

LA VARIABILITA' **CLIMATICA** NELL'ITALIA NORDOCCIDENTALE

Analisi statistica di temperature e precipitazioni giornaliere su Piemonte e Valle d'Aosta nella seconda metà del XX secolo

**Christian Ronchi,
N. Ciccarelli**

ARPA Piemonte, via S. Pio VII 7,
10135 Torino, Italia

**J. von Hardenberg,
Provenzale**

ISAC-CNR, Corso Fiume 4,
I-10133 Torino, Italia

I prolungati periodi siccitosi e le ondate di calore che si sono verificate nel nord-ovest italiano negli anni recenti, unite alle previsioni dei modelli climatologici riguardo all'aumento della probabilità di eventi siccitosi ed estremi nell'area Mediterranea, inducono a studiare attentamente la climatologia di precipitazioni e temperature in questa regione. Sulla base di tali motivazioni si è analizzato un ampio insieme di serie storiche di precipitazioni e temperature giornaliere, registrate da una densa rete di stazioni meteorologiche nel periodo dal 1952 al 2002. Le disomogeneità nella distribuzione spaziale e temporale delle stazioni di misura sono state accuratamente considerate adottando criteri e metodologie statistiche per il controllo di qualità del dato ed applicando metodi di tipo Monte Carlo per stimare gli errori di campionamento e per definire la significatività dei risultati.

I risultati delle analisi statistiche hanno evidenziato un incremento di circa 1 °C delle temperature medie durante il periodo di studio. L'aumento è più pronunciato per le temperature massime giornaliere in inverno ed in estate. Al contrario, le serie storiche di precipitazioni non mostrano alcuna tendenza significativa negli ultimi 50 anni. Inoltre si sono studiate le proprietà statistiche delle fluttuazioni interannuali di temperatura e precipitazione e si è quantificata la loro correlazione con i principali pattern atmosferici a larga scala quali l'Oscillazione Nord Atlantica (NAO), lo Scandinavian pattern (SCAN) e il blocco Europeo. I dati indicano una correlazione significativa dello Scandinavian pattern con il clima del nord-ovest italiano: in particolare la sua fase positiva determina un incremento delle precipitazioni ed una diminuzione delle temperature massime in autunno ed in estate. Contemporaneamente i frequenti episodi di blocco sull'Europa settentrionale producono un aumento delle precipitazioni autunnali ed estive sull'area di studio.



Fig. 4 - Statistiche di precipitazione standardizzata mediata annualmente e su tutte le stazioni.
 a) *Precipitazione media;*
 b) *intensità di precipitazione;*
 c) *percentuale di giorni secchi in un anno.*
 Le bande bianche indicano intervalli di confidenza ottenute con il metodo del jack-knife.

Fig. 5 - Trend lineari pesati di precipitazione media annua, delle stazioni con almeno 25 anni di dati validi, in funzione della latitudine delle stazioni. I trend (non) significativi sono evidenziati dal pallino pieno (vuoto).

Fig. 1 - Distribuzione delle stazioni sul territorio di Piemonte e Val d'Aosta, utilizzate in questo lavoro: in rosso le stazioni provviste di termometri, in blu le stazioni provviste di pluviometri.

