di pioggia e neve fusa, specie dalla metà del XX secolo.

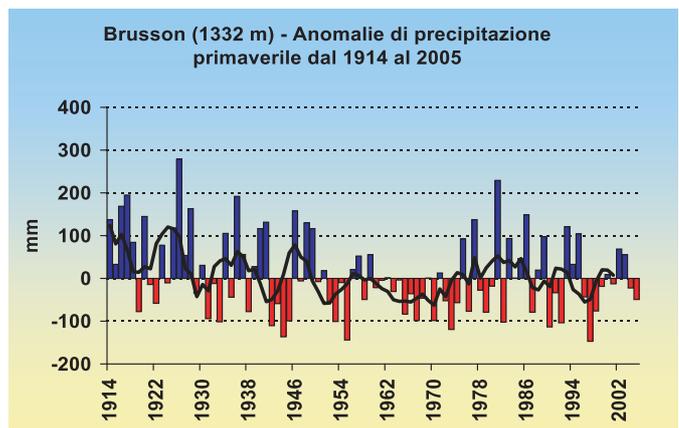
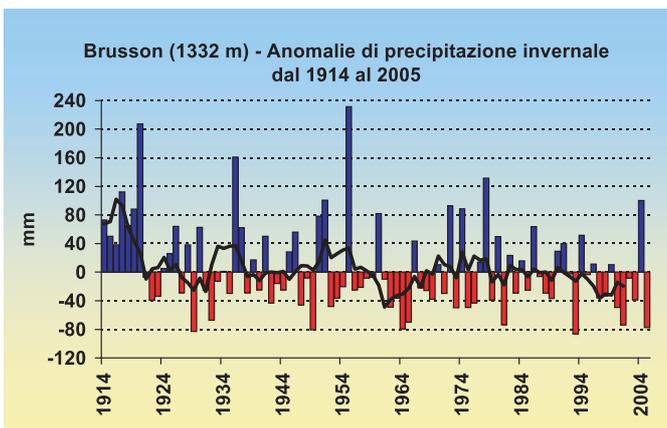


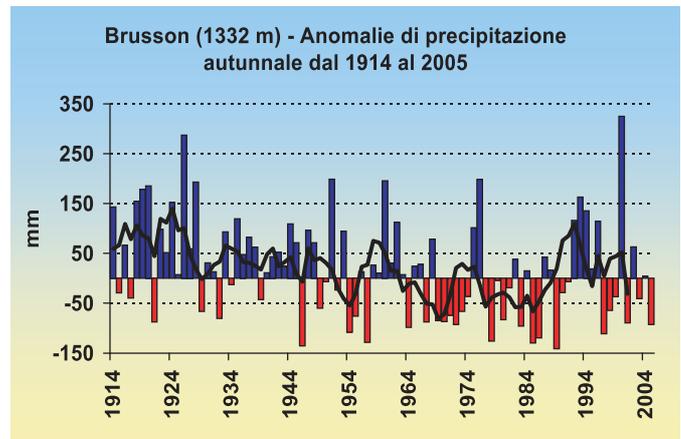
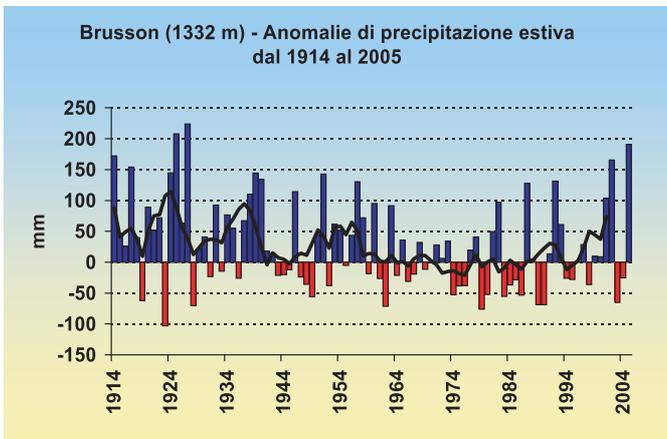


7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8 - Aosta e Brusson. Serie degli scarti (mm) delle precipitazioni stagionali dalla media del periodo 1971-2000.

deficit pluviometrico interessa il trentennio 1940-1970, mentre nel decennio successivo le precipitazioni tornano a essere più abbondanti. All'interno di questo periodo si colloca il 1977, l'anno più piovoso dal 1900 a scala regionale (si rilevano 1525 mm a Lillaz, 1800 mm al Lago Gabiet, 1877 mm a

Bard e 2419 mm a Pont Boset). Forti anomalie negative di piovosità si ripresentano dal 1982 al 1991 e — in seguito — dal 1997; in particolare gli ultimi anni, con l'eccezione del 2000 e del 2002, sono stati tutti siccitosi, tendenza confermata anche dai primi mesi del 2006.





7.9, 7.10 - Brusson, serie degli scarti (mm) delle precipitazioni estive e autunnali dalla media del periodo 1971-2000.

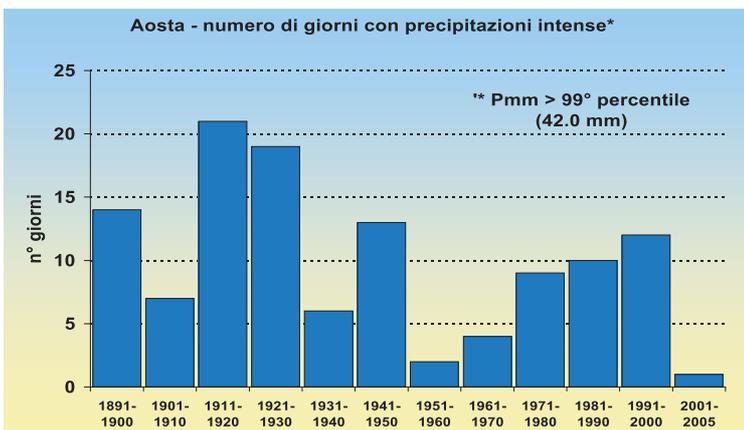
7.11 - Conteggio dei giorni con precipitazione giornaliera intensa, superiore al 99° percentile ad Aosta, per decenni. Ancora non si manifestano segnali rilevanti di cambiamento.

A livello stagionale, invece, sia nella serie pluviometrica di Aosta (fig. da 7.3 a 7.6), sia in quella di Brusson (fig. da 7.7 a 7.10), non si notano tendenze significative nella quantità di precipitazione, ma soltanto fluttuazioni irregolari tra gruppi di anni più piovosi e altri più asciutti. Tra le stagioni autunnali, spicca quella del 2000, la più piovosa della serie in entrambe le località considerate per via delle precipitazioni eccezionali di metà ottobre.

Piogge intense: per ora nessuna tendenza significativa

La ricerca di tendenze nella distribuzione

degli eventi pluviometrici rari e di forte intensità è estremamente complessa e soggetta a delicati problemi di interpretazione statistica. Si è deciso di considerare come evento di precipitazione intensa quello in cui si è accumulato un quantitativo giornaliero di pioggia pari almeno al 99° percentile della distribuzione nel trentennio 1971-2000. Il 99° percentile è la soglia al di sopra della quale si trova solo l'1% dei dati (giornalieri, in questo caso) della serie di misura. Considerando la sola serie di Aosta, ottenuta dall'unione della serie storica del centro-città (1841-1973) con quella di St-Christophe (1974-2005), le soglie di precipitazione intensa sono 46.7 mm/giorno per la stagione primaverile, 26.2 mm/giorno per la stagione estiva, 55.1 mm/giorno per la stagione autunnale, 39.6 mm/giorno per la stagione invernale e 42.0 mm/giorno per l'anno solare. Le figure da 7.11 a 7.15 mostrano la variazione nel numero di giorni con piogge intense nei decenni dal 1891 al 2005 per le diverse stagioni.



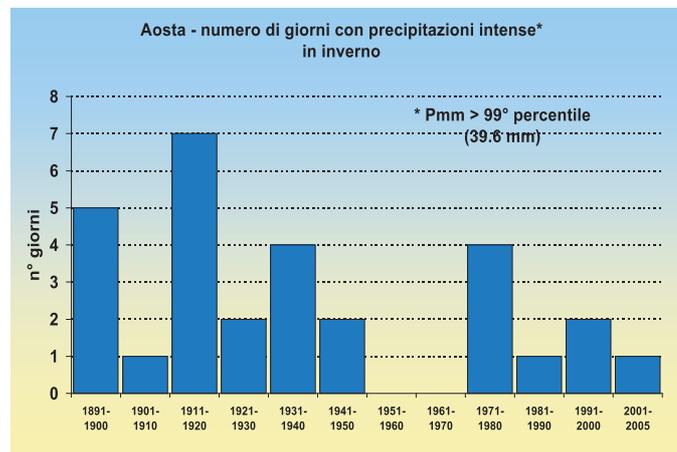
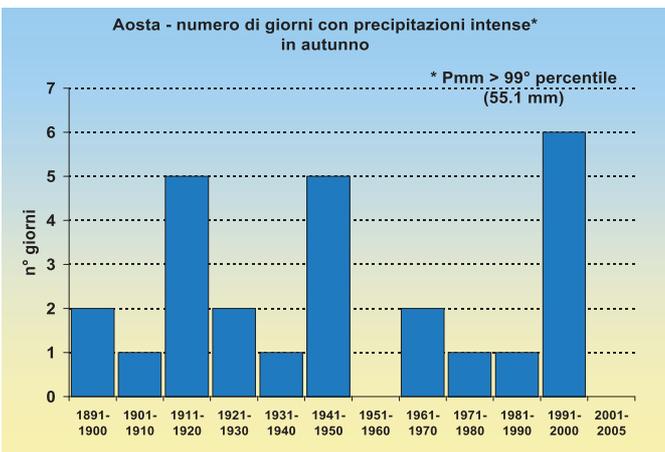
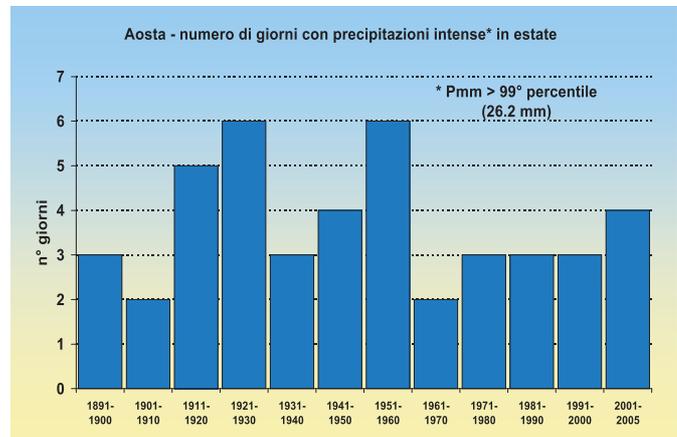
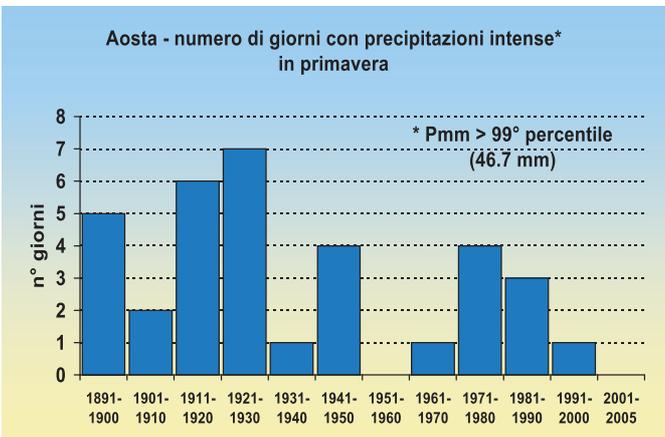
7.12, 7.13, 7.14, 7.15 -
 Conteggi stagionali dei giorni con precipitazione giornaliera intensa, superiore al 99° percentile ad Aosta, per decenni. Non si individuano tendenze all'aumento di frequenza di piogge intense.

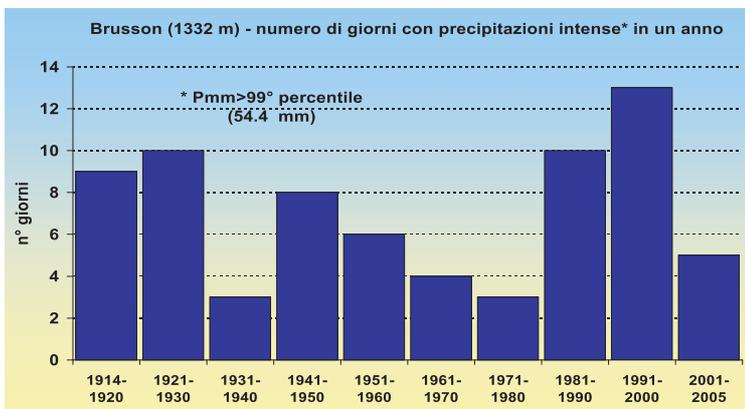
In generale, gli eventi intensi erano più frequenti prima del 1920, in seguito la loro frequenza è diminuita, con un minimo piuttosto pronunciato tra gli Anni 1950 e 1960. Tale andamento è molto evidente a livello annuale, in inverno e primavera, mentre l'autunno presenta un picco nel decennio 1990-2000, dovuto ai numerosi eventi alluvionali (24 settembre 1993, 5-6 novembre 1994, 13-15 ottobre 2000). L'estate, pur mostrando complessivamente una tendenza ad una diminuzione nella frequenza degli eventi di precipitazione intensa dopo il 1920, presenta un andamento più omogeneo nel tempo.

Eseguendo le stesse analisi sulla serie di Brusson (periodo 1914-2005, quindi manca in gran parte il periodo più piovoso tra la fine del 1800 e i primi vent'anni del 1900), si trovano risultati in parte differenti.

Le soglie di precipitazione intensa (99° percentile della distribuzione tra il 1971 e il 2000) sono rispettivamente 52.9 mm/giorno in primavera, 45.0 mm/giorno in estate, 65.0 mm/giorno in autunno, 43.1 mm/giorno in inverno e 54.4 mm/giorno per l'anno solare.

A livello annuale è sempre evidente il periodo con precipitazioni intense meno frequenti tra gli Anni 1940 e 1960, ma



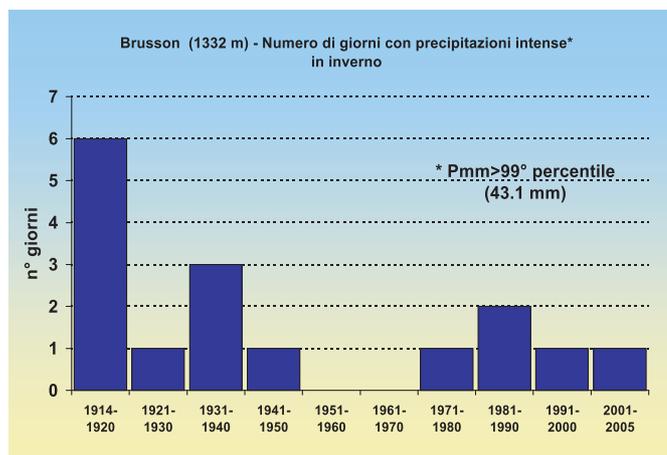
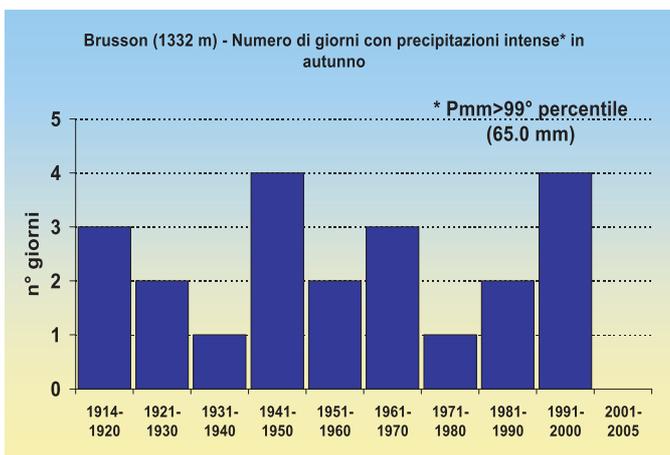
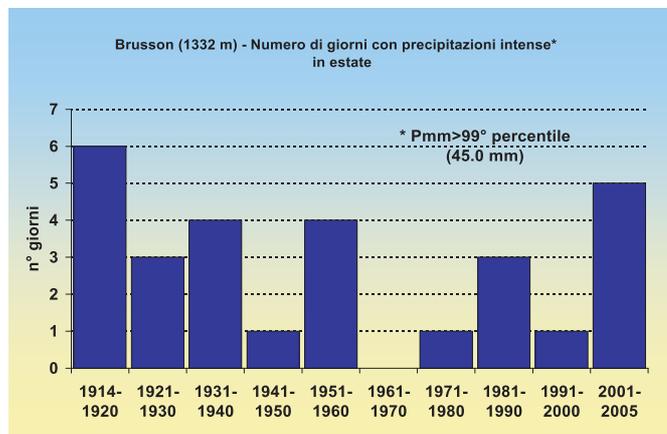
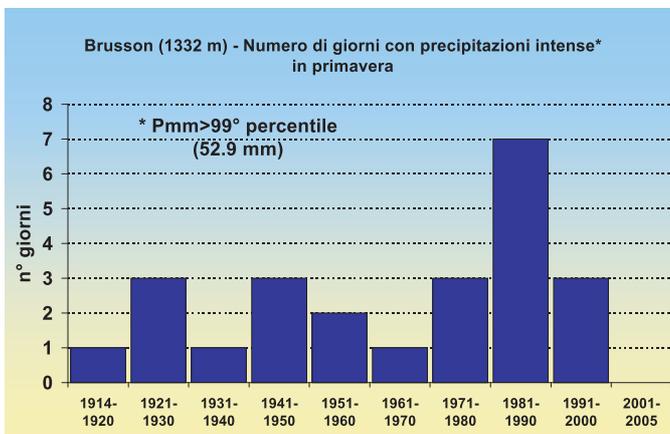


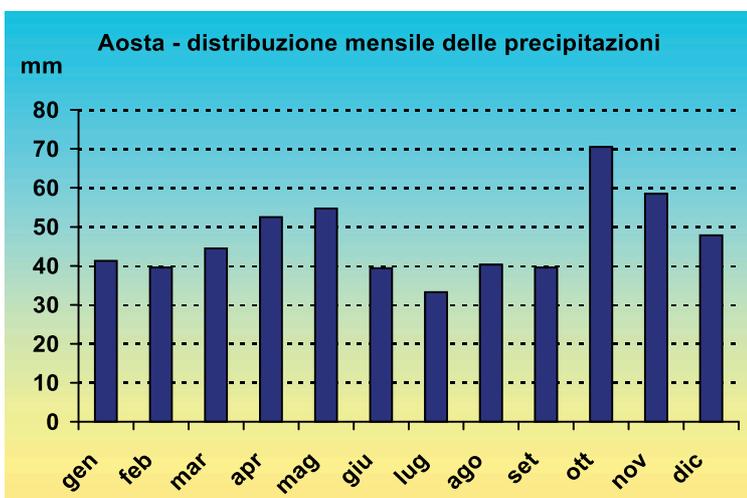
mato costante, con l'eccezione di un picco isolato negli Anni 1980 (fig. 7.17, 7.20). In estate e in autunno non vi è alcuna tendenza significativa: nella stagione autunnale non solo non appare il minimo degli anni 1940-1960, ma, al contrario, la frequenza degli eventi intensi è relativamente alta (fig. 7.18, 7.19).

Da 7.16 a 7.20 - Conteggio annuale stagionale dei giorni con precipitazione superiore al 99° percentile a Brusson, per decenni.

appare una nuova fase con precipitazioni più intense negli ultimi 20 anni (fig. 7.16). Analizzando gli andamenti delle singole stagioni si nota come, in inverno, dopo gli anni 1920 si sia drasticamente ridotta la frequenza degli eventi intensi, mentre in primavera questa si sia mantenuta tutto som-

In sostanza, attualmente, in base ai dati rilevati in Valle d'Aosta nell'ultimo secolo, non è possibile individuare tendenze significative nella frequenza delle piogge intense, benché non sia da escludere un loro incremento futuro, secondo gli scenari a scala europea.





7.21 - Regime mensile delle precipitazioni ad Aosta. La stagione più piovosa è l'autunno, in particolare il mese di ottobre con 70 mm. Dei due minimi, l'estivo è quello più pronunciato, sul capoluogo come su buona parte del settore occidentale della Valle d'Aosta.

7.22 - La fusione nivale garantisce importanti deflussi torrentizi e fluviali anche durante l'estate in Valle d'Aosta, di primaria importanza per l'irrigazione a fondo-valle. A lato, nel Vallone del Breuil (La Thuille) il 04.07.2004 (f. D. Cat Berro).

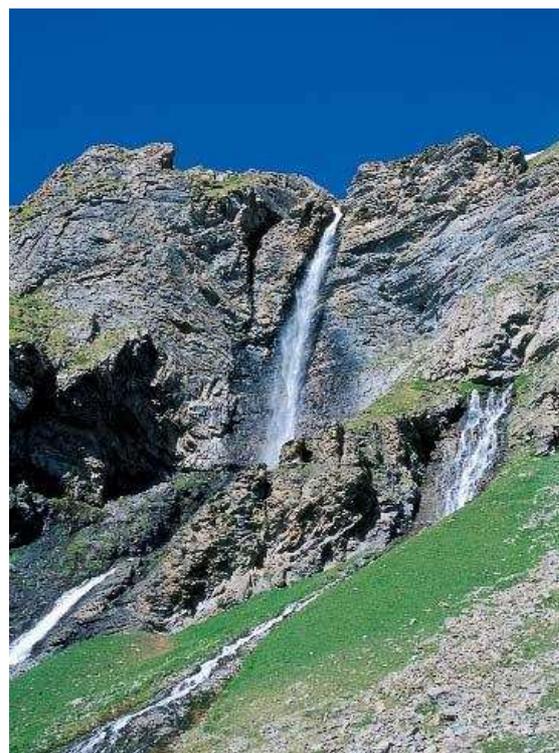
Regime delle precipitazioni: siccità estiva e invernale, piogge in primavera e autunno

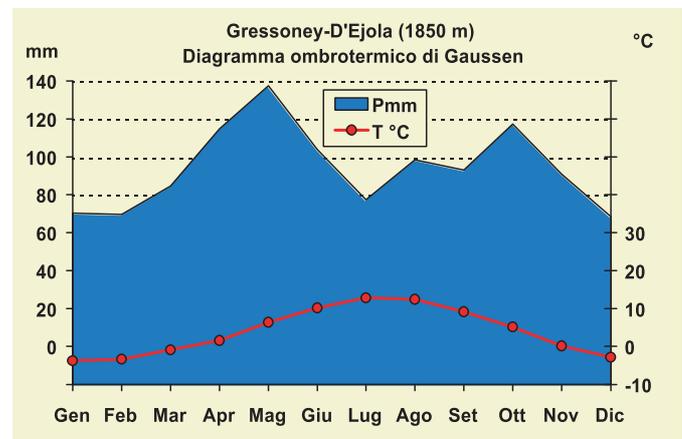
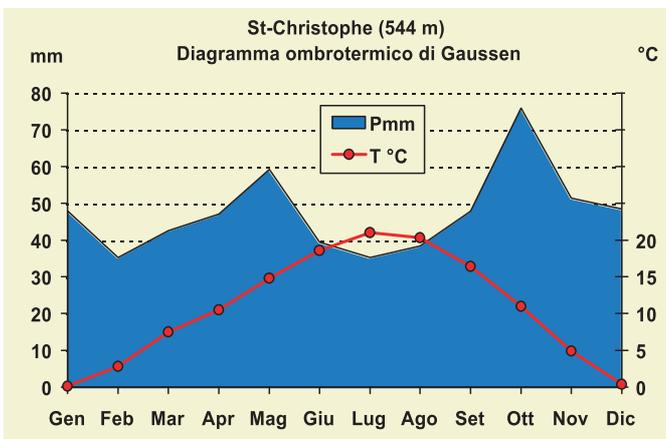
Su tutta la Valle d'Aosta **le precipitazioni più abbondanti si misurano solitamente nelle stagioni intermedie**, primavera e autunno, mentre inverno ed estate conoscono in genere una flessione negli apporti: si tratta di un regime pluviometrico di tipo *sub-litoraneo alpino* (AA.VV., 2003a). Alcune sfumature però si individuano entro i confini regionali: sulla metà occidentale della Vallée prevalgono il massimo pluviometrico autunnale e il minimo estivo, mentre sulla metà orientale prevalgono il massimo primaverile e il minimo invernale. Ad Aosta il mese più piovoso è ottobre, che, mediamente, nel trentennio di riferimento 1971-2000, ha ricevuto 77 mm di precipitazione. Quello più secco è invece luglio, con 33 mm in media (Fig. 7.21).

La siccità: aridità estiva nella valle centrale

Se la carenza invernale di precipitazioni preoccupa gli operatori turistici legati alla

pratica dello sci, quella estiva può divenire un problema per l'agricoltura, specialmente lungo i versanti soleggiati della valle centrale, in cui l'evapo-traspirazione è più intensa, i temporali estivi sono meno frequenti e parallelamente la disponibilità di acqua (meteorica e di fusione) per l'irrigazione è minore. Per identificare l'eventuale esistenza di una stagione arida, si può usare il metodo del diagramma ombrotermico di *Gausse & Bagnouls*, che riporta in ordinata l'andamento medio mensile delle precipitazioni (P, in mm) e delle temperature (T, in °C) su due scale diverse, tali per cui $P=2T$. L'intersezione tra le curve dei due parametri (con $P<2T$) segnala la presenza di aridità, come infatti si verifica a St-Christophe in luglio e agosto, mesi in cui ai massimi calori estivi si associa





7.23, 7.24 - Diagrammi ombrotermici di Gausson & Bagnouls per St-Christophe e Gressoney-D'Ejola. Nel fondo valle si evidenzia una situazione di leggera aridità in luglio e agosto (intersezione delle curve di temperatura e precipitazioni), mentre ciò non si verifica alle falde del Monte Rosa, dove il clima estivo è più fresco e umido.

una drastica flessione nelle precipitazioni (Fig. 7.23). Nelle stazioni in quota, soggette a temperature più fresche, minore evaporazione e, soprattutto, temporali estivi più frequenti, non si individua una stagione arida, come visibile dal diagramma ombrotermico di Gressoney-D'Ejola (Fig. 7.24).

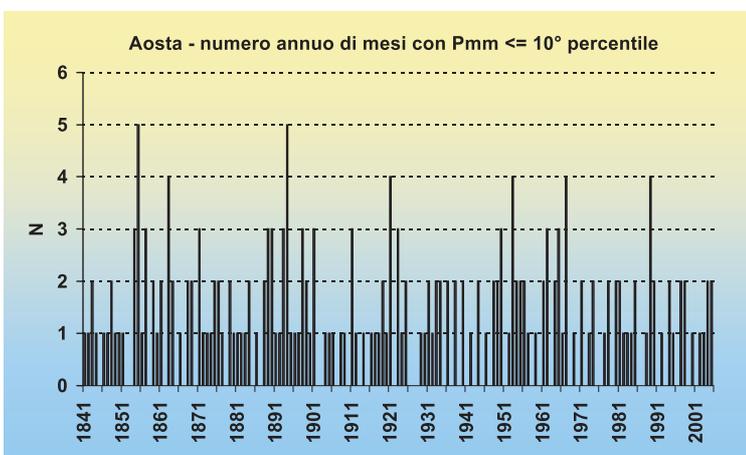
Il grafico 7.25 mostra, per la serie pluviometrica di Aosta dal 1841 al 2005, il numero annuale di mesi in cui la precipitazione è rimasta al di sotto del 10° percentile (la soglia al di sotto della quale si trova il 10%

del campione di dati); questo consente di conteggiare i mesi siccitosi in modo molto anomalo. **L'evoluzione delle siccità non mostra tendenze di sorta.**

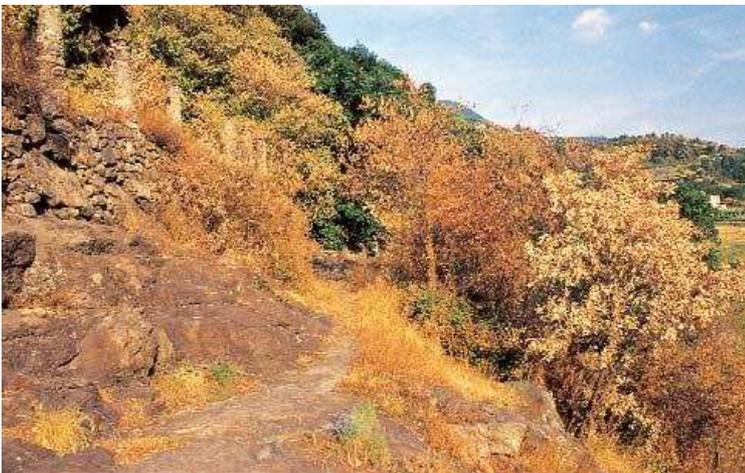
Tuttavia, si deve rilevare come negli ultimi anni — a partire dal 2003 — si sia susseguita una serie di siccità anomale a inizio estate, associate a forti ondate di calore, intensa evaporazione e dunque precoce ingiallimento di prati e pascoli, con conseguenze negative sulla pastorizia, importante risorsa economica per la Valle d'Aosta. Il periodo è ancora troppo breve per distinguere se si tratti di una combinazione «casuale», oppure di un primo effetto del cambiamento climatico, ma è certo che un comportamento di questo tipo ben si inquadra nei futuri scenari previsti dai modelli.

Il caso del 2003: eccezionale combinazione di calura e siccità

L'eccezionale calura dell'estate 2003 (cfr. cap. 6) è stata associata a una prolunga-



7.25 - Il conteggio del numero annuo di mesi con precipitazione inferiore alla soglia del 10° percentile è uno dei diversi modi per quantificare le situazioni di siccità più importanti. Nonostante i timori fondati per un aumento delle siccità future, per ora ad Aosta non si intravedono tendenze sul lungo periodo.



