

A Valentina, Arianna e Lorenzo

A Rosanna, Giovanna e Marco

A Caterina, Luca e Alfonso

Grazie per l'attesa, la fiducia e il sostegno

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. DATI E METODI UTILIZZATI	6
2.1 <i>La scelta delle stazioni meteorologiche e del dataset di osservazioni</i>	6
2.2 <i>La scelta del periodo di indagine (1979-2016)</i>	8
2.2.1 <i>Andamento delle temperature tra il 1940 e il 2015</i>	8
2.3 <i>Descrizione delle principali analisi statistiche</i>	11
2.3.1 <i>Analisi dei trend delle temperature e degli indici bioclimatici</i>	11
2.3.2 <i>Individuazione dei break point nelle serie termiche e termo-igrometriche</i>	11
2.3.3 <i>Calcolo dei percentili di calore-afoso in Italia e indice di mortalità</i>	12
2.4 <i>Gli indici bioclimatici</i>	13
2.4.1 <i>scelta degli indici termo-igrometrici</i>	13
2.4.2 <i>Grafici orari del disagio da caldo-umido (dati + scelta stazioni)</i>	14
2.5 <i>Individuazione delle anomalie di circolazione atmosferica</i>	15
2.5.1 <i>Scelta e analisi dei parametri atmosferici</i>	15
3. LE TEMPERATURE ESTIVE IN ITALIA TRA IL 1979 E IL 2016	16
3.1 <i>Andamento delle temperature estive in Italia tra il 1979 e il 2016</i>	16
3.2 <i>Le due fasi termiche e il possibile cambio di circolazione degli anni '90</i>	22
3.2.1 <i>Il “salto” termico tra il 1979-1997 e il 1998-2016</i>	22
3.2.2 <i>Il possibile cambio nella circolazione atmosferica</i>	26
3.2.3 <i>1998-2016: un “new normal” climatico per l’estate?</i>	35
4. LE CONDIZIONI BIOCLIMATICHE ESTIVE IN ITALIA TRA IL 1979 E IL 2016	37
4.1 <i>Il caldo-afoso in Italia e gli indici THI-Humidex</i>	37
4.2 <i>Andamento degli indici bioclimatici tra il 1979 e il 2016</i>	39
4.3 <i>Le due fasi del disagio da calore afoso: 1979-1997 e 1998-2016</i>	44
4.4 <i>Il disagio da caldo-umido oggi in Italia</i>	51

4.4.1 Premessa	51
4.4.2 La distribuzione giornaliera del calore afoso nelle grandi città.....	52
4.4.3 La distribuzione giornaliera del calore afoso tra maggio e settembre	56
4.4.4 Climatologia essenziale degli indici	60
5. GLI EFFETTI DELLE ONDATE DI CALORE UMIDO SULLA MORTALITA'.....	63
5.1 <i>Le ondate di calore e mortalità estiva</i>	63
5.1.1 Le ondate di calore-umido in Italia tra il 1979 e il 2016	63
5.1.2 Picchi di mortalità estiva e ondate di calore in Italia	67
6. CONCLUSIONI	74
6.1 <i>Sintesi dei principali risultati</i>	74
6.2 <i>Conclusioni e prospettive future</i>	75
BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA	77
APPENDICE DI TABELLE E GRAFICI	81

1. INTRODUZIONE

Nel 1956 Curzio Malaparte, nel famoso saggio “Maledetti Toscani”, scriveva “*Poi venne l'estate, e d'estate, si sa, i fiorentini hanno caldo.*”. Questa semplice frase, per quanto inserita in un contesto ironico e sicuramente non scientifico, mostra come sia radicato nella cultura italiana il binomio “estate” e “caldo”. Non solo, l’Autore esprime anche un concetto puramente bioclimatico, lasciando intendere che i fiorentini (ma potrebbe valere per qualsiasi altro cittadino italiano) percepiscono nettamente il gran caldo estivo e il disagio che esso comporta. Quindi l’estate in Italia, oggi come 60 anni fa, si è sempre contraddistinta per valori di temperatura molto elevati che non sono altro che l’espressione ultima del clima di tipo mediterraneo. La nostra Penisola, infatti, a causa della sua particolare posizione geografica, è tra le poche regioni al mondo in cui i massimi di stabilità atmosferica coincidono con il trimestre estivo (in alcune zone del centro-sud la bella stagione può essere estesa anche ai mesi di maggio e settembre). Prevalenza di bel tempo nei mesi di giugno, luglio e agosto è anche sinonimo, alle nostre latitudini, di caldo costante che tende spesso a divenire afoso a causa del contributo di umidità fornito dal mar Mediterraneo e, specialmente in Val Padana, dai numerosi corsi d’acqua. Talvolta il caldo-umido può risultare opprimente, in particolare quando l’Italia viene interessata da promontori anticiclonici di matrice afro-mediterranea che si contraddistinguono non solo per la forte subsidenza, ma anche per il contributo di masse d’aria di provenienza sahariana. Pertanto il gran caldo estivo, che spesso identifichiamo con la parola *afa*, è parte integrante del nostro clima e del nostro vissuto sociale.

Quando il caldo-umido diventa eccessivo anche in un Paese abituato come il nostro si possono avere conseguenze negative per la salute pubblica; è infatti noto che condizioni climatiche particolarmente critiche comportano un aggravamento di talune patologie nei soggetti a rischio favorendo, quindi, un aumento dei ricoveri ospedalieri e della mortalità (D. O. Astrom et al., 2011; S. Muthers, 2010; K.Y. Lin et al., 2012). Ovviamente tali conseguenze non valgono soltanto per l’Italia, ma per tutti i paesi posti a latitudini temperate che possono essere soggetti ad intense e durature ondate di calore-umido.

I rischi sociali collegati al forte disagio termico hanno portato, negli anni, alla creazione di numerosi indici bioclimatici che, tramite semplici formule empiriche, riassumono numericamente un determinato livello di malessere, o di confort. Tra gli indici termo-igrometrici più utilizzati in Europa e in Italia per descrivere il disagio fisiologico da caldo vi sono il Temperature-Humidity Index (THI) e l'Humidex (H), ideati rispettivamente da Earl C. Thom nel 1959 e da Masterson & Richardson nel 1979. Entrambi mettono in relazione l'umidità e la temperatura, poiché è noto che quando l'aria calda è ricca in vapore acqueo uno dei principali sistemi di termoregolazione del corpo, la diaforesi, diventa meno efficace a causa dell'impossibilità, da parte dei liquidi emessi, di evaporare e quindi di ridurre la temperatura del corpo (processo endotermico). Poter fare riferimento su indici bioclimatici semplici e facilmente replicabili è di fondamentale importanza poiché ne permette un uso diffuso e soprattutto immediato da parte di qualsiasi portatore di interesse. Avere un'idea corretta di quello che con ragionevole sicurezza è il livello generale di disagio percepito dalla popolazione durante un'ondata di calore può aiutare a prevenirne, o quantomeno a ridurne, gli effetti negativi sulla collettività.

All'interno della comunità scientifica italiana il tema del caldo-afoso (e più in generale degli indici bioclimatici) non gode ancora dell'interesse e del seguito che gli dovrebbe essere riconosciuto, specie se si considera quanto il nostro paese sia, per sia natura, esposto al fenomeno. Nazioni come Inghilterra, Stati Uniti e Australia, al contrario, vantano centinaia di pubblicazioni e studi sull'argomento. Nonostante la limitata produzione scientifica, in Italia si possono comunque trovare interessanti lavori di ricerca, alcuni dei quali risalenti addirittura agli anni '60-'70. Tra questi risulta particolarmente significativa l'opera di rappresentazione cartografica del caldo-afoso in Italia realizzata da Mario Pinna nel 1969, un lavoro geografico-informativo unico nel suo genere che purtroppo non è stato replicato negli anni più recenti. Un aggiornamento delle carte tematiche, infatti, sarebbe stato auspicabile poiché negli ultimi decenni la temperatura estiva è aumentata considerevolmente a causa del cambiamento climatico (Ispra 2015; NOAA, 2015; EEA, 2015). Purtroppo l'estrema difficoltà che si riscontra in Italia nel reperire serie termo-igrometriche aggiornate, complete e digitalizzate non permette, ad oggi, di riproporre il lavoro di Mario Pinna (questo tipo di elaborazione, infatti, necessita l'utilizzo alcune centinaia di serie storiche). Tuttavia il numero di stazioni meteorologiche complete attualmente utilizzabili può risultare sufficiente per mostrare l'andamento del caldo-umido in Italia tra il 1979 e il 2016, ovverosia nel periodo in cui si concentra il grosso dei mutamenti climatici avventi degli ultimi 80 anni.

Non è pensabile, infatti, studiare una variabile meteorologica, o bioclimatica senza tenere conto delle oscillazioni del clima; restando nel tema degli indici bioclimatici, ciò che poteva essere considerato eccezionale in un'estate di 30-40 anni fa, potrebbe risultare addirittura normale oggi e viceversa. Quanto detto ci permette di introdurre il quesito che ha portato alla stesura di questo lavoro di ricerca: *come è evoluto il disagio termico estivo in Italia alla luce del cambiamento climatico recente?*

Questa tesi, quindi, partendo dalle serie termo-igrometriche disponibili, vuole verificare l'andamento degli indici THI e Humidex in relazione al marcato incremento delle temperature estive osservato in Italia a partire dal 1979 (Ispra, 2015). Un'analisi climatologica finalizzata, in particolare, alla caratterizzazione del fenomeno attraverso l'individuazione di change points, trend e sotto-periodi, nonché tramite lo studio delle variazioni statistiche di eventi ad alto impatto come le ondate di calore e il numero totale di giorni critici. Queste elaborazioni, cui si aggiungono anche quelle sui picchi di mortalità estiva e sulla distribuzione giornaliera del calore afoso, hanno come obiettivo finale quello di fornire un quadro aggiornato del disagio da caldo in Italia che possa risultare un utile elemento statistico-informativo per la comunità scientifica, i decisori e i comuni cittadini.

2. DATI E METODI UTILIZZATI

2.1 Le serie di temperatura e di umidità relativa.

2.1.1 Scelta delle stazioni meteorologiche e del tipo di parametri

La scelta, ai fini della ricerca, del dataset climatico giornaliero di temperatura e umidità relativa è dipesa essenzialmente dalla effettiva disponibilità di dati osservati nel periodo 1979-2016. Sono state quindi selezionate serie meteorologiche omogenee che avessero una consistenza di dati superiore al 90% e che fossero rappresentative di zone ad alta densità abitativa. Al fine di ottenere un dataset che potesse descrivere al meglio il disagio da caldo-umido in Italia durante la stagione estiva, sono state escluse tutte le località di collina e di montagna, in quanto raramente soggette a reali situazioni di criticità.

Per la scelta delle serie climatiche è stato necessario individuare località che fornissero dati giornalieri completi di temperatura e di umidità relativa; quest'ultimo parametro, fondamentale per il calcolo degli indici e della tensione di vapore, risulta spesso assente o non consistente negli annali classici, pertanto si è deciso di utilizzare un network di stazioni meteorologiche che potesse garantirne la presenza. I dati sono stati scaricati dalla piattaforma pubblica del NOAA denominata "GSOD", acronimo per Global Surface Summay of Day, che preleva e archivia tutti i Meteorological Routine Weather Report (METAR) del Globo. Lo stesso GSOD si appoggia sull'Integrated Surface Hourly Dataset (ISD) riconosciuto dal WMO e dai principali enti scientifici del mondo.

Le serie di dati selezionate, in quanto provenienti dai principali METAR italiani, risultano già omogeneizzate; tuttavia sono stati comunque effettuati dei controlli col fine di verificare presenza di dati aberranti, o di salti non giustificabili col cambiamento climatico recente. Per fare ciò sono stati individuati e confrontati tra loro i trend di tutte le località potenzialmente utili alla ricerca. La presenza di alcuni trend sospetti ha portato, secondo un principio prudenziale, all'esclusione di 10 stazioni meteorologiche, portando il totale finale sul quale è stata effettuata la ricerca a 49. In sede di elaborazione delle climatologie degli indici THI e Humidex del periodo 1998-2016 sono state incluse, al fine di ampliare il più possibile il quadro informativo, anche le stazioni di Arezzo e Termoli, in quanto complete a

partire dal 1998. Di seguito l'elenco completo delle serie effettivamente reperite ed elaborate divise per macro-area:

AREA CENTRO-SETTENTRIONALE	NR. STAZIONI
Aviano, Bergamo, Bologna, Forlì, Genova, Bolzano, Cervia, Milano, Latina, Mondovì, Falconara, Grosseto, Firenze, Piacenza, Perugia, Pisa, Cameri, Capo Mele, Brescia, Rimini, Roma, Roma Pratica di Mare, Ronchi dei Legionari, Torino, Treviso, Trieste, Venezia, Verona, Viterbo, (Arezzo).	29 (30)

AREA MERIDIONALE-INSULARE	NR. STAZIONI
Brindisi, Cagliari, Alghero, Bari, Capo palinuro, Cozzo Spadaro, Decimomannu, Foggia, Grazzanise, Lamezia Terme, Lampedusa, Lecce, Marina di Ginosa, Santa Maria di leuca, Messina, Napoli, Olbia, Pantelleria, Pescara, Reggio Calabria, (Termoli).	20 (21)

La scelta delle temperature massime e medie, nonché dell'umidità relativa, è stata funzionale al raggiungimento dell'obiettivo scientifico legato agli indici selezionati. Si è voluto descrivere, infatti, l'andamento del calore-afoso in Italia tramite i valori medi e massimi di THI e Humidex in quanto rappresentativi di un disagio avvertibile dalla maggior parte della popolazione. Le temperature minime, invece, sono state utilizzate nelle elaborazioni in cui si richiedeva l'andamento orario della variabile termica.

Il calcolo degli indici THI e Humidex prevede l'utilizzo della temperatura a bulbo secco (T), dell'umidità relativa (UR) e della tensione di vapore (P). Quest'ultimo parametro, in quanto non presente nelle serie analizzate, è stato ricavato tramite la seguente formula: $6.111 \cdot 10^{(7.5 \cdot T / 237.7 + T)} \cdot U / 100$, dove "U" indica l'umidità relativa e "T" la temperatura a bulbo secco. L'umidità relativa minima giornaliera, invece, in quanto mancante nelle serie

e necessaria al calcolo degli indici massimi, è stata ricavata grazie alla seguente formula: $e/0,061*10^{(7,5*T/237,7+T)}$, dove “e” identifica la tensione di vapore e “T” la temperatura massima.

2.2 La scelta del periodo di indagine (1979-2016)

2.2.1 Andamento delle temperature tra il 1940 e il 2015

Il lavoro di tesi si basa sull’analisi dettagliata di temperature e indici di disagio tra il 1979 e il 2016. La scelta del periodo è stata effettuata osservando l’andamento delle temperature medie e massime estive globali, europee e nazionali. Il grafico 2.1 mostra le anomalie termiche globali del trimestre giugno-agosto tra il 1940 e il 2015 (il dato si riferisce alle sole terre emerse). Come si può notare vi sono due fasi ben distinte tra loro: una, che va dal 1940 al 1978, caratterizzata da temperature estive sostanzialmente stabili, un’altra, che inizia nel 1979 e prosegue fino ad oggi, che si contraddistingue per un evidente aumento dei valori. La prima fase non mostra alcun trend (Figura 2.2), mentre la seconda palesa incremento decennale della temperatura estiva pari a 0.27 °C (Figura 2.3). Fonte dai NOAA, 2015.

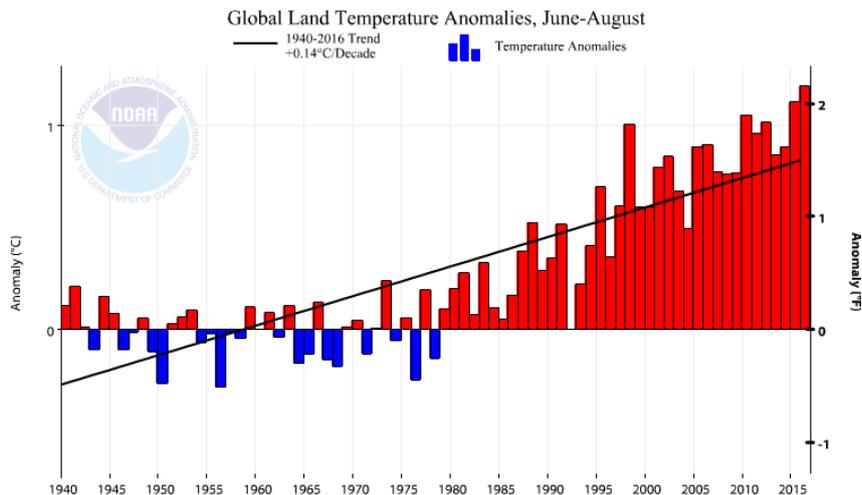


Figura 2.1: anomalie termiche della temperatura media nel periodo giugno-luglio a livello globale (terre emerse, 1940-2015). E’ mostrata la retta di regressione lineare. Fonte dati: NOAA, 2015.

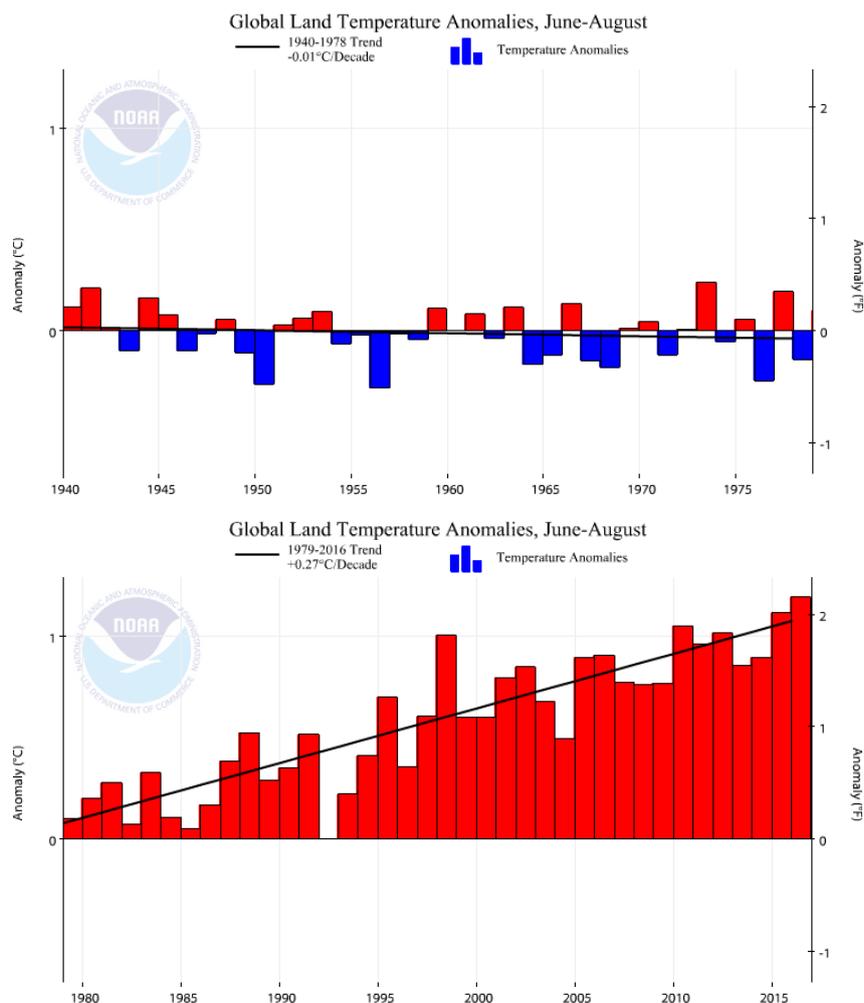


Figure 2.2-2.3: anomalie termiche della temperatura media nel trimestre giugno-luglio a livello globale (terre emerse). Sopra il periodo 1940-1978, sotto il periodo 1979-2015. Sono mostrate le rette di regressione lineare. Si noti il forte aumento della temperatura tra il 1979 e il 2015. Fonte dati: NOAA, 2015.

Partendo dall'evidenza globale è stato verificato se lo stesso andamento climatico fosse presente anche a livello europeo e nazionale. Dall'analisi delle serie termiche delle terre emerse dell'European Environment Agency (EEA) e dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) si è potuta constatare una corrispondenza pressoché perfetta con i dati globali forniti dal NOAA (Figure 2.4-2.5). Particolarmente significativo, a tal proposito, il grafico riportato nella figura 2.6, che confronta l'andamento delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia tra il 1960 e il 2015. Si noti la forte corrispondenza, specie per quanto riguarda l'aumento dei valori a partire dal 1979.

