Una scala bicentenaria (1803-2003) per studiare l'evoluzione climatica di Udine

Mario Ceschia
Elisabetta Ceschia
Valentino Pietrobon

In questi ultimi anni, notevoli sono stati i risultati raggiunti nel miglioramento delle serie storiche italiane per quanto concerne non solo i dati di temperatura (media), ma anche degli estremi giornaliere di dati di temperatura (massimi e minimi) e della loro differenza chiamata DTR (acronimo di *Daily Temperature Range*), nonché di grandezze come la pressione atmosferica e, soprattutto, le precipitazioni. Al fine di valutare i cambiamenti climatici di una data località, un parametro molto sensibile è sicuramente il DTR. Pertanto, anche se solo molto recentemente (1997), anche a Udine e Trieste si è affrontato al livello di ricerca scientifica il problema dell'analisi delle temperature giornaliere massime, minime e delle loro escursioni (DTR) durante il secolo XX ([2], [3]). Per Udine la diminuzione del DTR nel periodo 1895-1996 risulterebbe di 0,4°C, mentre per Trieste nel periodo 1900-1997 tale diminuzione sarebbe di circa 0,8°C.

Secondo il ben noto climatologo americano Karl (1993) (vedi in particolare il lavoro di Karl et al. [4]) nel periodo più recente e a scala spaziale emisferica ci sarebbe stato un aumento delle temperature minime circa tre volte maggiore rispetto a quello delle temperature massime.

L'ampiezza dell'estensione spaziale di tale effetto e la sua persistenza temporale suggeriscono la presenza di effetti climatici di larga scala. Le cause della diminuzione del DTR rimangono ancora incerte, ma c'è una certa evidenza che il fenomeno non dipenda solo dall'effetto dell'isola di calore tipica delle città, ma almeno in parte sia correlato a un aumento della nuvolosità e alla durata dell'insolazione.

Nel campo della ricerca sui cambiamenti climatici, i problemi relativi all'analisi dell'evoluzione delle precipitazioni sono ancora ampiamente irrisolti e le stime modellistiche sono di qualità decisamente inferiore rispetto a quelle relative alle temperature. In particolare, per l'Europa meridionale si hanno stime discordanti delle precipitazioni future che vanno da un lieve incremento ad un deciso decremento.

Per quanto concerne lo studio dell'evoluzione del clima della regione FVG, le città di Trieste e Udine possiedono le serie tra le più antiche in Italia e, per il secolo XIX, tra le più complete e dettagliate esistenti nel mondo. Per quanto concerne, in particolare, lo studio del clima di Udine-città, è stata usata la sua serie storica bicentenaria (1803-2003), ricostruita a scala mensile avvalendosi della serie del Venerio (1803-1842), e di quelle dell'Istituto Tecnico (1867-1914) e del Malignani (1891-2003). I dettagli sui dati disponibili e sulla procedura seguita per la ricostruzione dei periodi mancanti, nonché la storia delle altre serie storiche limitrofe coinvolte nel processo di validazione ed omogeneizzazione, sono illustrati in [5].

I primi dati sul comportamento della temperatura e il fenomeno dell'isola di calore

Le prime osservazioni sul clima della città di Udine risalgono alla fine del settecento a cura del Conte Giulio Asquini, primo meteorologo udinese (periodo 1774-1789, e 1797). Tuttavia, solo nel 1803 ebbero inizio in Udine osservazioni sistematiche delle principali grandezze meteorologiche a cura di Girolamo Venerio presso la sua abitazione situata presso l'omonima piazza, periodo 1803-1842. Dopo la morte del Venerio avvenuta nel 1843 ci fu a Udine una lacuna nelle osservazioni meteorologiche che durò fino all'avvento dell'Italia nel 1866, quando venne istituita per volontà del Governo italiano la stazione meteorologica dell'Istituto Tecnico "Antonio Zanon" (IT) di Udine affidandone la direzione al prof. Giovanni Clodig allora titolare della cattedra di Matematica e Fisica. Detta stazione, dotata di strumenti per misurare le principali grandezze meteorologiche, divenne più tardi Osservatorio di Udine (1880), e continuò a funzionare fino al 1914, sovrapponendosi per