7.26, 7.27 - Nell'estate 2003 la combinazione tra caldo estremo e prolungata carenza di precipitazioni ha prodotto un grave e inusuale stress idrico su pascoli e boschi valdostani. In queste immagini, ingiallimento precoce dei pascoli di By (Ollomont) il 20 luglio (in alto), e degli arbusti intorno a Carema, poco oltre il confine con il Piemonte (29.06.2003, f. D. Cat Berro, qui sopra).
7.28, 7.29 - La prolungata aridità viene evidenziata dal diagramma ombrotermico di St-Christophe, nei mesi marzo-giugno e agosto-settembre 2003. In luglio temporali anche intensi hanno smorzato la siccità, ma solo a livello temporaneo e molto locale. A Gressoney, in virtù delle temperature più moderate, non si è manifestata vera e propria aridità.

Valle d'Aosta: la siccità del 2003 in cifre

Aziende agricole danneggiate: 2378

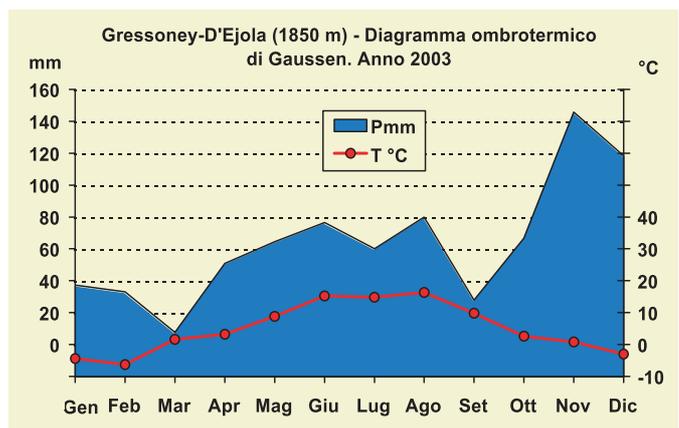
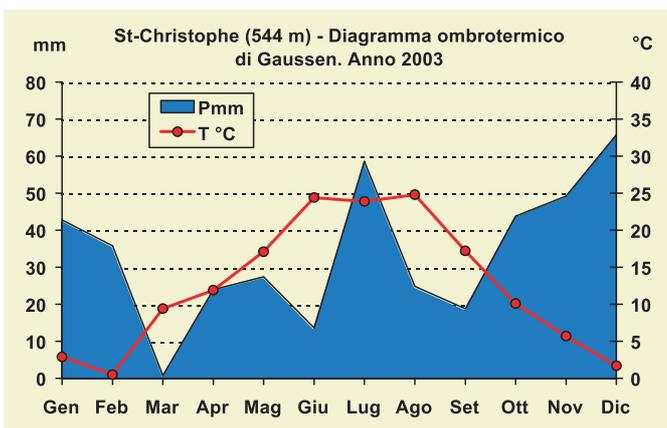
Danno medio per azienda: 26.5%

Superficie a prato interessata: 9.870 ha

Perdita di fieno: 17.693 t

Danno economico (fieno): 2.503.620 Euro

ta carenza di piogge: a St-Christophe, dal 5 febbraio al 19 ottobre 2003 si sono totalizzati appena 176 mm di precipitazione, quantità pari al 44% del normale (periodo 1974-2000). Si può ragionevolmente affermare che pascoli, boschi e giardini valdostani non avessero mai sperimentato una combinazione climatica così sfavorevole almeno dall'inizio delle misure termo-pluviometriche verso la metà del XIX secolo. Già a fine giugno, sui versanti della bassa Valle d'Aosta, si è osservato un grave stress fisiologico delle popolazioni forestali, con esteso ingiallimento e talora disseccamento e morte di alberi e arbusti. Tuttavia, dall'esame dendrocronologico condotto sulle



Superfici agricole in Valle d'Aosta

(fonte: Ass. Agricoltura e Risorse

Naturali, dati 2005)

Vigneto DOC: 231,58 ha

Vigneto da tavola: 209,86 ha

Prato irriguo: 8.669,61 ha (82% del totale)

Prato asciutto: 1.868,63 ha

Prato arborato: 148,90 ha

Pascolo fertile: 9413 ha

Pascolo magro: 30.787 ha

Superficie agricola utilizzata totale:

51.951 ha

7.30 -
Andamento
delle precipi-
tazioni giorna-
liere cumulate
a St-
Christophe nel
2003 e con-
fronto con la
media del
periodo 1974-
2000.
Nell'anno si
sono totalizzati
405 mm di
pioggia e
neve fusa, pari
ad appena il
70% del nor-
male.

colline intorno a Ivrea (PIDORI & al., 2006),
risulta come non tutte le specie considera-
te abbiano manifestato una significativa
alterazione dell'accrescimento radiale, e
come gli effetti più evidenti si siano limitati
a ciliegio, castagno, rovere e roverella. Più
immediate e importanti le perdite econo-
miche nel settore agricolo e dell'alleva-
mento: nel riquadro della pagina prece-

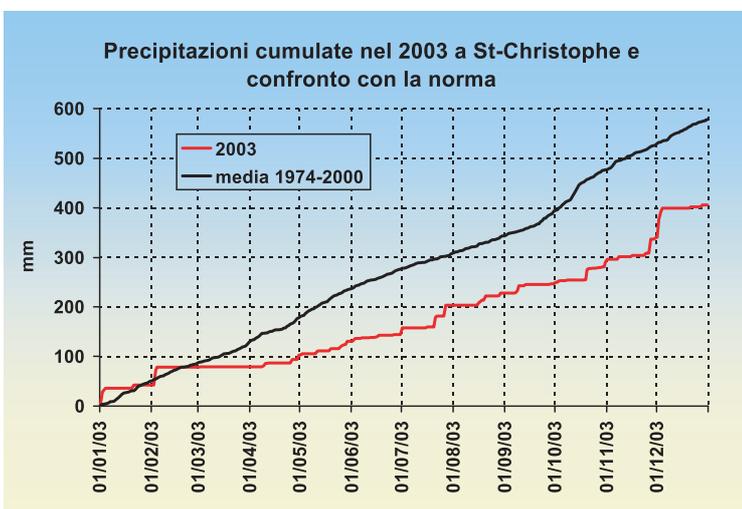
dente sono riportate alcune cifre sui danni
censiti, desunte dal Piano di Sviluppo
Rurale 2000-2006 della Valle d'Aosta (fonte:
Ass. Agricoltura e Risorse Naturali).

Quantomeno le temperature elevate
hanno messo a disposizione delle reti di irri-
gazione importanti deflussi d'acqua di
fusione glaciale, tali da contenere almeno
in parte — anche se a costi elevati — le
perdite alle produzioni foraggere.

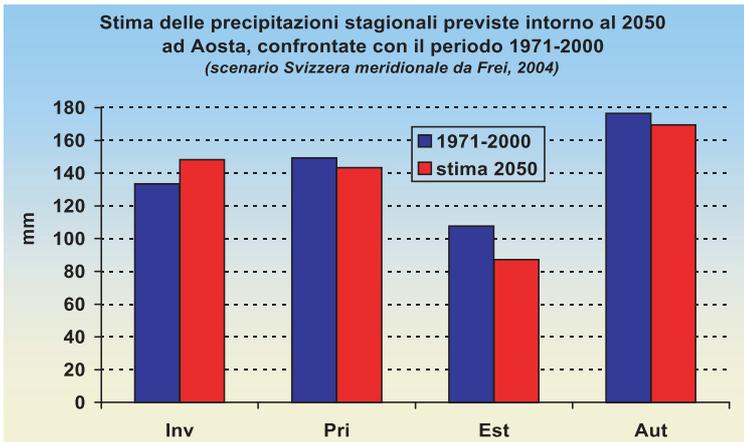
Cosa prevedono i modelli climatici per il futuro? Più siccità estive in Valle d'Aosta.

L'ulteriore aumento futuro delle temperatu-
re originerà verosimilmente un'intensifica-
zione del ciclo dell'acqua, un aumento
dell'umidità complessivamente contenuta
in atmosfera e, dunque, un incremento
delle precipitazioni medie ed estreme, ma
con modalità e caratteristiche molto ir-
regolari da una regione all'altra del pianeta:
in alcune zone pioverà di più, in altre pio-
verà di meno.

Inoltre, nuovi assetti nelle configurazioni
bariche a grande scala potranno modifi-
care i regimi pluviometrici, ovvero la distri-
buzione della pioggia durante le stagioni:
le precipitazioni invernali potrebbero
aumentare alle medie ed alte latitudini
boreali e in Antartide, mentre quelle estive
potrebbero diminuire nelle zone continen-
tali delle medie latitudini (IPCC, 2001 - in
AA VV, 2003).

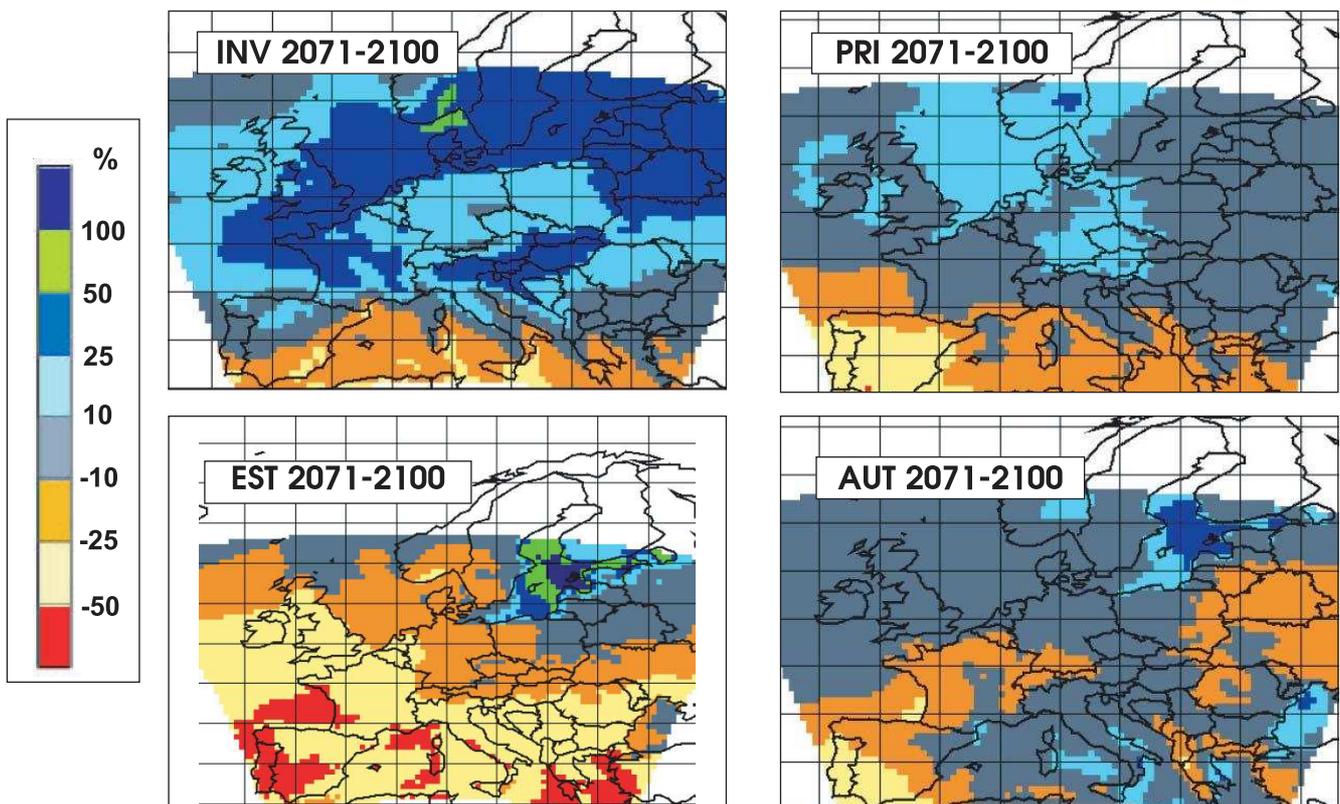


Previsione precipitazioni medie stagionali intorno al 2050, secondo diversi livelli di probabilità (da Progetto Prudence, in Frei, 2004)								
	Prob.	0.025	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.975
Svizzera Sud	Inv	+1%	+4%	+6%	+11%	+17%	+20%	+26%
	Pri	-15%	-12%	-9%	-4%	0%	+4%	+5%
	Est	-36%	-30%	-26%	-19%	-13%	-10%	-6%
	Aut	-14%	-10%	-8%	-4%	-1%	+1%	+4%



7.31, 7.32 - Variazioni delle precipitazioni stagionali previste sulla Svizzera meridionale all'orizzonte temporale del 2050, secondo differenti livelli di probabilità, ottenute dal progetto PRUDENCE (FREI, 2004), Il grafico riporta le variazioni più probabili (P=0.5) applicate alla situazione attuale di Aosta. 7.33 a, b, c, d - Variazioni delle precipitazioni stagionali in Europa previste dalle simulazioni del progetto PRUDENCE per il trentennio 2071-2100. Significative le riduzioni attese in estate sull'Europa centro-meridionale.

Anche per le precipitazioni, in questo studio sono stati utilizzati i risultati dei modelli climatici regionali emersi nell'ambito del progetto PRUDENCE per la Svizzera meridionale, e riportati in FREI, 2004 (fig. 7.31). Da questi emerge come, **a Sud delle Alpi, le precipitazioni potranno aumentare soltanto in inverno, e per lo più diminuire nelle altre stagioni, specialmente in estate.** Lo scenario più probabile (P= 0.5) prevede, all'orizzonte temporale del 2050, aumenti dell'11% in inverno e diminuzioni del 4% in primavera e autunno. L'estate potrebbe mostrare le variazioni più importanti rispetto alla situazione odierna, con un calo più probabile degli apporti del 19%; però, tenendo presenti anche gli scenari più pes-



simistici, vi è un 2.5% di probabilità ($P=0.025$) che le piogge estive decrescano anche del 36%, e anche considerando lo scenario di probabilità più ottimistico, sarebbe comunque da attendersi un calo degli apporti estivi del 6% almeno. Nel grafico 7.32 le variazioni stagionali previste dal progetto PRUDENCE sono state applicate ai

«L'agricoltura è naturalmente sensibile alle condizioni climatiche. Senza adattamento, la produzione agricola e le economie e le società agricole hanno generalmente dei problemi di fronte al cambiamento climatico; per contro, queste possono divenire meno vulnerabili se si adottano strategie di adattamento.» (SMIT & SKINNER, 2002)

valori medi di Aosta del periodo 1971-2000.

COSA POTREBBE ACCADERE IN VALLE D'AOSTA: EFFETTI, STRATEGIE E OPPORTUNITÀ

1) Agricoltura

Potenziali effetti positivi/opportunità:

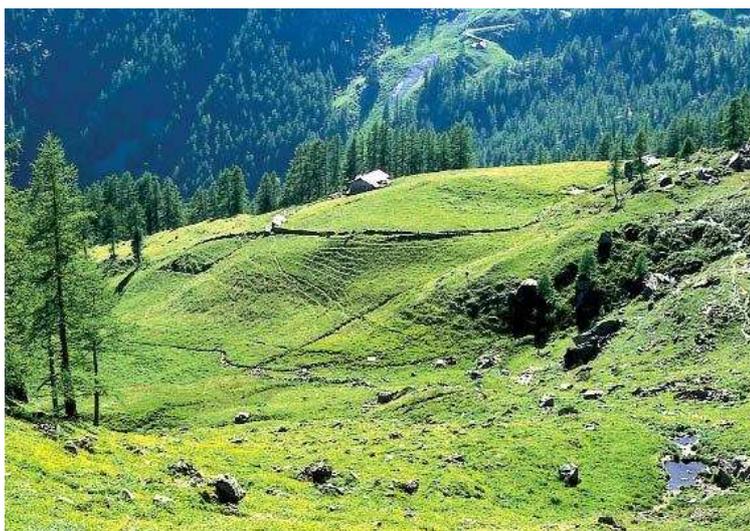
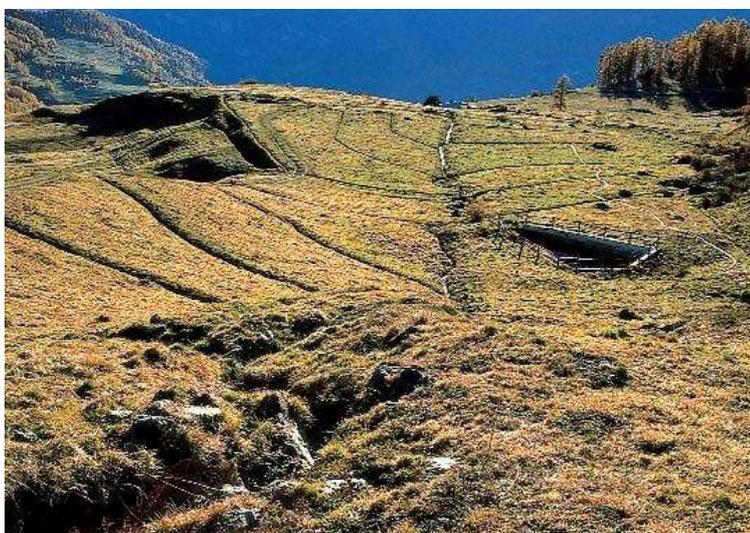
— Insorgenza meno frequente di attacchi fungini per la minore umidità del suolo e durata della bagnatura fogliare.

Potenziali effetti negativi:

— Accentuazione delle siccità estive, con cali della produttività foraggera e agricola in generale, specie se in concomitanza con stagioni estive particolarmente calde.

Strategie di mitigazione/adattamento:

— Potenziamento degli impianti di irrigazione, con mantenimento e ripristino della preziosa rete di antichi canali (*ru*) al

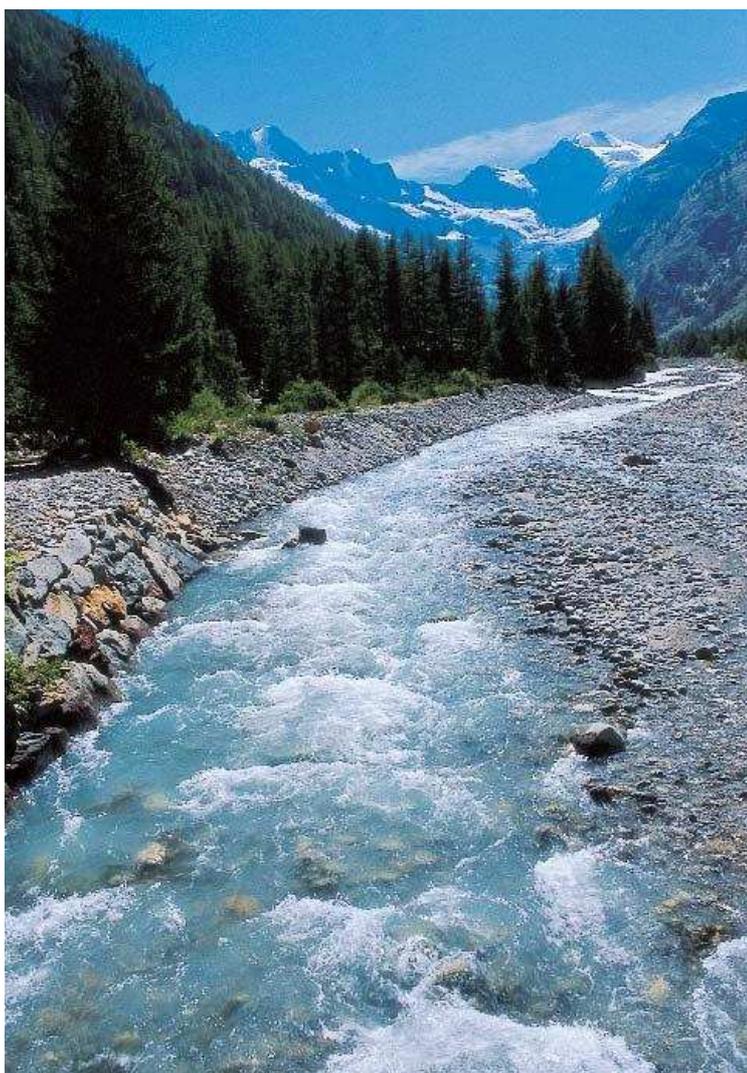


7.34, 735 - I regimi pluviometrici si riflettono in modo incisivo sull'aspetto del paesaggio. Il rapido ingiallimento dei pascoli domina al prevalere del minimo pluviometrico estivo, come a La Magdeleine (in alto, 17.11.1990, f. L. Mercalli), mentre a Gressoney, più bagnata dai temporali, l'erba resta di solito verde (qui sopra, 01.07.1990, f. L. Mercalli). E' la distinzione tra le «Alpi gialle» e le «Alpi verdi», classificazione climatica diffusa nelle Alpi francesi.

fine di ottimizzare la distribuzione dell'acqua disponibile. D'altra parte il potenziale di irrigazione dei prati valdostani è elevato, poiché l'82% di questi è irriguo.

- Riduzione al minimo degli sprechi, ove possibile, attraverso impianti di irrigazione «goccia a goccia».
- Raccolta delle acque meteoriche dai pluviali in cisterne per l'irrigazione di orti e giardini. Questo consentirebbe di garantire una certa autonomia alle singole unità familiari/aziendali, allentando al tempo

7.36 - Il
Torrente
Valnontey a
monte di
Cogne
(08.09.2004, f.
D. Cat Berro).



stesso i prelievi di preziosa acqua potabile (cfr. approfondimento a p. 96).

- Appropriata selezione di varietà colturali più resistenti al secco.

2) Sanità

Potenziali effetti negativi:

- Possibile maggiore sollevamento di polveri per azione del vento su suoli disseccati, dispersione dei fumi di incendi, ecc...
- Maggiore presenza di aerosol atmosferico in conseguenza del minore abbattimento da parte delle precipitazioni, specialmente in estate.

Strategie di mitigazione/adattamento:

- Frequenti controlli della qualità dell'aria e dell'acqua.
- Limitazioni al traffico cittadino nei periodi ostinatamente secchi e caldi (formazione di smog fotochimico, es. O₃) e nelle ore più calde, sebbene la vivace ventilazione diurna del fondovalle aostano già favorisca l'attivo rimescolamento dell'aria.

3) Turismo

Potenziali effetti positivi:

- Incidenza positiva della minore frequenza delle precipitazioni estive sulla fruibilità dell'ambiente naturale e montano (escursioni, gite, manifestazioni e attività all'aperto).

Contro la siccità l'operazione «Acqua dai tetti»

Un rimedio semplice e molto efficace per affrontare le siccità estive, in probabile aumento in futuro, consiste nell'installazione di capienti cisterne per la raccolta delle acque meteoriche dai pluviali di abitazioni, industrie, capannoni, ecc... Si tenga presente che 1 mm di precipitazione corrisponde a 1 litro/m²: un breve temporale estivo che scarichi ad esempio 10 mm di pioggia su un tetto di medie dimensioni - 100 m² - consente già di raccogliere in pochi minuti ben 1000 litri, pari a un metro cubo d'acqua. Ma immaginiamo un impianto «modello»: un tetto di 120 m², e precipitazione media prevista per il 2050 ad Aosta durante la fase di riposo vegetativo, tra autunno e inverno, pari a circa 310 mm. Ipotizzando di disporre di un adeguato serbatoio di raccolta, in tale situazione si potrebbero accumulare circa 37.2 m³ d'acqua (un cubo dal lato di 3.34 m): utilizzando questa riserva idrica tra primavera ed estate, lungo un arco di 180 giorni da aprile a settembre, e immaginando - molto pessimisticamente - che non vi siano ulteriori precipitazioni, la disponibilità d'acqua corrisponderebbe a 206 l/giorno, una quantità sufficiente a irrigare un orto-giardino di medie dimensioni (circa 70÷100 m²) per produzione familiare. E' pertanto auspicabile istituire regolamenti edilizi che prevedano obbligatoriamente l'installazione di sistemi di raccolta dell'acqua piovana su edifici di nuova costruzione ed eventuali incentivi per la realizzazione su quelli già esistenti.

Potenziali effetti negativi:

- Disagio per i turisti in villeggiatura in caso di razionamento dell'acqua potabile, ipotesi peraltro relativamente remota in una regione come la Valle d'Aosta.
- Minore disponibilità di acqua per l'innevamento programmato.

Strategie di mitigazione/adattamento:

- Educazione dei turisti al consumo responsabile dell'acqua.
- Scelta di attività a basso consumo di acqua potabile; nei periodi siccitosi valutare l'opportunità di mantenere o meno in funzione piscine, fontane artistiche e giochi d'acqua.

4) Foreste, biodiversità ed ecosistemi

Potenziali effetti negativi:

- Stress fisiologico per le comunità vegetali in caso di siccità prolungate, come accaduto nell'estate 2003 (cfr. approfondimento), con indebolimento o moria di alberi, e frammentazione dei popolamenti forestali e degli ecosistemi. Predisposizione all'attacco di parassiti (es. scolitidi), a seguito dell'indebolimento fisiologico delle piante.
- Frequenza degli incendi. I roghi di boschi in Valle d'Aosta, come quasi ovunque sulle Alpi occidentali, sono più frequenti tra inverno e inizio primavera, quando — in assenza di pioggia o nevicata — la

7.37 -
 Conteggio
 delle alluvioni
 censite in Valle
 d'Aosta (da:
 «Atlante clima-
 tico della Valle
 d'Aosta»,
 AA.VV.,
 2003a). La
 concentra-
 zione di episodi
 successiva al
 1850 è da
 attribuirsi al
 miglioramento
 nella qualità
 delle informa-
 zioni d'archivio
 disponibili. La
 disomogeneità
 nella base
 informativa e
 le variazioni
 nella vulnera-
 bilità del terri-
 torio rendono
 molto difficile,
 se non quasi
 impossibile,
 distinguere
 reali tendenze
 di natura fisica
 nell'evoluzione
 degli episodi
 alluvionali.

lettiera conserva molto materiale secco combustibile, e quando il föhn può favorire la propagazione delle fiamme. Effettuare previsioni sul futuro andamento degli incendi boschivi è piuttosto azzardato, ma se — come indicano i modelli numerici — le precipitazioni invernali sono destinate ad aumentare moderatamente durante il XXI secolo, è lecito immaginare un calo nel potenziale sviluppo di incendi. Al contrario, le maggiori siccità estive potrebbero favorire l'innescò di roghi in mesi in cui ora questi sono piuttosto rari, come ad esempio in luglio e agosto. I versanti spogliati della vegetazione a seguito di un incendio possono subire più facilmente dissesti, come accaduto in Canton Ticino nel 1997: in luglio un vasto incendio interessò l'80% del bacino del riale Buffaga presso Ronco sopra Ascona, e nel successivo mese di agosto una pioggia di intensità decennale scatenò una piena torrentizia secolare, con una colata di fango del

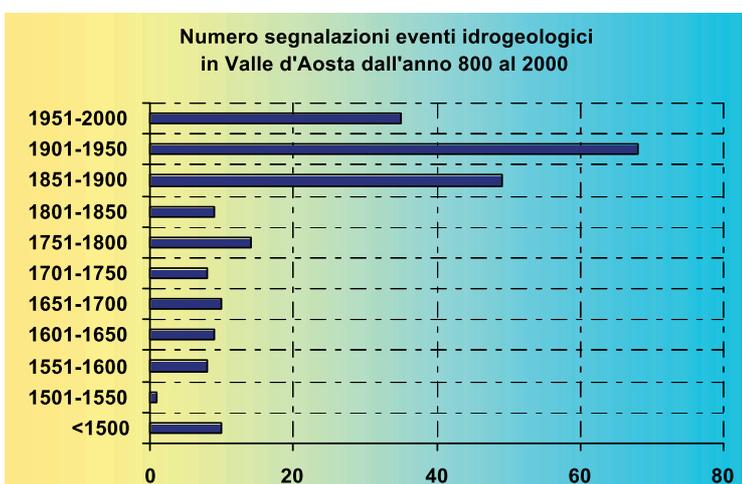
volume di 4000 m³ (AA.VV., 2003).

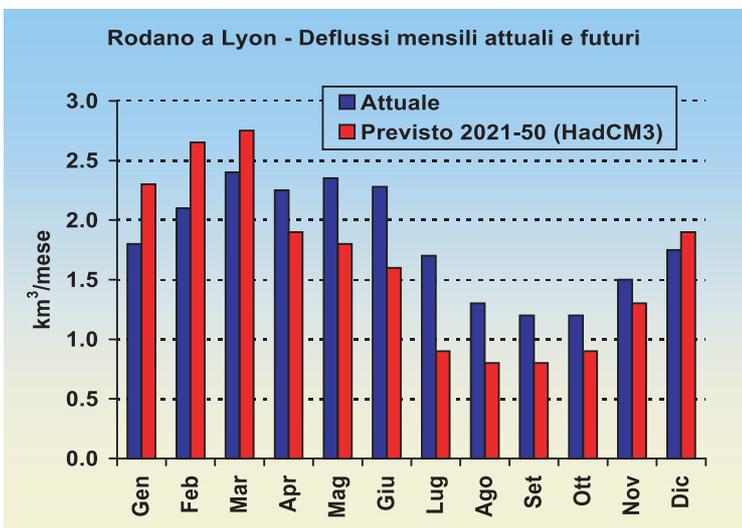
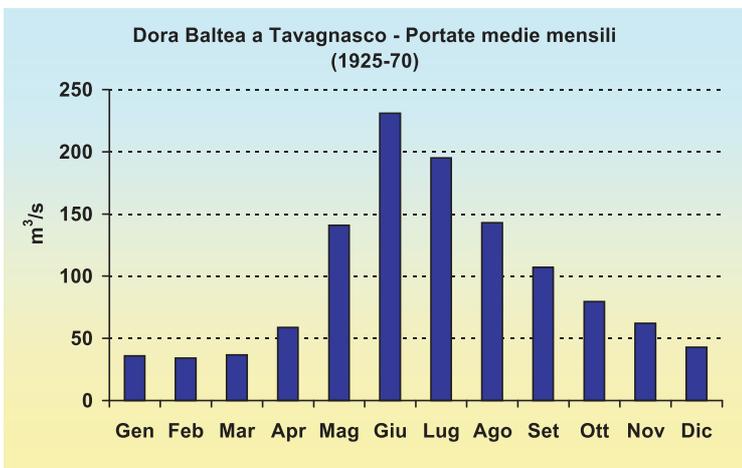
Strategie di mitigazione/adattamento:

— Adozione di misure preventive contro gli incendi boschivi: educazione della popolazione e dei turisti, divieto assoluto di accensione dei fuochi all'aperto durante le siccità (da indicare anche nei bollettini meteorologici regionali, come già fanno i meteorologi di www.meteosvizzera.ch)

5) Deflussi fluviali, alluvioni e dissesti

Difficile e azzardato pronunciarsi in merito all'evoluzione futura di eventi estremi come piene torrentizie, alluvioni e dissesti. L'intensità dei picchi di piena non sempre è legata direttamente alla quantità di precipitazione, poiché intervengono anche altri fattori, quali la temperatura (caduta o meno di neve nei bacini imbriferi, fusione nivale), la saturazione dei suoli all'arrivo delle piogge, interazioni particolarmente sfavorevoli tra i contributi di diversi affluenti. Né in Svizzera né in Baviera si sono individuate tendenze nell'entità/frequenza dei deflussi di piena durante il XX secolo, e crisi simili a quella di fine XX — inizio XXI secolo (alluvioni nel 1987, 1993, 1999, 2000, 2002) in realtà si erano verificate anche nell'Ottocento (AA.VV., 2003). In Valle d'Aosta l'apparente concentrazione degli episodi tra Ottocento e Novecento (fig. 7.37) è imputabile quasi





7.38, 7.39 - Attualmente i deflussi della Dora Baltea seguono un andamento con massimo in giugno-luglio, tipico dei fiumi a regime nivo-glaciale. In futuro l'anticipo della fusione potrebbe causare uno spostamento della «morbida» ai mesi di inizio primavera, come visibile nella simulazione per il Rodano a Lyon (AA.VV., 2005).

certamente al miglioramento della quantità e qualità dell'informazione utilizzata per effettuare il conteggio degli eventi.

