

# Considerazioni sull'isola di calore urbana di Torino attraverso l'analisi dei dati climatici

DIEGO GARZENA

Dipartimento di Scienze della Terra,  
Università di Torino, via Valperga Caluso 35  
- 10125, Torino, Italia.

SIMONA FRATIANNI

Dipartimento di Scienze della Terra,  
Università di Torino, via Valperga Caluso 35  
- 10125, Torino, Italia.  
E-mail: simona.fratianni@unito.it

IORELLA ACQUAOTTA

Dipartimento di Scienze della Terra,  
Università di Torino, via Valperga Caluso 35  
- 10125, Torino, Italia.  
E-mail: fiorella.acquaotta@unito.it

## RIASSUNTO

**A**l fine di effettuare uno studio sugli effetti del riscaldamento climatico indotto dall'isola di calore urbana, è stato necessario raccogliere e digitalizzare la lunga serie di dati termopluviometrici della città di Torino durante il periodo 1870-2010. La ricerca storica è stata effettuata sia per il reperimento dei parametri climatici rilevati nel corso del tempo, sia per i metadati caratteristici delle stazioni di rilevamento. Tale approccio ha permesso di determinare l'evoluzione storica delle singole stazioni di misura individuandone i cambi di strumentazione e ubicazione subiti nel corso del tempo ed il mutamento delle condizioni ambientali nei pressi delle stazioni stesse. Sulla serie è stato eseguito il controllo di qualità ed i valori di temperatura sono stati sottoposti ad omogeneizzazione, al fine di annullare possibili errori di registrazione dei dati. L'analisi dell'andamento climatico è stato effettuato per l'intero periodo e su due sotto-periodi (1925-2010 e 1971-2000), individuando le tendenze e gli indici climatici principali. Infine, per comprendere se i cambiamenti climatici siano attribuibili a variazioni naturali o ad effetti di urbanizzazione che possono alterare il microclima della città, i dati termometrici della città di Torino sono stati confrontati con i dati di quattro stazioni meteorologiche rurali.

**Parole chiave:** cambiamenti climatici, isola di calore urbana, serie climatica, Torino.

## ABSTRACT: CONSIDERATIONS OF TURIN URBAN HEAT ISLAND THROUGH THE CLIMATE DATA ANALYSIS.

In order to conduct a study on the effects of global warming induced by the urban heat island, it was necessary to collect and digitalize the long series of thermo-pluviometric data from the city of Turin during the period 1870-2010. The historical research has been done both for the climate parameters retrieval and for the characteristic metadata of

the detection stations. This approach has allowed us to determine the historical evolution of the measuring stations, identifying the changes of instrumentation and location sustained over time and the changing of the environmental conditions near these devices. On the series was run quality control and temperature data were subjected to homogenization, in order to cancel possible errors of data recording. The analysis of climate change has been performed for the entire period and through the identification of two sub-periods (1925-2010 and 1971-2000), were also identified trends and climatic indices. Finally, to try to understand if climate change is due to natural variability or urbanization effects that can modify the microclimate of the city, thermometric data from four rural stations were compared with Turin urban origin data.

**Key words:** climate change, urban heat island, climate series, Turin.

## 1 INTRODUZIONE

L'effetto più conosciuto che le città esercitano sul clima è lo scarto positivo della temperatura rispetto alle aree non edificate circostanti, definito "Isola di Calore Urbana" (Voogt, 2004). L'isola di calore urbana, meglio nota nella letteratura scientifica per le numerose e diffuse ricerche di origine anglosassone, Urban Heat Island (UHI) è uno degli effetti climatici più studiati degli insediamenti urbani. Oke (1995) la definì: *"Un'isola di calore urbana è semplicemente il calore caratteristico di un paese o città. L'isola di calore urbana è presente nelle città di tutte le regioni climatiche, ciò è dovuto alle modifiche antropiche della superficie e delle caratteristiche atmosferiche. Tali modifiche sono la conseguenza dello sviluppo urbano e sono un esempio di modificazione del clima non intenzionale"*.

L'ambiente urbano ha caratteristiche meccaniche e termiche diverse da quelle delle aree rurali circostanti, ciò è dovuto alla presenza degli edifici e delle varie

infrastrutture che alterano la rugosità e le caratteristiche termiche del suolo. Queste modificazioni antropiche alterano il bilancio termico naturale portando ad un accumulo di energia maggiore durante il giorno. Durante la notte la restituzione dell'energia accumulata porta un aumento delle temperature dell'aria, con variazione di alcuni gradi rispetto alle aree rurali, dando luogo alla formazione dell'isola di calore urbana (Rateni et al., 2005).

La temperatura di un luogo è infatti influenzata dalle caratteristiche della superficie: lo sviluppo verticale degli edifici e i materiali da costruzione utilizzati che conferiscono alle città proprietà termiche assai differenti da quelle del suolo naturale e della vegetazione (Di Napoli e Mercalli, 2008).

Ogni insediamento è in grado di generare un UHI, indipendentemente dalle sue dimensioni, e inoltre, sono osservabili sia durante l'estate sia in inverno. In entrambi i casi, la differenza di temperatura ( $\Delta T_{u-r}$ ) tipica è di svariati gradi tra il centro della città e i campi circostanti. Osservazioni per una serie di studi sulle UHI (Mills, 2004) presentano caratteristiche comuni:  $\Delta T_{u-r}$  si rivela come una fonte di aria calda con valori più alti vicini al centro urbano. Ai margini urbani, i cambiamenti di temperatura sono rapidi, successivamente  $\Delta T_{u-r}$  aumenta più lentamente. Inoltre, nelle vicinanze di parchi, le temperature osservate risultano più basse.

Per poter effettuare uno studio su tali effetti è necessario poter disporre di una serie climatica sufficientemente lunga da poter mettere in evidenza i cambiamenti meteorologici occorsi nel tempo.

In tale contesto si inserisce la serie di dati meteorologici della città di Torino, in quanto presenta una delle più lunghe serie storiche d'Italia con osservazioni termopluviometriche iniziate nella seconda metà del 1700 e quasi ininterrotte per circa 250 anni. Lo scopo di questo studio è quello di compiere un'analisi climatica della serie storica di dati meteorologici al fine di valutare in che entità

le attività antropiche abbiano condizionato il microclima urbano.

## 2 SERIE STORICA

Per ottenere la serie storica torinese è stato necessario unire i dati provenienti da più stazioni di rilevamento susseguitesi temporalmente (Tabb. 1 e 2).

La misura sistematica dei parametri climatici inizia in Piemonte nel XIX secolo, quando nel 1865 nascono a Firenze, allora capitale d'Italia, gli Uffici meteorologici del Ministero dell'Agricoltura. Negli stessi anni inizia l'opera del Padre barnabita F. Denza, religioso e scienziato, che dedicò gran parte della sua vita all'organizzazione della rete meteorologica piemontese.

In passato però, la rete di rilevamento, pur trasmettendo i dati all'organismo centrale, non era gestita da un unico ente, ma da differenti strutture e soggetti privati. Per tale motivo il reperimento di dati meteorologici comporta oggi un problema di notevole complessità. Tutt'oggi, infatti, nonostante alcuni enti pubblici stiano costituendo delle biblioteche tematiche (cartacee e digitali), le osservazioni effettuate negli anni, con relative descrizioni e registrazioni, non sono ancora reperibili presso un'unica fonte. I dati pertanto, spesso, sono incompleti e in alcuni casi con lacune ampie decenni.

Il reperimento di dati meteorologici è stato effettuato risalendo alle fonti originali cartacee conservate presso archivi pubblici e biblioteche private. I dati per il presente studio sono stati pertanto digitalizzati dal materiale documentale, ed in particolare i valori giornalieri di temperatura massima, temperatura minima e precipitazioni, nel periodo 1870-2010.

La serie definitiva risulta essere abbastanza continua, infatti, le percentuali di dati mancanti risultano esigue: temperature massime 6,48 %, temperature minime 6,47 % e precipitazioni 0,47 %. Le lacune più consistenti sono quindi a carico delle serie di temperatura, concentrate in particolare durante il periodo della seconda guerra mondiale.

## 3 METODOLOGIA

Seguendo le indicazioni fornite dal WMO (2007), per la valutazione della consistenza delle serie, si è tenuto conto dei dati mensili e annuali, unicamente se per le medie mensili si aveva a disposizione almeno l'80% dei valori (Klein Tank et al., 2002), equivalente ad un errore di 6 giorni su 30. Per le medie annuali, volendo ridurre ulteriormente le possibilità di errore, si è scelto di applicare il limite del 93% di valori rilevati, equivalente ad un errore di 25 giorni non consecutivi su 365 giorni annui.

