Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'interno DFI
Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera

Rapporto di lavoro MeteoSvizzera no. 239

Su mandato dell'Ufficio dell'aria, del clima e delle energie rinnovabili del Cantone Ticino

Rapporto sul clima − Cantone Ticino

Rapporto di lavoro MeteoSvizzera no. 239

Su mandato dell'Ufficio dell'aria, del clima e delle energie rinnovabili del Cantone Ticino

Rapporto sul clima − Cantone Ticino

Editore
Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera
Servizio climatologico
Via ai Monti 146
6605 Locarno Monti

Committente
Cantone Ticino
Dipartimento del territorio
Sezione della protezione dell'acqua, dell'aria e del suolo
Ufficio dell'aria, del clima e delle energie rinnovabili
Via Carlo Salvioni 2a
6500 Bellinzona

Direzione progetto
Thomas Schlegel
Marco Gaia

Autori
Fosco Spinedi
Simon Scherrer
Thomas Schlegel
Michael Begert
Gergely Rigo
Francesco Isotta
Stephan Bader
Marco Gaia

Citazione:

MeteoSvizzera, 2012, Rapporto sul clima – Cantone Ticino 2012, rapporto di lavoro MeteoSvizzera, p. 63

© MeteoSvizzera 2012

A partire dagli anni ’50 del secolo scorso la comunità scientifica internazionale incominciò a occuparsi approfonditamente degli aspetti dell’effetto serra, sia naturale, sia indotto dalle attività dell’uomo.

Venticinque anni or sono, la Commissione Svizzera di Ricerca sul Clima e sull’Atmosfera (CCA) dell’allora Società Elvetica di Scienze Naturali, assieme all’Istituto Svizzero di Meteorologia, pubblicò il libro **Il clima – il nostro futuro?** con lo scopo di divulgare presso il vasto pubblico una serie di nozioni e di informazioni riguardanti il clima e i sui cambiamenti.

Nella premessa, Flavio Cotti, in quegli anni consigliere federale, affermava: “La crescita demografica e lo sviluppo tecnico odierno sono in procinto di modificare il clima, elemento essenziale del nostro ambiente: il fenomeno merita di essere meditato seriamente, ed esige un comportamento consapevole”.

Da: *Il clima – il nostro futuro?* Commissione Svizzera di Ricerca sul Clima e sull’Atmosfera (CCA), 1988. Kümmerly & Frey.

Prefazione

Il clima è sicuramente una caratteristica che qualifica il Cantone Ticino in termini positivi rendendolo una regione attrattiva. Al pari dell'ambiente e del paesaggio, è da considerare una risorsa da valorizzare e, per quanto possibile, da preservare. È il compito della politica climatica, che deve far fronte ai cambiamenti dei parametri climatici, di anno in anno sempre più percettibili, coordinando ed integrando la politica energetica e la politica ambientale.

Il Cantone Ticino può dare un suo contributo in questo contesto. Infatti, seppur coerenti in quanto a tendenze, i cambiamenti climatici globali si manifestano in modo differenziato sulle diverse regioni del nostro pianeta e localmente potranno avere delle conseguenze più o meno importanti sui differenti settori socioeconomici, quali ad esempio la produzione idroelettrica, il turismo, la gestione del territorio, l'agricoltura e in generale sull'ambiente e gli ecosistemi.

Proprio in ragione di queste considerazioni si è deciso di approfondire la conoscenza di questo fenomeno a livello cantonale. La Sezione per la protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo del Dipartimento del territorio ha pertanto commissionato all'Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera il presente studio sul clima in Ticino.

Grazie alle approfondite analisi svolte, si è potuto da un lato elaborare lo sviluppo storico dei parametri meteorologici chiave, quali temperatura e precipitazioni, dall'altro estrapolare degli scenari sulla possibile evoluzione del clima in Ticino.

Le analisi si sono basate sui dati rilevati da 14 stazioni ticinesi e 2 mesolcinesi della rete di misurazione di MeteoSvizzera, alle quali si è aggiunta la stazione del Gran San Bernardo per un riferimento in quota, le cui serie storiche, in alcuni casi, coprono un periodo di più di 100 anni.

Mentre l'evoluzione delle precipitazioni non mostra una tendenza definita, anche se negli ultimi 30 anni esse sono leggermente diminuite in primavera e leggermente aumentate in estate, negli ultimi 150 anni la temperatura in Ticino è aumentata di circa 1.5 °C e soprattutto la tendenza al riscaldamento ha subito una netta accelerazione negli ultimi 50 anni, in particolare in primavera e in estate. Un aumento, da sottolineare, che è quasi il doppio di quello registrato mediamente a livello mondiale.

Il presente rapporto non si limita però a fornire un'attendibile e solida analisi dello sviluppo storico dei parametri meteorologici, ma propone pure degli scenari del loro sviluppo futuro che dipendono dalle emissioni globali di gas a effetto serra. Questi prevedono aumenti di almeno 1-2 °C fino al 2080, le cui conseguenze sono attualmente difficili da valutare.

Alla luce delle specificità del Ticino poste in evidenza e dei possibili scenari evolutivi, il rapporto potrà quindi fornire lo spunto ed essere il riferimento di base per effettuare ulteriori approfondimenti specifici sugli effetti attesi, dovuti a cambiamenti climatici, nei differenti settori socioeconomici del Cantone Ticino, quali ad esempio turismo, produzione di energia idroelettrica e agricoltura. Tali approfondimenti settoriali potranno inoltre permettere la definizione di provvedimenti orientati a prevenire, attenuare o valorizzare gli effetti dei cambiamenti climatici sul sistema socioeconomico e ambientale del Cantone Ticino.

Il presente rapporto sul clima in Ticino è dunque un importante passo verso una politica climatica cantonale, integrata e sostenibile.

Ing. Giovanni Bernasconi
Capo della Sezione per la protezione dell'aria, dell'acqua e del suolo del Cantone Ticino

Bellinzona, maggio 2012

Riassunto

I cambiamenti del clima a livello globale si manifestano sulle diverse regioni della Terra in modo differenziato. Come mostrato dal presente rapporto anche nel Cantone Ticino si notano dei cambiamenti climatici coerenti con il quadro a livello globale. Le variazioni nel clima del Ticino sono diversificate e si possono mettere in evidenza analizzando sia grandezze di base quali la temperatura o le precipitazioni, sia considerando l'andamento di indicatori climatici da esse ricavati.

Sviluppo storico del clima nel Cantone Ticino

La disponibilità di dati meteorologici rilevati sistematicamente risale alla seconda metà del XIX secolo.

In circa 150 anni la temperatura è aumentata da 0.09 a 0.11 °C per decennio (1.3-1.6 °C in totale), con un aumento sensibile del tasso di riscaldamento negli ultimi 3 decenni (tra 0.3 e 0.5 °C per decennio). Quest'aumento di temperatura si inserisce in modo coerente con il riscaldamento a basse quote registrato anche nelle altre regioni della Svizzera ed è statisticamente molto significativo. L'aumento complessivo della temperatura sul versante sudalpino è quasi il doppio dell'aumento medio della temperatura globale terreste messo in evidenza dall'ultimo rapporto IPCC (IPCC, 2007), a testimonianza di quanto il versante sudalpino possa essere maggiormente toccato dai cambiamenti in atto per quel che riguarda gli aspetti termici. Il rialzo di temperatura è stato particolarmente evidente in estate e in primavera.

L'evoluzione delle precipitazioni non mostra una tendenza così chiara come le temperature: le variazioni periodiche sono l'elemento tipico messo in evidenza dai dati misurati. In generale negli ultimi 50 anni i quantitativi hanno subito una variazione inferiore al 5% per decennio. Tendenzialmente le precipitazioni sono leggermente diminuite in primavera (circa −1.5% per decennio), mentre si è avuto un leggero aumento in estate (attorno al 4% per decennio) e in inverno (attorno al 3% per decennio). Nessuno dei cambiamenti nelle precipitazioni stagionali è però significativo.

Diversi indicatori climatici che possono avere conseguenze sui differenti settori socioeconomici ticinesi (turismo, produzione energetica, gestione del patrimonio boschivo, agricoltura, ecc.) mostrano delle variazioni marcate. In particolare spiccano gli indicatori legati alla temperatura. In breve, i cambiamenti più importanti per il Cantone Ticino dal 1961 ad oggi sono: una chiara diminuzione del numero di giorni di gelo; un netto aumento del numero di giorni estivi e tropicali a bassa e media quota; il rialzo della quota dell'isoterma di zero gradi in tutte le stagioni, più pronunciato in estate; una netta diminuzione delle nevicate e della lunghezza del periodo con neve al suolo, particolarmente significativa a media quota. Per quel che riguarda gli indicatori legati alle precipitazioni non è possibile mettere in evidenza variazioni statisticamente significative.

Sviluppo futuro del clima nel Cantone Ticino

In base ai modelli e alle proiezioni disponibili oggi, nel corso del XXI secolo il clima del Ticino si scosterà significativamente sia da quello odierno, sia da quello del passato. La temperatura media, verosimilmente, aumenterà di parecchi gradi in tutte le stagioni e per la fine del secolo le precipitazioni estive dovrebbero diminuire, contrariamente a quelle invernali che tenderanno ad aumentare.

Ci si può attendere anche un cambiamento del carattere degli eventi estremi: sono previsti periodi caldi più intensi e prolungati come pure periodi canicolari più frequenti in estate, mentre i periodi freddi invernali dovrebbero diminuire. Le proiezioni della frequenza e dell'intensità delle precipitazioni sono invece meno sicure ma non si possono escludere cambiamenti significativi.

Nella seconda metà del XXI secolo il clima del Ticino sarà determinato in maniera sensibile dall'evoluzione che le emissioni globali di gas a effetto serra avranno nei prossimi decenni (fig. A). I modelli climatici mostrano che, con

misure di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra per limitare il rialzo globale della temperatura entro la fine del XXI secolo a 2 °C rispetto alla media 1980-2009, il riscaldamento in Ticino sarebbe da due fino a tre volte inferiore che senza misure di riduzione (i modelli prevedono in questo caso un riscaldamento di 1.4 °C come valore più probabile). Il riscaldamento, anche di soli 1.4 °C, sarebbe comunque del medesimo ordine di grandezza del rialzo registrato tra il 1864 e il 2010 (compreso tra 1 e 2 °C) (tab. A).

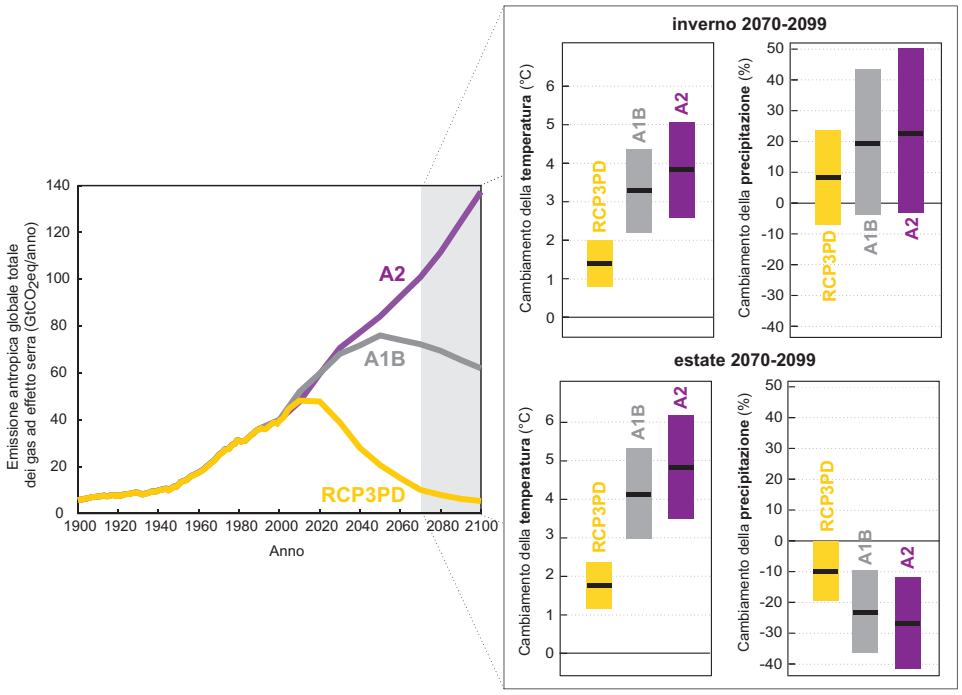


Fig. A: Tre scenari di emissioni globali di gas a effetto serra e ripercussioni previste sulle temperature e sulle precipitazioni al sud delle Alpi verso la fine del XXI secolo per due stagioni scelte, estate e inverno. Gli scenari considerati sono: senza alcuna misura di intervento ed emissioni in continuo aumento (A2), senza misure di intervento ma emissioni in calo dopo il 2060 (A1B) e misure di intervento attive per una diminuzione delle emissioni (RCP3PD).

Tab. A: Panoramica delle variazioni della temperatura e delle precipitazioni, così come degli indicatori climatici nel Cantone Ticino (per le definizioni vedi tab. 5.1). Il valore indica il cambiamento per decennio calcolato sul periodo 1961-2011. Le tendenze significative (p ≤0.05) positive sono indicate in rosso, quelle negative in blu, se il periodo di riferimento non copre l'intervallo 1961-2011, il valore è contrassegnato da un asterisco (*).

Stazione	Temperatura	Precipitazioni	Giorni di gelo	Giorni estivi	Giorni tropicali	Giorni afosi	Giorni con precipitazioni ≥ 1 mm	Giorni con precipitazioni ≥30 mm	Neve fresca	Giorni con neve totale ≥ 5 cm	Giorni asciutti	Giorni chiari	Giorni scuri
Airolo	-	−0.8	-	-	-	-	−3.0	+0.6	−54	−8.0	+0.4	-	-
Piotta	-	-	−2.8	+3.3*	+0.6*	-	-	-	-	-	-	-	-
Robiei	-	-	−1.2*	+0.1*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bosco Gurin	-	+0.9	-	-	-	-	-	-	−36	−7.7	-	-	-
Acquarossa/Comp.	-	-	−4.7*	+7.4*	+3.0*	-	−2.1	+0.4	-	-	-	-	-
San Bernardino	-	−1.0	−6.3*	+0.4*	−0.0*	-	−3.7*	−0.5*	-	-	+1.0*	-	-
Grono	+0.3	−1.0	−3.9*	+11.7*	+8.3*	-	−0.8	+0.1	-	-	+0.9	-	-
Biasca	-	+1.3	-	-	-	-	−1.0	+0.6	-	-	+1.0	-	-
Camedo	-	+0.2	-	-	-	-	−2.5	+0.1	-	-	+1.5	-	-
Cimetta	-	-	−3.3*	−0.0*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Locarno-Monti	+0.4	+1.5	−3.1	+7.6	+4.1	+2.4	−1.8	+0.3	−4	−1.5	+1.1	−0.3	−0.7
Magadino	+0.4	+1.2	−3.6	+6.5	+4.7	-	-	-	-	-	-	-	-
Crana-Torricella	-	+2.1	-	-	-	-	−3.5	+0.4	-	-	+0.9	-	-
Lugano	+0.4	+1.0	−4.7	+7.5	+4.1	+3.5	−2.6	−0.2	0	−1.2	+1.2	+5.1	−2.6
Stabio	-	-	−2.3	+9.3	+5.7	-	-	-	-	-	-	-	-
Coldrerio	-	+1.1	-	-	-	-	−1.6	+0.0	-	-	+0.0	-	-
Gran San Bernardo	0.3	+2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	°C/10 anni	%/10 anni	giorni/10 anni	giorni/10 anni	giorni/10 anni	giorni/10 anni	giorni/10 anni	giorni/10 anni	cm/10 anni	giorni/10 anni	giorni/10 anni	giorni/10 anni	giorni/10 anni

Indice

1 Alcuni appunti di climatologia 15
1.1 Variabilità climatica 15
1.2 L'effetto serra naturale e le emissioni antropiche 15
1.3 Clima e uomo 16
1.4 Andamento del clima nel passato 16
1.5 Dalla fine della glaciazione a oggi 16

2 Dati e metodi 18
2.1 Stazioni al suolo, disponibilità dei dati 18
2.2 Qualità ed elaborazione dei dati 20
2.3 Dati per gli scenari climatici 20
2.4 Metodi statistici 21

3 Il clima del Ticino 22
3.1 Gli elementi climatici del Ticino in breve 25
3.1.1 Temperatura 25
3.1.2 Precipitazioni 25
3.1.3 Umidità 27
3.1.4 Radiazione solare 27
3.1.5 Soleggiamento 27
3.1.6 Nuvolosità 28
3.1.7 Favonio 28
3.1.8 Neve 28
3.1.9 Siccità 28

4 Sviluppo storico del clima 29
4.1 Introduzione 29
4.2 Andamento della temperatura in Ticino 29
4.2.1 Tendenza della temperatura in Ticino 30
4.3 Andamento delle precipitazioni in Ticino 31
4.4 Tendenza delle precipitazioni in Ticino 32

5 Indicatori climatici 34
5.1 Introduzione 34
5.2 Giorni di gelo e giorni di ghiaccio 35
5.3 Giorni estivi e giorni tropicali 36
5.4 Giorni afosi 38
5.5 Isoterma di zero gradi 39
5.6 Giorni con precipitazioni 40
5.7 Giorni con precipitazioni moderate 41
5.8 Neve 44
5.9 Durata massima dei periodi asciutti 47

5.10 Giorni chiari / scuri 49
5.11 Favonio 50

6 Sviluppo futuro del clima 52
6.1 Introduzione 52
6.2 Scenari di emissioni 53
6.3 Previsioni dell'evoluzione della temperatura 54
6.4 Previsioni dell'evoluzione delle precipitazioni 57
6.5 Eventi estremi 59

7 Bibliografia 61

1 Alcuni appunti di climatologia

Le situazioni climatiche e le loro variazioni determinano la vita quotidiana e le attività economiche, locali e globali. Mentre il "tempo" è rappresentato dall'insieme delle condizioni atmosferiche (stato del cielo, temperatura, umidità relativa, visibilità, velocità e direzione del vento, ecc.) osservate in un preciso momento, il "clima" consiste nel comportamento atmosferico mediamente atteso in una data località, sulla base di misure e osservazioni quotidianamente condotte per un periodo prolungato (di solito almeno un trentennio).

Il clima terrestre è il risultato di un insieme di complesse interazioni tra l'energia in arrivo dal Sole (il "motore" di tutti i processi climatici), l'atmosfera, gli oceani, le nubi, i suoli, la biosfera e la natura della superficie terrestre (copertura vegetale, presenza ed estensione dei ghiacci, superfici artificiali create dall'uomo, ecc.). Queste interazioni concorrono a creare numerosi climi regionali o locali in funzione delle specificità della regione o della località prese in considerazione.

1.1 Variabilità climatica

Le condizioni climatiche di una località variano naturalmente tra un anno e l'altro, di solito entro un certo margine intorno ai valori "normali", ma talora vi si scostano anche in modo più netto, in occasione di fenomeni estremi o rari: si tratta della *variabilità naturale* del clima.

Alla variabilità naturale, si sovrappone una *variabilità indotta*, causata dall'alterazione della composizione chimica dell'atmosfera da parte dell'uomo. Nella presente fase di cambiamento climatico, nel caso di singoli eventi importanti quali inondazioni, siccità oppure ondate di calore, è molto difficile riconoscere se essi rientrino ancora nella naturale variabilità del clima oppure se siano già effetto, almeno in parte, del riscaldamento globale.

Nella storia geologica della Terra il clima è cambiato più volte, talora in maniera drastica, per cause naturali: ad esempio le variazioni periodiche dell'attività solare, della distanza Terra-Sole, dell'inclinazione e dell'orientamento dell'asse terrestre, dell'eccentricità dell'orbita planetaria, sono tutti fattori che portano a cambiamenti nella quantità di energia ricevuta dal Sole; in grado, dunque, di dare inizio a una fase di raffreddamento o di riscaldamento oppure di segnarne la fine. Assieme alle eruzioni vulcaniche o alle modifiche delle correnti marine questi fattori si sono sovrapposti con modalità diverse portando alla variabilità del clima alpino, ben documentato ma non ancora compreso in tutti i suoi dettagli (Wanner et al. 2000). Ciò nonostante i risultati delle recenti ricerche in climatologia, riassunte anche nell'ambito dell'ultimo rapporto IPCC (IPCC, 2007), suggeriscono che una parte importante del riscaldamento globale a basse quote degli ultimi 100-150 anni, e in particolare il rialzo termico a partire dagli anni '80 del secolo scorso, sia imputabile con alta probabilità all'influsso antropico. In altre parole, dall'inizio dell'era industriale nel XIX secolo le attività dell'uomo contribuiscono in maniera non trascurabile al cambiamento del clima.

1.2 L'effetto serra naturale e le emissioni antropiche

L'effetto serra è anzitutto un fenomeno naturale che comporta il trattenimento all'interno dell'atmosfera terrestre di una parte della radiazione termica solare che è riemessa dal pianeta sotto forma di raggi infrarossi a onda lunga (6 ÷ 14 µm).

Se la Terra non fosse circondata da un'atmosfera, la sua temperatura media in superficie sarebbe vicina ai −18 °C. Tuttavia, i gas atmosferici a effetto serra, tra i quali, in ordine di importanza tra quelli presenti in natura, il vapore acqueo (H_2O), il biossido di carbonio (CO_2), il metano (CH_4), l'ozono (O_3), il protossido di azoto (N_2O),

assorbendo parte della radiazione infrarossa a onda lunga riemessa dalla superficie terrestre, consentono un guadagno termico di una trentina di gradi: infatti, l'effettiva temperatura media del pianeta è attorno ai 15 °C.

Oggi però l'effetto serra sta diventando un grave problema per gli ecosistemi terrestri e per l'umanità, poiché le attività umane ne stanno aumentando artificialmente l'intensità: la conseguenza più diretta ed evidente è il rialzo della temperatura globale del pianeta registrato negli ultimi decenni.

1.3 Clima e uomo

Lungo tutto il corso della sua presenza sulla Terra (da circa 2 milioni di anni), l'uomo ha dovuto confrontarsi più volte con cambiamenti del clima, in passato unicamente legati a cause naturali. Durante le ultime fasi glaciali l'uomo era già presente come cacciatore-raccoglitore in Europa centro-meridionale, ma il nomadismo e la semplicità dell'organizzazione sociale favorivano in un certo senso l'adattabilità in caso di mutamenti nell'assetto ambientale. Nelle Alpi, terminata la glaciazione e dopo aver colonizzato i siti più favorevoli, con l'aumento demografico le popolazioni iniziarono a occupare luoghi vieppiù marginali e a quote più alte, fino ad arrivare al picco di popolazione registrato durante il XIX secolo. Malgrado l'ostilità climatica delle fasi finali della Piccola Età Glaciale (periodo generalmente fresco tra la fine del XIII e la metà del XIX secolo, con maggiore permanenza della neve, ghiacci più estesi, periodi vegetativi spesso corti ecc.), la pressione demografica spinse allo sfruttamento, specialmente per il pascolo estivo, di località assolutamente marginali e poco produttive, fino ai margini dei ghiacciai e in situazioni morfologiche poco felici, non sempre al riparo da piene torrentizie, erosioni e valanghe.

1.4 Andamento del clima nel passato

Misurazioni strumentali nel senso stretto del termine risalgono alla seconda metà del XVIII secolo, che in Svizzera è coinciso con la messa in servizio nel 1864 della prima rete di rilevamento sistematico degli elementi meteorologici da parte dell'allora Società Elvetica di Scienze Naturali. Andando indietro nel tempo, la ricostruzione dell'andamento del clima si affida invece sempre più a dati di sostituzione (o vicarianti, *Proxy data*), in tempi storici sotto forma di cronache, diari, dipinti ecc., e prima ancora a informazioni ricavate da analisi dendrocronologiche, glaciologiche, palinologiche (esami dei pollini) e da carotaggi glaciali profondi, da cui è possibile analizzare campioni di aria "fossile", rimasta intrappolata, ottenendo la concentrazione di gas serra e l'andamento della temperatura attraverso i rapporti isotopici dell'ossigeno e dell'idrogeno.

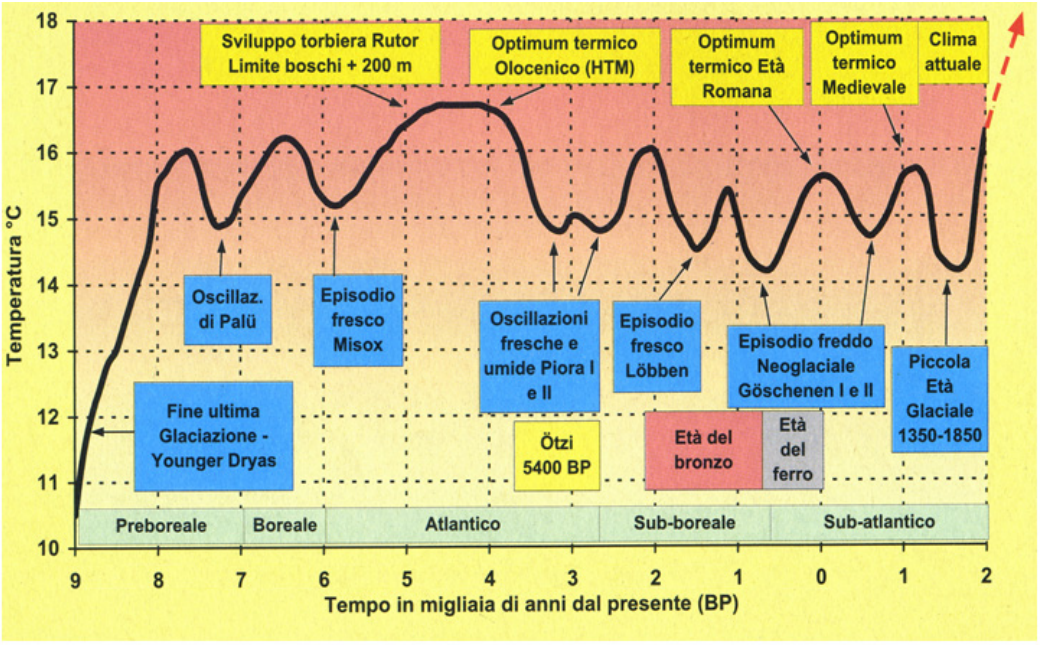
In generale, l'andamento climatico su grande scala temporale è normalmente identificato con la temperatura e in misura molto minore con le precipitazioni, mentre la ricostruzione degli altri elementi meteorologici è effettuata solo in maniera molto limitata.