Potenziati effetti:

— *Accelerazione dei deflussi invernali e diminuzione di quelli estivi.* Con l'aumento delle temperature verosimilmente aumenterà pure la probabilità di avere precipitazioni forti e/o prolungate sotto forma di pioggia — anziché neve — sui bacini di media-bassa montagna, anche durante l'inverno e a inizio primavera.

Tuttavia, proprio la tendenza alla concentrazione invernale delle piogge potrebbe in parte mettere al riparo la Valle d'Aosta da un aumento preoccupante delle piene, poiché in quella fase dell'anno il limite pioggia-neve — benché in aumento — garantirebbe pur sempre uno stoccaggio parziale delle precipitazioni sotto forma di neve negli alti bacini montani. Immaginando invece una situazione di fine estate-inizio autunno, spesso già oggi critica per l'elevata quota delle nevicate in caso di forti precipitazioni, uno spostamento del limite pioggia-neve da 3000 a 3500 m aggiungerebbe il contributo ai deflussi derivante da oltre 200 km² di territorio valdostano in più (dati di superficie da Assessorato Agricoltura e Risorse Naturali), contribuendo così all'aumento delle portate di piena.

— *Spostamento della «morbida» fluviale da giugno-luglio a marzo-aprile per l'anticipo nella fusione primaverile, nonché per il previsto aumento invernale delle precipitazioni.* Deflussi ridotti invece durante l'estate, per la diminuzione del contributo di fusione nivo-glaciale, proprio nel momento di maggiore richiesta per l'irrigazione.

Negli ultimi decenni la Dora Baltea ha mostrato uno spiccato massimo di portata in giugno (fig. 7.38), mese in cui alla stazione idrometrica di Tavagnasco (TO) si è misurato un deflusso medio di 231 m³/s nel

periodo 1925-78, ma anche durante l'estate le portate si sono mantenute abbondanti grazie al contributo di fusione glaciale (ancora 143 m³/s in agosto). In assenza di modelli idrologici locali, per illustrare come potrebbe evolvere in futuro la portata del fiume valdostano, prendiamo come esempio lo scenario previsto per un altro corso d'acqua alpino non distante, il Rodano a Lyon nel trentennio 2021-50 (AA.

VV., 2005); in questo caso le portate previste aumenterebbero da dicembre a marzo, mentre diminuirebbero fortemente da aprile a novembre con la riduzione dei contributi nivo-glaciali, o quanto meno con il loro picco più precoce (fig. 7.39).

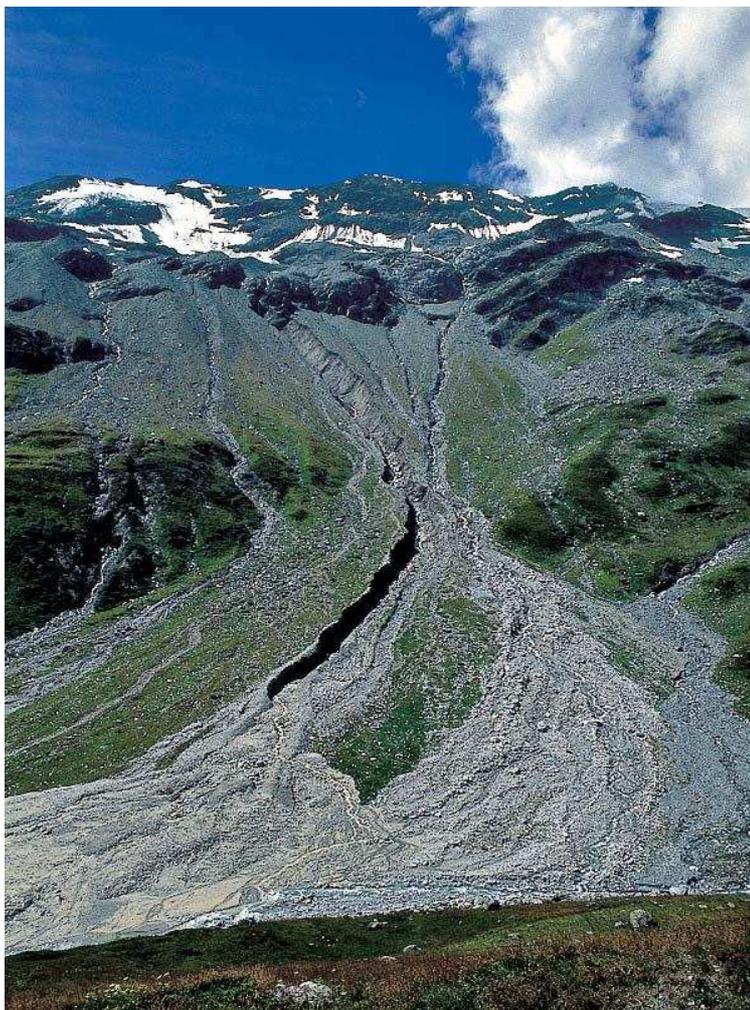
— *Maggiore mobilitazione di detriti in alta quota durante le piene estive o d'inizio autunno* (quando il terreno è scoperto dalla neve) per il ritiro dei ghiacciai e del permafrost (deposito di detriti morenici incoerenti, facilmente erodibili e trasportabili a valle).

Strategie di mitigazione/adattamento:

— Soluzioni di protezione e ingegneria idraulica e naturalistica compatibili con la naturale dinamica del territorio.

— Opportuna localizzazione delle eventuali nuove infrastrutture, tenendo sempre presente però che la vulnerabilità del territorio cresce all'aumentare dei beni esposti, e che anche il rischio di precipitazioni aventi modalità di sviluppo differenti rispetto al passato potrebbe contribuire a generare situazioni inattese e difficilmente prevedibili con gli strumenti attualmente a disposizione.

— Eventuale rilocalizzazione di attività e infrastrutture oggi in aree a rischio di esondazione/dissesto (es. industrie, discariche, campeggi), come già da decenni si usa fare in paesi come il Canada.



7.40 - I terreni liberati dai ghiacciai e dal permafrost in ritiro per l'aumento delle temperature si presentano incoerenti e soggetti a facile erosione in caso di piogge intense. Qui sopra, le profonde incisioni prodottesi sui depositi a valle del ghiacciaio di Ormelune (Valgrisenche) durante l'alluvione del 24.07.1996 (f. M. Tron).

6) Riserve idriche

In generale, ogni azione volta al risparmio nei consumi idro-potabili, in ogni settore, potrà contribuire a ridurre le carenze d'acqua nei periodi siccitosi.

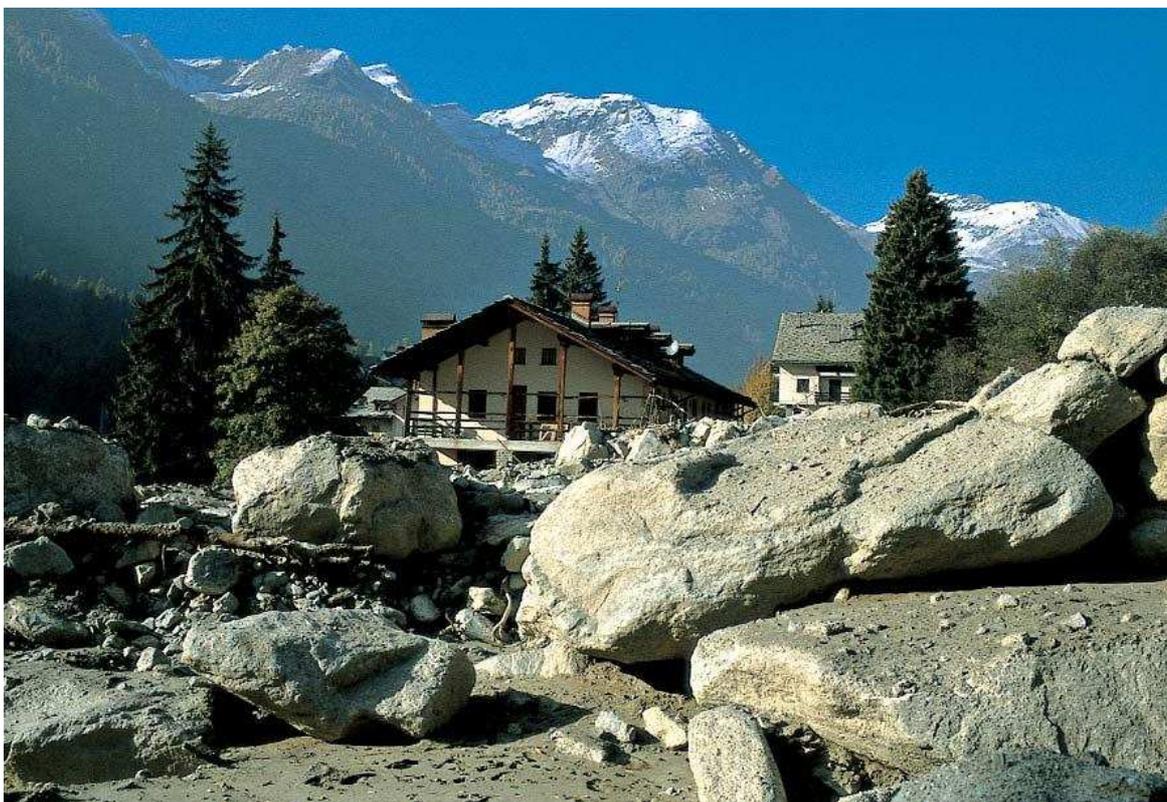
- Grande importanza riveste l'educazione dei cittadini alla sobrietà nei consumi d'acqua.
- Se necessarie, limitazioni all'utilizzo di acqua potabile per attività non indispensabili, quali ad esempio il lavaggio delle automobili e l'irrigazione dei campi da golf, specialmente durante le siccità importanti.
- Sviluppo di piani di protezione della qualità delle acque, procedure per garantire l'equa distribuzione delle risorse idriche.

Si tratta in ogni caso di misure «no regret», che apporterebbero comunque dei vantaggi ai valdostani, anche in assenza di siccità (WARREN & *al.*, 2004).

7) Produzione idroelettrica

Il settore della produzione idroelettrica potrà risentire principalmente delle alterazioni nei regimi dei deflussi dalle alte quote (cfr. cap. 8). Le siccità estive più frequenti potranno rendere più critico l'invaso delle acque, e questo andamento potrà solo in parte essere compensato dalla maggiore fusione glaciale durante estati calde, anche per la progressiva riduzione dei ghiacciai stessi.

7.41 - Effetti della piena del 14-15 ottobre 2000 a Gressoney-St-Jean: gli enormi blocchi depositi dalle colate detritiche contro le case di Bòsmattò (f. L. Mercalli).



8. LA NEVE

«La neve è una componente essenziale del sistema fisico terrestre, sia ad elevate altitudini, sia ad elevate latitudini, e ogni cambiamento nell'entità, durata e regime del manto può determinare conseguenze ambientali ed economiche sul lungo periodo».

(MARTIN BENISTON, 2004)

Quali segnali di cambiamento? Meno neve sull'emisfero Nord

Gli effetti del cambiamento climatico sono ormai evidenti anche sulla copertura nevosa, sia a scala planetaria, sia sulle Alpi. Per l'aumento delle temperature, **dal 1972 al 2005 la superficie continentale coperta da neve nell'emisfero Nord è dimi-**

nuita del 5.7% (1.46 milioni di km² in meno), secondo i dati NOAA ottenuti da satellite, ed elaborati dal *Global Snow Lab* (<http://climate.rutgers.edu/snowcover/>). Nel grafico 8.2 è riportata l'estensione media annua della superficie innevata sul continente eurasiatico, dal 1972: il minimo appartiene al 1990, e la tendenza generale è al calo.

La situazione in Valle d'Aosta

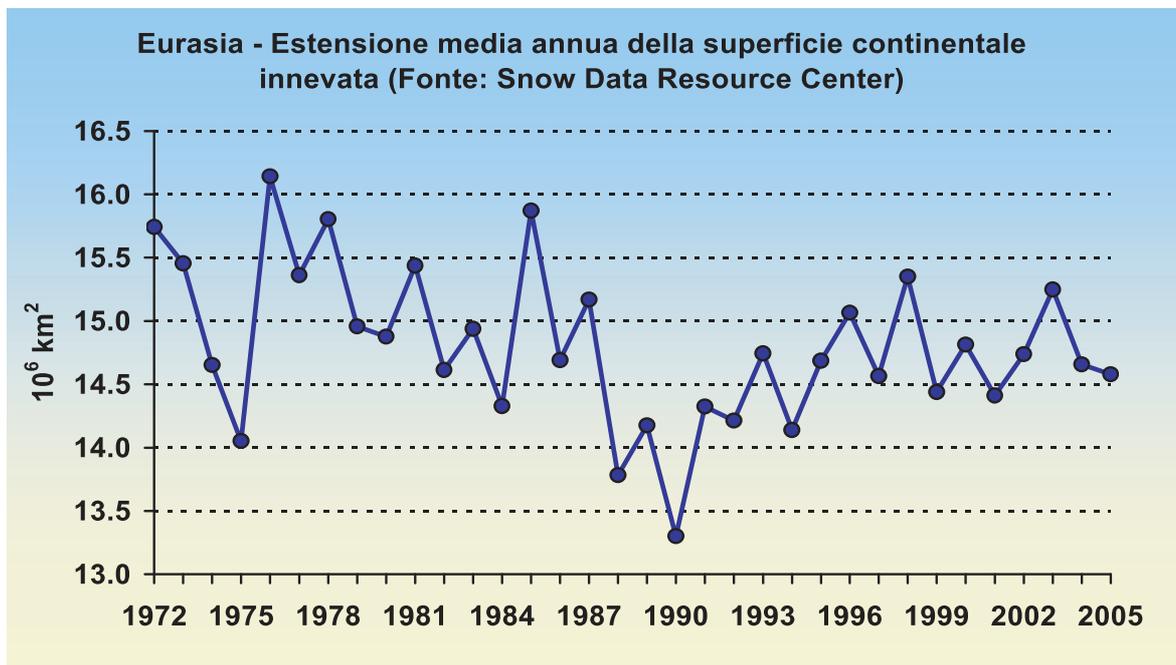
Anche in Valle d'Aosta sono apprezzabili i primi segnali di riduzione della quantità totale di neve fresca, ma soprattutto della durata del manto nevoso, fuso più rapidamente dalle temperature più elevate.

8.1 - Neve e sole sul villaggio di Promiod (bassa Valtournenche) il 04.01.2004 (f. D. Cat Berro).



8.2 - Estensione media annua della superficie continentale innevata in Eurasia (milioni di km²), in base ai dati desunti dallo Snow Data Resource Center. Il minimo è stato raggiunto nel 1990, e la tendenza generale è alla diminuzione.

8.3 - Esempio di una carta che rappresenta la copertura nevosa media mensile nell'emisfero Nord, in base alle osservazioni da satellite. E' riferita al gennaio 2006, quando a livello emisferico l'estensione della superficie innevata sfiorava i 48 milioni di km². (fonte: <http://climate.rutgers.edu/snowcover>).

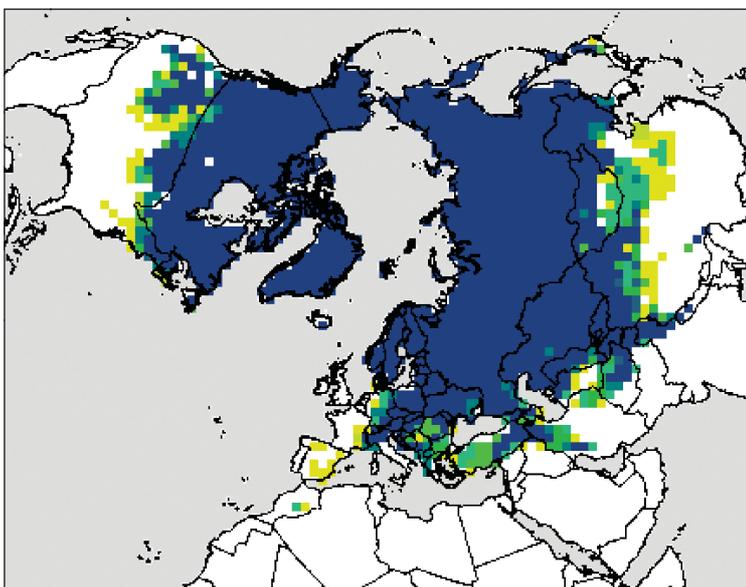


Nelle analisi statistiche sulla nevosità si farà riferimento all'anno idrologico, che decorre dal 1° ottobre al 30 settembre dell'anno successivo: questo per evitare di interrompere l'unità climatologica dell'inverno, che si sviluppa a ridosso di due anni civili (es. stagione 1977-78, dal 1° ottobre 1977 al 30 settembre 1978).

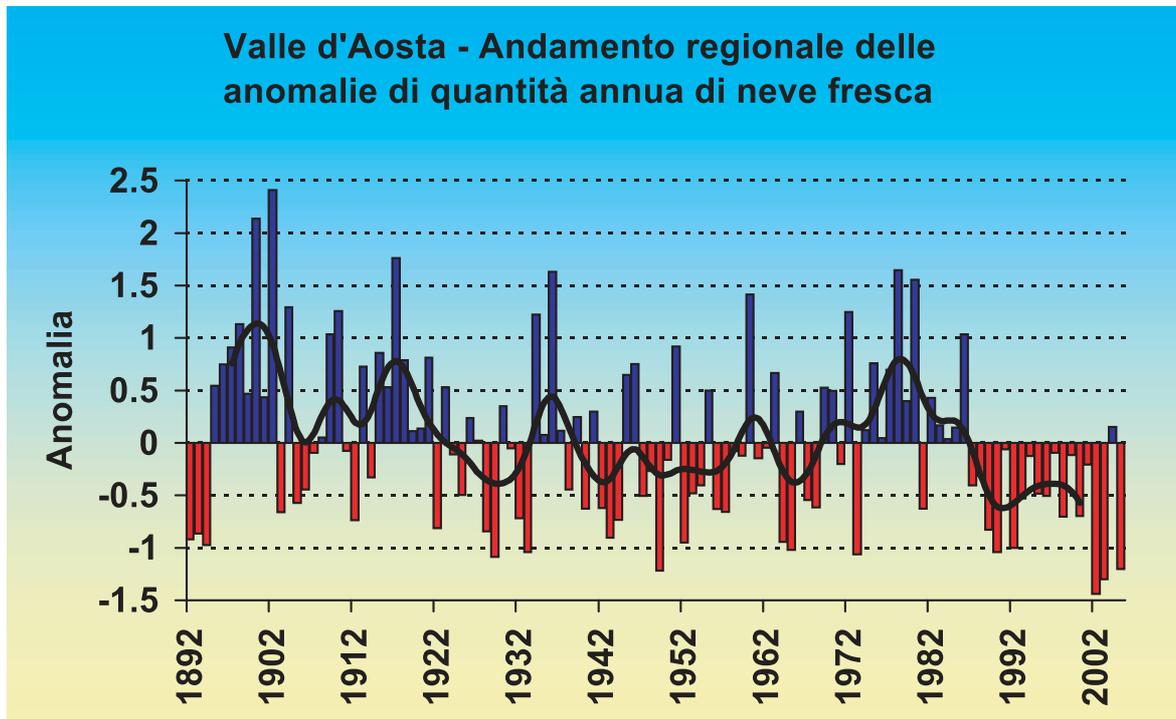
Quantità di neve fresca: deficit persistente dal 1987

Ad Aosta le misure dell'altezza di neve fresca sono disponibili dal 1892, ma solo dal 1926 si dispone di un maggior numero di stazioni sull'intero territorio. Secondo l'indice regionalizzato (fig. 8.4) gli apporti più abbondanti si sono rilevati nel periodo 1895-1923, mentre negli anni seguenti si registra un'alternanza di moderati eccessi e scarsità, ad eccezione degli abbondanti apporti del 1935-36.

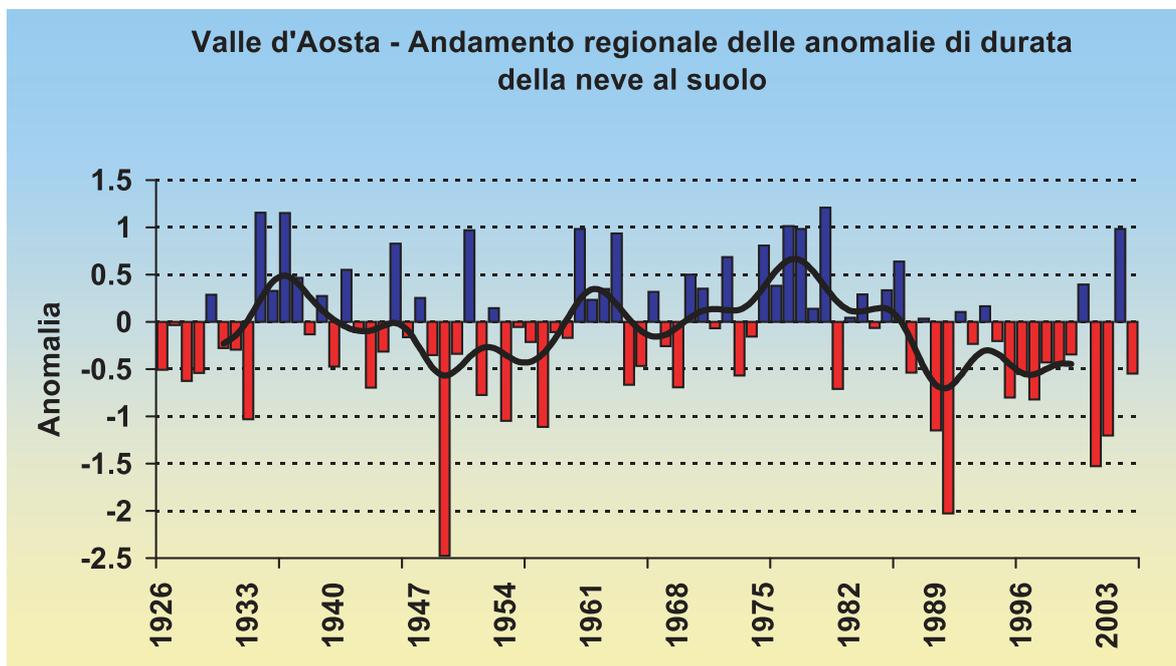
Salvo brevi intervalli di deficit, dal 1968-69 le quantità di neve tornano di frequente sopra media, specialmente negli inverni 1971-72, 1977-78, 1979-80 e 1985-86. In seguito, dal 1986-87 si osserva una brusca riduzione degli apporti, che perdura ancora oggi, con la sola eccezione dell'inverno 2003-04, l'unico negli ultimi 19 anni a pre-



8.4 -
Andamento regionalizzato delle anomalie di quantità annua di neve fresca (SAI) in Valle d'Aosta dal 1892 al 2005. Spicca la prolungata carenza di neve successiva all'inverno 1985-86, appena interrotta da una temporanea e debole ripresa nel 2003-04. L'inverno 2001-02 è stato il meno nevoso di tutti.



8.5 -
Andamento regionalizzato delle anomalie di durata del manto nevoso (SAI) in Valle d'Aosta dal 1926 al 2005. Anche in questo caso si conferma la diminuzione dell'innevamento dalla fine degli Anni 1980. Spicca tuttavia l'inverno 2003-04, tra i pochi recenti a mostrare una durata del manto superiore al normale, in virtù delle copiose nevicate seguite da una primavera relativamente fresca.

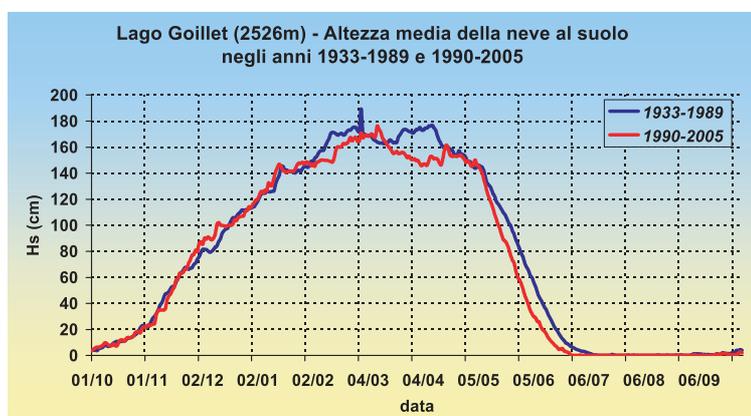
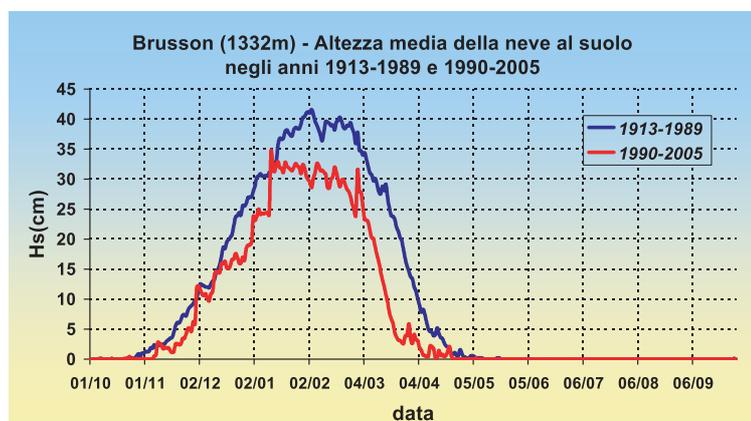


sentare una modesta anomalia positiva.

Durata dell'innevamento: scomparsa primaverile più rapida

Per quanto riguarda la durata dell'innevamento al suolo, i dati sono disponibili in

modo rappresentativo per le diverse quote ed esposizioni della regione a partire dal 1926 (fig. 8.5). **La minore durata della neve al suolo nel periodo recente in parte è legata alla riduzione della neve fresca caduta, ma il riscaldamento intervenuto**



8.6, 8.7 - Variazioni dell'andamento medio giornaliero dello spessore nevoso a Brusson e Lago Goillet, confronto tra il periodo 1990-2005 e il resto delle serie di misura. In entrambe le località negli ultimi 15 anni lo spessore nevoso è stato più ridotto e la sua scomparsa primaverile più precoce.

negli ultimi 15 anni e la maggiore frequenza di ondate di calore primaverili, ha indubbiamente contribuito ad accentuare la tendenza. Ciò è molto evidente nell'andamento nivometrico delle stagioni 1995-96 e 1996-97, in cui i consistenti apporti nel trimestre invernale, con valori medi dello spessore al suolo molto elevati, non si sono tradotti in una maggiore durata del manto. La figura 8.6 mostra l'andamento medio dello spessore nevoso durante l'anno a **Brusson** (1332 m) nei periodi 1913-1989 e 1990-2005; si nota come **negli ultimi 15 anni — oltre a una sensibile diminuzione del manto — si assista ad un anticipo di circa 15 giorni della fusione primaverile,**

mentre è meno evidente una tendenza al ritardo delle prime nevicate autunnali, anche se queste recano comunque apporti inferiori rispetto al periodo precedente. Questi comportamenti sono meno evidenti nelle stazioni in quota (figura 8.7 - Lago Goillet, 2526 m).

Cosa prevedono i modelli climatici per il futuro?

Il cambiamento climatico in futuro continuerà a produrre notevoli effetti sull'evoluzione del manto nevoso, come sui sistemi naturali ed economici che ne dipendono (produzione di energia idroelettrica, turismo, agricoltura).

Variazioni nei regimi termici e pluviometrici potranno cambiare in modo significativo il comportamento della coltre nevosa in montagna, dunque la stagionalità dei deflussi e il periodo di massima portata torrentizia e fluviale.

Scenari di innevamento futuro

Al fine di comprendere la possibile evoluzione futura del manto nevoso a differenti altitudini in Valle d'Aosta, secondo diversi scenari di cambiamento di temperatura e precipitazioni, è stato elaborato un modello di simulazione fisica ed energetica della neve, che opera a partire dai dati meteorologici che controllano dinamica e comportamento del manto.

Cenni di fisica del manto nevoso

Il manto nevoso è costituito da ghiaccio, aria ed eventualmente acqua liquida, in proporzioni variabili: la sua densità può variare da un minimo di 30-50 kg/m³ (neve molto fredda pochi minuti dopo la caduta) a 500 kg/m³ e oltre (manto di vecchia formazione). Il ghiaccio presente nel manto ha infatti una struttura porosa simile a quella di una spugna, che con il passare dei giorni si compatta gradualmente aumentando di densità.