**Tabella 1 - Composizione della serie della temperatura di Torino 1870-2010 adottata in questo studio.**

| TEMPERATURA            |                          |                                     |                             |
|------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| PERIODO                | FONTE                    | COORDINATE GEOGRAFICHE              | LACUNE                      |
| 1/1/1870 - 31/12/1915  | TO Osservatorio P.M.     | 45° 4' 15.319" N - 7° 41' 8.812" E  | Giorni spot                 |
| 1/1/1916 - 31/12/1924  |                          |                                     | Lacuna                      |
| 1/1/1925 - 31/12/1937  | TO Istituto Fisica       | 45° 3' 9.041" N - 7° 40' 54.919" E  | Giorni spot                 |
| 1/1/1938 - 31/10/1942  | TO UIPO C.so Inghilterra | 45° 4' 30.58" N - 7° 40' 0.128" E   | Giorni spot                 |
| 1/11/1942 - 31/12/1944 | TO Superga               | 45° 4' 51.294" N - 7° 46' 0.424" E  | -                           |
| 1/1/1945 - 31/12/1960  | TO UIPO C.so Inghilterra | 45° 4' 30.58" N - 7° 40' 0.128" E   | Giorni spot                 |
| 1/1/1961 - 31/12/2002  | TO UIPO C.so Bolzano     | 45° 4' 21.756" N - 7° 40' 0.445" E  | Giorni spot<br>1961 Gen-Feb |
| 1/1/2003 - 31/12/2004  | TO ARPA Vallere          | 45° 1' 0.468" N - 7° 40' 24.888" E  | -                           |
| 1/1/2005 - 31/12/2009  | TO ARPA Giardini Reali   | 45° 4' 17.497" N - 7° 41' 31.873" E | Giorni spot                 |

**Tabella 2 - Composizione della serie della precipitazioni di Torino 1870-2010 adottata in questo studio.**

| TEMPERATURA           |                          |                                     |  |
|-----------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|
| PERIODO               | FONTE                    | COORDINATE GEOGRAFICHE              | LACUNE                                       |
| 1/1/1870 - 31/12/1915 | TO Osservatorio P.M.     | 45° 4' 15.319" N - 7° 41' 8.812" E  | Giorni spot                                  |
| 1/1/1916 - 30/04/1927 | TO Castello Medievale    | 45° 2' 55.523" N - 7° 41' 0.446" E. | 1926 Novembre                                |
| 1/5/1927 - 31/12/1937 | TO Istituto Fisica       | 45° 3' 9.041" N - 7° 40' 54.919" E  | -  |
| 1/1/1938 - 31/12/1960 | TO UIPO C.so Inghilterra | 45° 4' 30.58" N - 7° 40' 0.128" E   | Giorni spot<br>1944 Gen-Feb<br>1960 Dicembre |
| 1/1/1961 - 31/12/2004 | TO UIPO C.so Bolzano     | 45° 4' 21.756" N - 7° 40' 0.445" E  | Giorni spot<br>2004 Lug- Ago                 |
| 1/1/2005 - 31/12/2009 | TO ARPA Giardini Reali   | 45° 4' 17.497" N - 7° 41' 31.873" E | Giorni spot                                  |

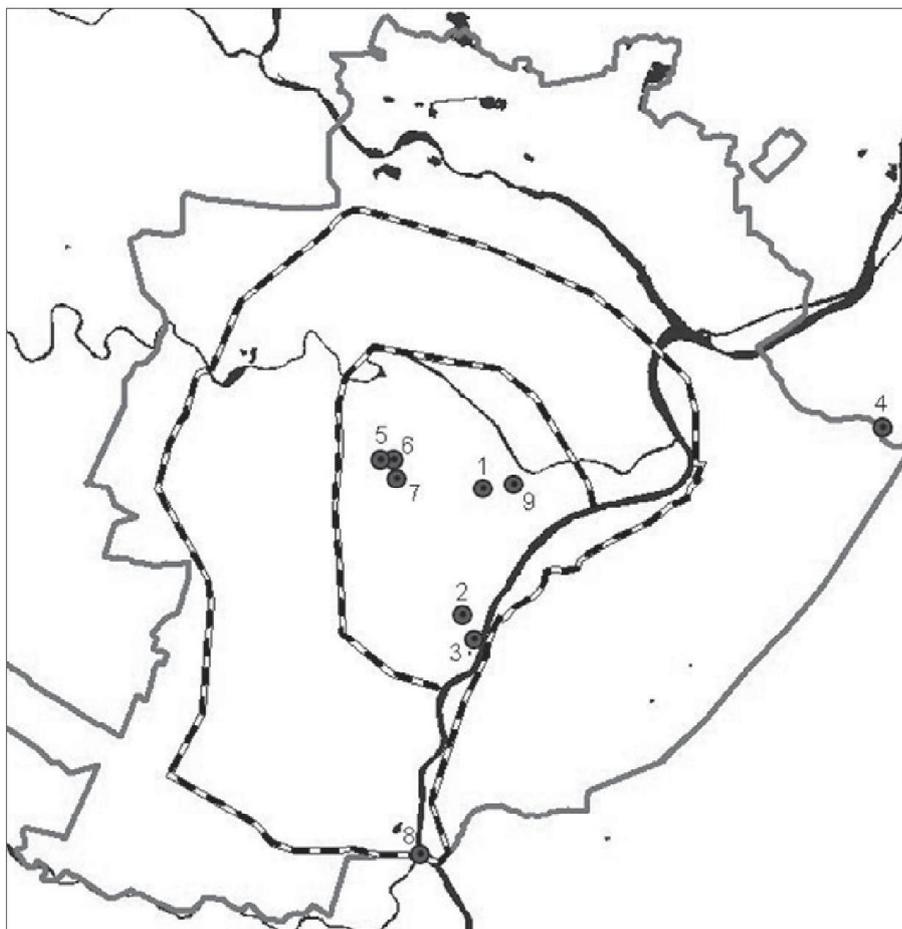


Figura 1 – Osservatori della città di Torino: 1) Palazzo Madama, 2) Istituto di Fisica, 3) Castello Medievale, 4) Basilica di Superga, 5) UIPO Via Gropello, 6) UIPO c.so Inghilterra, 7) UIPO c.so Bolzano, 8) ARPA Vallere, 9) ARPA Giardini Reali; Linea tratteggiata interna: Cinta Daziaria del 1853; Linea tratteggiata esterna: Cinta Daziaria del 1912; Linea grigia: limiti comunali; Linee Nere: fiumi.

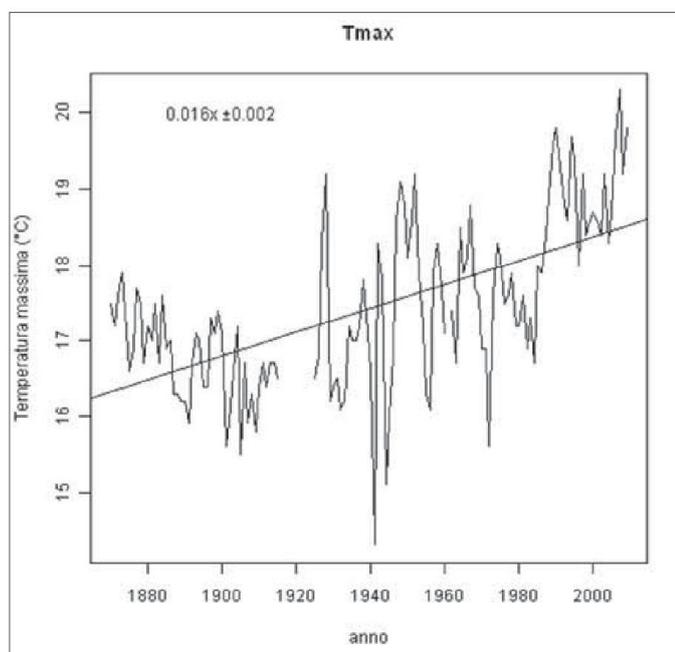


Figura 2 – Andamento dei valori medi annuali di temperatura massima in tutto il periodo di osservazione (aumento dei valori pari a  $0.016 \pm 0.002$  °C/anno).