1.5 Dalla fine della glaciazione a oggi

I risultati ottenuti dagli studi paleo-climatici per la regione alpina occidentale consentono di tracciare un quadro approssimativo dell'andamento delle temperature medie degli ultimi 11 mila anni (per es. Hormes 2001, Davis 2003). Tra 11'000 e 10'000 anni or sono la temperatura media aumentò di circa 5 °C, segnando la fine dell'ultima glaciazione e l'inizio dell'Olocene: i ghiacciai si ritirarono verso le quota alte e il clima si stabilizzò su un assetto temperato simile a quello odierno, favorendo la colonizzazione umana delle valli alpine (Musées cantonaux 2002), nonché l'affermarsi dell'agricoltura e dell'allevamento verso 6'500-7'000 anni or sono, proprio durante l'Optimum termico olocenico. La fluttuazione delle temperature medie tra questa fase mite e altre successive più fresche, come l'episodio neoglaciale "Göschenen I" (3'000-2'500 anni or sono) e la Piccola Età Glaciale (1300-

1850 d. C.), rimangono contenute entro 2.5 °C circa. L'ultima fase di caldo prima dell'odierna, conosciuta come Optimum termico medioevale, ha invece avuto luogo tra il 900 e il 1200 d.C. circa (fig. 1.1).

Con l'avvento delle misurazioni sistematiche, e con un accurato controllo di plausibilità dei dati e l'ausilio di tecniche di omogeneizzazione, è possibile compilare un quadro molto preciso dell'andamento, perlomeno delle temperature e delle precipitazioni, dei passati 150 anni circa. Il riscaldamento osservato nella seconda metà del XX secolo mostra un'intensità, una rapidità e un'estensione spaziale inusuale e costituisce la più notevole caratteristica dell'evoluzione climatica recente, in fase con le massime concentrazioni di gas ad effetto serra in atmosfera.



Da: I tempi stanno cambiando 2008. Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino

Fig. 1.1: Andamento indicativo della temperatura media nelle Alpi occidentali dalla fine dell'ultima glaciazione (Museo Regionale 2008).

2 Dati e metodi

La scelta delle stazioni è stata effettuata tenendo conto di diversi criteri. In prima linea si è voluto garantire una sufficiente rappresentatività climatologica del complesso territorio orografico del Cantone Ticino. Inoltre i dati a disposizione in formato digitale dovevano coprire un intervallo di tempo sufficientemente lungo per mettere in evidenza eventuali cambiamenti sopraggiunti. Asserzioni in relazione al clima di una regione necessitano solitamente di una base di dati di almeno 30 anni: nel nostro caso, essendo interessati a eventuali cambiamenti del clima del recente passato, abbiamo utilizzato, laddove disponibili, dati su un periodo di almeno 50 anni. Da ultimo anche la qualità dei dati a disposizione gioca un ruolo decisivo: dati di non sufficiente qualità non sono stati considerati mentre in altri casi si è proceduto come descritto nel cap. 2.2 a una loro omogeneizzazione, volta a eliminare eventuali influssi di carattere non meteorologico.

A seconda dell'analisi effettuata, sono stati utilizzati dei periodi di riferimento diversi. In particolare per lo sviluppo storico del clima (cap. 4), si fa riferimento alla norma 1961-1990, spesso anche utilizzata dai rapporti dell'IPCC, e ottimale per evidenziare il riscaldamento dell'ultimo quarto di secolo. Negli altri capitoli i valori normali si basano sul periodo 1981-2010, rispettivamente 1980-2009 se l'analisi è stata eseguita prima della disponibilità di tutti i dati del periodo standard. In particolare per quel che riguarda l'evoluzione fino alla fine del secolo in atto, utilizzando la recente norma 1981-2010 (rispettivamente, laddove non era ancora possibile utilizzarla, il periodo 1980-2009), si ottiene un quadro dei cambiamenti rispetto alla situazione odierna.

2.1 Stazioni al suolo, disponibilità dei dati

L'elaborazione del clima del Ticino si basa sui dati rilevati da 14 stazioni ticinesi e 2 mesolcinesi della rete di misurazione di MeteoSvizzera, alle quali si aggiunge la stazione del Gran San Bernardo per un riferimento in quota (fig. 2.1, tab. 2.1). A complemento delle stazioni sudalpine, per il calcolo della quota dell'isoterma di zero gradi sono state utilizzate anche alcune stazioni limitrofe.

In particolare Lugano, messa in funzione nel 1864, è una delle cinque stazioni climatologiche svizzere di riferimento a livello mondiale e la sua serie di dati è stata verificata e omogeneizzata con particolare attenzione. Nel corso degli anni la stazione ha subìto importanti cambiamenti di ubicazione e le sue misurazioni riflettono inevitabilmente anche gli effetti della crescente urbanizzazione dell'agglomerato cittadino.

Locarno-Monti, sede del Centro regionale sud, ha una serie di dati meno lunga (dal 1935) ma la stazione non ha subìto spostamenti di rilievo. I valori mensili delle precipitazioni e della temperatura antecedenti il 1935 sono stati estrapolati dall'allora stazione di Locarno-Muralto, permettendo così di ricostruire la serie di dati di queste due grandezze meteorologiche fino al 1883.

In generale, a parte eventuali spostamenti di stazioni, il cambiamento strutturale più incisivo è avvenuto attorno al 1980 con il passaggio dal rilevamento manuale (tramite strumenti convenzionali) a quello automatico (eseguito con strumenti elettronici). Alcune grandezze, in particolare la nuvolosità, visibilità e l'innevamento, sono comunque tuttora rilevati manualmente dagli addetti presso alcune stazioni scelte (tab. 2.2).

La figura 2.1 mostra la distribuzione geografica delle stazioni di misura utilizzate nel presente rapporto. Benché questo sia dedicato al clima del Ticino, per completezza d'informazione sono state considerate anche due stazioni localizzate in Mesolcina e quella del Gran San Bernardo, quest'ultima particolarmente rappresentativa per le condizioni in alta montagna.

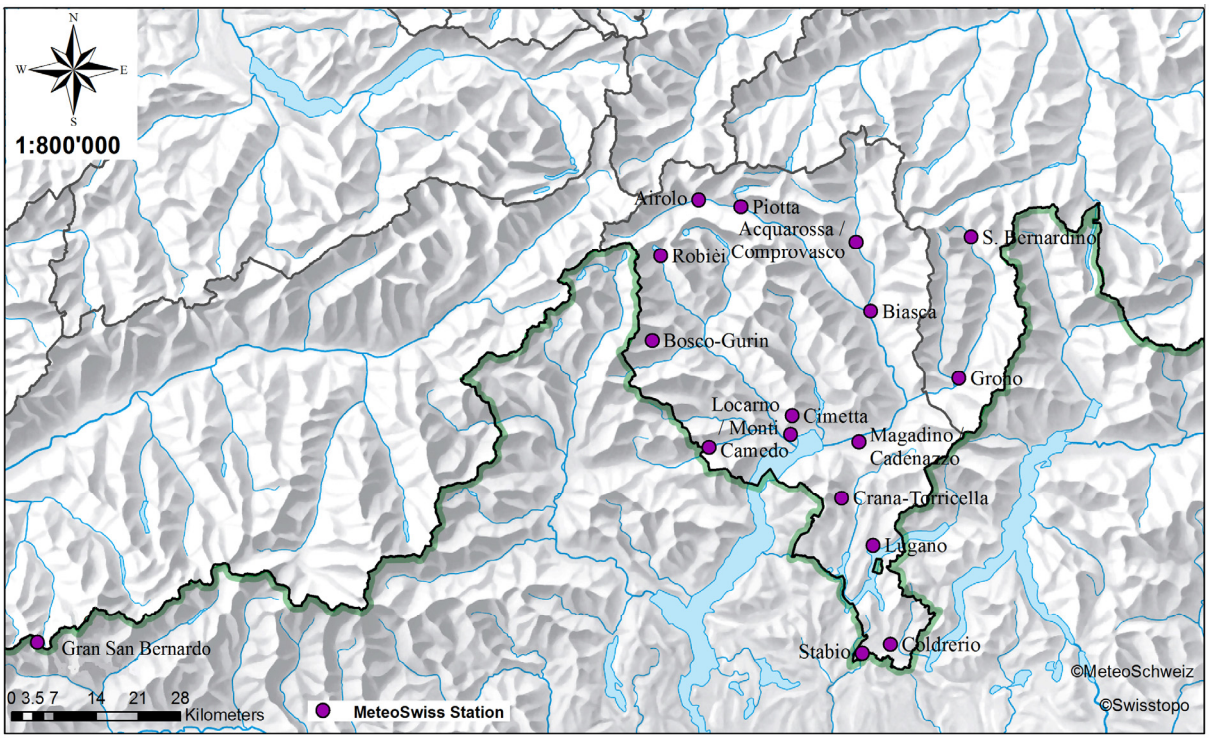


Fig. 2.1: Le stazioni della rete di rilevamento di MeteoSvizzera considerate per il presente rapporto.

Tab.2.1: Indicazioni sulle stazioni di rilevamento considerate per il presente rapporto.

Stazione	Sigla	Zona geografica	Altezza (m slm)	Coordinate CH	Attiva dal
Airolo	AIR	Ticino settentrionale	1139	688‘910/153‘400	1891
Piotta	PIO	Ticino settentrionale	990	695‘888/152‘261	1979
Robiei	ROE	Ticino settentrionale	1895	682‘588/144‘091	1991
Bosco Gurin	BOS	Ticino settentrionale	1505	681‘160/130‘025	1959
Acquarossa/Comprovasco	COM	Ticino settentrionale	575	714‘998/146‘440	1900
Gran San Bernardo	GSB	Alpi	2472	579‘200/079‘720	1865
San Bernardino	SBE	Mesolcina	1693	734‘112/147‘296	1968
Grono	GRO	Mesolcina	382	732‘100/123‘700	1901
Biasca	BIA	Ticino centrale	291	717‘470/134‘870	1900
Camedo	CMD	Ticino centrale	550	690‘600/112‘185	1901
Cimetta	CIM	Ticino centrale	1661	704‘433/117‘452	1982
Locarno-Monti	OTL	Ticino centrale	367	704‘160/114‘350	1935
Magadino	MAG	Ticino centrale	203	715‘475/113‘162	1958
Crana-Torricella	CTO	Ticino meridionale	1002	712‘660/103‘750	1901
Lugano	LUG	Ticino meridionale	273	717‘874/095‘884	1864
Stabio	SBO	Ticino meridionale	353	716‘034/077‘964	1981
Coldrerio	COL	Ticino meridionale	345	720‘725/079‘400	1918

Tab.2.2: Informazioni sui parametri e sugli indicatori climatici (v. tab. 5.1) considerati per il presente rapporto.

Stazione	Sigla	Indicatori climatici / parametri	Periodo di validità
Airolo	AIR	6 / 7 / 8 / 9 / 10	1961-2011
Piotta	PIO	1 2 / 3	1961-2011 1970-2011
Robiei	ROE	1 / 2	1991-2011
Bosco Gurin	BOS	8 / 9	1961-2011
Acquarossa/Comprovasco	COM	1 2 / 3 6 / 7	1971-2011 1976-2011 1961-2011
San Bernardino	SBE	1 / 2 / 3 / 6 / 7 / 10	1968-2011
Grono	GRO	1 / 2 / 3 6 / 7 / 10	1971-2011 1961-2011
Biasca	BIA	6 / 7 / 10	1961-2011
Camedo	CMD	6 / 7 / 10	1961-2011
Cimetta	CIM	1 / 2	1982-2011
Locarno-Monti	OTL	1 / 2 / 3 / 4 / 6 / 7 / 8 / 9 / 10 / 11 / 12 / 13 Trend temperatura/precipitazioni	1961-2011 1883-2011
Magadino	MAG	1 / 2 / 3 / 5	1961-2011
Crana-Torricella	CTO	6 / 7 / 10	1961-2011
Lugano	LUG	1/ 2 / 3 / 4 / 6 / 7 / 8 / 9 / 10 / 11 / 12 Trend temperatura/precipitazioni	1961-2011 1864-2011
Stabio	SBO	1 / 2 / 3	1981-2011
Coldrerio	COL	6 / 7 / 10	1961-2011
Gran San Bernardo	GSB	Trend temperatura/precipitazioni	1901-2011
Sud delle Alpi		5	1961-2011

2.2 Qualità ed elaborazione dei dati

Tutti i dati utilizzati sono stati controllati ed eventualmente completati o corretti. MeteoSvizzera effettua correntemente la verifica dei dati misurati sia con procedimenti automatici sia manuali, eliminando in questo modo eventuali valori non plausibili. L'analisi climatica presuppone inoltre che i dati siano omogeneizzati, ciò che tutti i cambiamenti non climatici siano eliminati dalla serie. Spostamenti della stazione, nuovi sensori, modifica dell'ambiente circostante, ecc. possono infatti portare a sensibili alterazione dei dati ed eventualmente a errate conclusioni sull'andamento del clima. MeteoSvizzera ha sviluppato dei metodi automatici per l'omogeneizzazione dei dati (Begert et al. 2003, 2005) e li applica sistematicamente ai dati rilevati dalle proprie stazioni al suolo.

In relazione al presente rapporto, l'analisi storica della temperatura e delle precipitazioni, come pure degli indicatori climatici basati sulla temperatura minima e massima, si è potuta avvalere di serie omogenee di dati. Le analisi degli indicatori che si basano invece sulle precipitazioni, la neve, la visibilità, l'umidità il vento e il soleggiamento sono state effettuate con dati controllati ma non omogeneizzati.

2.3 Dati per gli scenari climatici

L'unico mezzo oggi a disposizione per elaborare delle previsioni sull'evoluzione futura del clima è costituito dai modelli numerici. Si tratta di sistemi basati su complesse equazioni che descrivono le interazioni fisiche tra gli elementi del sistema climatico e consentono di individuare le tendenze future nel suo comportamento.

Concettualmente funzionano come i modelli di previsione meteorologica a breve o medio termine, ma al contrario di quest'ultimi non possono fornire con precisione le condizioni del tempo in un dato luogo e in un momento preciso, bensì soltanto una tendenza climatica generale sul lungo periodo. La pubblicazione, avvenuta nel 2011, degli scenari dell'evoluzione climatica in Svizzera elaborati da CH2011 (CH2011 2011, http://www.ch2011.ch) permette di ottenere un quadro realistico del clima futuro della regione alpina. Gli scenari della temperatura e delle precipitazioni per i decenni a venire si basano su un elevato numero di calcoli modellistici a scala globale e continentale effettuati nell'ambito dell'IPCC, del progetto di ricerca europeo ENSEMBLES, così come su ulteriori elaborazioni eseguite in seno al consorzio CH2011. I mezzi oggi a disposizione non permettono però ancora un calcolo ad alta definizione per regioni di piccola estensione come potrebbe essere il Piano di Magadino o la valle Bedretto. Gli attuali scenari climatici forniscono dunque indicazioni sul futuro sviluppo stagionale della temperatura e delle precipitazioni per un'area di riferimento che copre il versante sudalpino in generale. La base di partenza per il calcolo dei cambiamenti futuri utilizza sempre le condizioni del periodo 1980-2009, poiché al momento dell'inizio del progetto di ricerca che elaborò tali scenari non erano ancora a disposizione i dati del 2010. L'elaborazione degli scenari climatici richiede sempre il ricorso ad approssimazioni più o meno marcate e di conseguenza i risultati sono affetti da un margine di incertezza che non può essere trascurato. Per questo motivo la presentazione delle tendenze nella temperatura e nelle precipitazioni è sempre completata dal rispettivo margine di incertezza. Nel presente rapporto utilizzeremo in modo particolare l'intervallo di confidenza del 95%. Vale a dire che le variazioni indicate si troveranno con un 95% di probabilità all'interno dell'intervallo indicato.

2.4 Metodi statistici

Le elaborazioni effettuate per il presente rapporto si basano su diversi metodi statistici. L'analisi della temperatura e delle precipitazioni per periodi molto lunghi è completata da un filtro gaussiano su 20 anni che liscia i singoli valori e permette di evidenziare meglio la variabilità a lungo termine. Le tendenze lineari dei dati continui (per esempio valori stagionali o annuali della temperatura, delle precipitazioni e della neve) sono state calcolate con l'aiuto del metodo dei minimi quadrati (Wilks 2006). Il calcolo della tendenza dei dati discontinui (per esempio giorni di gelo, estivi, ecc.) è stato effettuato con una regressione logica, in quanto la tendenza di questo tipo di dati non dovrebbe essere effettuato con il metodo del trend lineare (Dobson 1990, Mc Cullag e Nelder 1989). La significatività dell'analisi della tendenza è determinata tramite il valore p della regressione. Sono state definite tre classi di significatività: molto significativo, significativo e non significativo (vedi tab. 2.1). L'incertezza è espressa con il cosiddetto intervallo di confidenza, indicando di volta in volta l'intervallo del 95%.

La quota dell'isoterma di zero gradi è invece stata calcolata per ogni intervallo considerato (per esempio l'inverno 1968 o l'estate 1996) con l'aiuto di una regressione lineare tra i dati termometrici omogeneizzati e l'altitudine di 12 stazioni scelte del versante sudalpino e dell'area alpina limitrofa, stabilendo inoltre l'incertezza della quota così calcolata. Questi due parametri sono stati determinati con la funzione predict() del pacchetto R per l'analisi statistica (http://www.r-project.org). Ai valori stagionali della quota dell'isoterma di zero gradi è poi stata applicata una regressione lineare per quantificare la variazione della quota dell'isoterma di zero gradi (tendenza in metri al decennio) così come la sua significatività con il valore p (tab. 2.3).

Tab.2.3: Rappresentazione e descrizione dei livelli di significatività utilizzati nel rapporto.

Valore p	Significatività	Descrizione
≤ 0.01	molto significativo	si può affermare con attendibilità molto elevata che una tendenza è presente.
> 0.01 e ≤ 0.05	significativo	si può affermare con attendibilità elevata che una tendenza è presente.
> 0.05	non significativo	nonostante la presenza di un orientamento nella serie dei dati, non si può stabilire se si tratta di una tendenza chiara e univoca.

3 Il clima del Ticino

La presenza della catena alpina influenza sensibilmente qualsiasi processo meteorologico (e di conseguenza climatico) attenuandone o rafforzandone gli effetti. Gli effetti delle principali correnti atmosferiche che toccano il Ticino sono così alterati in maniera più o meno marcata (Spinedi e Isotta 2004).

Le correnti occidentali, spesso umide, calde d'estate e fresche d'inverno, sono perlopiù deviate verso nord. Le invasioni di aria polare o subpolare provenienti da latitudini settentrionali, dovendo superare le Alpi, sono invece modificate in una corrente favonica secca, a volte mite o calda. Le masse d'aria in arrivo dal settore sudovest fino a sud, in generale calde e umide, possono raggiungere il versante sudalpino abbastanza direttamente e senza sostanziali modifiche ma sono poi sottoposte a una destabilizzazione più o meno forte per sollevamento orografico. Le correnti orientali, di provenienza continentale e perciò piuttosto secche, apportano tipicamente aria fredda o molto fredda d'inverno e aria calda d'estate. Un altro influsso non trascurabile sul clima in particolare delle regioni meridionali del Cantone è quello della Valpadana. Ciò si manifesta principalmente con la formazione o l'avvezione di nebbia, foschia e di sostanze inquinanti.

A questi influssi su vasta scala si sovrappongono gli effetti della circolazione locale determinata dalla topografia e dalla presenza dei laghi. Questo fatto determina per esempio brezze regolari o un certo smussamento degli estremi di temperatura in prossimità dei laghi. Al clima della regione dei grandi laghi prealpini del versante sudalpino, comprendente così anche la fascia a basse quote del Ticino centrale e meridionale, è stato dato il nome di insubrico, nome che deriva dall'antico popolo celtico che nel V secolo a.C. abitava la Gallia Transpadana (Amministrazione 1995).

Il clima insubrico è caratterizzato da inverni normalmente secchi e soleggiati, con periodi di favonio da nord ma anche con nevicate a volte abbondanti, da precipitazioni soprattutto nelle stagioni di transizione (primavera e autunno) e da estati soleggiate interrotte da acquazzoni anche violenti. Esso permette la crescita nei luoghi più riparati di molte specie di piante subtropicali o persino tropicali (figg. 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4).

Uno degli aspetti più tipici del clima sudalpino è la variabilità dei singoli elementi meteorologici. L'esempio più vistoso è dato dalle precipitazioni: è possibile avere due mesi consecutivi quasi senza precipitazioni, oppure due mesi il cui totale si avvicina alla media annuale. I mesi del semestre estivo (aprile-settembre) presentano dei minimi assoluti che non superano i 20 mm, mentre nel semestre invernale (ottobre-marzo) i minimi mensili sono vicini a 0 mm. I massimi mensili d'estate superano invece 500 mm, in inverno 250 mm.

La presenza di molte valli che si aprono verso la Pianura Padana determina sovente una dissociazione dei venti a basse quote dalle correnti in quota. La direzione e la velocità dei venti nel Ticino sono così spesso legate al ciclo diurno dei venti termici (vento di monte e di valle, brezza di terra e di lago). Le differenze di pressione tra il nord e il sud delle Alpi possono causare dei venti meridionali (che risalgono le valli) o venti settentrionali (che scendono verso il piano). La velocità media del vento a basse e medie quote è però piuttosto ridotta, ciò che limita l'attrattività degli impianti eolici al di fuori dalle zone delle creste. I venti legati ai temporali, in generale molto variabili, rendono ulteriormente complesso il regime dei venti del Cantone. Le velocità massime a basse quote si registrano in occasione di favonio da nord o con i temporali.

L'inquinamento atmosferico e del suolo si aggiunge ai fattori climatici determinando la qualità della vita a livello locale. Determinate situazioni meteorologiche possono portare alla formazione di persistenti inversioni e provocare un ristagno dell'aria negli strati più bassi dell'atmosfera favorendo l'accumulo di sostanze inquinanti.

Valori climatologici Locarno / Monti

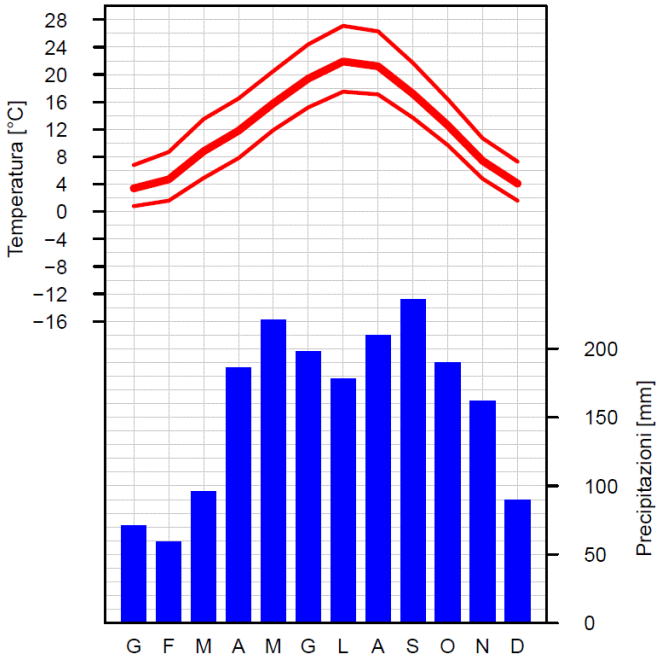
Periodo di riferimento 1981−2010

Quota slm: 367 m

Coord. geogr.: 46.17 N / 8.79 E

Coord. CH: 704160 / 114349

Reg. climatica: Sud delle Alpi



	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno	Periodo
Temperatura [°C]	3.4	4.7	8.8	11.8	15.8	19.4	21.9	21.2	17.2	12.6	7.4	4.1	12.4	1981−2010
Temp. max. [°C]	6.8	8.7	13.5	16.5	20.5	24.4	27.1	26.3	21.7	16.4	10.7	7.3	16.7	1981−2010
Temp. min [°C]	0.8	1.6	4.9	7.8	11.9	15.2	17.5	17.1	13.7	9.7	4.8	1.6	8.9	1981−2010
Giorni di ghiaccio	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	1981−2010
Giorni di gelo	10.4	7.8	1.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	8.4	30.1	1981−2010
Giorni estivi	0.0	0.0	0.2	0.5	4.5	14.0	24.5	21.8	4.5	0.3	0.0	0.0	70.3	1981−2010
Giorni tropicali	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.1	4.8	3.3	0.1	0.0	0.0	0.0	10.5	1981−2010
Umidità relativa [%]	65	61	55	60	66	64	62	66	70	75	70	67	65	1981−2010
Precipitazioni [mm]	71	59	96	186	221	198	178	210	236	190	162	90	1897	1981−2010
Giorni con prec.	4.9	4.5	5.9	10.1	12.4	10.2	8.5	9.9	8.9	9.2	8.3	6.5	99.3	1981−2010
Neve nuova [cm]	18.6	9.1	1.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	14.6	47.0	1981−2010
Giorni con neve	2.1	1.8	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.2	7.4	1981−2010
Neve al suolo [giorni]	6.3	4.6	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	5.3	18.0	1981−2010
Soleggiamento [h]	135	149	196	184	192	229	259	245	194	151	118	119	2171	1981−2010
Sol. relativo [%]	61	60	59	49	47	57	63	62	56	52	52	57	56	1981−2010
Giorni chiari	15.1	12.7	12.8	9.2	7.4	9.5	11.8	11.7	11.0	12.1	12.0	13.7	139.0	1981−2010
Giorni scuri	8.7	6.9	7.6	9.9	9.9	5.8	4.9	5.0	7.6	11.0	11.4	10.1	98.8	1981−2010

Fig. 3.1: Scheda climatologica riassuntiva per la stazione di Locarno-Monti. Valori mensili, periodo di riferimento 1981-2010.