L'evoluzione nel tempo del manto nevoso, dalla formazione fino alla completa fusione, è soggetta ad una fisica sorprendentemente complessa, che abbraccia molti campi della termodinamica. In sintesi, lo

studio richiede la conoscenza, per ogni intervallo di tempo, dei bilanci di massa e di energia del manto, ossia la somma degli scambi di acqua (liquida e solida) e di energia che avvengono tra il manto e l'ambiente circostante.

Il bilancio di massa consiste nelle variazioni dell'equivalente in acqua del manto dovute a:

- *fusione e drenaggio* della relativa acqua dalla base del manto;
- *sublimazione* della superficie della neve; può avvenire in entrambi i sensi: con aria secca è negativa (il ghiaccio sublima in vapore), con aria umida è positiva (deposito di brine superficiali sulla neve);
- *aumento per caduta di precipita-*

8.8 - Nel Vallone di Nana, a monte di St-Jacques (Ayas) il 04.02.2001 (f. D. Cat Berro).



zioni atmosferiche liquide o solide sul manto.

Analogamente, il bilancio di energia è la somma dei flussi di calore scambiati dalla superficie del manto con l'atmosfera e dalla sua base con il suolo, ossia in ordine di importanza:

- *radiazioni* (solare e atmosferica in entrata, irraggiamento dal manto in uscita);
- *calore sensibile*, scambiato per convezione tra la superficie del manto e l'atmosfera, flusso che aumenta in presenza di vento;
- *calore latente*, scambiato con l'atmosfera quando il vapore acqueo sublima sulla superficie del manto (in entrambi i sensi: brina o ablazione),
- *calore apportato dalle precipitazioni* (pioggia o neve) sul manto,
- *flusso di calore scambiato con il suolo*, presente alla base del manto.

Un valore negativo del bilancio di energia causa il raffreddamento del manto e il rigelo dell'acqua liquida eventualmente presente nella neve. Viceversa un bilancio di energia positivo ne innalza la temperatura e, quando questa raggiunge 0°C, causa la fusione della neve.

Caratteristiche del modello numerico impiegato

Si è predisposto un modello unidimensionale (verticale) che suddivide il manto nevoso in un massimo di due strati, e contempla due strati di suolo (superficiale e profondo). I parametri meteorologici indispensabili consistono in almeno due osservazioni giornaliere di temperatura, umidità dell'aria, copertura del cielo (o, in alternativa, radiazione solare) e quantità giornaliera di precipitazione atmosferica in acqua equivalente. La disponibilità ulteriore della velocità del vento aumenta l'attendibilità delle stime, in quanto il vento accelera gli scambi di calore tra la superficie del manto e l'atmosfera, oltre ad essere elemento con forte variabilità temporale e territoriale.

Il modello opera con passo temporale orario anzitutto ricostruendo in base ai dati immessi l'andamento dei parametri meteorologici inclusa la quantità oraria e la forma di precipitazione. La quantità di acqua caduta viene ripartita in pioggia,

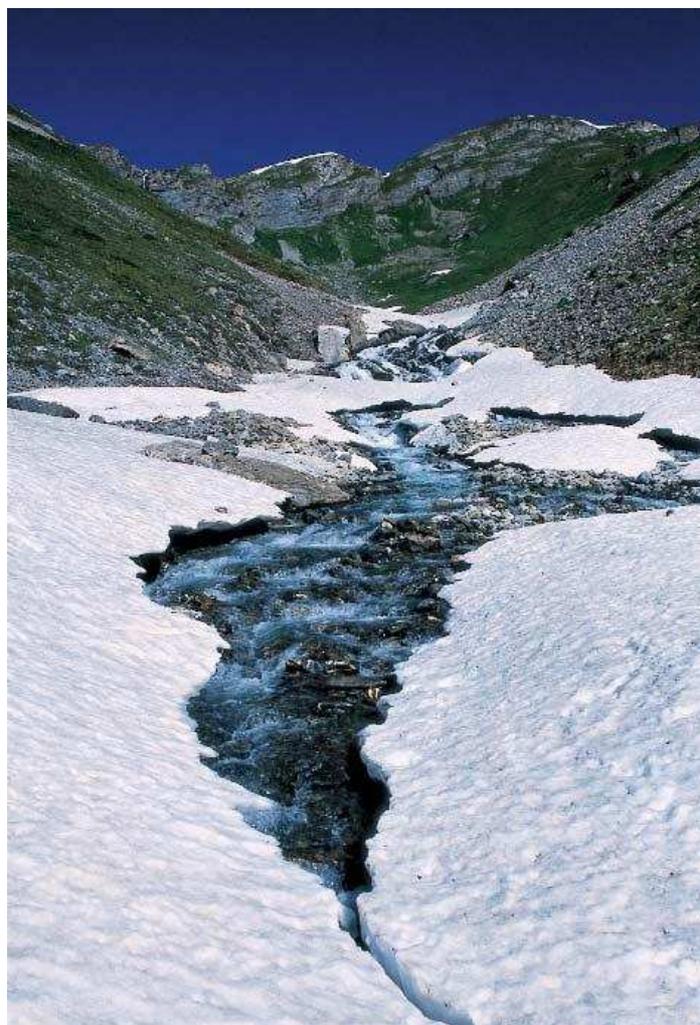
8.9 - Nevai primaverili in fusione a Dondena (Champorcher) l'11.05.2003 (f. D. Cat Berro).



8.10 - Vallone del Breuil (La Thuile, Piccolo San Bernardo), 04.07.2004 (f. D. Cat Berro).

pioggia mista a neve o neve in base alla temperatura e all'umidità dell'aria al momento della precipitazione. Al verificarsi di precipitazioni nevose, procede a calcolare i bilanci di massa ed energia del manto, attraverso la stima della temperatura superficiale e quella interna media degli strati di neve e del suolo. Il tempo trascorso, la temperatura dell'aria e gli apporti di neve fresca incidono su albedo, densità e conduttività termica del manto. Dell'eventuale acqua di fusione formatasi nel manto, viene drenata la parte che supera la sua capacità di ritenzione (il manto ha non solo la struttura, ma anche il comportamento di una spugna), capacità che si riduce all'aumentare della densità della neve. La simulazione necessita di numerosi altri parametri e processi fisici, tra cui proprio il processo di assestamento del manto, che gradualmente ne aumenta la densità e ne riduce lo spessore anche in assenza di fusione. La radiazione solare e i flussi di radiazione infrarossa sono simulati assumendo un orizzonte piano.

Per il progetto del modello di calcolo, si è attinto principalmente al modello UEB (Utah Energy Balance) creato da TARBOTON & LUCE (1996) e migliorato da KOIVUSALO & *al.* (2001). La stima della radiazione solare utilizza le formule del MODIS (CARDER & *al.* 2002) e di GUEYMARD (1995). Le proprietà fisiche del manto nevoso e del suolo sono



tratte dal *Community Land Model* (OLESON, 2004) del NCAR di Boulder (Colorado, USA).

Scenari di cambiamento globale considerati

Nell'ambiente alpino, gli effetti di un aumento della temperatura globale sono in genere più evidenti rispetto alle pianure temperate. Pochi decimi di grado riducono la frazione di precipitazioni che cade sotto forma di neve e di conseguenza l'altezza dell'accumulo di neve al suolo, inoltre, risulta anticipata e accelerata la fusio-

ne primaverile del manto nevoso.

Scopo dell'analisi è quantificare queste riduzioni in diversi scenari di cambiamento del clima, in particolare ipotizzando, rispetto alla norma del trentennio 1961-1990:

- a) *un aumento della temperatura media di 1°C;*
- b) *un aumento della temperatura media di 2°C;*
- c) *un aumento della temperatura media di 2 °C e un contestuale aumento delle precipitazioni annue del 20%.*

Si tenga presente che un aumento della temperatura invernale di 2°C ricade entro gli scenari più probabili delineati dal progetto PRUDENCE all'orizzonte del 2050.

Nelle ipotesi prescelte di cambiamento climatico il modello termodinamico è in

grado di stimare la riduzione dell'apporto di neve fresca e le modifiche nelle caratteristiche e nell'evoluzione del manto nevoso. Per garantire l'aderenza della simulazione alla realtà è opportuno condurla su siti dotati di rilevamenti meteorologici il più possibile completi e frequenti. Inoltre una lunga serie di osservazioni permette di individuare gli andamenti «normali» degli elementi meteorologici nel corso dell'anno e di scegliere un anno-tipo per le simulazioni, rappresentativo delle condizioni climatiche attuali.

Va sottolineato che la temperatura dell'aria non è l'unico né il principale tra i fattori responsabili della fusione primaverile del manto nevoso. L'incidenza maggiore in questo processo attiene ai flussi radiativi, e

8.11 - Nel pomeriggio del 09.07.2005 la neve è scesa in modo piuttosto anomalo fino a 2500 m presso il Colle della Bettaforca (Gressoney-Champoluc). Anche in epoca di riscaldamento globale, l'aumento delle temperature medie non esclude il verificarsi di nevicate o brinate in periodi dell'anno inusuali (f. D. Cat Berro).



8.12 - Aosta, 06.03.2006, neve in Piazza Chanoux a seguito della nevicata di 44 cm dei giorni 3 e 4, la più intensa da un secolo in marzo sul capoluogo valdostano. La precipitazione è stata apportata da un forte flusso di aria umida occidentale, responsabile anche di valanghe in alta valle e sulla zona del Monte Bianco (f. L. Mercalli).

si può affermare che la scomparsa della neve al procedere della stagione è essenzialmente dovuta al più intenso soleggiamento. L'aumento di temperatura incide comunque sui flussi di calore sensibile e latente (quest'ultimo ha un ordine di grandezza inferiore al primo) del bilancio di energia del manto, in misura proporzionale alla velocità del vento. Gli scenari del clima futuro qui prospettati sono necessariamente schematici, non contemplando variazioni nella nuvolosità o nella velocità del vento, tuttavia già in grado di fornire indicazioni intorno alle ripercussioni in ambiente alpino.

Stazioni impiegate e metodo di calcolo

Oggetto dell'analisi sono stati tre livelli altimetrici distanziati di circa 500 m, rappresentati dalle stazioni meteorologiche di Gressoney-St-Jean (1370 m), Gressoney D'Ejola (1850 m) e Lago Gabiet (2340 m). Le analisi sono state condotte sugli anni idrologici (periodo dal 1° ottobre al 30 settembre dell'anno civile successivo) trascorsi con andamento stagionale privo di anomalie, specie per quanto riguarda gli apporti nivometrici. Quali anni normali sono stati individuati il 1995-1996 e, per Gressoney-St-Jean, il 2004-2005 (la stazione meteorologica automatica è stata installata nel 2002). Si è impostata anche un'analisi su un anno fortemente anomalo come il



1977-1978, dalle precipitazioni largamente superiori alla norma, utilizzando la preziosa serie di Gressoney D'Ejola, l'unica a comprendere osservazioni triggiornaliere anche della nuvolosità, fondamentali nella stima dei flussi radiativi.

Per ogni stazione ed anno idrologico sono state lanciate 4 simulazioni del modello, la prima corrispondente allo scenario climatico attuale e le successive agli scenari del possibile mutamento climatico. I dati meteorologici immessi nelle quattro simulazioni differiscono unicamente nei seguenti parametri:

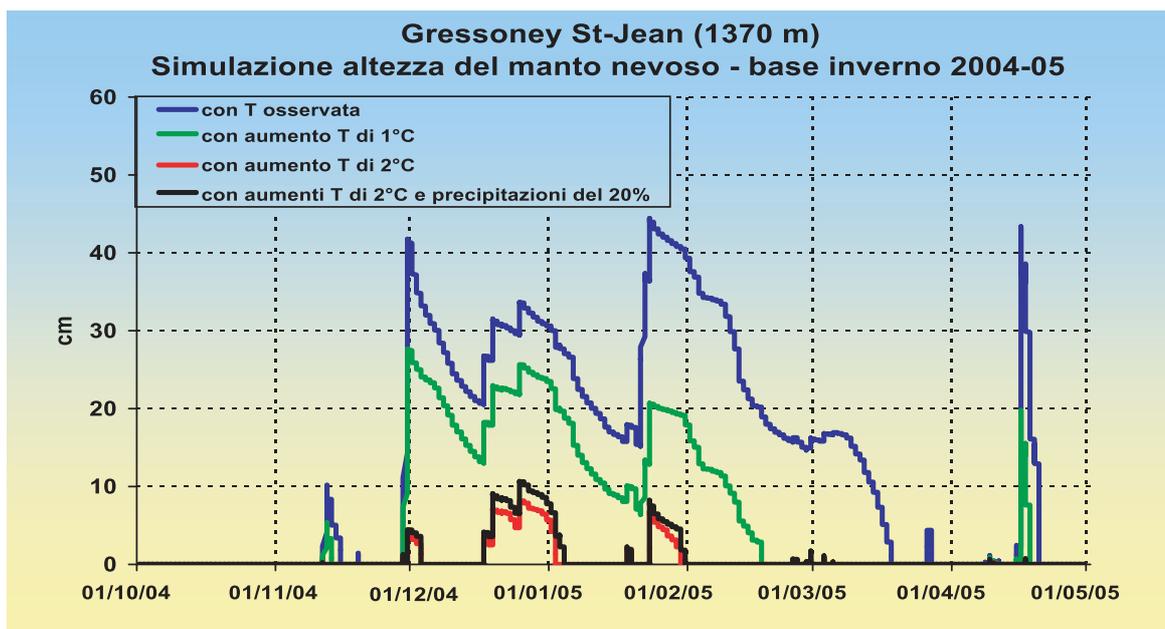
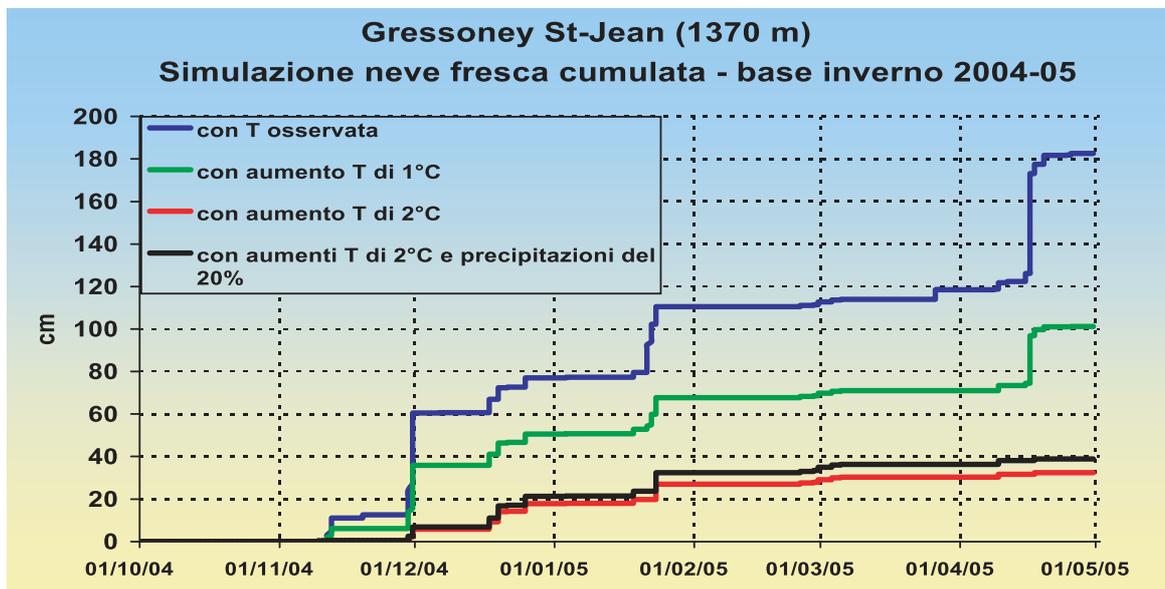
1) *temperatura dell'aria uguale a quella rilevata ($T=$);*

8.13, 8.14 - Simulazioni delle quantità cumulate di neve fresca e dello spessore nevoso al suolo per la stazione di Gressoney-St-Jean, ottenute modellizzando il clima attuale, un aumento di 1 °C, di 2 °C e di 2 °C con incremento del 20% delle precipitazioni.

Le simulazioni sono state condotte sulla base di un inverno «reale» dal comportamento simile a quello medio, ovvero la stagione 2004-05.

La riduzione della quantità di neve fresca rispetto alle condizioni attuali sarebbe rispettivamente del 45% con $T+1^{\circ}\text{C}$, dell'82% con $T+2^{\circ}\text{C}$; anche un aumento del 20% delle precipitazioni non consentirebbe di migliorare più di tanto la situazione nell'ipotesi di $T+2^{\circ}\text{C}$.

Per quanto riguarda l'altezza della neve al suolo, nell'ipotesi di $T+2^{\circ}\text{C}$, il manto diverrebbe discontinuo anche in pieno inverno, e presente in totale appena 29 giorni.



- 2) temperatura aumentata di 1°C ($T+1$);
- 3) temperatura aumentata di 2°C ($T+2$);
- 4) temperatura aumentata di 2°C ed equivalente in acqua delle precipitazioni aumentato del 20%. ($T+2,P+20$).

Dati utilizzati e responso delle simulazioni

Gressoney-St-Jean (1370 m)

E' la più bassa tra le stazioni considerate,

quella in cui un eventuale aumento di temperatura produrrebbe gli effetti più rilevanti sul manto nevoso. **Un incremento di 1°C è sufficiente a decurtare del 45% la neve fresca caduta nell'anno (Fig. 8.13) e a ridurre di un mese il periodo in cui il suolo è coperto di neve, anticipandone la fusione.**

Il manto nevoso è drasticamente ridotto in altezza, soprattutto alla fine dell'inverno, e

raggiunge uno spessore massimo di 28 cm a fronte dei 44 cm simulati con temperatura effettivamente osservata (Fig. 8.14). Poiché la stazione attiva in questo sito non misura lo spessore nevoso, per un riscontro indicativo dei dati ottenuti dal modello nella simulazione con temperatura invariata si ricorre ai dati della stazione CVA di Ussin (1322 m) distante 20 km, che nel periodo in oggetto rilevò un'altezza massima del manto di 54 cm il 26 dicembre e una durata stagionale del manto quasi identica a quella stimata dal modello per Gressoney-St-Jean.

Con un aumento di 2°C l'altezza della neve caduta si riduce dell'82%; l'innevamento collapsa divenendo discontinuo (il manto fonde completamente anche in pieno inverno), **per una durata complessiva di**

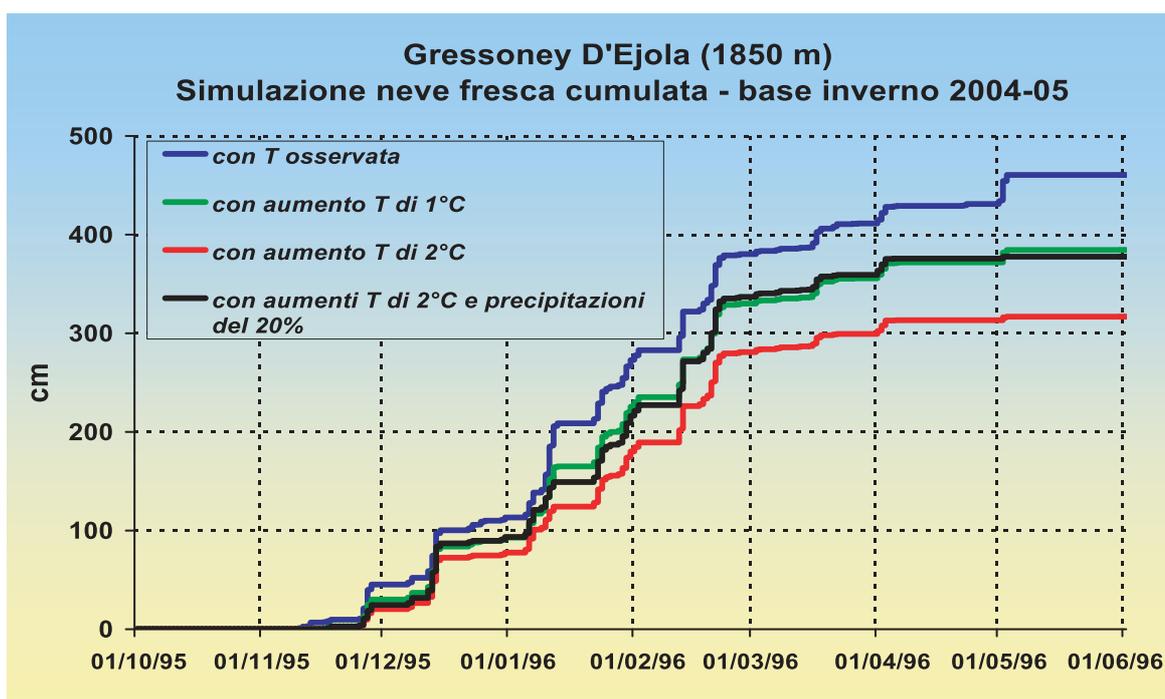
appena 29 giorni, toccando un massimo irrisorio di 8 cm. Questo radicale mutamento non verrebbe scongiurato neppure se l'aumento termico fosse accompagnato da un incremento del 20% delle precipitazioni.

Gressoney-D'Ejola (1850 m)

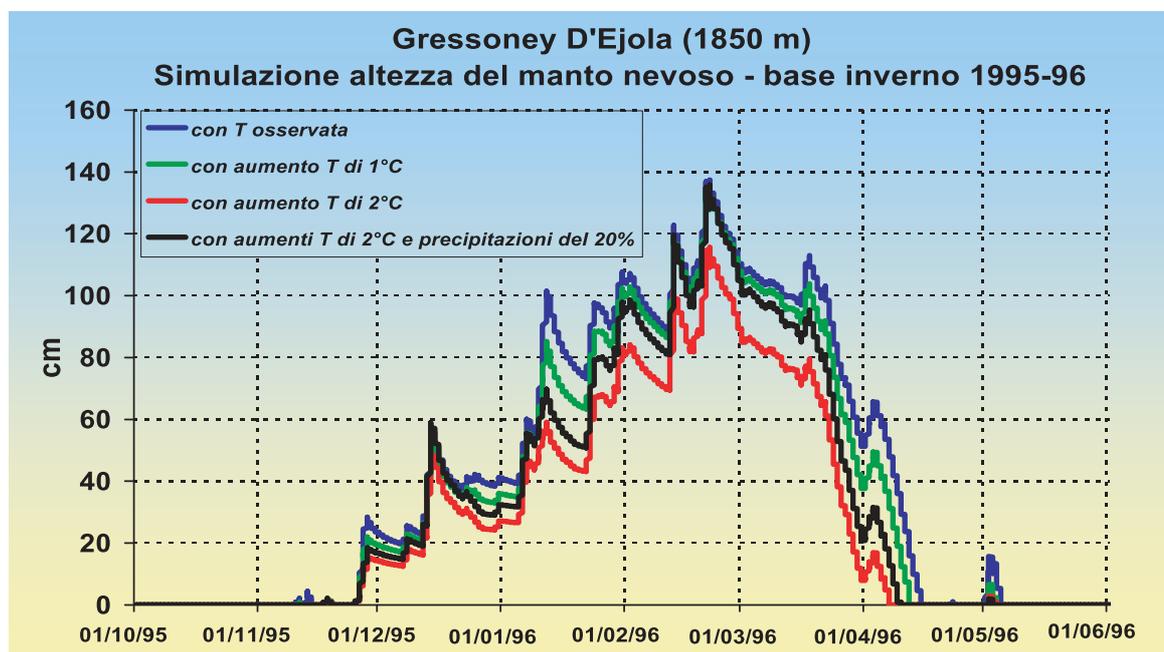
La situazione nel complesso appare meno drastica rispetto alla quota inferiore prima esaminata. **L'altezza di neve fresca cumulata** (Fig. 8.15) **si riduce — rispetto alla simulazione del clima presente (T=) — del 17% con un aumento di 1°C e del 31% se l'aumento raggiunge i 2°C. Le altezze del manto, confrontate in Fig. 8.16, prospettano una diminuzione media del 9% per T+1, mentre con T+2 la riduzione raggiunge il 31%. Con un aumento termico di 2°C, un**

8.15 - Simulazioni delle quantità cumulate di neve fresca per la stazione di Gressoney-D'Ejola, ottenute come in fig. 8.13.

In questo caso si avrebbero riduzioni rispettivamente del 17 e del 31% con T +1 °C e T +2 °C. Se all'aumento termico di 2 °C dovesse associarsi un incremento del 20% delle precipitazioni, si ristabilirebbe la situazione descritta nello scenario T +1°C.



8.16 -
 Simulazioni
 dello spessore
 nevoso al
 suolo per la
 stazione di
 Gressoney-
 D'Ejola, otte-
 nute come nel
 caso della fig.
 8.14.
 A 1850 m l'e-
 voluzione risul-
 terebbe meno
 drastica, ma
 pur sempre
 importante,
 con riduzioni di
 spessore
 medio del 9%
 con T +1°C, e
 del 31% con T
 +2°C.



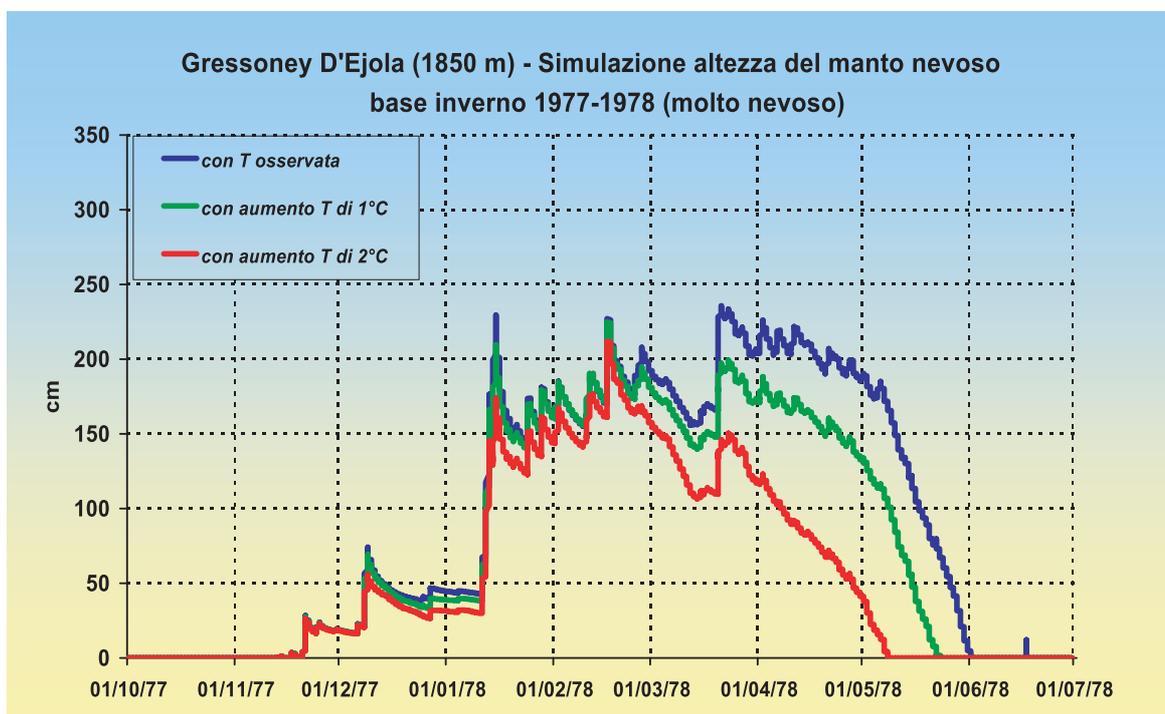
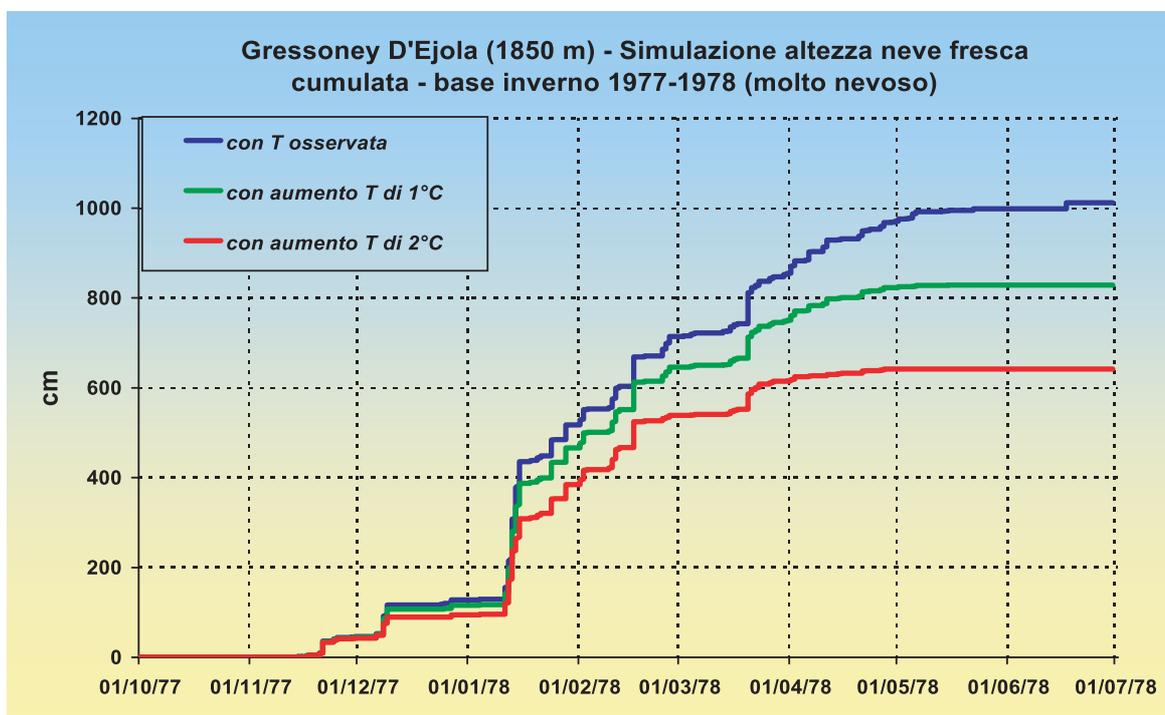
incremento del 20% nella quantità di precipitazione riesce a ristabilire la quantità massima di neve fresca caduta nell'ipotesi dell'aumento di 1°C (Fig.8.15), ma non ha lo stesso effetto sul manto, che permane inferiore per altezza e durata a quello simulato con T+1 e precipitazioni normali (Fig. 8.16). La durata del manto si riduce di una settimana per ogni °C di aumento termico.