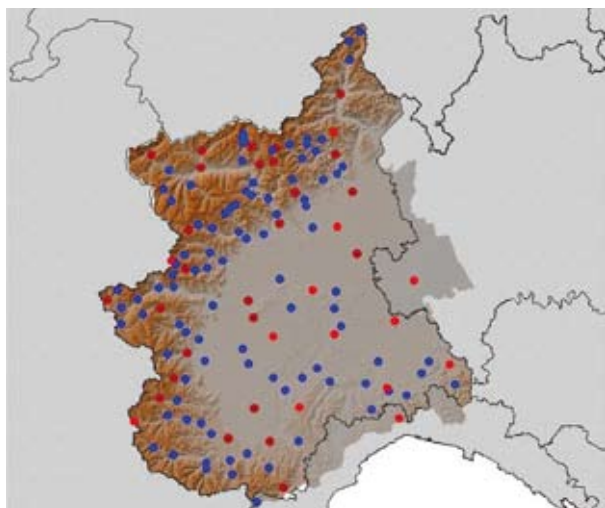
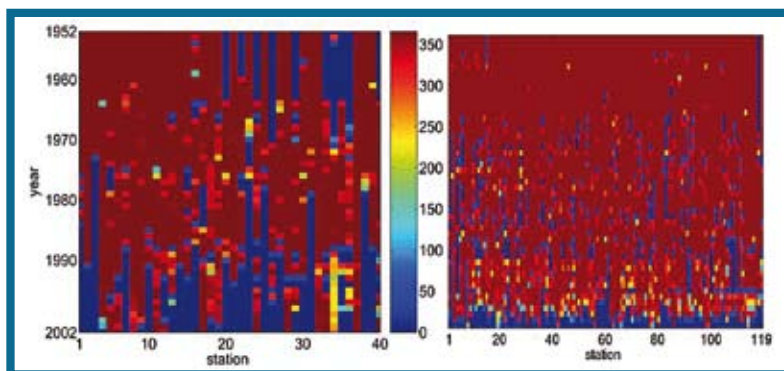


Fig. 2 - Numero di giorni con dati per ciascuna stazione per ogni anno nel periodo in esame (1952-2002), rispettivamente per le temperature medie (a sinistra) e per le precipitazioni (a destra).



INTRODUZIONE

Lo studio della variabilità climatica su scala regionale, è un elemento di raccordo essenziale nella ricerca climatologica globale. Parallelamente, il cambiamento del clima passato e presente, ha un impatto significativo su molteplici aspetti sia ambientali sia legati alle attività umane. Il clima in contesto alpino è contraddistinto da una particolare variabilità spaziale che richiede reti di misura ad alta densità per essere studiato con accuratezza.

Le Alpi Europee e le loro vallate, inoltre, sono caratterizzate da una pericolosa combinazione di rischi idrogeologici potenzialmente elevati e da una intensa pressione antropica, che necessitano di una efficace valutazione quantitativa riguardo ai possibili impatti di Cambiamenti Climatici. L'area di interesse di questo lavoro, ossia l'Italia nord-occidentale (in particolare il Piemonte e la Valle d'Aosta) è esposta a flussi molto umidi provenienti dal Mediterraneo e una ampia porzione del suo territorio è in massima parte di tipo montano e collinare. Ne consegue che il carattere preminentemente orografico della precipitazione unito alla diffe-

rente esposizione dei versanti alpini ed alla presenza di numerose vallate strette, conduce ad una vasta gamma di differenti condizioni climatiche locali. (Beniston, 2005; Casty et al., 2005)

Una combinazione di questi fattori ha provocato, da sempre, eventi alluvionali nel Piemonte, fra i quali possiamo ricordarne due particolarmente intensi accaduti in anni recenti (1994 e 2000).

Come primo passo per stimare possibili cambiamenti futuri e i loro impatti, è essenziale determinare accuratamente la variabilità climatica passata e presente e la significatività di tendenze climatiche attraverso una rigorosa analisi statistica dei dati disponibili.

Tuttavia, utilizzando i dati di precipitazione e temperatura massima e minima registrati dalla rete di osservazioni al suolo ad alta densità spaziale e ben distribuita sul Piemonte e Val d'Aosta appartenenti alla rete del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) che ha raccolto dati meteoroidrografici dal 1913 sino al 2002, è stato possibile analizzare e valutare la variabilità climatica nell'ultimo cinquantennio, in termini di tendenze sul lungo periodo e di fluttuazioni inter-annuali. I risultati sono stati quindi comparati con i valori forniti dal dataset di reanalisi ERA40 prodotto presso l'ECMWF (Uppala et al., 2005) dal quale si osserva un aumento della temperatura superficiale globale della terra nella seconda parte del XX secolo. Da notare che le serie storiche di dati termo-pluviometrici considerate nello studio regionale su Piemonte e Val d'Aosta, non sono state inserite nelle procedure di assimilazione di ERA40 e quindi i due dataset possono essere considerati indipendenti. In questo senso, la possibi-

lità di rilevare uno specifico segnale climatico (in termini di tendenza o frequenza) attraverso due differenti ma coerenti sistemi di misurazione è particolarmente significativa per attestare ulteriormente la solidità dei risultati derivanti dalle indagini statistiche.