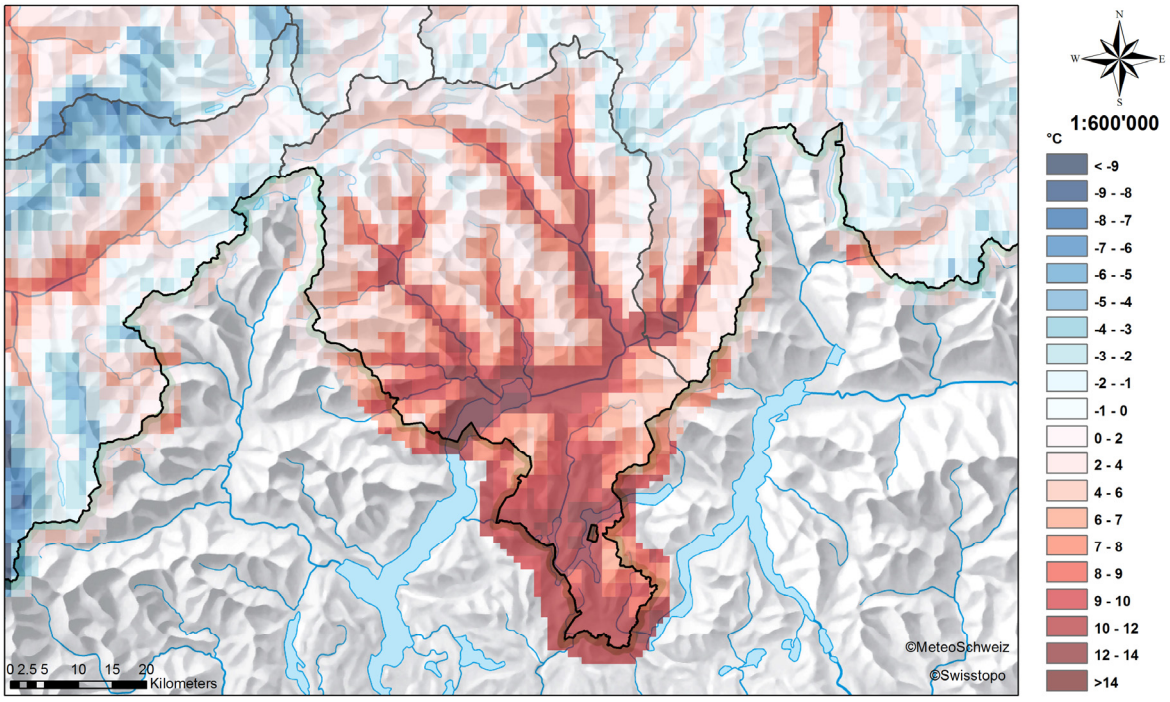


Fig. 3.2: Distribuzione della temperatura (°C) al sud delle Alpi, valori medi annuali (periodo di riferimento 1981-2010).

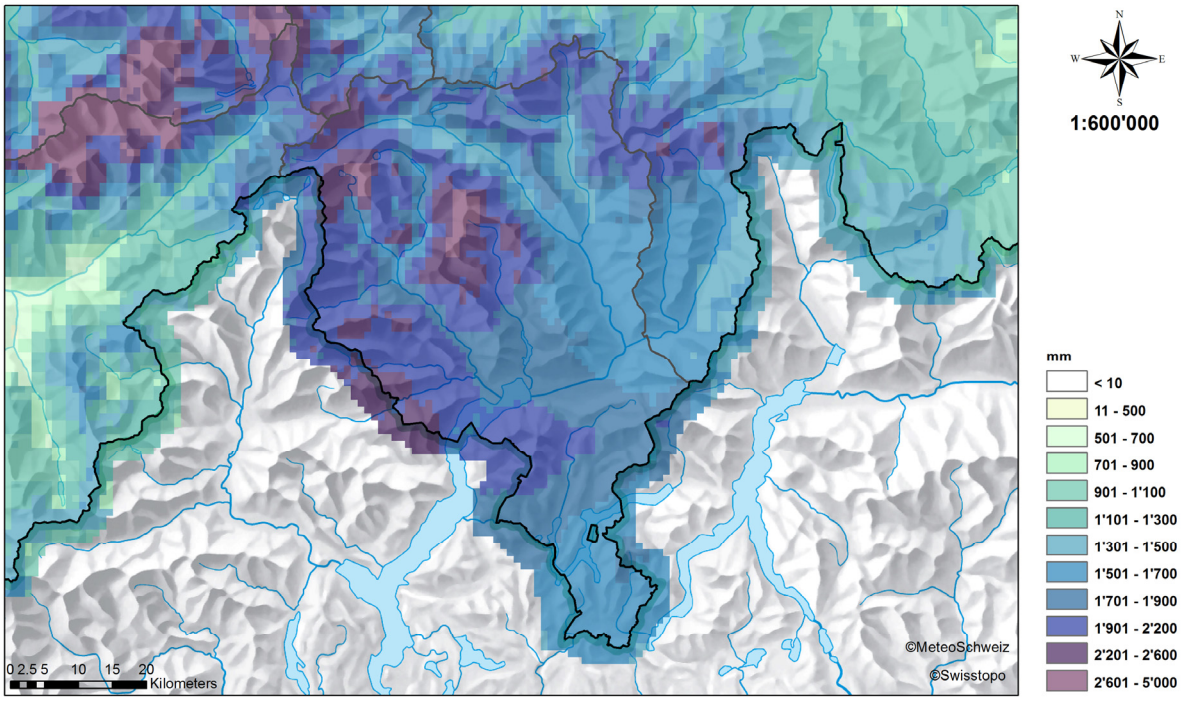


Fig. 3.3: Distribuzione della precipitazioni (mm) al sud delle Alpi, valori medi annuali (periodo di riferimento 1981-2010).

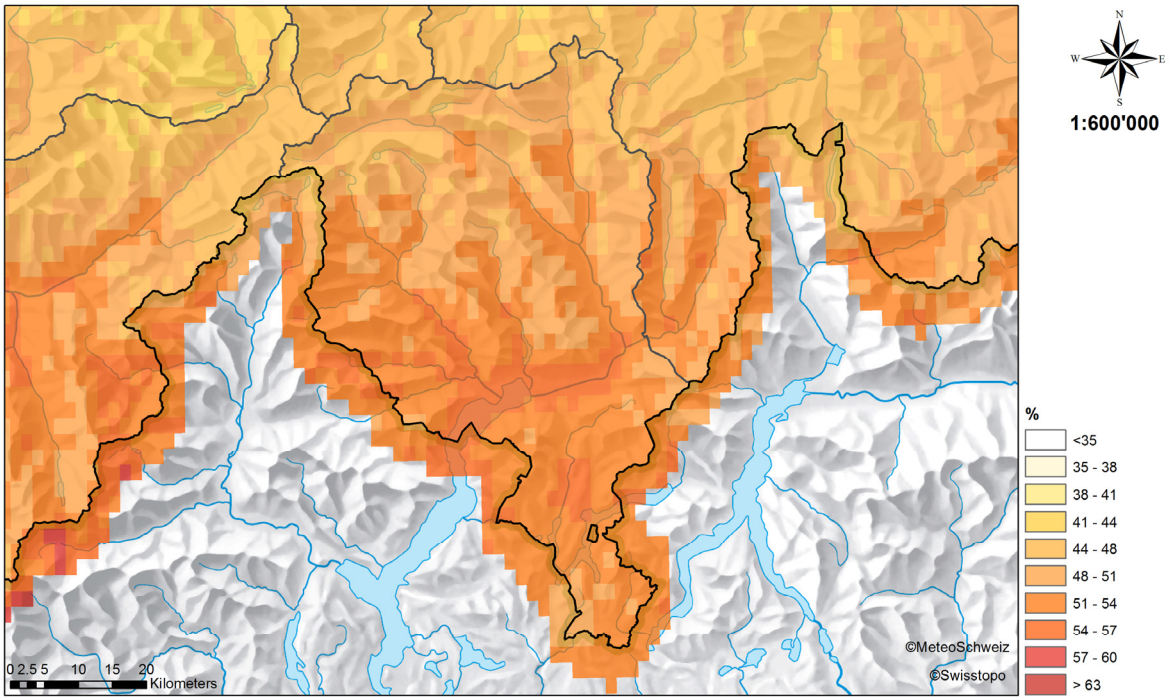


Fig. 3.4: Distribuzione della soleggiamento relativo (%) al sud delle Alpi, valori medi annuali (periodo di riferimento 1981-2010).

3.1 Gli elementi climatici del Ticino in breve

3.1.1 Temperatura

La temperatura media annuale in Ticino, per quanto concerne le zone a basse quote, è compresa tra 11 e 12 °C, con valori estremi che possono andare in casi eccezionali da −10/−18 °C a 35/38 °C. Le fasce collinari sono le regioni che godono di un regime di temperatura più equilibrato, grazie a un frequente rimescolamento dell'aria in tutte le stagioni. Le zone pianeggianti presentano invece minimi di temperatura favoriti dal ristagno di aria fredda nella stagione invernale e i massimi di temperatura in occasione di situazioni di tempo stabile estivo con scarsa ventilazione. La temperatura cala mediamente di 0.5 °C ogni 100 metri verso l'alto nei mesi invernali e di 0.7 °C ogni 100 metri nei mesi estivi.

Le temperature più alte e i relativi massimi storici sono sempre stati misurati in situazioni di tempo soleggiato con favonio da nord, mentre le temperature minime più basse sono state riscontrate in occasione di massicce invasioni di aria fredda continentale e con cielo sereno o poco nuvoloso per più giorni.

3.1.2 Precipitazioni

In Ticino i quantitativi maggiori di precipitazioni cadono in primavera (aprile-maggio) e alla fine dell'estate-inizio dell'autunno (settembre-ottobre), mentre i minimi si verificano nei mesi invernali. Il mese con il maggior numero di giorni con precipitazioni risulta maggio, a causa dell'alta frequenza di situazioni di sbarramento; il minimo è registrato in dicembre o gennaio, grazie alla presenza normalmente prolungata di situazioni anticicloniche. Le intensità più forti sono rilevate d'estate o d'autunno in occasione di forti temporali e possono superare in casi estremi 30 mm in 10 minuti, 90 mm in 1 ora e 300-400 mm in 24 ore. In casi estremi, i massimi mensili più elevati possono rappresentare fino a metà dei quantitativi annuali medi.

La tabella 3.1 riassume un tentativo di classificazione delle precipitazioni in base ai quantitativi giornalieri e alla loro frequenza. La serie di dati (giornalieri) utilizzata come base per la definizione delle classi è quella di Locarno-Monti del periodo 1960-2009 (50 anni), comprende 5076 giorni con precipitazioni (giorni con almeno 1.0 mm). Le classi sono state definite arbitrariamente in base a 1'000 casi e, vista la distribuzione approssimativamente esponenziale delle frequenze delle precipitazioni, con 1 caso nella classe di partenza (quantitativo massimo) e con il numero di casi di ogni classe di circa il doppio di quello della classe precedente. La formula matematica che meglio riproduce le frequenze è: $f = 2.2^n$, con n = 0-8 (Blazevic et al. 2011).

Le definizioni qualitative delle classi (per le frequenze e per i quantitativi) sono state scelte soggettivamente tra i termini usati più comunemente e che meglio sembrano rappresentare le rispettive classi (tabb. 3.1, 3.2 e 3.3). Soltanto "abbondante" è un termine generalmente usato (anche se non sistematicamente) per definire le precipitazioni giornaliere a partire da circa 70 mm e che appare in pubblicazioni di MeteoSvizzera (Courvoisier 1998) e sull'Atlante della Svizzera (Swisstopo 2010).

Tab. 3.1: Definizioni delle classi di delle precipitazioni giornaliere in base alla loro frequenza e ai loro quantitativi.

Rango	Frequenza	Quantitativo	Frequenza teoretica per 1000 eventi f=2.2 (n=0-8)	Frequenza annua indicativa (arrotondata)
0	Estremamente rara	Eccezionale	f=1	0.1
1	Molto rara	Straordinario	f=2.2	0.2
2	Rara	Ingente	f=4.8	0.5
3	Abbastanza rara	Molto abbondante	f=10.6	1
4	Sporadica	Abbondante	f=23.4	2
5	Poco frequente	Considerevole	f=51.4	5
6	Abbastanza frequente	Moderato	f=112.9	11
7	Frequente (normale)	Normale	f=24.8.2	25
8	Molto frequente	Modesto	f=546.6	55

Tab. 3.2: Classificazione delle precipitazioni giornaliere in base alla loro frequenza e ai loro quantitativi per stazioni scelte al sud delle Alpi.

	Airolo	Comprovasco	Bosco Gurin	San Bernardino	Biasca
Rango	mm/1giorni	mm/1giorni	mm/1giorni	mm/1giorni	mm/1giorni
0	>140	>131	>194	>146	>175
1	120-140	103-131	140-194	121-145	144-175
2	97-120	83-103	111-140	95-121	116-144
3	78-97	65-83	85-111	74-95	88-116
4	53-78	49-65	58-85	54-74	62-88
5	36-53	33-49	38-58	37-54	43-62
6	20-36	19-33	23-38	21-37	24-43
7	8-20	8-19	9-23	9-21	10-24
8	1-8	1-8	1-9	1-9	1-10

Tab. 3.3: Classificazione delle precipitazioni giornaliere in base alla loro frequenza e ai loro quantitativi per stazioni scelte al sud delle Alpi..

	Camedo	Locarno-Monti	Grono	Lugano	Coldreroio
Rango	mm/1giorni	mm/1giorni	mm/1giorni	mm/1giorni	mm/1giorni
0	>318	>195	>131	>139	>163
1	231-318	155-195	105-131	105-139	115-163
2	194-231	120-155	87-105	91-105	91-115
3	141-194	90-120	68-87	69-91	70-91
4	98-141	67-90	51-68	54-69	56-70
5	58-98	46-67	36-51	39-54	40-56
6	30-58	27-46	20-36	25-39	26-40
7	10-30	11-27	9-20	11-25	11-26
8	1-10	1-11	1-9	1-11	1-11

3.1.3 Umidità

L'umidità relativa (cioè il rapporto tra il vapore acqueo presente nell'aria e il valore massimo possibile con aria satura alla stessa temperatura) presenta una grande variabilità nel corso della giornata e a dipendenza della situazione meteorologica. Il tasso di umidità relativa in Ticino può variare dal 100%, normalmente in presenza di precipitazioni o di nebbia, a minimi del 4-8% durante qualche ora in occasione di favonio estremamente secco. Le medie mensili variano tra il 60 e il 75%, con i valori più elevati nei periodi più piovosi (primavera/autunno). Vi sono inoltre delle differenze determinate dalla geografia (presenza di laghi/fiumi, esposizione, quota) ma non esistono rilevamenti sistematici in merito.

3.1.4 Radiazione solare

La radiazione solare e il soleggiamento rilevati in una stazione dipendono in primo luogo dalla copertura nuvolosa e dalla presenza di nebbia e foschia, oltre che dall'altezza dell'orizzonte, dall'esposizione e naturalmente dalla stagione. Le nebbie o le foschie invernali interessano principalmente le zone del Ticino centrale e meridionale fino a 500-1'000 m di altitudine, mentre le foschie estive si spingono pure nelle valli raggiungendo una quota di 1'000-2'000 metri. Prendendo Locarno-Monti come riferimento, la radiazione annua su una superficie orizzontale raggiunge in media 110 kWh/m^2, passando come valore mensile da circa 40 kWh/m^2 in dicembre a circa 190 kWh/m^2 in luglio. A Cimetta si registra circa il 110% dei valori di Locarno-Monti, a Piotta l'80% e a Lugano il 93%.

3.1.5 Soleggiamento

Il Ticino gode in generale di un abbondante soleggiamento (definito come presenza del sole con una radiazione di almeno 200 W/m^2), raggiungendo su base annua circa il 55% del massimo possibile (cioè se il cielo fosse sempre sereno) e con valori mensili che variano da un minimo di ca. il 30% a un massimo di ca. l'80%. In media si registrano da 1'800 a 2'200 ore di sole all'anno, il soleggiamento più abbondante ha luogo d'estate con valori medi mensili oltre 200 ore. In questa stagione le stazioni di montagna, nonostante l'orizzonte più ampio, risentono maggiormente della formazione di nuvolosità locale che spesso riduce il soleggiamento anche nelle giornate di bel tempo. I valori massimi di soleggiamento in estate sono così appannaggio di alcune stazioni a basse quote come Locarno-Monti o Lugano. D'inverno però, a causa della posizione geografica e della bassa elevazione del sole, alcune regioni restano senza sole anche per più settimane, mentre le zone pianeggianti sono più interessate da nebbie e foschie che le montagne. Nella stagione invernale il soleggiamento mensile massimo si registra presso le stazioni di montagna, che dispongono di un orizzonte più aperto rispetto ai fondovalle. La fama del Cantone Ticino di "Sonnenstube" della Svizzera è confermata anche dai rilevamenti strumentali: a basse quote

sul versante nordalpino si misurano fra 1’300 e 1’600 ore di sole all’anno, rispetto alle 1800-2200 del versante sudalpino e la differenza è particolarmente marcata durante la stagione invernale.

Nonostante le limitazioni locali dovute all’orografia, la gran parte del territorio ticinese risulta idoneo per l'installazione di sistemi a energia solare, sia attivi (collettori e pannelli solari), sia passivi (finestre o verande).

3.1.6 Nuvolosità

In Ticino, la nuvolosità media annuale (cioè della parte di cielo occupato da nubi) è di circa 50-60%, con i valori più alti lungo l'arco alpino. La copertura nuvolosa viene stimata visivamente in ottavi di volta celeste occupata da nubi e il valore giornaliero rappresenta la media di tre osservazioni effettuate il mattino, a mezzogiorno e alla sera. La componente soggettiva di questo rilevamento è grande e i risultati sono perciò da valutare con cautela.

3.1.7 Favonio

Con il nome di favonio si definisce il vento da nord catabatico (discendente) che raggiunge il Ticino quando sulle Alpi si instaurano correnti settentrionali. Nel corso della sua discesa sul versante sudalpino, l'aria è sottoposta a compressione ciò che ne provoca un rialzo della temperatura e a dipendenza della provenienza geografica delle masse d'aria, il favonio può essere da caldo fino a gelido. Il numero di giorni con favonio diminuisce leggermente andando da nord verso sud, le velocità massime sono però rilevate a basse quote. All’anno si registrano da 30 a 50 giorni con favonio e il periodo dell’anno più soggetto a questo fenomeno va da novembre ad aprile. In media, il mese più ventoso è marzo, con circa 6 giorni favonici, il meno ventoso settembre, con circa 2.5 giorni.

3.1.8 Neve

Le nevicate in pianura rappresentano probabilmente l’elemento più variabile del clima ticinese, sia per la frequenza, sia per i quantitativi. Infatti, anche d'inverno le masse d'aria sono spesso miti e solo sopra 1’000-1’500 m le precipitazioni sono prevalentemente in forma nevosa. A Locarno-Monti, a partire dal 1935, la nevicata più precoce ha avuto luogo il 27 ottobre 1981 (2 cm) e la più tardiva il 2 maggio 1945 (2 cm), mentre la nevicata più abbondante in 24 ore ha avuto luogo nel gennaio 1978 (85 cm).

3.1.9 Siccità

Sul versante subalpino, il periodo durante il quale si verificano le siccità più importanti va da metà dicembre a metà marzo. Pure nei mesi estivi sono possibili prolungate siccità, acutizzate dalle temperature elevate, ma poiché fenomeni di instabilità locale si verificano anche in fasi di tempo anticiclonico, i periodi siccitosi estivi sono nettamente più corti di quelli invernali. Le conseguenze sulle piante possono però essere più pesanti che d’inverno, quando la vegetazione è a riposo

4 Sviluppo storico del clima

I dati provenienti dalle serie di misurazioni delle due principali stazioni situate a basse quote nel Cantone Ticino testimoniano un chiaro aumento della temperatura da quando si sono iniziati i rilevamenti sistematici. Quest'aumento di temperatura si inserisce in modo coerente con il riscaldamento a basse quote registrato anche nelle altre regioni della Svizzera. Per quel che riguarda le precipitazioni medie annuali le variazioni periodiche sono l'elemento tipico messo in evidenza dai dati misurati. I principali risultati dell'analisi possono essere così riassunti:

- **Dal 1900 si registra in tutte le stagioni una tendenza positiva molto significativa compresa fra 0.1 °C e 0.2 °C per decennio.**
- **Dal 1961 la tendenza positiva è andata rinforzandosi in tutte le stagioni. In particolare risalta l'aumento molto significativo della tendenza in primavera e in estate, pari a 0.5 °C per decennio.**
- **Sia partendo dal 1900, sia dal 1961, non è possibile mettere in evidenza una tendenza significativa per quel che riguarda le precipitazioni medie annuali.**

4.1 Introduzione

Per dare uno sguardo storico di ampio respiro sull'evoluzione del clima in Ticino si sono analizzati i dati delle due stazioni a basse quote di Lugano e di Locarno-Monti, le uniche due che dispongono di una serie di misurazioni di sufficiente qualità e risalenti alla seconda metà del XIX secolo. Per completare le informazioni fornite dalle stazioni a basse quote, sono stati analizzati anche i dati rilevati dalla stazione del Gran San Bernardo (2'472 m slm). Pur non essendo situata in senso stretto sul versante sudalpino, essa è l'unica stazione di misurazione in quota che ha a disposizione dati utilizzabili per un'analisi climatica come quella effettuata in questo rapporto (MeteoSvizzera 1864-2011).

4.2 Andamento della temperatura in Ticino

Il rialzo della temperatura dopo la Piccola Età Glaciale si è fatto sentire anche in Ticino: fino al 1980 circa in maniera irregolare con importanti oscillazioni, mentre dopo questa data il regime termico sembra essere cambiato con un rialzo massiccio e pressocché costante della temperatura. Negli ultimi 25 anni circa si sono così registrati i 10 anni più caldi dall'inizio delle misurazioni sistematiche come pure numerosi primati mensili e stagionali. La primavera e l'estate sono le stagioni con il rialzo più significativo e continuo della temperatura; per l'inverno e l'autunno il rialzo è stato consistente ma meno continuo. Anche tra il 1940 e 1950 in primavera e in estate si era avuta una fase calda, alla quale in generale si riferiscono i primati precedenti. In quell'occasione l'ampiezza della fase calda e la sua intensità sono però state nettamente inferiori rispetto agli ultimi 25 anni. Il riscaldamento in montagna è stato solo leggermente meno pronunciato che in pianura, in particolare in autunno e in inverno (fig. 4.1).

I grafici del capitolo 4, contrariamente al resto del rapporto, utilizzano come riferimento i valori normali 1961-1990.

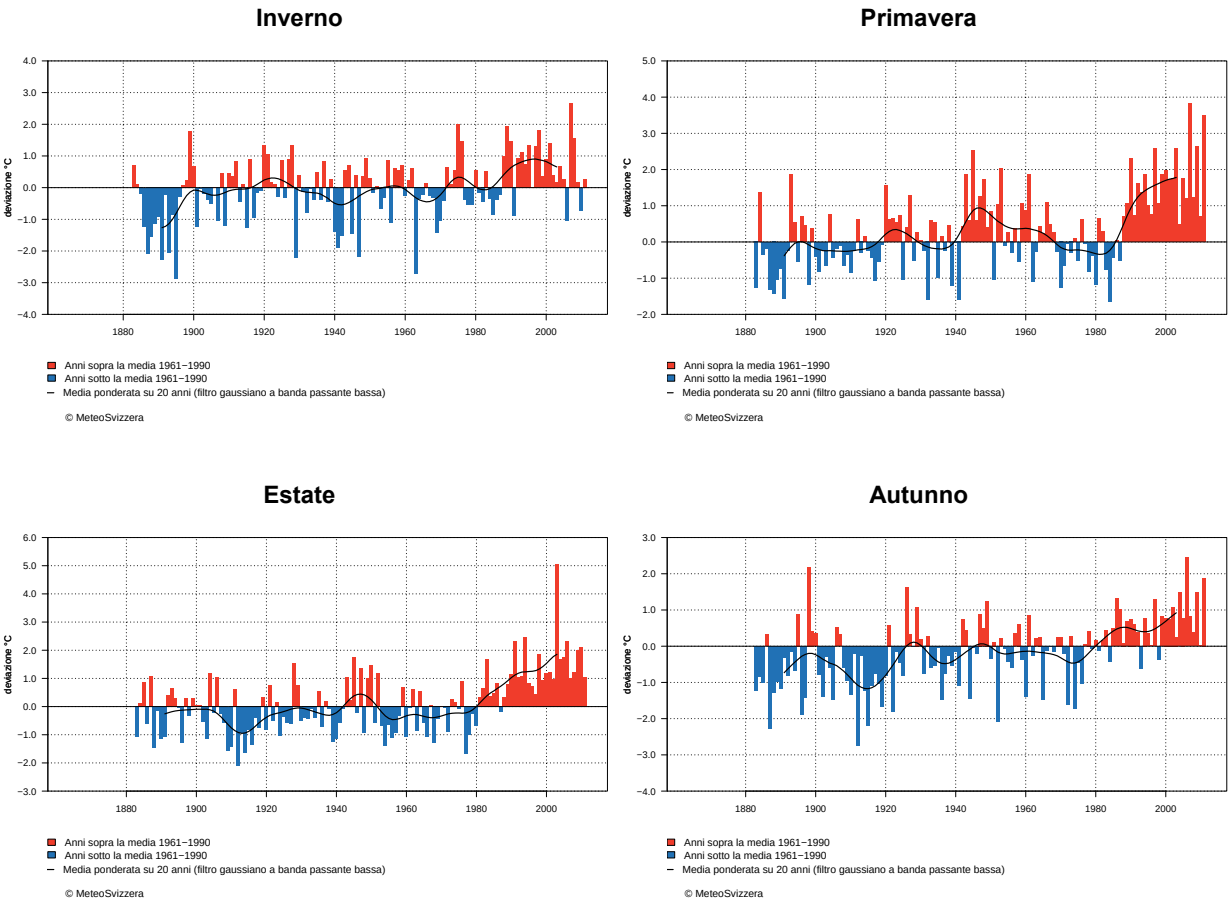


Fig. 4.1: Deviazione dalla norma (periodo 1961-1990) delle temperature stagionali a partire dal 1883 a Locarno-Monti. Gli scarti positivi sono riportati in rosso, quelli negativi in blu, mentre la curva nera rappresenta il filtro gaussiano su 20 anni.