prof. Mario Ceschia, CINFAI (Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Fisica delle Atmosfere e delle Idrosfere) e Dipartimento di Fisica dell'Università di Udine
dott. arch. Elisabetta Ceschia, dottore di ricerca in Trasporti, Traffico e Ambiente presso l'Università di Trieste, collaboratore CINFAI
dott. Valentino Pietrobon, dottorato in Informatica presso l'Università Ca' Foscari di Venezia, collaboratore CINFAI

una ventina d'anni a quella impiantata nel 1891 sul lato di ponente del colle del Castello di Udine all'interno del giardino della sua abitazione in una torretta costruita ad hoc (ove fortunatamente tuttora si trova) a cura di Arturo Malignani. Quest'ultima stazione, seguendo le orme del Venerio, venne gestita con passione scientifica e munita della strumentazione più avanzata del momento, dapprima a cura dello stesso Arturo (fino alla sua morte avvenuta nel 1938), poi del figlio Camillo, quindi del nipote Paolo, e attualmente dei pronipoti.

Degni di nota per la loro modernità e interesse attuale sono alcune considerazioni e risultati pubblicati dallo stesso Malignani (1939) [6] sulla misura della temperatura dell'aria e l'effetto dell'isola di calore della città. In particolare, per quanto concerne l'effetto della città con la sua superficie ricoperta di edifici e strade, rispetto alla campagna coperta di vegetazione, sull'andamento della temperatura, avvalendosi di una quarantina di anni di osservazione, il Malignani scrive che per "*le medie della temperatura rilevate nel centro della Città e sul Colle, cioè circa 20 m sopra il piano sottostante allo strato di freddo notturno che producesi nella zona di vegetazione, la temperatura media generale fuori città va ridotta di gradi 0,73, e si riduce quindi da gradi 12,55 a gradi 11,82.*" Ed è sempre lo stesso Malignani che scrive: "*Poiché, come si è detto, la causa delle forti differenze di temperatura tra le due località dipende principalmente dal freddo notturno prodotto dalla irradiazione nella zona piana di vegetazione nelle notti serene e semi serene, occorre determinare la quantità annuale delle notti nelle quali si manifesta in modo apprezzabile il fenomeno dell'irradiazione notturna.*"

"*Secondo numerosi rilievi effettuati negli Osservatori Malignani, in Udine città e in periferia, il numero di tali notti è il seguente:*

- Inverno	*44,92*
- Primavera	*46,38*
- Estate	*57,60*
- Autunno	*46,28*
- Anno	*195,18*

In base a questi dati, la temperatura media generale annuale, rilevata all'altezza di m 2, sopra il piano di campagna risulta, come si è detto, di gradi 0,74 inferiore a quella rilevata nell'Osservatorio in Città. La media invernale risulta di circa gradi 0,84, quella primaverile di gradi 0,72, quella estiva e autunnale di circa gradi 0,63 e 0,67, tutte sempre inferiori alle

I PROCESSI CHE REGOLANO IL CLIMA GLOBALE

Una serie di lavori scientifici degli anni '80 e '90 ha provato in modo convincente come, nel corso del ventesimo secolo, la temperatura media dell'aria sia aumentata di oltre mezzo grado (0,6±0,2°C) in prossimità della superficie terrestre. Tuttavia questo riscaldamento, parallelo ad uno analogo verificatosi anche sulla superficie degli oceani, non è stato uniforme né spazialmente né temporalmente, manifestando forti differenziazioni geografiche e presentando un comportamento molto complesso, sia in termini di tendenza di lungo periodo sia di modulazione stagionale. Per quanto concerne la regione Friuli Venezia Giulia, un'analisi del 1994 [1] sull'andamento (relativo però solo al periodo 1952-1990) delle temperature medie mensili, minime e massime, annuali e stagionali, registrate in alcune stazioni del Servizio Idrografico (SI), ha confermato i risultati al livello globale, secondo cui il Friuli Venezia Giulia, almeno per il periodo esaminato, si sarebbe trovato al limite tra una zona con un debolissimo raffreddamento (-0,25°C) e una zona senza alcuna variazione.