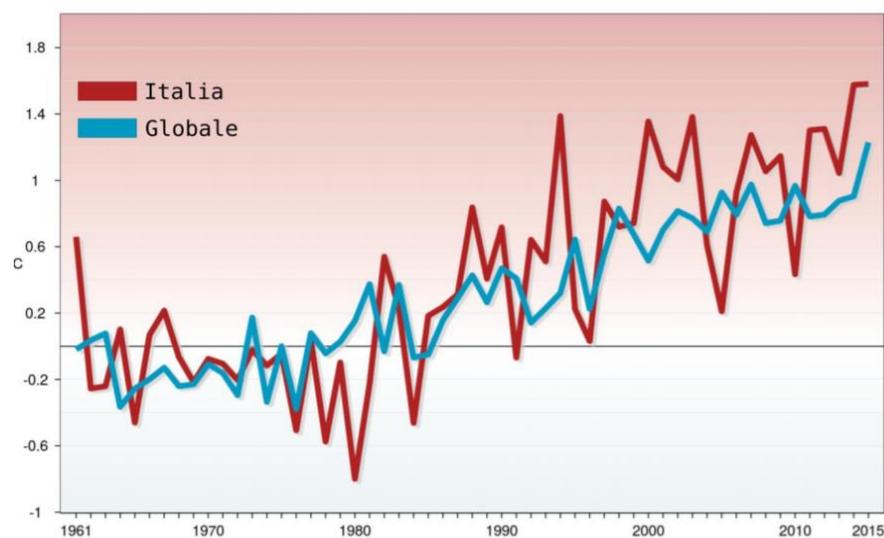
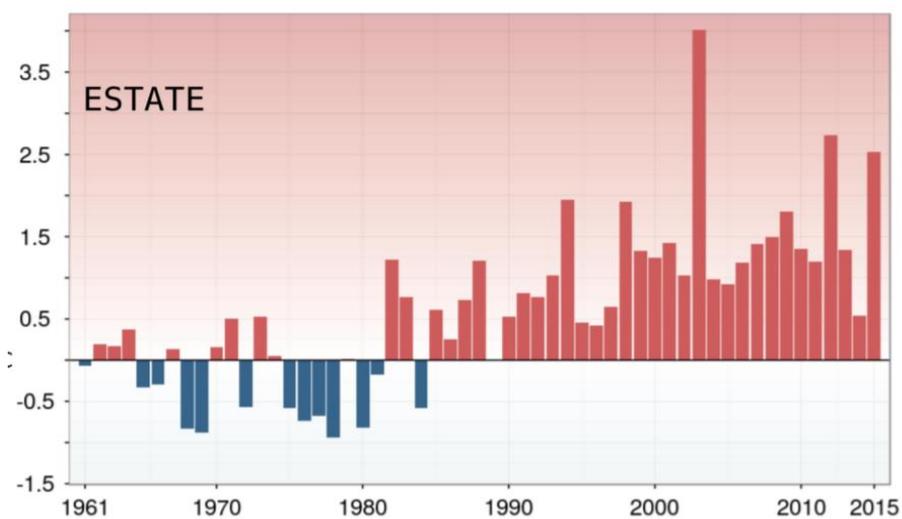
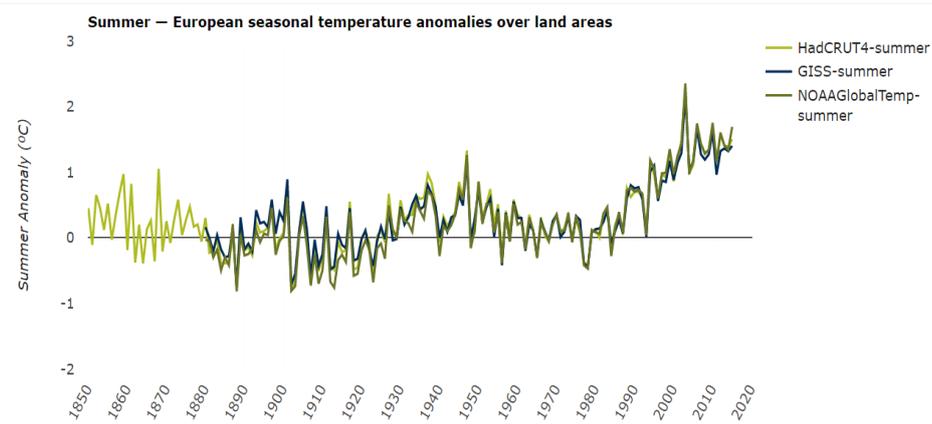


Figure 2.4-2.6: 2.4, andamento delle anomalie di temperatura estiva per le sole terre emerse in Europa dal 1850 al 2015, sono confrontati 3 diversi dataset di dati (HadCRUT4, NOAA, GISS NASA). 2.5, anomalie termiche estive in terraferma in Italia dal 1960 al 2015. 2.6, confronto tra le anomalie medie di temperatura globali e italiane dal 1960 al 2015.

2.3 Descrizione delle principali analisi statistiche

2.3.1 Analisi dei trend delle temperature e degli indici bioclimatici

L'analisi del trend degli indici bioclimatici (THI e Humidex) e delle temperature massime e medie è stata eseguita attraverso il metodo della *regressione lineare*. Questa analisi statistica risulta molto utile nella comprensione dei cambiamenti climatici avvenuti nel tempo e fornisce, tra l'altro, indicazioni sul rateo di incremento, o di riduzione di questi mutamenti (coefficiente angolare della retta di regressione). Si ricorre, infatti, all'analisi regressiva quando dai dati campionari si vuole ricavare un modello statistico che preveda i valori di una variabile dipendente y (nel nostro caso la temperatura e gli indici termogrametrici) a partire dai valori dell'altra variabile indipendente x (nel nostro caso il tempo espresso in anni).

E' stato possibile applicare il metodo della regressione lineare in quanto le variabili considerate risultano distribuite in maniera normale (gaussiana). I trend sono stati calcolati sul periodo 1979-2016 e sono stati considerati significativi soltanto quelli che presentavano livelli di confidenza uguali o superiori al 95%.

2.3.2 Individuazione dei break point nelle serie termiche e termo-igrometriche

L'individuazione dei break-point statistici sia delle temperature che degli indici bioclimatici, è stata effettuata tramite il software denominato "R", creato tra il 1992 e il 1995 da Ross Ihaka e Robert Gentleman (University of Auckland). Il programma in questione è diviso in pacchetti che permettono di effettuare svariate elaborazioni statistiche; nel nostro caso è stato inserito un codice (pacchetto R "*envcpt*") sviluppato nel 2012 da Killick R., Fearnhead P. e Eckley I.A. Il pacchetto opera una selezione automatica dei modelli statistici disponibili ed una diagnostica dei dati climatici ed ambientali inseriti. La funzione *envcpt*, in particolare, effettua una selezione tra una varietà di change points, di trend e di autocorrelazioni indicando quelli statisticamente più probabili (Figura 2.7)

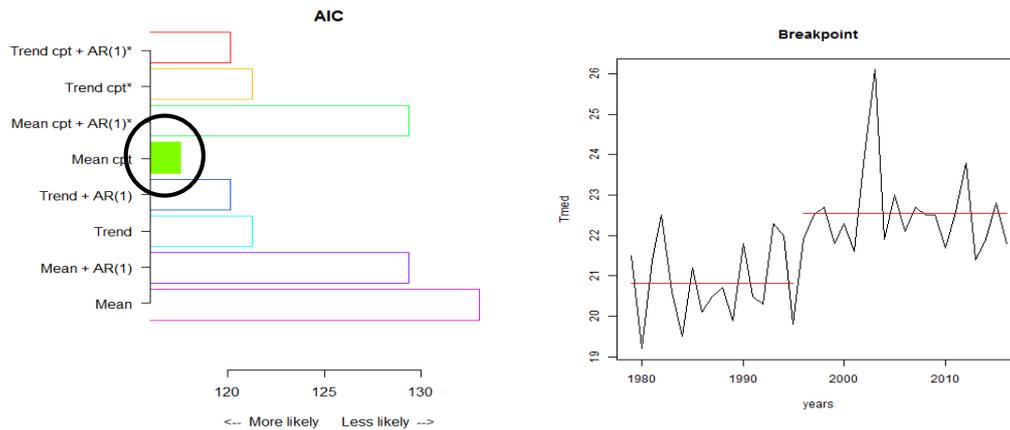


Figura 2.7: esempio di output del codice R *envcpt*. L'individuazione del miglior modello è evidenziata in nero, di fianco la restituzione grafica del break-point.

2.3.3 Calcolo dei percentili di calore-afoso in Italia e indice di mortalità

La necessità di individuare delle soglie di disagio specifiche per l'Italia nasce dal fatto che in letteratura, per il THI e per l'Humidex, vengono proposte scale di disagio generiche che non tengono conto delle peculiarità climatiche delle singole nazioni. Una condizione di caldo-umido percepita come disagiata da un cittadino svedese, ad esempio, può rappresentare benissimo condizioni di assoluto confort per un italiano o un greco (Iñiguez et al., 2010; Keatinge et al., 2000a; The Eurowinter Group, 1997).

Ciò ha portato al calcolo di soglie al di sopra delle quali, anche in un paese abituato a temperature estive molto elevate come l'Italia, si possa parlare con ragionevole sicurezza di "condizioni critiche" per la popolazione. Per l'individuazione delle soglie si è operato calcolando il 90° percentile della distribuzione dei valori massimi medi di THI e Humidex, i valori trovati sono: 26.6° per il primo e 37.9 °C per il secondo.

Per quanto riguarda la mortalità è stato calcolato un indice che potesse tener conto del trend annuo dei decessi e del numero effettivo dei giorni dei vari mesi. Partendo dai dati grezzi Eurostat è stata individuata la mortalità media giornaliera sia annua che mensile; si è operato facendo rapporto tra il numero totale di decessi annuali e mensili e il numero effettivo di giorni. Successivamente è stato calcolato l'indice tramite la formula: $100 * Nm / Na$, dove Nm = numero medio giornaliero di morti nel mese oggetto di studio e Na = numero medio giornaliero di morti nell'anno cui appartiene il mese.

Esempio: nell'agosto 2003 si sono registrati, in Italia, 50.650 decessi, per sapere come tale dato di inserisce all'interno della mortalità dell'anno in oggetto è necessario dividere il totale per il numero di giorni del mese (31), ricavando così un valore di 1.634 morti/giorno. Questa cifra viene successivamente confrontata col dato medio annuale di decessi giornalieri, che per il 2003 è stato pari a 1.607. Applicando la formula $100 * 1.634 / 1.607$ otteniamo un indice per agosto pari a 102. In pratica il valore 100 identifica un mese la cui mortalità coincide con quella media dell'anno di appartenenza, in questo caso agosto si è contraddistinto per un numero di decessi addirittura superiore alla media annua, evento estremamente raro in estate.

2.4 Gli indici bioclimatici

2.4.1 scelta degli indici termo-igrometrici

Gli indici termo-igrometrici sono stati scelti per la loro ampia diffusione a livello globale, nonché per la ricca bibliografia a loro dedicata. Sono numerosissime, infatti, le istituzioni nazionali e/o locali che utilizzano Humidex e THI per il monitoraggio del disagio da caldo e da freddo, nonché per l'emissione di allerte bio-meteorologiche, non soltanto per gli esseri umani, ma anche per le attività zootecniche (Ministero delle Politiche Agricole, Arpa Sardegna, Arpa Piemonte). L'Humidex è l'indice di riferimento utilizzato dal "*Sistema Nazionale di Sorveglianza, previsione e di allarme per la prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute della popolazione*" istituito nel 2004 dal Ministero della Salute italiano.

Il Temperature-Humidity Index (THI) è stato sviluppato da Earl C. Thom nel 1959, ha subito alcune piccole modifiche per poi essere diffuso nella formulazione più classica: ***THI*** = $(0,55 - 0,0055U) * (T - 14,5)$, dove "T" identifica la temperatura a bulbo secco e "U" l'umidità relativa (Earl C. Thom, 1959 e successive modificazioni). L'Humidex, ideato in Canada da Masterson & Richardson nel 1979, si basa sul rapporto tra temperatura a bulbo secco (T) e tensione di vapore (P) ed è identificato dalla formula: ***H*** = $T + (0,5555 * (P - 10))$.

2.4.2 Grafici orari del disagio da caldo-umido (dati + scelta stazioni)

Per la costruzione dei grafici giornalieri degli indici bioclimatici è stato individuato il periodo più caldo e stabile dell'estate italiana che va all'incirca dal 15 luglio al 15 agosto. Al fine di avere un quadro medio del disagio da caldo afoso sono stati selezionati anni in cui il periodo in oggetto risultava caratterizzato da valori di THI e Humidex in linea con la climatologia di riferimento 1998-2016. Sono stati quindi calcolati i valori orari medi degli indici tra il 15 luglio e il 15 agosto sui cui poi sono stati costruiti i grafici della distribuzione del calore-afoso all'interno della giornata.

Per quanto riguarda i grafici a isolinee afferenti alla distribuzione oraria del calore afoso nel periodo che va da maggio a settembre, sono stati selezionati soltanto i mesi in linea con la climatologia di riferimento 1998-2016; per ogni mese è stato calcolato il valore medio del THI e dell'Humidex dalle ore 00.00 alle ore 23.00. In pratica si sono individuati, tramite media aritmetica, i valori orari dei due indici nei mesi di maggio, giugno, luglio, agosto e settembre. I grafici sono stati costruiti tramite il sistema informativo geografico ArcGIS.

La scelta delle località è dipesa innanzitutto dalla disponibilità di dati orari di temperatura e di umidità relativa e dalla loro consistenza (i dataset completi cominciano a partire dal 2008). All'interno delle serie disponibili per questo tipo di analisi (51), circa una quindicina aveva le caratteristiche sopra indicate; di queste ne sono state selezionate 8 sulla base della loro posizione geografica (nord-sud/versante tirrenico/adriatico) e della loro importanza in termini di popolazione:

- Nord: Milano e Bologna;
- Centro: Roma e Ancona;
- Sud: Bari e Napoli;
- Isole: Messina e Cagliari;

2.5 Anomalie di circolazione atmosferica tra il 1979 e il 2016

2.5.1 Scelta e analisi dei parametri atmosferici

L'analisi per l'individuazione di un possibile cambio nella circolazione atmosferica tra il periodo 1979-1997 e il periodo 1998-2016 è stata effettuata confrontando le anomalie di quattro grandezze fisiche: l'altezza geopotenziale della superficie isobarica di 500 hPa, la velocità dei venti zonali a 500 hPa, la temperatura a 10 metri e la pressione atmosferica a livello del mare. I primi due parametri sono stati selezionati in quanto diffusamente utilizzati in letteratura per la diagnosi della circolazione e dei cambiamenti climatici (Y.Y Hafez, M. Almazroi, 2014; J. Zhu et al., 2002; D. J. Lorenz, E.T. DeWeaver, 2007; K. Kozuchowski et al. 1992; T. Reichler, 2009). Le anomalie di temperatura a 10 metri sono state scelte dallo scrivente in quanto diretta conseguenza dell'aumento/diminuzione dell'altezza della superficie isobarica di 500 hPa, mentre l'andamento della pressione al suolo estiva è fisicamente ascrivibile sia alle fluttuazioni della temperatura nei bassi strati, che ai mutamenti delle altezze del geopotenziale.

L'analisi è stata condotta confrontando le anomalie dei quattro parametri descritti nei due periodi di riferimento.

3. LE TEMPERATURE ESTIVE IN ITALIA TRA IL 1979 E IL 2016

3.1 Andamento delle temperature estive in Italia tra il 1979 e il 2016

Tra il 1979 e il 2016 si è registrato un aumento statisticamente significativo (99,9%) delle temperature estive su tutto il territorio nazionale. A partire dal 1979 la temperatura media del trimestre giugno-luglio-agosto è salita di 1.8 °C con un rateo di incremento pari a 0.47 °C per decade, mentre le temperature massime sono aumentate di 2.1 °C con un rateo decennale di 0.57 °C (figure 3.1 e 3.2). I trend estivi risultano in linea con quelli osservati dagli enti nazionali ed europei preposti al monitoraggio delle temperature, rispettivamente ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) ed EEA (European Environment Agency). La tabella 3.1 confronta il trend della temperatura media estiva individuato in questo lavoro di tesi con quello a scala nazionale dell'ISPRA ed europea dell'EEA; come si può notare i valori sono del tutto coerenti.

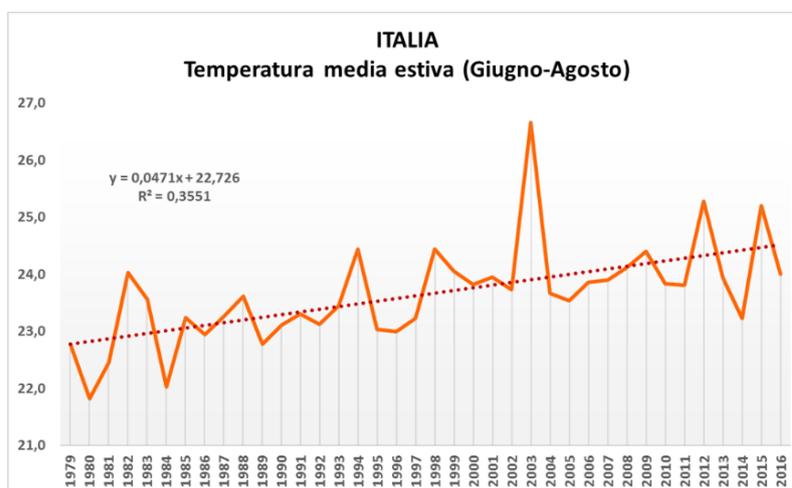


Figura 3.1: trend di temperatura media estiva relativo all'intero campione di stazioni meteorologiche analizzato (nr.=49). È indicata la retta di regressione lineare; il trend individuato è significativo al 99,9%.

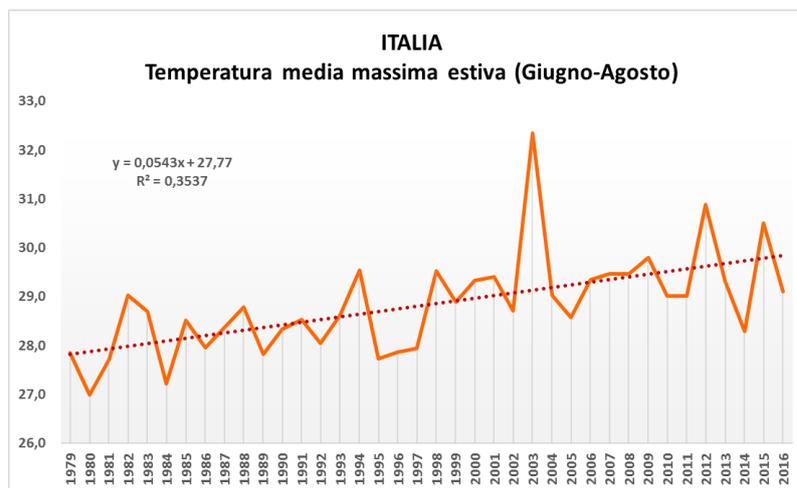


Figura 3.2: trend di temperatura massima media estiva relativo all'intero campione di stazioni meteorologiche analizzato (nr.=49). È indicata la retta di regressione lineare; il trend individuato è significativo al 99,9%.

TEMPERATURA MEDIA ESTIVA (TREND)		
AREA	°C/decade	°C
CENTRO-NORD	0,53	1,98
SUD-ISOLE	0,40	1,57
ITALIA	0,47	1,78
ITALIA (ISPRA)*	0,42	1,55
EUROPA (EEA)*	0,46	1,70

Tabella 3.1: confronto tra il trend di temperatura media estiva individuato e quello nazionale dell'ISPRA ed europeo dell'EEA (entrambi contrassegnati da asterisco).

Un'analisi più approfondita del dato stagionale permette di apprezzare le variazioni dei singoli mesi, nonché alcune interessanti differenze territoriali.

Per quanto riguarda l'andamento mensile, l'aumento termico più marcato ha riguardato giugno, con un incremento di 2.1 °C per la temperatura media (0.55°C/decade) e di 2.4 °C per la temperatura massima (0.65 °C/decade), a seguire luglio con, rispettivamente, 1.8 °C (0.47°C/decade) e 2.0 °C (0.54 °C/decade) e agosto con 1.4 °C (0.38 °C/decade) e 1.8 °C (0.47 °C/decade). La significatività di tutti i trend sopra citati è uguale, o superiore, al 95%, con il massimo per il mese di giugno, i cui incrementi sono statisticamente robusti con una probabilità superiore al 99.9%.

Per quanto concerne i mesi di transizione tra la stagione primaverile ed estiva (maggio) e tra quella estiva ed autunnale (settembre), l'andamento delle temperature massime e medie nel periodo 1979-2016 risulta differente: mentre a maggio si osserva un aumento significativo e molto marcato (rispettivamente 0.56 °C e 0.46 °C/decade), a settembre i trend riscontrati, seppur debolmente positivi (0.15 °C e 0.18 °C/decade), non hanno significatività statistica. Questa differenza, tuttavia, fornisce un'interessante indicazione se analizzata nell'arco dei 5 mesi; si può infatti osservare che ad un picco di incremento concentrato nel bimestre maggio-giugno, segue una riduzione quasi lineare dei trend (Figura 3.3).

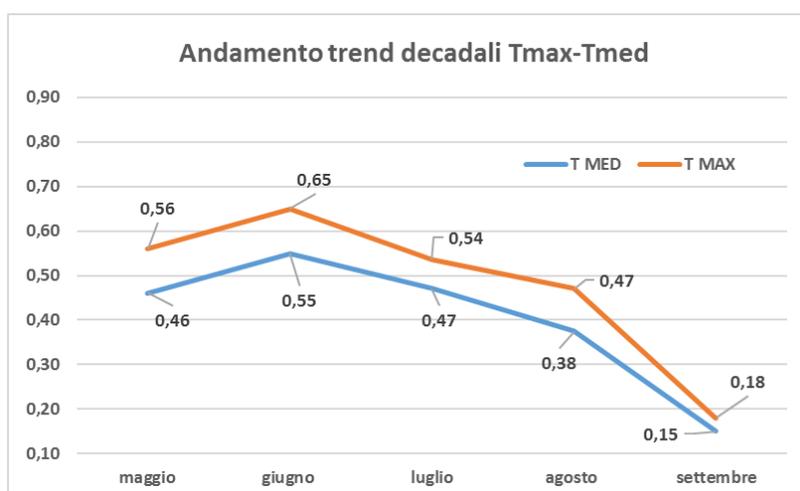


Figura 3.3: andamento dei trend di temperatura massima e media tra maggio e settembre.

Nella tabella 3.2 è riportata la percentuale di località che presentano un trend statisticamente significativo ($\geq 95\%$) rispetto al totale; sia l'estate nel suo complesso, che i mesi di maggio, giugno e luglio, evidenziano alte percentuali che risultano ben distribuite all'interno del campione e che riguardano entrambi i parametri considerati in questo studio (T. Massima e T. Media). Il dato conferma come l'aumento delle temperature, nei mesi sopraccitati, sia stato capillare e omogeneo su tutto il territorio nazionale.

Ad agosto, invece, si osserva una decisa diminuzione rispetto ai mesi precedenti, che risulta più accentuata sulle regioni centro settentrionali, dove, per le temperature massime, soltanto il 38% del campione risulta avere trend di crescita significativi, contro il 60% del Meridione e delle Isole. Questa differenza può essere spiegata con il cambio di circolazione atmosferica che avviene tipicamente nella seconda metà del mese di agosto, quando la *storm-track* atlantica tende ad abbassarsi di latitudine coinvolgendo più direttamente le regioni settentrionali, dove si osserva un incremento della copertura nuvolosa e delle precipitazioni.