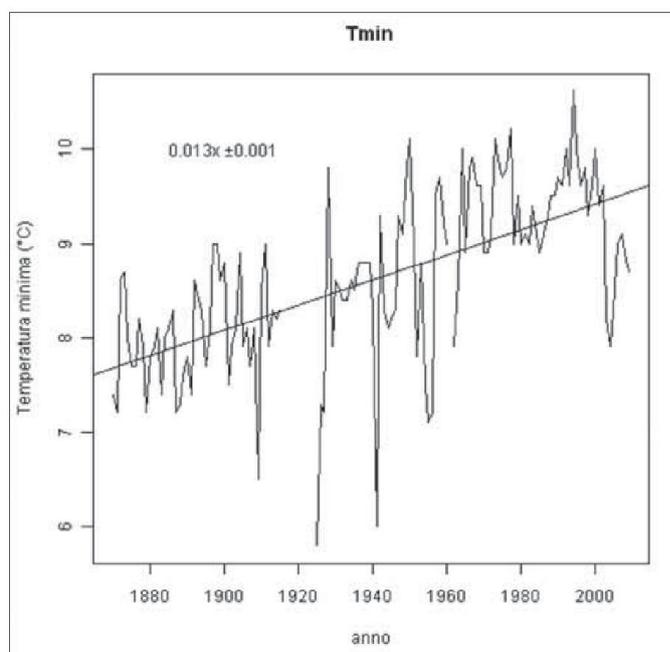


Figura 3 – Andamento dei valori medi annuali di temperatura minima in tutto il periodo di osservazione (aumento dei valori pari a  $0.013 \pm 0.001$  °C/anno).

**Tabella 3 - Valori delle temperature massima, minima e media (in °C), durante il periodo I (1870-2010), il periodo II (1925-2010) ed il periodo III (1971-2000).**

|      | T massima |      |      | T minima |      |      | T media |      |      |
|------|-----------|------|------|----------|------|------|---------|------|------|
|      | I         | II   | III  | I        | II   | III  | I       | II   | III  |
| Gen  | 5,1       | 5,7  | 6,9  | -2,2     | -1,4 | 0,3  | 1,5     | 2,2  | 3,6  |
| Feb  | 7,6       | 8,2  | 9,1  | -0,6     | 0,2  | 2,0  | 3,5     | 4,2  | 5,6  |
| Mar  | 12,3      | 13,1 | 14,3 | 4,7      | 4,9  | 5,6  | 8,5     | 9,0  | 9,9  |
| Apr  | 16,2      | 17,2 | 17,7 | 8,5      | 8,6  | 8,7  | 12      | 12,9 | 13,2 |
| Mag  | 20,5      | 21,6 | 21,9 | 12,4     | 12,7 | 12,8 | 16      | 17,2 | 17,3 |
| Giu  | 27,1      | 27   | 26,2 | 16,6     | 16,6 | 16,3 | 22      | 21,8 | 21,3 |
| Lug  | 29,7      | 29,7 | 29,3 | 18,9     | 19,1 | 19,2 | 24      | 24,4 | 24,3 |
| Ago  | 28,8      | 28,8 | 28,6 | 18,4     | 18,5 | 18,7 | 24      | 23,6 | 23,6 |
| Set  | 21,2      | 22,6 | 23,4 | 14       | 14,6 | 15   | 18      | 18,6 | 19,2 |
| Ott  | 14,8      | 16,3 | 17,3 | 8,9      | 9,4  | 9,9  | 12      | 12,8 | 13,6 |
| Nov  | 8,4       | 9,7  | 10,9 | 3,3      | 3,9  | 4,6  | 5,9     | 6,8  | 7,7  |
| Dic  | 6         | 6,6  | 7,6  | -1,0     | -0,3 | 1,3  | 2,5     | 3,1  | 4,4  |
| Anno | 16,5      | 17,2 | 17,8 | 8,5      | 8,9  | 9,5  | 12,5    | 13,1 | 13,7 |

**Tabella 4 - Sono riportati i valori delle precipitazioni cumulate (mm), il numero medio di giorni piovosi e le densità delle precipitazioni (mm), durante il periodo I (1870-2010), il periodo II (1925-2010) ed il periodo III (1971-2000).**

|      | Precipitazioni |       |       | Giorni Piovosi |      |      | Densità |      |      |
|------|----------------|-------|-------|----------------|------|------|---------|------|------|
|      | I              | II    | III   | I              | II   | III  | I       | II   | III  |
| Gen  | 40,3           | 36,8  | 44,9  | 5,6            | 5,4  | 5,5  | 7,2     | 6,8  | 8,1  |
| Feb  | 38,0           | 36,9  | 43,2  | 5,1            | 4,9  | 5,0  | 7,5     | 7,5  | 8,6  |
| Mar  | 59,4           | 55,5  | 57,8  | 6,7            | 6,6  | 6,0  | 8,8     | 8,3  | 9,6  |
| Apr  | 99,2           | 92,1  | 97,0  | 9,8            | 9,2  | 9,4  | 10,2    | 10,0 | 10,4 |
| Mag  | 116,9          | 116,2 | 129,1 | 11,8           | 11,9 | 12,7 | 9,9     | 9,8  | 10,2 |
| Giu  | 92,6           | 88,9  | 101,8 | 10,2           | 10,0 | 10,5 | 9,1     | 8,9  | 9,7  |
| Lug  | 59,7           | 58,0  | 59,0  | 7,2            | 6,9  | 7,0  | 8,2     | 8,4  | 8,4  |
| Ago  | 71,5           | 73,7  | 86,9  | 7,6            | 8,0  | 8,7  | 9,4     | 9,2  | 9,9  |
| Set  | 69,3           | 69,2  | 72,3  | 7,3            | 7,2  | 6,7  | 9,5     | 9,7  | 10,7 |
| Ott  | 84,6           | 75,9  | 89,9  | 8,5            | 8,0  | 8,3  | 10,0    | 9,5  | 10,9 |
| Nov  | 68,1           | 71,5  | 55,2  | 7,8            | 7,4  | 6,3  | 8,8     | 9,7  | 8,8  |
| Dic  | 46,0           | 45,8  | 36,1  | 6,4            | 6,2  | 4,9  | 7,2     | 7,4  | 7,4  |
| Anno | 70,5           | 68,4  | 72,8  | 7,8            | 7,6  | 7,6  | 8,8     | 8,8  | 9,4  |

Il periodo di riferimento utilizzato per l'omogeneizzazione della serie, riguarda i dati provenienti dalla stazione Giardini Reali (2005-2010), gestita da ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) Piemonte (Figura 1). La scelta è ricaduta su questa stazione, in quanto, essendo stata installata secondo i parametri WMO (1983), permette una più corretta analisi climatica e la possibilità di un confronto con le serie storiche di altre località.

I dati raccolti e digitalizzati sono stati sottoposti ad un controllo di qualità al fine di verificare le eventuali disomogeneità presenti nella serie, con l'eliminazione, ad esempio, di errori umani dovuti alla digitalizzazione o all'originale registrazione dei dati. La verifica è stata svolta utilizzando il software RCLIMDEX (Zhang e Yang, 2004) che permette d'individuare gli errori di trascrizione del dato ed eventuali valori anomali (outliers). I dati errati includono precipitazioni giornaliere minori di zero e valori di temperatura massima inferiori a quelli di temperatura minima. Gli outliers rappresentano i valori della variabile che fuoriescono da un determinato intervallo. Il range adottato è pari alla media più o meno tre volte la deviazione standard. È stato scelto questo intervallo per isolare i valori errati che ricadono nelle code della distribuzione (Aguiar et al., 2005).

Al fine di giungere alla fase di analisi è stato necessario sottoporre i dati di temperatura ad un processo di omogeneizzazione, tramite il metodo SPLIDHOM (Mestre et al., 2011; Venema et al., 2012). Tale attività è stata effettuata con lo scopo di annullare i possibili errori di registrazione dei dati dovuti, ad esempio, a diversi strumenti di misura, a sostituzioni delle stazioni meteorologiche

o delle loro apparecchiature, o ancora per le diverse ubicazioni assunte dalle stazioni di misura nel corso del tempo. Lo SPLIDHOM è un metodo innovativo basato sulla spline cubica che permette non solo di correggere i valori medi della serie ma anche i più alti ordini dei quantili e dei momenti della serie perturbata. Al fine di ottenere una correzione realistica della serie candidata, serie da omogeneizzare, è necessario calcolare la funzione di trasferimento grazie all'utilizzo di serie di riferimento, serie registrate da stazioni limitrofe che si ben correlano con la serie candidata.