Abbiamo ripetuto le simulazioni su un anno eccezionale per quantità di precipitazioni, quale il 1977-78: i risultati sono indicati in Fig. 8.17 e 8.18. L'aumento termico conduce in queste condizioni ad una più netta diminuzione in tutti i parametri nivometrici: ogni °C di incremento nella temperatura riduce del 18% la neve caduta e del 19% l'altezza media del manto. La permanenza

stagionale della neve al suolo risulterebbe abbreviata di 8 giorni con T+1 °C e di ben 24 giorni con T+2 °C, riduzione dovuta per intero all'anticipo della fusione primaverile.

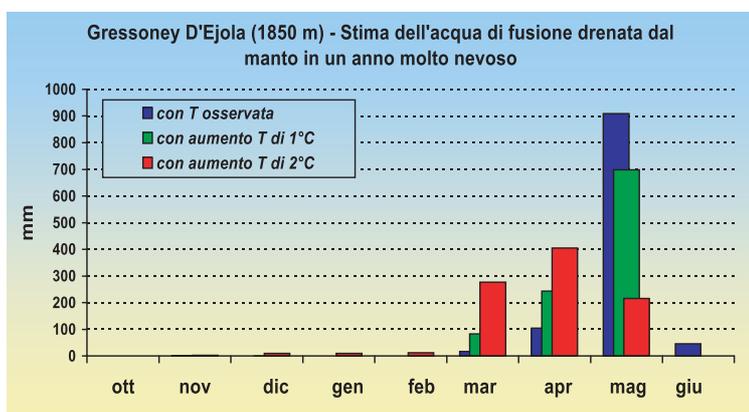
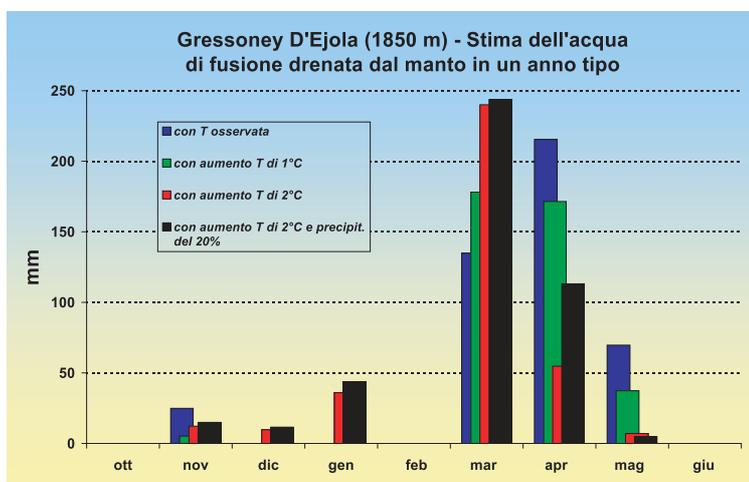
L'effetto del mutamento climatico è dunque più incisivo sul processo di fusione che su quello di accumulo autunnale della neve, come indica la data di formazione del manto conservatasi immutata in tutte le simulazioni. Nell'anno-tipo 1995-96 si è in presenza di un rapido rialzo termico decorso dal 22 marzo che causa l'inizio della fusione il giorno 23 nelle simulazioni T= e T+1, mentre con T+2 l'inizio è di poco anticipato e coincide con il 18 marzo. Successivamente, l'ablazione del manto, che con il clima attuale è concentrata nel mese di aprile (Fig. 8.19), all'aumentare della temperatura si svolgerebbe sempre

8.17 , 8.18 - In questi casi le stesse simulazioni sono state condotte su un inverno «reale» tipicamente molto nevoso, quello 1977-78. La diminuzione dei parametri nivometrici è ancora più netta: per ogni °C di aumento termico, -18% nella neve fresca e -19% nello spessore medio del manto. La fusione primaverile anticiperebbe di 8 giorni con T +1°C e di 24 giorni con T +2°C.



più rapidamente, segnando il massimo apporto idrico nel mese di marzo. La modifica nella distribuzione è molto più marcata in un anno molto nevoso e dall'andamento termico primaverile privo di repenti-

ni riscaldamenti quale il 1977-78, come mostra la Fig. 8.20: nel mese di maggio si hanno 909 mm di acqua drenata con T=, 698 mm con T+1 °C e appena 215 mm con T+2 °C.



8.19, 8.20 - Stime dell'acqua di fusione drenata dal manto in un anno mediamente nevoso (in alto) e in un anno molto nevoso (qui sopra). La simulazione mostra un anticipo del drenaggio via via più pronunciato considerando gli scenari di aumento termico più importante, fino ad arrivare a circa un mese con $T + 2^{\circ}\text{C}$.

Lago Gabiet (2340 m)

L'effetto dei mutamenti climatici alla quota di 2340 m del lago Gabiet è riassunto nelle Fig. 8.21 e 8.22. **Il modello indica che l'incidenza del riscaldamento globale sarebbe meno vistosa (ma comunque presente) in alta montagna rispetto alle quote inferiori; per ogni grado di aumento della temperatura, l'altezza della neve fresca si riduce infatti del 10% e quella media del manto del 12%.** Come nelle altre simulazioni viste in precedenza, anche in questo caso l'aumento termico non incide sulla data di formazione del manto, che — nel caso impiegato per la modellizzazione — rimane

costante al giorno 11 novembre, ma **ne anticipa la scomparsa di 8 giorni con $T+1^{\circ}\text{C}$ e di ben 32 giorni con $T+2^{\circ}\text{C}$.** Quest'ultima elevata decurtazione dell'innnevamento si deve alla temporanea scomparsa prima dell'ultima consistente nevicata del 2 maggio, presente nel caso reale utilizzato nel modello.

In questa fascia altimetrica, un eventuale aumento delle precipitazioni del 20% avrebbe l'effetto di incrementare rispetto al presente l'accumulo massimo di neve alla fine dell'inverno, anche se contestuale ad un riscaldamento di 2°C . L'aumento delle precipitazioni avrebbe, tuttavia, effetto quasi nullo nel contrastare la precoce fusione primaverile (Fig. 8.22).

Conclusioni

La fig. 8.23 e la tabella di fig. 8.24 compendiano gli effetti previsti dal modello sulla durata e l'altezza della neve al suolo in presenza di un mutamento climatico.

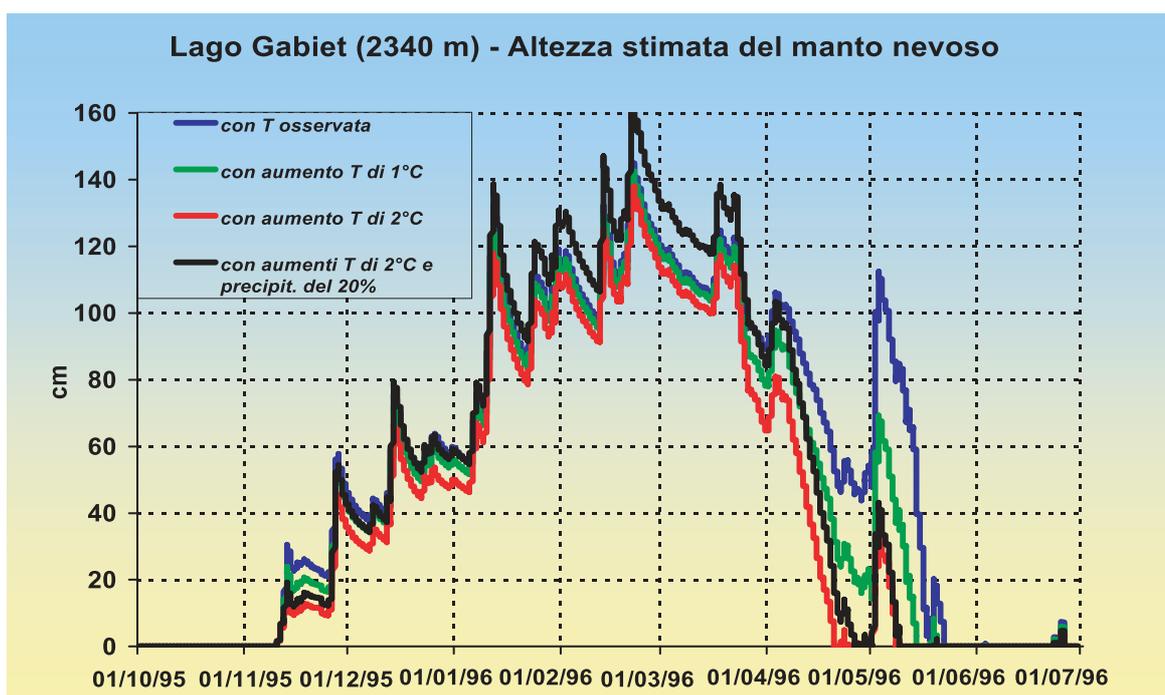
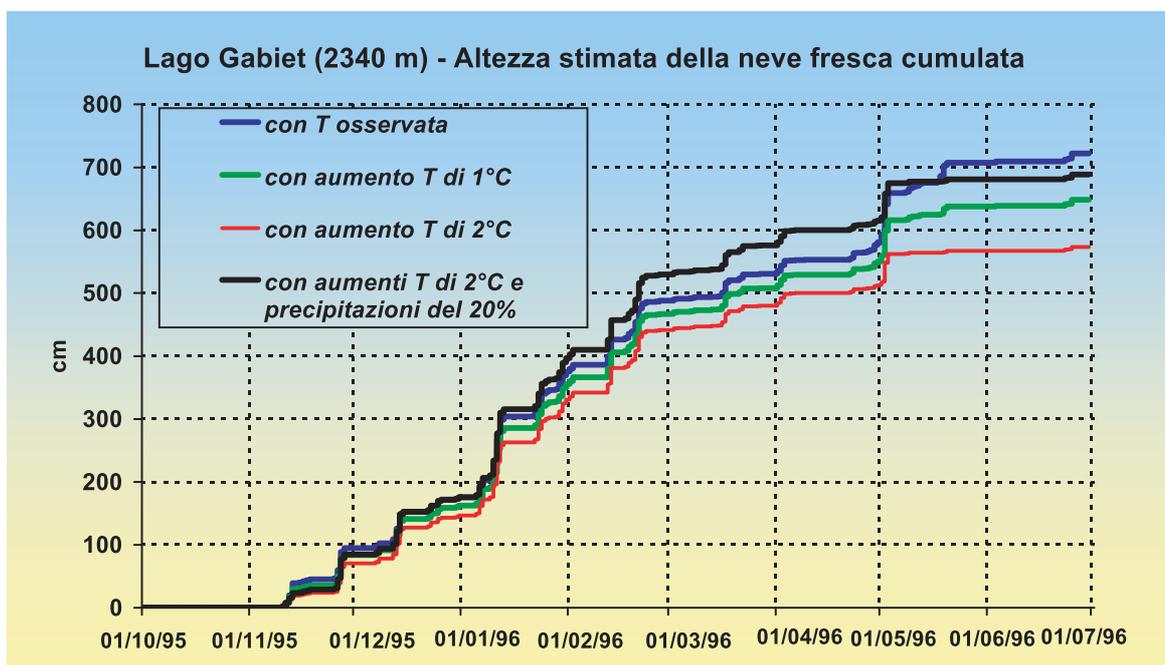
Un clima più caldo rispetto alla media degli ultimi decenni avrebbe, nelle aree di montagna, conseguenze vistose a quote inferiori ai 1400 m circa, abbattendo drasticamente lo spessore del manto e riducendo la durata dell'innnevamento del 35% circa per ogni $^{\circ}\text{C}$ di aumento della temperatura. La bassa montagna si rivela quindi un'area molto sensibile nei confronti dei mutamenti climatici, e la virtuale scompar-

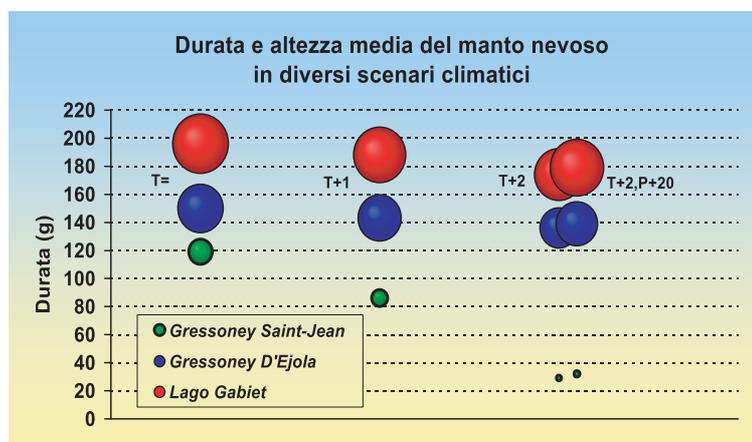
sa del paesaggio innevato non sarebbe scongiurata neppure da un eventuale contemporaneo aumento delle precipitazioni.

Effetti meno eclatanti, ma comunque presenti, si produrrebbero a quote superiori,

con una perdita nello spessore medio del manto pari al 15% a 1850 m e al 12% a 2340 m per ogni °C in più nella temperatura dell'aria. La durata parrebbe risentirne esclusivamente in primavera a causa degli anticipi nell'inizio e nel completamento della

8.21, 8.22 - Simulazioni delle quantità cumulate di neve fresca e dello spessore nevoso al suolo per la stazione di Lago Gabiet. Si conferma la minore sensibilità dei siti elevati rispetto alla media-bassa montagna. Qui, con lo scenario peggiore tra quelli considerati, T +2°C, la durata del manto nevoso passerebbe da 205 a 174 giorni e la neve fresca cumulata si ridurrebbe del 21%.





8.23 - Grafico riepilogativo dell'evoluzione di durata e altezza media del manto nevoso nelle tre località e per gli scenari considerati.

8.24 - Riepilogo dei risultati più significativi ottenuti dal modello: durata del manto e data della sua scomparsa in base agli scenari proposti.

fusione, laddove la formazione del manto durevole non ritarda neppure con aumenti di 2°C. Tuttavia il numero delle simulazioni condotte non è ancora sufficiente ad accreditare con certezza quest'asimmetria temporale nella riduzione dei giorni con neve al suolo. L'anticipo dell'ablazione primaverile è risultato contenuto in 4 giorni per °C di aumento a D'Ejola e più marcato (8÷15 giorni/°C) alla quota più elevata. Questo anticipo nel deflusso dell'acqua di fusione dalle parti più elevate dei bacini inciderebbe sulle portate dei corsi d'acqua, che verrebbero a concentrarsi durante i mesi di aprile e maggio riducendosi in giugno e luglio. La prima variazione (T+1°C) accrescerebbe in misura modesta le portate nel caso di precipitazioni alluvio-

nali, non infrequenti in primavera, poiché il contributo della fusione della neve in casi consimili è limitato a 1÷2 mm/ora. Viceversa, la riduzione delle portate fluviali all'inizio dell'estate potrebbe riflettersi negativamente sulla disponibilità di acqua per uso irriguo in tutto il bacino padano.

I risultati ottenuti tramite questo modello di simulazione sono confrontabili con quanto indicato da BENISTON & *al.* (2003), secondo cui per ogni grado °C di incremento termico nella media delle temperature invernali la durata del manto nevoso si ridurrebbe mediamente di circa 15÷20 giorni. Sulle vicine Alpi svizzere, un incremento di 4 °C nelle medie invernali delle temperature minime entro il trentennio 2071-2100 (risultati modello regionale HIRHAM4, scenario IPCC-A2, impiegati anche nel progetto EU PRUDENCE) potrebbe comportare una riduzione della quantità di neve caduta dell'ordine del 90% intorno a quota 1000 m, del 45÷60% a quota 2000 m (a seconda di come evolverà il regime delle precipitazioni) e del 30÷40% a quota 3000 m. Inoltre, la scomparsa primaverile del manto anticiperebbe di 50÷60 giorni sopra i 2000-2500

Variazione della durata del manto nevoso e sua estinzione primaverile in diversi scenari climatici	Gressoney St-Jean (1370 m)		Gressoney D'Ejola (1850 m)		Lago Gabiet (2340 m)	
	Durata Hs (giorni)	Estinzione primaverile	Durata Hs (giorni)	Estinzione primaverile	Durata Hs (giorni)	Estinzione primaverile
Anno di riferimento	119	18-mar	150	15-apr	196	22-mag
Simulazione T+1	86	17-feb	143	12-apr	188	14-mag
Simulazione T+2	29	-	136	07-apr	174	20-apr
Simulazione T+2, P+20	32	-	139	10-apr	179	26-apr

m. La riduzione della stagione nevosa sarebbe più manifesta alla sua fine (primavera), che non al suo inizio (autunno), con conseguente accelerazione e anticipo dei deflussi primaverili.

COSA POTREBBE ACCADERE IN VALLE D'AOSTA: EFFETTI, STRATEGIE E OPPORTUNITÀ

1) Agricoltura, vegetazione e suoli

Potenziali effetti positivi/opportunità:

— Allungamento della stagione colturale nei campi/orti di montagna, anticipo di semine e trapianti per la precoce scomparsa del manto nevoso (ma attenzione alle gelate tardive, sempre possibili!).

Potenziali effetti negativi:

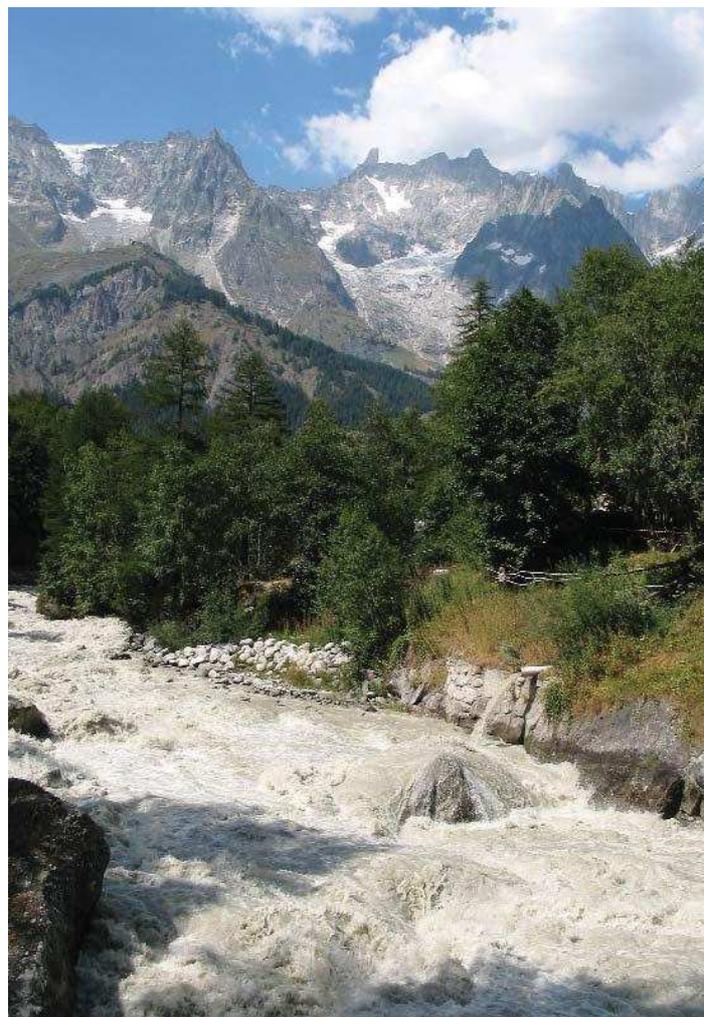
— Minore disponibilità estiva di acqua per l'irrigazione, per la minore presenza nevosa stagionale.

Strategie di mitigazione/adattamento: vedi sezione «Agricoltura» nei cap. 6 e 7.

Inoltre, è da rilevare che una minore presenza del manto nevoso invernale favorirebbe l'alternanza dei cicli di gelo e disgelo nei suoli, nonché — secondo le ricerche effettuate dal *Laboratorio-Centro di Saggio della Neve e dei Suoli Alpini (LNSA)* della Facoltà di Agraria di Torino — un signifi-

cativo aumento della mineralizzazione netta dell'azoto (FREPPAZ & *al.*, 2005).

Per quanto riguarda le fasi fenologiche, secondo KELLER & *al.* (2005) la fusione anticipata del manto non comporterebbe necessariamente anche una più precoce fioritura delle piante alpine, in quanto alcune specie sono fortemente legate al fotoperiodo. Questo, aggiungiamo, metterebbe parzialmente al riparo la vegetazione dal rischio di gelate primaverili, che potrebbe divenire importante in caso di fioritura precoce indotta dall'assenza di neve.



8.25 - La Dora a Courmayeur gonfia per la straordinaria fusione nivoglaciale sul Monte Bianco il 03.08.2003 (f. L. Mercalli).

La fusione di neve e ghiaccio porta sollievo alla carenza d'acqua nelle estati calde e siccitose a fondovalle, proprio come accaduto nel 2003, ma in futuro, con la scomparsa primaverile più anticipata del manto e l'ulteriore riduzione glaciale, questo contributo verrà meno, esacerbando gli effetti del previsto calo estivo di piovosità.

2) Turismo: innevamento programmato, un investimento opportuno?

In merito al settore turistico, alla luce dei cambiamenti climatici in vista, è lecito domandarsi se il mantenimento o l'ulteriore sviluppo degli impianti di innevamento programmato costituiscano o meno una strada accettabile per risolvere il problema della carenza di neve sulle piste. Attualmente (stagione sciistica 2005-06), in Valle d'Aosta, il 50% dei 1306 ettari di piste attive è dotato di impianti per l'innevamento programmato (Fonte: Ass. Turismo, Commercio e Trasporti, Reg. Aut. Valle d'Aosta). Se si considerano i costi economici, nonché quelli ambientali, la strategia appare poco sostenibile a media-lunga scadenza, tenendo presente l'enormità di

risorse finanziarie, energetiche e idriche necessarie per il funzionamento degli impianti, a fronte di una prevedibile perdita di redditività dello sci alpino a seguito del riscaldamento globale, specialmente nelle stazioni di media e bassa montagna. Ecco qualche dato (fonte CIPRA - HAHN, 2004):

Consumi d'acqua: 1 m³ per ottenere 2÷2.5 m³ di neve programmata. Si calcola che, per ricoprire tutte le piste innevabili delle Alpi, circa 23.800 ha di superficie, in una stagione occorrerebbero 95 milioni di metri cubi d'acqua, pari al consumo annuo di una città di 1.5 milioni di abitanti.

Consumi energetici: in Francia nell'inverno 2001-02, si è stimato un dispendio di circa **25.400 kWh per ettaro di pista innevata** (3.5

8.26 - Impianto per l'innevamento programmato in azione sulle piste di Champorcher.

In futuro i costi economici ed energetici per il funzionamento potrebbero divenire insostenibili sulle Alpi, anche in relazione al prevedibile calo di redditività dello sci alpino in conseguenza del cambiamento climatico, quanto meno al di sotto dei 1300-1800 m (18.02.2006, f. D. Cat Berro).



8.27 - Champorcher, impianto per l'innervamento programmato, come in 8.26.

Per ogni metro cubo di neve prodotta si consumano circa 3.5 kWh di energia elettrica, con costi complessivi per i gestori dell'ordine dei 3-5 Euro.



8.28 - Dati sull'estensione delle superfici adibite a pista da sci alpino in Valle d'Aosta, e frazione di queste innevabile in modo programmato (complessivamente, quasi il 50% dei 1306 ha totali).
Fonte dati: Ass. Turismo, Sport, Commercio e Trasporti, Reg. Aut. Valle d'Aosta.

Superficie dei comprensori sciistici valdostani e frazione innevabile in modo programmato			
Comprensorio	Superficie totale		Innevabile (%)
	ha	ha	%
Ayas-Antagnod	37.7	25.0	66.4
Ayas-Champoluc	73.1	57.1	78.2
Brusson	16.6	11.1	67.1
Cervino	247.1	93.1	37.7
Chamois	27.0	25.9	96.1
Champorcher	41.0	17.3	42.2
Cogne	10.7	1.5	14.3
Courmayeur	151.9	82.1	54.0
Dolonne	2.9	2.9	100.0
Gressoney LT	86.0	53.2	61.9
Gressoney S.J.	24.4	12.7	51.9
La Magdeleine	11.1	1.6	14.1
La Thuile	210.3	92.0	43.7
Nus	1.2	1.2	100.0
Ollomont	2.4	2.4	100.0
Pila	184.1	102.3	55.6
Rhêmes ND	13.3	6.5	49.2
Saint Oyen	3.7	3.7	100.0
St-Rhèmy	54.2	24.5	45.3
St-Vincent	9.3	7.4	79.7
Torgnon	31.2	27.4	87.9
Valgrisenche	11.2	2.0	18.2
Valsavarenche	4.1	4.1	100.0
Valtournenche	89.0	14.9	16.8
Totale	1305.7	647.2	49.6

kWh per m³ di neve prodotta). Estendendo questo dato alla Valle d'Aosta si offerrebbe un consumo totale annuo di 16.4 GWh, pari a circa il 9% dell'intero consumo elettrico per uso domestico degli abitanti della Valle d'Aosta.

Costi complessivi al gestore: mediamente da 3 a 5 Euro per metro cubo di neve programmata, incluso l'ammortamento degli impianti, i costi energetici, gli stipendi del personale.

Costi di investimento: circa 140.000 Euro per ha di superficie innevabile.

Questi numeri suggeriscono come, in futuro, l'innervamento programmato possa divenire un'operazione dai costi insostenibili, una dispendiosa soluzione «tampon» perfino in contrasto con la pressante esigenza di ridurre i consumi di combustibili fossili e acqua.



8.29 - In alto, sulle piste del Piccolo Cervino, nel comprensorio internazionale di Cervinia-Zermatt (30.04.2006, f. D. Cat Berro).
8.30 - Qui sopra: Cervinia, partenza del XVI Trofeo Mezzalama di sci-alpinismo (03.05.2003, f. L. Mercalli).

Secondo BÜRKI (2000), nel periodo 2030-2050, soltanto le località sciistiche sopra i 1600÷2000 m potranno fare affidamento su una quantità di neve sufficiente per la pratica dello sci, affermazione in accordo con quanto emerso dallo scenario T +2 °C presentato a pag. 111, che mostra come, in una località come Gressoney-St-Jean, la quantità di neve fresca si ridurrebbe dell'82%. A questo si aggiunge la difficoltà

nel produrre neve programmata se le temperature non sono almeno $< -4^{\circ}\text{C}$, salvo impiegare additivi batterici in grado di favorire la formazione dei nuclei di ghiaccio.

Alla luce di queste considerazioni, appare inopportuno utilizzare il cambiamento climatico come argomento a favore dello sfruttamento delle zone di alta montagna e della costruzione di impianti di innevamento, restando fedeli a tutti i costi a un turismo invernale di tipo tradizionale. Piuttosto, un'opportuna conversione dell'offerta turistica verso attività alternative quali l'escursionismo, l'equitazione, il turismo culturale e l'agriturismo, che tenga conto di modi più maturi di vivere il paesaggio invernale e la cultura alpina, potrebbe garantire la sopravvivenza e la rivitalizzazione del settore, anche di fronte

Le Alpi... dovranno porsi come regione modello per far fronte a questo problema, proprio in considerazione delle conseguenze che l'aumento delle temperature potrà avere sul territorio alpino. Molto dipenderà dalla scelta, da parte delle popolazioni alpine, di uomini politici in grado di esporsi in questa direzione, dalla loro capacità di pensare globalmente e di agire localmente. (GIORGIO DAIDOLA, 2006).



8.31 - L'invaso idroelettrico del Goillet (2526 m) in alta Valtournenche può contenere fino a 11,8 milioni di m³, ed è sede della più elevata stazione meteorologica della rete CVA, la cui serie storica risale al 1933 (12.08.2003, f. L. Mercalli).

a nuovi assetti ambientali della montagna valdostana.

3) Deflussi fluviali e produzione idroelettrica: monitoraggio degli accumuli nevosi invernali

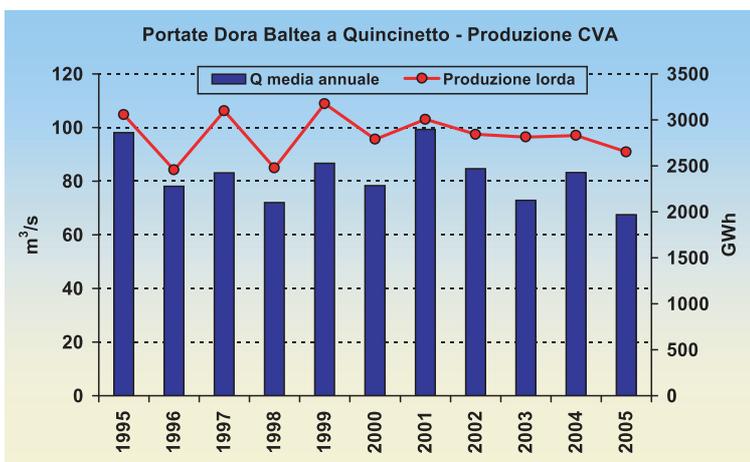
La produzione idroelettrica valdostana, attualmente gestita da CVA S.p.A. per una produzione lorda attorno a 2800 GWh

annui (circa il 6% della produzione idroelettrica nazionale), trae ricchezza proprio dagli abbondanti deflussi di origine nivale. Ma l'aumento delle temperature e il calo nella quantità e nella durata dell'innevamento porteranno inevitabilmente con sé conseguenze nei regimi di produzione energetica. Il grafico 8.32 mostra l'andamento della produzione annua lorda di energia idroelettrica da parte di CVA, confrontato con le portate medie annue della Dora Baltea a Quincinetto, per il periodo 1995-2005. Si noti come il 2005, terzo anno asciutto consecutivo, abbia registrato la minore portata media nel gruppo di anni considerati.

Potenziati effetti negativi: alterazione nei regimi di afflusso delle acque agli invasi, con anticipo primaverile della fusione, e riduzione estiva dei volumi in ingresso per via del più rapido esaurimento delle nevi stagionali (unito peraltro a un probabile calo di piovosità in estate).