Il Sud e le isole, invece, risultano ancora influenzate dalle alte pressioni subtropicali, talvolta alimentate da masse d'aria calda di origine nord africana richiamate dai sistemi frontali in transito sulle regioni settentrionali. Non ultimo, infine, il contributo di calore fornito dal mare che tra la seconda metà di agosto e la prima decade di settembre, raggiunge i massimi termici annuali. Per le tabelle riassuntive con i trend divisi per mese, località, sottozona e per macro-area si rimanda all'appendice.

PERCENTUALE TREND SIGNIFICATIVI	Estate (giu-lug-ago)	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre
TEMPERATURA MEDIA	96%	67%	94%	76%	57%	2%
TEMPERATURA MASSIMA	86%	63%	88%	63%	47%	10%

Tabella 3.2: percentuale di trend statisticamente significativi ($1-\alpha=95\%$) rispetto al totale del campione (nr.=49).

Per quanto riguarda la distribuzione degli incrementi a livello nazionale emergono alcune interessanti differenze tra l'area centro-settentrionale del Paese e quella meridionale-insulare. Al centro-nord tra il 1979 e il 2016 l'aumento delle temperature nel periodo maggio-agosto è stato superiore di 0.42 °C rispetto a quanto osservato al Sud, sia per i valori medi che per quelli massimi. Settembre non è stato considerato in quanto i trend non sono statisticamente significativi.

Entrando maggiormente nel dettaglio, i mesi in cui le differenze risultano più marcate sono maggio, giugno e luglio, con scarti rispetto all'area meridionale-insulare di, rispettivamente, +0.3 °C, +0.8 °C e +0.3 °C per le T. medie e di +0.2°C, +0.7 °C e +0.4 °C per le T. Massime. Agosto mostra differenze inferiori al decimo di grado, ma sempre appannaggio del Nord. Particolarmente rilevante il dato di giugno, che sull'Italia centro-settentrionale ha fatto registrare aumenti ben superiori rispetto a quelli osservati nei restanti mesi; sulle regioni meridionali e insulari, invece, gli incrementi mensili hanno mostrato un andamento decisamente più regolare (Figure 3.4 e 3.5).

Relativamente alla stagione estiva nel suo complesso la tabella 3.3 mostra la distribuzione territoriale degli incrementi. Anche in questo caso si può notare come il Nord e il Centro si siano scaldati maggiormente rispetto al Sud e alle Isole. Anche all'interno delle due macro-aree possiamo apprezzare alcune interessanti differenze: mentre le località settentrionali e centrali hanno avuto trend simili (differenze inferiori al decimo di grado, in particolare nei valori medi), tra i settori peninsulari del Sud e le Isole si nota uno scarto positivo, in favore dei primi, di 0.5 °C per le temperature medie e di 0.3 °C per le massime. Tra le regioni centrali e il Sud peninsulare, invece, si osservano scarti di 0.4 °C per i valori massimi e di 0.2 °C per quelli medi. In altre parole il riscaldamento estivo avvenuto negli ultimi 38 anni mostra un chiaro gradiente latitudinale, con i massimi al Centro-nord e i minimi relativi al Sud e sulle Isole.

Tale andamento va probabilmente imputato al fatto che le Isole e gran parte del Sud peninsulare risentono maggiormente dell'inerzia termica delle acque del mar Mediterraneo e pertanto tendono a scalarsi con un ritmo leggermente inferiore rispetto alle zone settentrionali e centrali (entrambe più vicine geograficamente, rispetto al Meridione, all'area continentale europea). Anche a livello globale ed emisferico l'aumento delle temperature osservato negli ultimi decenni risulta ben più marcato sui continenti che negli oceani (NCDC-NOAA, 2016).

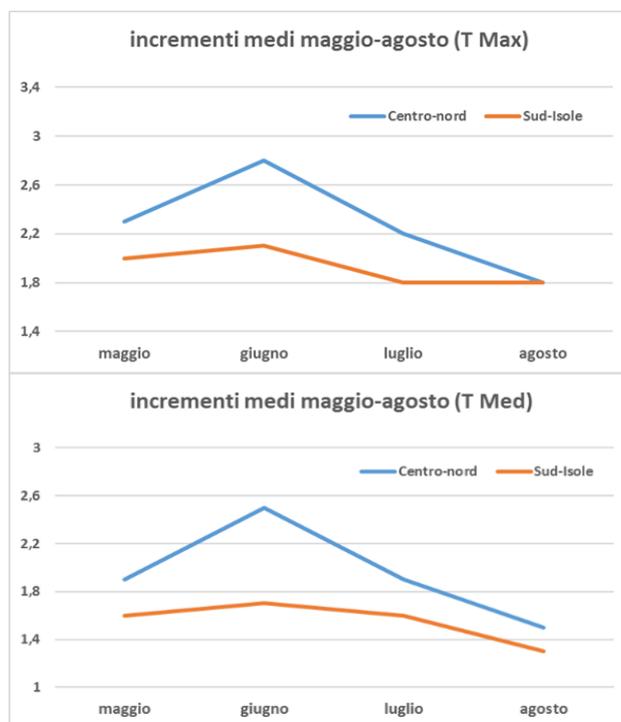


Figure 3.4-3.5: confronto tra incrementi termici nel periodo maggio-agosto. Si noti la maggior regolarità dell'area Sud-Isole rispetto al Centro-nord, dove spiccano i valori molto elevati di giugno.

AREA	ESTATE T MEDIA			ESTATE T MAX		
	°C/decade	dv.st	°C	°C/decade	dv.st	°C
NORD	0,52	0,12	1,98	0,57	0,17	2,17
CENTRO	0,53	0,13	2,01	0,65	0,23	2,47
CENTRO-NORD	0,53	0,13	2,00	0,61	0,2	2,32
SUD	0,47	0,12	1,79	0,54	0,20	2,05
ISOLE	0,33	0,12	1,25	0,45	0,28	1,71
SUD-ISOLE	0,40	0,12	1,52	0,50	0,24	1,91
ITALIA	0,47	0,13	1,76	0,56	0,22	2,08

Tabella 3.3: incrementi decadal e complessivi tra il 1979 e il 2016 divisi per macro-aree e sottoaree.

Il fatto che l'Italia centro-settentrionale si sia scaldata maggiormente rispetto a quella meridionale e insulare ha contribuito a ridurre leggermente le già modeste differenze termiche estive tra le due parti del Paese. In altre parole la stagione che più avvicina climaticamente Nord e Sud, ovverosia l'estate, è divenuta ancor più omogenea grazie all'innalzamento delle temperature avvenuto tra il 1979 e il 2016.

Per le tabelle riassuntive con i trend divisi per mese, località, sottozona e per macro-area si rimanda all'appendice.

Sintesi del paragrafo: *tra il 1979 e il 2016 le temperature medie e massime nei mesi di maggio, giugno, luglio e agosto sono aumentate in maniera statisticamente significativa su tutta Italia. Giugno è il mese che ha mostrato il maggior incremento termico, in particolare sulle regioni centro settentrionali, a seguire maggio e luglio. Settembre non ha mostrato aumenti significativi. Il riscaldamento osservato risulta più marcato sul centro-nord della Penisola e tende a ridursi gradualmente spostandosi verso le regioni meridionali e le Isole. Questo gradiente latitudinale ha contribuito a ridurre le già modeste differenze termiche che esistono nella stagione estiva tra il Nord e il Sud del Paese.*

3.2 Le due fasi termiche e il possibile cambio di circolazione degli anni '90

3.2.1 Il "salto" termico tra il 1979-1997 e il 1998-2016

Da un'analisi più dettagliata delle serie disponibili è emersa la presenza di due fasi termicamente distinte: una che va dal 1979 al 1997 e l'altra che inizia del 1998 e prosegue fino ad oggi. Osservando i grafici sottostanti (Figure 3.6-3.7) si può notare, grazie all'andamento della curva termica, come questa distinzione risulti particolarmente evidente nel trimestre estivo. In corrispondenza dei due periodi sopraccitati, infatti, le temperature tendono a stabilizzarsi, ma mentre tra il 1979 e il 1997 la curva si appiattisce dopo un iniziale, evidente, innalzamento, tra il 1998 e il 2016 si può apprezzare un vero e proprio plateau termico (in particolare per la T. Media). Quest'ultimo periodo risulta decisamente più caldo del precedente, con un incremento, a livello nazionale, di circa 1.3 °C per i valori massimi e di 1.1 °C per quelli medi. La netta variazione termica tra le due fasi temporali e il particolare andamento delle curve suggerisce la presenza, intorno al 1997-1998, di un break-point.

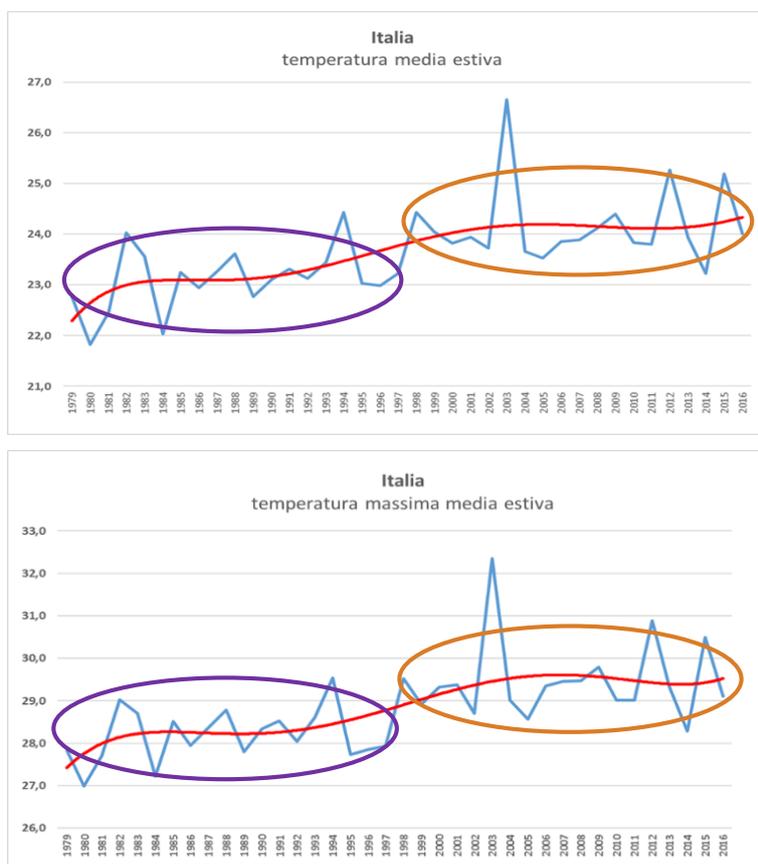


Figure 3.6-3.7: andamento delle temperature massime e medie nel trimestre estivo in Italia. In evidenza i due periodi caratterizzati dalla stabilizzazione termica. Si noti il "salto" tra i '97 e il '98.

Le due fasi termiche nel trimestre estivo sono state individuate non soltanto a livello nazionale, ma anche macro-regionale (Figure 3.8-3.9-3.10-3.11). I grafici di seguito evidenziano come l'andamento delle curve nelle due aree del Paese risulti del tutto analogo; questa similarità è molto importante, poiché ci dice che il salto termico ha riguardato indistintamente tutta Italia senza significative differenze geografiche, o temporali.

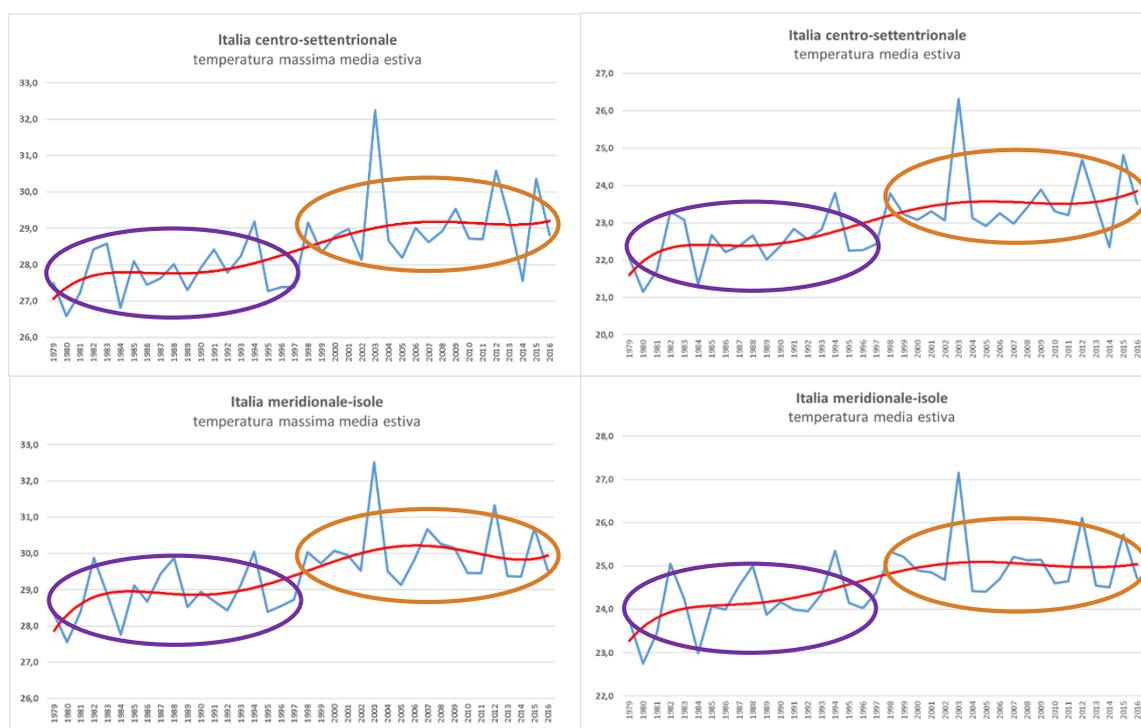


Figure 3.8-3.11: andamento delle temperature massime e medie nel trimestre estivo nelle macro-aree “centro-settentrionale” (sopra) e “meridionale-insulare” (sotto). In evidenza i due periodi caratterizzati dalla stabilizzazione termica. Si noti la coerenza delle curve tra le due macro-aree.

Le figure 3.12-3.13 mostrano gli incrementi termici mensili divisi per macro-area del periodo 1998-2016 rispetto al 1979-1997. In generale gli aumenti sono stati del tutto simili con la sola, evidente, eccezione del mese di giugno, durante il quale il balzo termico è stato decisamente superiore sulle regioni centro settentrionali; sia i valori medi che quelli massimi sono aumentati di mezzo grado in più rispetto a quanto rilevato sull'area meridionale-insulare. Ancora una volta, quindi, i dati identificano in giugno il mese che maggiormente ha mostrato gli effetti del recente riscaldamento climatico estivo, con un'evidente sbilanciamento verso la parte centro-settentrionale del Paese.

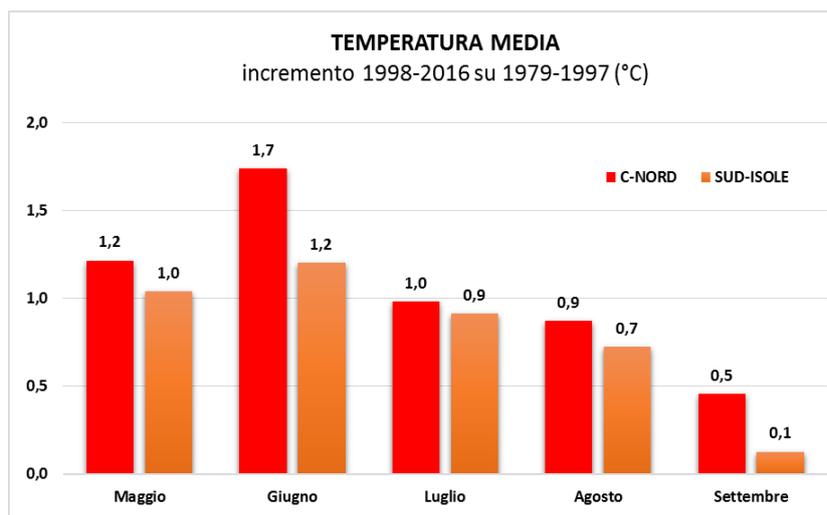


Figura 3.12: incrementi medi mensili della temperatura media nel periodo 1998-2016 rispetto al periodo 1979-1997, divisi per macro-aree. Si noti il picco di giugno e come si concentri in particolare al centro-nord.

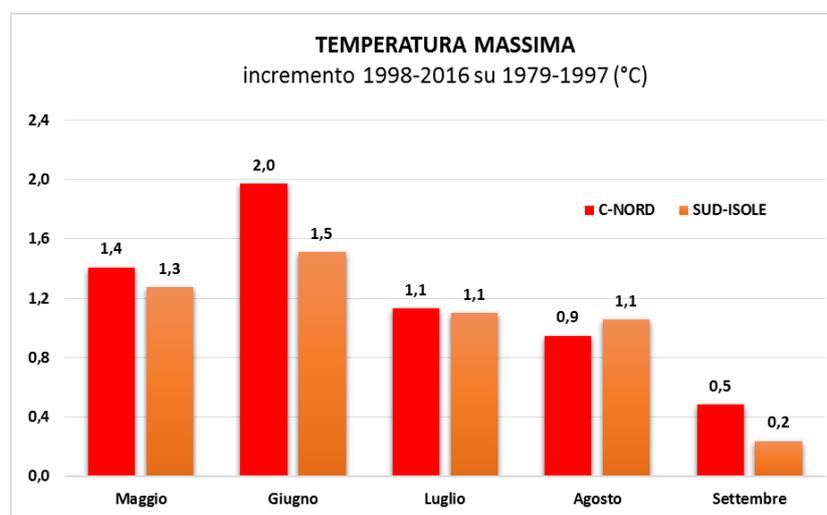


Tabella 3.13: incrementi medi mensili della temperatura massima nel periodo 1998-2016 rispetto al periodo 1979-1997, divisi per macro-aree. Si noti il picco di giugno e come si concentri in particolare al centro-nord.

Anche nel mese di maggio si può cogliere la presenza delle due fasi che però, a differenza del trimestre giugno-luglio-agosto, sembrano essere legate più ad un cambio di segno del trend piuttosto che ad una stabilizzazione dell'andamento termico. In ogni caso, anche per il mese in oggetto, il periodo 1998-2016 risulta ben più caldo del 1979-1997, con un incremento medio nazionale di 1.1 °C per le temperature medie e 1.4 °C per le temperature massime. Settembre, infine, coerentemente con l'assenza di trend significativi, risulta privo di fasi termiche nettamente distinte e mostra differenze tra i due periodi del tutto trascurabili (tabelle 3.4-3.5).

In conclusione riportiamo le variazioni della temperatura media estiva nei due periodi relative ad ognuna delle 49 stazioni meteorologiche esaminate in questo lavoro di tesi (Figure 3.13-3.14). Le differenze tra il 1979-1997 e il 1998-2016, anche a livello della singola località, appaiono evidenti e marcate, confermando ancora una volta la portata geografica dell'evento (stesso andamento per le temperature massime, per i grafici relativi si rimanda all'appendice). Osservando le figure 3.15 e 3.16, infine, si può apprezzare visivamente il salto termico, a livello nazionale, in ognuno dei 5 mesi considerati.

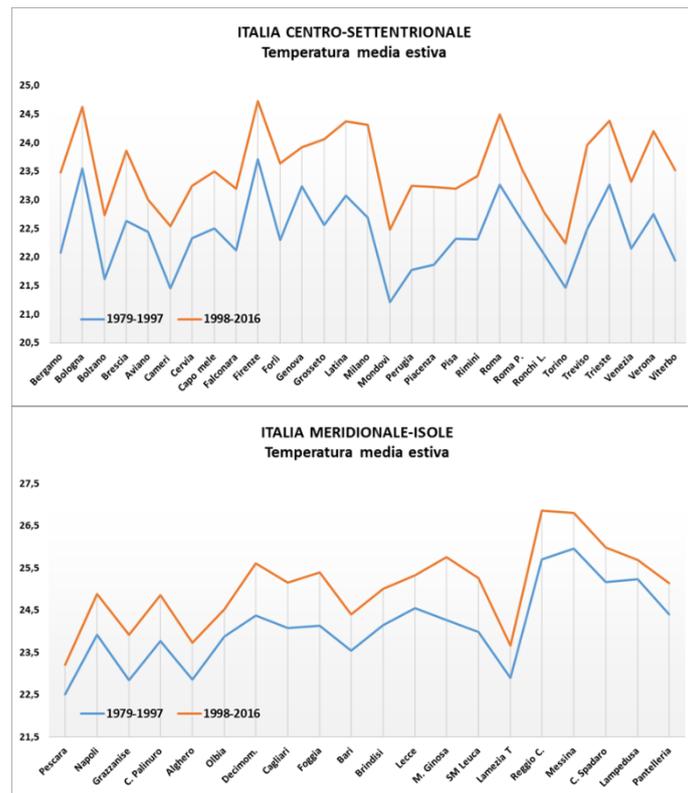


Figure 3.13-3.14: confronto tra le temperature medie estive del periodo 1979-1997 e 1998-2016 (49 località divise per macro-aree).