4.2.1 Tendenza della temperatura in Ticino

Le serie di dati di Locarno-Monti, Lugano e Gran San Bernardo sono di lunghezza differente. Affinché sia possibile paragonare fra loro i risultati delle analisi delle tendenze nell'evoluzione della temperatura, sono stati scelti due periodi per l'elaborazione: il 1900-2011, che fornisce uno sguardo temporale lungo, e il 1961-2011 che permette di mettere in evidenza le variazione più recenti.

Le due stazioni a basse quote di Locarno-Monti e Lugano mostrano tendenze molto significative dell'aumento delle temperature in tutte le stagioni. Anche la stazione del Gran San Bernardo mostra una tendenza al riscaldamento, anche se per alcune stagioni essa non è statisticamente significativa.

Il paragone fra i due periodi (1900-2011 e 1961-2011) evidenzia chiaramente come la tendenza al riscaldamento abbia subìto un accelerazione negli ultimi 50 anni. In particolare in primavera e in estate, stagioni nelle quali il riscaldamento è decisamente maggiore rispetto ad autunno e inverno (tabb. 4.1 e 4.2).

Si tenga presente che i dati riportati nelle tabelle sono riferiti alle variazioni per decenni. A prima vista questa variazione può apparire di poca entità, essendo in valore assoluto dell'ordine di pochi decimi di grado. Ma se si considera l'intero periodo preso in esame, si ottengono valori complessivi ben superiori, compresi ad esempio fra il 1900 e il 2011 fra +1.0 °C e +2.0 °C.

Tab. 4.1: Tendenza stagionale della temperatura per decennio durante il periodo 1900 - 2011. Tendenze significative sono evidenziate in grassetto, in rosso se positive, in blu se negative.

Stazione	**Primavera** (mar. – mag.)	**Estate** (giu. – ago.)	**Autunno** (set. – nov.)	**Inverno** (dic. – feb.)
Locarno-Monti	**+ 0.2 °C** (molto significativo)	**+ 0.2 °C** (molto significativo)	**+ 0.1 °C** (molto significativo)	**+ 0.1 °C** (molto significativo)
Lugano	**+ 0.1 °C** (molto significativo)	**+ 0.1 °C** (molto significativo)	**+ 0.1 °C** (molto significativo)	**+ 0.1 °C** (molto significativo)
Gran San Bernardo	**+ 0.1 °C** (molto significativo)	**+ 0.2 °C** (molto significativo)	**+ 0.1 °C** (molto significativo)	+ 0.1 °C (non significativo)

Tab. 4.2: Tendenza stagionale della temperatura per decennio durante il periodo 1961 - 2011. Tendenze significative sono evidenziate in grassetto, in rosso se positive, in blu se negative.

Stazione	**Primavera** (mar. – mag)	**Estate** (giu. – ago.)	**Autunno** (set. – nov.)	**Inverno** (dic. – feb.)
LocarnoMonti	**+ 0.5 °C** (molto significativo)	**+ 0.5 °C** (molto significativo)	**+ 0.3 °C** (molto significativo)	**+ 0.3 °C** (molto significativo)
Lugano	**+ 0.5 °C** (molto significativo)	**+ 0.5 °C** (molto significativo)	**+ 0.2 °C** (molto significativo)	**+ 0.3 °C** (molto significativo)
Gran San Bernardo	**+ 0.5 °C** (molto significativo)	**+ 0.5 °C** (molto significativo)	+ 0.1 °C (non significativo)	+ 0.2 °C (non significativo)

Sul sito web di MeteoSvizzera si possono visualizzare mappe della Svizzera con indicate le tendenze per decennio delle temperature per diversi periodi (ad esempio 1900-2000 oppure gli ultimi 10, 30 o 50 anni). Si veda il link:

http://www.meteosvizzera.ch/web/it/clima/clima_oggi/Trend_climatici_nelle_stazioni.html

4.3 Andamento delle precipitazioni in Ticino

L'evoluzione delle precipitazioni non mostra una tendenza definita ma piuttosto sembra contrassegnata da oscillazioni marcate nel corso degli anni e più o meno importante a seconda della stagione. L'inverno e l'autunno presentano le oscillazioni più regolari, per la primavera si è avuto un periodo di magra tra il 1950 e il 1970, seguito da un ventennio umido mentre negli ultimi due decenni la tendenza è nuovamente verso delle stagioni più asciutte (fig. 4.2).

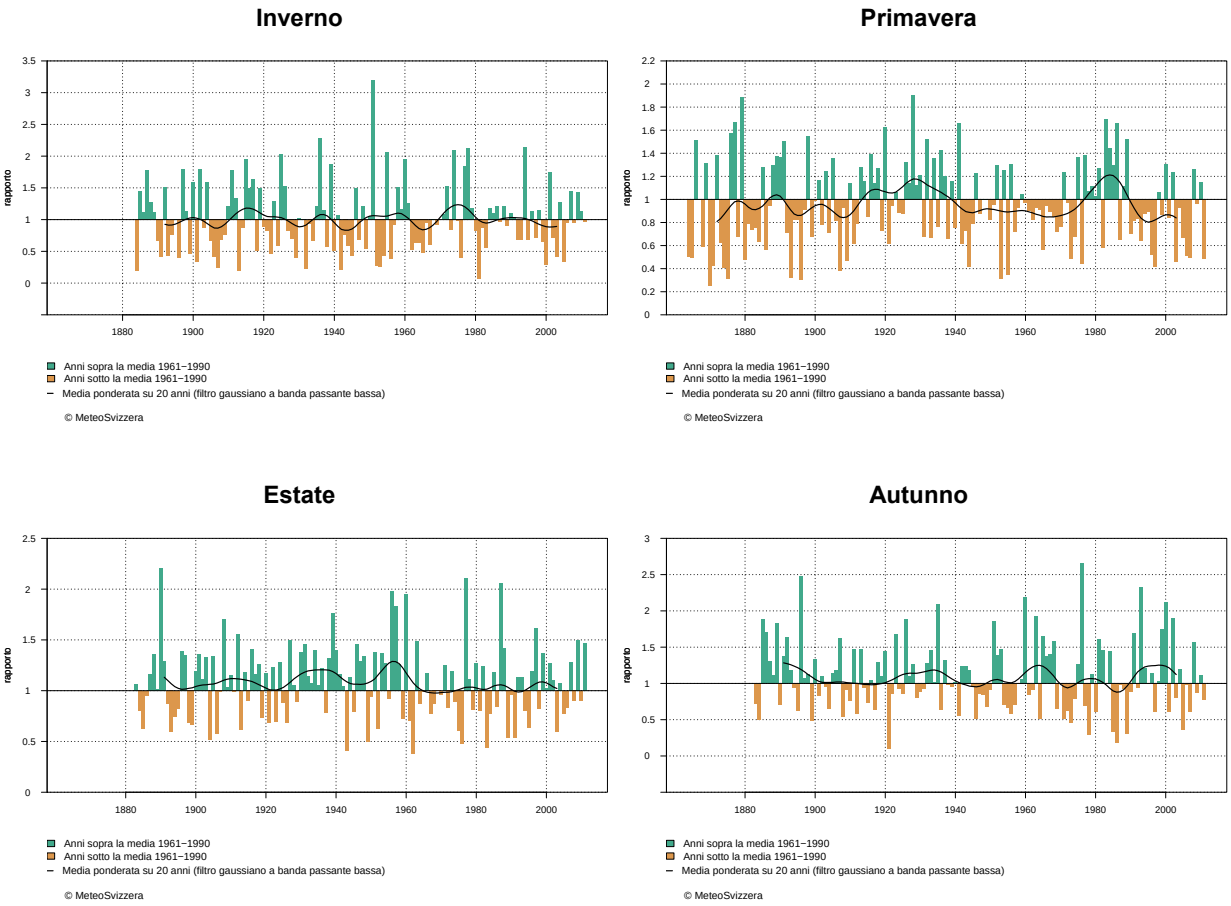


Fig. 4.2: Deviazione dalla norma (periodo 1961-1990) delle precipitazioni stagionali a partire dal 1883 a Locarno-Monti. Gli scarti positivi sono riportati in verde, quelli negativi in marrone, mentre la curva nera rappresenta il filtro gaussiano su 20 anni.

4.4 Tendenza delle precipitazioni in Ticino

Come per l'analisi storica dell'evoluzione della temperatura, anche per l'analisi della tendenza delle precipitazioni sono stati elaborati i dati provenienti dalle stazioni di Locarno-Monti, Lugano e Gran San Bernardo. Anche in questo caso sono stati scelti due periodi per l'elaborazione: il 1900-2011, che fornisce uno sguardo temporale lungo, e il 1961-2011 che permette di mettere in evidenza le variazione più recenti.

Coerentemente con le conclusioni del capitolo precedente, la tendenza stagionale delle precipitazioni per decennio non mette in risalto delle tendenze significative da un punto di vista statistico. L'unica tendenza significativa appare essere quella per la stagione invernale della stazione del Gran San Bernardo sul periodo 1900 – 2011, che mostra un aumento del 2.3%. Questa informazione deve essere considerata comunque con la dovuta prudenza, tenendo conto delle difficoltà intrinseche alla misurazione della precipitazione in montagna, in particolare d'inverno. Sulla base delle serie di misurazioni delle due stazioni di basse quote, non è possibile mettere in evidenza nessun cambiamento statisticamente significativo delle precipitazioni stagionali medie in Ticino.

In generale, negli ultimi 50 anni a Lugano e Locarno-Monti i quantitativi di precipitazione hanno subito una variazione inferiore al 5% per decennio. Tendenzialmente le precipitazioni sono leggermente diminuite in primavera (circa −1.5% per decennio), mentre in estate (attorno a +4.0% per decennio) e inverno (attorno a +3.0% per decennio) si è avuto un leggero aumento. Sul lungo periodo (1900-2011) le variazioni sono inferiori

rispetto al corto periodo (1961-2011). Come detto però nessuno di questi cambiamenti è statisticamente significativo (tabb. 4.3 e 4.4).

Tab. 4.3: Tendenza stagionale delle precipitazioni per decennio durante il periodo 1900 - 2011. Tendenze significative sono evidenziate in grassetto, in rosso se positive, in blu se negative.

Stazione	**Primavera** (mar. – mag)	**Estate** (giu. – ago.)	**Autunno** (set. – nov.)	**Inverno** (dic. – feb.)
Locarno-Monti	− 1.3% (non significativo)	− 1.1% (non significativo)	− 0.4% (non significativo)	+ 0.8% (non significativo)
Lugano	− 1.3% (non significativo)	− 0.9% (non significativo)	− 0.6% (non significativo)	+ 1.2% (non significativo)
Gran San Bernardo	+ 0.2% (non significativo)	+ 0.3% (non significativo)	+ 0.3% (non significativo)	**+ 2.3%** (significativo)

Tab. 4.4: Tendenza stagionale delle precipitazioni per decennio durante il periodo 1961 - 2011. Tendenze significative sono evidenziate in grassetto, in rosso se positive, in blu se negative.

Stazione	**Primavera** (mar. – mag)	**Estate** (giu. – ago.)	**Autunno** (set. – nov.)	**Inverno** (dic. – feb.)
Locarno	− 1.2% (non significativo)	+ 3.7% (non significativo)	+ 0.1% (non significativo)	+ 3.5% (non significativo)
Lugano	− 1.7% (non significativo)	+ 4.6% (non significativo)	+ 1.2% (non significativo)	+ 2.8% (non significativo)
Gran San Bernardo	+ 1.2% (non significativo)	+ 0.3% (non significativo)	− 0.2% (non significativo)	+ 3.1% (non significativo)

Sul sito web di MeteoSvizzera si possono visualizzare mappe della Svizzera con indicate le tendenze per decennio delle precipitazioni per diversi periodi (ad esempio 1900-2000 oppure gli ultimi 10, 30 o 50 anni). Si veda il link:

http://www.meteosvizzera.ch/web/it/clima/clima_oggi/Trend_climatici_nelle_stazioni.html

5 Indicatori climatici

Diversi indicatori climatici che possono avere conseguenze sui differenti settori socioeconomici ticinesi (turismo, produzione energetica, gestione del patrimonio boschivo, agricoltura, ecc.) mostrano delle variazioni marcate. In particolare spiccano gli indicatori legati alla temperatura, quali il numero di giorni di gelo o di quelli estivi, oppure dell'innevamento. In breve, i cambiamenti più importanti per il Cantone Ticino dal 1961 ad oggi sono:

- **Chiara diminuzione del numero di giorni di gelo.**
- **Netto aumento del numero di giorni estivi (e tropicali), a bassa e media quota.**
- **Aumento dei giorni afosi.**
- **Rialzo della quota dell'isoterma di zero gradi in tutte le stagioni, più pronunciato in estate.**
- **Orientamento alla diminuzione del numero di giorni con precipitazioni, anche se statisticamente non significativo sull'insieme del territorio cantonale.**
- **Nessuna variazione statisticamente significativa nel numero di giorni con precipitazioni moderate.**
- **Netta diminuzione delle nevicate e della lunghezza del periodo con neve al suolo, particolarmente significativa a media quota.**

5.1 Introduzione

L'evoluzione storica di alcuni indicatori climatici scelti permette di mettere in evidenza possibili effetti dei cambiamenti climatici. Sulla base dei rilevamenti delle grandezze meteorologiche classiche è possibile definire svariati indicatori climatici, in funzione delle esigenze specifiche di una regione o dell'interesse dei ricercatori. L'elenco degli indicatori climatici in questo senso potrebbe essere molto lungo. Sulla base dei dati omogenizzati a disposizione sono stati scelti una serie di indicatori climatici che ci sembrano essere significativi per comprendere l'evoluzione climatica del Cantone Ticino, degli ultimi 50 anni (1961-2011). Oltre alle stazioni di Lugano e Locarno-Monti, già utilizzate nelle analisi del capitolo 4, nell'analisi degli indicatori climatici sono utilizzate ulteriori stazioni, i cui dati non dovevano necessariamente risalire fino all'inizio dello scorso secolo, come era il caso per le esigenze del capitolo precedente. Questo ci permette di ottenere una migliore visione spaziale dei cambiamenti sull'intero territorio cantonale. L'elenco delle stazioni usate per l'analisi degli indicatori climatici si trova nella tabella 2.1.

La tabella 5.1 elenca gli indicatori climatici analizzati nel presente rapporto, come pure la loro definizione. Gli indicatori 1/2/3/6/7/10 sono indicatori definiti secondo il gruppo di esperti ETCCDI dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (Expert Team on Climate Change Detection and Indices, http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/). Questi indicatori sono calcolati seguendo le regole e il software ufficiale di questo gruppo di esperti. Come base di calcolo sono stati utilizzati le serie omogenizzate delle temperature minime e massime, come pure delle somme giornaliere delle precipitazioni. Gli altri indicatori sono stati definiti da MeteoSvizzera (tab. 5.1).

Nella tabella 2.2 del capitolo "Dati e metodi" sono invece elencati per ogni stazione gli indicatori climatici utilizzati e la lunghezza del periodo di disponibilità dei dati. Non per tutte le stazioni sono presenti 50 anni di dati per ogni indicatore climatico, ciò che non permette sempre di paragonare direttamente le variazioni e il valore p di un determinato indicatore fra le varie stazioni analizzate.

I grafici delle figure riportano l'andamento dell'indicatore climatico per ogni anno dal 1961, rispettivamente dalla data di disponibilità dei dati (linea nera), e il corrispondente trend (riga rossa), calcolato con il metodo dei minimi quadrati con una regressione logica (vedi cap. 2.4). I grafici delle stazioni riportati nella parte principale di questo rapporto sono stati scelti in base a criteri di distribuzione geografica o altitudinale, mentre l'insieme dei grafici di tutte le stazioni è riportato nell'allegato. Inoltre ogni indicatore è completato da una tabella delle variazioni decennali, variazioni relative su 50 anni (rispettivamente per il periodo di disponibilità dei dati) e il valore p di ogni stazione considerata.

Tab. 5.1: Lista degli indicatori climatici analizzati nel presente rapporto.

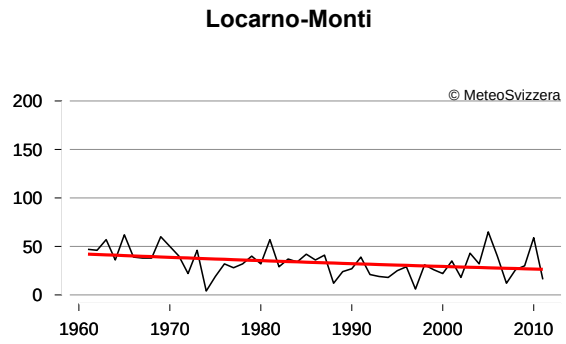
#	Indicatore	Tipo	Definizione
1	Giorni di gelo	Temperatura	Giorno di calendario con temperatura minima $T_{min} < 0$ °C
2	Giorni estivi	Temperatura	Giorno di calendario con temperatura massima $T_{max} \geq 25$ °C
3	Giorni tropicali	Temperatura	Giorno di calendario con temperatura massima $T_{max} \geq 30$ °C
4	Giorni afosi	Temperatura Umidità	Giorno di calendario con pressione parziale del vapore acqueo $H_2O_{par} > 18.7$ hPa
5	Isoterma di zero gradi	Temperatura	Altitudine in m slm dell'isoterma di zero gradi
6	Giorni con precipitazioni	Precipitazioni	Giorno di calendario con precipitazioni P ≥ 1 mm
7	Giorni con precipitazioni moderate	Precipitazioni	Giorno di calendario con precipitazioni P ≥ 30 mm
8	Neve fresca	Neve	Altezza della neve fresca giornaliera, misurazione ore 07
9	Giorni con neve totale ≥ 5 cm	Neve	Giorno con almeno 5 cm di neve sul terreno, misurazione ore 07
10	Giorni asciutti	Precipitazioni	Giorni di calendario consecutivi con precipitazioni P < 1 mm
11	Giorni chiari	Soleggiamento	Giorno di calendario con soleggiamento realtivo $Sol_{rel} > 80\%$
12	Giorni scuri	Soleggiamento	Giorno di calendario con soleggiamento realtivo $Sol_{rel} < 20\%$
13	Giorni favonici	Vento	Giorno di calendario con favonio a Locarno-Monti

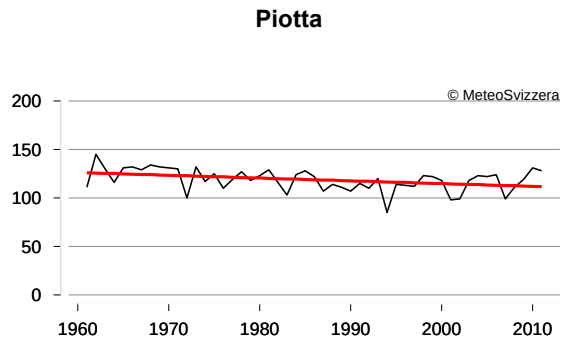
5.2 Giorni di gelo e giorni di ghiaccio

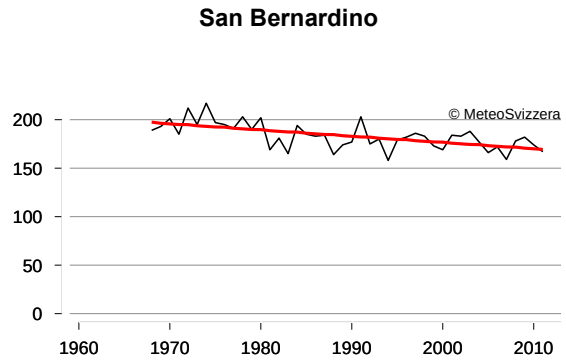
Un giorno di gelo è definito tale quando la temperatura minima scende sotto zero. Quando anche la temperatura massima resta sotto zero tutta la giornata, si ha invece un giorno di ghiaccio. Anche se saltuariamente si possono verificare più giorni di ghiaccio nello stesso inverno, come per esempio nel 1956, 1985 o 2012, a basse quote i valori medi sono talmente ridotti che risultano poco significativi per stabilire una tendenza. I giorni con gelo sono invece più numerosi e si prestano meglio all'analisi statistica.

Il numero di giorni di gelo all'anno varia, in particolare, in funzione della quota e della posizione della stazione (posizione di fondovalle o di pendio). Il numero medio di giorni di gelo all'anno passa dai 30/50 per le stazioni a bassa quota di pendio o in vicinanza di un lago (Lugano, Locarno-Monti o Grono) agli 80/100 delle stazioni situate a bassa quota ma in un fondovalle (Magadino, Stabio) o a media quota (Piotta, Acquarossa/Comprovasco) fino a superare i 150 giorni per le stazioni di montagna (San Bernardino, Robiei, Cimetta).

I risultati dell'elaborazione mostrano come il numero di giorni di gelo abbia subìto una visibile riduzione presso tutte le stazioni analizzate. Tralasciando le stazioni poco significative per la corta lunghezza della serie di misura, la tendenza varia da un minimo di −2.80 giorni/decennio (Piotta) fino a −6.28 giorni/decennio (San Bernardino). Questa tendenza è coerente con il trend generale all'aumento delle temperature, registrato negli ultimi 50 anni. Il valore della tendenza fra le varie stazioni non mostra nessuna differenziazione regionale oppure in funzione della quota o della localizzazione della stazione (stazione di fondovalle o di pendio). La variazione è statisticamente molto significativa nelle stazioni di Lugano, Magadino, Piotta, Acquarossa/Comprovasco e San Bernardino (tutte stazioni con serie di misura risalenti ad almeno il 1970), mentre per Stabio, Cimetta e Robiei la variazione non è statisticamente significativa (queste tre stazioni sono anche quelle con le serie di dati più corte). Considerando solo le stazioni per le quali la variazione è significativa o molto significativa, la diminuzione percentuale nel numero di giorni di gelo varia da un minimo di −12.0% a Piotta a un massimo di −73.3 % a Lugano. In queste stazioni la diminuzione relativa mostra una dipendenza con la quota: nelle stazioni a bassa quota la diminuzione è maggiore rispetto alle stazioni di montagna, con l'eccezione della stazione di Magadino (fig. 5.1).







Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
LUG	-4.69	-73.3	0.000
OTL	-3.09	-46.8	0.022
MAG	-3.56	-18.6	0.002
CIM	-3.26	-7.4	0.276
SBO	-5.86	-17.5	0.014
PIO	-2.80	-12.0	0.007
ROE	-1.21	-1.5	0.754
COM	-4.67	-22.9	0.004
SBE	-6.28	-15.1	0.000
GRO	-3.87	-37.5	0.039

Fig. 5.1: Andamento del numero annuale di giorni di gelo a Locarno-Monti, Piotta e San Bernardino, a partire dal 1961, risp. 1966 per San Bernardino. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.

5.3 Giorni estivi e giorni tropicali

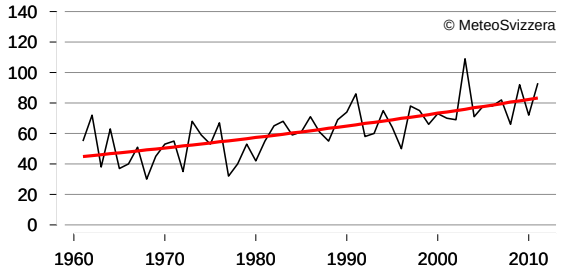
Un giorno estivo è definito come tale quando la temperatura massima eguaglia o supera 25 gradi, mentre quando eguaglia o supera 30 gradi si ha per definizione un giorno tropicale. Alcuni giorni estivi si verificano in un numero statisticamente significativo all'anno fino a circa 1'500 m di quota, mentre i giorni tropicali si verificano in modo più sporadico fino a circa 1'000 m. Nel 2003, con la torrida estate rimasta impressa nella memoria collettiva, a basse quote sono stati contati circa 110 giorni con temperatura massima uguale o superiore a 25 gradi, di cui 50-60 con

massima uguale o superiore a 30. In quell'anno alcuni giorni estivi sono stati rilevati anche tra 1'500 e 2'000 m di quota e qualche giorno tropicale perfino sopra 1'000 metri.