Tuttavia, nel corso degli anni '90 il fenomeno del riscaldamento globale è divenuto più evidente, tanto che questi anni sono probabilmente risultati i più caldi dell'ultimo millennio. Anche i primi anni del ventunesimo secolo sembrano confermare il dato dell'ultimo decennio del ventesimo secolo, tanto che tutti i quattro anni del periodo 2000-2003 si collocano tra i più caldi degli ultimi 150 anni.

In questa situazione gli studiosi si sono posti la domanda se, ed in quale misura, le modulazioni di temperatura osservate possano rientrare nella naturale variabilità del clima o siano da ricondurre a cause di natura antropica (effetto serra).

Questa fondamentale domanda ha indotto nel corso degli ultimi decenni la comunità scientifica ad indirizzare ampi sforzi verso lo studio dei processi che regolano il clima globale. Nel loro complesso, le ricerche condotte hanno evidenziato come il miglioramento della nostra capacità di comprendere l'evoluzione del clima della Terra richieda indubbiamente lo sviluppo di nuovi modelli climatici, ossia di strumenti volti alla proposizione di scenari climatici futuri, attraverso l'utilizzo di risorse di calcolo e di metodi numerici sempre più avanzati; tuttavia, risulta d'importanza ancora maggiore lo sviluppo delle osservazioni, in quanto solo l'accurata osservazione di ciò che accade nel presente e di ciò che è accaduto nel passato nei diversi comparti del sistema Terra, può consentirci di capire quali sono i processi e le interazioni fondamentali ai fini di una corretta comprensione dell'evoluzione delle condizioni dell'atmosfera.

Una fonte di dati fondamentale per la conoscenza dell'evoluzione del clima è costituita dalle serie storiche di grandezze meteorologiche, raccolte grazie alla passione ed all'impegno di generazioni di osservatori, il cui lavoro ha permesso di accumulare dati per migliaia di stazioni con serie spesso lunghe più di 100 anni.

In questo contesto la comunità scientifica internazionale (inclusa quella italiana) ha prodotto nel corso degli ultimi anni un ampio sforzo (che continua tuttora!) per reperire, tradurre su supporto automatico, omogeneizzare e quindi analizzare un numero sempre maggiore di serie storiche di dati meteorologici in modo da poter studiare la variabilità e i cambiamenti del clima avvenuti nel corso degli ultimi due secoli. Tale attività è documentata nei dettagliati rapporti dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), organismo fondato nel 1988 dal WMO (World Meteorological Organization).

medie cittadine. Le citate differenze medie comprendono però anche quelle delle notti coperte o piovose, durante le quali non si manifestano differenze apprezzabili rispetto a quelle del giorno."

Inoltre lo stesso Malignani fondandosi su dati da lui stesso raccolti (nel periodo 1891-1938) osservava che d'inverno le notti sono piuttosto fredde, ed in genere gela, fuorché in città, dove le gelate notturne sono meno frequenti. Secondo i dati del suo Osservatorio a Udine la media delle minime di gennaio risultava di 0,3°C, mentre la stessa media per l'Aeroporto di Campoformido era di -0,3°C, e quella di Cividale -2,0. Tale differenza è in parte dovuta alla posizione delle tre località, che sono esposte alla bora in grado diverso, ed appunto in proporzione alle rispettive temperature minime. A 6 o 7 km a N di Udine la bora cessa, per l'effetto delle alte montagne del Resiano (Catena del Musi-Canin).

Nei periodi di bel tempo invernale, a Udine il riscaldamento dovuto ai raggi solari è molto efficace per la scarsità della nebbia. L'Aeroporto di Campoformido (a circa 5 km da Udine) in aperta campagna registra massime di gennaio assai più elevate di quelle di Udine; l'escursione termica diurna è più elevata, ed in gennaio giunge a 8 gradi circa, contro 5 o 6 per Udine. L'inverno è la stagione più asciutta. Già il Venerio nel periodo 1803-1842 rilevava che su 7 periodi di bel tempo eccezionalmente lunghi, 4 erano accaduti d'inverno, 1 d'estate, 1 tra estate e autunno, ed 1 d'autunno.