Strategie di mitigazione/adattamento:

attento monitoraggio dell'andamento climatico della stagione di accumulo nevoso attraverso la raccolta di dati meteorologici e di equivalente d'acqua del manto negli alti bacini, al fine di calcolare il potenziale idrico della stagione e quindi di procedere a opportune modulazioni nell'invaso e nel-



8.32 - Produzione idroelettrica lorda annua CVA e portata media della Dora Baltea a Quincinetto nel periodo 1995-2005 (fonte dati: Compagnia Valdostana Acque S.p.A.). In accordo con l'andamento delle precipitazioni e della fusione nivale, le portate maggiori si sono avute nel 1995 e nel 2001, le più scarse in anni asciutti e poco nevosi come il 1998 e il 2005. La produzione idroelettrica e la portata della Dora risultano moderatamente correlate ($r^2 = 0,7$).



8.33 - Il valico stradale del Gran San Bernardo rimane chiuso ogni anno da fine ottobre a fine maggio per l'imponente innevamento. Presso lo storico osservatorio meteorologico, il più antico delle Alpi (1817), si misurano mediamente circa 17 m di neve fresca/anno (25.05.2005, f. D. Cat Berro).

l'utilizzo delle acque.

4) Trasporti: meno disagi da neve

La minore durata dell'innnevamento non potrà che riflettersi positivamente sul settore dei trasporti: la percorribilità invernale delle strade sarà più agevole e si ridurrà la fase di chiusura invernale dei passi del Grande e del Piccolo San Bernardo; vi saranno, inoltre, costi minori per lo sgombero della neve e la salatura dell'asfalto.

5) Valanghe: non è detto che diminuiscano

Attualmente non è possibile conoscere

con ragionevole affidabilità le conseguenze che il cambiamento climatico potrà avere sull'entità e sulla frequenza delle valanghe, fenomeno storicamente assai presente in una regione montuosa come la Valle d'Aosta, e che tanto ha influenzato lo sviluppo dei nuclei abitati, delle comunicazioni nelle valli laterali e la vita degli alpigiani in generale. Tuttavia, è possibile effettuare alcune considerazioni qualitative. Da un lato, l'aumento delle temperature ridurrà la durata dell'innnevamento invernale in montagna, con potenziale riduzione dell'incidenza valanghiva, ma è pur vero che dall'altro potrebbe favorire lo slittamento di masse nevose fortemente umidificate, o poggianti direttamente sul suolo per la mancanza di un manto preesistente (valanghe di fondo). Inoltre, se le precipitazioni invernali aumenteranno anche a Sud delle Alpi — come suggeriscono i risultati di molti modelli climatici — allora le neviccate abbondanti potrebbero addirittura divenire più frequenti in pieno inverno ad alta quota, oltre il limite superiore del bosco (> 1800÷2200 m), dove peraltro la morfologia del terreno è più favorevole al distacco di valanghe. Dunque, in un sistema così complesso, la semplice e intuitiva relazione *più caldo = meno neve = meno valanghe* potrebbe risultare tutt'altro che scontata e realistica... (AA.VV., 2003).

9. ALTRI EVENTI INTENSI

«Gli eventi estremi sono episodi durante i quali le condizioni del tempo deviano fortemente dalla media a lungo termine, ben oltre le fluttuazioni ordinarie per il luogo e la stagione. Questi fanno parte del clima di una regione e ne influenzano il paesaggio e le condizioni di vita».

(CHRISTOPH FREI, 2003)

Un'analisi difficile

Per evento meteorologico (o climatico) estremo si intende un fenomeno o un'anomalia rari, che deviano fortemente dalla media statistica, ma che non sono necessariamente legati a danni importanti.

Sembra che, a livello planetario, sia in corso un incremento di diversi fenomeni estremi, ma la loro distribuzione irregolare nel tempo e nello spazio, e l'insufficiente base statistica a disposizione, non consentono ancora di dimostrare oppure escludere scientificamente delle tendenze in atto nella loro frequenza/intensità, né di attribuirne la responsabilità a fattori naturali piuttosto che umani, oppure a un concorso dei due. L'analisi statistica degli eventi estremi è complicata dal fatto che l'«accumulo» casuale di eventi all'inizio o al termine di una serie di osservazione può indurre a identificare tendenze solo appa-

9.1 -
L'alluvione del 15.10.2000 a Gressoney-St-Jean (f. Studio Guindani). L'individuazione di tendenze in eventi estremi o rari è soggetta a delicati problemi di interpretazione statistica, e nel caso delle alluvioni è complicata dalla disomogeneità delle informazioni storiche e da alterazioni degli effetti indotte da variazioni nella vulnerabilità del territorio.





renti, che in realtà non esistono. Benché al momento non vi siano ancora solide prove scientifiche che consentano di attribuire questi eventi al cambiamento climatico, molti di questi possono essere esempi di ciò che in futuro potrebbe accadere più di frequente rispetto a oggi: «*a shape of things to come*»... per dirla con MARTIN BENISTON (2004). Eventi di questo tipo derivano da risposte complesse a diversi fattori, in modo tale che prevedere la loro reazione a un cambiamento dell'assetto climatico è molto difficile, inoltre gli effetti potranno essere assai diversi a seconda delle regioni del globo. In fondo, le catastrofi naturali da sempre fanno parte del territorio di montagna e della storia alpina, ma ora il timore è che la loro frequenza possa aumentare per il cambiamento climatico. Inoltre, non si dimentichi che la vulnerabilità del territorio

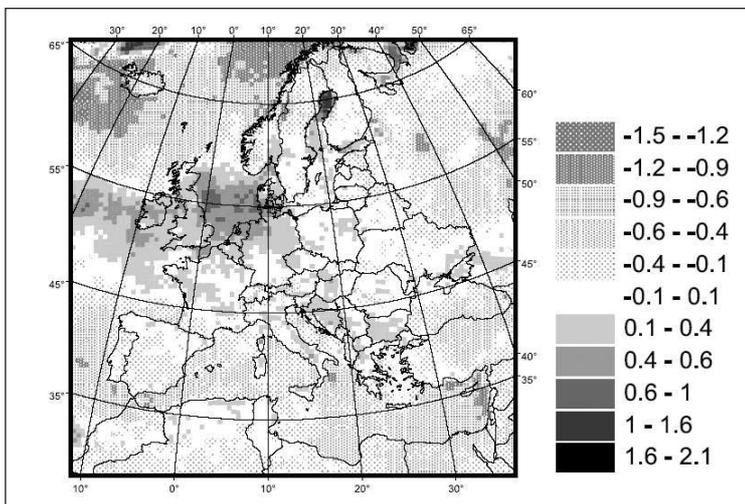
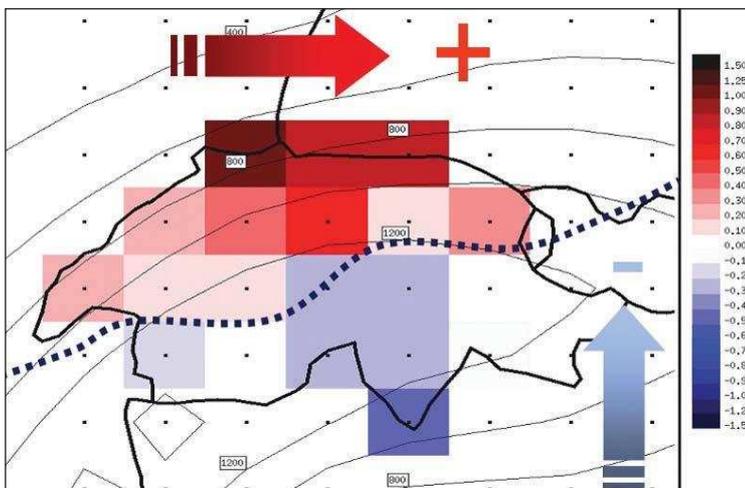
— accresciutasi negli ultimi decenni con l'urbanizzazione diffusa del fondovalle — è in grado di esaltare gli effetti di un fenomeno intenso. Per questo, almeno parte dell'incremento recente di danni da catastrofi climatiche potrebbe essere spiegata con l'aumento demografico e dei beni materiali nelle regioni esposte.

Le tempeste di vento: incertezze, pochi dati in Valle d'Aosta

Il 26 e il 28 dicembre 1999 anche la Valle d'Aosta ha risentito parzialmente del transito delle violente depressioni atlantiche «Lothar» e «Martin», sebbene con effetti ampiamente meno devastanti rispetto ad altri paesi europei — soprattutto Francia, Svizzera e Germania — dove le raffiche superiori a 200 km/h (241 km/h il 26 dicembre sull'Üetliberg presso Zurigo) hanno generato in totale 110 vittime (PANGALLO, 2002); nella sola Svizzera, i danni recati dalle due tempeste hanno raggiunto i 31 miliardi di franchi (AA.VV., 2003). L'entità di queste devastazioni ha riacceso il dibattito sulle eventuali tendenze in atto nei fenomeni meteorologici estremi, e sulla loro possibile evoluzione futura sull'Europa continentale e le Alpi. Studi statistici sulle depressioni atlantiche formatesi tra il 1958 e il 1999 hanno dimostrato come i sistemi deboli siano divenuti più rari e abbiano spostato la traiettoria più

9.2 - La piena del 24.09.1993 travolge il campeggio di Lillaz (Cogne), asportando alcune roulotte. Non di rado strutture turistiche come queste vengono allestite in posizione esposta ad esondazioni, senza tenere conto dei rischi connessi a situazioni meteo-climatiche straordinarie (f. V. Bertoglio).





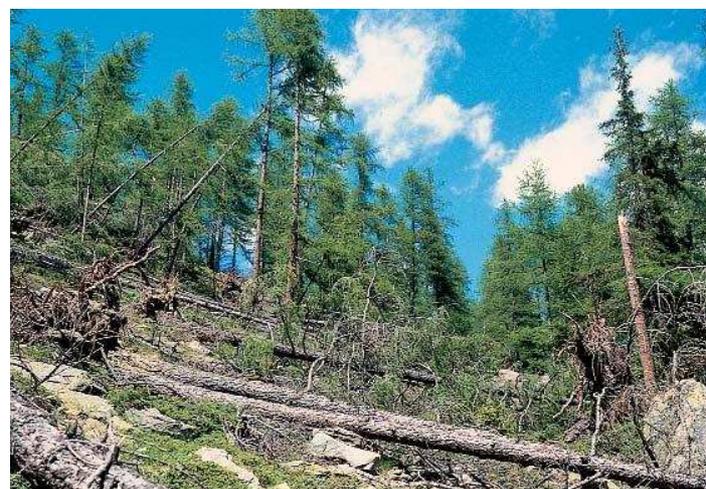
9.3 (in alto) - Variazioni nei regimi dei venti sulla Svizzera e le regioni attigue previste entro il trentennio 2071-2100. Il versante nord-alpino potrebbe risentire di una maggiore esposizione a tempeste invernali provenienti dall'Atlantico, mentre sul lato italiano della catena si osserverebbe un calo di frequenza dei flussi umidi mediterranei. Tale evoluzione potrebbe suggerire un possibile aumento dei casi di föhn da ovest molto mite in Valle d'Aosta. (fonte M. Beniston, Università di Ginevra, CH).

9.4 (qui sopra) - Variazioni previste della velocità massima giornaliera del vento nel periodo ottobre-aprile (m/s) riferita alla soglia del 95° percentile (raggiungimento nel 5% dei casi osservati). Previsione per il periodo 2070-2099, sulla base dello scenario A2a (IPCC-SRES / Hadley Center). Secondo questa analisi sarebbe da attendersi un incremento delle velocità specialmente tra Regno Unito, Mare del Nord, Germania e Francia, mentre per il versante sudalpino verrebbero segnalate perfino leggere diminuzioni (LECKENBUSCH & ULBRICH, 2004). Tuttavia si tenga presente la difficoltà dei modelli numerici nel distinguere segnali climatici dovuti a peculiarità geografiche locali, come ad esempio gli effetti di una catena montuosa. Per questo l'eventualità di un incremento dei venti di föhn sulla Valle d'Aosta, legato a un'intensificazione dei flussi tra Ovest e Nord-Ovest sulla regione alpina, è comunque da tenere presente.

9.5 (a lato) - Estesi stradicamenti di larici presso il Pian di Verra (alta Val d'Ayas) a seguito delle tempeste di föhn del 15 e 27 febbraio 1990 (f. L. Mercalli). Durante tali episodi ad Aosta si rilevò una massima raffica di 91 km/h, ma sulle creste alpine più esposte si superarono addirittura i 200 km/h, con una punta di 268 km/h al Gran San Bernardo (27 febbraio), tra i massimi sulle Alpi.

di frequente verso Nord, e come invece i sistemi intensi si siano rafforzati sull'Atlantico settentrionale, ma pure spostando la loro traiettoria verso settentrione. E in Svizzera nord-orientale il numero di giorni con forte vento è stato maggiore tra il 1880 e il 1930 che in seguito (AA.VV., 2003). Da queste informazioni dunque sembrerebbe che l'incidenza delle tempeste di vento sia diminuita negli ultimi decenni sulla regione alpina. Tuttavia i timori per un incremento futuro di tali fenomeni sono giustificati e realistici: molti modelli climatici segnalano come possibile un aumento dell'attività ciclonica sull'Atlantico Nord-orientale e in Europa occidentale durante il XXI secolo, e un incremento delle tempeste atlantiche invernali dai settori Ovest e Nord-Ovest sull'Europa centrale (BENISTON, 2004; LECKENBUSCH & ULBRICH, 2004) (fig. 9.3, 9.4).

In Val d'Aosta non esistono serie anemometriche sufficientemente longeve e affi-



dabili da consentire un'analisi statistica significativa alla ricerca di tendenze nella frequenza dei venti forti. All'aeroporto di St-Christophe il vento è misurato con buona continuità dal 1974, ma dal conteggio annuale dei giorni con raffica pari almeno alla forza 8 della *Scala Beaufort* (> 62 km/h) emerge un drastico calo a partire dagli Anni 1990, che fa sospettare piuttosto una netta disomogeneità nei dati (da valori di 40÷60 giorni/anno con raffica > 62 km/h si passa a meno di 5 negli anni più recenti, dopo il 1998).

Quanto all'incidenza futura del föhn in Valle d'Aosta, in assenza di simulazioni specifiche, si può soltanto argomentare — a livello indicativo e qualitativo — che un aumento delle burrasche atlantiche da Ovest sulle Alpi e l'Europa centrale potrebbe tradursi in una maggiore frequenza/intensità degli episodi. Il legame tra NAO e tempeste invernali sull'Europa centrale non è ancora stato dimostrato, tuttavia uragani come *Vivian* (27-28 febbraio 1990) e *Lothar* (26 dicembre 1999), causa di forti ondate favoniche in Val d'Aosta, si sono verificati in situazioni di NAO fortemente positiva (AA.VV., 2003), con apporto di aria mite oceanica responsabile di mitezza anomala, specie sul versante sottovento delle Alpi.

Poiché i modelli di simulazione prevedono in futuro un aumento delle situazioni di

NAO positiva, non è fuori luogo immaginare — in via cautelativa — un incremento dei casi invernali di föhn molto mite nei prossimi decenni.

Estremi di temperatura: onde di calore più frequenti, ma forti geli sempre possibili

Con l'aumento delle temperature medie, in futuro potranno aumentare di pari passo anche le temperature estreme. Come mostrato nei grafici 6.39 e 6.40 (p. 60), che rappresentano la dipendenza osservata tra temperature medie e massime estreme annuali, all'aumentare di 1 °C del valor medio, si nota un aumento di pari entità degli estremi massimi; affermazione solo in apparenza banale, poiché con il cambiamento climatico l'incremento della media potrebbe essere accompagnato anche da un incremento nella variabilità. Dunque, più grandi ondate di calura, e forse minore frequenza dei forti geli, che tuttavia rimarrebbero pur sempre possibili anche in un «mondo serra».

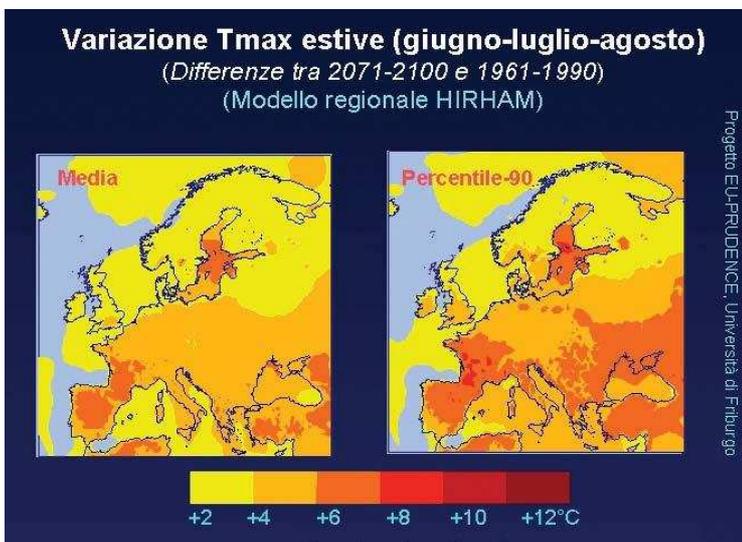
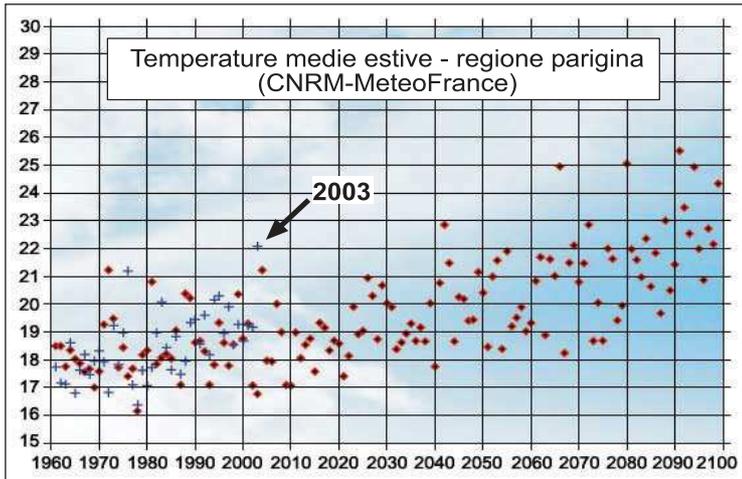
La straordinaria ondata di caldo del 2003 dà un'idea delle condizioni che potrebbero divenire più abituali specialmente nella seconda metà del XXI secolo (fig. 9.6), quando sull'Europa occidentale, all'interno dell'aumento di temperatura media, le ondate di caldo potranno divenire più intense, lunghe e frequenti (BENISTON & STEPHENSON, 2004; MEEHL & TEBALDI, 2004).

Estati con temperature medie massime tra 6 e 8 °C superiori a quelle normali del periodo 1961-90 potrebbero intervenire almeno un anno ogni dieci in media (fig. 9.7). Tale

evoluzione è confermata da una ricerca condotta da CNRM-Météo France, secondo cui stagioni estive canicolari come quella del 2003 potrebbero divenire ricorrenti verso la fine del XXI secolo (Fig. 9.6).

Precipitazioni intense e alluvioni: per ora nessun segnale in Valle d'Aosta. Ma attenzione in futuro

Sulle Alpi, incrementi significativi delle precipitazioni giornaliere intense durante il XX secolo sono stati osservati in autunno e inverno su vaste zone del versante nordalpino svizzero, dove pure le precipitazioni medie invernali sono aumentate del 20÷30% (AA.VV., 2003). Per contro, nessun segnale di cambiamento si intravede per ora sul lato meridionale delle Alpi, in Valle d'Aosta (cfr. cap. 7) come sul Canton Ticino. Tuttavia, è importante non sottovalutare la questione. Secondo FREI & al. (2006) proprio a partire dal 45° parallelo verso Nord si potrà avere in futuro un ulteriore aumento degli estremi di precipitazione invernale. Dunque, da un lato la prevista intensificazione del ciclo idrologico potrà — secondo i modelli climatici — scatenare un incremento delle precipitazioni intense e concentrate, dall'altro altri fattori potrebbero contribuire ad esacerbare gli effetti di forti scrosci anche di entità non così inusuale: si pensi alla caduta di precipitazioni liquide, conseguenti al riscalda-



9.6 (in alto) - Distribuzione prevista delle temperature medie estive nella regione di Parigi fino al 2100 (rombi rossi). La simulazione al computer (Modello Arpège-Climat, scenario IPCC-SRES A2) è stata condotta anche sul periodo passato 1960-2003, ottenendo dati coerenti con la situazione effettivamente osservata (crocette blu): questo conferma la bontà dell'analisi. La freccia indica la posizione del valore medio dell'estate 2003: si noti come in futuro, specialmente nella seconda metà del XXI secolo, valori di questo tipo - oggi eccezionali - potrebbero divenire assai più ricorrenti. (fonte: Dossier CNRM-Météo France, <http://www.cnrm.meteo.fr>)

9.7 (qui sopra) - Risultati del modello regionale HIRHAM, che indicano l'aumento delle temperature medie massime nel trimestre estivo previsto entro la fine del XXI secolo in Europa. In Valle d'Aosta sono attesi incrementi dell'ordine dei 4÷6 °C. Nel 10% degli anni potranno registrarsi temperature di 6÷8 °C superiori a quelle del trentennio di riferimento 1961-90. (cortesia M. Beniston, Università di Ginevra, CH)

9.8 - Lavori di ripristino sull'alveo del T. Prà Moulin, presso La Palud (Courmayeur), interessato da una colata torrenziale ad elevato carico solido la sera del 12.06.2003, quando un violento temporale con temperature elevate si abbattè sul Monte Bianco (28.06.2003, f. D. Cat Berro).

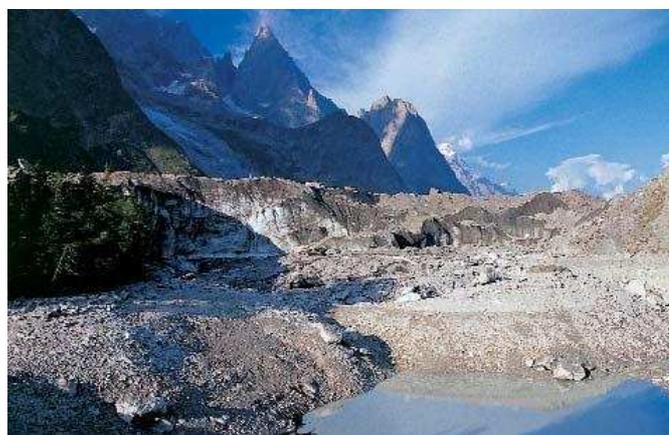


mento atmosferico, anche ad alta quota, e su terreni morenici sciolti e incoerenti, da poco liberati dai ghiacciai in regresso, potenziale luogo di innesco di colate detritiche o piene torrenziali ad elevato carico solido (fig. 9.8); oppure l'interferenza di

piene fluviali e dissesti con opere e infrastrutture di recente costruzione, che aumentano la vulnerabilità del territorio anche in assenza di una reale intensificazione fisica dei fenomeni atmosferici.

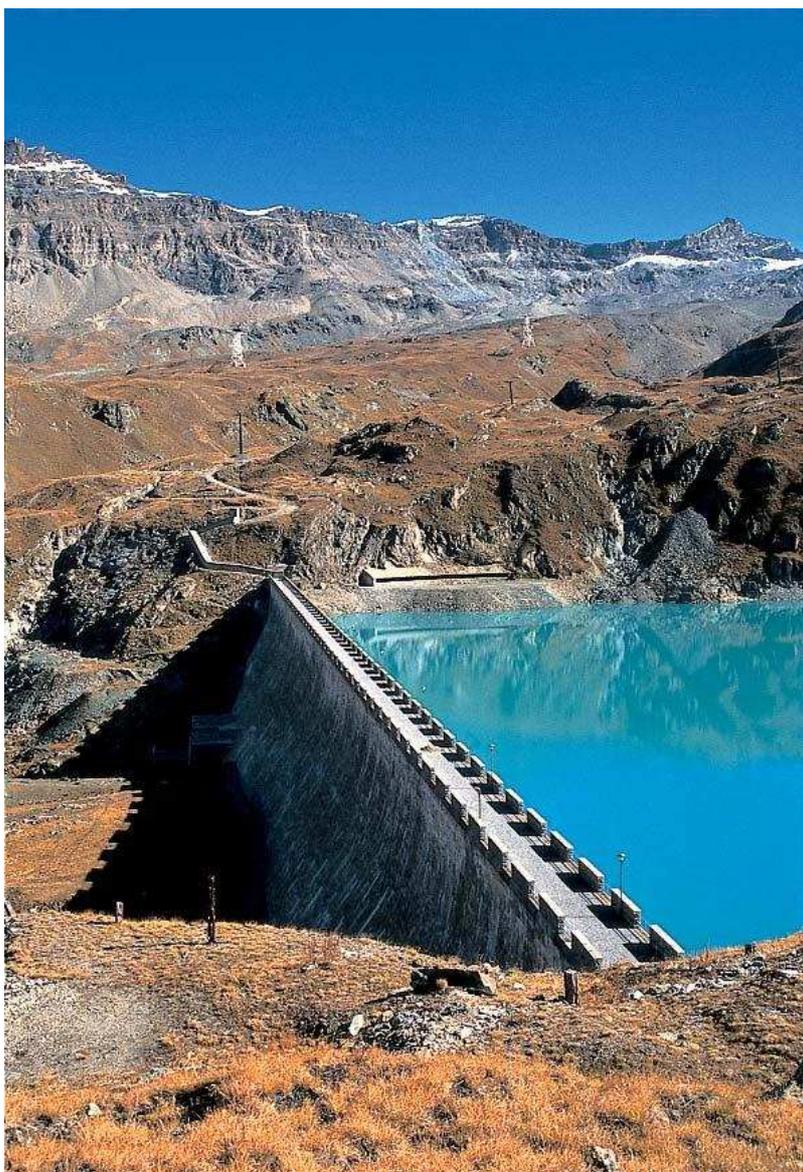
Anche l'individuazione di tendenze storiche nella frequenza delle piene è soggetta a delicati problemi di interpretazione statistica dei dati a disposizione, cui si aggiunge la difficoltà derivante dall'incompletezza delle fonti anteriori al 1700-1800, nonché a fattori economici e sociali che alterano gli effetti degli eventi sul territorio e ne modificano la percezione da parte della collettività.

A questo proposito, si sottolinea l'importanza di ristrutturare la rete di misura delle portate della Dora Baltea, unico strumento capace di fornire informazioni fisicamente omogenee nel tempo e nello spazio sull'evoluzione e la dinamica dei deflussi.



9.9 a, b - In una regione montuosa come la Valle d'Aosta sono da tenere presenti pure i rischi glaciali. Il riscaldamento atmosferico porta con sé soprattutto la formazione di molti nuovi laghi epiglaciali anche oltre i 3200-3500 m, suscettibili di improvviso svuotamento. Qui sopra, il lago del Miage visto il 12.08.1998, e dopo lo svuotamento di inizio settembre 2004 (05.09.2004, f. D. Cat Berro). Per conoscere gli eventi storici di instabilità glaciale in Valle d'Aosta si veda il sito del progetto europeo **GLACIORISK**, dove è consultabile la banca dati GRIDABASE: <http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr>.

Programmare, agire, adattarsi



La produzione di energia idroelettrica sarà in futuro determinante per venire incontro all'esigenza di ridurre le emissioni di gas a effetto serra in atmosfera. Qui sopra, il coronamento della diga del Gaillet, alta Valtournenche (f. L. Mercalli).



«C'è ancora tempo per evitare
un cambiamento climatico disastroso?

Sì, ma:

- 1) Lo scenario alternativo, benché praticabile,
attualmente non è perseguito.
- 2) E' necessario agire immediatamente: mantenere le
condizioni attuali per un altro decennio elimina la possibilità
di realizzare lo scenario alternativo.
- 3) La speranza: la gente deve informarsi e arrabbiarsi.»

JIM HANSEN, 2006

«E' più intelligente agire con prudenza oggi piuttosto che
domani, quando potremo essere certi di ciò che sta acca-
dendo, ma potrebbe essere troppo tardi.»

GIAN-RETO PLATTNER, OcCC (*Organe consultatif sur les
changements climatiques, Suisse*)

«Gli scienziati dibatteranno e faranno ricerche ancora per
decenni sulle cause esatte dei cambiamenti climatici.
Ma i decisori sono chiamati a prendere fin da subito
delle misure preventive.»

KATHY RIKLIN, OcCC (*Organe consultatif sur les changements
climatiques, Suisse*)

«Bisogna aggiungere un pollice verde alla mano invisibile
del mercato dell'economista Adam Smith.»

ERIC LAMBIN, 2004

10. COSA SI FA IN VALLE D'AOSTA

Nell'ambito dell'Amministrazione regionale valdostana, già oggi sono molte le attività — promosse e sostenute da svariate strutture regionali — volte a comprendere l'evoluzione dell'attuale cambiamento climatico e a valutarne gli effetti sull'ambiente e il territorio. Ecco una sintesi schematica delle attività sviluppate.

1) ARPA Valle d'Aosta/Direzione ambiente

- a) **Distribuzione potenziale del permafrost sul territorio regionale** e suo monitoraggio come indicatore del cambiamento climatico. Installazione di un sito di osservazione al Colle Nord di Cime Bianche (Cervinia); in collaborazione con l'Università degli Studi dell'Insubria di Varese e con la società Cervino S.p.A.
- b) **Progetto PERMADATAROC**, nell'ambito del Programma Interreg III A ALCOTRA Italia-Francia: caratterizzazione termica di pareti rocciose per lo studio delle instabilità (Cervino, Monte Bianco). In collaborazione con Fondazione Montagna Sicura, Università de Savoie-Laboratoire Edytem e CNR-IRPI di Torino.
- c) **Analisi morfo-strutturale e caratterizzazione termica di pareti rocciose** per lo studio delle instabilità di versanti recentemente deglaciati in Valle d'Aosta.
- d) **Monitoraggio del profilo termico di un sito d'alta quota** (Punta Helbronner).
- e) **Bilancio di massa del ghiacciaio Timorion** come indicatore del cambiamento climatico.
- f) **Stima della risorsa idrica nivo-glaciale in alta Valpelline**.
- g) **Progetto Interreg III A ALCOTRA «COGEVA-VAHSA»** (monitoraggio degli habitat caratteristici degli ambienti glaciali del M. Bianco).
- h) **Autorità di Bacino del Po: sistemi informativi e monitoraggio risorsa idrica**.
- i) **Progetto AWARE** (*A tool for monitoring and forecasting available water resource in mountain environment*): stima delle risorse idriche nivali.
- l) **Progetto REPHLEX**: immagini satellitari per l'analisi del ciclo fenologico della vegetazione.
- m) **Progetto GLORIA** (*Global Observations Research Initiative in Alpine Environments*): effetto dei cambiamenti climatici sulla vegetazione d'alta quota.
- n) **Monitoraggio della radiazione solare UV**.
- o) **Progetto Interreg III MEDOCC-Mercurio**: gestione sostenibile delle opere in pietra a secco.