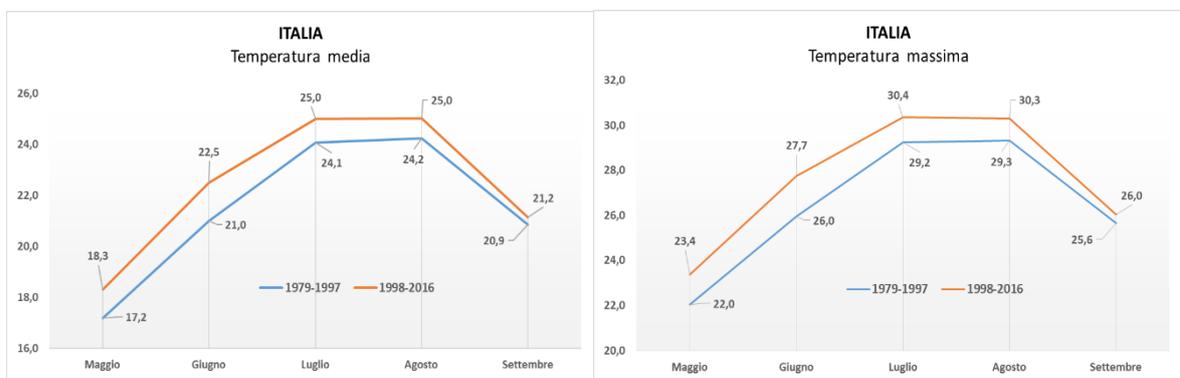


Figure 3.15-3.16: confronto tra le temperature medie (sinistra) e massime (destra) del periodo 1979-1997 e del periodo 1998-2016 (mesi di maggio, giugno, luglio, agosto e settembre)

3.2.2 Il possibile cambio nella circolazione atmosferica

Nel sotto paragrafo 3.2.1 è stata evidenziata la presenza di due fasi termiche distinte: una, più fredda, collocabile tra il 1979 e il 1997, la seconda, più calda, tra il 1998 e il 2016. I due periodi sono divisi da una discontinuità nelle curve di temperatura ben individuabile alla fine degli anni '90 e che risulta presente sia nella porzione centro-settentrionale del Paese, che in quella meridionale-insulare. L'entità degli scarti termici tra il primo e il secondo periodo e la coerenza geografica/temporale, ha indotto lo scrivente a condurre un'analisi comparativa di alcune variabili fisiche con l'obiettivo di verificare se, dietro un simile cambiamento, vi fossero variazioni nella circolazione atmosferica.

L'indagine, condotta sul dominio euro-mediterraneo, si è concentrata sull'andamento delle anomalie, rispetto alla normale 1981-2010, delle seguenti grandezze meteorologiche:

- ❖ Altezza geopotenziale della superficie isobarica di 500 hPa;
- ❖ Velocità dei venti zonali a 500 hPa;
- ❖ Temperatura media a 10 metri;
- ❖ Pressione atmosferica al livello del suolo;

Dall'analisi è emerso che nelle due fasi considerate le anomalie dei parametri elencati risultano di segno opposto; in altre parole aree caratterizzate da scarti negativi tra il 1979 e il 1997 si distinguono, tra il 1998 e il 2016, per anomalie marcatamente positive e viceversa. Quanto osservato può essere ricondotto ad un significativo cambio della circolazione atmosferica su Europa, nord Atlantico e Mediterraneo nel periodo maggio-settembre.

Di seguito vengono descritte, nel dettaglio, le anomalie rilevate per ogni grandezza fisica selezionata e il possibile significato a livello circolatorio:

1. **Altezza Geopotenziale (500 hPa):** nel periodo 1979-1997 su gran parte del continente europeo (Italia compresa) l'isobara a 500 hPa si trova ad un'altezza inferiore rispetto alla media di riferimento 1981-2010, nel periodo 1998-2016, al contrario, le altezze risultano decisamente più alte della normale climatica. Complessivamente tra la prima e la seconda fase si osserva, in Italia, un aumento medio di 8-10 metri dell'altezza del geopotenziale tra maggio e settembre, valore che supera abbondantemente i 20 metri sull'Europa orientale e a nord dell'Islanda. Di contro si rileva un lieve calo delle altezze sul nord Atlantico e

sulle Isole Britanniche (Figure 3.17-3.18). Un aumento del geopotenziale riflette, in termini fisici, un incremento della temperatura negli strati atmosferici sottostanti ed una possibile maggior frequenza/persistenza delle figure anticicloniche. Alti valori del geopotenziale dei 500 hPa, infatti, sono riconducibili a promontori o aree di alta pressione, mentre valori bassi indicano saccature o cicloni.

In conclusione, quindi, le anomalie positive osservate nel periodo 1998-2016 sono probabilmente conseguenza di fasi anticicloniche più frequenti e durature, mentre i valori negativi tra il 1979 e il 1997 indicano condizioni di maggior instabilità atmosferica. Quanto riscontrato risulta solidale con i risultati IPCC 2012 e con svariate pubblicazioni scientifiche, tra cui quella di N. Christidis e P. A. Scott del 2015.

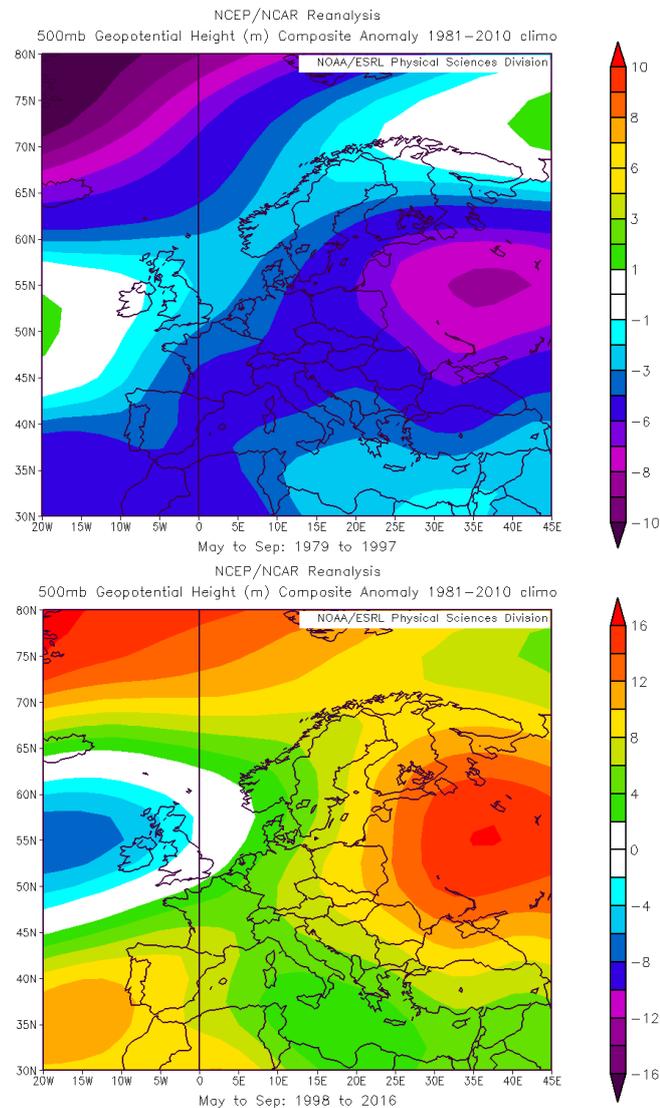


Figure 3.17-3.18: anomalie dell'altezza geopotenziale dell'isobara a 500 hPa nel periodo 1979-1997 (sopra) e 1998-2016 (sotto). Si noti la distribuzione opposta delle stesse.

2. **Velocità dei venti zionali a 500 hPa:** le correnti occidentali (*zonal wind* o *westerlies*) sono un elemento fondamentale della circolazione generale dell'atmosfera e rappresentano i venti dominanti alle medie latitudini (tra il 30° e il 60° Nord/Sud). Variazioni significative nella loro intensità, direzione e costanza possono causare importanti mutamenti nei pattern meteorologici a grande scala (T. Reichler, 2009).

Tra il 1998 e il 2016 si osserva una riduzione dell'intensità delle correnti zionali a 500 hPa (5500 metri circa) su gran parte del Mediterraneo e sul Mar di Norvegia, mentre la stessa mostra un significativo incremento sull'Europa occidentale, sul nord Atlantico e sul nord Africa. Questo, a livello circolatorio, indica un aumento dell'instabilità atmosferica su Spagna settentrionale, Francia, Irlanda e Inghilterra, mentre su parte dell'Italia, sui Balcani e sul mar di Norvegia l'indebolimento dei venti occidentali si traduce in un aumento della stabilità. Viceversa, nel periodo 1979-1997, i venti zionali risultano più intensi della norma sul nord Atlantico, su parte del bacino del Mediterraneo e sull'Italia meridionale, mentre anomalie negative si osservano sull'Europa centro occidentale e sulla Scandinavia (figure 3.19-3.20); il tutto con effetti circolatori opposti rispetto a quanto descritto per il 1998-2016.

Correnti zionali intense indicano minori scambi di calore nord-sud con conseguente riduzione della frequenza e dell'intensità di promontori anticiclonici e di saccature, mentre venti zionali più deboli hanno effetto opposto.

In definitiva le anomalie negative riscontrate sul Mediterraneo e sui Balcani nel periodo 1998-2016 sono probabilmente il risultato di una maggior presenza di promontori anticiclonici di matrice africana. Tra il 1979 e il 1997, invece, gli scarti negativi osservati suggeriscono che i principali centri di azione delle alte pressioni gravitassero più ad ovest, ovverosia su Europa occidentale, alto Marocco e Algeria settentrionale (riconducibili, rispettivamente, al ramo settentrionale e meridionale del braccio orientale dell'anticiclone delle Azzorre). Osservando le due figure sottostanti si può apprezzare la netta discontinuità tra i due periodi oggetto di studio.

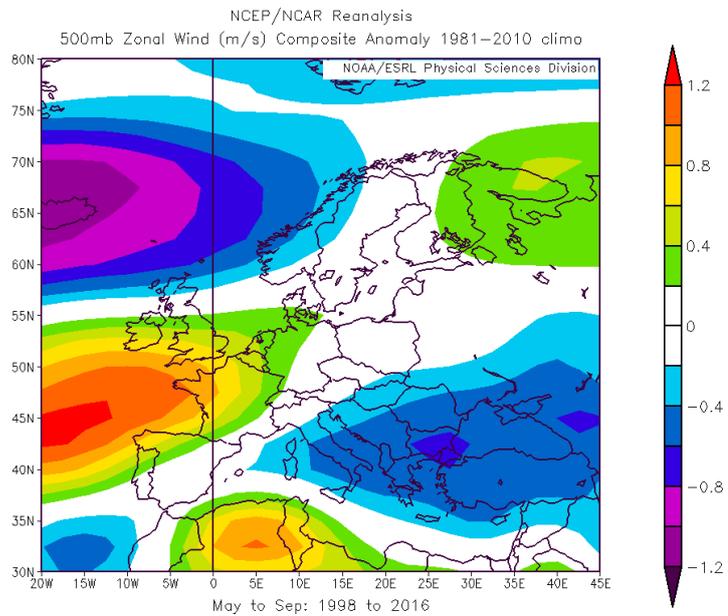
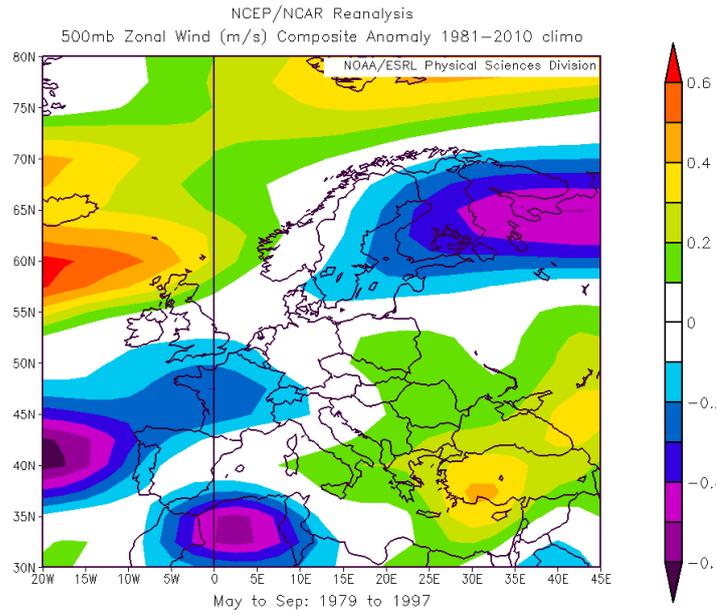


Figure 3.19-3.20: anomalie dei venti zonali a 500 hPa nel periodo 1979-1997 (sopra) e 1998-2016 (sotto). Si noti la netta discontinuità tra le due fasi temporali.

3. **Temperatura media a 10 metri:** i mutamenti descritti per i venti zonali e per l'altezza geopotenziale dell'isobara a 500 hPa risultano del tutto coerenti con le variazioni di temperatura osservate tra i due periodi oggetto di studio.

Le figure 3.21 e 3.22 mostrano il sensibile aumento dei valori medi avvenuto tra il 1998 e il 2016 a scala continentale, con incrementi prossimi ai 2 °C sulla penisola Scandinava e sull'Europa orientale. Interessante notare come le aree interessate dagli aumenti termici più vistosi siano le stesse ad aver mostrato le anomalie positive più marcate di geopotenziale e i maggiori scarti negativi di intensità dei venti zonali.

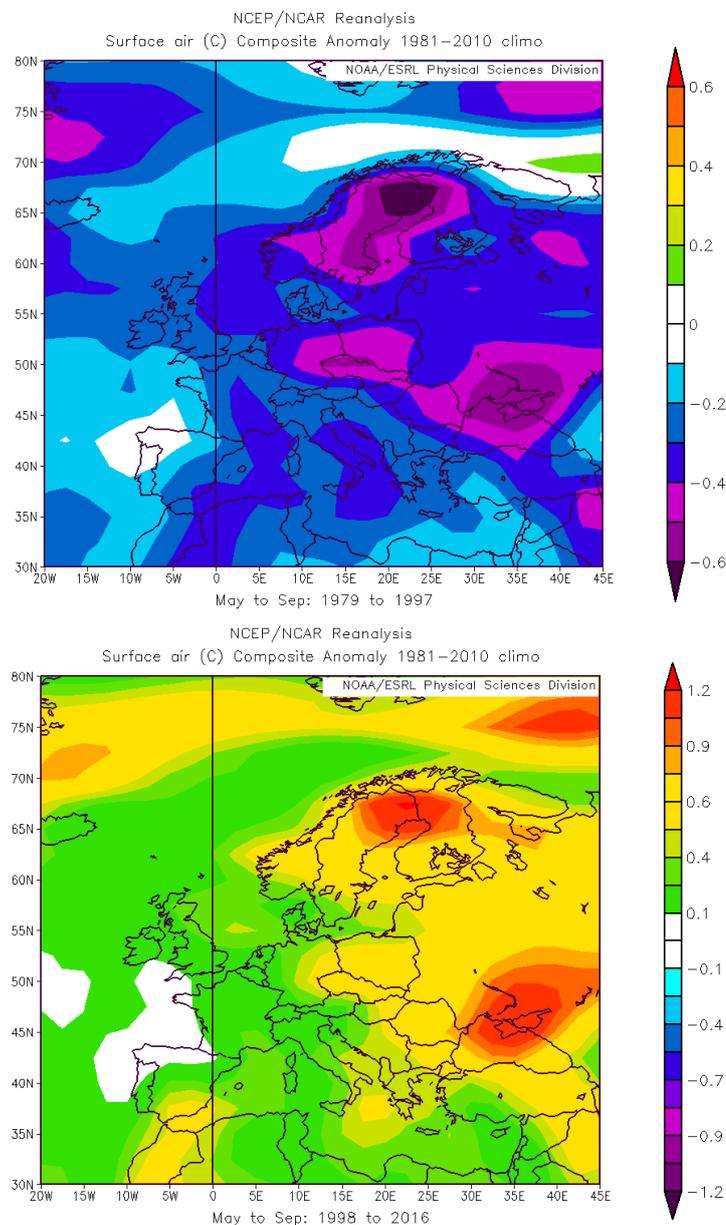


Figure 3.21-3.22: anomalie di temperatura al suolo nei periodi 1979-1997 e 1998-2016.

4. **Pressione al livello del suolo:** anche l'ultima variabile considerata risulta coerente con un mutamento della circolazione atmosferica e può essere interpretata come conseguenza dell'aumento delle temperature al suolo e dell'altezza geopotenziale media, nonché come risposta alla variazione dei venti zonali a 500 hPa.

Nel periodo 1998-2016, rispetto ai 18 anni precedenti, si è registrato un generale calo della pressione al suolo sul nord Europa, su parte degli stati centrali, sui Balcani e sul Mediterraneo, mentre un aumento ha riguardato il mar di Norvegia, l'Islanda e l'Europa nord orientale (Figure 3.23-3.24).

Per quanto riguarda il Bacino del Mediterraneo e gran parte delle aree continentali la diminuzione della pressione al suolo può essere riconducibile ad un maggior sollevamento della massa d'aria causato dalle temperature più alte, a loro volta legate alla maggior frequenza di promontori anticiclonici (cui si associano forte subsidenza e valori di geopotenziale elevati). Relativamente al sollevamento della massa d'aria e al conseguente calo della pressione al suolo, va ricordato che stiamo trattando un periodo dell'anno (maggio-settembre) durante il quale la convezione è predominante in virtù del forte soleggiamento. Relativamente alle Isole Britanniche e al nord Atlantico la diminuzione della pressione al suolo è con molta probabilità legata all'intensificazione delle correnti zonali cui, solitamente, si associano sistemi frontali e aree depressionarie.

Il periodo 1979-1997, invece, vedeva valori di pressione generalmente superiori in quanto le temperature medie, sia delle aree continentali che del mar Mediterraneo, erano inferiori. Per quanto riguarda il nord Atlantico e le Isole Britanniche, invece, la pressione più alta al suolo era probabile conseguenza di una maggior ingerenza dell'anticiclone delle Azzorre e di una *strom-track* più settentrionale.

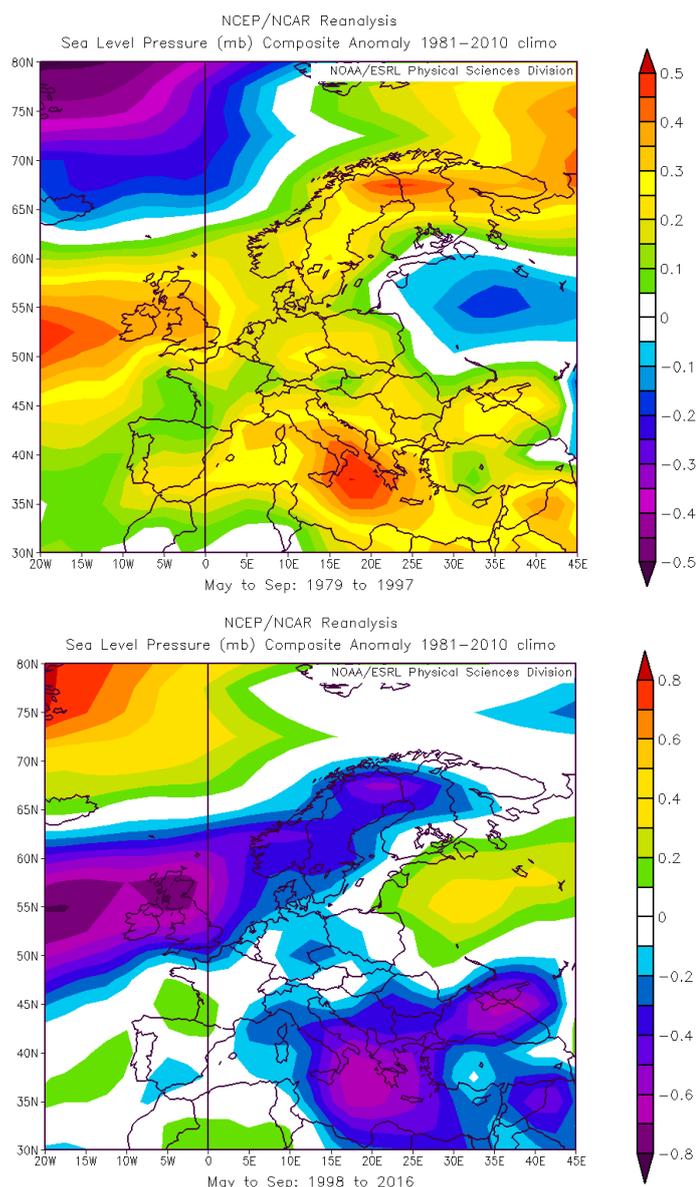


Figure 3.23-3.24: anomalie della pressione al suolo nei periodi 1979-1997 e 1998-2016. Si noti, anche per questa variabile, la discontinuità tra le due fasi.

Il confronto delle anomalie delle quattro variabili considerate ha messo in luce un probabile cambiamento della circolazione a scala europea nel periodo maggio-settembre avvenuto alla fine degli anni '90. In Italia questo cambiamento si è tradotto, tra il 1998 e il 2016, in un aumento della frequenza degli anticicloni (incremento dell'altezza geopotenziale dei 500 hPa) e in un mutamento della loro tipologia (indebolimento dei venti zonali con conseguente maggior frequenza di scambi meridiani e, quindi, di promontori di blocco). Ciò ha causato un innalzamento delle temperature medie e una conseguente diminuzione della pressione al suolo

Interessante sottolineare che il mese che ha fatto registrare i cambiamenti più marcati nei parametri fisici analizzati, e quindi nella circolazione, è stato giugno. Particolarmente indicative, a tal proposito, le figure 3.25-3.26 che confrontano le anomalie dell'altezza geopotenziale dei 500 hPa del periodo 1979-1997 con quelle del periodo 1998-2016. Gli scarti sono particolarmente pronunciati tra Europa centrale e Italia centro-settentrionale con un balzo del geopotenziale medio, in 38 anni, oscillante tra i 28 e i 32 metri; un incremento che, al di sotto del 70° parallelo Nord, non ha eguali. Decisamente meno importante, invece, la variazione dell'altezza geopotenziale sulla parte meridionale-insulare del Paese (pari a circa metà di quella osservata sulle regioni centro-settentrionali).