L'analisi climatica, volta ad individuare le principali caratteristiche e peculiarità del clima di Torino, è stata condotta sulle serie di temperatura e precipitazioni. I due parametri prima affrontati ed analizzati singolarmente sono stati successivamente messi in relazione al fine di svolgere una "sintesi climatica" ed infine ne sono stati identificati i trend (Sneyer, 1990). L'analisi svolta è stata effettuata sia prendendo in considerazione tutto il periodo storico a disposizione (1870-2010), sia individuando due sottoperiodi dello stesso (1870-1916 e 1925-2010). Il terzo periodo individuato (1971-2000), corrispondente al trentennio di riferimento stabilito dal WMO (1983), permette di avere una prima immagine del cambiamento climatico, che ha interessato soprattutto gli ultimi anni, rispetto al resto della serie storica.

#### 4 RISULTATI

I risultati ottenuti dall'analisi mostrano una generale variazione delle temperature a partire dalla metà del '900. A partire da tale periodo, infatti, per i dati di temperatura, si può osservare un marcato aumento dei valori misurati (Figg. 2 e 3). In particolare l'evoluzione dei valori di temperatura media mostra il passaggio da 12,5°C nel periodo 1870-2010, all'aumento a 13,1°C nel periodo 1925-2010 ed infine nel periodo 1971-2000 la temperatura media raggiunge i 13,7°C (Tab. 3).

I risultati ottenuti dall'analisi delle precipitazioni non mostrano invece particolari variazioni nei valori medi di precipitazioni totali e nel numero di giorni piovosi. Si può notare

unicamente un leggero aumento nelle densità riferite al periodo 1971-2000 (Tab. 4).

Valutando il numero di giorni di gelo ( $T_{min} \leq 0^\circ C$ ) e il numero di giorni senza disgelo ( $T_{max} \geq 0^\circ C$ ) si può notare come, per tutti i periodi considerati, i mesi interessati da questo fenomeno siano i medesimi, mentre la variazione sia riscontrabile nel numero dei giorni interessati dall'evento. Si può notare in particolare che i giorni di gelo del mese di gennaio passano da un valore medio di 24 giorni per il periodo 1870-2010 a soli 14 giorni per il periodo 1971-2000. Inoltre, lo stesso margine di diminuzione si registra anche nei mesi di febbraio e dicembre (Tab. 5).

Per le analisi e le restituzioni grafiche sono stati utilizzati i software AnClim (Stepanek, 2007) e RCLIMDEX (Zhang e Yang, 2004), con l'applicazione del test di Mann-Kendall con un livello di significatività del 95% (Tab. 6).

Inoltre di particolare interesse risultano essere gli indici climatici statistici che i dati a disposizione hanno permesso di elaborare, nei quali è possibile osservare, tra gli altri, la riduzione dei giorni invernali (percentuale annua di giorni con temperatura massima inferiore al 10° percentile della statistica delle massime giornaliere sul trentennio climatologico di riferimento) (Fig. 4) e l'aumento delle notti tropicali, ovvero il numero di giorni con temperatura minima superiore a 20°C (Fig. 5).

Il grafico dell'escursione termica (Fig. 6) mostra la media annuale della differenza media mensile tra temperature massime e minime giornaliere. Nel periodo 1870-2010 si registra un trend in crescita a partire dal primo decennio del 1900 con un aumento repentino intorno alla metà del secolo stesso. Il grafico di Figura 7, riportante l'andamento del numero di giorni estivi, mostra come la percentuale annua con temperatura massima superiore al 90° percentile della statistica delle massime giornaliere sul trentennio climatologico di riferimento, sia aumentata nel corso del tempo.

Si è poi cercato di comprendere se le variazioni climatiche occorse siano da ricondursi a naturali variazioni del clima, legate pertanto ai cambiamenti climatici in atto a livello globale o ad effetti caratteristici dell'urbaniz-

zazione, in grado di alterare il microclima cittadino. Per tal motivo sono state identificate delle stazioni rurali per permetterne il confronto dei dati meteorologici registrati con i dati di origine urbana. L'isola di calore infatti, è stimabile per differenza tra le temperature del sito urbano con quello rurale delle diverse stazioni selezionate ( $\Delta T_{u-r}$ ).

L'andamento delle temperature medie annuali (Fig. 8) evidenzia un importante aspetto dell'evoluzione climatica nel periodo considerato (1992-2010). La temperatura media della città di Torino presenta un trend costante o in leggera diminuzione, mentre i valori delle stazioni rurali mostrano un trend nettamente positivo. Tale aumento delle temperature presso le stazioni rurali può essere riconducibile a più fattori, tra cui l'aumento dell'urbanizzazione delle aree rurali o l'aumento dell'area d'effetto dell'UHI urbana di Torino. È noto infatti che anche un agglomerato urbano di dimensioni minime sviluppa la propria isola di calore (Heino, 1999; Soux et al., 2004), ed anche che l'effetto dell'isola di calore di una grande città può influenzare le temperature presso le stazioni rurali (Sovrano Pangallo, 1998).

L'istogramma con l'andamento dei giorni di gelo (Figura 9) mostra come la stazione Torino sia quella che registra il minor numero di giorni freddi. L'ultimo grafico in merito ai dati di temperatura, riguarda il numero di giorni tropicali (Figura 10), ovvero i giorni con temperatura massima superiore o uguale ai 30°C. Dal grafico si evince che tali giorni

**Tabella 5 - Numero medio mensile di giorni di gelo e giorni senza disgelo, durante il periodo I (1870-2010), il periodo II (1925-2010) ed il periodo III (1971-2000).**

|           | gg. di gelo |    |     | gg. senza disgelo |    |     |
|-----------|-------------|----|-----|-------------------|----|-----|
|           | I           | II | III | I                 | II | III |
| Gen       | 24          | 21 | 14  | 2                 | 2  | 1   |
| Feb       | 17          | 14 | 7   | 1                 | 1  | 0   |
| Mar       | 2           | 3  | 2   | 0                 | 0  | 0   |
| Apr - Ott | 0           | 0  | 0   | 0                 | 0  | 0   |
| Nov       | 7           | 5  | 3   | 0                 | 0  | 0   |
| Dic       | 20          | 17 | 10  | 1                 | 1  | 0   |
| Anno      | 70          | 60 | 36  | 4                 | 4  | 1   |

**Tabella 6 - Trend stagionali di Tmax, Tmin, precipitazioni e giorni piovosi; b coefficiente della regressione lineare (per T: °C/anno; mm/anno; giorni/anno; per Giorni piovosi: numero giorni/anno), ±σ errore associato al coefficiente di regressione lineare (per T: °C/anno; mm/anno; giorni/anno; per Precipitazioni: mm/anno; per Giorni piovosi: numero giorni/anno) e u valore del test di Mann-Kendall. Con \* si indicano i trend statisticamente significativi.**

|           | Tmax  |       |       | Tmin  |       |       | Piogge |      | Giorni piovosi |        |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------|----------------|--------|-------|-------|
|           | b     | ±σ    | u     | b     | ±σ    | u     | b      | ±σ   | b              | ±σ     | u     |       |
| Anno      | 0.016 | 0.002 | 0.40* | 0.013 | 0.001 | 0.47* | -0.4   | 0.5  | -0.06          | -0.04  | 0.03  | -0.09 |
| Inverno   | 0.028 | 0.003 | 0.40* | 0.025 | 0.003 | 0.42* | -0.1   | 0.2  | -0.05          | -0.012 | 0.013 | -0.07 |
| Primavera | 0.013 | 0.003 | 0.25* | 0.006 | 0.002 | 0.20* | -0.3   | 0.2  | -0.06          | -0.016 | 0.015 | -0.06 |
| Estate    | 0.003 | 0.003 | 0.07  | 0.008 | 0.002 | 0.22* | 0.02   | 0.19 | 0.03           | 0.001  | 0.013 | 0.01  |
| Autunno   | 0.019 | 0.002 | 0.40* | 0.014 | 0.002 | 0.36* | -0.02  | 0.25 | 0.007          | -0.008 | 0.014 | -0.03 |

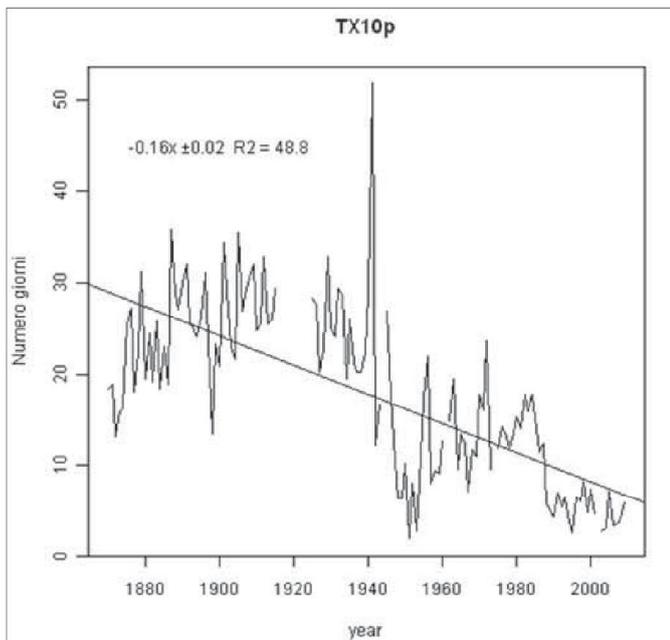


Figura 4 – Giorni invernali.