Le temperature e le precipitazioni di Udine-città nel periodo 1803-2003

Nell'ipotesi di trend lineare, si è trovato per Udine-città un aumento complessivo (1803-2003) per le tem-

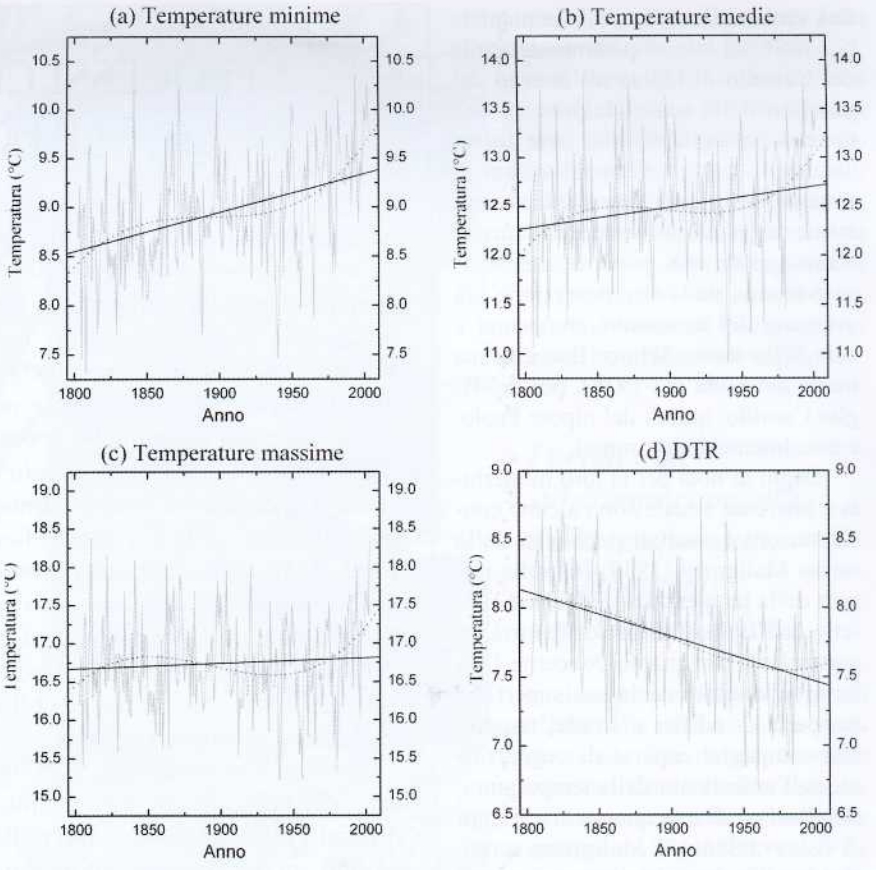

Figura 1 - Serie di Udine-città (1803-2003): trend lineare (linea continua) e cubico (linea tratteggiata) delle medie annuali delle temperature: a) minime giornaliere, b) medie giornaliere a 4 termini (med_4), c) delle massime, d) dei DTR.