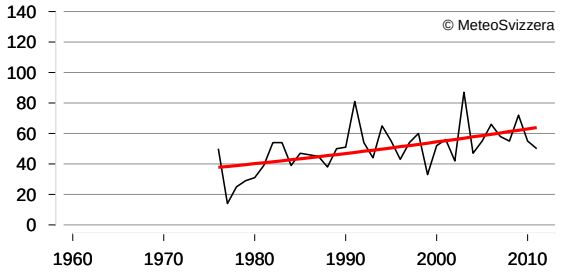
Delle 10 stazioni analizzate, tre si trovano a quote troppe elevate per permettere delle asserzioni statisticamente significative in relazione al numero di giorni estivi, vale a dire le stazioni di Cimetta, Robiei e di San Bernardino.

Fra le altre stazioni situate a bassa o media quota, i risultati per quel che riguarda i giorni estivi sono tutti statisticamente significativi o molto significativi. Considerando le serie di misura iniziate nel 1961, l'aumento decennale è attorno ai 7 giorni/decennio: a Lugano, Locarno-Monti e Magadino si registrano oggigiorno in media 35 giorni in più estivi rispetto a mezzo secolo fa. Anche le altre stazioni mostrano delle chiare tendenze al rialzo, con il valore più alto a Grono (circa 11 giorni/decennio, con misure disponibili dal 1971) e quello più basso a Piotta (circa 3 giorni/decennio, con misure disponibili pure dal 1971) (fig. 5.2).

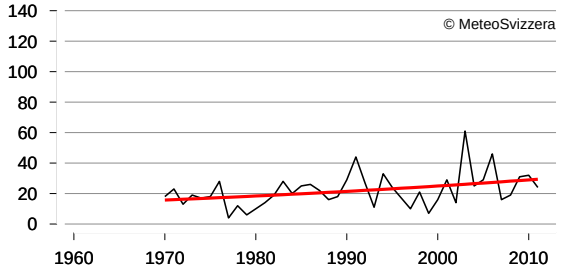
Locarno-Monti



Acquarossa/Comprovasco



Piotta



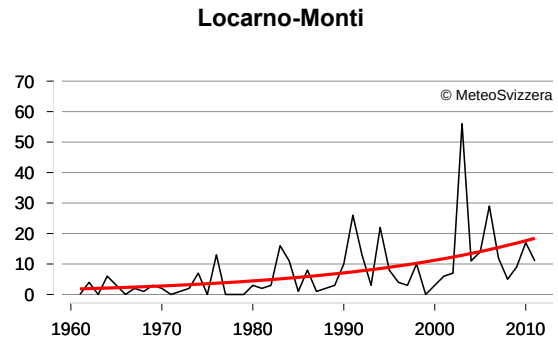
Variazioni decennali e relative, valore p

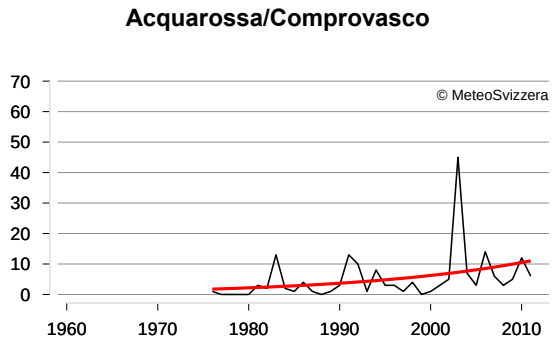
Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
LUG	7.47	65.4	0.000
OTL	7.64	62.3	0.000
MAG	6.47	45.4	0.000
CIM	-0.03	-151.9	0.585
SBO	9.30	37.4	0.000
PIO	3.30	63.2	0.014
ROE	0.05	209.8	0.610
COM	7.35	53.0	0.001
SBE	0.36	291.4	0.203
GRO	11.68	64.6	0.000

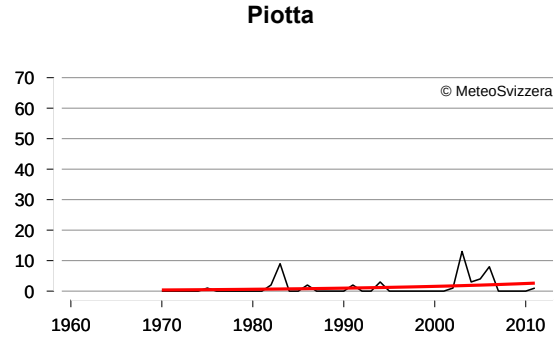
Fig. 5.2: Andamento del numero annuale di giorni estivi a Locarno-Monti, Piotta e Acquarossa/Comprovasco, a partire dal 1961, risp. 1975 per Acquarossa/Comprovasco. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate. Da notare il picco di giorni estivi del 2003.

Anche il numero di giorni tropicali a bassa e media quota è aumentato in modo significativo (Stabio e Comprovasco) o molto significativo (Lugano, Locarno-Monti, Magadino e Grono), mentre per Piotta non è significativo.

Il numero di giorni tropicali ha subito un aumento molto marcato, in particolare a partire dalla fine degli anni '80 del secolo scorso. A basse quote si è così passati da pochi casi per estate a 10-20 giornate dopo il 2000 in cui la temperatura massima sale sopra i 30 °C. Per Lugano, Locarno-Monti e Magadino, le tre stazioni con le serie di misura più lunghe, il numero di tali giornate è praticamente triplicato rispetto ai decenni prima degli anni '80 del secolo scorso (fig. 5.3).







Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
LUG	4.14	393.2	0.000
OTL	4.05	282.3	0.000
MAG	4.66	292.6	0.000
SBO	5.70	126.9	0.026
PIO	0.63	225.0	0.136
COM	2.97	209.2	0.036
SBE	-0.01	-209.9	0.601
GRO	8.33	263.1	0.000

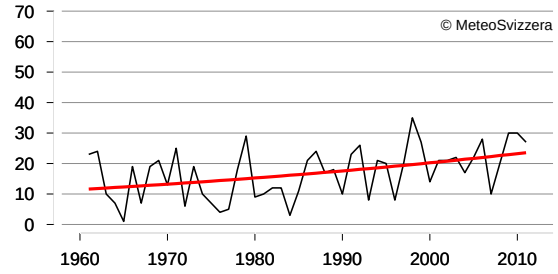
Fig. 5.3: Andamento del numero annuale di giorni tropicali a Locarno-Monti, Acquarossa/Comprovasco e Piotta, a partire dal 1961, risp. 1975 per Acquarossa/Comprovasco e 1970 per Piotta. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate. Da notare il picco di giorni tropicali del 2003.

5.4 Giorni afosi

Il senso di afa subentra quando la temperatura e l'umidità relativa dell'aria superano una soglia critica, che può essere espressa con il tasso di umidità assoluta, oppure con la pressione parziale del vapore acqueo nell'aria. Non tutte le persone sono egualmente sensibili all'umidità ma è stato accertato che la sensazione di afa generalmente subentra quando il contenuto di vapore d'acqua nell'aria supera 14 g/m^3, rispettivamente quando la pressione del vapore d'acqua supera 18.7 hPa. A livello epidermico, la sensazione di afa è causata dalla diminuzione della capacità raffreddante del corpo dovuta all'aumento della temperatura e del tasso di umidità). Il vento è per contro un fattore mitigante perché accelera la dispersione dell'energia termica corporea.

In 50 anni il numero di giorni afosi è praticamente raddoppiato in entrambe le stazioni prese in esame, con una variazione statisticamente significativa: a Locarno-Monti si è passati da 10 giorni in media all'anno negli anni '60 del secolo scorso ai 20 giorni odierni, a Lugano da 20 a 40 giorni. Da notare che a Locarno-Monti l'aumento è stato abbastanza regolare, mentre a Lugano le variazioni interannuali risultano più marcate, dovute probabilmente al maggiore influsso del clima padanico a Lugano che non a Locarno-Monti. Nonostante la distanza ridotta tra le due località, Locarno-Monti beneficia maggiormente di Lugano delle correnti locali legate alle valli alpine, che limitano l'accumulo di aria afosa, spesso legata allo strato limite sulla Valpadana (fig. 5.4).

Locarno - Monti



Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
LUG	2.39	71.9	0.002
OTL	3.45	55.8	0.006

Fig. 5.4: Andamento del numero di giorni afosi (secondo Thams, pressione parziale del vapore acqueo >18.7 hPa) a Locarno-Monti, a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p per Locarno-Monti e Lugano.

5.5 Isoterma di zero gradi

L'isoterma di zero gradi definisce la quota nell'atmosfera libera dove avviene il passaggio da temperature positive a negative. Esso caratterizza la massa d'aria presente sulla regione, indipendentemente dalle variazioni locali e di breve durata in vicinanza del terreno dovute al riscaldamento diurno, risp. al raffreddamento notturno. L'isoterma di zero gradi non è un indicatore ufficiale dell'OMM, ma ciò nonostante è stato analizzato in questo rapporto poiché molto significativo per le regioni di montagna.

Vi sono diversi metodi per stabilire la quota dell'isoterma di zero gradi, tra i quali l'analisi dei dati dei sondaggi atmosferici. Per il presente rapporto è stato però preferito un metodo basato sui dati delle stazioni al suolo ubicate a differenti altitudini, ritenuto più rappresentativo della situazione regionale che non l'analisi di radiosondaggi lanciati nell'atmosfera libera da stazioni a una certa distanza dal Ticino. Come indicato nel cap. 2.4 il calcolo della quota è stato effettuato con una regressione lineare tra 12 stazioni del versante sudalpino o che si trovano nelle zone limitrofe (Lugano, Locarno, Magadino, Grono, Piotta, Robbia, Acquarossa/Comprovasco, San Bernardino, rispettivamente Segl-Maria, Bernina Ospizio, Gran San Bernardo e Jungfraujoch).

In Ticino l'escursione annuale tipica dell'isoterma di zero gradi è di 2'500 m circa, con la sua quota che può variare da una media di 600 m slm in inverno a oltre 3'500 m slm in estate, passando per i 2'000/2'500 m tipici della primavera e dell'autunno. Negli ultimi 50 anni circa, nonostante le notevoli variazioni di anno in anno, la quota dell'isoterma di zero gradi è aumentata in modo visibile in tutte le stagioni. In primavera e in estate l'incremento è statisticamente molto significativo, in inverno significativo, mentre in autunno tale incremento non è statisticamente significativo. L'aumento della quota dell'isoterma di zero gradi varia fra i 30.6 m/decennio in autunno ai 77.7 m/decennio in estate. Tali incrementi decennali fanno sì che negli ultimi 50 anni l'aumento medio della quota dell'isoterma di zero gradi è compreso fra i 150 m in autunno fino a più di 350 m in estate. In inverno il rialzo è stato di poco più di 200 m e di conseguenza in prima approssimazione anche il limite delle nevicate ha subito un rialzo di quota simile. Tenendo conto dell'aumento della temperatura registrato dalle stazioni al suolo del Ticino, la quota dell'isoterma di zero gradi è aumentata negli ultimi 50 anni di circa 150m per ogni grado di aumento della temperatura media (fig. 5.5).

Si tenga presente nell'analisi dei grafici sottostanti la variazione fra le stagioni del possibile errore: in primavera e in autunno l'intervallo di confidenza è migliore che non in estate o in inverno. In queste due stagioni la relazione fra temperatura e quota è maggiormente lineare, mentre l'isoterma di zero gradi si trova a una quota in cui tipicamente sono presenti ancora diverse stazioni usate per l'analisi in questo rapporto. Nella stagione invernale la relazione lineare fra temperatura e quota è invece meno forte a causa dell'influenza della presenza di laghi di aria fredda in prossimità del suolo, mentre in estate l'isoterma di zero gradi si trova a una quota tale dove le

stazioni di misura iniziano a scarseggiare, causando così un aumento dell'incertezza nel metodo di calcolo utilizzato.

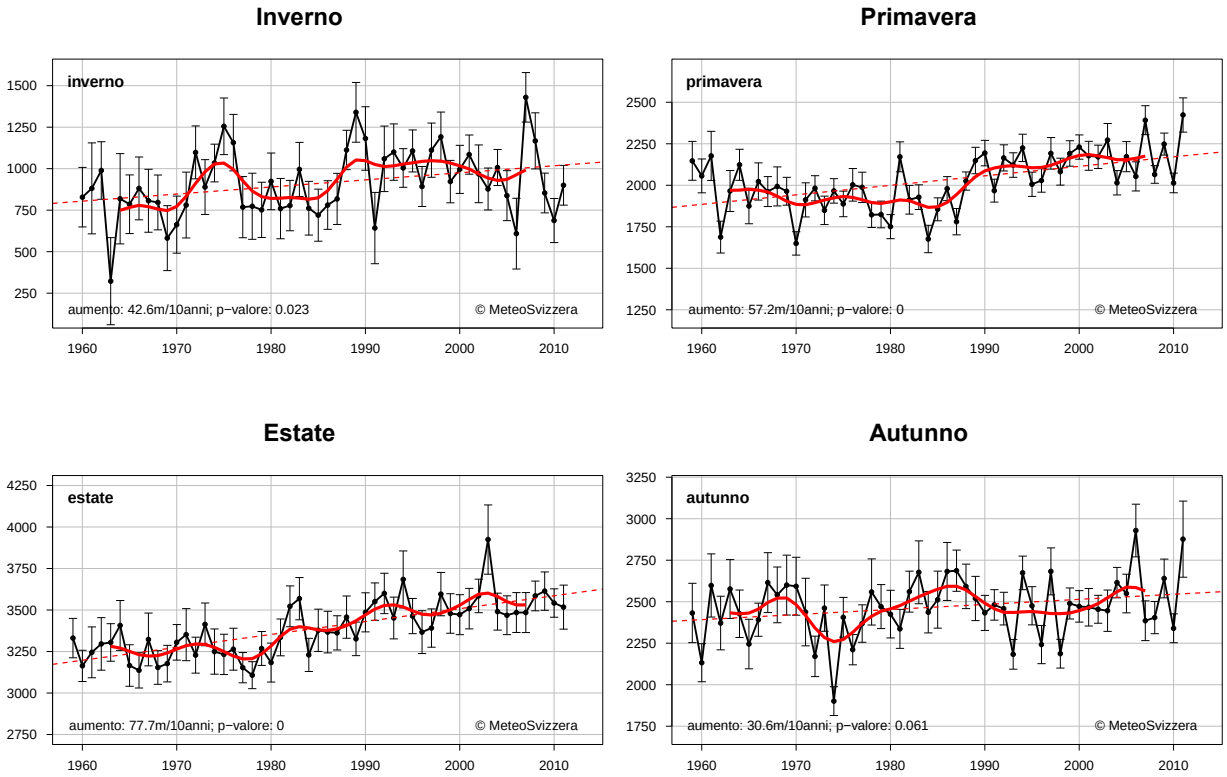


Fig. 5.5: Andamento della quota dell'isoterma di zero gradi al sud delle Alpi, per stagione, a partire dal 1959. Sono rappresentati i valori calcolati per ogni anno (linea nera), l'intervallo di confidenza per ogni anno (barre verticali), ai quali si aggiungono un filtro gaussiano su 20 anni (linea rossa continua) e il trend (riga rossa punteggiata). Il grafico è completato dalla variazione media per decenni (in m) e il valore p.

5.6 Giorni con precipitazioni

Un giorno con precipitazioni è definito come tale quando è raccolto almeno 1 mm di acqua, rispettivamente di acqua fusa da precipitazioni solide.

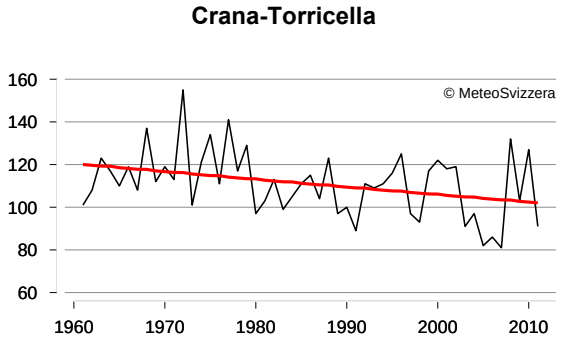
Nonostante le forti differenze dovute alla conformazione del territorio il numero di giorni con precipitazioni varia relativamente poco da una regione all'altra del Ticino. Oggigiorno all'anno si registrano in media 90-100 giorni con precipitazioni nel Ticino centrale e meridionale e circa 110 nel Ticino settentrionale, dove si manifesta ancora l'influsso delle situazioni meteorologiche con precipitazioni provenienti da nord. Cinquant'anni fa questo valore era leggermente superiore: 100-110 nel Ticino centro-meridionale e fino a 120-125 lungo le Alpi (fig. 5.6).

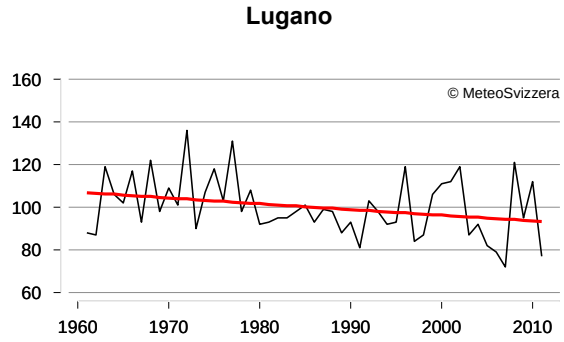
I grafici con l'andamento temporale del numero di giorni di precipitazioni mostrano, come è logico tenendo conto dell'ampia variabilità del tempo del versante sudalpino, una marcata variabilità di anno in anno, compresa in genere fra 80 e 150 giorni di precipitazione.

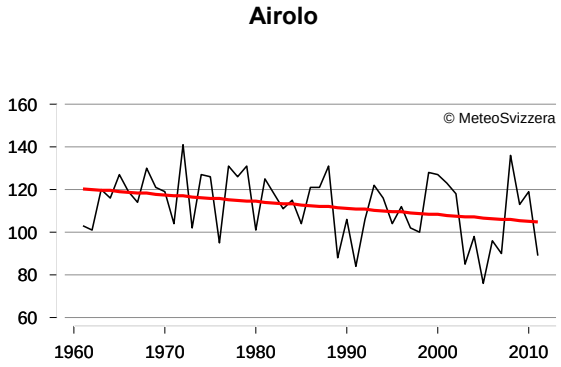
Fra tutte le stazioni analizzate solo in quattro di esse (Airolo, San Bernardino, Lugano, Crana-Torricella) la diminuzione è statisticamente significativa, mentre nelle altre non lo è. In altre parole pur in presenza di un orientamento generale nella serie dei dati alla diminuzione del numero di giorni di precipitazioni all'anno, non si può (ancora) stabilire statisticamente se si tratta di una tendenza chiara e univoca valida per l'intero territorio cantonale.

Nelle quattro stazioni in cui la diminuzione è statisticamente significativa, che sono equamente suddivise fra stazioni di montagna e stazioni di pianura, tale diminuzione è attorno ai 3 giorni/decennio (da 2.64 di Lugano ai 3.73 di San Bernardino). La variazione relativa nei 50 anni di dati considerati è compresa fra il −13.4% di San Bernardino e i −16.2% di Crana-Torricella.

Nelle altre stazioni, in cui la variazione non è statisticamente significativa, la diminuzione è inferiore, attorno a soli 1 o 2 giorni/decennio.







Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	-3.04	-13.8	0.028
BIA	-1.02	-5.5	0.367
COM	-2.13	-11.4	0.095
CMD	-2.53	-12.5	0.067
OTL	-1.82	-9.4	0.150
LUG	-2.64	-13.5	0.040
CTO	-3.53	-16.2	0.012
COL	-1.25	-6.5	0.348
SBE	-3.73	-13.4	0.021
GRO	-0.79	-4.1	0.456

Fig. 5.6: Andamento del numero di giorni con precipitazioni (>0.9 mm) a Crana-Torricella, Lugano e Airolo, a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.

5.7 Giorni con precipitazioni moderate

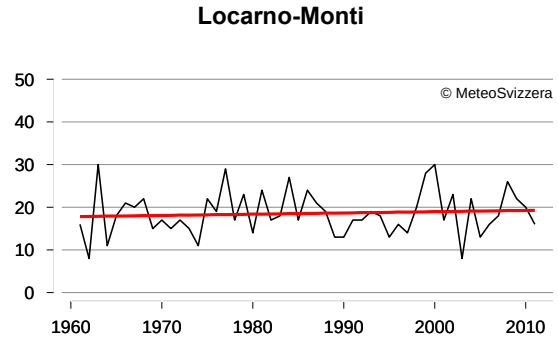
Come indicato nella tabella 5.1, la soglia di 30 mm/giorno è stata scelta per definire un giorno con precipitazioni "moderate", ciò che si verifica in media circa 10 volte all'anno, ossia nel 10% circa dei giorni con precipitazioni. La soglia di 70 mm/giorno, indicativa per esempio per le precipitazioni abbondanti, è invece superata solo circa 2 volte all'anno, ciò che la rende meno adatta quale base per delle elaborazioni statistiche.

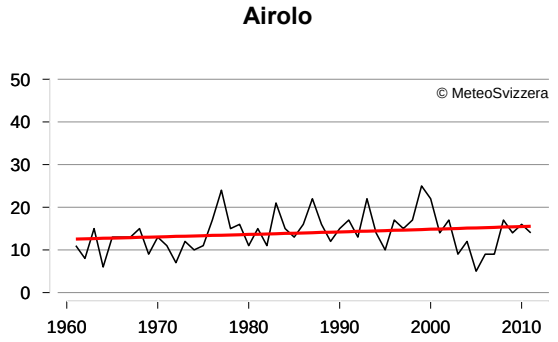
L'analisi effettuata nel presente rapporto ha preso in considerazione sia la somma annuale complessiva dei giorni con precipitazioni moderate, sia la somma sul semestre invernale rispettivamente quello estivo. In tutti e tre i casi l'analisi non mette in evidenza, per i passati 50 anni, nessuna tendenza significativa di questa classe di precipitazioni e questo indipendentemente dall'ubicazione della stazione, sia in funzione della regione, sia della posizione specifica rispetto alla valle (fondovalle, pendio o stazione di montagna) (figg. 5.7, 5.8 e 5.9).

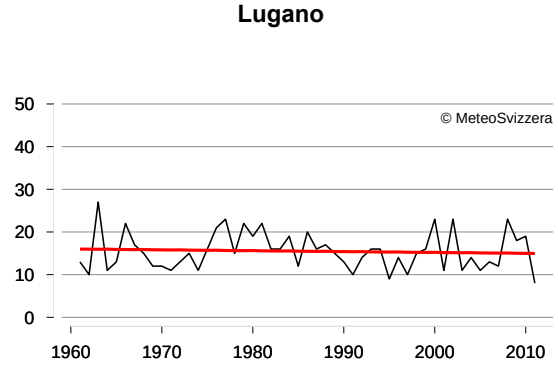
L'analisi dei singoli valori mostra come sull'arco dei 50 anni nella maggior parte delle stazioni vi sia stato un leggero aumento del numero dei giorni, in genere dell'ordine di grandezza di soli 1 o 2 giorni. Solo Lugano e San

Bernardino mostrano una leggera diminuzione, del medesimo ordine di grandezza. Come detto però la variazione non è statisticamente significativa e di conseguenza non si può prestare a ulteriori considerazioni specifiche. Questo risultato è paragonabile a quanto ottenuto nell'ambito di un simile studio climatologico per il Cantone dei Grigioni (MeteoSchweiz 2009).

Si tenga comunque presente come l'assenza di una variazione significativa nel numero di giorni con precipitazioni moderate sia coerente con i risultati indicati nel capitolo 4, laddove si giungeva alla conclusione che l'andamento storico delle precipitazioni annuali non metteva in evidenza nessuna tendenza significativa da un punto di vista statistico. Anche l'escursione interannuale sembra restare costante, variando da 5 a 20 giorni, a seconda delle stazioni considerate.



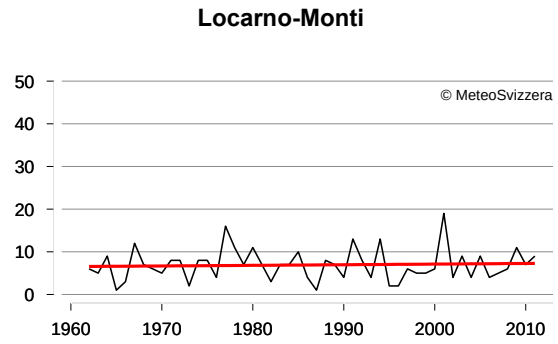


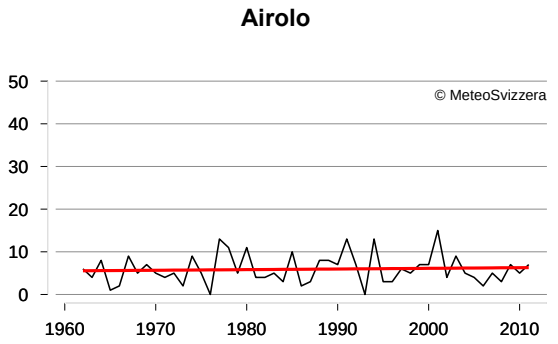


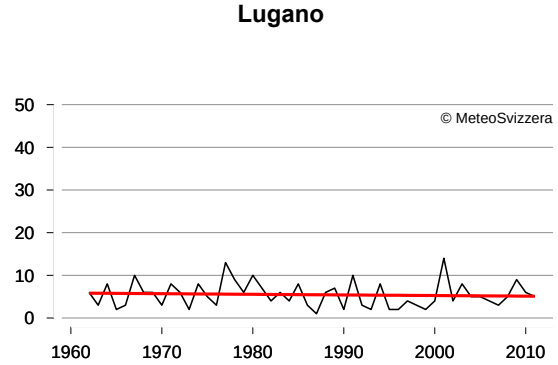
Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	0.59	21.5	0.152
BIA	0.59	19.3	0.226
COM	0.36	17.1	0.397
CMD	0.11	2.6	0.849
OTL	0.29	7.9	0.556
LUG	-0.20	-6.6	0.632
CTO	0.41	9.6	0.464
COL	0.00	0.1	0.996
SBE	-0.47	-12.6	0.413
GRO	0.11	4.4	0.817

Fig. 5.7: Andamento del numero di giorni all'anno con precipitazioni moderate (>30.0 mm) a Locarno-Monti, Airolo e Lugano, a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.