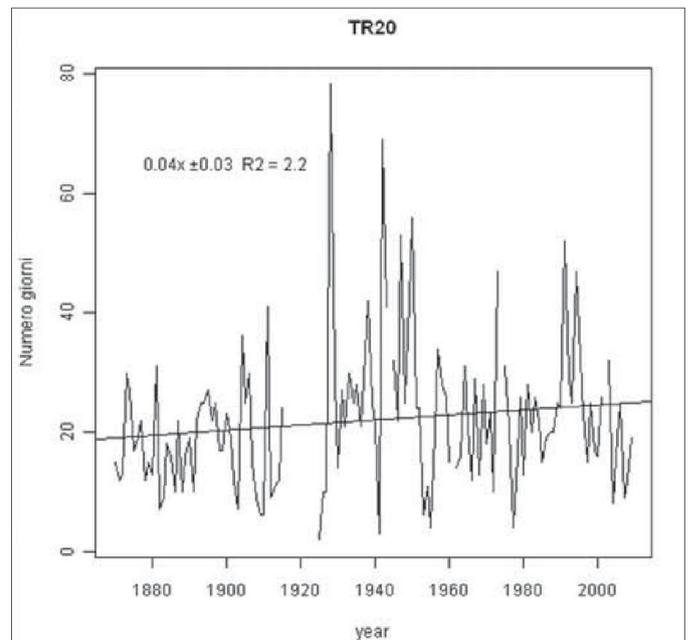


Figura 5 – Numero di notti tropicali.

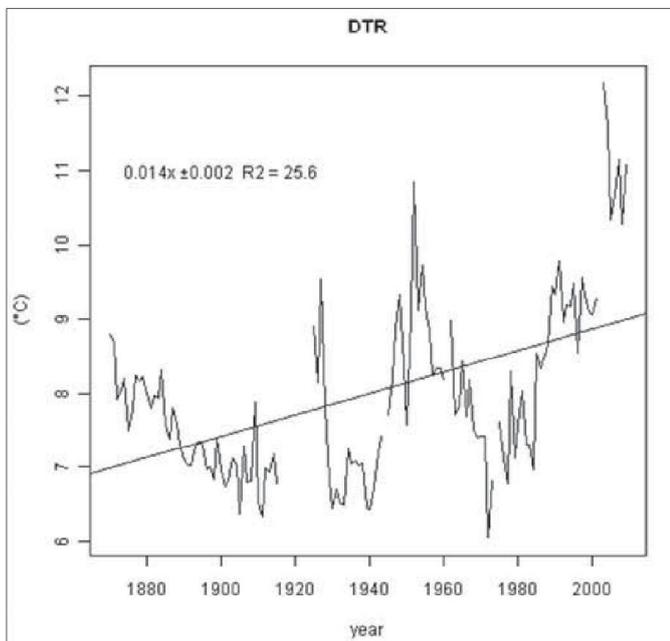


Figura 6 – Escursione termica diurna

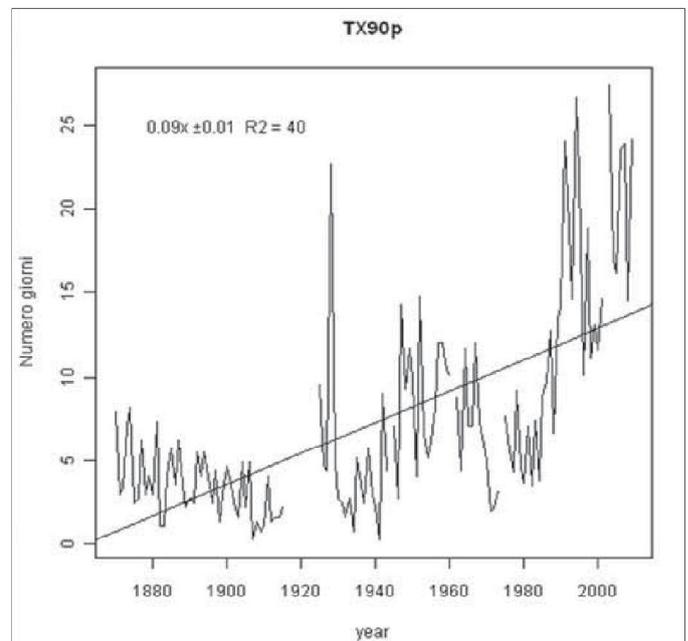


Figura 7 – Giorni estivi.

sono registrati in prevalenza presso la città, ma nell'ultimo quinquennio anche nelle altre stazioni è possibile notare un incremento rispetto agli anni precedenti. In merito alle notti tropicali, ovvero i giorni con temperatura minima superiore o uguale a 20°C, non viene presentato un grafico in quanto, per il periodo considerato, tale evento si registra unicamente all'interno della città di Torino.

La scelta delle stazioni di confronto è stata effettuata basandosi sulla disponibilità dei dati e sulla loro ubicazione. Infatti, le quattro stazioni meteorologiche individuate, Caselle (Nord), Marentino (Est -E), Moncalieri (Sud -S) e Avigliana (Ovest -O), sono situate lungo le direttrici 4 punti cardinali rispetto alla città di Torino.

Al fine di ottenere una serie di dati che ricoprisse un arco temporale maggiore, per

la zona Nord della città sono state individuate due stazioni temporalmente consecutive ubicate nel comune di Caselle (TO):

- Caselle Aeroporto (Nae), gestita dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, ubicata all'interno dell'area aeroportuale ("Sandro Pertini" di Torino-Caselle), operativa dall'agosto del 1953 al 2004, i dati a disposizione per l'analisi coprono gli anni 1954-2004 per le temperature e 1969-2001 per le precipitazioni;
- Caselle Città (Nc), gestita dall'ARPA Piemonte. Operativa dal novembre del 2003, i dati a disposizione per l'analisi coprono gli anni 2004-2010.

Benché in alcuni studi si ritenga che anche un aeroporto isolato è in grado di alterare la temperatura registrata per effetto dell'isola di calore (Heino, 1999; Soux et al., 2004), si

ritiene che il confronto con la stazione di Caselle sia di estrema utilità, in particolar modo per la lunga serie di dati disponibile. Inoltre a differenza di altre stazioni rurali piemontesi, dalla costruzione dell'aeroporto le condizioni ambientali nei dintorni della stazione hanno subito ridotte variazioni permettendo quindi un più facile confronto con i valori registrati a Torino.

L'analisi del  $\Delta T_{u-r}$  per le temperature medie (Figura 11) conferma quanto evidente nei precedenti grafici, inoltre ci permette di osservare la riduzione del  $\Delta T_{u-r}$  passando da valori di  $\Delta T_{u-r}$  di 2,5-3,5 °C nel 1992 ad una generalizzata stabilizzazione compresa tra gli 1 e 2 °C del 2010.

L'effetto di alterazione del regime pluviometrico dell'UHI, si manifesta principalmente nelle città o nelle regioni circostanti la cit-

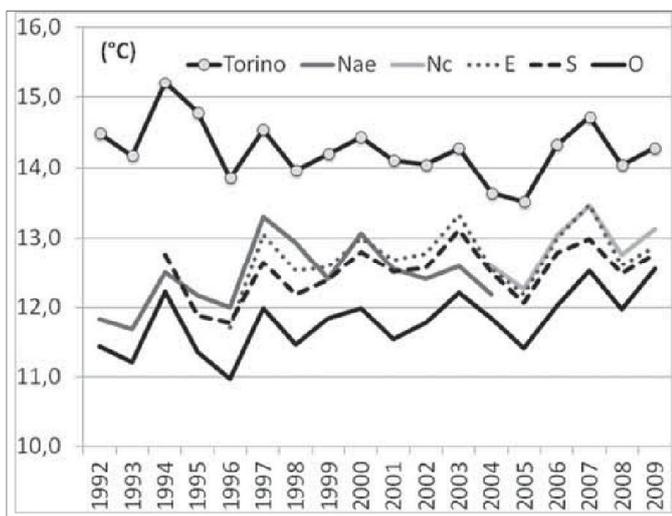


Figura 8 – Media annuale delle temperature medie.