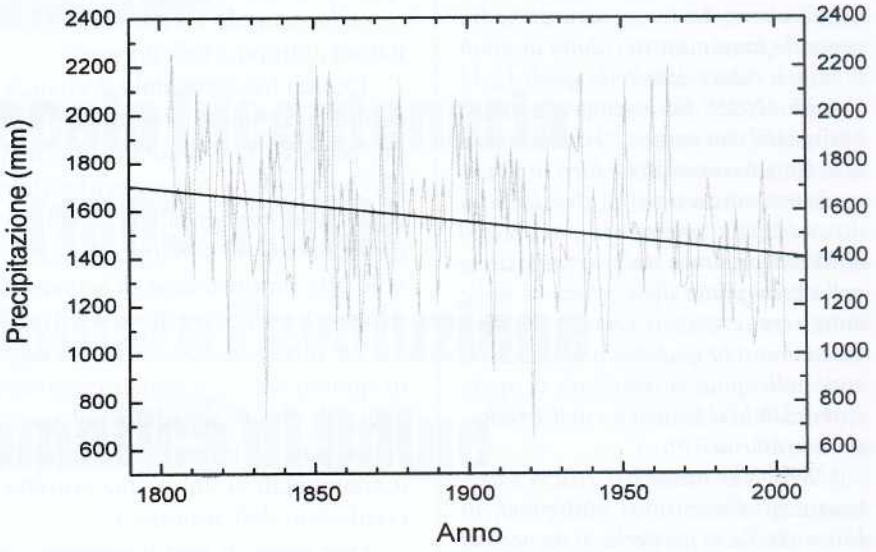

Figura 2 - Serie di Udine-città (1803-2003): Trend lineare delle precipitazioni annuali.

METODO DI DETERMINAZIONE (TIPO DI DISTRIBUZIONE)	PERCENTILI				
	10%	25%	50%	75%	90%
Weibull	-0.03	-0.06	-0.11	-0.17	-0.22
Frequenze	-0.05	-0.09	-0.13	-0.15	-0.25
Normale (trasformazione di Box-Cox)	-0.03	-0.07	-0.14	-0.17	-0.22

Tabella 1 - Pendenza del trend lineare (%) dei percentili 10%, 25%, 50%, 75% e 90% della distribuzione delle precipitazioni mensili a Udine-città sul periodo 1803-2003. **Sopra il titolo**, la torre meteorologica "Malignani" sul fianco del colle del Castello di Udine in una foto di Arturo Malignani (1910 circa) tratta da "L'evoluzione del clima a Udine" di P. Malignani, G. Comini, S. Del Giudice e E. Sommariva - Ed. Casamassima, Udine, 1989.

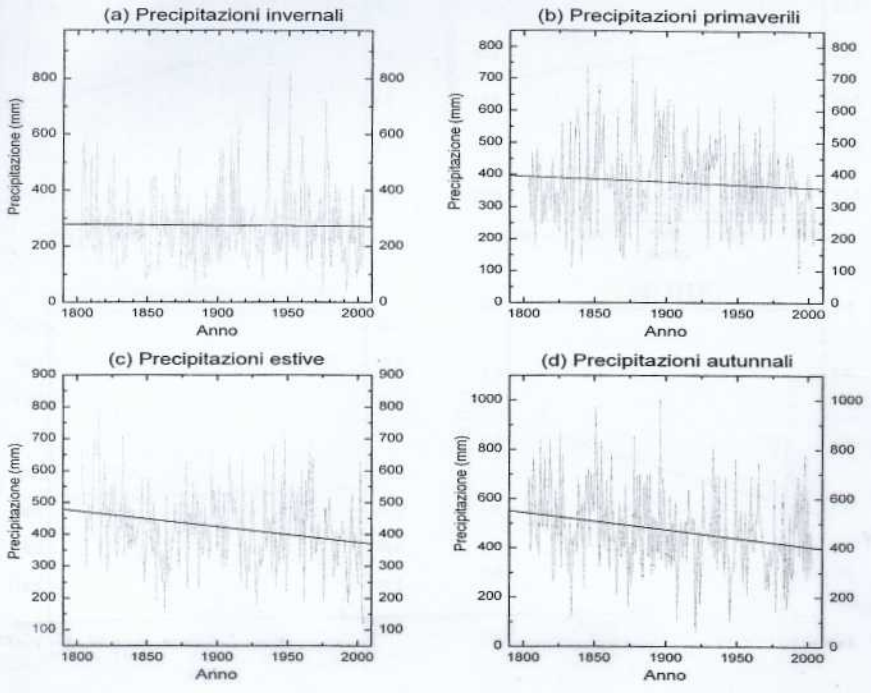

Figura 3 - Serie di Udine-città (1803-2003): trend lineare delle precipitazioni (a) invernali, (b) primaverili, (c) estive, (d) autunnali.

perature medie annuali delle minime giornaliere di 0,8°C (0,4°C/100 anni), contro un aumento trascurabile per le medie annuali delle massime. Per cui la diminuzione del valore medio annuale del DTR è risultata di 0,65°C, praticamente determinata dall'aumento delle minime. Tuttavia, nel periodo più recente (1951-2003), durante l'estate, l'aumento medio delle massime sarebbe di 1,85°C e quello delle minime di 1,65°C.