DATI E METODOLOGIE

Per l'analisi dei dati si sono considerate 120 stazioni meccaniche e manuali con dati giornalieri di precipitazione e 40 stazioni meccaniche e manuali con dati sempre giornalieri di temperatura massima e minima nel periodo dal 1952 al 2002, distribuiti in modo uniforme sull'area di interesse (Fig. 1) e con una copertura temporale fitta per quanto riguarda le precipitazioni e che va diminuendo negli ultimi anni del periodo di studio (Fig. 2). E' stato quindi elaborato un sistema di controllo di qualità dei dati basato sulla comparazione di una singola stazione di misura con le 5 stazioni più vicine.

Nel dettaglio, ogni serie storica subisce i seguenti controlli:

- a)** Controlli logici, che garantiscono la coerenza del dato, ossia che i valori registrati non siano fisicamente impossibili o che la temperatura massima giornaliera non sia superiore alla minima;
 - b)** Controlli climatologici, tramite i quali si confrontano i singoli valori della serie con la climatologia della stazione stessa ed eventualmente con quelle vicine;
 - c)** Controlli temporali, onde evitare persistenze anomale di un singolo valore.
- I dati che non superano i controlli di qualità vengono quindi esclusi dalle analisi climatologiche.

Per quanto riguarda la valutazione della significatività dei risultati (tendenze e ricorrenze) sono state applicate due metodologie statistiche: la tecnica cosiddetta di tipo Monte Carlo, che consiste nel confronto del valore di trend calcolato effettivamente sulla serie storica in esame con quelli provenienti da un ensemble di 1000 serie storiche ottenute con rimescolamento casuale dei valori della serie storica originale (solo i trend che in valore assoluto superano i trend del 5%

delle serie casuali sono considerati significativi); un test classico di Mann-Kendall viene successivamente utilizzato per la compatibilità dei risultati.

TENDENZE DELLA PRECIPITAZIONE

Per le precipitazioni sono stati quantificati le tendenze relative a numerose statistiche (tabella di Fig. 3) sia su base annuale che stagionale. Le serie di precipitazione sono state standardizzate (sottraendo la media e dividendo per la deviazione standard del periodo considerato) per ogni stazione, al fine di eliminare la dipendenza con la quota della stazione di misura.

Da questi dati si sono ottenute diverse statistiche annuali, mediate su tutte le stazioni. In figura 4 è riportato, ad esempio, l'andamento nel tempo delle precipitazioni standardizzate medie annuali, dell'intensità di precipitazione (precipitazione mediata solo sui giorni piovosi) e la percentuale annuale di giorni senza precipitazione. Nessuna di queste serie mostra trend lineari significativi, come verificato attraverso un test di significatività di Monte Carlo ed attraverso il classico test di Mann-Kendall. Lo stesso risultato si ottiene considerando altre statistiche quali la lunghezza dei periodi secchi, la precipitazione cumulata negli eventi di precipitazioni o statistiche di estremi quali la massima lunghezza dei periodi secchi in un anno. Anche quando sono mediati su base stagionale i dati non mostrano trend significativi.

Si evidenzia, inoltre, che i trend delle statistiche di precipitazione mediate su tutte le stazioni siano molto deboli e non significativi con i metodi scelti. Tuttavia i trend significativi sulle singole stazioni (Fig. 5), mostrano una dipendenza dalla latitudine delle stazioni, confermata anche dallo studio delle componenti principali illustrato in seguito.

TENDENZE DELLA TEMPERATURA

La figura 6 mostra l'andamento nel tempo delle anomalie di temperatura minime

e massime annuali, mediate su tutte le stazioni. Un fit lineare conferma una tendenza positiva, che risulta statisticamente significativa, quantificabile in $0.023^{\circ}\text{C}/\text{anno}$ per le temperature massime e in $0.011^{\circ}\text{C}/\text{anno}$ per le minime. L'analisi stagionale (tabella di Fig. 7) rivela che queste tendenze significative sono associate principalmente con la stagione estiva e con quella invernale (quest'ultima solo per le massime). È stato verificato che tendenze significative comparabili a quelle medie sulla regione, sono riscontrabili anche con le serie storiche di temperatura di singole stazioni e che non vi è una dipendenza della magnitudo della tendenza, dalla quota della stazione.