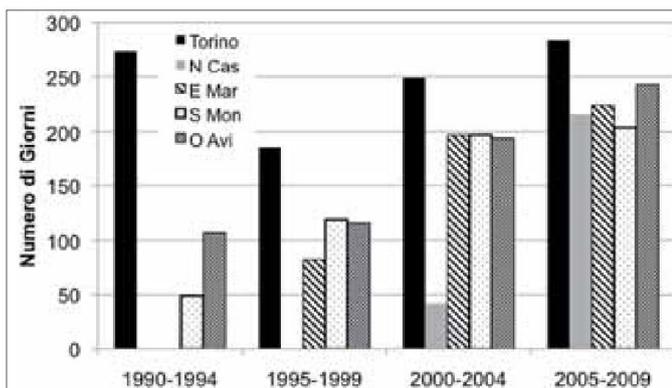


Figura 10 – Numero di giorni tropicali.

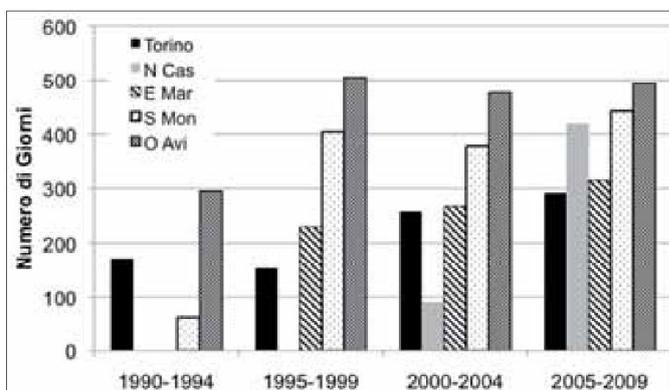


Figura 9 – Numero dei giorni di gelo.

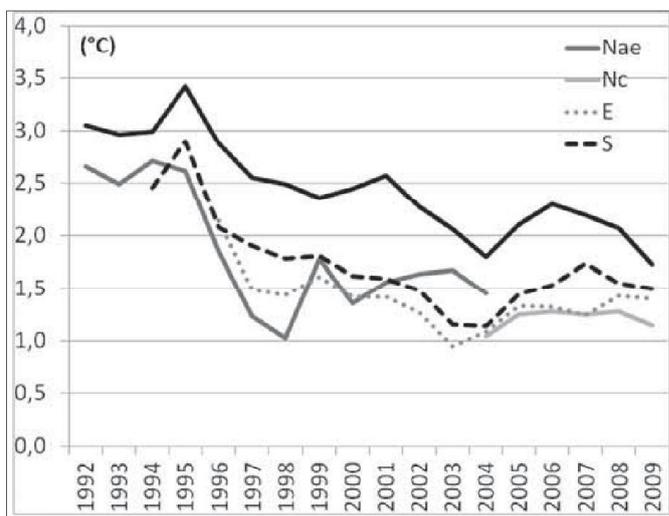


Figura 11 –  $\Delta T_{u-r}$  per la temperatura media.

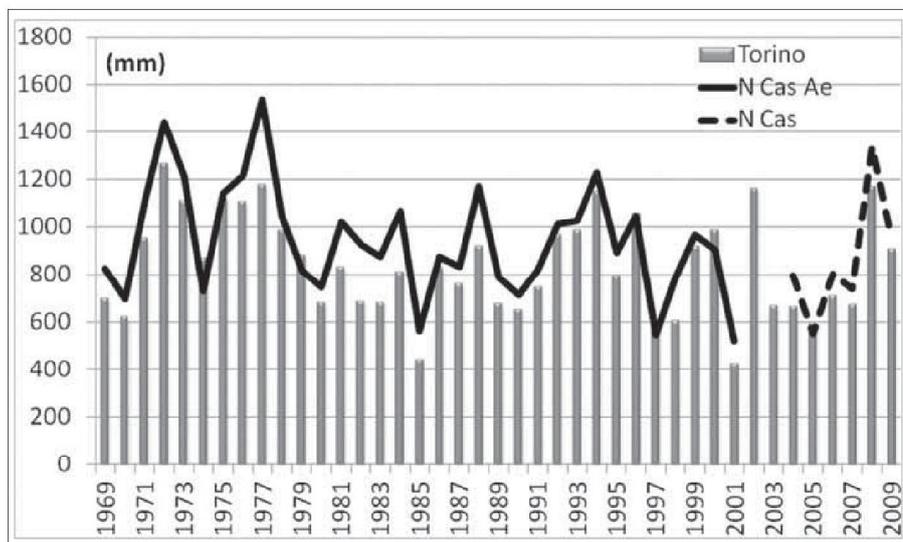


Figura 12 – Cumulate annue, dettaglio delle serie di Torino e Caselle (Aeroporto e Arpa Piemonte).

tà nelle zone ubicate sottovento. L'aumento delle temperature durante il giorno, infatti, può favorire la formazione di smog urbano in grado di agire da nucleo di condensazione nell'atmosfera cittadina. Maggior condensazione significa maggior nuvolosità e di conseguenza maggiori precipitazioni, l'incremento stimato dei due parametri è rispettivamente del 5-10% annuo per la nuvolosità e del 10-15% annuo per le precipitazioni (Oke, 1995).

Confrontando i dati di precipitazione cumulata relativi alla serie cittadina e quelli

della stazione rurale di Caselle, si può osservare (Figura 12) come le quantità di precipitazioni annuali siano maggiori nelle stazioni a Nord della città rispetto all'area urbana. Si nota anche come l'andamento delle precipitazioni, ad eccezione di anni sporadici, sia perfettamente in linea con quello della città di Torino.

Altri autori (Landsberg, 1981, Oke, 1987) hanno proposto modelli empirici per ricavare l'isola di calore massima, ovvero la massima differenza di temperatura fra

area urbana e area rurale in funzione del numero di abitanti. Tali studi sia a causa del breve periodo di confronto dei dati urbani e rurali, sia perché effettuati e modellizzati sulle grandi metropoli statunitensi, applicati all'ambito torinese hanno dato risultati poco significativi.

L'analisi demografica della città di Torino mostra però un'interessante evoluzione, infatti a metà dell'Ottocento, periodo in cui la città era capitale d'Italia, segnava tra gli anni 1858 e 1862 un aumento della popolazione da 179.635 a 204.715 abitanti. Nel primo ventennio dopo l'unificazione nazionale, l'incremento demografico della città era stato abbastanza contenuto. Più tardi, l'innescò del processo di industrializzazione e la riconversione produttiva nella direzione metalmeccanica tra Ottocento e Novecento portarono ad incrementare più velocemente il numero di abitanti. Dagli inizi del '900 alla metà dello stesso secolo il numero degli abitanti di Torino fu in costante crescita. A partire dal secondo dopoguerra, in particolare nel decennio 1951-1961, la popolazione della città ha conosciuto un'improvvisa espansione. Successivamente al 1974, anno in cui la città raggiunse il suo apice con più di 1.200.000 abitanti, la popolazione del Comune di Torino è diminuita, secondo una tendenza simile a quella di tutte le principali metropoli italiane. Ciò dipende