Per l'intero periodo 1803-2003 coperto dalla serie delle temperature di Udine-città, nelle figure 1a-d sono mostrati, rispettivamente, l'andamento temporale delle medie annuali delle temperature minime, medie a 4 termini (med_4: calcolata usando le temperature estreme e le temperature alle 9 e 21) e massime giornaliere, nonché le medie annuali dei corrispondenti DTR. La curva continua rappresenta il migliore trend lineare, quella tratteggiata il migliore trend cubico.

Per quanto concerne le precipitazioni, le medie annuali (fig. 2) starebbero diminuendo con un tasso medio (calcolato sul periodo 1803-2003 nell'ipotesi di trend lineare) dello 0,1% (che si può scomporre in un tasso di circa lo 0,06% per il periodo 1803-1906 e 0,13% per quello 1907-2003), le medie invernali e primaverili ancora più debolmente.

D'altra parte le precipitazioni medie estive ed autunnali (fig. 3) starebbero diminuendo in modo più accentuato (risposta del test non parametrico di Spearman contro stazionarietà), ad un tasso medio (sempre sul periodo 1803-2003) dello 0,11% e dello 0,15%, rispettivamente. Per quanto si riferisce all'andamento nei singoli mesi, si è trovato a scala bisecolare un calo significativo nei mesi di Maggio, Luglio, Settembre ed Ottobre. Degna di nota inoltre è la riduzione significativa di quelle di Febbraio durante il periodo 1968-2003.

Trend degli eventi estremi di precipitazione mensile a Udine-città nel periodo 1803-2003

Al fine di effettuare un primo approccio per quantificare il trend degli eventi estremi mensili di precipitazione, sono stati stimati i trend (lineari) a lungo termine (sul periodo 1803-2003) in ciascuno dei percentili 10%, 25%, 50% (mediana), 75% e 90%, per le precipitazioni mensili attraverso la determinazione della migliore retta che accomoda i sei valori corrispondenti ai sei periodi temporali (con una certa stazionarietà di comportamento) delimitati dai punti di discontinuità della serie temporale *in toto* (fig. 4).

La pendenza di detti trend (lineari) per il periodo 1803-2003 è mostrata nella tabella 1. Il percentile 90% (mesi con grandi intensità di precipitazione) tenderebbe ad evolversi con una pendenza nettamente negativa di -0,22%, mentre risulterebbe praticamente stazionario l'andamento del percentile 10% (mesi con deboli precipitazioni). I percentili 75%, 50% (mediana) e 25% tenderebbero ad evolversi con una pendenza sempre negativa ed apprezzabile, ma via via

	1910-1945				1945-1975				1975-2000			
	min	media	max	DTR	min	media	max	DTR	min	media	max	DTR
Inverno	-1,95	-1,68	-1,26	0,69	1,56	1,39	1,37	-0,20	0,07	0,36	0,81	0,74
Primavera	-1,10	-0,87	-0,35	0,75	-0,17	-0,33	-0,38	-0,21	0,71	1,08	1,28	0,57
Estate	0,47	0,55	0,84	0,37	-0,09	-0,30	-0,26	-0,17	1,07	1,21	1,27	0,20
Autunno	0,57	0,57	0,65	0,08	-0,01	-0,29	-0,29	-0,28	0,13	0,02	-0,04	-0,17
Annuale	**-0,46**	**-0,32**	**0,00**	**0,46**	**0,30**	**0,10**	**0,10**	**-0,20**	**0,56**	**0,72**	**0,88**	**0,32**

Tabella 2 - Incremento (espresso in °C) delle medie stagionali ed annuali delle temperature medie, estreme giornaliere e del DTR per il periodo 1910-1945, per il periodo 1945-1975 e per il periodo 1975-2000, calcolato sulla base del migliore trend lineare.