Infine, queste tendenze positive caratterizzano in particolare l'ultima parte del periodo preso in esame, come è stato verificato confrontando medie su finestre temporali più corte. È interessante notare come questo aumento di temperature sia consistente anche con un set di dati di temperatura forniti dal progetto di ri-analisi ERA40 dell'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) negli stessi anni (Uppala et al., 2005), sui punti griglia che coprono l'area piemontese, trovando tendenze comparabili, anche quando considerati su base stagionale.

È importante notare che i dati della rete di misura considerata in questo lavoro non hanno mai fatto parte del ciclo di assimilazione utilizzato da ERA40. Le tendenze di temperatura positive trovate in area piemontese sono in buon accordo con aumenti di temperature massime e minime riportati nella regione alpina, nello stesso periodo (Beniston 2005).

Al fine di evidenziare maggiormente i cambiamenti nell'andamento della temperatura, le serie storiche sono state suddivise in tre periodi di 17 anni ciascuno. Come si vede in figura 6, le temperature medie della maggior parte delle stazioni sono significativamente più elevate nel periodo più recente (1986-2002).

Le tendenze positive riscontrate nell'Italia nord-occidentale risultano essere in buon accordo con l'incremento significativo di

temperature massime e minime calcolato per l'area alpina e riportato in studi analoghi (Beniston 2005, Bohm et al. 2001).

I risultati conseguiti attraverso la rete ad alta densità presente nell'area di interesse sono quindi direttamente confronta-

Fig. 3 - Valori medi delle principali statistiche calcolate sui dati di precipitazioni giornalieri.

Variabile	Valore medio
Precipitazione media	1090 mm/anno
Scarto quadratico	9.5 mm/giorno
Percentuale di giorni secchi all'anno	76.5%
Intensità media di precipitazione	12.7 mm/giorno
Lunghezza media dei periodi secchi	6.6 giorni
Lunghezza media dei periodi piovosi	
Volume medio di precipitazione nei periodi piovosi	24.6 mm