2) **Fondazione Montagna Sicura - Direzione ambiente**

Attività della Cabina di Regia dei Ghiacciai Valdostani (CRGV), ente che riunisce i responsabili del Soccorso Alpino e delle Guide d'Alta Montagna, nonché referenti istituzionali quali il CGI (Comitato Glaciologico Italiano, il CNR e l'ARPA Valle d'Aosta).

- a) **Monitoraggio dei ghiacciai valdostani.**
- b) Costituzione di un **centro di documentazione sui ghiacciai regionali** presso la sede di Villa Cameron a Courmayeur.
- c) Iniziative di **aggiornamento e ricerca** sulle dinamiche glaciali e periglaciali.

3) **Progetti Interreg che coinvolgono la Direzione Ambiente**

- a) **Progetto Interreg III B Spazio Alpino «Climate change, impacts and adaptations strategies in the Alpine space»**, 2006-07. Obiettivo è la stima delle **conseguenze del cambiamento climatico sui rischi naturali**, per poter fondare efficaci decisioni a livello politico e amministrativo.
- b) Progetti Interreg III A in corso: **PRINAT, ROCKSLIDEDETECT, RISKHYDROGEO** (in collaborazione con ARPA e Fondazione Montagna Sicura).

4) **Servizio Operativo Protezione Civile - Ufficio Meteorologico**

- a) **Progetto Interreg III B «METEORISK»** - ZAMG Austria (Programma Spazio Alpino): collaborazione tra centri meteorologici delle regioni alpine; fornitura a ZAMG di alcune serie climatologiche valdostane rappresentative. **Previsione del rischio meteo a breve termine**, compilazione di una pagina internet per la segnalazione dello stato di rischio. www.meteorisk.info.
- b) **Progetto FORALPS / Politecnico Torino** (Programma Spazio Alpino): sviluppo e test di **miniradar portatile** in banda X per monitoraggio delle precipitazioni in montagna. <http://www.unitn.it/foralps>.
- c) Installazione di **«Synergie»**, sistema evoluto di ricezione e visualizzazione di dati meteorologici.
- d) Emissione del bollettino meteorologico tradizionale e, dal febbraio 2005, anche del **«Bollettino Vigilanza»**, prodotto destinato al Centro Funzionale della Regione per la stima delle precipitazioni nelle diverse aree di allertamento.
- e) **Bollettino speciale durante le ondate di calore**, in collaborazione con l'AUSL.

- 5) **Consolidato sistema di prevenzione degli incendi boschivi** nell'ambito dell'Assessorato Agricoltura e Risorse Naturali (CESTI, 1996, 1999).

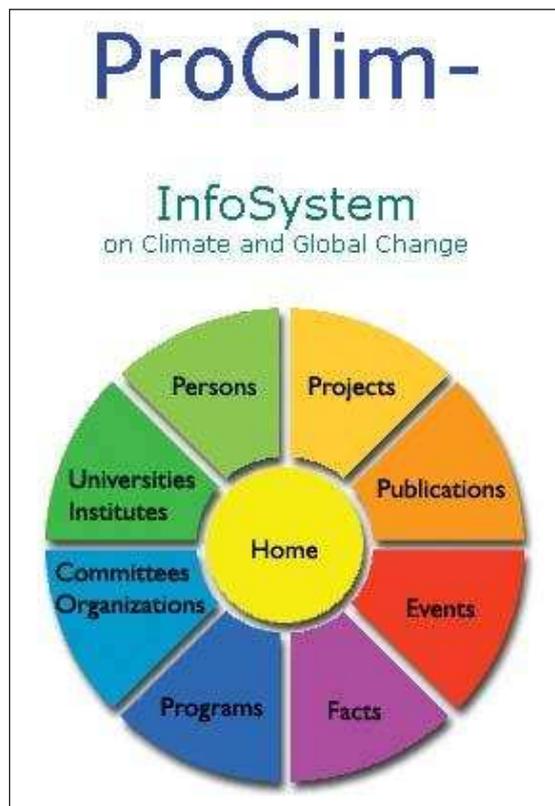


11. COSA FANNO GLI ALTRI

Il problema del cambiamento climatico è stato affrontato con grande impegno da molti paesi del mondo, in particolare quelli europei e nord-americani, sia a livello di ricerca scientifica, sia di divulgazione delle conoscenze verso il pubblico, anche con la diffusione gratuita di approfonditi rapporti scientifici o brochure sui vari temi del cambiamento climatico.

L'Italia, invece, non ha mai sviluppato una profonda e organica consapevolezza del problema, lasciando all'iniziativa di singoli istituti di ricerca o amministrazioni locali l'attività di ricerca e sensibilizzazione verso la cittadinanza, con il risultato di impedire la formazione di un'ampia e omogenea coscienza condivisa, alimentando invece confusione, dubbi e contraddizioni. Anche a livello politico, l'interesse per tali problemi è sempre stato episodico e frammentario.

La necessità di ottemperare ai vincoli imposti dal Protocollo di Kyoto è stata affrontata più a livello burocratico centrale che come obiettivo corale e coinvolgente l'intera struttura sociale, economica e produttiva del paese. Si illustreranno di seguito alcune iniziative rilevanti in

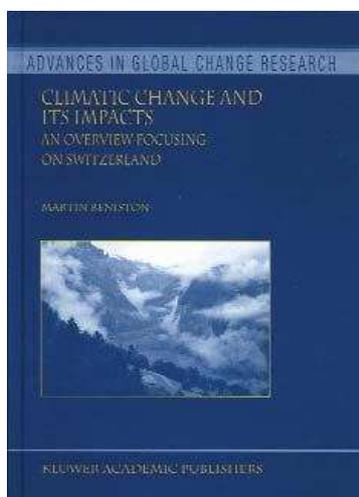


paesi di area francofona.

La **Svizzera** è sicuramente la nazione alpina che più ha preso in seria considerazione i problemi climatici. Nel 1996 il Dipartimento

Federale dell'Interno e il Dipartimento Federale dell'Ambiente, Trasporti, Energia e Comunicazioni ha costituito l'OcCC: *Organ Consultatif sur les changements climatiques*. Il mandato per la creazione di questo organo consultivo è stato affidato all'Accademia

La fondamentale opera di Martin Beniston (Università di Ginevra) «Climatic change and impacts - An overview focusing on Switzerland», la cui metodologia, essendo centrata sulla regione alpina, è stata seguita nella redazione di questo rapporto.





Svizzera di Scienze Naturali, affiancata in seguito dall'Ufficio Federale dell'Ambiente, Foreste e Paesaggio

(www.umweltschweiz.ch/buwal/fr/index.html). La

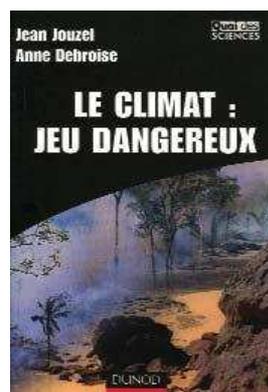


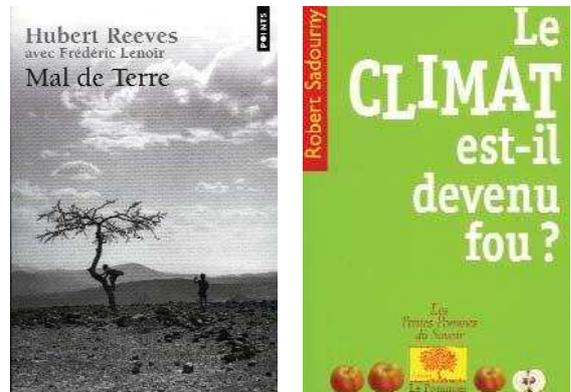
«climatico» NCCR-Climatic (www.nccr-climate.unibe.ch) da parte del Fondo Nazionale Svizzero per la Scienza (rete di

segreteria dell'OcCC è stata delegata a PROCLIM (www.proclim.ch), il forum sul clima e il cambiamento globale che ha unito e creato sinergie tra le realtà scientifiche elvetiche. L'idea di questa struttura è stata quella di sollecitare un dialogo continuo tra il settore della ricerca scientifica, quello economico e l'amministrazione federale, al fine di elaborare strategie e soluzioni ai problemi del cambiamento climatico. L'OcCC funziona come una cerniera tra scienza, autorità federali e cantonali, e il pubblico. E' stato perfino costituito un gruppo parlamentare sul cambiamento climatico, nonché il centro di competenza nazionale «Variabilità climatica, predicibilità e rischio

gruppi di ricerca delle Università di Berna, Friburgo, Ginevra, ETH Zurigo, varie agenzie federali, e la compagnia di reassicurazione SwissRe).

Da segnalare l'utile pagina dedicata alla protezione dalle piene sul sito dell' Ufficio Federale dell'Ambiente (www.bwg.admin.ch/themen/natur/i/hws.htm), la rete CENAT - Centro di Competenza Pericoli Naturali (www.cenat.ch), e la Piattaforma Nazionali Pericoli Naturali - PLANAT (www.planat.ch). Ha sede in Svizzera, a Berna, anche la comunità scientifica «PAGES» (Past Global Changes), un gruppo di ricerca fondato nel 1991 dall'International Geosphere Biosphere Program (IGBP), e



In **Francia** si assiste a una grande vivacità culturale nel settore del clima, che si esprime in particolare con la pubblicazione di numerosissimi titoli, sia per specialisti, sia rivolti al grande pubblico, in continuo aggiornamento. Dal punto di vista governativo, l'impegno per lo studio dei cambiamenti climatici è portato avanti, in particolare, da organismi del CNRS e dai centri di calcolo di Météo France, con una responsabile azione informativa proposta da orga-

finanziato da USA-NOAA e dal Fondo Nazionale Svizzero (www.pages-igbp.org).

Per una visione generale delle attività in campo climatologico in Svizzera è anche disponibile il portale www.climate-change.ch.

Ruolo attivo nella previsione degli eventi meteo-climatici è infine svolto dall'Ufficio Federale di Meteorologia e Climatologia, www.meteosvizzera.ch.





Environnement Canada / Environment Canada

Canada

English	Contactez-nous	Aide	Recherche	Site du Canada
Quoi de neuf À notre sujet	Thèmes	Publications	Météo	Accueil
La nature de l'eau	Politiques et lois relatives aux eaux	La gestion de l'eau	L'eau et la culture	Ressources et services d'information

[La neige et la glace](#) [Les cours d'eau](#) [Les lacs](#) [Les terres humides](#)
[L'eau et le climat](#) [Les eaux souterraines](#) [Les propriétés de l'eau](#)
[Le pergélisol](#) [Les écosystèmes aquatiques](#) [Les sédiments](#)

Site Web sur l'eau douce

Liens éclairés
 Index des mots-clés
 Allez

ni governativi (www.ecologie.gouv.fr/sommaire.php3; www.effet-de-serre.gouv.fr). Si è, tra l'altro, costituita anche una rete delle associazioni attive nel campo del cambiamento climatico (*Réseau d'Action Climat France*, www.rac-f.org).

Environnement Canada / Environment Canada

Canada

English	Contactez-nous	Aide	Recherche	Site du Canada
Quoi de neuf À notre sujet	Thèmes	Publications	Météo	Accueil

Changements climatiques

Le gouvernement du Canada est déterminé à élaborer et à mettre en œuvre un plan spécifiquement canadien pour réduire les gaz à effet de serre et assurer à la population canadienne de l'air, de l'eau, des sols et de l'énergie propres. L'approche canadienne sera efficace et réaliste. Elle misera sur des réductions durables de nos émissions tout en assurant la vitalité de notre économie. Le gouvernement adoptera des solutions qui auront des avantages environnementaux concrets pour le pays et qui amélioreront notre capacité de commercialiser de nouvelles technologies sur le marché international.

In **Canada** l'aspetto più rilevante della politica di ricerca e informazione sui cambiamenti climatici è una forte connotazione governativa nei settori della ricerca e dell'educazione dei cittadini, effettuata ad ampio raggio in maniera capillare ed estremamente omogenea attraverso la struttura di *Environment Canada* (www.ec.gc.ca). Il vantaggio di tale impostazione consiste nella creazione di una solida fiducia nelle strutture dello Stato e in una diffusione di informazioni chiare e condivise.

Environnement Canada / Environment Canada

Canada

English	Contactez-nous	Aide	Recherche	Site du Canada
Quoi de neuf À notre sujet	Thèmes	Publications	Météo	Accueil

Passons à l'action

Air Changement climatique Les faits Transport Bénévoles Eau

Les petits changements font de grandes différences

Vous êtes une personne influente ! Ce que vous faites peut aider à assainir l'air et à économiser l'énergie. Vous pouvez conserver l'eau et l'énergie et prévenir la pollution.

Le site Web *Passons à l'action* est un endroit où vous trouverez des renseignements et des conseils qui vous aideront à agir de manière à rendre l'environnement plus propre et plus sain.

Ce site regroupe divers conseils destinés à vous inciter à prendre des mesures écologiques dans votre vie de tous les jours. Ces conseils concernent des endroits particuliers (votre maison, votre école et plus) et sont classés en fonction de sujets précis (le changement climatique, l'eau, l'air, etc.)

VOUS-MÊME pouvez faire une différence ! Et dès maintenant !

Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada

English	Contactez-nous	Aide	Recherche
Accueil	Carte du site	Version texte	Version imprimante
Liens			

OFFICE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

L'Office de l'efficacité énergétique (OEE)

Nous aimerions vous montrer comment économiser l'énergie, réduire les émissions de gaz à effet de serre qui contribuent aux changements climatiques et économiser de l'argent à la maison, au travail et sur la route.

Énergie consommée à des fins personnelles

Secteur résidentiel : Habitation, électroménagers et équipement

Secteur des transports: Achat d'un véhicule, conduite du véhicule, carburants de remplacement

12. INFORMARE LOCALMENTE

«Lo studio dei rischi climatici necessita di un'ampia apertura di pensiero, che permette di considerare con serenità e molta prudenza i fatti, fisici e umani, i ragionamenti, le idee, e — con distacco — gli interessi non scientifici che possono affermarsi». (DENIS LAMARRE, 2005).

Creare consapevolezza e sconfiggere l'allarmismo

L'informazione è un elemento fondamentale per creare le condizioni di un corretto approccio ai cambiamenti climatici e

alle azioni conseguenti per ridurli, mitigarli o adattarsi. Troppo spesso l'informazione scientifica è superficiale/contraddittoria oppure, incomprensibile/complexa. Le reazioni divengono così, il più delle volte, quelle dell'allarmismo temporaneo o dell'indifferenza. Entrambe queste reazioni hanno un denominatore comune: non producono alcun miglioramento o atto concreto apprezzabile nel quadro della prevenzione delle possibili crisi. Ciò di cui si ha bisogno è invece un vero e proprio processo educativo, che

12.1 -
L'informazione e l'educazione del pubblico è di fondamentale importanza per far nascere la consapevolezza sul problema del cambiamento climatico e sulla necessità di una sua mitigazione.

A lato, lezione su meteorologia e clima rivolta ai turisti al Colle del Nivolet, Valsavarenche, nel quadro delle iniziative culturali del Parco Nazionale Gran Paradiso (f. D. Cat Berro).



formi una consapevolezza serena, fornisca alcuni strumenti critici, mantenga un'attenzione costante all'argomento, traducendosi infine in scelte quotidiane accettate e condivise con naturalezza, nonché nella capacità di riconoscere immediatamente i rari momenti di emergenza, assumendo comportamenti appropriati e positivi.

Cosa fare in Valle d'Aosta?

La dimensione geografica e demografica della regione valdostana può costituire un vantaggio e un privilegio per sperimentare forme di comunicazione e formazione efficaci verso i propri cittadini.

La prima fase è quella dell'informazione, attuabile con:

- incontri pubblici a livello comunale;
- distribuzione di sintetiche brochures dalle quali si evinca l'esistenza del problema climatico e si propongano i principali ambiti di intervento, con l'indicazione delle fonti di approfondimento;
- costituzione di una sezione del sito web regionale contenente ciò che si sa sul cambiamento climatico, gli aggiornamenti a scala mensile di quanto accade, con ampio uso di materiale grafico, in modo da avere sempre il polso della situazione, e i suggerimenti o le norme dell'Amministrazione per affron-

tare i nuovi problemi. Una sorta di *vademecum* del cambiamento climatico locale;

- salvaguardare e diffondere la memoria della storia climatica locale (alluvioni, valanghe.), in grado di costituire un punto di riferimento anche per quanti si muovono sul territorio privi di una conoscenza a lungo termine come quella di chi vi è radicato da generazioni.

La seconda fase è quella dell'azione, tramite proposte di leggi o attuazione di processi volti a mettere in pratica quanto ormai recepito da parte della cittadinanza. In questo ambito è opportuno non dimenticare anche la popolazione turistica, la quale, pur frequentando occasionalmente la *Vallée*, deve poter trovare sempre un «clima» di fiducia, una visione che un organo tecnico preparato e lungimirante veglia sulle proprie vacanze in modo trasparente, comunicando scelte e criticità. Lo strumento della pagina web si conferma come quello principale per la diffusione delle informazioni, coadiuvato da una campagna di pubblicizzazione sugli altri mezzi di promozione turistica.

13. PROGRAMMARE E AGIRE

«Le strategie e le decisioni intraprese per la riduzione dell'inquinamento, del cambiamento climatico, della deforestazione e della desertificazione potranno costituire un'opportunità e una sfida sia per il settore privato sia per quello pubblico. Una serie di reazioni nazionali e internazionali accuratamente individuate e mirate alla mitigazione, all'adattamento e al miglioramento delle conoscenze può ridurre i rischi posti dai cambiamenti ambientali alle risorse idriche e ai rischi naturali».

(MARTIN BENISTON, 2005)

L'impianto fotovoltaico di potenza 60 kWp installato presso gli uffici della Compagnia Valdostana Acque a Châtillon, ottimo esempio che concilia una gradevole soluzione architettonica con lo sfruttamento delle risorse energetiche rinnovabili (cortesia CVA SpA).

Il problema del cambiamento climatico e della conseguente riduzione di emissioni di gas climalteranti pone un'enorme sfida all'attuale assetto economico della società umana. Infatti, da un lato la riduzione delle



www.urmwelt-schweiz.ch/buwal/it

emissioni passa attraverso gli stili di vita individuali, con la riduzione dei consumi e l'aumento dell'efficienza, dall'altro, via via che le variazioni climatiche si riveleranno, sarà necessario assecondarle e mettere in pratica tutte le possibili strategie di adattamento per limitare i danni. Pertanto risulta fondamentale, accanto all'informazione e all'educazione della cittadinanza, **avviare un serio processo di confronto e di condivisione con le realtà produttive locali** che porti all'elaborazione di normative, incentivanti e/o cogenti, per l'introduzione di buone pratiche, e disincentivanti per i processi energivori e dissipativi nei confronti delle risorse non rinnovabili. Pur nella complessità





La campagna svizzera «Minergie» dell'Office Fédéral de l'Énergie (OFEN) è volta alla diffusione di soluzioni edilizie ad alto rendimento energetico, in analogia con quanto la Provincia Autonoma di Bolzano ha intrapreso con il Progetto CasaClima. www.minergie.ch.

di tale scenario, si rammentano di seguito i principali ambiti di azione, ricordando che i tempi di attuazione di tali strategie e l'ottenimento dei primi risultati sono talora lunghi, e pertanto **è assolutamente indispensabile iniziare questo cammino nel più breve tempo possibile**, come del resto già fanno da decenni i paesi a Nord delle Alpi.

Risparmio energetico

E' il primo passo per abbattere i consumi e quindi le emissioni di gas a effetto serra. I **margini di azione sono ampi, in genere valutati attorno al 30÷40%**, un risultato di gran lunga più importante di qualunque altra azione percorribile a breve termine.

Il risparmio energetico non è una strategia perdente, anzi, oltre ai benefici effetti sull'ambiente e sul clima può creare nuovi posti di lavoro e costituire un elemento di sicurezza in un futuro nel quale l'approvvigionamento energetico si farà via via più incerto e costoso. In Italia, l'esempio da seguire è la Provincia Autonoma di Bolzano,

che ne ha fatto un fiore all'occhiello e una procedura standardizzata ed emulata a livello nazionale. In accordo a quanto realizzato nell'ambito del Progetto CASACLIMA (www.provinz.bz.it/umweltagentur/2902/klimahaus/index_i.htm) vi sono pure le iniziative svizzere MINERGIE (www.minergie.ch) e COSTRUIRE BENE (www.costruire-bene.ch). In questi casi, la proposta è quella di **giungere a fabbisogni energetici dell'ordine di 70÷80 kWh/m² anno per edifici già esistenti**, tramite il miglioramento dell'isolamento termico di pareti e soffitti, la sostituzione degli infissi, caldaie più efficienti, ed a **valori inferiori a 40 kWh/m² anno per gli edifici di nuova realizzazione**, fino alla possibilità di un impiego non superiore a **15 kWh/m² anno per la tecnologia della casa «passiva»**. Un attuale edificio in Valle d'Aosta, non particolarmente curato sotto il profilo termico, può avere un dispendio di circa **250 kWh/m² anno!** Questo può dare un'idea degli straordinari margini di azione possibili. Significativo è anche il fatto di come la normativa svizzera per il risparmio energetico consiglia ormai la sostituzione dei vetri doppi con vetri tripli a bassa emissività, mentre in Valle d'Aosta è ancora comune trovare gran parte degli edifici con infissi a vetro semplice. Anche l'incentivo di **metodi di illuminazione a risparmio energetico** può far raggiungere ulteriori importanti risparmi nell'uso dell'energia elettrica (sostituzione delle lampade a

5689 edifici sono stati certificati MINERGIE®, 79 MINERGIE-P®. Superficie utile riscaldata: 5,01 Mio m² in edifici nuovi e rinnovati.

MINERGIE®
 MANIFESTAZIONI
 DOCUMENTI PRINCIPALI
 LISTA EDIFICI
 GALLERIA DI IMMAGINI
 MERCATO
 PORTALE DEGLI INDIRIZZI
 MODULI
 FAQ

Maggiore qualità di vita, minore consumo d'energia
 Mehr Lebensqualität, tiefer Energieverbrauch

I nostri partner:
 svizzera energia partner
 RAIFFEISEN
 costruire-bene.ch

Nel nostro portale degli indirizzi trovate gli specialisti MINERGIE® della vostra regione! In questa bianca dati sono raccolti tutti i recapiti significativi riguardanti il tema MINERGIE®.

MARCHIO STANDARD MERCATO SERVIZI CONTATTI



incandescenza con quelle fluorescenti).

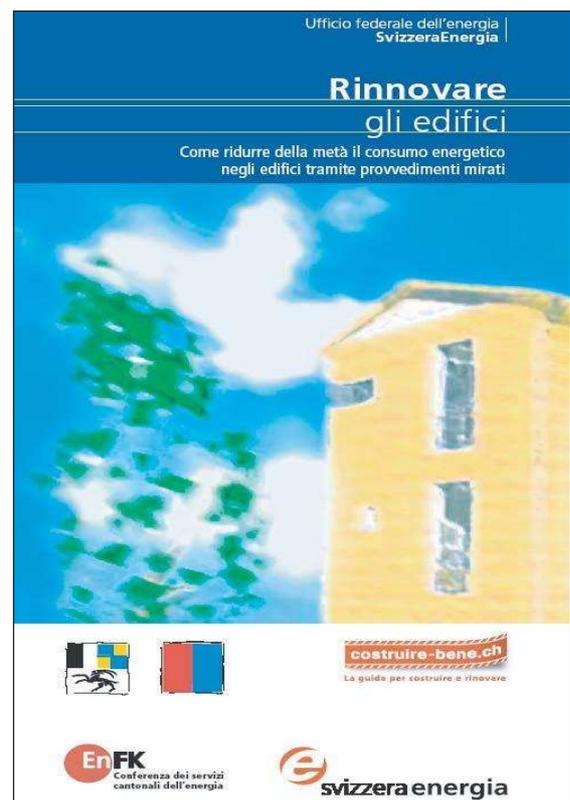
La Svizzera ha sicuramente il primato per l'ampiezza delle azioni intraprese sul risparmio energetico domestico, che porta avanti attraverso il programma «SvizzeraEnergia», programma cooperativo per l'efficienza energetica e le energie rinnovabili (www.svizzeraenergia.ch). SvizzeraEnergia gode di un finanziamento pubblico federale e cantonale di circa 80 milioni di franchi dall'anno, e di una somma simile proveniente dal settore privato, tuttavia genera progetti energetici sui quali viene investita una somma pari a 800 milioni di franchi all'anno. A dispetto dei luoghi comuni, fantasia e creatività non mancano agli svizzeri, che hanno saputo creare campagne di sensibilizzazione di grande impatto fino alla proposta di messaggi pubblicitari patrocinati dall'ente federale e rivolti alle industrie che operano nel settore.

La Regione Valle d'Aosta si sta dotando di un piano energetico regionale, che sarà

una valida base per sviluppare progetti di risparmio ed efficienza energetica, in analogia a quanto ormai operativo da decenni in Svizzera.

Energie rinnovabili

Al di là del potenziale idroelettrico, già ampiamente sfruttato in Valle d'Aosta, e di quello eolico, scarsamente sfruttabile per le velocità medie del vento troppo basse — anche nel settore di valle soggetto alle vivaci brezze diurne — **il potenziale di gran lunga più promettente è quello dell'energia solare, termica e fotovoltaica.** Un'opportuna politica di incentivazione potrà favorire l'impianto dei dispositivi per la produzione di acqua calda sanitaria o, per



integrazione, da riscaldamento, e quelli di produzione fotovoltaica di energia elettrica. La Compagnia Valdostana Acque del resto ha già recepito tale opportunità installando sulla propria sede di Châtillon un impianto da 60 kW di picco che rappresenta anche una gradevole soluzione architettonica. In ambito svizzero, si segnalano ancora l' *Agenzia per le energie rinnovabili e l'efficienza energetica* (www.rinnovabili.ch), e il Centro di informazioni sull'energia solare (www.swissolar.ch).

La Svizzera è tra i paesi più all'avanguardia nel risparmio energetico. Ecco uno slogan di SvizzeraEnergia per la promozione della coibentazione dei tetti. La differenza non si vede... ma c'è! E la differenza con le pressoché inesistenti politiche di educazione promozione e incentivazione appena oltre il confine, è pure abissale...

Trasporti

Da solo il sistema dei trasporti contribuisce a circa un terzo delle emissioni di gas serra (il 35% in Svizzera, WOKAUN A., in AA.VV., 2002). E' necessario promuovere la razionalizzazione degli spostamenti, la scelta di vetture di piccole dimensioni a basso consumo, il potenziamento dei trasporti pubblici e l'educazione del pubblico al loro utilizzo. Utili pure le limitazioni di velocità e al traffico cittadino, nonché pianificazioni urbanistiche

favorevoli a pedoni e ciclisti.

Ottimizzazione dell'uso dell'acqua

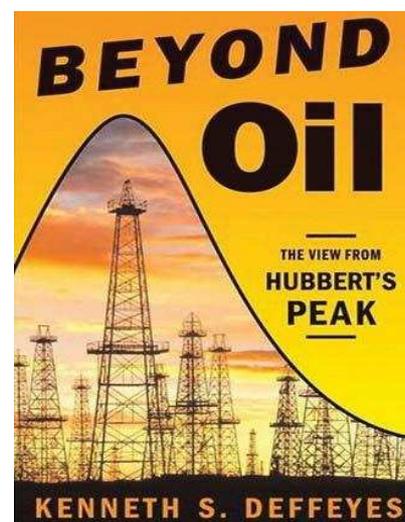
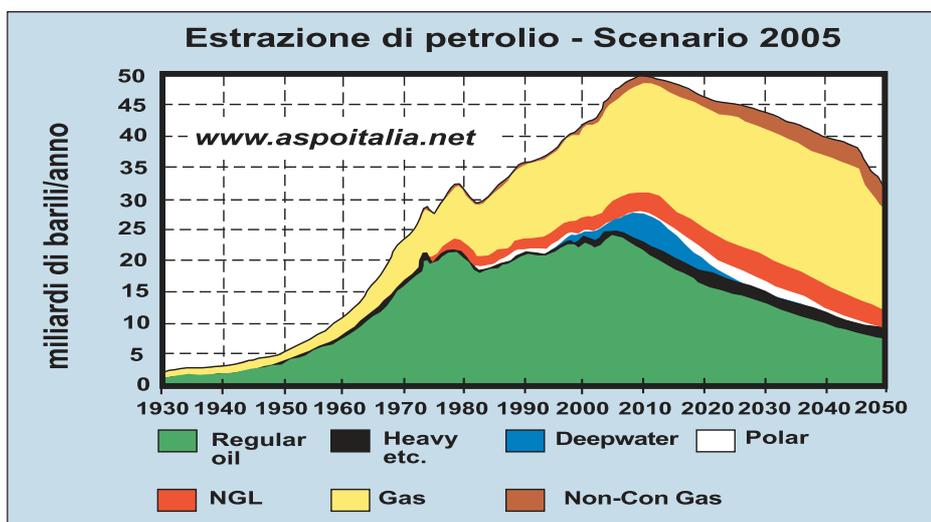
Come indicato nel cap. 7, per ridurre l'uso di acqua potabile, per l'irrigazione di orti e giardini, lavaggio auto o impieghi simili, sarebbe opportuno favorire la diffusione di cisterne domestiche per l'accumulo dell'acqua piovana, quantomeno negli edifici di nuova costruzione.

Gestione dei rifiuti

Ogni rifiuto costituisce un elemento dissipatore di energia ed emettitore di gas climalteranti, sia nella fase di produzione, sia in quella di trasporto, che di smaltimento.