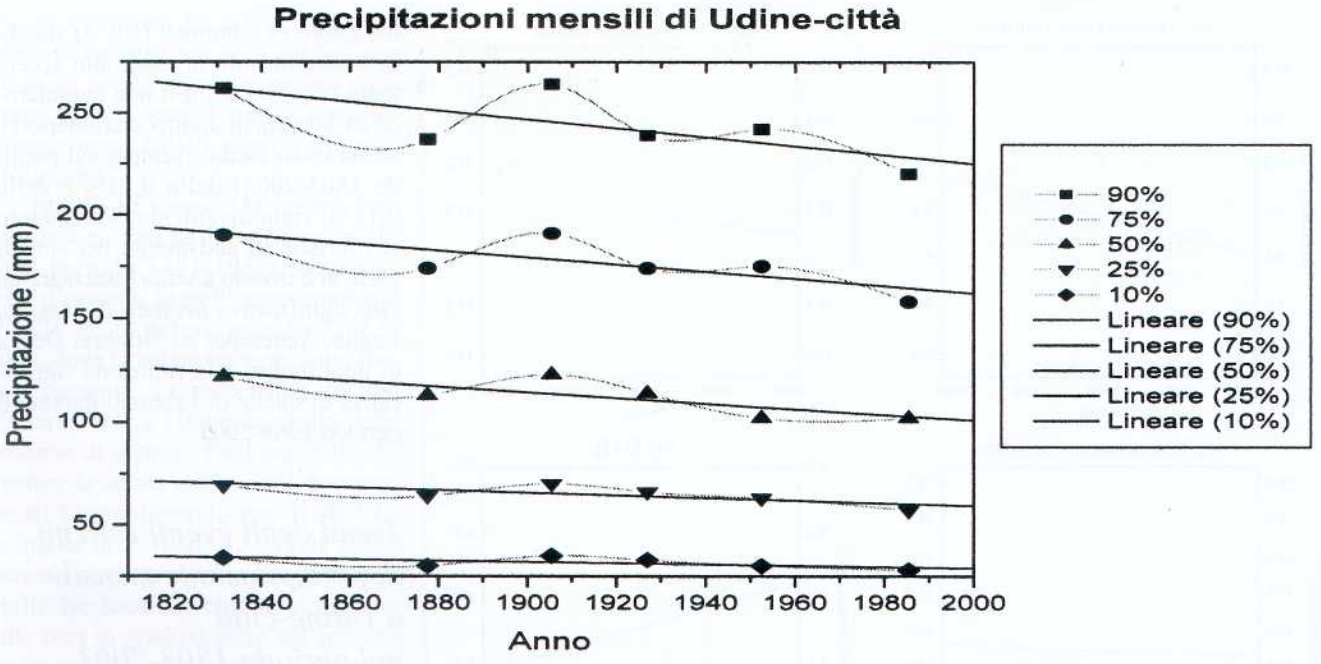

Figura 4 - Andamento dei percentili 10%, 25%, 50% (mediana), 75% e 90% delle precipitazioni mensili nel periodo 1803-2003 della città di Udine.

meno accentuata.

È già ben noto che la comprensione dei meccanismi che determinano le varie tipologie di estremi climatici sarebbe interessante e importante al fine di consentire una stima di come questi eventi possano evolversi nel futuro, a causa di condizioni climatiche che cambiano. Sembra un dato di fatto che la frequenza e/o l'intensità degli eventi estremi possa crescere in un clima più caldo, a causa dell'aumento dell'energia termica che è potenzialmente disponibile nell'atmosfera. Tuttavia, il tentativo di correlare eventi rari ed intensi ai cambiamenti climatici non è banale; relazioni causali tra eventi isolati e la variazione delle tendenze a lungo termine sono difficili da stabilire in modo statisticamente significativo, come è stato dimostrato in modo dettagliato ad esempio da Frei and Schaer (2001) [7] per le precipitazioni alpine estreme. Invero, per eventi di precipitazione di grande intensità (tempo di ritorno maggiore di 100 giorni), i dati calcolati relativi ai rispettivi trend risultano per lo più statisticamente non significativi, senza che ciò implichi necessariamente l'assenza di trend.