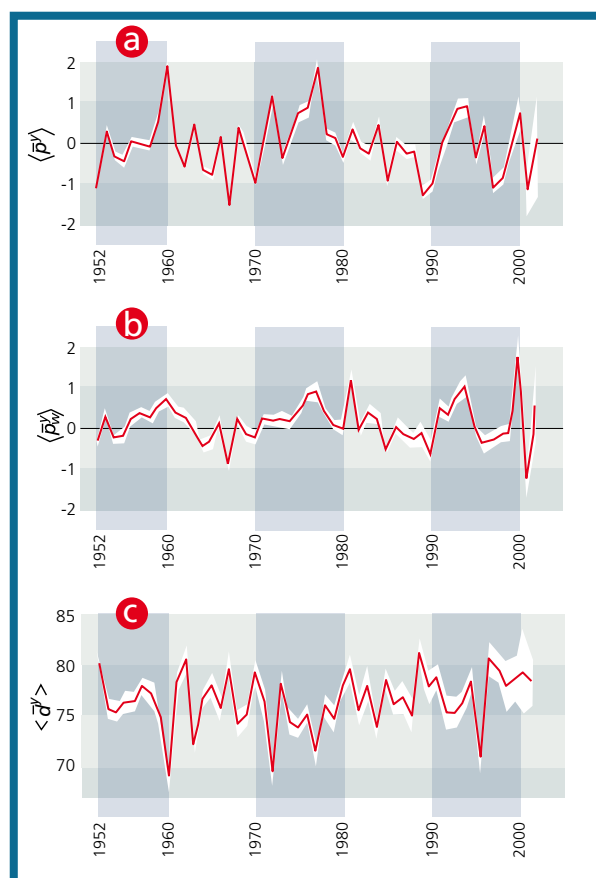


Fig. 4

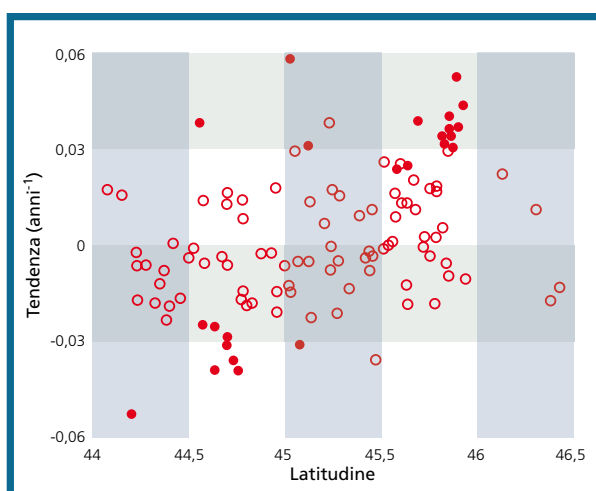


Fig. 5

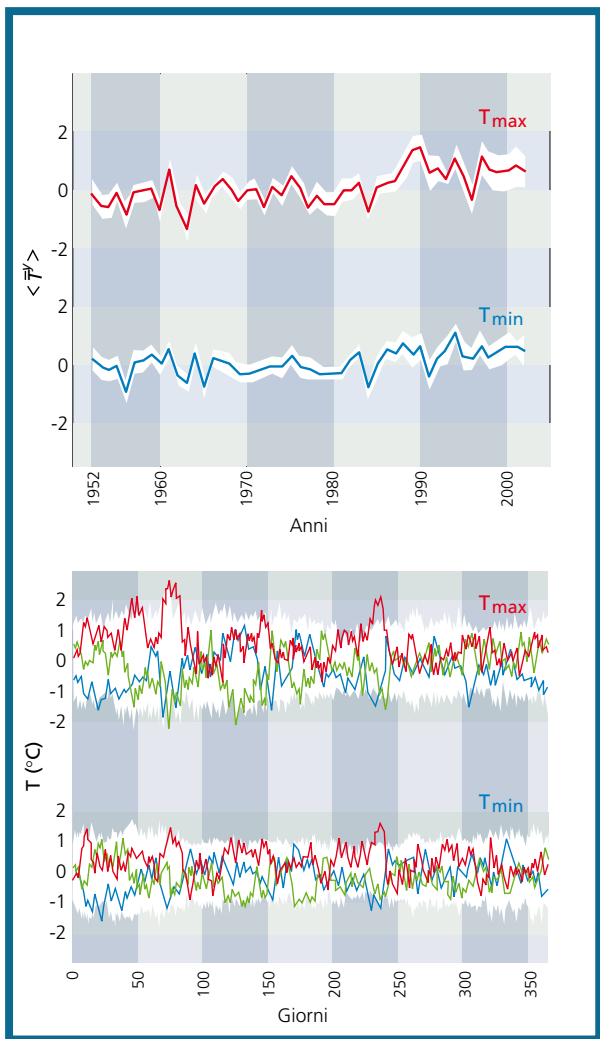


Fig. 7 - Anomalie di temperatura medie annuali su tutte le stazioni (a sinistra); temperature medie giornaliere in tre periodi, 1952-68 (blu), 1969-85 (verde), 1986-2002 (rosso) dopo aver rimosso la climatologia (a destra). Le bande grigie indicano un livello di confidenza del 95%.

Fig. 6 - Tendenze di temperatura media annua e stagionale rilevate su Piemonte e Val d'Aosta dal 1952 al 2002. Evidenziati in grassetto i trend significativi con confidenza del 95%.

Fig. 8 - Andamento temperature sulla base dei dati ERA40: trend lineari espressi in °C per anno delle temperature massime nel periodo 1958-2002 (a sinistra); anomalie medie in °C tra il periodo 1988-2002 e l'intero periodo 1958-2002 (a destra). Le zone bianche corrispondono a tendenze o aumenti statisticamente NON significativi

bi con i dati derivanti dalle re-analisi di ERA40. Per la temperatura in particolare, la figura 8 illustra come su tutta l'Europa occidentale e Settentrionale si è registrato un incremento della anomalia di temperatura media nel periodo 1986-2002, con tendenze positive significative in particolare sulle Alpi.