Anche i rifiuti devono essere mobilitati con mezzi che consumano combustibili fossili, e la parte organica di questi, qualora conferita in discarica senza trattamento, libera metano, potente gas a effetto serra. Oltre a portare avanti un incisivo programma di riduzione e di riciclo dei rifiuti, è importante favorire la differenziazione della frazione organica, al fine di **diffondere il più possibile la pratica del compostaggio domestico**, che — in un territorio come quello valdostano in cui dominano le abitazioni familiari — può validamente contribuire alle necessità del ciclo produttivo di giardini e orti; solo le zone più urbanizzate, con grandi condomini, avrebbero la necessità del trasporto in impianti di compostaggio.





Kenneth Deffeyes: un valdostano tra i teorici della fine del petrolio

Il declino delle riserve petrolifere determinato dai massicci prelievi dell'ultimo secolo - e di recente anche dal grande sviluppo economico dei paesi asiatici - porterà probabilmente entro brevissimo termine a raggiungere il «Picco di Hubbert», vale a dire il massimo della curva di estrazione, previsto intorno al 2007-2008 (www.aspoitalia.net). Questo sarà seguito da un calo di produzione e verosimilmente da un aumento dei prezzi causato dal divario tra la crescente richiesta dei paesi industrializzati e in via di sviluppo e le minori potenzialità estrattive. La riduzione della disponibilità di combustibili fossili, non solo petrolio ma anche carbone e gas, imporrà in tempi brevi una revisione del modello di sviluppo economico, un abbattimento dei consumi e l'aumento di produzione energetica da fonti rinnovabili (specialmente energia solare e biomassa, nel caso valdostano). Tra i ricercatori che hanno studiato l'esaurimento delle risorse petrolifere mondiali, figura pure il geologo di origine valdostana (Etroubles) KENNETH DEFFEYES, professore emerito all'Università di Princeton (New Jersey), autore del libro «Beyond the oil» (Dopo il petrolio).

Economia di filiera corta

Ogni prodotto trasportato su lunga distanza emette CO₂. E' necessario diffondere l'abitudine di **utilizzare quanto più possibile generi prodotti a breve distanza**, in particolare quelli alimentari, che possono tra l'altro garantire la sopravvivenza dei settori agricoli tipici. Anche in altri comparti commerciali si può fornire un segnale forte, come, ad esempio, nel campo delle **acque minerali da tavola**: non è raro, sulle tavole dei ristoranti valdostani, veder servire bottiglie di acqua che arrivano dalla pianura veneta o addirittura dall'Appennino Centrale! Su un percorso di circa 800 km, ogni bottiglia d'acqua ha un carico di emissione dell'ordine dei 70 g di CO₂. Se, invece, si scegliesse-

ro acque ampiamente disponibili sul mercato locale, che percorrono distanze di poche decine di chilometri, oltre che un beneficio economico, si avrebbe anche una riduzione dell'emissione di gas a effetto serra. Questa potrebbe essere un'occasione per proporre una politica concreta ad elevato valore simbolico, dove le amministrazioni pubbliche potrebbero concertare, insieme con i ristoratori e i distributori, un programma di razionalizzazione dei consumi a basso impatto ambientale. Questo sarebbe solo l'inizio, se si pensa che vi sono paesi ormai molto più avanti, come la Danimarca, che ha vietato l'utilizzo delle latine di alluminio, o la Germania, che scoraggia in tutti i modi l'uso di bottiglie di pla-

stica a perdere, promuovendo il consumo di bottiglie di vetro a rendere.

Turismo sostenibile

Puntare sulla qualità e non sulla quantità può sembrare uno slogan ormai banale, invece per i territori alpini è sempre più un imperativo. La fragilità dell'ecosistema, i nuovi scenari climatici, lo spazio fisico ridotto, rendono fondamentale quantificare delle **soglie massime di carico antropico** — con i relativi rifiuti ed emissioni — da non superare al fine di non compromettere i caratteri di qualità del territorio sui quali si basa la tenuta a lungo termine di tale sistema economico.

Emissione di CO₂ e Protocollo di Kyoto

Il Protocollo di Kyoto è entrato in vigore il 16 febbraio 2005, e **vincola l'Italia a diminuire del 6.5% il proprio carico emissivo rispetto a quello del 1990** entro il periodo 2008-12; tuttavia, la mancata applicazione di una politica energetica nazionale, ha fatto sì che negli ultimi anni le emissioni non solo non siano diminuite, ma addirittura siano costantemente cresciute (+12% nel 2004 rispetto al 1990, EEA, 2006) al punto che oggi il raggiungimento dell'obiettivo richiederebbe la riduzione di circa il 18%. **Nel 2003 l'Italia emetteva circa 570 milioni di t di CO₂ equivalente, pari a un'emissione pro capite di 9.8 t** (fonte: UNFCCC).

Nonostante la rilevante produzione idroelettrica (attorno a 2800 GWh/anno), la Valle d'Aosta dipende ancora fortemente dai combustibili fossili, e soltanto per il comparto dell'energia elettrica risulta autosufficiente: il consumo regionale complessivo di elettricità nel 2003 è stato di 942.5 GWh (fonte: ISTAT), pari al 33% della produzione idroelettrica CVA del medesimo anno. Ma FRASSY (2006) calcola per l'anno 2000 un consumo lordo regionale — comprensivo di tutti i fabbisogni civili, industriali e di mobilità — pari a 4790 GWh, che porta dunque il carico emissivo **attorno alle 9 t/CO₂ pro-capite**, valore non distante dal carico medio nazionale (9.8 t CO₂ pro-capite). È opportuno rilevare che da un punto di vista dei consumi elettrici relativi per uso domestico, l'utente medio valdostano si colloca comunque in testa alla classifica dei consumi nazionali, con 1528 kWh/anno pro capite (la media italiana è di circa 1100 kWh/anno pro capite), probabilmente anche a causa del rigido clima invernale. Attualmente l'84% dei fabbisogni energetici regionali è coperto dai combustibili fossili; del restante 16% assicurato dalle fonti rinnovabili, soltanto lo 0.0003% deriva dal fotovoltaico, tecnologia che — opportunamente sviluppata — garantirebbe interessanti margini di autonomia dai combustibili fossili e un minore impatto sul clima.

14. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2002 - *Le climat change. En Suisse aussi. Les points principaux du troisième rapport du GIEC sur l'état des connaissances, du point de vue de la Suisse*. OcCC, Organe consultatif sur les Changements Climatiques. Berne.
- AA.VV., 2003 - *Evénements extrêmes et changements climatiques*. OcCC, Organe consultatif sur les Changements Climatiques. Berne.
- AA.VV., 2003a - *Atlante Climatico della Valle d'Aosta*. SMS, Torino. 416 pp.
- AA.VV., 2004 - *Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment*. EEA report 2/2004. European Environment Agency, Copenhagen. www.eea.eu.int.
- AA.VV., 2005 - *ATEAM project - Final report 2004*. Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam.
- AA.VV., 2006 - *Temperature trends in the lower atmosphere. Steps for understanding and reconciling differences*. U.S. Climate Change Science Program.
- AA.VV., 2006a - *Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 Years*. Committee on Surface Temperature Reconstructions for the Last 2,000 Years, National Research Council. 196 pp.
- ABLER D., SHORTLE J., ROSE A., OLADOSU G., 2000 - *Characterizing regional economic impacts and responses to climate change*. Global and Planetary Change, vol. 25(1-2):67-81.
- APAT, 2006 - *Annuario dei dati ambientali. Estratto edizione 2005-2006*. SISTAN, Sistema Statistico Nazionale.
- ARNELL N., LIU C., 2001 - *Hydrology and water resources*. In *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, MCCARTHY J.J., CANZIANI O. F., LEARY N. A., DOKKEN D. J., WHITE K.S. (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, pp. 191-233.
- AUER I. & al., 2005 - *Histalp - Historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region 1760-2003*. Int. J. of Climatology.
- AUER I., BOEHM R., JURKOVIC A., ORLIK A., POTZMANN R., SCHOENER W., UNGERSBOECK M., BRUNETTI M., NANNI T., MAUGERI M., BRIFFA K., JONES P., EFTHYMIADIS D., MESTRE O., MOISSELIN J-M, BEGERT M., BRAZDIL R., BOCHNICEK O., CEGNAR T., GAJIC-CAPKA M., ZANINOVIC K., MAJSTOROVIC Z., SZALAI S., SZENTIMERY T., MERCALLI L., 2005a. *A new instrumental precipitation dataset for the greater alpine region for the period 1800-2002*. Int. J. of Climatology 25:139-166.
- BARETTI M., 1879 - *Studi geologici nelle Alpi Graie Settentrionali*. R. Acc. Lincei, a. CCLXXVI, 104 pp.
- BENISTON M., DIAZ H.F., BRADLEY R.S., 1997 - *Climatic change at high-elevation sites: an overview*. Climatic Change 36:233-251.
- BENISTON M., 1997 - *Variations of Snow Depth and Duration in the Swiss Alps over the last 50 Years: Links to Changes in Large-scale Climatic Forcings*. Climatic Change, 36:281-300.
- BENISTON M., KELLER F., KOFFI B., GOYETTE S., 2003 - *Estimates of snow accumulation and volume in the Swiss Alps under changing climatic conditions*. Theor. Appl. Climatol., 76:125-140.
- BENISTON M., 2004 - *Climatic Change and its Impacts. An overview focusing on Switzerland*. Kluwer Academic Press. 287 pp.
- BENISTON M., 2004a - *The 2003 heat wave: a shape of things to come?* Geophysical Research Letter, 31(2), L02202.
- BENISTON M., STEPHENSON D.B., 2004 - *Extreme climatic events and their evolution under changing climatic conditions*. Global and planetary change, 44:1-9.
- BENISTON M., DIAZ H.F., 2004 - *The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland*. Global and Planetary Change, 44:73-81.
- BENISTON M., 2005 - *Mountain climates and climatic change: an overview of processes focusing on the European Alps*. Pure Appl. Geophys., 162:1587-1606.
- BÖHM R., AUER I., BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T., SCHÖNER W., 2001 - *Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenised instrumental time series*. Int. J. of Climatology 21:1779-1901.
- BORROUGHS W., 2003 - *Climate Into the 21st Century*. Cambridge University Press, 240 pp.
- BRIFFA K.R., OSBORN T.J., SCHWEINGRUBER F.H, HARRIS I.C., JONES P.D., SHYATOV S.G., VAGANOV S.G. AND E.A., 2001 - *Low-frequency temperature variations from a northern tree-ring density network*. J. Geophys. Res. 106:2929-2941.
- BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T., 2000 - *Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995*. Theor. Appl. Climatol., 65:165-174.
- BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T., 2001 - *Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in Northeastern Italy*. Int. J. Climatol. 21: 861-871.
- BRUNETTI M., MAUGERI M., MONTI F., NANNI T., 2006 - *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series*. Int. J. Climatol. 26:345-381.
- BURGA, C.A., 1995 - *Végétation et paléoclimatologie de l'Holocène moyen d'une ancienne tourbière située au front di Glacier Rutor, 2510 m (Vallée d'Aoste, Italie)*. Ecologie et Biogéographie alpines - Actes du Colloque 1990, p. 143-149. Revue de Géographie Alpine, 1.

- BÜRKI R., 2000 - *Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus*. Publikation der Ostschweizerischen Geographischen Gesellschaft, Neue Folge, Heft 6.
- CARDER K., CHEN R., HAWES S., 2002 - *Instantaneous Photosynthetically Available Radiation and Absorbed Radiation by Phytoplankton*. MODIS Ocean Science Team.
- CARTER T.R., LA ROVERE E.L., JONES R.N., LEEMANS R., MEARNES L.O., NAKICENOVIC N., PITTOCK A.B., SEMENOV S.M., SKEA J. - *Developing and applying scenarios; in Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, MCCARTHY J.J., CANZIANI O.F., LEARY N.A., DOKKEN D.J., WHITE K.S. (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, New York, pp. 145-190.
- CAT BERRO D., RATTI M., MERCALLI L., LUPOTTO E., 2005 - *Il clima di Vercelli dal 1871*. Ed. Mercurio, Vercelli. 144 pp.
- CESTI G., 1996 - *Parametri meteorologici e incendi boschivi in Valle d'Aosta*. Nimbus 9:13-24.
- CESTI G., 1999 - *Particolarità degli incendi boschivi in Valle d'Aosta durante il 1997*. Nimbus 15-16:21-32.
- CROWLEY, LOWERY, 2000 - *Northern Hemisphere Temperature Reconstruction*. Ambio 29: 51-54. Modified as published in CROWLEY, 2000 - *Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years*. Science 289: 270-277.
- CRUTZEN P., 2005 - *Benvenuti nell'Antropocene!* Mondadori.
- DATEC - DIPARTIMENTO FEDERALE DELL'AMBIENTE, DEI TRASPORTI, DELL'ENERGIA E DELLE COMUNICAZIONI. *Comunicato stampa del 28 dicembre 1999 sui danni recati dall'uragano Lothar*.
- DAVIS B.A.S., BREWER S., STEVENSON A.C., GUIOT J., 2003 - *The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data*. Quaternary Science Reviews 22:1701-1716.
- DEFILA C., CLOT B., 2001 - *Phytophenological trends in Switzerland*. Int. J. of Biometeorology, 45:208-211.
- DIAMOND J., 2005 - *Collasso. Come le società scelgono di vivere o morire*. Einaudi, Torino, 566 pp.
- EEA, 2006 - *Annual European Community greenhouse gas inventory 1990-2004 and inventory report 2006*. EEA technical report n.6/2006.
- ESPER J., COOK E.R., SCHWEINGRUBER F.H., 2002 - *Low-Frequency Signals in Long Tree-Ring Chronologies for Reconstructing Past Temperature Variability*. Science 295 (5563): 2250-2253.
- FRASSY L., 2006 - *Energia: problema od opportunità?* L'Informatore Agricolo, 2:40-42.
- FREI C., SCHÄR C., 2001 - *Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region*. J. of Climate 14:1568-1584.
- FREI C., 2004 - *Die Klimazukunft der Schweiz - Eine probabilistische projection*. Risultati progetto Prudence.
- FREI C., SCHÖLL R., FUKUTOME S., SCHMIDL J., VIDALE P.L., 2006 - *Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models*. J. of Geophys. Research, Vol. 111, D06105, doi: 10.1029/2005JD005965.
- FREPPAZ M., MARCHELLI M., CAIMI A., ZANINI E., 2005 - *Cambiamenti climatici e innevamento: influenza sulle proprietà chimico-fisiche di un suolo a prato-pascolo*. Poster presentato al Workshop del progetto Climagri «Agricoltura e cambiamento climatico», Ancona, 27-28 giugno 2005.
- GIACOSA G., 1886 - *Novelle e paesi valdostani*. Casanova, Torino.
- GITAY H., BROWN S., EASTERLING W., JALLOW B. - *Ecosystems and their goods and services*, in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, MCCARTHY J.J., CANZIANI O.F., LEARY N.A., DOKKEN D.J., WHITE K.S. (éd.), 2001. Contribution du Groupe de travail II au Troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, pp. 735-800.
- GOODSON B. E., LOUIE P. Y. T., YANG D., 1998 - *WMO solid precipitation measurement intercomparison*. WMO/TD 872, Instruments and observing methods, 67. Geneva.
- GREGORY J.M., MITCHELL J.F.B., 1995 - *Simulation of daily variability of surface temperature and precipitation in the current and 2XCO₂ climates of the UKMO climate model*. Q. J. Royal Met. Soc., 121:1451-1476.
- GUEYMARD C., 1995 - *SMARTS2, A Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine: algorithms and performance assessment*. University of Central Florida.
- GUISAN A., 2006 - *Impact of climate change on biodiversity and ecosystems. With a special focus on terrestrial ecosystems in Europe and particularly on mountain floras*. Presentazione al Congresso FEDRE, Ginevra, 23 gennaio 2006.
- HAHN F., 2004 - *Innevamento artificiale nelle Alpi*. AlpMedia, dicembre 2004. CIPRA
- HANSEN J., NAZARENKO L., RUEDY R., SATO M., WILLIS J., DEL GENIO A., KOCH D., LACIS A., LO K., MENON S., NOVAKOV T., J. PERLWITZ, RUSSELL G., SCHMIDT G.A., TAUSNEV N., 2005 - *Earth's energy imbalance: Confirmation and implications*. Science, 308:1431-1435.
- HENGEVELD H. G., BUSH E., EDWARDS P., 2002 (a cura di) - *Questions fréquemment posée au sujet de la science du changement climatique*. Service météorologique du Canada, Environnement Canada. Ministère des Travaux publics et Services gouvernementaux.
- HOLZHAUSER H., MAGNY M., ZUMBÜHL H. J., 2004 - *Glacier and lake-level variations in west central Europe over the last 3500 years*. The Holocene, 15(6):789-801.
- HORMES A., MULLER B., SCHLÜCHTER C., 2001 - *The Alps with little ice: evidence for eight Holocene phases of reduced glacier extent in the central Swiss Alps*. The Holocene, 11(3):255-265.
- HUANG S., 2004 - *Merging Information from Different Resources for New Insights into Climate Change in the Past and*

- Future. *Geophys. Res Lett.* 31: L13205. DOI:10.1029/2004GL019781
- HULME M., HENKINS G., 1998 - *Climate Change Scenarios for United Kingdom*. Scientific Report. UK Climate Impact Programme. Technical Report. No. 1.
- IMBODEN M., 1962 - *Die politischen Systeme*. Helbing & Lichtenhahn. Basel.
- IPCC, 2001 - *Climate Change 2001. The Scientific Basis*. Cambridge University Press. 881 pp.
- IPCC, 2001a - *Climate Change 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press. 1032 pp.
- IPCC, 2001b - *Climate Change 2001. Mitigation*. Cambridge University Press. 752 pp.
- ISEBRANDS J.G., McDONALD E.P., KRUGER E., HENDREY G., PERCY K., PREGITZER K., SOBER J., KARNOSKY D.F., 2001 - *Growth responses of Populus tremuloides to interacting elevated carbon dioxide and tropospheric ozone*. *Environmental Pollution*, 115(3), pp. 359.
- KARNOSKY D.F., MANKOVSKA B., PERCY K., DICKSON R.E., PODILA G.K., SOBER J., NOORMETS A., HENDREY G., COLEMAN M.D., KUBISKE M., PREGITZER K.S., ISEBRANDS J.G., 1999 - *Effects of tropospheric O₃ on trembling aspen and interaction with CO₂: Results from an O₃-gradient and a FACE experiment*. *Water, Air and Soil Pollution*, 116(1-2):311-322.
- KELLER F., GOYETTE S., BENISTON M., 2005 - *Sensitivity analysis of snowcover to climate change scenarios and their impact on plant habitats in alpine terrain*. *Climate Change*, 72:299-319.
- KOIVUSALO H., HEIKINHEIMO M., KARVONEN T., 2001 - *Test of a simple two-layer parameterisation to simulate the energy balance and temperature of a snow pack*. *Theor. Appl. Climatol.* 70.
- IVALDI C., CADUM E., COFFANO E., DEMARIA M., FUBINI L., MAROCCO C., VISENTIN P., VALENZANO C. - *Le misure preventive in caso di temperature elevate. Raccomandazioni per il personale sanitario*. Da: www.ministerosalute.it.
- JONES P.D., BRIFFA K.R., BARNETT T.P., TETT S.F.B., 1998 - *High-resolution Palaeoclimatic Records for the last Millennium: Interpretation, Integration and Comparison with General Circulation Model Control-run Temperatures*. *The Holocene* 8: 455-471.
- JONES P.D., MANN M.E., 2004 - *Climate Over Past Millennia*. *Reviews of Geophysics* 42: RG2002. DOI:10.1029/2003RG000143
- LAMARRE D., 2005 - *Les risques climatiques*. Belin, Paris. 224 pp.
- LAMBIN E., 2004 - *La Terre sur un fil*. Le Pommier, Paris.
- LECKENBUSH G.C., ULBRICH U., 2004 - *On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change*. *Global and Planetary Change* 44:181-193.
- LECKENBUSCH G.C., KOFFI B., ULBRICH U. PINTO J.G., SPANGHELL T., ZACHARIAS S., 2006 - *Analysis of frequency and intensity of winter storm events in Europe on synoptic and regional scales from multi-model perspective*. *Climate Research Special Issue (MICE project)*, in stampa.
- LISTER G., LIVINGSTON D., AMMANN B., ARIZTEGUI D., HAEBERLI W., LOTTER A., OHLENDORF C., PFISTER C., SCHWANDER J., SCHWEINGRUBER F., STAUFFER B., STURM M., 1998 - *Alpine paleoclimatology*. In: CEBOU P. (eds), 1998 - *Views from the Alps - Regional perspectives on climate change*. The MIT Press.
- LUTERBACHER J., DIETRICH D., XOPLAKI E., GROSJEAN M., WANNER H., 2004 - *European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500*. *Science* 303:1499-1503.
- MANN M.E., BRADLEY R.S., HUGHES M.K., 1999 - *Northern Hemisphere Temperatures During the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations*. *Geophysical Research Letters* 26 (6): 759-762.
- MANN M.E., JONES P.D., 2003 - *Global Surface Temperatures over the Past Two Millennia*. *Geophysical Research Letters* 30 (15): 1820.
- MARINUCCI M. R., GIORGI F., BENISTON M., WILD M., TSCHUCK P., BERNASCONI A., 1995 - *High Resolution Simulations of January and July Climate over the Western Alpine Region with a Nested Regional Modeling System*. *Theor. Appl. Clim.*, 51:119-138.
- MATTHEWS J.A., BRIFFA K.R., 2005: *The «Little Ice Age»: reevaluation of an evolving concept*. *Geogr. Ann.*, 87 A (1):17-36.
- MEEHL G. A., TEBALDI C., 2004 - *More intense, more frequent and longer lasting heat-waves in the 21st century*. *Science*, 305:994-997.
- MERCALLI L., 2000 - *Effetto serra e riscaldamento globale: conoscenze attuali, strategie future*. *Nimbus* 17-18:17-43.
- MERCALLI L., CAT BERRO D., 2005 - *Climi, acque e ghiacciai tra Gran Paradiso e Canavese*. SMS, Bussoleno, 755 + XII pp.
- MÉTÉO FRANCE, CNRS, CEA, 2005 - *Réchauffement climatique : les nouveaux résultats des modèles français*. Conférence de presse. Paris, 2 juin 2005.
- MOBERG A., SONECHKIN D.M., HOLMGREN K., DATSENKO N.M., KARLÉN W., 2005 - *Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data*. *Nature*, 433(7026):613-617.
- MONTERIN U., 1932 - *Le variazioni secolari del clima del Gran San Bernardo: 1818-1931 e le oscillazioni del Ghiacciaio del Lys: 1789-1931*. *Boll. Com. Glac. It.*, 12:59-188.
- MUNICH-RE, 2002 - *Winter storms in Europe (II) - Analysis of 1999 losses and loss potentials*. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft, München. www.munichre.com.
- MUNICH Re, 2006 - *Annual review: Natural catastrophes 2005*. *Topics Geo*. Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft.
- NESJE A., DAHL S.O., 2003 - *The «Little Ice Age» - only temperature?* *The Holocene* 13(1):171-177.
- OLESON K.W., DAI Y., 2004 - *Technical description of the Community Land Model (CLM)*. National Center for

- Atmospheric Research, Boulder, Co.
- OERLEMANS J.H., 2005 - *Extracting a Climate Signal from 169 Glacier Records*. Science 308: 675-677. DOI:10.1126/science.1107046.
- OROMBELLI G., 1998 - *Le torbe del Rutor: una successione significativa per la storia olocenica dei ghiacciai e del clima nelle Alpi*. Mem. Soc. Geogr. It., 55:153-165
- OSBORN T. J., BRIFFA K.R., 2006 - *The Spatial Extent of 20th-Century Warmth in the Context of the Past 1200 Years*. Science, 311:841-844.
- PAHL-WOSTL C. & al., 1998 - *Regional integrated assessment and the problem of indeterminacy*. In: CEBON P. (eds), 1998 - *Views from the Alps - Regional perspectives on climate change*. The MIT Press.
- PALMER T.N., RÄISÄNER J., 2002 - *Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate*. Nature, 415:512-514.
- PANGALLO E., 2002 - *Le tempeste del dicembre 1999 sull'Europa occidentale: «Lothar» e «Martin»*. Nimbus 25-26:32-37.
- PASINI A. (a cura di), 2006 - *Kyoto e dintorni. I cambiamenti climatici come problema globale*. Franco Angeli.
- PIVODORI M., LINGUA E., FORNERO MONIA M., 2006 - *2003, un anno significativo? Uno studio di dendrocronologia nel Canavese (TO)*. Sherwood. Foreste ed alberi oggi. 121:37-41.
- REBETZ MARTINE, 2004 - *Summer 2003 maximum and minimum daily temperatures over a 3300 m altitudinal range in the Alps*. Climate Research, 27:45-50.
- REGIONE TOSCANA, 2006 - *Cambiamenti climatici e sostenibilità: il problema e le soluzioni in Toscana*. Ibimet, Firenze.
- ROTACH M., WILD M., TSCHUCK P., BENISTON M., MARINUCCI M. R., 1997 - *A Double CO₂ Experiment over the Alpine Region with a Nested GCM-LAM Modeling Approach*. Theor. Appl. Clim. 57:209-227.
- ROUSSEAU D., 2005 - *Analyse fine des surmortalités pendant la canicule 2003*. La Météorologie, 51:16-22.
- SCAFETTA N., WEST B.J., 2006 - *Phenomenological solar contribution to the 1900-2000 global surface warming*. Geophys. Res. Lett., 33, L05708, doi:10.1029/2005GL025539.
- SCHÄR C., VIDALE P.L., LUTHI D., FREI C., HABERLI C., LINIGER M.A., APPENZELLER C., 2004 - *The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves*. Nature, 427:332-336.
- SCHERRER S.C., APPENZELLER C., LINIGER M.A., SCHÄR C., 2005 - *European temperature distribution changes in observations and climate change scenarios*. Geophys. Res. Lett., 32, L19705, doi:10.1029/2005GL024108.
- SCHORER M., 2000 - *La sécheresse en Suisse*. OcCC, Organe consultatif sur les Changements Climatiques. Berne.
- SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 2006 - *Global Biodiversity Outlook 2*. Montreal, 81 + VII pp.
- SERTORIO L., 2002 - *Storia dell'abbondanza*. Bollati Boringhieri.
- SHÄR C., DAVIES T., FREI C., WANNER H., WIDMANN M., WILD M., DAVIES H., 1998 - *Current alpine climate*. In: CEBON P. (eds), 1998 - *Views from the Alps - Regional perspectives on climate change*. The MIT Press.
- SHINDELL D.T., MILLER R. L., SCHMIDT G.A., PANDOLFO L., 1999 - *Simulation of recent northern winter climate trends by greenhouse-gas forcing*. Nature 399, 452 - 455 (03 June 1999); doi: 10.1038/20905.
- SEIGENTHALER U. & al., 2005 - *Stable carbon cycle-climate relationship during the late Pleistocene*. Science, Vol. 310:1313-1317.
- SMIT B., SKINNER M.W., 2002 - *Adaptation options in agriculture to climate change: a typology*. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol. 7:85-114.
- SPAHNI R. & al., 2005 - *Atmosphere methane and nitrous oxide of the last Pleistocene from Antarctic ice cores*. Science, Vol. 310:1317-1321.
- TARBOTON D.G., LUCE C.H., 1996 - *Utah Energy Balance Snow Accumulation and Melt Model (UEB)*. Utah Water Research Laboratory, Utah State University and USDA Forest Service Intermountain Research Station.
- THEURILLAT J. P., FELBER F., GEISSLER P., GOBAT J. M., FIERZ M., FISCHLIN A., KÜPFER P., SCHLÜSSEL A., VELLUTI C., ZHAO G. F., WILLIAMS J., 1998 - *Sensitivity of plant and soil ecosystems of the Alps to climate change*. In: CEBON P. (eds), 1998 - *Views from the Alps - Regional perspectives on climate change*. The MIT Press.
- VINCENT C., 2002 - *Influence of climate change over 20th century on four French glacier mass balances*. Journal of geophysical research, vol. 107, d19.4375.
- VISCONTI G., 2005 - *Clima Estremo*. Boroli Editore, Milano.
- WANNER H., RICKLY R., SALVISBERG E., SCHMUTZ C., SCHUEPP M., 1997 - *Global Climate Change and Variability and its Influence on Alpine Climate-Concepts and Observations*. Theor. Appl. Climatology, 58:221-243.
- WARREN F.J., BARROW E., SCHWARTZ R., ANDREY J., MILLS B., RIEDEL D., 2004 - *Impacts et adaptation liés aux changements climatiques: perspective canadienne*. Gouvernement du Canada.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO), 2000 - *Climate change and human health: impact and adaptation*, 2000. Documento HO/SDE/OEH/004, Genève-Roma, 48 p.
- WWF, 2006 - *Scenari clima per l'Europa: un futuro da «via col vento»*. Comunicato stampa, 2 marzo 2006.
- ZEMP M., HAEBERLI W., HOELZLE M., PAUL F., 2006 - *Alpine glaciers to disappear within decades?* Geophys. Res. Lett., 33, L13504, doi:10.1029/2006GL026319.
- ZUMBÜHL H. J., STEINER D., NUSSBAUMER S.U., 2006 - *19th century glacier perception and fluctuations in the central and western European Alps: an interdisciplinary approach.. Global and Planetary Change (Special Issue)*. Submitted.

Indice

Presentazione, prefazione, introduzione	III
Sintesi delle criticità	VII
IL CLIMA E I SUOI CAMBIAMENTI	
1. Che cos'è il clima	3
2. La variabilità naturale e quella indotta dalle attività umane	11
3. Il concetto di rischio e di mitigazione	21
4. Lezioni dal passato: clima e uomini delle Alpi	27
5. La previsione del clima futuro	35
CALDO, FREDDO, PIOGGIA, NEVE: COSA È CAMBIATO E COSA CAMBIERÀ	
6. La temperatura	43
7. Le precipitazioni	83
8. La neve	101
9. Altri eventi meteorologici intensi	123
PROGRAMMARE, AGIRE, ADATTARSI	
10. Cosa si fa in Valle d'Aosta	131
11. Cosa fanno gli altri	133
12. Informare localmente: creare consapevolezza, sconfiggere l'allarmismo	137
13. Programmare e agire	139
14. Bibliografia	145