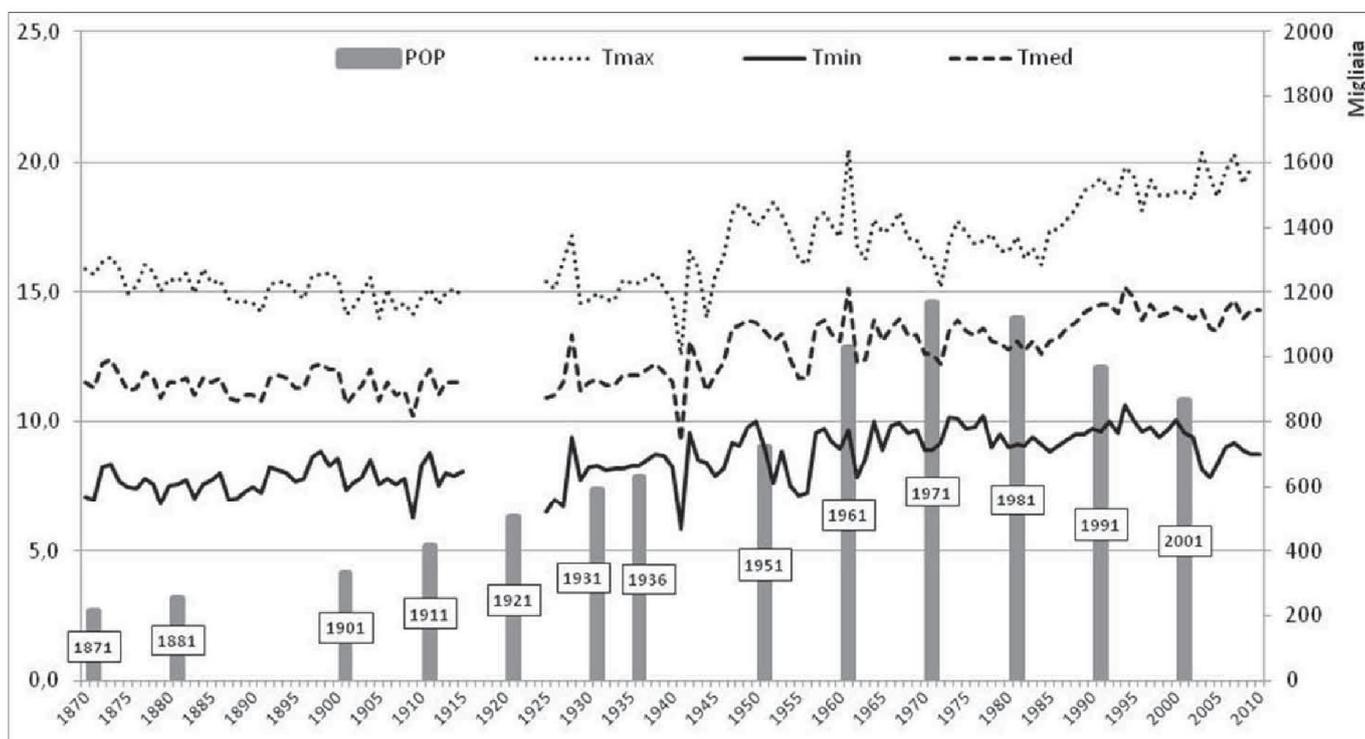


Figura 13 – Dettaglio del confronto tra i valori di temperatura e il numero di abitanti (POP).

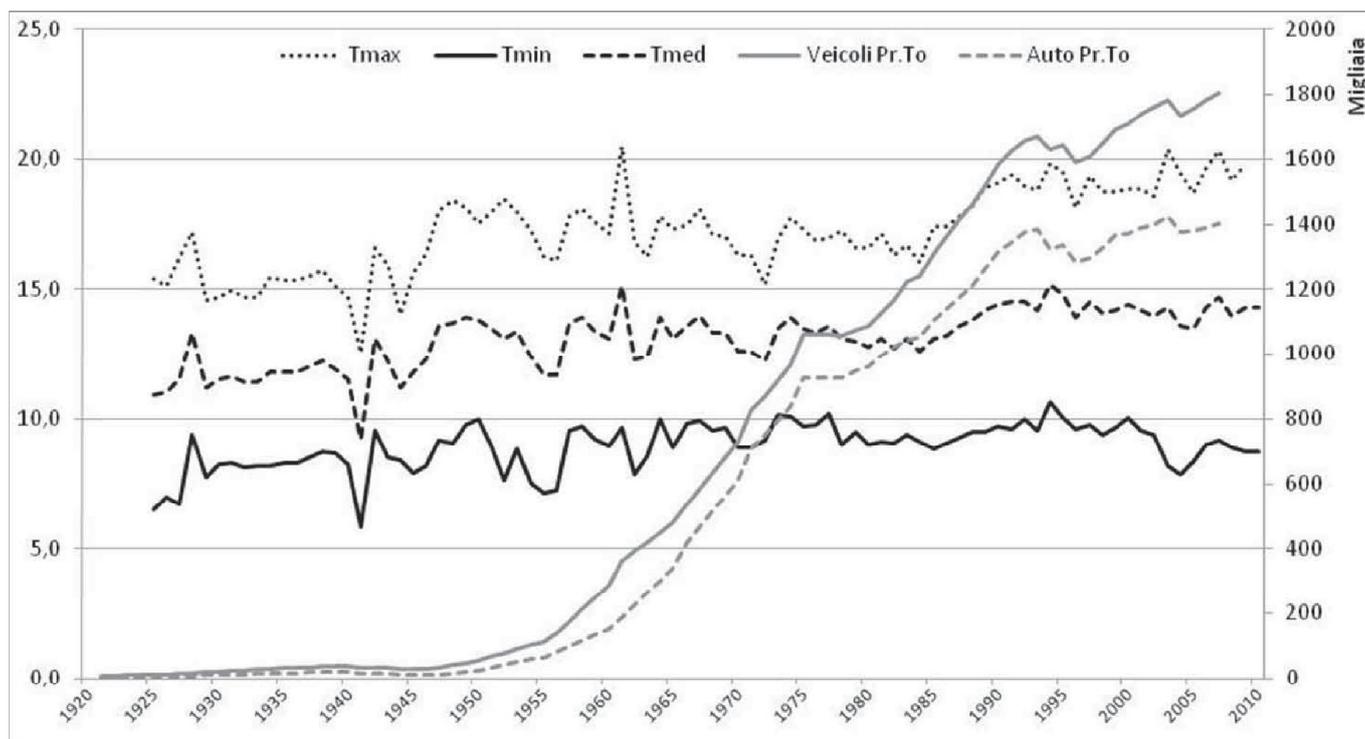


Figura 14 – Dettaglio del confronto tra i valori di temperatura e il numero di automobili e veicoli circolanti in provincia di Torino.

dal ritorno di molti immigrati nel Mezzogiorno e dagli spostamenti avvenuti da Torino verso l'area metropolitana, determinando così l'espansione dei comuni della prima e seconda cintura.

Elaborando graficamente l'andamento demografico è possibile verificare, almeno visivamente, le influenze tra i valori di temperatura (°C) e il numero di residenti nella città di Torino (Figura 13). In tale grafico si possono osservare correlazioni tra l'andamento del numero di popolazione residente nel capoluogo piemontese con l'aumento dei valori di

temperatura tra gli anni 1920 e 1970. Successivamente al picco di popolazione del 1974 ed alla decrescita cittadina la correlazione tra i fattori in esame viene persa in quanto alla diminuzione della popolazione non segue una diminuzione della temperatura.

Non ritrovando un andamento coerente tra i fattori considerati si è cercato di individuare altre ulteriori possibili cause e tra esse, oltre all'espansione urbana (causa principe dell'aumento dell'UHI), si è preso in considerazione l'aumento dei mezzi di trasporto circolanti a livello provinciale.

Nel grafico (Figura 14) sono stati messi in relazione i dati di temperatura con il numero di mezzi di trasporto nella provincia di Torino e si può notare l'esplosione del numero di vetture a partire dagli anni Sessanta in concomitanza del boom economico e lo stallo degli anni Settanta a seguito della crisi petrolifera. A partire dagli anni Ottanta si osserva la nuova esplosiva ripresa economica ed infine negli andamenti altalenanti degli ultimi 15 anni si osservano i periodi nuovamente critici per il settore. La correlazione empirica più apprezzabile in questo

grafico si ha a partire dagli anni Ottanta, quando con la crescita del numero di mezzi circolanti (1946 – 28.092; 1971 – 823.090; 1990 – 1.583.306; 2005 – 1.755.172 ) e l'aumento della relativa curva, si nota un andamento simile nella curva delle temperature. Negli anni successivi la correlazione osservabile nel grafico appare ancora più marcata, si possono individuare simili flessioni, sia in positivo che in negativo, in entrambe le curve.

## 5 CONCLUSIONI

Nel presente studio si è cercato di indagare le evidenze dell'isola di calore nella città di Torino. I risultati ottenuti mostrano come la situazione del clima urbano della capoluogo piemontese sia estremamente complessa. Infatti, mentre i risultati ottenuti mediante le elaborazioni inerenti le temperature sono comparabili con i risultati ottenuti in altri studi, la componente precipitazioni offre risultati differenti da quanto atteso.

L'IPCC ha rilasciato nel corso degli anni diversi documenti in cui si afferma che la temperatura globale media è aumentata di circa 0,7 °C dalla fine del XIX secolo e che «la maggior parte del riscaldamento osservato durante gli ultimi 50 anni è attribuibile alle attività umane» (IPCC, 2007).