Conclusioni

Durante l'ultima era glaciale le temperature erano di 10 gradi più basse delle attuali e, attualmente, la Terra è molto più calda che in ogni altro periodo degli ultimi 1000 anni; tale riscaldamento sembrerebbe confinato soprattutto negli ultimi 100/150 anni. Ciò è dimostrato in modo particolare dall'andamento medio delle temperature osservate in prossimità della superficie della Terra nell'ultimo millennio, da cui emerge in particolare che le misure (con termometri) della temperatura media dell'aria effettuate da stazioni sulla Terra hanno valori che negli ultimi 150 anni sono aumentati di oltre mezzo grado, raggiungendo il massimo dell'intero millennio nel decennio 1990-1999. I maggiori incrementi si sono registrati nei periodi 1910-1945 e 1975-2000 (nel periodo 1945-1975 c'è stata addirittura una diminuzione).

Alcuni dati sull'incremento delle temperature medie stagionali ed annuali delle temperature medie, estreme giornaliere e del DTR a scala stagionale ed annuale a Udine nei suddetti periodi sono mostrati in tabella 2.

Pertanto, c'è un'ampia evidenza sperimentale che il riscaldamento globale che ha caratterizzato il XX secolo è anomalo nel quadro dell'ultimo millennio. Peraltro, notiamo che, accanto all'incremento della temperatura media e alla riduzione dell'escursione termica giornaliera, si sono osservati significativi cambiamenti anche per altre grandezze meteorologiche.

Di particolare importanza è il segnale relativo all'andamento delle precipitazioni. Per questo parametro, oltre ad un debole incremento alle medie ed alte latitudini dell'Emisfero Settentrionale, si osserva per molte zone una tendenza all'aumento degli eventi di precipitazione di forte intensità. D'altra parte, per talune zone, si nota contemporaneamente anche un aumento degli eventi siccitosi. Questo, in definitiva, appare un altro aspetto della tendenza all'estremizzazione delle precipitazioni. Questi segnali sono meno evidenti di quelli relativi alla temperatura ma, nel loro insieme, sembrano dimostrare come il riscaldamento globale abbia influenzato in modo significativo anche il ciclo dell'acqua e le correnti atmosferiche.

M.C. - E.C. - V.P.

Bibliografia

[1] Ceschia, M., Linussio, A., Micheletti, S., Trend Analysis of Mean Monthly Maximum ad Minimum Surface Temperatures of the 1951-1990 Period in Friuli-V.G. *Nuovo Cimento C*, 1994, 17, pp. 511-521.

[2] Ceschia, M., Pietrobon V., Analisi dell'evoluzione del clima regionale nel contesto globale basandosi sulla serie osservazionale bicentenaria di Udine, nel volume: "*La variabilità del clima locale relazionata ai fenomeni di cambiamento climatico globale*", *Collana di Geografia ed Organizzazione dello Sviluppo Territoriale - Sezione di Studi, Pàtron ed., Bologna, 2006.*

[3] Ceschia, M. and Gobbo, G., Analysis of Daily Extreme Temperatures observed in Udine-Castello in the period from 1894 to nowadays. *MAP Newsletter*, 1997, 7.

[4] Ceschia, M., La serie storica di Udine: analisi dell'evoluzione delle temperature e delle precipitazioni negli ultimi cento anni. *Atti del Convegno "Due secoli di osservazioni meteorologiche a Mantova"*, (Mantova, 22 Ottobre 1998), 1999, pp. 77-97.

[5] Karl, T. R., Jones, P. D., Knight, R. W., Kukla, G., Plummer, N., Razuvayev, V., Gallo, K. P., Lindseay, J., Charlson, R. J., Peterson, T. C., A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature: empirical evidence and possible causes. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 1993, 74, pp. 1007-1023.

[6] Malignani, A., Della temperatura atmosferica e dei modi per determinarla. Tip. Doretti, Udine, pp. 1-15, 1939.

[7] Frei, C., Schaer, C., Detection Probability of Trends in Rare Events: Theory and Applications to Heavy Precipitation in the Alpine Region. J. Clim., 2001, 14, 1568-1584.