Calcolando le tendenze sui punti della griglia rappresentativi del nord ovest dell'Italia, si vede come i valori di incremento annuale e stagionale siano assolutamente compatibili con quelli ricavati a partire dalla rete piemontese (tabella di Fig. 9).

IL LEGAME CON PATTERN DI CIRCOLAZIONE A GRANDE SCALA

Alcuni pattern di circolazione a grande scala hanno un'influenza determinante sul clima regionale in area Mediterranea, grazie al loro controllo dell'afflusso di

	Anno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Tmax [°C/anno]	0.023	0.036	0.015	0.023	0.017
Tmin [°C/anno]	0.011	0.018	0.010	0.012	0.008
	Anno	Inverno	Primavera	Estate	Autunno
Tmax [°C/anno]	0.017	0.025	0.022	0.024	-0.002
Tmin [°C/anno]	0.012	0.016	0.015	0.013	0.005

Fig. 6

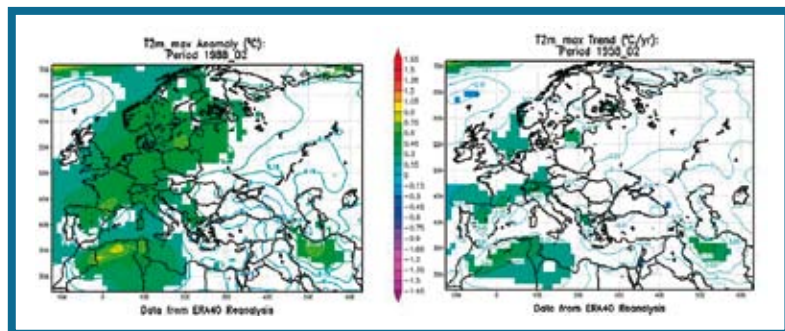


Fig. 8

		NAO	EA	SCA	EAWR	EAB	EB
Inverno	Tmax	0.67	0.36	-0.25	0.16	-0.53	-0.48
	Tmin	0.42	0.35	-0.03	0.12	-0.35	-0.39
	p	-0.31	0.21	0.30	-0.11	0.18	0.02
Primavera	Tmax	0.25	0.28	-0.55	0.24	-0.23	-0.31
	Tmin	0.27	0.47	-0.17	0.22	-0.33	-0.13
	p	0.03	0.14	0.32	-0.20	-0.21	0.26
Estate	Tmax	0.20	0.20	-0.54	0.04	0.11	-0.45
	Tmin	0.16	0.31	-0.50	-0.07	0.07	-0.39
	p	-0.02	-0.11	0.39	-0.02	-0.09	0.52
	Tmax	0.10	0.32	-0.57	0.03	0.06	-0.26
	Tmin	0.09	0.47	-0.16	0.03	-0.08	0.04
	p	-0.14	-0.09	0.60	-0.04	-0.11	0.35

Fig. 9

umidità atmosferica e delle traiettorie dei sistemi perturbati atlantici (Barnston and Livezey, 1987; Hurrell, 1995). Per tali ragioni, il passo successivo è stato quello di analizzare la correlazione, sulla base di medie stagionali, tra le serie di temperatura e precipitazione piemontesi con gli indici North Atlantic Oscillation (NAO), Scandinavian (SCAN), East Atlantic (EA) ed East Atlantic West Russia (EAWR) ottenuti da serie pubblicate dal NOAA Climate Prediction Centre (si veda p.es. Barnston e Livezey, 1987), e con gli indici di blocking atlantici ed europei EAB ed EB (Quadrelli et al., 2001). I risultati evidenziano una correlazione significativa tra le temperature nell'area di studio con il pattern EA su tutto l'arco dell'anno, mentre la NAO gioca un ruolo significativo, sia sulle temperature che sulle precipitazioni, solo nella stagione invernale. In altre stagioni,

la fase positiva dello SCAN porta a temperature basse ed un aumento di precipitazioni. Analogamente è stata riscontrata una correlazione significativa tra un'alta frequenza di blocking europeo (indice EB) con un aumento di precipitazioni in estate ed autunno e con temperature ridotte dall'inverno all'estate. Mentre questi risultati sono in accordo con l'influenza nota dei pattern di circolazione sul clima in area alpina, essi evidenziano un ruolo particolarmente interessante dei fenomeni di blocking e dello Scandinavian pattern per la variabilità climatica in area piemontese (tabella di Fig. 9).