L'analisi climatica effettuata sulla serie di dati meteorologici ultracentenari dalle osservazioni termo-pluviometriche ha permesso di osservare come gli aumenti registrati nei trend di temperatura siano in linea con i cambiamenti climatici in atto a livello globale.

In merito ai dati di temperatura, dal confronto urbano-rurale si registrano dei valori di  $\Delta T_{u-r}$  positivi, sia per le temperature massime e sia per le temperature minime permettendo di identificare con certezza la presenza dell'isola di calore urbano. Si individuano inoltre, periodi di gelo ridotti e un aumento di giorni e notti tropicali. Un importante fattore che si rileva inoltre, è l'aumento delle temperature delle stazioni rurali e il conseguente ridursi del  $\Delta T_{u-r}$ .

Infine, cercando di ipotizzare una motivazione relativa alla crescita non lineare delle temperature si è provato a ricercare le cause nella struttura urbana della città. I risultati ottenuti infatti potrebbero essere legati al tipo di sviluppo urbano che ha interessato la città, Torino infatti, non è cresciuta in maniera radiale, ma si è sviluppata per direttrici preferenziali. Questo sviluppo potrebbe aver portato alla formazione di una isola di calore ampia in estensione, ma limitata in intensità non avendo delle aree centrali "adeguatamente" distanziate dalla periferia.

Al fine di meglio comprendere l'andamento riscontrato nei valori di temperatura,

nel presente studio sono stati analizzati anche parametri socio-economici che potrebbero essere causa o fattore alimentante dell'isola di calore. Tali fattori ovviamente non sono gli unici valutabili, sicuramente tra gli altri poteva essere interessante conoscere l'aumento dell'attività industriale e comprendere l'aumento delle emissioni in atmosfera delle industrie. Nel presente studio, ovviamente, non era possibile affrontare tutte le variabili in grado di condizionare il clima di Torino essendo virtualmente infiniti i fattori di influenza, ed a tal proposito ulteriori approfondimenti sarebbero di sicuro aiuto ed interesse per meglio comprendere le dinamiche del microclima urbano torinese.

L'isola di calore urbano non ha effetti diretti e visibili sul riscaldamento globale poiché è un fenomeno su piccola scala che copre solo una frazione limitata della superficie terrestre. Nonostante ciò è necessario però ricordare che le principali fonti dei gas che sono in grado di influenzare l'effetto serra e i cambiamenti climatici sono ubicate all'interno delle aree urbane (Margelli et al., 2006). Pertanto l'analisi dei cambiamenti climatici urbani permette di individuare gli effetti che le emissioni possono manifestare su grande scala. Al momento è difficile prevedere come tali effetti realmente influiranno sul sistema del pianeta, di sicuro alcuni di essi sono, almeno in parte, già attribuibili al riscaldamento globale.

## BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, E., PETERSON, T.C., RAMÍREZ OBANDO, P., FRUTOS, R., RETANA, J.A., SOLERA, M., GONZÁLEZ SANTOS, I., ARAUJO, R.M., ROSA SANTOS, A., VAILE, V.E., BRUNFT INDIA, M., AGUILAR, L., ÁLVAREZ, L., BAUTISTA, M., CASTAÑÓN, C., HERRERA, L., RUANO, E., SIANI, J.J., OBED, F., HERNÁNDEZ OVIEDO, G.I., SALGADO, J.E., VÁSQUEZ, J.L., BACA, M., GUTIÉRREZ, M., CENTELLA, C., ESPINOSA, J., MARTÍNEZ, D., OLMEDO, B., OJEDA ESPINOZA, C.E., HAYLOCK, M., NÚÑEZ, R., BENAVIDES, H. AND MAYORGA, R. (2005) - *Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and Northern South America, 1961- 2003* - Journal of geophysical research, Vol 110 Doi: 10.1029/2005Jd006119.

DI NAPOLI G. E MERCALLI L., (2008) - *Il clima di Torino: tre secoli di osservazioni meteorologiche* - Collana "Memorie dell'atmosfera" N. 7, Edizioni Società Meteorologica Subalpina.

HEINO R., (1999) - *Homogeneity of the long-term urban data records.* - Atmos. Environ. 33, pp. 3879-3883.

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.

LANDSBERG H.E., (1981) - *City climate - General climatology, world survey of climatology*, Elsevier, Amsterdam, Vol. 3: 299-334.

KLEIN TANK A. M., WIJNGAARD J. B., KONNEN G. P., BOHM R., DEMAREE G., GOICHEVA A., MILETA M., PASHIARDIS S.,

HEJKRILK L., KERN-HANSEN C., HEINO R., BESSEMOULIN P., MULLER-WESTERMEIER G., TZANAKOU M., SZALAI S., PALSDOTTIR T., FITZGERALD D., RUBIN S., CAPALDO M., MAUGERI M., LEITASS A., BUKANTIS A., ABERFELD R., VAN ENGELEN A. F. V., FORLAND E., MIETUS M., COELHO E., MARES C., RAZUVAEV V., NIEPLOVA E., CEGNAR T., ANTONIO LOPEZ J., DAHLSTROM B., MOBERG A., KIRCHHOFFER W., CEYLAN A., PACHALIUK O., ALEXANDER L. V. AND PETROVIC P. (2002) - *Daily dataset of 20Th-Century surface air temperature and precipitation series for the european climate assessment* - Int. J. Climatol., 22, 1441-1453.

MARGELLI F., ROSSI S., GEORGIADIS T., (2006) - *Il riscaldamento della città* - Articolo per scienzaonline.it.

MESTRE O, GRUBER C, PRIEUR C, CAUSSINUS H, JOURDAIN S., (2011) - *Splidhom: a method for homogenization of daily temperature observations* - J. Appl. Meteor. Climatol., 50, 2343-2358.

MILLS G., (2004) - *The urban canopy layer heat island* - lauc teaching resources - lauc newsletter (international association for urban climate) Issue No. 4, April.

OKE T.R., (1987) - *Boundary layer climates* - 2Nd Edition, Routledge: New York

OKE T.R., (1995) - *The heat island characteristics of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects.* - J.E. Cermak, A.G. Davenport, E.J. Plate, And D.X. Viegas (Eds). Wind climate in cities, pp. 81-107. Netherlands: Kluwer Academic.

RATENI A., LEUZZI G., MACCHI S., MUNAFÒ M., (2005) - *Un modello numerico per lo studio dell'isola di calore nell'area di Roma* - Atti del convegno accademia dei lincei ecosistema Roma. Roma: Bardi Ed., 101-110.

SNEYERS, (1990) - *On the statistical analysis of series of observations*, Ginevra - Nota Tecnica N° 143, Wmo, P. 192.

SOUX A, VOOGT J.A., OKE T.R., (2004) - *A model to calculate what a remote sensor 'sees' of an urban surface* - Boundary-layer meteorology, 111, 401-424.

SOVRANO PANGALLO G., (1998) - *Effetti urbani su temperatura dell'aria e precipitazioni nell'area padana* - Acqua & Aria, 9: 95-104.

STEPANEK P., (2007) - *Anclim software documentation* - Software for time series analysis (for windows). Dept. of geography, Fac. of natural sciences, Masaryk University, Brno.

VENEMA, V. K. C., MESTRE, O., AGUILAR, E., AUER, I., GUIJARRO, J. A., DOMONKOS, P., VERTACNIK, G., SZENTIMREY, T., STEPANEK, P., ZAHRADNICEK, P., VIARRE, J., MÜLLER-WESTERMEIER, G., LAKATOS, M., WILLIAMS, C. N., MENNE, M., LINDAU, R., RASOL, D., RUSTEMEIER, E., KOLOKYTHAS, K., MARINOVA, T., ANDRESEN, L., ACQUAOTTA, F., FRATIANNI, S., CHEVAL, S., KLANCAR, M., BRUNETTI, M., GRUBER, C., PROHOM DURAN, M., LIKSO, T., ESTEBAN, P., AND BRANDSMA, T. (2012) - *Benchmarking homogenization algorithms for monthly data* - Clim. Past, 8, 89-115, Doi: 10.5194/Cp-8-89-2012.

VOOGT J., (2004) - *Urban heat islands: hotter cities* - actionbioscience.org november 2004.

WMO, (1983) - *Guide to meteorological instruments and methods of observation.* - document n. 8, secretariat of world meteorological organization, Geneva, Switzerland.

WMO, (2007) - *Guide to climatological practices draft* - Third Edition, 3 May 2007, P.117.

ZHANG X. E YANG F., (2004) - *Rclimdex (1.0) User guide.* - Climate research branch environment Canada: Downsview, Ontario, Canada.