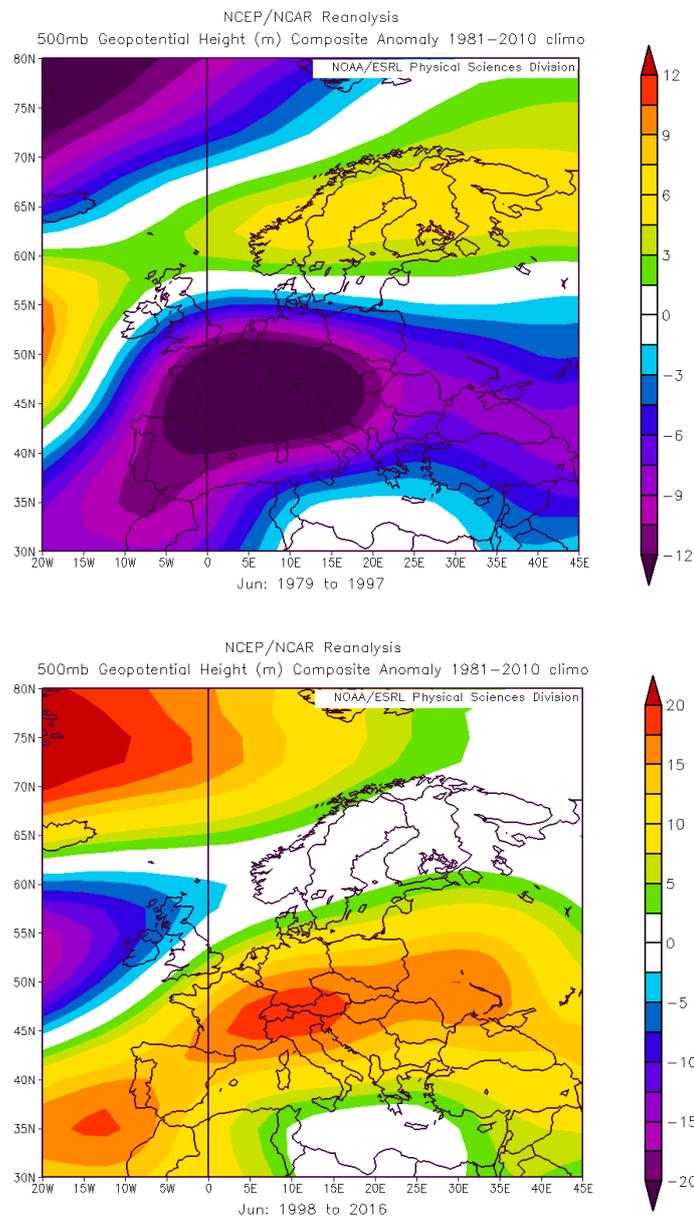


Figure 3.25-3.26: anomalie dell'altezza geopotenziale dell'isobara a 500 hPa a giugno nel periodo 1979-1997 (sopra) e 1998-2016 (sotto). Si noti la distribuzione opposta delle stesse e gli estremi su Nord Italia ed Europa centrale. Spostandosi verso sud l'anomalia tende ad attenuarsi.

Quanto descritto aiuta a spiegare non soltanto perché il balzo termico di giugno nel periodo 1998-2016 è stato superiore al centro-nord rispetto al Sud, ma anche perché, in generale, il mese in oggetto abbia registrato il trend di crescita più marcato (sempre sulle regioni centro-settentrionali). Con molta probabilità il maggiore incremento dell'altezza geopotenziale a 500 hPa rispetto al Sud Italia (e ai mesi di maggio, luglio e agosto) si è tradotto in un aumento più vistoso delle temperature. Ricordiamo, infatti, che ad un incremento del geopotenziale in quota corrisponde un'intensificazione della subsidenza e quindi un riscaldamento della colonna d'aria.

Il cambio di circolazione descritto per giugno trova conforto anche nell'individuazione di break point statisticamente significativi all'interno delle serie termiche esaminate. I punti di discontinuità cadono tutti tra il 1995 e il 1997 e sono stati osservati sia a livello nazionale che macro-regionale (Figure 3.27-3.28-3.29). Importante sottolineare la coerenza temporale tra i break point statistici e le analisi della circolazione e delle curve polinomiali, tutti concordi nel collocare il salto termico alla fine degli anni novanta. Break point sono stati individuati anche in città molto popolate come Roma e Milano, rispettivamente nel 1996 e nel 1995.

Di seguito sono elencati i risultati dell'analisi, si noti la stabilità delle curve prima e dopo il salto e la notevole differenza termica tra il primo e il secondo periodo.

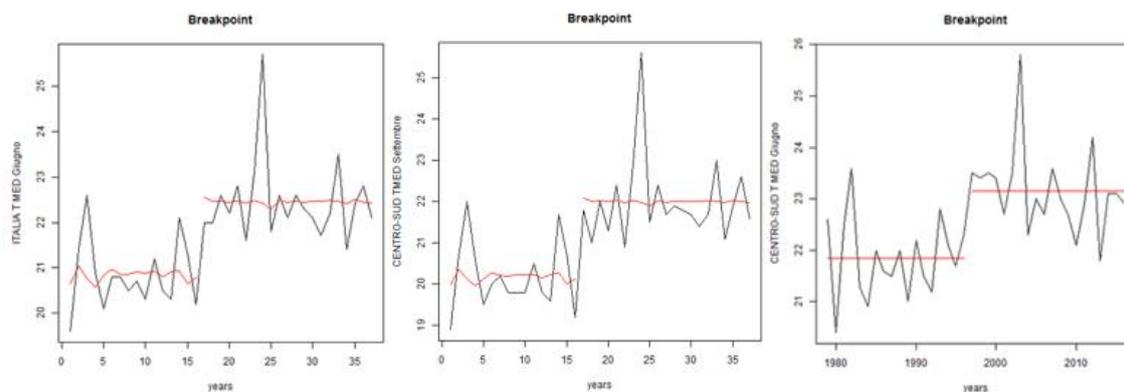


Figure 3.27-3.29: break point statistici T. media individuati nel mese di giugno (significatività $\geq 95\%$). Da sinistra verso destra: temperatura media Italia, break point 1995; temperatura media area centro-settentrionale, break point 1995; temperatura media area meridionale-isole, break point 1997.

3.2.3 1998-2016: un “new normal” climatico per l’estate?

Tra i due periodi fin qui descritti, il 1998-2016 si distingue per la particolare stabilità delle temperature estive. Analizzando le serie disponibili, infatti, si nota l’assenza di qualsiasi tipo di trend, sia per i valori massimi che per quelli medi e questo non soltanto a livello nazionale (Figure 3.30-3.31), ma anche macro-regionale. Il 1979-1997, invece, risulta più variabile, con un iniziale aumento delle temperature (tra il 1979 e il 1984) cui seguono una temporanea stabilizzazione ed un nuovo incremento in prossimità del break-point del 1997-1998. Il fatto che il periodo più stabile dei due coincida con gli anni più recenti porta inevitabilmente a considerarlo come rappresentativo dell’attuale fase climatica estiva. Quindi, in assenza di repentine forzanti ad oggi difficilmente prevedibili, è lecito attendersi, negli anni a venire, estati molto più simili a quelle vissute negli ultimi 18 anni che non a quelle che caratterizzavano il periodo precedente. In ultima analisi si può, pertanto, parlare di un *new normal* stagionale, caratterizzato da temperature medie e massime più elevate rispetto al passato e legate, con molta probabilità, ad un probabile cambio della circolazione atmosferica a scala euro-mediterranea.

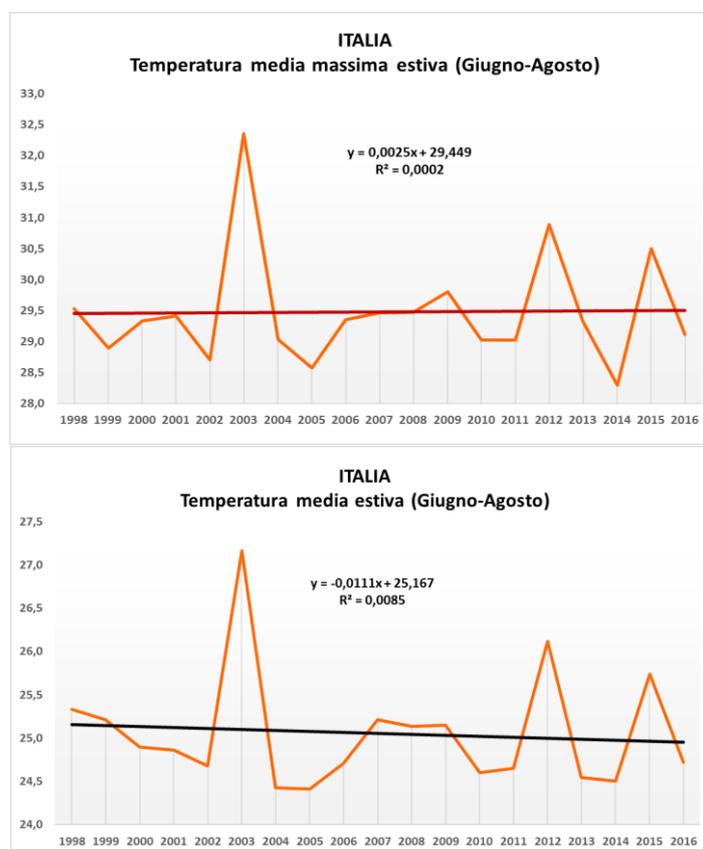


Figure 3.30-3.31: andamento delle temperature massime (sopra) e medie (sotto) in Italia tra il 1998 e il 2016. Si noti l’assenza di trend, in particolare per le temperature massime.

Sintesi del paragrafo: *tra il 1979 e il 2016 sono stati individuati due sotto-periodi termicamente distinti tra loro: uno che va dal 1979 al 1997, un altro che inizia nel 1998 e prosegue fino ad oggi. All'interno delle due fasi le curve tendono a disegnare dei plateau, indicando quindi una temporanea stabilizzazione delle temperature. Il periodo 1998-2016 risulta decisamente più caldo del primo con incrementi medi, nel trimestre estivo, superiori al grado. La presenza dei due periodi è stata riscontrata sia a livello nazionale che macro-regionale. Alla base di una così netta discontinuità termica pare esserci un cambio della circolazione atmosferica sul comparto euro-mediterraneo; tra il 1979-1997 e il 1998-2016, infatti, il segno delle anomalie di alcune importanti variabili fisiche (venti zonali e altezza geopotenziale in primis) risulta invertito. La presenza di un break-point circolatorio e termico risulta particolarmente evidente a giugno che, soprattutto sulle regioni centro-settentrionali, mostra incrementi termici superiori ai restanti mesi analizzati. La totale assenza di trend nel periodo 1998-2016 e il fatto che coincida con gli anni più recenti, porta a considerarlo come rappresentativo dell'attuale andamento climatico estivo. Su questa base è lecito attendersi che le future estati, in assenza di repentine forzanti climatiche ad oggi difficilmente prevedibili, risultino simili a quelle che abbiamo vissuto negli ultimi 18 anni.*

4. LE CONDIZIONI BIOCLIMATICHE ESTIVE IN ITALIA TRA IL 1979 E IL 2016

4.1 Il caldo-afoso in Italia e gli indici THI-Humidex

In Italia, durante la stagione estiva, il caldo umido viene spesso identificato con la parola “afa”, tre semplici lettere che riassumono una condizione di disagio fisico causata dalla concomitanza di temperature elevate e alti tassi di umidità. Il malessere legato al cosiddetto “caldo umido” può risultare molto maggiore rispetto ad una situazione nella quale ad alte, o altissime temperature corrispondono umidità molto basse. E’ noto, infatti, che quando l’aria calda è ricca in vapore acqueo uno dei principali sistemi di termoregolazione del corpo, la sudorazione, diventa meno efficace a causa dell’impossibilità, da parte dei liquidi emessi, di evaporare e quindi di ridurre la temperatura del corpo (processo endotermico). Quando invece il caldo è secco, e quindi il contenuto d’umidità è basso, i sistemi di termoregolazione funzionano meglio e la sensazione di disagio è decisamente inferiore. Va tuttavia precisato che, al netto della percezione di disagio, l’eccessiva esposizione a temperature elevate, anche se associate a tassi di umidità estremamente bassi, può rivelarsi comunque dannosa, o addirittura fatale. Infatti se i meccanismi di termoregolazione, quali la vasodilatazione e la diaforesi, non sono adeguatamente sostenuti dal reintegro di liquidi, o da una riduzione dell’esposizione ai raggi solari, il corpo finisce con l’entrare rapidamente in crisi.

La particolare posizione geografica dell’Italia, posta ad una latitudine temperata, circondata dal mare e prossima al continente africano, fa sì che sia particolarmente soggetta in estate a fasi caratterizzate da caldo umido. Quanto questo caldo sia disagiata lo si può dedurre grazie all’utilizzo di alcuni indici bioclimatici che, mettendo in relazione temperatura e umidità, forniscono un valore numerico associabile, a seconda dei casi, a condizioni di confort climatico o di malessere. Ovviamente il concetto di benessere o disagio termo-igrometrico è molto soggettivo e varia in base a numerosi fattori quali: l’età, lo stato fisico e mentale, la tipologia di attività svolta, il tipo di abbigliamento indossato, la durata

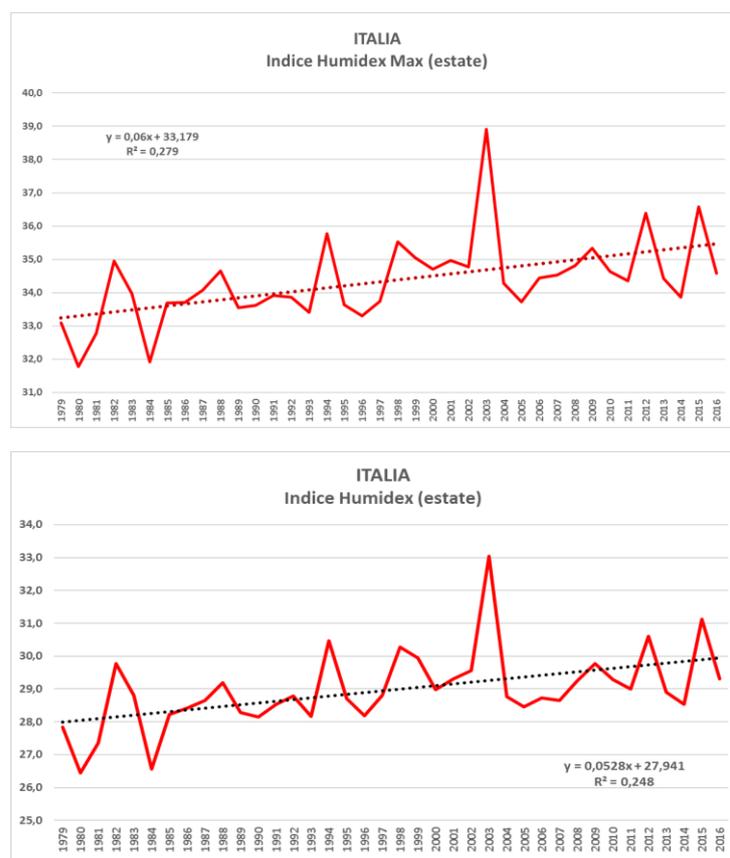
dell'esposizione ed il grado di acclimatazione all'ambiente (Staiger et al., 2010); tuttavia vi sono valori di disagio oltre i quali è ragionevole pensare che il malessere sia generale e diffuso. L'importanza di identificare in maniera chiara e comprensibile il livello di disagio da caldo è fondamentale, in quanto condizioni climatiche particolarmente critiche in estate possono avere effetti importanti sulla salute pubblica determinando un aggravamento di talune patologie in soggetti a rischio (in particolare anziani) e, quindi, favorendo un aumento dei ricoveri ospedalieri e della mortalità (D. O. Astrom et al., 2011; S. Muthers, 2010; K.Y. Lin et al., 2012).

Tra gli indici termo-igrometrici più utilizzati in Europa ed in Italia per descrivere il disagio fisiologico da caldo umido durante l'estate vi sono il Temperature-Humidity Index (THI) e l'Humidex (H). Il primo, sviluppato da Earl C. Thom nel 1959, ha subito alcune piccole modifiche per poi essere diffuso nella formulazione più classica: $THI = 0,55 - 0,0055U) * (T - 14,5)$, dove "T" identifica la temperatura a bulbo secco e "U" l'umidità relativa. Il secondo, ideato in Canada da Masterson & Richardson nel 1979, si basa sul rapporto tra temperatura a bulbo secco (T) e tensione di vapore (P) ed è identificato dalla formula: $H = T + (0,5555 * (P - 10))$. Non è un caso che l'Humidex sia l'indice di riferimento per il "*Sistema Nazionale di Sorveglianza, previsione e di allarme per la prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute della popolazione*" istituito dal Ministero della Salute italiano nel 2004 e recepito dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

4.2 Andamento degli indici bioclimatici tra il 1979 e il 2016

Entrambi gli indici, essendo fortemente dipendenti dalla temperatura, hanno mostrato un significativo incremento tra il 1979 e il 2016, periodo durante il quale, come ampiamente descritto nel terzo capitolo, le temperature estive in Italia sono aumentate sensibilmente. Un incremento dei valori medi e massimi sia dell'Humidex, che del THI si traduce, inevitabilmente, in un aumento del disagio da caldo umido su tutta la Penisola.

Osservando i grafici sottostanti la crescita estiva dei due indici in Italia risulta particolarmente evidente, con ratei decadali superiori al mezzo grado per l'Humidex¹ e intorno a 0.3° per il THI². In termini assoluti la variazione maggiore nel trimestre giugno-agosto ha riguardato l'Humidex, con un aumento di 2 °C per i valori calcolati con la temperatura media e di 2.2 °C per quelli calcolati con la temperatura massima; il THI, invece, ha subito un incremento di 1.2 ° sia per i valori calcolati con le temperature massime, che per quelli ottenuti con le temperature medie (d'ora in poi nel testo verrà fatto riferimento più genericamente a THI e Humidex “medio” e “massimo”).



¹ Per convenzione l'unità di misura dell'indice Humidex si esprime in gradi Celsius (°C)

² L'unità di misura del THI è rappresentata dal solo simbolo “ ° ”

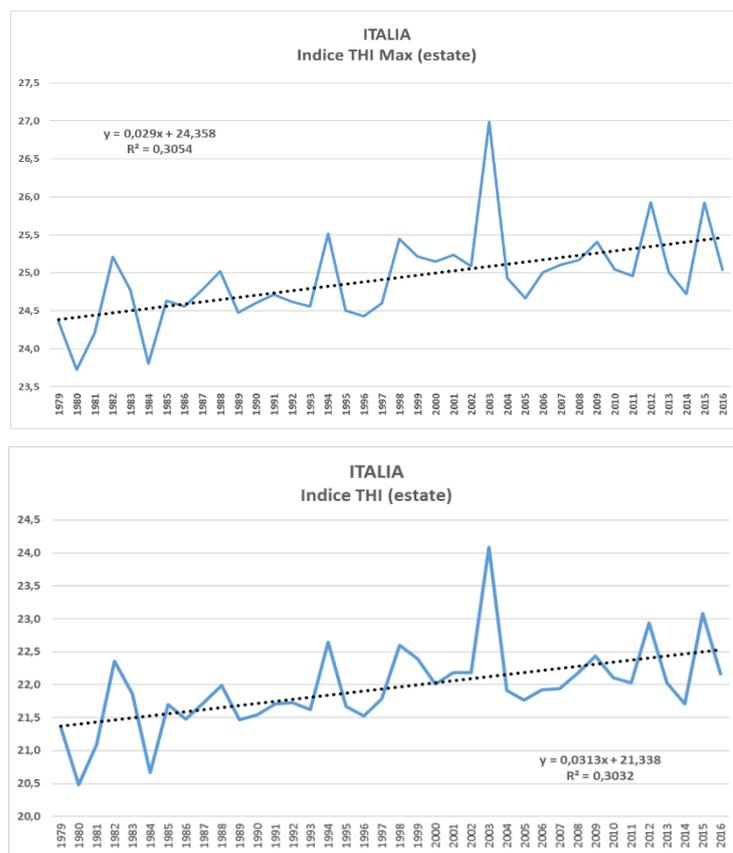


Figure 4.1-4.2-4.3-4.4: andamento dell'indice Humidex massimo e medio (grafici sopra) e THI massimo e medio (grafici sotto) in Italia tra il 1979 e il 2016. È indicata la retta di regressione lineare; il trend individuato è significativo al 99,9% (numerosità del campione analizzato nr.=49).

A livello macro-regionale gli indici di disagio nel trimestre estivo sono aumentati in maniera più marcata sulle regioni centro settentrionali, con incrementi che per l'Humidex hanno raggiunto i 2.5 °C nei valori massimi e i 2.2 °C in quelli medi; al Sud e sulle isole lo stesso indice è cresciuto, rispettivamente, di 2.1 e di 1.8 °C. Per quanto riguarda il THI gli aumenti si sono attestati intorno a 1.2-1.3° al centro nord e intorno al grado sull'area meridionale-insulare. Così come osservato per le temperature, anche gli indici termogrametrici sono aumentati maggiormente sulle regioni centro settentrionali rispetto a quelle meridionali; ciò ha sicuramente contribuito a ridurre, seppur leggermente, le già modeste differenze che sussistono, in termini di disagio da caldo, tra le due aree del Paese.

Se andiamo ad analizzare il dato mensile (tabella 4.1) possiamo notare, coerentemente con quanto osservato per le temperature, che THI e Humidex sono aumentati soprattutto a maggio, giugno e luglio, mentre nel mese di agosto l'incremento si riduce considerevolmente (a settembre non si rilevano trend significativi).

THI MEDIO MENSILE (TREND 1979-2016)			THI MAX MENSILE (TREND 1979-2016)		
ITALIA	VARIAZIONE (°C)	SIGNIFICATIVITA'	ITALIA	VARIAZIONE (°C)	SIGNIFICATIVITA'
MAGGIO	1,4	>95	MAGGIO	1,4	>95
GIUGNO	1,5	>95	GIUGNO	1,5	>95
LUGLIO	1,1	>95	LUGLIO	1	>95
AGOSTO	0,9	>95	AGOSTO	0,8	>95
SETTEMBRE	0,3	NS	SETTEMBRE	0,2	NS
HUMIDEX MEDIO MENSILE (TREND 1979-2016)			HUMIDEX MAX MENSILE (TREND 1979-2016)		
ITALIA	VARIAZIONE (°C)	SIGNIFICATIVITA'	ITALIA	VARIAZIONE (°C)	SIGNIFICATIVITA'
MAGGIO	2	>95	MAGGIO	2,4	>95
GIUGNO	2,7	>95	GIUGNO	3	>95
LUGLIO	2	>95	LUGLIO	2,2	>95
AGOSTO	1,3	NS	AGOSTO	1,7	NS
SETTEMBRE	-0,2	NS	SETTEMBRE	0,1	NS

Tabella 4.1: incrementi degli indici termo-igrometrici tra il 1979 e il 2016 divisi per mese e per tipologia (THI med/max e Humidex med/max). E' riportata la significatività di ogni trend.