ANALISI DELLE COMPONENTI PRINCIPALI

La variabilità spatio-temporale della precipitazione nell'area di studio è stata

quindi caratterizzata attraverso la tecnica della Analisi in Componenti Principali, al fine di identificare i principali pattern di variabilità climatica su base annuale e stagionale. La figura 10 riporta i due principali pattern EOF (Empirical Orthogonal Functions), significativi, risultanti dall'analisi annuale. Il primo pattern, che spiega il 56.4% della varianza totale, rappresenta una distribuzione quasi omogenea di precipitazioni, corrispondente ad una variabilità interannuale della precipitazione stessa, sincrona tra tutte le stazioni. Un simile risultato è stato riscontrato da Quadrelli et al. (2001) per l'intero arco alpino. La seconda EOF, che spiega il 9.8% della varianza totale, descrive un dipolo nord-sud con un'anomalia di precipitazione sull'area alpina del Piemonte e sulla Valle d'Aosta e con un'anomalia di segno opposto sulla parte meridionale dell'area di studio. Un'analisi della serie temporale della componente principale (PC) associata (la proiezione dei dati sulla seconda EOF) rivela come si sia passati, attorno alla seconda metà degli anni 80, ad una predominanza della fase negativa di questo pattern, corrispondente ad un aumento delle precipitazioni in area alpina ed ad una diminuzione sulle parti meridionali dell'area (Fig. 11).

L'analisi stagionale mostra che questo cambiamento è associato principalmente con la stagione primaverile. Una ulteriore analisi della correlazione della seconda PC con gli indici di circolazione a grande scala (tabella di Fig. 12), rivela che questo cambiamento può essere associato in

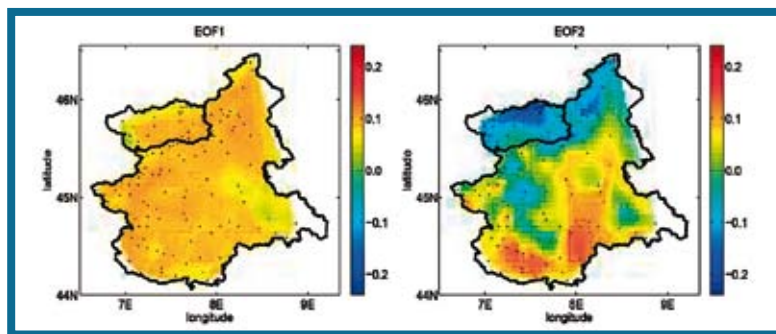


Fig. 10 - Pattern principali di precipitazione annuale, che spiegano rispettivamente il 56.4% e il 9.8 % di varianza di precipitazione.

modo significativo all'andamento dell'indice SCAN e dell'indice di blocking EB.

CONCLUSIONI

L'analisi statistica accurata dei dati giornalieri di temperatura e precipitazione ottenuti da una densa rete di misura in Italia nord-occidentale, riportata in questo lavoro, ha evidenziato un aumento significativo delle temperature medie di circa 1°C negli ultimi 50 anni del XX secolo, concentrato principalmente nei mesi invernali ed estivi. Questo trend è in accordo con dati di temperatura indipendenti ottenuti dall'archivio di ri-analisi ERA40. L'assenza di tendenze significative nelle statistiche di precipitazione risulta inoltre in accordo con risultati analoghi per l'intero arco alpino (Beniston, 2005) e sull'Italia (Brunetti, 2000).