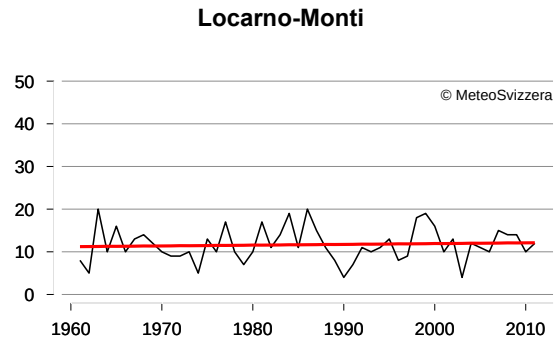


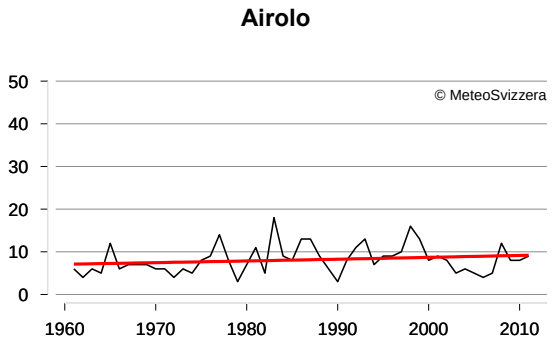


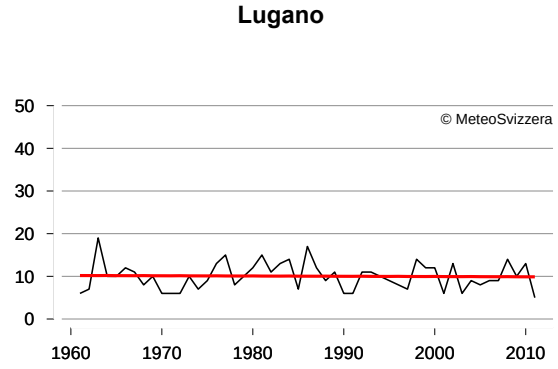
Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	0.15	12.7	0.661
BIA	0.39	32.0	0.336
COM	0.37	46.1	0.190
CMD	-0.02	-0.9	0.972
OTL	0.14	10.6	0.690
LUG	-0.14	-13.2	0.624
CTO	0.30	19.6	0.461
COL	0.20	14.5	0.590
SBE	0.00	0.1	0.998
GRO	0.04	4.1	0.899

Fig. 5.8: Andamento del numero di giorni nel semestre invernale (ottobre-marzo) con precipitazioni moderate (>30.0 mm) a Locarno-Monti, Airolo e Lugano, a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.







Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	0.41	25.7	0.191
BIA	0.23	12.2	0.467
COM	0.08	6.1	0.787
CMD	0.14	5.8	0.717
OTL	0.18	7.8	0.635
LUG	-0.06	-3.0	0.842
CTO	0.14	5.0	0.731
COL	-0.18	-9.6	0.594
SBE	-0.37	-16.0	0.418
GRO	0.07	4.2	0.848

Fig. 5.9: Andamento del numero di giorni nel semestre estivo (aprile-settembre) con precipitazioni moderate (>30.0 mm) a Locarno-Monti, Airolo e Lugano, a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.

5.8 Neve

Il rilevamento della neve è sempre stato ed è tuttora eseguito manualmente. In Ticino vi sono 4 stazioni con misurazioni regolari e di qualità accettabile: Locarno-Monti, Lugano, Airolo e Bosco Gurin. Locarno-Monti dispone della serie più lunga, eseguita professionalmente e con criteri uniformi nel corso degli anni. Per l'analisi del presente rapporto per tutte e quattro le stazioni disponiamo della serie completa di misure degli ultimi 50 anni. Le grandezze misurate sono la neve nuova accumulata in 24 ore e la neve totale presente sul terreno. La misurazione è effettuata ogni giorno attorno alle ore 07:00 ora locale. Nelle stazioni di montagna la misurazione rappresentativa della neve non è sempre facile, a causa dell'effetto del vento sulla coltre nevosa. A livello internazionale non esistono delle definizioni univoche di quali indicatori utilizzare per analisi climatologiche della neve. Nel presente rapporto sono stati utilizzati i tre seguenti indicatori:

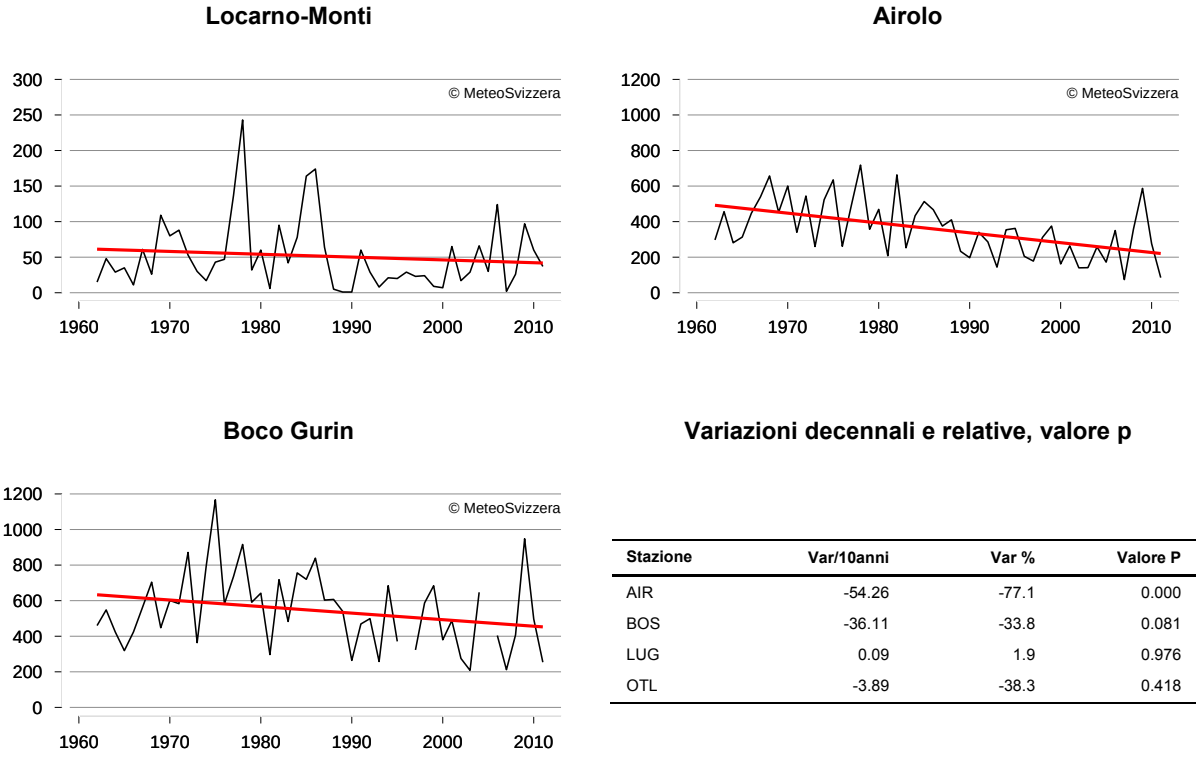
- la somma dell'altezza della neve nuova, ottenuta sommando per il mese, rispettivamente per la stagione invernale il valore della neve nuova misurato giornalmente. Da questo indicatore ci si può fare un'idea della quantità complessiva di neve fresca caduta durante una stagione invernale (definita come l'intervallo tra la prima e l'ultima nevicata, avvenute fra l'inizio dell'autunno e la fine della primavera).
- il numero di giorni con neve nuova, inteso come numero di giorni in cui al mattino al suolo si è misurato almeno 1 cm di neve fresca. Questo indicatore dà una visione se le nevicate sono state frequenti oppure rare sull'arco di una stagione invernale.

- il numero di giorni con neve sul terreno (almeno 5 cm), inteso come numero di giorni in cui al mattino è presente uno strato di almeno 5 cm al suolo. Questo indicatore dà informazioni relative alla durata complessiva dell'innevamento durante la stagione. La presenza di neve al suolo dipende non solo dalla quantità di neve fresca caduta, bensì anche dalle condizioni meteorologiche susseguenti la nevicata (rialzo delle temperature, arrivo del favonio ecc.).

L'analisi "visiva" di tutti i grafici elaborati nel presente rapporto mette immediatamente in evidenza come sia presente una variazione interannuale molto forte: a conferma, se mai ce ne fosse ancora bisogno, di come la neve sia una delle grandezze meteorologiche più variabile sul versante sudalpino. E questo in particolare nelle stazioni a basse quote dove le nevicate sono si presenti con una certa frequenza, ma più irregolari rispetto alle stazioni lungo l'arco alpino.

L'analisi dei valori e dei grafici della figura 5.10 permette di notare come, salvo per la stazione di Lugano, dove la variazione è praticamente nulla, nelle altre tre stazioni si è assistito negli ultimi 50 anni a una diminuzione della somma della neve nuova, diminuzione particolarmente marcata presso le stazioni di montagna di Airolo e di Bosco Gurin. Ad Airolo la diminuzione è stata molto significativa e pari a 54 cm/decennio. Ciò significa che se 50 anni fa la somma delle nevicate accumulava attorno ai 4 metri di neve a stagione, oggigiorno l'accumulo complessivo è ridotto a circa la metà. Una simile tendenza, anche se leggermente meno marcata, è visibile nei dati di Bosco Gurin. Qui la diminuzione è significativa da un punto di vista statistico e pari a 36 cm/decennio (fig. 5.10).

È interessante notare come l'andamento temporale suggerisce un cambio del regime della somma della neve nuova attorno alla fine degli anni '80 del secolo scorso, sia per Airolo sia per Bosco Gurin. Per Locarno-Monti e per Lugano l'orientamento che esce dall'analisi dei dati non è statisticamente significativo.



Variazioni decennali e relative, valore p

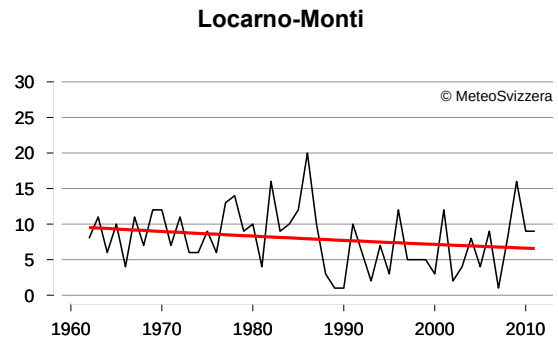
Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	-54.26	-77.1	0.000
BOS	-36.11	-33.8	0.081
LUG	0.09	1.9	0.976
OTL	-3.89	-38.3	0.418

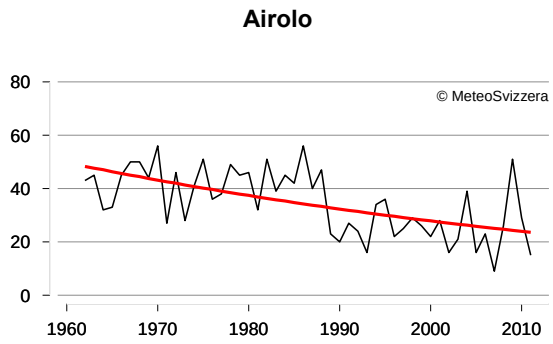
Fig. 5.10: Andamento della somma (in centimetri) della neve nuova dell'anno idrologico (ottobre-settembre), a partire dall'inverno 1961-1962 a Locarno-Monti, Airolo e Bosco Gurin. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.

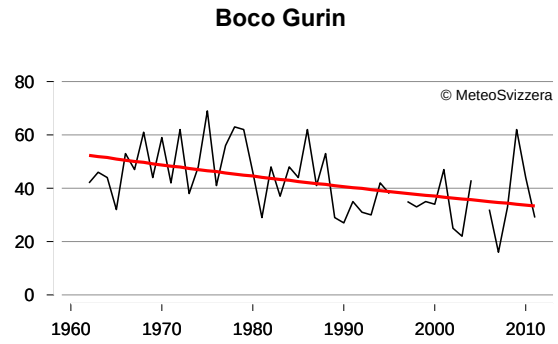
La figura 5.11 illustra l'andamento del numero di giorni con neve nuova a partire dall'inverno 1961/1962. Anche per questo indicatore asserzioni statisticamente significative sono possibili solo per le stazioni di montagna, vale a dire per Airolo e per Bosco Gurin.

Tutte e quattro le stazioni mostrano una tendenza alla diminuzione del numero stagionale di giorni con neve nuova. Ad Airolo la diminuzione è attorno alle 5 giornate/decennio, che su mezzo secolo significa una diminuzione di 20-25 giorni di nevicate, passando da 40-45 a circa 20. Anche a Bosco Gurin, con una diminuzione attorno alle 4 giornate/decennio si è passati in media da 45 a 25 giornate con neve nuova (fig. 5.11).

I grafici della figura 5.11 mettono in risalto ancora maggiore, rispetto a quelli della figura precedente, il netto cambio di regime avvenuto attorno alla fine degli anni '80 del secolo scorso e questo sia per le stazioni di montagna che per le stazioni a basse quote (Scherrer 2005). Questo risultato è in accordo con l'andamento messo in evidenza nelle temperature stagionali invernali (fig. 4.1) con il rialzo delle temperature a partire da quegli anni. Ciò ha portato con sé un rialzo del limite delle nevicate che, tenuto conto della quota relativamente bassa delle stazioni del versante sudalpino, significa una diminuzione dei giorni con neve nuova. In altre parole in inverno sono aumentate le giornate di pioggia e diminuite quelle con nevicate.







Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	-5.04	-74.1	0.000
BOS	-3.85	-46.2	0.001
LUG	-0.21	-26.8	0.474
OTL	-0.59	-38.1	0.156

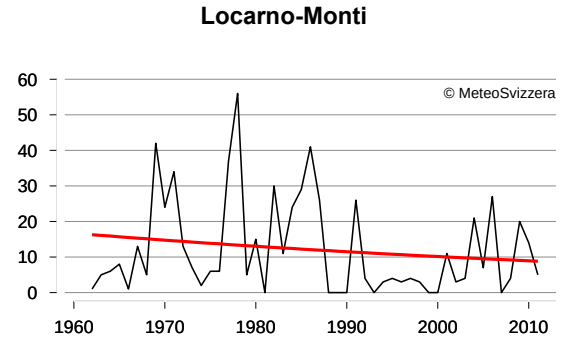
Fig. 5.11: Numero di giorni con neve nuova dell'anno idrologico (ottobre-settembre), a partire dall'inverno 1961-1962 a Locarno-Monti, Airolo e Bosco Gurin. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.

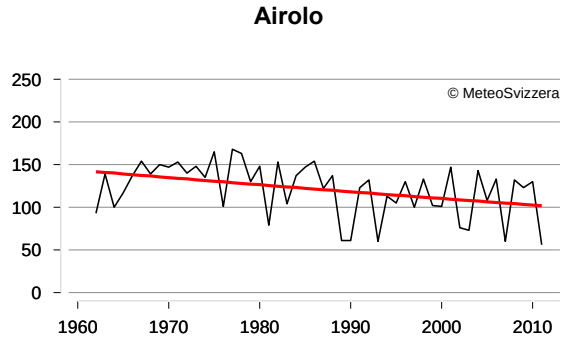
Considerazioni analoghe alle precedenti si possono fare per il numero complessivo di giornate con neve al suolo (almeno 5 cm): diminuzione generalizzata in tutte le stazioni e significativa da un punto di vista statistico soprattutto per le stazioni di montagna di Airolo e di Bosco Gurin.

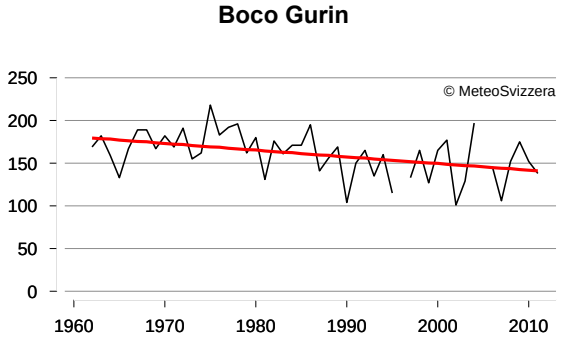
Come è da aspettarsi la variazione interannuale negli ultimi 50 anni è stata decisamente più forte presso le stazioni di basse quote, soggette a temperature giornaliere invernali sovente superiori agli zero gradi, mentre il grafico è più regolare per le stazioni in quota, dove le temperature in inverno tendono più facilmente ad essere vicine o sotto gli zero gradi.

La tendenza messa in evidenza presso Airolo e Bosco Gurin, importante ad esempio per l'attività delle stazioni sciistiche, è quella di un accorciamento della lunghezza del periodo con neve al suolo. Se 50 anni fa ad Airolo vi era neve al suolo per poco meno di 150 giorni a stagione (circa 5 mesi), la diminuzione di quasi 8 giorni/decennio fa sì che oggi abbiamo in media solo in 100 giorni a stagione ancora neve al suolo (poco più di 3 mesi). Conclusione simile per Bosco Gurin, dove si è passati da 180 giorni (circa 6 mesi) a 130-140 giorni (circa 4 mesi e mezzo), con pure una riduzione di poco meno di 8 giorni/decennio (fig. 5.12).

Qusti risultati sono coerenti con i risultati ottenuti dall'analisi dei dati delle stazioni di misura del Cantone Grigioni (MeteoSchweiz 2009), a testimonianza che non ci troviamo di fronte a un fenomeno ticinese, ma di più ampio respiro.







Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	-7.97	-33.5	0.006
BOS	-7.70	-24.5	0.002
LUG	-1.18	-77.1	0.342
OTL	-1.52	-63.4	0.253

Fig. 5.12: Numero di giorni con neve sul terreno (almeno 5 cm) dell'anno idrologico (ottobre-settembre), a partire dall'inverno 1961-1962 a Locarno-Monti, Airolo e Bosco Gurin. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.

5.9 Durata massima dei periodi asciutti

La variabilità climatica del Ticino, oltre che con un vasto spettro di intensità delle precipitazioni, si manifesta anche con prolungati periodi di siccità. I grafici riportano il numero massimo di giorni consecutivi asciutti per ogni anno (un giorno è considerato asciutto se le precipitazioni sono state inferiori a 1.0 mm).

L'indicatore scelto per descrivere i periodi asciutti non è a prima vista l'indicatore ideale per una regione come il Ticino, in quanto non dà nessuna informazione sulla distribuzione effettiva dei periodi asciutti durante l'anno. Ciò nonostante è stato preso in considerazione in quanto è uno degli indicatori concordato su scala internazionale nell'ambito dell'Organizzazione meteorologica mondiale (OMM) e in questo senso può essere utilizzato per paragoni con altre regioni.

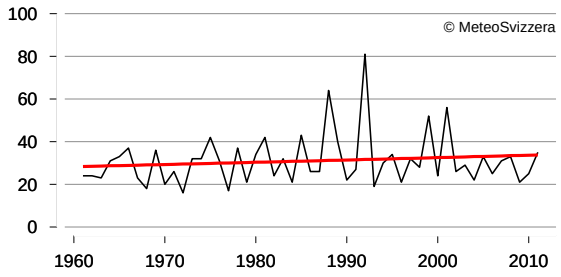
L'analisi effettuata nel presente rapporto ha preso in considerazione l'intero anno (fig. 5.13), come pure il semestre invernale rispettivamente quello estivo (figg. 5.14 e 5.15).

Una prima indicazione che emerge dall'analisi comparata "visiva" di tutti i grafici è la forte variabilità da un anno all'altro, che si registra soprattutto durante il semestre invernale (ottobre-marzo). Mentre durante il semestre estivo (aprile-settembre), la variabilità interannuale è inferiore. Ciò è comprensibile se si pensa come il periodo invernale sul versante sudalpino sia per certi versi la "stagione asciutta", nella quale si possono verificare prolungate situazioni di stabilità anticiclonica, con conseguente assenza di precipitazioni. Durante il semestre estivo, lo sviluppo di situazioni temporalesche o il passaggio di fronti perturbati, avviene con sufficiente regolarità da interrompere più facilmente i periodi con scarsità di precipitazione.

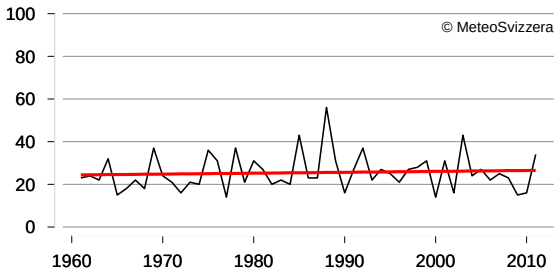
Dal punto di vista numerico la durata massima dei periodi asciutti nel semestre invernale si aggira oggigiorno sui 25-30 giorni, mentre nel semestre estivo è compresa fra 15 e 20 giorni. Fra le diverse stazioni ticinesi e mesolcinesi prese in considerazione non emergono particolari variazioni né regionali, né in funzione della quota o della posizione relativa alla vallata (stazione di fondovalle o pendio).

Negli ultimi 50 anni si possono notare delle variazioni che però in nessuna delle stazioni prese in esame sono statisticamente significative, né sull'arco dell'intero anno, né su ognuno dei due semestri analizzati. Queste variazioni, in valori assoluti dal 1961 ad oggi, sono di poche unità: nel semestre invernale tutte le stazioni mostrano un leggero aumento compreso fra 0 e 6 giorni; nel semestre estivo le stazioni di Airolo, Lugano e Coldrerio mostrano pure un leggero aumento compreso fra 0 e 3 giorni, mentre nelle altre stazioni si è registrata una leggera diminuzione, compresa fra 0 e 2 giorni.

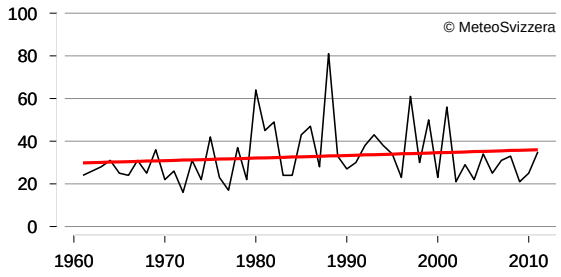
Locarno-Monti



Airolo



Lugano

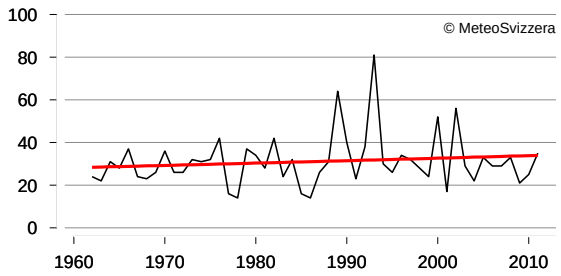


Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	0.41	8.3	0.604
BIA	1.00	15.7	0.330
CMD	1.51	26.2	0.072
OTL	1.06	17.4	0.347
LUG	1.21	18.8	0.317
CTO	0.94	15.6	0.448
COL	0.03	0.5	0.979
SBE	1.03	18.7	0.358
GRO	0.85	13.8	0.465

Fig. 5.13: Andamento del numero massimo annuale di giorni consecutivi asciutti (precipitazioni <1.0 mm/giorno) a Locarno-Monti, Airolo e Lugano a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.

Locarno-Monti

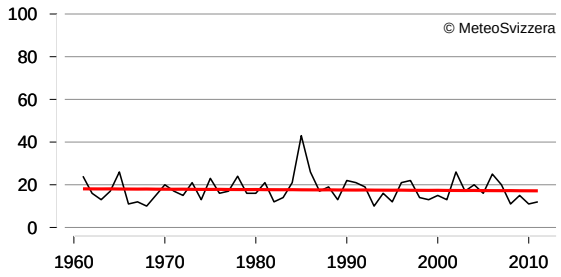


Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	0.73	16.0	0.409
BIA	0.67	10.8	0.540
CMD	1.53	27.0	0.081
OTL	1.11	18.3	0.341
LUG	1.41	22.3	0.282
CTO	1.18	19.7	0.357
COL	0.66	10.5	0.567
SBE	1.29	24.4	0.262
GRO	0.85	13.8	0.475

Fig. 5.14: Andamento del numero massimo di giorni consecutivi asciutti (precipitazioni <1.0 mm/giorno) nel semestre invernale (ottobre-marzo) a Locarno-Monti a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.

Locarno-Monti



Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
AIR	0.49	15.1	0.402
BIA	-0.15	-4.2	0.802
CMD	-0.15	-4.3	0.813
OTL	-0.18	-5.3	0.741
LUG	0.63	18.1	0.308
CTO	-0.21	-7.0	0.692
COL	-0.15	-4.1	0.833
SBE	0.10	2.9	0.898
GRO	-0.46	-12.9	0.463

Fig. 5.15: Andamento del numero massimo di giorni consecutivi asciutti (precipitazioni <1.0 mm/giorno) nel semestre estivo (aprile-settembre) a Locarno-Monti a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p di tutte le stazioni analizzate.