Interessante evidenziare, relativamente all'Humidex, il dato di giugno, che mostra una crescita del disagio da caldo ben superiore a tutti i restanti mesi presi in esame (in media 0.6/0.8 °C in più rispetto a maggio e giugno e 1.3/1.4 °C rispetto ad agosto). Anche il THI ha mostrato incrementi maggiori a giugno, ma non paragonabili agli scarti osservati per l'Humidex; in altre parole il THI ha avuto crescite, in particolare nei primi tre mesi, molto simili tra loro. Non solo, come mostrato in tabella (4.1) anche in termini assoluti il THI è cresciuto meno dell'Humidex (all'incirca della metà).

Come si spiega questo diverso comportamento? La causa va ricercata nella diversa composizione delle formule dei due indici termo-igrometrici: il THI viene calcolato con l'umidità relativa, mentre l'Humidex con la tensione di vapore. Mentre negli ultimi 38 anni

l'UR nel trimestre estivo è diminuita del 5,7% (-5,5% a maggio e -6,8% a settembre)³, la tensione di vapore ha mostrato un lieve incremento (figure 4.5-4.6). Questo ha fatto sì che l'aumento dell'indice THI causato dalla variabile termica sia stato in parte compensato dal calo della variabile umica (quindi i mesi che si sono scaldati maggiormente, come giugno, sono quelli che hanno “beneficiato” di più di questa sorta di retroazione negativa).

L'Humidex, al contrario, non essendo state registrate variazioni significative nella tensione di vapore negli ultimi 38 anni, è potuto crescere in maniera più marcata e lo ha fatto soprattutto in concomitanza dei mesi le cui temperature medie e massime sono aumentate maggiormente.

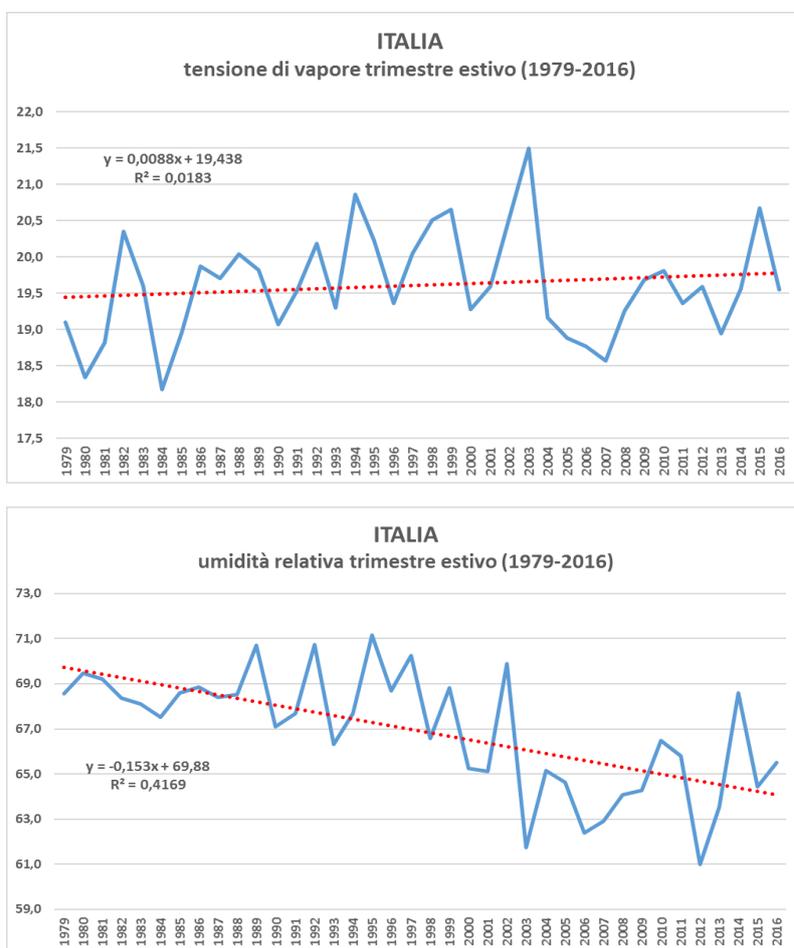


Figure 4.5-4.6: andamento della tensione di vapore nel trimestre estivo (sopra) e della umidità relativa (sotto). Si noti l'andamento opposto dei due trend e in particolare dell'UR, il cui calo appare evidente.

³ I motivi di un calo così evidente dell'umidità relativa non sono stati indagati in questo lavoro di tesi.

Sintesi del paragrafo: *l'aumento delle temperature medie e massime osservato nei mesi estivi in Italia tra il 1979 e il 2016 ha coinciso con un aumento del disagio da caldo in tutto il Paese; i principali indici termo-igrometrici che lo individuano (THI e Humidex), infatti, hanno mostrato incrementi significativi. Particolarmente marcata la crescita dell'Humidex, con punte nei valori massimi fino a +3 °C a giugno al centro-nord. Gli incrementi del THI risultano più stabili rispetto all'Humidex, nonché di minore entità; ciò si può spiegare grazie al calo dell'UR osservato negli ultimi 38 anni, che ha compensato l'aumento delle temperature limitando, in parte, la crescita dell'indice. La tensione di vapore, invece, ha mostrato un lieve incremento favorendo, quindi, la maggior crescita dell'Humidex. Ricordiamo che l'Humidex è l'indice di riferimento per il “Sistema Nazionale di Sorveglianza, previsione e di allarme per la prevenzione degli effetti delle ondate di calore sulla salute della popolazione” istituito dal Ministero della Salute Italiano nel 2004.*

4.3 Le due fasi del disagio da calore afoso: 1979-1997 e 1998-2016

Dall'analisi degli indici termo-igrometrici trattati in questa tesi sono emersi, coerentemente con quanto rilevato per le temperature, due periodi distinti: il primo si colloca tra il 1979 e il 1997, il secondo tra il 1998 e il 2016 (Figure 4.7-4.8). Come nel caso delle temperature la fase più recente si caratterizza per valori di THI e Humidex più elevati rispetto alla prima; il periodo maggio-settembre, a livello nazionale, mostra un incremento di 1.4 °C per l'Humidex massimo e di 1 °C per quello medio, mentre il THI palesa un aumento di 0.8° sia nei valori massimi che in quelli medi. In corrispondenza dei due periodi sopraccitati gli indici termo-igrometrici tendono a stabilizzarsi, ma mentre tra il 1979 e il 1997 la curva si appiattisce dopo un iniziale innalzamento (in particolare per il THI), tra il 1998 e il 2016 si può apprezzare un chiaro plateau. Anche in questo caso la netta variazione tra le due fasi temporali e il particolare andamento delle curve suggerisce la presenza, dopo metà degli anni '90, di un break point. Le due fasi sono state riscontrate anche nel mese di maggio, mentre settembre si caratterizza per un andamento regolare coerentemente con l'assenza di trend significativi.

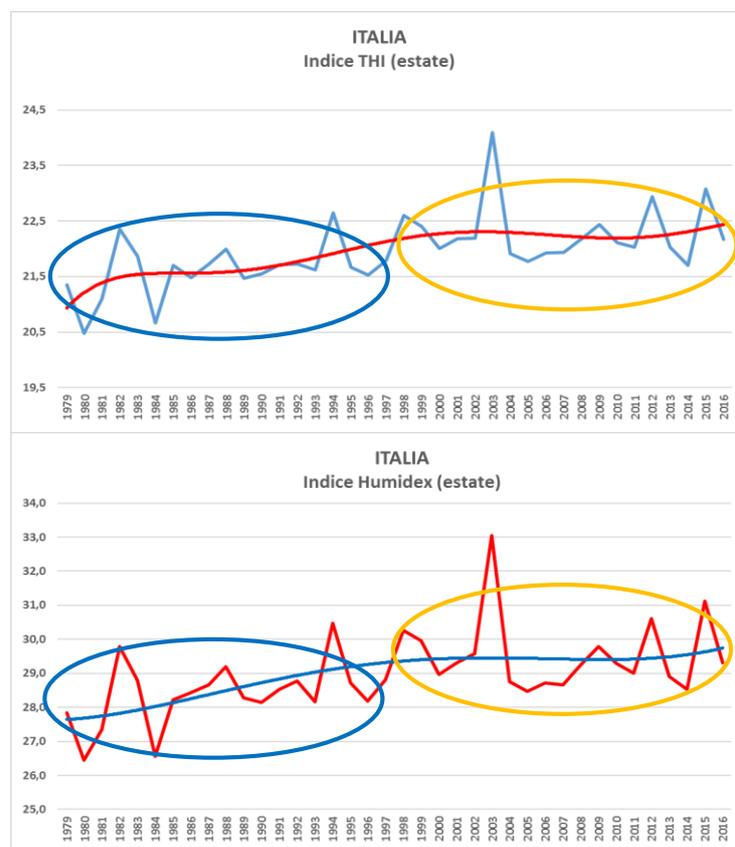


Figure 4.7-4.8: andamento degli indici THI e Humidex medi nel trimestre estivo in Italia. In evidenza i due periodi. Le fasi si riscontrano anche per i valori massimi e all'interno delle macro-aree.

I grafici sottostanti (4.9-4.12) mostrano gli incrementi mensili dei due indici divisi per macro-area nel periodo 1998-2016 rispetto al 1979-1997. In generale gli aumenti all'interno dei singoli mesi sono stati simili su tutto il territorio nazionale, con la sola eccezione del mese di giugno, durante il quale il salto è stato decisamente superiore sulle regioni centro-settentrionali. I valori medi e massimi di Humidex sono aumentati 0.7 °C in più rispetto all'area meridionale-insulare, mentre per il THI lo scarto si attesta intorno agli 0.4°. Anche nel caso degli indici termo-igrometrici i dati identificano in giugno il mese che maggiormente ha mostrato gli effetti del recente riscaldamento climatico estivo, con un'evidente sbilanciamento verso la parte centro-settentrionale del Paese.

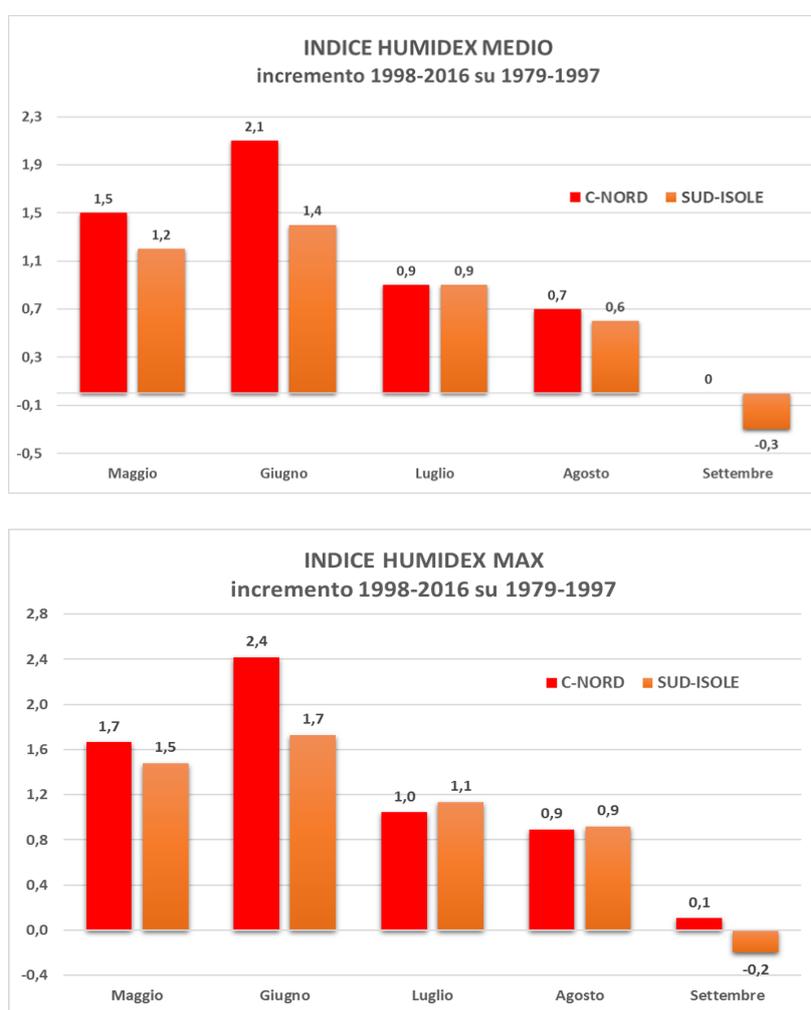


Figure 4.9-4.10: incrementi dell'indice Humidex medio e massimo nel periodo 1998-2016 rispetto al periodo 1979-1997, divisi per macro-aree. Si noti il picco di giugno e come si concentra in particolare sulle regioni centro settentrionali.

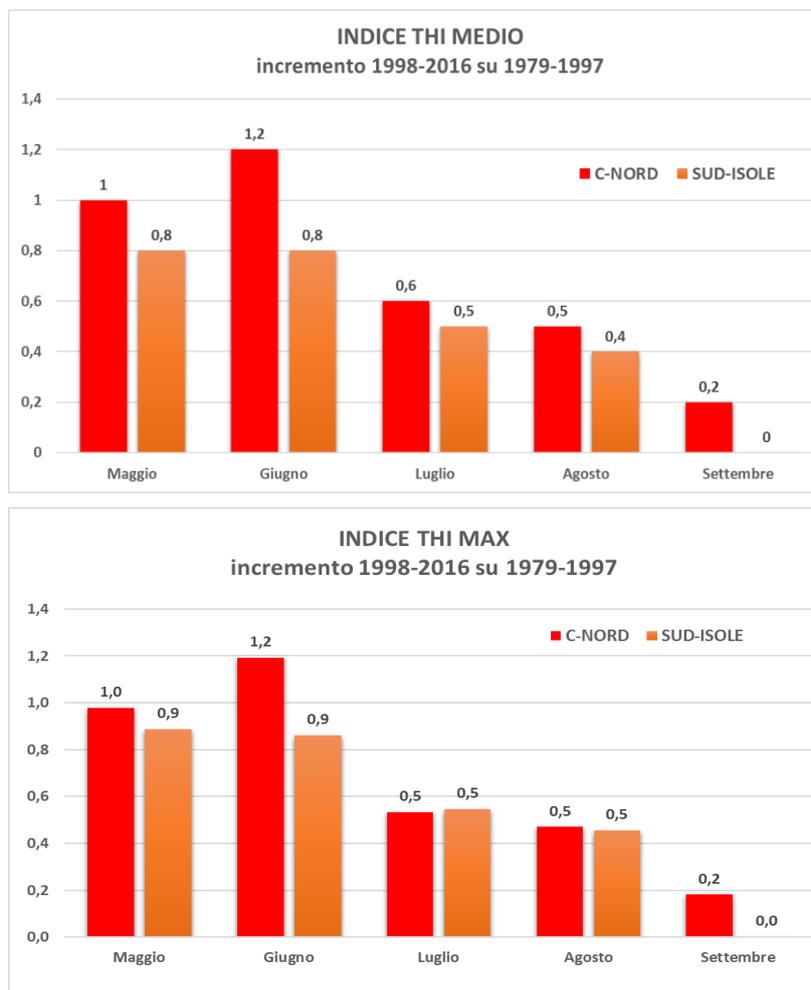


Figure 4.11-4.12: incrementi dell'indice THI medio e massimo nel periodo 1998-2016 rispetto al periodo 1979-1997, divisi per macro-aree. Si noti il picco di giugno e come si concentra in particolare sulle regioni centro settentrionali.

Particolarmente indicativo, nel caratterizzare i due periodi, il confronto dell'andamento delle ondate di caldo e del numero totale di giorni in cui vengono superate le soglie critiche di disagio. Per il THI le ondate di calore tra maggio e settembre, a livello nazionale, sono passate da una media di 1.5 nel 1979-1997 a 2.4 nel 1998-2016, per l'Humidex da 1.8 a 2.6. I giorni totali sopra la soglia critica sono aumentati del 40-50%, portandosi da 19 a 29 per il THI e da 22 a 31 per l'Humidex (Figure 4.13-4.14). I grafici 4.15 e 4.16 mostrano le stesse variazioni, ma a livello macro-regionale.

Ancora una volta appare evidente il notevole salto verso l'alto, in termini di disagio bioclimatico estivo, avvenuto tra il 1998 e il 2016.

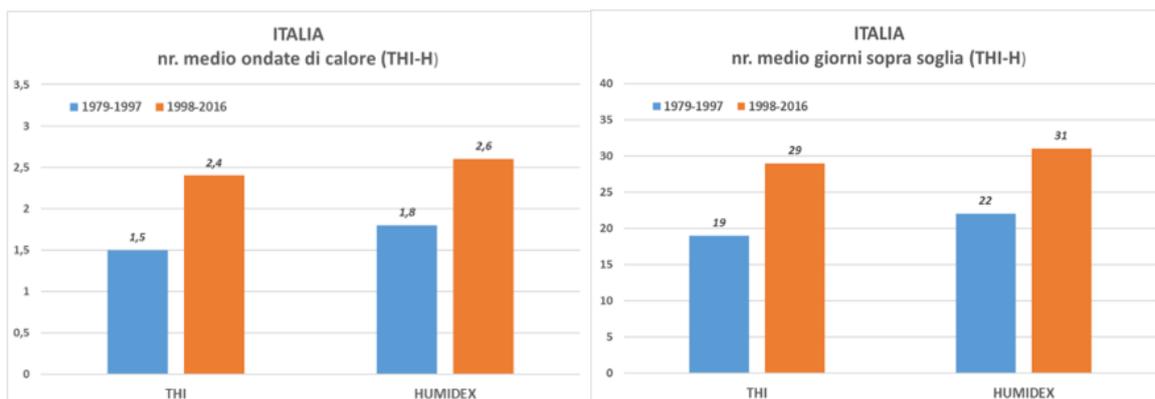


Figure 4.13-4.14: numero ondate di calore (sinistra) e giorni totali sopra soglia (destra) nel periodo 1979-1997 (in blu) e nel periodo 1998-2016 (in arancione) per THI e Humidex.

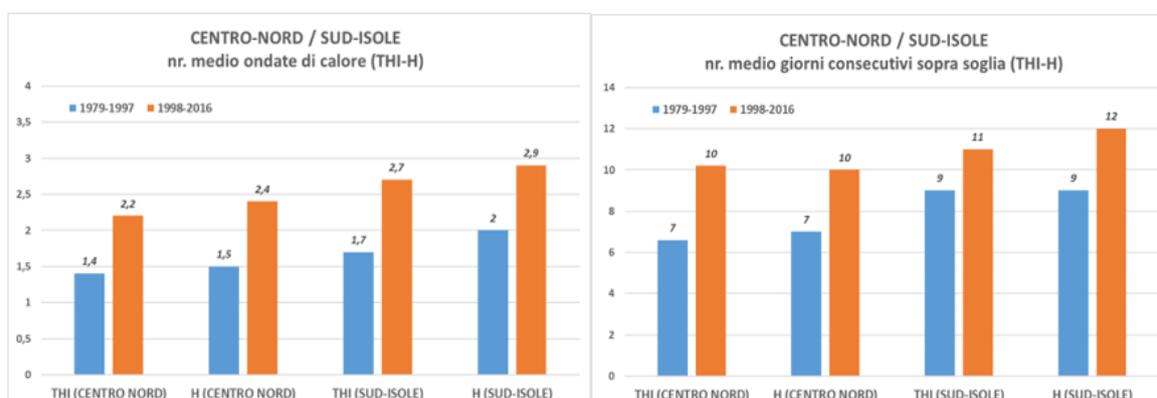


Figure 4.15-4.16: numero ondate di calore (sinistra) e giorni totali sopra soglia (destra) nel periodo 1979-1997 (in blu) e nel periodo 1998-2016 (in arancione) divise per macro-aree e per indici di termigrometrici.

Così come avvenuto per le temperature anche all'interno delle serie degli indici sono stati individuati, nel mese di giugno, break point statisticamente significativi. In particolare l'Humidex, che ricordiamo essere il riferimento del Ministero della Salute per il disagio da caldo-umido, mostra sia al centro-nord che a livello nazionale, un salto nel 1995 (Figure 4.17-4.18). Un break point, sempre per l'Humidex, è stato individuato anche nella serie di Roma, per la precisione nel 1996 (Figura 4.19).

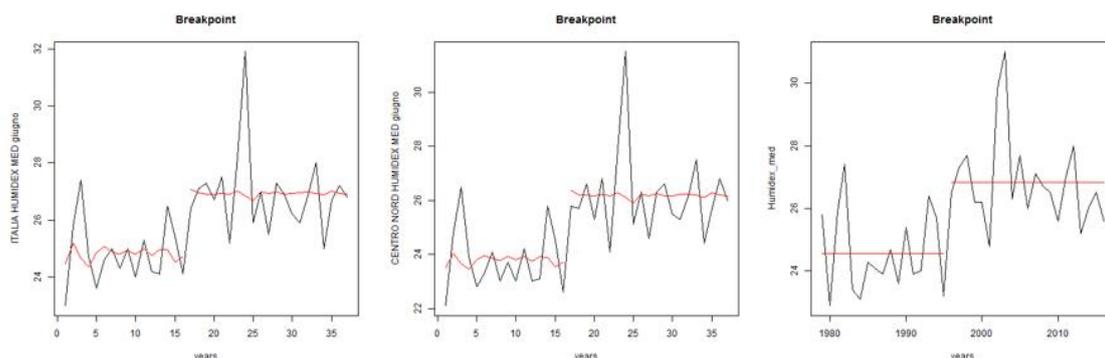


Figure 4.17-4.19: break point statistici dell'indice Humidex individuati nel mese di giugno (significatività $\geq 95\%$). Da sinistra verso destra: Italia, break point 1995; area centro-settentrionale, break point 1995; Roma, break point 1996.

Essendo entrambi gli indici bioclimatici strettamente dipendenti dalle temperature è lecito concludere che le due fasi individuate siano frutto del cambio di circolazione atmosferica descritto nel terzo capitolo (per approfondimenti si rimanda al paragrafo 3.2.2).