Nel loro complesso questi risultati, una tendenza positiva nelle temperature estive e l'assenza di tendenze di precipitazione, suggeriscono un aumento delle condizioni di aridità nell'area in esame. Analogamente, la tendenza positiva rilevata per le temperature invernali è strettamente legata ad una riduzione della copertura nevosa negli ultimi anni nelle

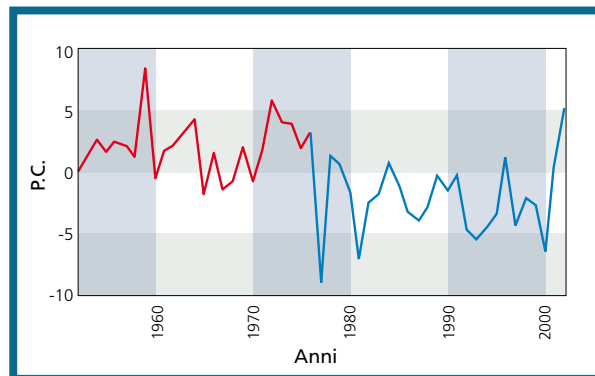


Fig. 11 - Serie temporale della seconda Componente Principale dei dati di precipitazione mediati sull'anno.

	NAO	EA	SCAN	EAWR	EAB	EB
Inverno	-0.01	-0.19	0.32	-0.05	0.14	0.52
Primavera	0.02	-0.43	0.33	-0.01	-0.14	0.57
Estate	0.47	-0.27	0.23	0.04	-0.02	0.33
Autunno	0.21	-0.24	0.01	0.26	-0.10	0.22

Alpi (Jacobson et al., 2004).

Sono state identificate correlazioni significative di alcuni pattern di circolazione a grande scala con la variabilità climatica regionale. Il NAO gioca un ruolo solo in inverno, con fasi positive che portano ad inverni caldi poco piovosi. Si rileva una correlazione significativa tra la presenza frequente di blocking sulla penisola scandinava e di fasi positive dello Scandinavian pattern con incrementi nella precipitazione, particolarmente in autunno, ed una diminuzione delle temperature massime.

Fig. 12 - Correlazione della serie storica della seconda componente principale di precipitazione con i principali indici di circolazione a larga scala (evidenziate in grassetto le correlazioni significative con confidenza del 95%).

BIBLIOGRAFIA

Barnston, A. G., Livezey, R. E., (1987) - Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. «Monthly Weather Review», 115, 1083-1126.

Beniston, M., (2005) - Mountain climates and climatic change: An overview of processes focusing on the European Alps. «Pure and Applied Geophysics», 162, 1587-1606.

Böhm, R., Auer, I., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., Schöner, W., (2001) - Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenized instrumental time series. «International Journal of Climatology», 21, 1779-1801.

Brunetti, M., Buffoni, L., Maugeri, M., Nanni, T., (2000). - Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865

to 1996. «Theoretical and Applied Climatology», 66, 49-60.

Casty, C., Wanner, H., Luterbacher, J., Esper, J., Böhm, R., (2005) - Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500. «International Journal of Climatology», 25, 1855-1880.

Hurrell, J. W., (1995). - Decadal trends in the North-Atlantic Oscillation - regional temperatures and precipitation. «Science», 269, 676-679.

Jacobson, A. R., Provenzale, A., von Hardenberg, A., Bassano, B., Festa-Bianchet, M., (2004). - Climate forcing and density dependence in a mountain ungulate population. «Ecology», 85, 1598-1610.

Quadrelli, R., Lazzeri, M., Cacciamani, C., Tibaldi, S., (2001). - Observed winter Alpine precipi-

tation variability and links with large-scale circulation patterns. «Climate Research», 17, 275-284.

Uppala, S. M., Kallberg, P. W., Simmons, A. J., Andrae, U., Bechtold, V. D., Fiorino, M., Gibson, J. K., Haseler, J., Hernandez, A., Kelly, G. A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R. P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M. A., Beljaars, A. C. M., Berg, L. V. D., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., H'olm, E., Hoskins, B. J., Isaksen, I., Janssen, P. A. E. M., Jenne, R., McNally, A. P., Mahfouf, J. F., Morcrette, J. J., Rayner, N. A., Saunders, R. W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K. E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P., Woollen, J., (2005) - The ERA-40 re-analysis. «Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society», 131, 2961-3012.

Fig. 9 - Correlazione delle serie storiche di temperatura e precipitazione stagionali sul Piemonte con i principali indici di circolazione a larga scala (evidenziate in grassetto nero e rosso rispettivamente le correlazioni significative con confidenza del 99% e del 95%).