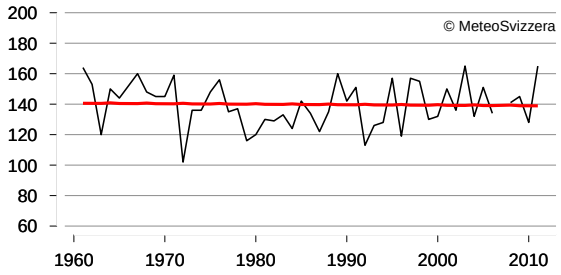
5.10 Giorni chiari / scuri

Con giorni chiari, rispettivamente scuri, sono definiti quei giorni in cui il soleggiamento relativo è stato superiore all' 80%, rispettivamente inferiore al 20%. La loro analisi permette di fare delle asserzioni generali sull'eventuale andamento pluriennale della presenza di giornate poco nuvolose, rispettivamente delle giornate con estesa nuvolosità.

Prendendo come riferimento le due stazioni a basse quote più rappresentative per gli agglomerati ticinesi il risultato che emerge dall'analisi dei dati è in "chiaro-scuro", nel senso che emergono disparità regionali notevoli. Per il Sottoceneri, a Lugano il numero di giorni chiari è aumentato notevolmente e in modo significante, accompagnato da una diminuzione dei giorni scuri, anche se non altrettanto significante. I giorni chiari sono passati da 120 a 140 all'anno in media, mentre quelli scuri da 110 a 95 circa. Per il Sopraceneri, a Locarno il loro numero è rimasto tendenzialmente costante, sui 140 giorni annui chiari e sui 100 giorni annui scuri (figg. 5.16 e 5.17).

Se mezzo secolo fa sussistevano delle marcate differenze fra luganese e locarnese, oggigiorno queste differenze sono andate attenuandosi.

Locarno-Monti

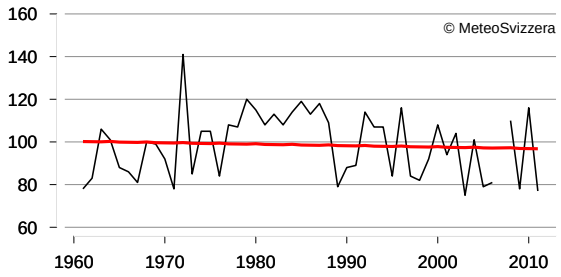


Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
OTL	-0.33	-1.2	0.821
LUG	5.11	20.2	0.004

Fig. 5.16: Andamento del numero di giorni chiari all'anno a Locarno-Monti a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p per Locarno-Monti e Lugano.

Locarno-Monti



Variazioni decennali e relative, valore p

Stazione	Var/10anni	Var %	Valore P
OTL	-0.66	-3.4	0.651
LUG	-2.56	-12.6	0.058

Fig. 5.17: Andamento del numero di giorni scuri all'anno a Locarno-Monti a partire dal 1961. Tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p per Locarno-Monti e Lugano.

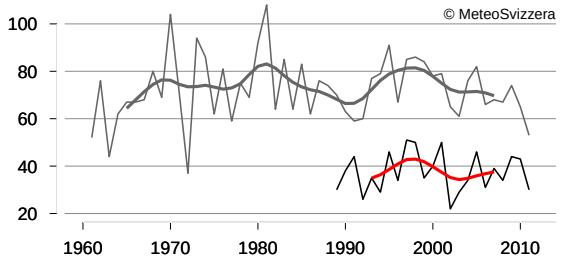
5.11 Favonio

Il rilevamento dei giorni con favonio è effettuato ancora in modo manuale, poiché fra i criteri utilizzati per definire se una giornata è favonica o meno figura anche la visibilità orizzontale che è, appunto, ancora rilevata visivamente. Una giornata favonica è definita come tale quando le seguenti condizioni sono contemporaneamente soddisfatte in almeno uno dei termini in cui si eseguono le osservazioni sinottiche: visibilità orizzontale di almeno 50 km, umidità relativa inferiore a 35% e vento presente alla stazione. Vista la situazione orografica della stazione di Locarno-Monti, su un pendio esposto a sud, il favonio arriva principalmente dal settore ovest, come diramazione dalla Valle Maggia o dal settore est (dalla Riviera/Valle Mesolcina), e la direzione del vento volutamente non è stata definita. In assenza di vento, ma con i primi due criteri soddisfatti, il termine di osservazione non è definito come favonico.

Solo la stazione di Locarno-Monti dispone di misure di sufficiente qualità per poter essere analizzate statisticamente e nonostante ciò si è ritenuto di considerare solo le osservazioni a partire dal 1989, tralasciando quelle precedenti a causa dell'insicurezza sui criteri di osservazioni applicati. Il numero di giorni con favonio resta essenzialmente stabile, parallelamente al numero di giorni caratterizzati da correnti generali in quota provenienti dal quadrante nordovest, nord o nordest. La provenienza dal settore nord delle correnti in quota è il fattore

principale che determina la formazione del favonio al sud delle Alpi. Il numero di casi all'anno con correnti settentrionali è perlopiù costante a partire dal 1961, per deduzione si può assumere che anche per il numero di giorni con favonio prima del 1989 non vi sia stata una tendenza definita (5.18).

Locarno-Monti



Variazioni decennali e relative, valore p

	Situazione	**N-N-NE**	
	Var/10anni	Var %	Valore p
	0.51	3.6	0.691
Indicatore	**Favonio**		
Stazione	Var/10anni	Var %	Valore p
OTL	0.46	6.2	0.862

Fig. 5.18: Andamento del numero di giorni all'anno con correnti dal settore nord (NO, N, NE) sulle Alpi a partire dal 1961, nonché di giorni con favonio a Locarno-Monti a partire dal 1989 e tabella delle variazioni decennali (giorni/10 anni), variazioni relative e valore p.

6 Sviluppo futuro del clima

Sulla base delle attuali proiezioni e calcoli modellistici il clima in futuro cambierà notevolmente sia su scala globale sia su quella regionale. Anche se non è ancora possibile elaborare delle proiezioni affidabili su scala locale, su una scala regionale come quella costituita dal versante sudalpino iniziano a essere a disposizione i primi dati. Nell'ipotesi che a livello globale l'evoluzione delle emissioni di gas a effetto serra segua lo scenario A1B (nessuna misura di intervento, con aumento delle emissioni di gas a effetto serra fino al 2060, ma poi lenta diminuzione) per il Cantone Ticino vi sono da aspettarsi i seguenti cambiamenti principali, rispetto a oggi (periodo di riferimento 1980-2009):

- **le temperature medie invernali aumenteranno di 1.3 °C attorno al 2035, di 2.4 °C attorno al 2060 e di 3.3 °C attorno al 2085. Il limite delle nevicate tenderà quindi a salire di quota durante la stagione invernale.**
- **le temperature medie estive aumenteranno di 1.4 °C attorno al 2035, di 2.9 °C attorno al 2060 e di 4.1 °C attorno al 2085.**
- **fino al 2035 non sono attesi dei sensibili cambiamenti nel regime delle precipitazioni.**
- **nella seconda metà del XXI secolo le precipitazioni estive dovrebbero diminuire dall'8 al 13% entro il 2060 e dal 10 al 27% entro il 2085.**
- **nella seconda metà del XXI secolo le precipitazioni invernali dovrebbero aumentare dal 6 al 10% entro il 2060 e dall'8 al 23% entro il 2085.**

Nota: a differenza del capitolo 4 (Sviluppo storico del clima), come periodo di riferimento è stato utilizzato in questo capitolo il trentennio 1980-2009. In questo modo ci si allinea con la prassi della comunità climatologica internazionale che ha aggiornato il periodo di riferimento, sulla base dei dati degli ultimi decenni. Il periodo non coincide con il nuovo periodo trentennale "normale", in quanto l'elaborazione degli scenari nell'ambito del progetto CH2011 è stata effettuata prima della fine del trentennio "normale". Le differenze rispetto ai valori che si sarebbero ottenuti con il trentennio "normale" non dovrebbero però essere significative.

6.1 Introduzione

Le proiezioni degli odierni modelli climatici prevedono un ulteriore riscaldamento globale durante tutto il XXI secolo. L'aumento tra il 1990 e il 2100 della temperatura media terrestre è stimato da un minimo di 1.4 °C fino a 5.8 °C (IPCC, 2007). Questa gamma di valori è il risultato di diversi modelli e di differenti scenari di emissione che tengono conto di varie ipotesi sulla probabile evoluzione della popolazione, dell'economia e della tecnologia. Questo riscaldamento ulteriore va ad aggiungersi al riscaldamento già registrato nel passato: le temperature globali odierne (1980-2009) sono infatti già superiori a quelle preindustriali del XIX secolo di circa 1 °C.

Dopo la pubblicazione del rapporto IPCC 2007, con le prospettive a livello globale, diversi progetti di ricerca hanno elaborato le prospettive su scala regionale (il così detto downscaling). A livello svizzero nell'autunno 2011 sono state pubblicate le elaborazioni degli scenari dei cambiamenti climatici in Svizzera (CH2011 2011, www.ch2011.ch). Gli scenari si basano su un elevato numero di differenti modelli climatici dell'IPCC, del progetto di ricerca ENSEMBLES dell'EU, così come su analisi e rielaborazioni da parte del consorzio CH2011.

Come nel passato, l'evoluzione climatica del sud delle Alpi non è necessariamente identica a quella dell'Europa o della regione alpina (Fischer 2011) e anche in futuro vi saranno delle differenze tra il Ticino e il resto della Svizzera. La figura 6.1 che riporta i cambiamenti attesi su scala europea permette di contestualizzare i risultati descritti nei capitoli seguenti.

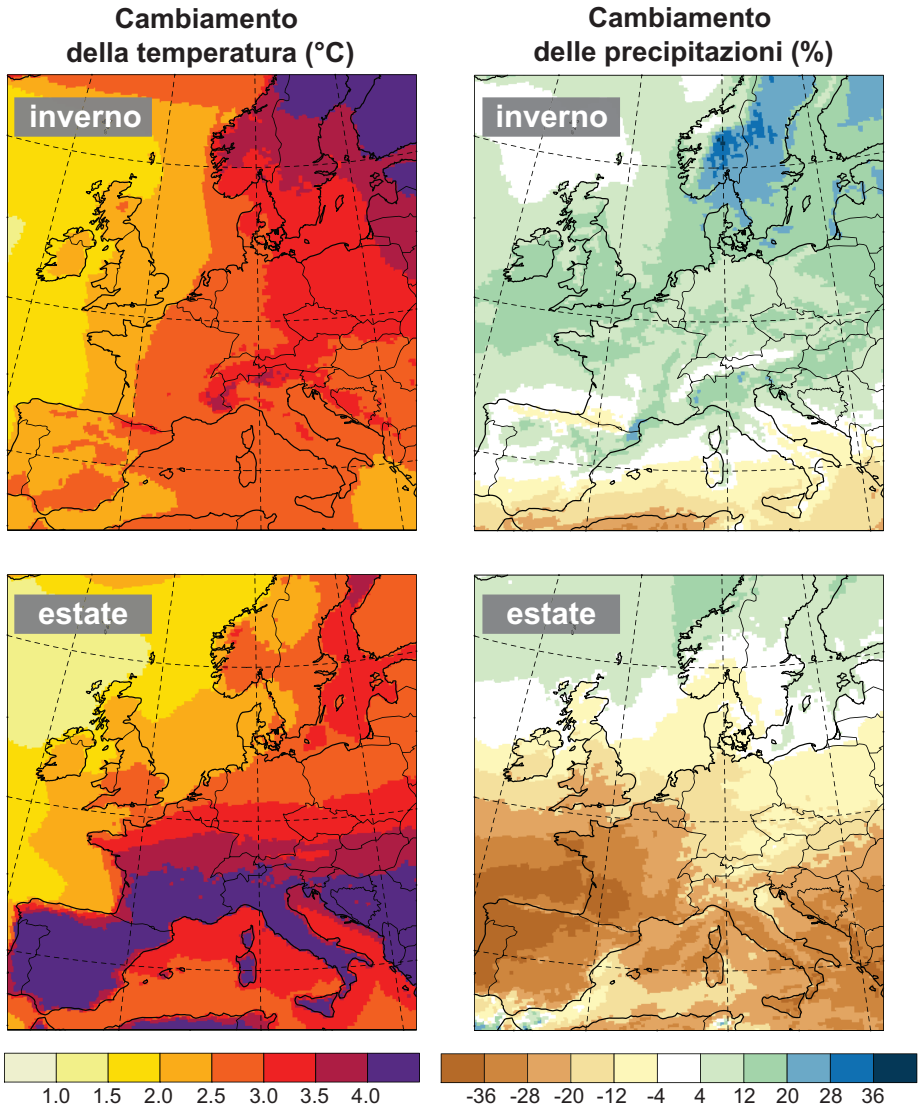


Fig. 6.1: Scarto della temperatura e delle precipitazioni in estate, rispettivamente in inverno, previsto per il periodo 2070-2099 rispetto alla media 1980-2009, per lo scenario A1B (nessuna misura di intervento ma diminuzione delle emissioni nella seconda metà del secolo). La figura mostra la media dei cambiamenti calcolati da più modelli.

6.2 Scenari di emissioni

L'ampiezza del cambiamento del clima globale entro la fine del secolo, e quindi anche del clima del Ticino, dipenderà in primo luogo dalle emissioni future di gas a effetto serra. Influssi naturali che cambiano su scala temporale millenaria, come i parametri orbitali della Terra, non sono considerati nei calcoli modellistici, mentre fenomeni come le eruzioni vulcaniche, il cui impatto sul clima può essere importante, sono a tutt'oggi imprevedibili e di conseguenza non è pure possibile tenerne conto.

Le elaborazioni del clima futuro sono ancora forzatamente influenzate da incertezze: oltre alle difficoltà di modellizzare accuratamente l'insieme delle interazioni fra atmosfera, criosfera e biosfera, vi è l'incognita sulle emissioni globali future dei gas a effetto serra, che a loro volta dipendono da fattori solo difficilmente prevedibili come l'evoluzione della popolazione, dell'economia e delle tecnologie e dagli indirizzi politici e dalla sensibilità della popolazione. Un elevato numero di diversi scenari di emissione sono stati elaborati per i rapporti IPCC (Nakicenovic e Swart 2000, Moss et al. 2010). Fra tutti gli scenari elaborati, il presente rapporto considera i seguenti tre:

- A2: nessuna misura di intervento, continuo aumento delle emissioni di gas a effetto serra fino al 2100 (in viola nella fig. 6.2).
- A1B: nessuna misura di intervento, con aumento delle emissioni di gas a effetto serra fino al 2060, ma poi lenta diminuzione (in grigio nella fig. 6.2).
- RCP3PD: con misure di intervento. Le emissioni sono ridotte a circa il 50% entro il 2050 (in giallo nella fig. 6.2).

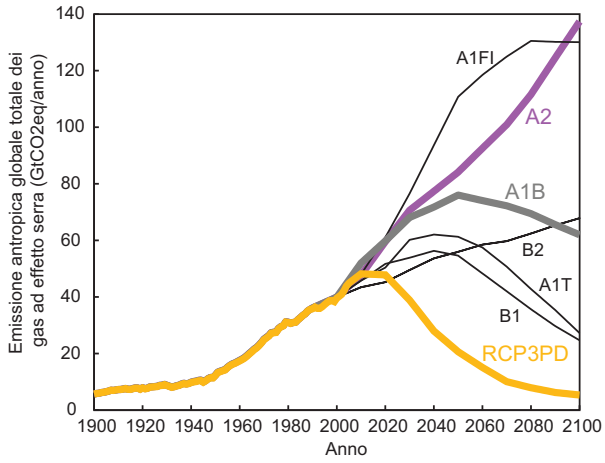


Fig. 6.2: Emissioni totali globali di gas a effetto serra di origine antropica per alcuni scenari IPCC scelti. L'equivalente di biossido di carbonio (CO_2eq) è un'unità di riferimento con la quale tutti i gas a effetto serra possono essere espressi in unità di CO_2. I tre scenari considerati dal presente rapporto sono rappresentati in grassetto.

I risultati proposti qui di seguito rappresentano una proiezione e si basano sui tre scenari di emissione citati, influenzati a loro volta − come tutti gli scenari del rapporto IPCC − dal possibile sviluppo mondiale della popolazione, dell'economia e della tecnologia. Quale fra questi scenari si realizzerà effettivamente dipenderà completamente dagli indirizzi presi oggi e nel futuro per limitare o meno le emissioni. Di conseguenza gli scenari devono venir considerati come possibilità di accadimento nel caso determinate premesse saranno adempiute.

6.3 Previsioni dell'evoluzione della temperatura

La tabella 6.1 mostra l'evoluzione della temperatura in Ticino prevista dagli odierni modelli climatici. In tutti gli scenari di emissione considerati vi è da aspettarsi un riscaldamento, più marcato nella seconda metà del XXI secolo. Così per esempio, con lo scenario A1B e a dipendenza della stagione, nella Svizzera sudalpina il riscaldamento rispetto a oggi (1980-2009) dovrebbe essere di 1.0-1.4 °C attorno al 2035, 2.3-2.9 °C attorno al 2060 e di 3.1-4.1 °C verso il 2085. A causa delle naturali fluttuazioni del clima e di approssimazioni di calcolo nei modelli, bisogna però considerare possibili anche valori sensibilmente più alti o più bassi. Per l'anno 2085, per esempio, un riscaldamento moderato di 2.2-3.1 °C (stima bassa) è, secondo le simulazioni disponibili, altrettanto possibile come un riscaldamento forte di 4.0-5.3 °C (stima alta). Fino al 2035 il tipo di scenario di emissione ha un influsso relativamente modesto sui risultati e sul valore della temperatura previsto: l'influsso predominante è dato

dalle fluttuazioni climatiche e dalla qualità del modello. Vale a dire: l'aumento di temperatura previsto attorno al 2035 è praticamente uguale fra tutti e tre gli scenari considerati. In seguito però le differenze a seconda dello scenario utilizzato diventano sempre più rilevanti: se nel 2085 il riscaldamento medio dello scenario A2 comporta da 3.8 a 4.8 °C a seconda della stagione, lo scenario RCP3PD non prevede che 1.3-1.8 °C (tab. 6.1).

Le differenze stagionali, dapprima piuttosto contenute, aumentano sensibilmente verso la fine del XXI secolo. I modelli climatici mostrano in generale un rialzo della temperatura più marcato in estate che in inverno. Il riscaldamento medio dello scenario A1B per il 2085 prevede per esempio 4.1 °C per l'estate e solo 3.3 °C per l'inverno. I valori delle temperature autunnali sono simili a quelli dell'inverno, mentre quelli delle temperature primaverili sono ancora leggermente più bassi.

Tab. 6.1: Previsioni dell'entità del riscaldamento (in °C) a seconda della stagione e dello scenario considerato. I valori per il 2035, 2060 e 2085 rappresentano la media rispettivamente dei periodi 2020-2049, 2045-2074 e 2070-2099. Inverno: dicembre-febbraio, primavera: marzo-maggio, estate: giugno-settembre, autunno: ottobre-novembre. I colori delimitano le classi fino a 1.4 °C, da 1.5 a 2.9 °C e 3.0 °C e oltre.

Stagione	Scenario	2035			2060			2085		
		basso	medio	alto	basso	medio	alto	basso	medio	alto
Inverno	A2	0.6	1.2	1.8	1.5	2.4	3.2	2.6	3.8	5.1
	A1B	0.7	1.3	1.9	1.6	2.4	3.3	2.2	3.3	4.4
	RCP3PD	0.6	1.2	1.9	0.8	1.5	2.1	0.8	1.4	2.0
Primavera	A2	0.3	0.9	1.6	1.5	2.2	3.0	2.7	3.7	4.7
	A1B	0.3	1.0	1.7	1.5	2.3	3.1	2.3	3.1	4.0
	RCP3PD	0.3	1.0	1.6	0.8	1.4	1.9	0.8	1.3	1.9
Estate	A2	0.7	1.3	1.9	2.0	2.8	3.7	3.5	4.8	6.2
	A1B	0.8	1.4	2.1	2.1	2.9	3.7	3.0	4.1	5.3
	RCP3PD	0.8	1.4	2.0	1.2	1.7	2.3	1.2	1.8	2.4
Autunno	A2	0.7	1.2	1.7	1.4	2.3	3.1	2.6	3.8	5.1
	A1B	0.8	1.4	1.9	1.5	2.3	3.1	2.2	3.3	4.4
	RCP3PD	0.7	1.3	1.8	0.8	1.4	1.9	0.9	1.4	1.9

La figura 6.3 mostra la prevista evoluzione futura della temperatura in Ticino assieme alla serie storica di Lugano per permettere una visualizzazione immediata dell'entità del cambiamento riportato nella tabella 6.1. Sono rappresentate le temperature invernali, primaverili, estive e autunnali rilevate tra il 1864 e il 2011 come deviazione dalla media 1980-2009 assieme ai relativi scenari di evoluzione fino al 2100. La fascia grigia indica la deviazione per ogni anno dei valori calcolati dal modello climatico per lo scenario A1B dal 1950 al 2100 (percentile 5-95), su tutta la serie di dati utilizzata. Nei primi 50 anni si può rilevare una buona corrispondenza tra il calcolo del modello e le variazioni misurate da un anno all'altro così come con le tendenze finora registrate. Le colonne viola, grigio e giallo riportano l'ampiezza dell'oscillazione dei tre scenari di emissioni A1B, A2 e RCP3PD per i rispettivi periodi trentennali 2020-2049, 2045-2074 e 2070-2099. Appare chiaramente un rialzo sensibile della temperatura e, per esempio, nella seconda metà del XXI secolo, estati calde come quella del 2003 potrebbero diventare più frequenti e gli estremi ancora nettamente più caldi. Per contro, temperature fredde come quelle registrate nel XIX e XX secolo praticamente non si verificherebbero più (vedi cap. "Eventi estremi"). Dalla figura 6.3 si può pure rilevare chiaramente la differenza di riscaldamento a seconda dello scenario di emissione per il periodo 2045-2074 e soprattutto per il 2070-2099: l'impatto termico globale è sensibilmente maggiore con un ulteriore aumento delle emissioni di gas a effetto serra (A1B o A2) rispetto allo scenario con una drastica riduzione delle emissioni (RCP3PD).

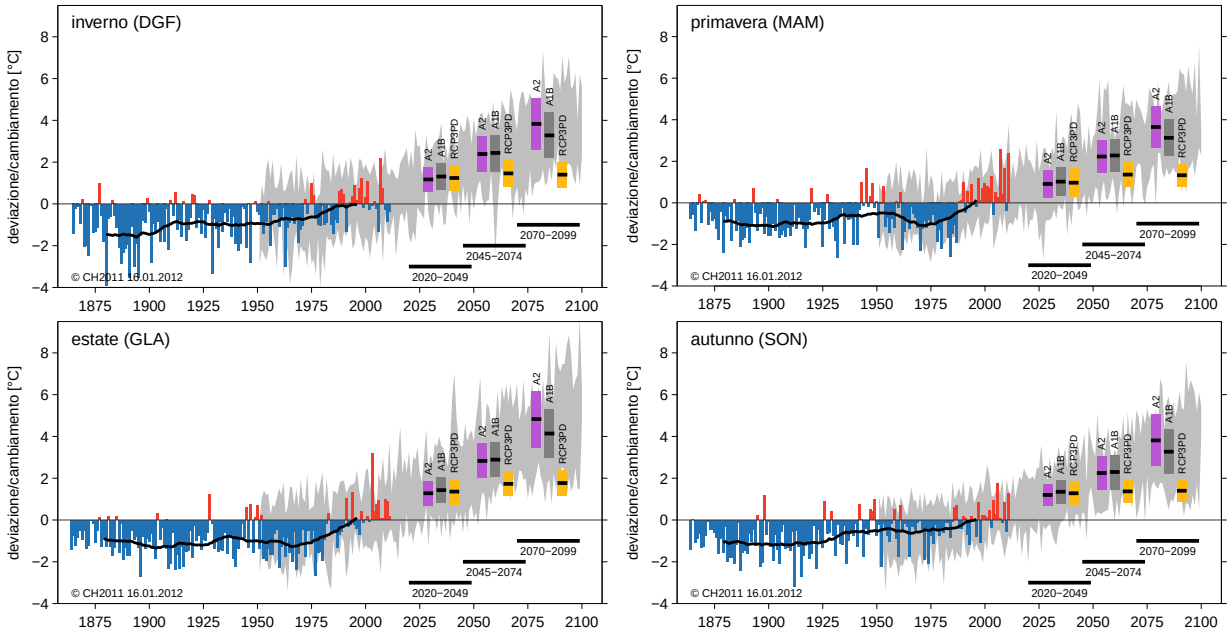


Fig. 6.3: Variazioni passate e future delle temperature stagionali di Lugano. I dati misurati coprono il periodo 1864-2011, mentre la media di riferimento è calcolata in base ai valori del periodo 1980-2009. Le colonne rosse, rispettivamente blu indicano lo scarto dalla media dei dati rilevati, la linea nera la media mobile su 30 anni, mentre la fascia grigia indica l'intervallo per ogni anno dei valori calcolati dai modelli climatici per lo scenario A1B (dato dal percentile 5-95 per ogni anno). Le colonne viola, grigio e giallo (con il valore centrale visualizzato dalla barretta nera) rappresentano le stime più probabili dei tre scenari di emissioni A1B, A2 e RCP3PD per i rispettivi periodi trentennali scelti.

Finora sono stati illustrati solo gli scarti rispetto a oggi previsti per i tre periodi trentennali di riferimento nel futuro. A complemento e per una migliore definizione a livello locale, la tabella 6.2 riporta una panoramica delle temperature medie invernali ed estive odierne e previste dello scenario A1B per diverse stazioni ticinesi.