Tra i due periodi fin qui descritti, il 1998-2016 si distingue per la particolare stabilità nell'andamento estivo degli indici termo-igrometrici. Analizzando le serie disponibili, infatti, si nota l'assenza di trend significativi, sia per i valori massimi che per quelli medi (Figura 4.20)⁴. Il 1979-1997, invece, risulta più variabile, con un iniziale aumento degli indici di disagio (tra il 1979 e il 1986) cui segue una progressiva stabilizzazione (Figura 4.21)⁵. Il fatto che il periodo più stabile dei due coincida con gli anni più recenti porta inevitabilmente a considerarlo come rappresentativo del livello di disagio che attualmente caratterizza le estati italiane.

⁴ Per brevità viene riportato il grafico del solo indice Humidex (calcolato con i valori massimi). L'andamento è rappresentativo anche per il THI.

⁵ Per brevità viene riportato il grafico del solo indice Humidex (calcolato con i valori medi). L'andamento è rappresentativo anche per il THI.

Pertanto, in assenza di forzanti ad oggi difficilmente prevedibili, è lecito attendersi, negli anni a venire, valori estivi di THI e Humidex simili a quelli osservati negli ultimi 18 anni. In ultima analisi si può quindi parlare, come abbiamo fatto per le temperature, di un *new normal* del disagio da caldo-umido, caratterizzato da livelli più elevati rispetto a quelli cui eravamo abituati nel periodo 1979-1997.

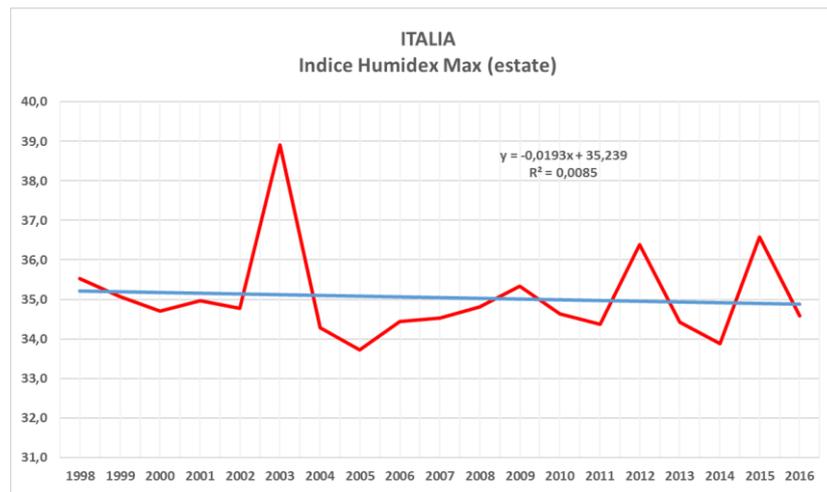


Figura 4.20: andamento dell'indice Humidex massimo tra il 1998 e il 2016. E' mostrata la retta di regressione lineare; si noti l'assenza di trend.

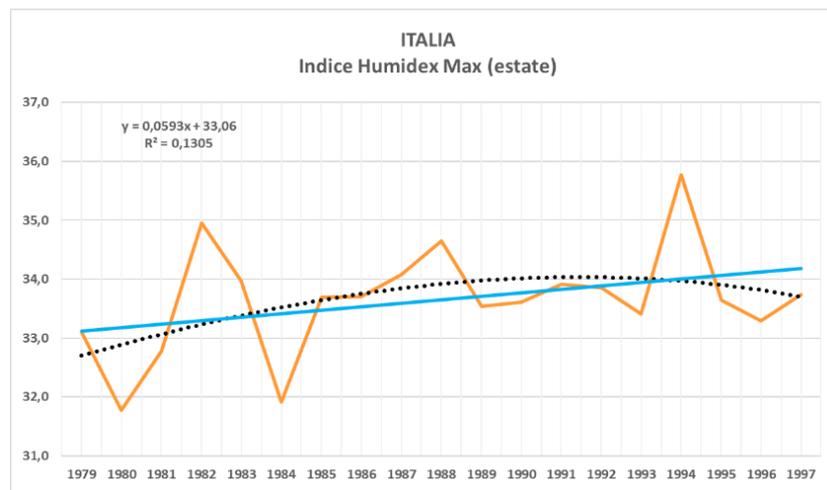


Figura 4.21: andamento dell'indice Humidex massimo tra il 1979 e il 1997. E' mostrata la retta di regressione lineare e la retta polinomiale (base 2); il trend al rialzo è legato soprattutto all'aumento occorso nel periodo 1979-1986, a seguire, come ben individuato dalla polinomiale, i valori tendono ad una maggiore stabilità.

Sintesi del paragrafo: *analogamente con quanto osservato per le temperature anche il disagio da caldo umido mostra due fasi distinte nel periodo oggetto di studio: la prima va dal 1979 al 1997, la seconda inizia del 1998 e prosegue fino ad oggi. Il periodo 1998-2016 si contraddistingue per valori medi e massimi di THI e Humidex ben superiori rispetto a quelli che caratterizzavano il 1979-1997. In altre parole il disagio bioclimatico estivo negli ultimi 18 anni risulta decisamente superiore rispetto a quello del periodo precedente. La particolare stabilità del periodo 1998-2016 e il fatto che coincida con gli anni più recenti, porta inevitabilmente a considerarlo come rappresentativo del livello di disagio che attualmente caratterizza le estati italiane. In altre parole il 1998-2016 può essere considerato come un new normal del disagio da caldo-umido.*

4.4 Il disagio da caldo-umido oggi in Italia

4.4.1 Premessa

Tra il 1998 e il 2016 il disagio da caldo in Italia, identificato dagli indici termogrametrici THI e Humidex, si è mantenuto stabile; se togliamo il dato statisticamente aberrante del 2003, infatti, l'andamento degli indici si distingue per una variabilità molto ridotta cui corrisponde una totale assenza di trend (figura 4.22). Il fatto che questa regolarità coincida con gli anni più recenti porta ritenere il periodo in oggetto come rappresentativo del livello di disagio che attualmente caratterizza le estati italiane. In altri termini, in assenza di forzanti circolatorie ad oggi difficilmente prevedibili, possiamo considerare il periodo 1998-2016 come riferimento climatologico del disagio da caldo-umido in Italia.

Alla luce di quanto premesso sono state effettuate alcune elaborazioni statistiche che si prefiggono di fornire informazioni utili sull'andamento del disagio da caldo durante un'estate "tipo" italiana. L'obiettivo è quello di riassumere, in modo semplice e intuitivo, il comportamento degli indici THI e Humidex all'interno del *new-normal* climatico degli ultimi 18 anni.

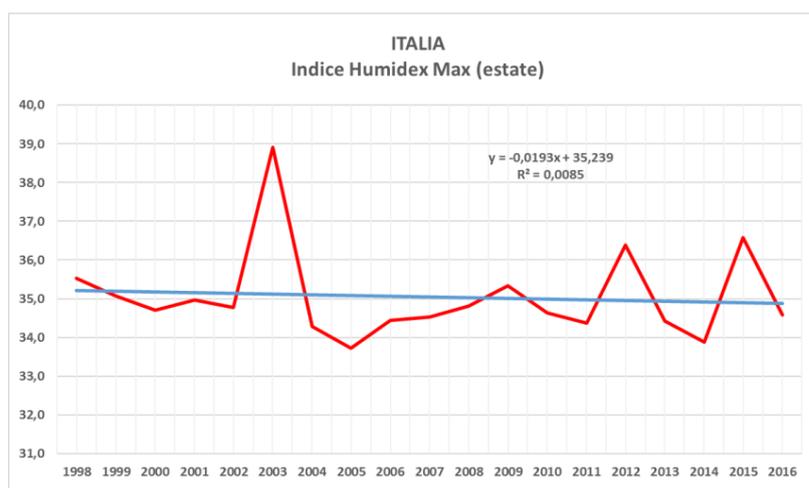


Figura 4.22: andamento dell'indice Humidex massimo tra il 1998 e il 2016. Si noti il picco del 2003.

4.4.2 La distribuzione giornaliera del calore afoso nelle grandi città

Utilizzando i dati orari degli indici THI e Humidex è stato possibile costruire l'andamento giornaliero del disagio da caldo-umido in otto località italiane rappresentative del Nord (Milano e Bologna), del Centro (Roma e Ancona), del Sud (Bari e Napoli) e delle Isole (Messina e Cagliari). I grafici ottenuti mostrano la distribuzione del calore afoso all'interno delle 24 ore durante un'estate tipo italiana, individuata sulla base della climatologia 1998-2016. I dati su cui sono stati elaborati gli andamenti si riferiscono al periodo delle "calme estive" che va dal 15 luglio al 15 agosto; questa fase, generalmente coincidente col clou dell'estate, concentra in sé i massimi di disagio termico in Italia. In definitiva si vuol mostrare l'andamento degli indici THI e Humidex durante il periodo mediamente più stabile e caldo della stagione.

In tutte e otto le località analizzate la distribuzione del calore afoso all'interno della giornata mostra un andamento a "campana", in quanto fortemente dipendente dalla temperatura. Da nord a sud il minor disagio bioclimatico coincide con le ore notturne, in particolare tra le 01.00 e le 06.00, mentre i massimi vengono raggiunti ovunque nel pomeriggio (tra le 13.00 e le 18.00). Particolarmente delicate le fasi che intercorrono tra i due picchi: durante le ore mattutine, infatti, l'intensificazione dell'attività solare causa un veloce incremento del disagio, con ritmi di crescita degli indici che possono raggiungere picchi, in talune zone, di 2-3 °C/ora (Humidex). In serata, invece, la perdita di calore è meno rapida e quindi il recupero dal caldo-afoso può risultare talvolta lento, in particolare nelle città di Cagliari e Roma, dove il calo tra le 18.00 e le 22.00 non va oltre gli 0.9 °C/ora.

In linea generale il disagio da caldo massimo oscilla, per l'Humidex, intorno ai 34-35 °C al Nord e sul versante adriatico (Milano, Bologna, Bari, Ancona), mentre sul versante tirrenico e sulle Isole si raggiungono in media i 35-37 °C, con un picco di 38-39 °C a Messina. Il THI, invece, mostra differenze meno accentuate, risultando compreso, in tutte le località analizzate, tra i 25 e i 26 ° (anche in questo caso Messina si distingue per un valore prossimo ai 27 °). I picchi di caldo-umido descritti mostrano ovunque una durata media di 5-6 ore. Per quanto riguarda i minimi di disagio le località più occidentali (Milano, Roma, Napoli, Cagliari e Messina) mostrano notti caratterizzate da un Humidex più alto rispetto a quelle orientali (Ancona, Bari e Bologna), con differenze anche di 2-3 °C. Il THI, invece, si conferma molto stabile, con valori minimi che da nord a sud si attestano intorno ai 19-21 °. Le fasi di minor disagio hanno ovunque una durata media di circa 6 ore.

Come abbiamo visto in linea generale la distribuzione del calore afoso all'interno delle 24 ore è simile in tutte e otto le località selezionate, con valori massimi nel pomeriggio, minimi notturni e una crescita mattutina del disagio superiore alla riduzione serale dello stesso. Tuttavia se andiamo ad analizzare i dati con maggior dettaglio possiamo apprezzare alcune interessanti variazioni, in particolare tra i due versanti del Paese (adriatico-tirrenico), nonché tra le località continentali e costiere.

- *Versante adriatico/versante tirrenico*: le città di Ancona e Bari presentano valori giornalieri di disagio decisamente inferiori rispetto a Napoli, Cagliari e Messina, questo sia durante i minimi notturni che nei massimi pomeridiani. Si può affermare, pertanto, che nelle città costiere adriatiche il caldo afoso è più contenuto rispetto a quelle tirreniche; tuttavia le due località orientali sono quelle che mostrano, in assoluto, l'aumento mattutino più rapido e intenso degli indici, con una variazione oraria tra le 6.00 e le 10.00 che per l'Humidex si attesta sui 2 °C/ora. Il balzo dell'indice è particolarmente marcato tra le 6.00 e le 8.00, quando in sole due ore in entrambe le città si registra un incremento di ben 6 °C (da 25 a 31 °C). Questa caratteristica si riscontra, con le dovute proporzioni dovute alla diversa scala dei valori, anche per il THI. Le località tirreniche, invece, si distinguono da quelle adriatiche per un incremento mattutino degli indici meno repentino (in media 1.5 °C/ora tra le 6.00 e le 10.00 e 2 °C/ora tra le 6.00 e le 8.00).
- *Località interne/costiere*: i grafici afferenti alle città litoranee presentano i massimi assoluti di disagio termico nel primo pomeriggio, in genere tra le 13.00 e le 15.00, dopodiché si può apprezzare una lieve diminuzione. Al contrario le località continentali (Milano e Bologna) si distinguono per picchi tardo-pomeridiani (15.00-17.00). La ragione di questo spostamento è riconducibile all'effetto calmierante della brezza marina, che lungo la costa raggiunge i massimi proprio nel pomeriggio, favorendo un abbassamento delle temperature reali. Interessante il caso di Roma, la cui curva di disagio termico risulta simile a quelle di Bologna e Milano fino alle 15.00, dopodiché assume un andamento decisamente più simile a località costiere tirreniche come Cagliari o Napoli. La Capitale, a causa della sua relativa vicinanza al mare, non presenta una continentalità netta come Bologna e Milano, quindi dopo una

certa ora risente dell'effetto benefico della brezza marina (i valori dopo le ore 15.00 diminuiscono). Ma se le zone costiere e sub-litoranee vedono calare gli indici di disagio prima rispetto alle aree continentali, è altrettanto vero che quest'ultime possono contare in una riduzione serale del disagio più rapida. Bologna, ad esempio, tra le 17.00 e le 24.00 osserva un calo medio dell'indice Humidex di circa 8 °C, Cagliari, Messina e Roma, invece, si fermano a 4-5 °C.

Di seguito sono riportati, per il solo indice Humidex, i grafici di 4 località: Bologna, Bari, Cagliari e Roma (Figure 4.23-4.26). Osservandoli si possono apprezzare le peculiarità nella distribuzione del calore afoso descritte in precedenza. Per i grafici relativi alle altre quattro città e all'indice THI si rimanda all'appendice.

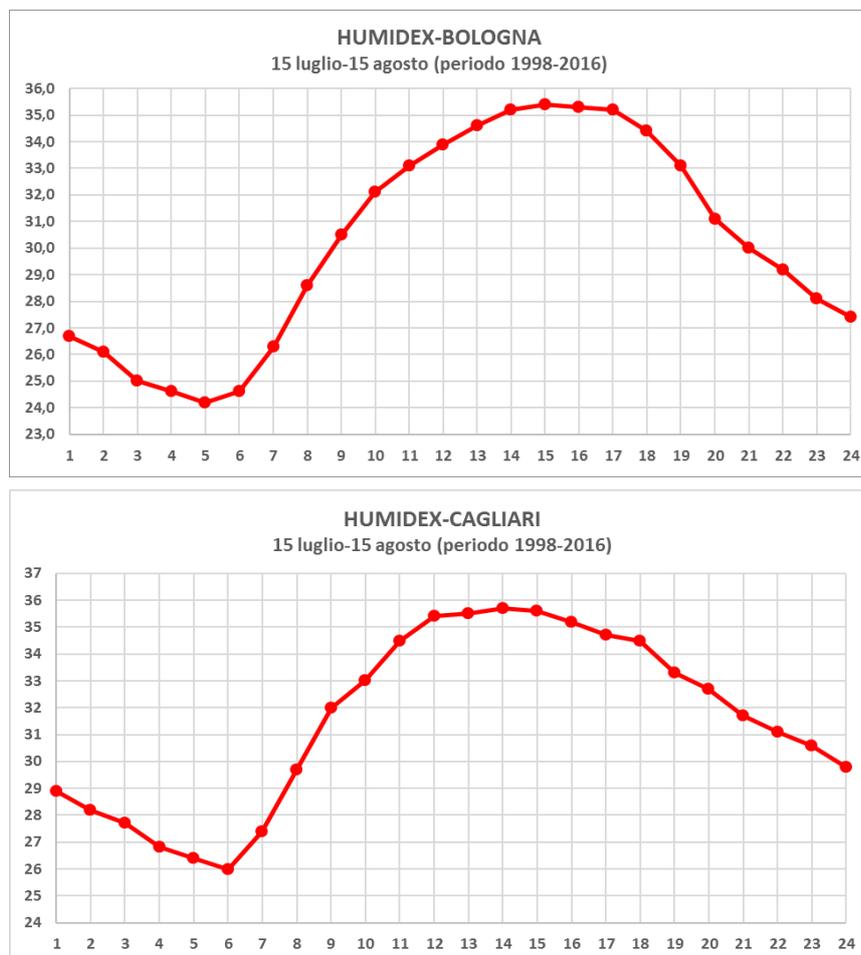


Figure 4.23-4.24: andamento giornaliero dell'indice Humidex nel periodo 15 luglio-15 agosto a Bologna e a Cagliari (periodo di riferimento: 1998-2016). Si notino le differenze tra le due cure, in particolare la riduzione serale dell'indice e la diversa collocazione temporale dei picchi pomeridiani.

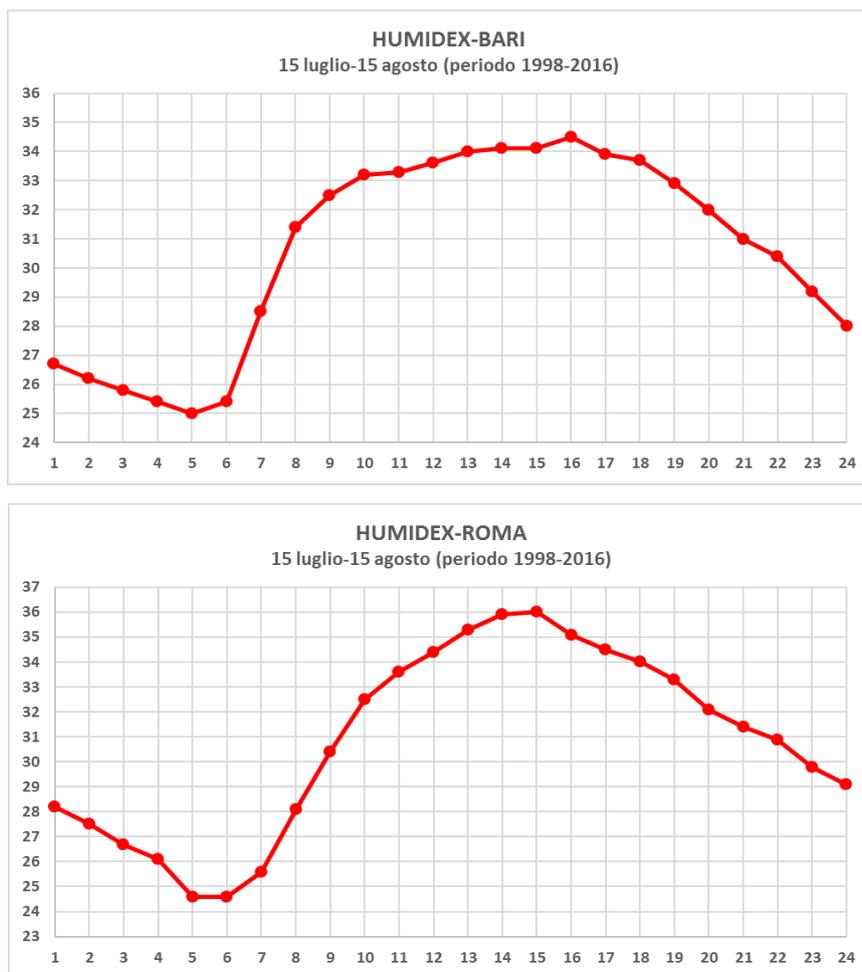


Figure 4.25-4.26: andamento giornaliero dell'indice Humidex nel periodo 15 luglio-15 agosto a Bari e a Roma (periodo di riferimento: 1998-2016). Si notino le differenze tra le due cure, in particolare l'incremento mattutino dell'indice.

4.4.3 La distribuzione giornaliera del calore-afoso tra maggio e settembre

Utilizzando i dati orari degli indici THI e Humidex sono stati ricavati anche dei grafici che mostrano la distribuzione giornaliera del calore-afoso nel periodo che va da maggio a settembre. Una visione stagionale del fenomeno consente di capirne meglio l'evoluzione nel tempo, permettendo l'immediata identificazione dei periodi e degli orari caratterizzati da maggiore o da minore disagio termico. Questi grafici possono risultare particolarmente utili per programmare le numerose attività di prevenzione ed informazione sul calore afoso, in quanto elaborati su una base statistica molto recente. Le isolinee, infatti, sono state costruite selezionando soltanto i mesi rispondenti alla climatologia di riferimento 1998-2016. Come per i grafici descritti nel paragrafo precedente per questa analisi sono state selezionate otto località italiane rappresentative del Nord (Milano e Bologna), del Centro (Roma e Ancona), del Sud (Bari e Napoli) e delle Isole (Messina e Cagliari).

In linea generale i massimi relativi di disagio termico, sia per l'Humidex che per il THI, si concentrano nei mesi di luglio e agosto, durante i quali si ha anche la maggior incidenza giornaliera del fenomeno. All'interno dei due mesi i picchi assoluti si riscontrano, nella maggior parte delle località analizzate, tra la prima decade di luglio e la seconda decade di agosto; da segnalare, tuttavia, un certo sbilanciamento verso la prima metà di agosto nelle città di Roma, Napoli, Bologna e Bari. All'interno delle 24 ore il momento più critico si colloca, sempre nel bimestre luglio-agosto, all'incirca tra le 10.00 e le 18.00, con lievi differenze tra Nord e Sud (in genere contenute entro 1-2 ore). Da segnalare il caso limite di Messina, dove il forte disagio da caldo-umido, collocabile all'incirca al di sopra dei 25° per il THI e i 35 °C per l'Humidex, inizia in media alle 8.00 e termina intorno alle 22.00.