Tab. 6.2: Temperature odierne e stime più probabili per lo scenario A1B (in °C) per stazioni scelte del Ticino. Inverno: media dicembre-febbraio, estate: media giugno-agosto. Valori odierni: media 1980-2009 (1982-2009, ** 1989-2009, *** 1991-2009). I valori di temperatura sotto 0 °C sono riportate in blu, sopra 20 °C in rosso.*

Stagione	Stazione	oggi	2035	2060	2085
Inverno	Magadino (203 m)	1.9	3.1	4.3	5.2
	Lugano (273 m)	4.1	5.4	6.5	7.4
	Stabio (353 m)*	1.7	3.0	4.1	5.0
	Locarno (367 m)	4.1	5.4	6.5	7.4
	Comprovasco (575 m)**	2.4	3.7	4.8	5.7
	Piotta (990 m)	−0.5	0.8	1.9	2.8
	Cimetta (1661 m)*	−1.1	0.2	1.3	2.2
	Robiei (1895 m)***	−3.1	−1.8	−0.7	0.2
Estate	Magadino (203 m)	20.6	22.0	23.5	24.7
	Lugano (273 m)	21.0	22.4	23.9	25.1
	Stabio (353 m)	19.8	21.2	22.7	23.9
	Locarno (367 m)	20.8	22.2	23.7	24.9
	Comprovasco (575 m)*	18.4	19.8	21.3	22.5
	Piotta (990 m)	16.3	17.7	19.2	20.4
	Cimetta (1661 m)*	12.6	14.0	15.5	16.7
	Robiei (1895 m)***	11.0	12.4	13.9	15.1

In base alle proiezioni dei valori medi si può per esempio constatare come il riscaldamento porti a un progressivo scomparire delle temperature medie invernali sottozero e a un aumento delle temperature medie estive sopra 20 °C, inoltre:

- Magadino e Stabio nel 2060 dovrebbero avere una temperatura come oggi Locarno o Lugano
- Piotta (990 m slm) nel 2060 potrebbe raggiungere dei valori come oggi Magadino (203 m slm)
- Cimetta (1'661 m slm) nel 2085 sarà paragonabile a Piotta (990 m slm) oggi
- Robiei (1'985 m slm) nel 2060 potrebbe avere temperatura simili a Piotta (990 mslm) oggi

Nel semestre estivo l'evoluzione potrebbe essere:

- Cimetta (1'661 m slm) nel 2060 caldo come oggi a Piotta (990 m slm)
- Comprovasco (575 m slm) caldo come oggi a Lugano (273 m slm)
- Locarno e Lugano con temperature come oggi a Firenze e Roma

6.4 Previsioni dell'evoluzione delle precipitazioni

La tabella 6.3 mostra l'evoluzione delle precipitazioni in Ticino prevista dagli odierni modelli climatici con un'indicazione della variazione percentuale dei cambiamenti dei valori annui di precipitazione previsti rispetto a oggi (1980-2009).

Tab. 6.3: Stima delle variazioni delle precipitazioni (in %) rispetto al periodo di riferimento 1980-2009. I valori riportati per il 2035, 2060 e 2085 rappresentano la media della variazione delle precipitazioni calcolate dai modelli per il rispettivo trentennio 2020-2049, 2045-2074 e 2070-2099. Diminuzioni di oltre il 20% sono rappresentate in marrone, aumenti di oltre il 20% in verde.

Stagione	Scenario	2035			2060			2085		
		basso	medio	alto	basso	medio	alto	basso	medio	alto
Inverno	A2	−12	5	**22**	−12	10	**32**	−3	**23**	**50**
	A1B	−12	5	**23**	−12	10	**32**	−4	20	**44**
	RCP3PD	−12	5	**22**	−11	6	**23**	−7	8	**24**
Primavera	A2	−19	−2	16	**−24**	−6	11	**−29**	−10	9
	A1B	−20	−2	16	**−24**	−7	11	**−27**	−9	10
	RCP3PD	−19	−2	16	−20	−4	12	−20	−4	13
Estate	A2	−13	−2	10	**−24**	−13	−2	**−42**	**−27**	−12
	A1B	−14	−2	10	**−24**	−13	−2	**−36**	**−23**	−10
	RCP3PD	−14	−2	10	−17	−8	2	−20	−10	0
Autunno	A2	−17	−3	11	−20	−4	13	**−30**	−9	13
	A1B	−18	−3	11	**−21**	−4	13	**−26**	−9	12
	RCP3PD	−17	−3	11	−16	−2	11	−16	−3	10

In generale i cambiamenti futuri del regime delle precipitazioni non sono definiti così chiaramente come quelli della temperatura. Per i prossimi 10-30 anni in particolare non è quasi possibile mettere in evidenza una tendenza particolare. In tutti gli scenari considerati il valore medio è molto vicino a zero (vale a dire nessuna variazione percentuale) e l'incertezza del risultato è relativamente grande comportando il 10-20% in più o in meno rispetto al valore medio di stima. Questi scarti sono nell'ordine di grandezza della variabilità decennale che nei prossimi 10-30 anni maschererà un'eventuale tendenza generale del regime pluviometrico.

In base alle odierne simulazioni è invece possibile individuare delle tendenze più chiare nella seconda parte del secolo. L'estate dovrebbe risultare nettamente più asciutta rispetto a oggi con un calo dei quantitativi di pioggia

dall'8 al 13% entro il 2060 e dal 10 al 27% per il 2085, secondo le proiezioni dello scenario A1B. Di conseguenza vi potrà anche essere una diminuzione dei giorni con precipitazioni (vedi cap. "Eventi estremi"). In Ticino, sempre nella seconda metà del XXI secolo, si delineano dei cambiamenti significativi anche nel regime delle precipitazioni invernali che secondo la proiezione media dello scenario A1B dovrebbero aumentare del 6-10% entro il 2060 e dell'8-23% entro il 2085. Nelle altre stagioni l'incertezza è talmente elevata che potrebbero essere possibili sia aumenti, sia diminuzioni dei quantitativi; la stima del loro cambiamento medio è comunque sotto il 10% e perciò relativamente modesto.

Per tutti gli scenari e per tutti i tre periodi presi in considerazione, i risultati ottenuti variano molto da stagione a stagione. Per capire meglio questa variazione stagionale bisogna considerare ciò che succede a scala europea. A livello continentale si presentano, infatti, spiccate differenze regionali che si rafforzano verso la fine del XXI secolo: sul nord dell'Europa i modelli prevedono un aumento delle precipitazioni, mentre nelle regioni meridionali una diminuzione, in particolare in estate. Per la primavera e l'autunno la Svizzera si trova nella zona di transizione tra le aree di aumento e quelle di diminuzione delle precipitazioni e per le stagioni intermedie i modelli hanno difficoltà a definire non solo l'entità del cambiamento, ma anche la tendenza. In estate la zona di transizione si trova nettamente più a nord e in particolare sul versante sudalpino si profila una decisa diminuzione delle precipitazioni. D'inverno invece si prospetta un leggero aumento dei quantitativi (tab. 6.3). La figura 6.4 mostra la prevista evoluzione futura delle precipitazioni in Ticino con l'aiuto della serie storica di Lugano per permettere una visualizzazione immediata dell'entità dei cambiamenti riportati nella tabella 6.3. Sono rappresentate le precipitazioni invernali, primaverili, estive e autunnali rilevate tra il 1864 e il 2011 come deviazione dalla media 1980-2009 assieme ai relativi scenari di evoluzione fino al 2100. Analogamente alla temperatura, il modello riproduce bene le forti variazioni dei quantitativi misurati, le tendenze del passato sono però di entità troppo piccola per permettere dei confronti precisi. Appare evidente che le precipitazioni future si differenziano meno dai valori misurati rispetto a ciò che avviene con le temperature, ma anche per questo elemento meteorologico verso la fine del XXI secolo si delineano delle sensibili differenze a seconda dello scenario di emissione considerato, in particolare per le stagioni dell'estate e dell'inverno.

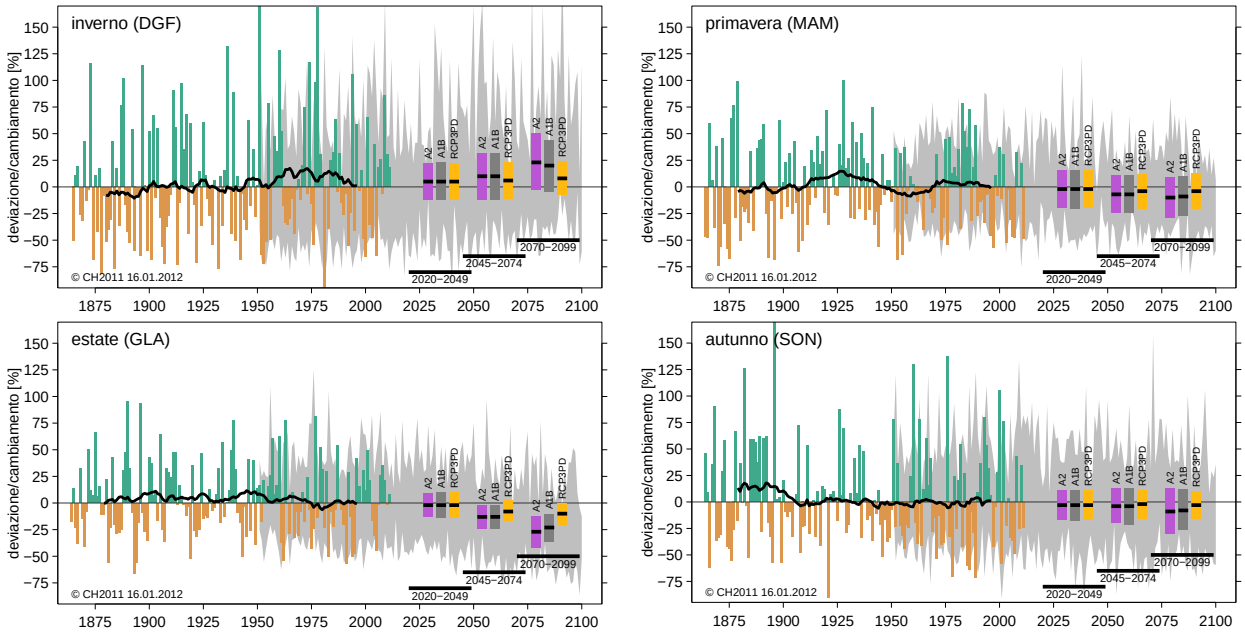


Fig. 6.4: Variazioni passate e future delle precipitazioni stagionali di Lugano. I dati misurati coprono il periodo 1864-2011, mentre la media di riferimento è calcolata in base ai valori del periodo 1980-2009. Le colonne di colore verde, rispettivamente marrone indicano lo scarto dalla media dei dati rilevati, la linea nera la media mobile su 30 anni, mentre la fascia grigia indica l'intervallo per ogni anno dei valori calcolati dai modelli climatici per lo scenario A1B (dato dal percentile 5-95 per ogni anno). Le colonne viola, grigio e giallo (con il valore centrale visualizzato dalla barretta nera) rappresentano le stime più probabili dei tre scenari di emissioni A1B, A2 e RCP3PD per i rispettivi periodi trentennali scelti.

6.5 Eventi estremi

I cambiamenti climatici del XXI secolo non toccheranno soltanto le temperature e le precipitazioni medie, ma si avrà un cambiamento anche nel regime degli estremi. La tabella 6.4 riporta una panoramica dei cambiamenti attesi per i diversi tipi di eventi estremi in Svizzera. La stima dell'entità del cambiamento è relativamente sicura per alcuni degli elementi (in questo caso i processi sono ben conosciuti e riprodotti dai modelli) mentre è molto meno sicura per altri (in quei casi nei quali i fenomeni sono mal parametrizzati dai modelli o la loro scala è troppo piccola). Di conseguenza per ogni tipo di evento estremo è indicato il grado di comprensione del fenomeno. Inoltre sono elencati gli sviluppi futuri attesi e i cambiamenti osservati negli ultimi decenni.

Lo sviluppo degli estremi della temperatura è l'evoluzione meglio compresa e più chiaramente delineata degli elementi meteorologici (comprensione da alta fino a molto alta). Già oggi si può riconoscere una chiara tendenza all'aumento dei giorni caldi e delle notti miti, ciò che potrebbe rappresentare un grosso rischio per la salute (vedi per es. Fischer e Schär 2010). Verso la fine del XXI secolo ogni seconda estate potrebbe essere così calda come quella del 2003, o persino più calda (Schär et al. 2004). Altre ricerche indicano una chiara tendenza a periodi canicolari più numerosi e più lunghi, assieme a una variabilità più accentuata della temperatura (Fischer e Schär 2009, Giorgi et al. 2004, Seneviratne et al. 2006, Scherrer 2006). Contemporaneamente si dovrà tener conto di una diminuzione della frequenza dei periodi freddi e del numero di giorni con gelo e con ghiaccio (Meehl et al. 2004). Nella Svizzera sudalpina il numero delle notti fredde invernali come conosciute finora dovrebbe diminuire del 40-80% entro il 2050 e persino del 70-90% per la fine del secolo (cfr. CH2011, fig. A7). In generale, per il sud delle Alpi bisogna considerare un segnale di riscaldamento più marcato che per il resto della Svizzera.

La frequenza, l'intensità e la durata degli estremi delle precipitazioni potrebbero cambiare con l'aumento della concentrazione dei gas a effetto serra. I cambiamenti degli estremi sono però complessi e dipendenti da meccanismi in parte contrastanti tra di loro, di conseguenza le proiezioni sono molto insicure e possono avere una tendenza diversa a seconda della stagione. L'inverno non mostra una panoramica consistente di cambiamenti riferiti alle precipitazioni estreme (somme su 1-5 giorni). Comunque il rialzo della temperatura porterà a un rialzo del limite delle nevicate e di conseguenza un aumento delle precipitazioni sotto forma di pioggia al posto di neve. Sebbene in estate i quantitativi totali di precipitazioni dovrebbero diminuire, ci sono ricerche che postulano un aumento delle precipitazioni estreme (per es. Christensen e Christensen 2007, Frei et al. 2006). Esistono ancora grandi incertezze sull'entità dei cambiamenti e non tutti i modelli concordano sulla direzione della tendenza.

In associazione con gli estremi delle precipitazioni, sono rilevanti i periodi di siccità: per l'estate i risultati dei calcoli modellistici mostrano una chiara tendenza a fasi più lunghe senza precipitazioni. Tuttavia anche per questo parametro l'incertezza è grande e a seconda del modello la durata delle fasi asciutte varia da un cambiamento non significativo fino a un allungamento medio del 60% per la fine del XXI secolo. Fasi più lunghe di tempo asciutto, unite a precipitazioni in diminuzione e temperature in aumento potrebbero innescare siccità rilevanti per l'agricoltura. Indicazioni quantitative attendibile oggi non sono però ancora possibili.

Un potenziale importante di danni è rappresentato dalle tempeste di vento: in questo campo è di importanza determinante la conoscenza del regime delle raffiche, i modelli climatici purtroppo non sono ancora in grado di simulare esplicitamente le raffiche e la proiezione delle tempeste future ha un'attendibilità bassa (cfr. tab. 6.4). Inoltre non sono disponibili proiezioni solide per tempeste violente, anche se non si possono escludere cambiamenti di regime. Se per il nord delle Alpi si potrebbero considerare tempeste più violente per il futuro (Donat et al. 2010, Leckebusch et al. 2006, Schwierz et al. 2010), per l'area mediterranea ci sono tendenze che indicano una diminuzione dell'intensità delle tempeste invernali. Non è comunque possibile formulare delle indicazioni quantitative sui cambiamenti dell'intensità delle tempeste (Raible et al 2008), mentre per fenomeni estremi e complessi come la grandine, tornado o nevicate intense, la direzione e l'entità delle variazioni future

sono ancora del tutto sconosciute. Per questi eventi non esiste un'aspettativa in base al tipo di processo meteorologico, né una tendenza nei modelli in quanto la loro dimensione è troppo piccola per poter essere considerata nei calcoli modellistici (tab 6.4).

Tab. 6.4: Panoramica riassuntiva dei cambiamenti degli eventi estremi in Svizzera.

Tipo di evento	**Aspettative in base al tipo di processo**	**Cambiamenti osservati negli ultimi decenni**	**Cambiamenti futuri**	**Comprensione del fenomeno**
Canicola / estremi di caldo	aumento della frequenza e intensità con l'aumento del riscaldamento globale e accresciuta variabilità / intensità a causa del suolo più asciutto	aumento della frequenza, intensità e durata	aumento della frequenza, intensità e durata	alta fino a molto alta
Gelo / estremi di freddo	generale calo con l'aumento del riscaldamento globale, probabilmente rinforzato dalla diminuzione della riflettività (albedo) con minore innevamento	modesta diminuzione della frequenza e della durata	diminuzione della frequenza e della durata	media fino ad alta
Precipitazioni intense	intensificazione come conseguenza di un aumento del contenuto di acqua nell'aria più calda	aumento della frequenza di forti precipitazioni invernali	debole tendenza a un'intensificazione delle precipitazioni autunnali, potenziale intensificazione in estate e in inverno, non si possono escludere grandi cambiamenti	media
Periodi siccitosi	aumento del rischio di siccità estive a causa di una maggiore evaporazione, anticipata fusione della neve e conseguente essicamento del suolo	nessun orientamento robusto, debole tendenza all'aumento della frequenza sul versante sudalpino	tendenza ad maggiore rischio di siccità e periodi asciutti più lunghi, assieme alle minori precipitazioni estive.	media
Tempeste invernali	aumento delle depressioni a causa di una maggiore disponibilità di calore latente, la variazione del gradiente di temperatura (dipendente dalla latitudine) influisce sulla traiettoria delle tempeste.	nessun orientamento robusto	nessun segnale coerente di una variazione, alcuni modelli indicano una diminuzione della frequenza ma un aumento dell'intensità.	bassa
Grandine	non chiaro	nessun segnale per una variazione nelle osservazioni	nessun segnale per una variazione nei modelli (scala spaziale troppo piccola)	molto bassa
Tornado	indicazione non chiara, la diminuzione del taglio di vento e l'umidificazione/riscaldamento dello strato limite sono contrapposti.	solo pochi casi ben documentati, nessun segnale di una variazione	nessun segnale di una variazione nei modelli (scala spaziale troppo piccola)	molto bassa
Nevicate intense (pianura)	indicazione non chiara, riscaldamento invernale e aumento delle precipitazioni sono contrapposti (soprattutto a basse quote)	nessun segnale di una variazione nelle osservazioni	nessun segnale di una variazione nei modelli	bassa

7 Bibliografia

Nota

Le seguenti pubblicazioni possono servire come complemento al rapporto, in particolare per le tematiche clima del Ticino, clima delle Alpi occidentali, cambiamento climatico generale e clima del Cantone dei Grigioni:

- Spinedi F. e Isotta F. 2004: Il clima del Ticino negli ultimi 50 anni. In: Dati, statistiche e società, trimestrale dell'Ufficio di statistica del Cantone Ticino, anno IV-no.2. Bellinzona. http://www3.ti.ch/DFE/DR/USTAT/allegati/articolo/1138dss_2004-2_1.pdf

- Regione Piemonte e Società Meteorologica Subalpina 2008: Cambiamenti climatici sulla montagna piemontese. Società Meteorologica Subalpina, Castello Borello, Bussoleno. http://www.naturaweb.net/pdf/181.pdf Da questa ricerca è stato tratto gran parte del primo capitolo del presente rapporto.

- Museo regionale di Scienze Naturali 2008: I tempi stanno cambiando. Catalogo della mostra, Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino. http://www.bafu.admin.ch/klimaanpassung/index.html?lang=it

- MeteoSchweiz 2009: Klimabericht Kanton Graubünden. Rapporto di lavoro no. 228. MeteoSvizzera, Zurigo. http://www.meteosvizzera.ch/web/de/forschung/publikationen/alle_publikationen/ab_228.html

Bibliografia citata

Amministrazione Isole di Brissago 1985: 1895-1950-1985 le Isole di Brissago. Amministrazione delle Isole di Brissago.

Begert M., Seiz G., Schlegel T., Musa M., G. Baudraz G. e Moesch M. 2003: Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990. Schlussbericht des Projekts NORM90. MeteoSchweiz, Zürich.

Blazevic R., Ortelli V. e Spinedi F. 2011: Classificazione delle frequenze e dei quantitativi delle precipitazioni giornaliere in Ticino e nella Mesolcina. Bollettino della Società ticinese di Scienze naturali, vol. 99. Lugano.

Begert M., Schlegel T. e Kirchhofer W. 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. Int. J. Climatol., 25, 65-80.

CH2011, 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Pubblicato da C2SM, MeteoSvizzera, ETH, NCCR Climate e OcCC, Zurigo, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7.

Commissione Svizzera di Ricerca sul Clima e sull'Atmosfera (CCA) 1988: Il clima – il nostro futuro? Kümmerly & Frey.

Courvoisier H. 1998: Statistik der 24-stündigen Starkniederschläge in der Schweiz 1901-1966. Rapporto di lavoro no. 194, Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera, Zurigo.

Christensen J. e Christensen O. 2007: A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. Climatic Change, 81, 7-30.

Davis B., Brewer S., Stewenson A. e Guiot J. 2003: The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. Quaternary Science Review, 22:1701-1716.

Dobson A. 1990: Introduction to Generalized Linear Models. Chapman and Hall, 174 pp.

Donat M., Leckebusch G., Pinto J. e Ulbrich U. 2010: European storminess and associated circulation weather types: future changes deduced from a multi-model ensemble of GCM simulations. Climate Research, 42, 27–43.

Fischer E. e Schär C. 2009: Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role for temperature extremes. Climate Dynamics, 33, 917-935.

Fischer E. e Schär C. 2010: Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. Nature Geoscience, 3, 398-403.

Fischer A., Weigel A., Buser C., Knutti R., Künsch H., Liniger M., Schär C. e Appenzeller C. 2011: Climate change projections for Switzerland based on a Bayesian multi-model approach. International Journal of Climatology.

Frei C., Schöll R., Schmidli J., Fukutome S. e Vidale P. 2006: Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models, Int. J. Geophys. Res.

Giorgi F., Bi X.e Pal J. 2004: Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. II: climate change scenarios (2071-2100). Climate Dynamics, 23, 839-858.

Hormes A., Muller B. e 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.

IPCC 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor e H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA.

Leckebusch G. e Ulbrich U. 2004: On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change. Global and Planetary Change, 44, 181-193.

Mc Cullagh P. e Nelder J. 1989: Generalized Linear Models, 2n ed. Monogr. on Statistics and Appl. Probability, No. 37, Chapman and Hall, 511 pp.

Meehl G., Tebaldi C. e Nychka D. 2004: Changes in frost days in simulations of twentyfirst century climate. Climate Dynamics, 23, 495-511.

MeteoSchweiz 2009: Klimabericht Kanton Graubünden. Rapporto di lavoro no. 228. MeteoSvizzera, Zurigo.

MeteoSvizzera 1864-2011: Annali. Pubblicazioni MeteoSvizzera, Zurigo.

Moss R. et al. 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature, 463, 747-756.

Musées cantonaux du Valais 2002: premiers homes dans les Alpes de 50’000 à 5’000 avant Jésus Christ. Catalogue de l’exposition, Sion.

Museo regionale di Scienze Naturali 2008: I tempi stanno cambiando. Catalogo della mostra, Museo Regionale di Scienze Naturali, Torino.

Nakicenovic N. e Swart R. 2000: IPCC Special Reporton Emissions Scenarios, Intergovernmental Panel on ClimateChange, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 570 pp.

Raible C., Della-Marta P., Schwierz C., Wernli H. e Blender R. 2008: Northern hemisphere extratropical cyclones: A comparison of detection and tracking methods and different reanalyses. Monthly Weather Review, 136, 880–897.

Regione Piemonte e Società Meteorologica Subalpina 2008: Cambiamenti climatici sulla montagna piemontese. Società Meteorologica Subalpina, Castello Borello, Bussoleno.

Schär C., Vidale P., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M. e Appenzeller C. 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature, 427, 332-336.

Scherrer S.; Appenzeller C.; Liniger M. e Schar C. 2005: European temperature distribution changes in observations and climate change scenarios, Geophysical Research Letters 32(19).

Scherrer S., Appenzeller C. e Liniger M. 2006: Temperature trends in Switzerland and Europe: Implications for climate normal. International Journal of Climatology 26(5): 565-580.

Schwierz C., Köllner-Heck P., Zenklusen Mutter E., Bresch D., Vidale P., Wild M. e Schär C. 2010: Modelling European winter wind storm losses in current and future climate. Climatic Change, 101, 485–514.

Seneviratne S., Lüthi D., Litschi M. e Schär C., 2006: Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. Nature, 443, 205-209.

Spinedi F. e Isotta F. 2004: Il clima del Ticino negli ultimi 50 anni. In: Dati, statistiche e società, trimestrale dell'Ufficio di statistica del Cantone Ticino, anno IV-no. 2. Bellinzona.

Swisstopo 2010: Atlante della Svizzera: Ufficio federale di topografia swisstopo, Wabern.

Wanner H., D. Gyalistras, J. Luterbacher, R. Rickli, E. Salvisberg, C. Schmutz 2000: Klimawandel im Schweizer Alpenraum. vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich.

Wilks D. 2006: Statistical methods in atmospheric sciences, 2nd edition, Academic Press, Amsterdam.

Riferimenti internet

http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/

http://www.meteosvizzera.ch/web/it/clima/clima_oggi/Trend_climatici_nelle_stazioni.html

http://www.r-project.org

http://www.ch2011.ch