Il mese di maggio risulta immune, salvo rari e brevi episodi, da intenso calore-afoso, infatti i valori di THI e Humidex rimangono, in tutte e otto le località, confinati entro, rispettivamente, i 22° e i 29 °C. Giugno, invece, mostra un progressivo aumento del disagio da caldo a partire dal 10-15 del mese, sebbene con valori ancora piuttosto contenuti. Le uniche due località che si avvicinano, o superano la soglia dei 35 °C di Humidex a fine giugno sono Messina e Cagliari. Per quanto riguarda settembre, infine, si osserva una progressiva riduzione del disagio a partire dal 10-15 del mese, sebbene vi siano alcune differenze sostanziali tra centro-nord e Sud che andremo a descrivere di seguito.

In linea generale la distribuzione del calore-afoso, all'interno delle 24 ore nel periodo maggio-settembre, mostra un andamento simile in tutto lo Stivale, tuttavia entrando nel dettaglio di riscontrano alcune interessanti differenze geografiche che vengono successivamente elencate:

- Le località continentali del Nord e del versante tirrenico si distinguono da quelle del versante adriatico per valori di picco di THI e Humidex più elevati. Le città di Ancona e Bari, infatti, osservano massimi di THI e Humidex compresi tra i 33 e i 35 °C contro i 35-37 °C delle restanti località (37-39 °C a Messina).
- La durata media del periodo caratterizzato da forte disagio termico mostra delle variazioni andando da Nord verso Sud e da Ovest verso Est. Nello specifico: al centro-nord le soglie dei 34/35 °C di Humidex e dei 24/25° di THI vengono stabilmente superate, tra la tarda mattinata e il tardo pomeriggio, nel periodo che va da luglio ad agosto. Al Sud e sulle Isole (fatta eccezione per Bari), i suddetti valori si oltrepassano ad iniziare dal 10/20 giugno e fino al 10/15 settembre. Per quanto riguarda i due versanti, infine, quello tirrenico si distingue per una durata del periodo di maggior disagio in media 20 giorni superiore rispetto a quello adriatico.

Di seguito sono riportati, per il solo indice Humidex, i grafici di 4 località: Bologna, Bari, Cagliari e Roma (Figure 4.27-4.30). Osservandoli si possono apprezzare le peculiarità nella distribuzione del calore afoso descritte in precedenza. Per i grafici relativi alle altre quattro città e all'indice THI si rimanda all'appendice.

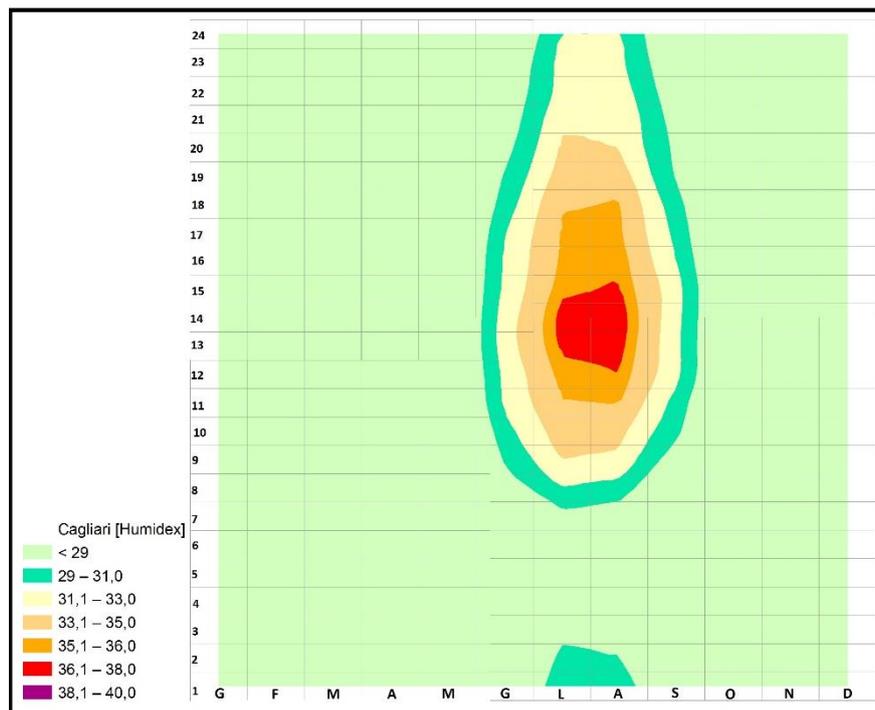
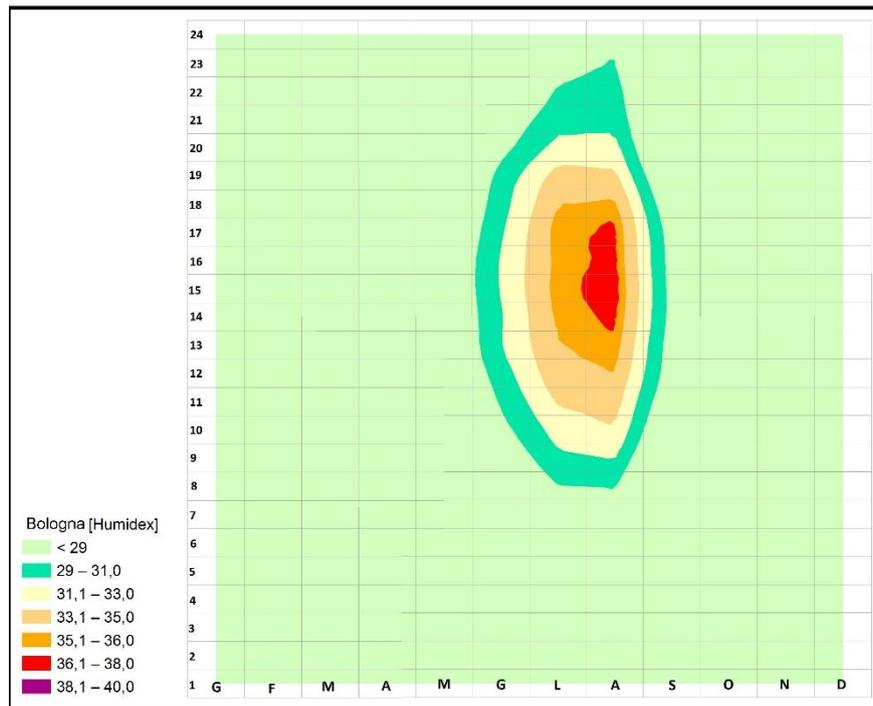


Figure 4.27-4.28: andamento giornaliero dell'indice Humidex nel periodo maggio-settembre a Bologna e a Cagliari (base statistica di riferimento: 1998-2016).

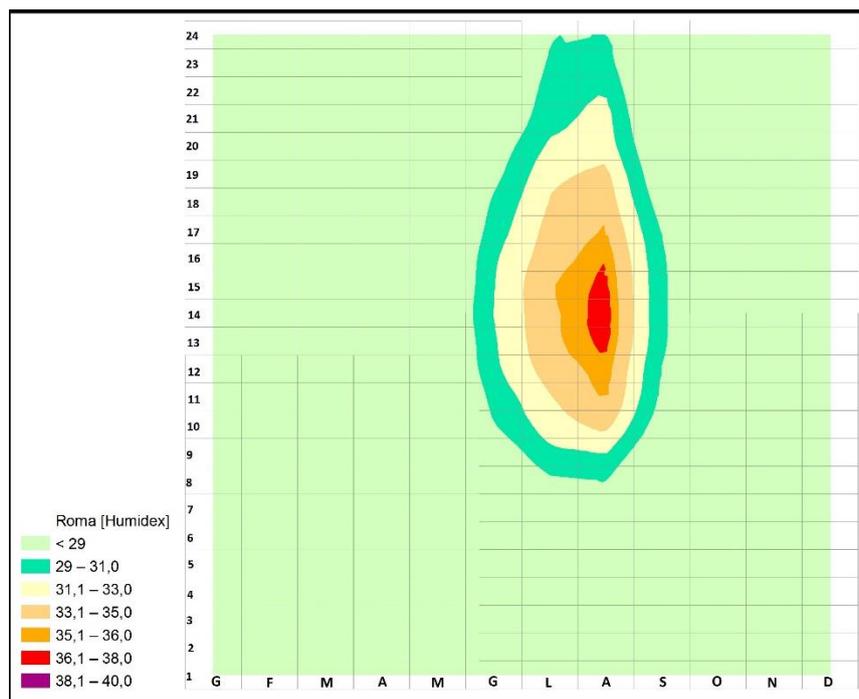
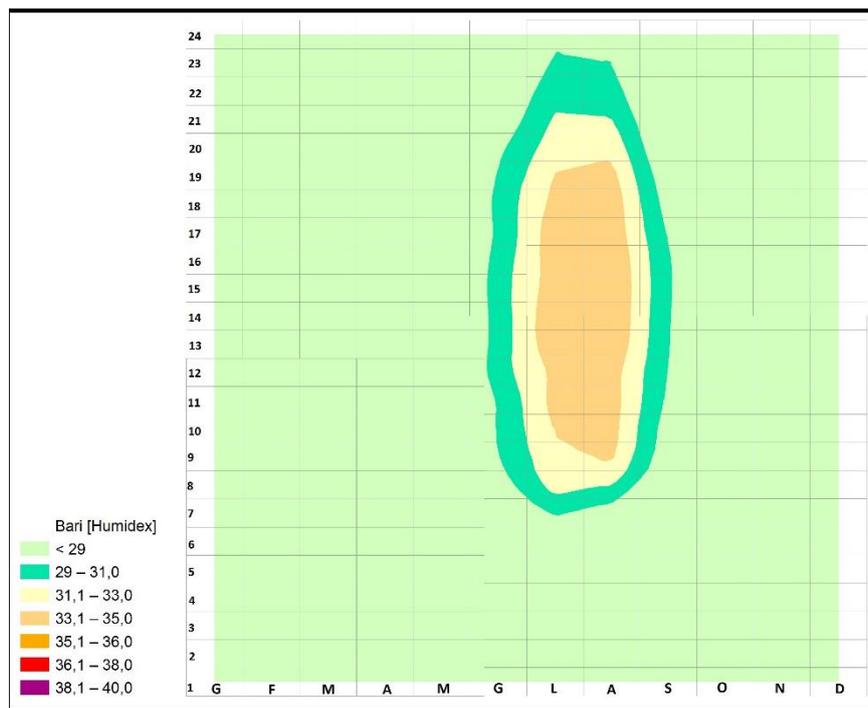


Figure 4.29-4.30: andamento giornaliero dell'indice Humidex nel periodo maggio-settembre a Bari e a Roma (base statistica di riferimento: 1998-2016).

4.4.4 Climatologia essenziale degli indici

Di seguito vengono riportate alcune indicazioni di carattere puramente statistico sull'andamento del calore-afoso in Italia. In particolare si descrivono le climatologie delle ondate di calore e dei giorni sopra soglia riferite al periodo 1998-2016 (Tabelle 4.2-4.5). Per approfondimenti su ondate di calore e giorni critici si rimanda al capitolo 5.

Indice THI: nell'attuale fase climatica è lecito attendersi, tra maggio e settembre, 2.4 ondate di calore e 29 giorni sopra soglia. A livello macro-territoriale le ondate di caldo-umido medie oscillano tra le 2.2 dell'Italia centro-settentrionale e le 2.7 di quella meridionale-insulare; i giorni critici, invece, risultano, rispettivamente, 25 e 32. Luglio e agosto mostrano le criticità da caldo-afoso più elevate, infatti entrambi i mesi si distinguono per almeno un'ondata di calore e 11-12 giorni sopra soglia; a seguire giugno, con 0.4 ondate e una media di circa 4 giorni critici. Maggio e settembre, invece, risultano mesi privi di criticità sistematica, in quanto caratterizzati da un'incidenza di ondate e giorni sopra soglia del tutto irrilevante. A livello regionale si nota una differenza significativa, in termini di forte disagio, nel mese di agosto: mentre al centro-nord il numero di giorni critici risulta del tutto simile a quello osservato a luglio (10), al Sud e sulle Isole si registra il picco stagionale con ben 14 giorni sopra soglia (il 30% in più rispetto alle regioni centro-settentrionali). Seppur con numeri decisamente inferiori anche nel mese di settembre si osserva una differenza notevole tra Sud e Nord, con 2.7 giorni critici medi per il primo contro gli 0.9 del secondo. Tra maggio e luglio, invece, le due parti del Paese si caratterizzano per numeri decisamente più vicini tra loro.

Indice Humidex: tra maggio e settembre è lecito attendersi 2.6 ondate di calore e 31 giorni sopra soglia. A livello macro-territoriale le ondate di caldo-umido medie oscillano tra 2.4 dell'Italia centro-settentrionale e 2.9 di quella meridionale-insulare; i giorni critici, invece, risultano, rispettivamente, 26 e 35. Luglio e agosto mostrano le criticità da caldo-afoso più elevate, infatti entrambi i mesi si distinguono per almeno un'ondata di calore e 12-13 giorni sopra soglia; a seguire giugno, con 0.4 ondate e una media di 4.2 giorni critici. maggio e settembre, invece, risultano mesi privi di criticità sistematica, in quanto caratterizzati da un'incidenza di ondate e giorni sopra soglia del tutto irrilevante. A livello regionale si nota una differenza significativa, in termini di forte disagio, nel mese di agosto: mentre al centro-nord il numero di giorni critici risulta del tutto simile a quello osservato a luglio (11 contro 10), al Sud e sulle Isole si registra il picco stagionale con ben 15 giorni

sopra soglia (il 30% in più rispetto alle regioni centro-settentrionali). Seppur con numeri decisamente inferiori anche nel mese di settembre si osserva una differenza notevole tra Sud e Nord, con 3.1 giorni critici medi per il primo e 1.1 per il secondo. Tra maggio e luglio, invece, le due parti del Paese si caratterizzano per numeri decisamente più vicini tra loro

Per le climatologie complete degli indici THI medio-massimo e Humidex medio-massimo relative a tutte le località analizzate in questa tesi si rimanda all'appendice.

MEDIE 1998-2016 (PERIODO MAGGIO-SETTEMBRE)		
THI	ondate di calore	Nr. giorni critici
Italia centro settentrionale	2,2	25
Italia meridionale-Isole	2,7	32
Italia	2,4	29
HUMIDEX	ondate di calore	Nr. giorni critici
Italia centro settentrionale	2,4	26
Italia meridionale-Isole	2,9	35
Italia	2,6	31

Tabella 4.2: climatologia delle ondate di calore e dei giorni critici su base Humidex e THI divisa per macro-aree (periodo maggio-settembre, riferimento 1998-2016)

MEDIE MENSILI ITALIA (1998-2016)					
THI	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre
ondate calore	0,1	0,4	0,9	1,1	0,2
giorni sopra soglia	0,2	4	10,8	12	1,8
HUMIDEX	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre
ondate calore	0	0,4	1	1,2	0,2
giorni sopra soglia	0,2	4,2	11,3	12,8	1,5

Tabella 4.3: climatologia mensile delle ondate di calore e dei giorni sopra soglia su base Humidex e THI (Italia - riferimento 1998-2016)

MEDIE ITALIA CENTRO SETTENTRIONALE (1998-2016)					
THI	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre
ondate calore	0	0,5	0,9	1	0,1
giorni sopra soglia	0,2	3,9	10	10,2	0,9
HUMIDEX	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre
ondate calore	0	0,5	0,9	1	0,1
giorni sopra soglia	0,2	4	10	10,9	1,1

Tabella 4.4: climatologia mensile delle ondate di calore e dei giorni sopra soglia su base Humidex e THI (Italia centro-settentrionale, riferimento 1998-2016)

MEDIE ITALIA MERIDIONALE-ISOLE (1998-2016)					
THI	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre
ondate calore	0	0,4	1	1,1	0,2
giorni sopra soglia	0,2	4,2	11,7	13,7	2,7
HUMIDEX	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre
ondate calore	0	0,4	1,1	1,3	0,3
giorni sopra soglia	0,2	4,3	12,6	14,8	3,1

Tabella 4.5: climatologia mensile delle ondate di calore e dei giorni sopra soglia su base Humidex e THI (Italia meridionale-isole, riferimento 1998-2016)

Sintesi del paragrafo: *basandosi sulla climatologia 1998-2016 sono state effettuate alcune semplici elaborazioni statistiche finalizzate a fornire indicazioni pratiche sull'andamento del caldo-afoso in Italia. In particolare ci si è focalizzati su:*

- *distribuzione del disagio termico all'interno delle 24 ore in 8 località campione rappresentative del Nord, del Centro, del Sud e delle Isole. L'analisi è stata condotta sul periodo più caldo dell'estate che va dal 15 luglio al 15 agosto;*
- *andamento del disagio da caldo all'interno nelle 24 ore nei mesi di maggio, giugno, luglio, agosto e settembre. L'analisi è stata condotta su 8 località campione rappresentative del Nord, del Centro, del Sud e delle Isole;*
- *Climatologia essenziale delle ondate di calore e dei giorni sopra soglia nel periodo maggio-settembre; climatologia 1998-2016 degli indici di disagio bioclimatico di tutte le località analizzate in questa tesi;*

5. GLI EFFETTI DELLE ONDATE DI CALORE UMIDO SULLA MORTALITA'

5.1 *Le ondate di calore e la mortalità estiva*

5.1.1 *Le ondate di calore-umido in Italia tra il 1979 e il 2016*

L'aumento estivo del disagio da caldo osservato tra il 1979 e il 2016 ha coinciso con incremento significativo delle ondate di calore su tutta Italia; in questa tesi per "ondate di calore" si intendono *periodi di caldo umido intenso e prolungato, cui si associano condizioni di forte malessere psicofisico per la popolazione* (nota dell'autore). Nello specifico sono state ricavate due soglie dai valori massimi medi di THI ed Humidex: 26.6 ° per il primo e 37.9 °C per il secondo. Se tali soglie vengono superate per almeno 3 giorni consecutivi allora l'evento identifica un'ondata di calore. La necessità di individuare dei valori specifici per l'Italia nasce dal fatto che in letteratura, per i due indici in esame, vengono proposte scale di disagio generiche che non possono tenere conto delle peculiarità climatiche di ogni singolo paese. E' bene ricordare, infatti, che in estate un livello di THI o Humidex considerato critico da un cittadino norvegese o svedese, può rappresentare condizioni di confort per un italiano o uno spagnolo in quanto abituati da sempre ad estati molto calde (Iñiguez et al., 2010; Keatinge et al., 2000a; The Eurowinter Group, 1997). Pertanto è risultato fondamentale individuare, attraverso l'analisi dei percentili derivanti dalle serie storiche analizzate, dei valori di THI e Humidex che potessero indicare, con ragionevole sicurezza, condizioni di forte disagio da caldo in Italia.

I grafici sottostanti (Figure 5.1-5.2) mostrano l'andamento del numero medio di ondate di caldo-umido negli ultimi 38 anni nel periodo maggio-settembre. Come si può facilmente notare, sia le ondate legate al THI che quelle legate all'Humidex, palesano incrementi molto evidenti, con una significatività statistica superiore al 99%.

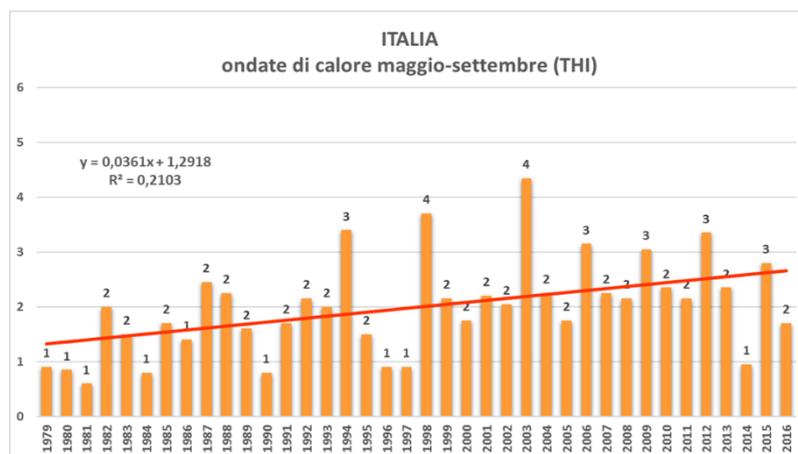


Figura 5.1: andamento delle ondate di calore THI nel periodo maggio-settembre in Italia. È indicata la retta di regressione lineare, il trend è significativo al 99% (nr. campione=49)

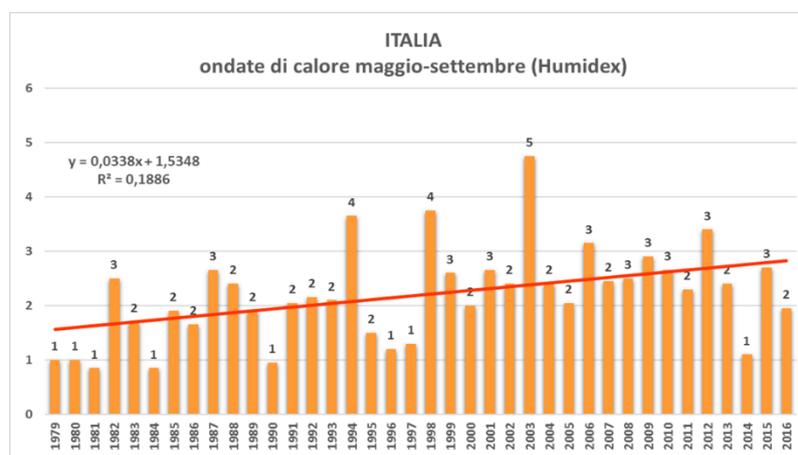


Figura 5.2: andamento delle ondate di calore Humidex nel periodo maggio-settembre in Italia. È indicata la retta di regressione lineare, il trend è significativo al 99% (nr. campione=49)

Per quanto riguarda i singoli mesi, quelli che hanno registrato gli incrementi maggiori del numero di ondate di caldo-umido sono stati giugno e luglio, con trend significativi oltre il 95% (Figure 5.3-5.4-5.5-5.6). L'aumento ad agosto, seppur apprezzabile, non risulta statisticamente robusto. Anche settembre mostra una crescita significativa, sebbene il numero medio di ondate rimanga comunque molto basso. Maggio, infine, nonostante il sensibile aumento delle temperature osservato tra il 1979 e il 2016, non ha fatto registrare, a livello nazionale, alcuna ondata di calore⁶; da segnalare, come curiosità statistica, che le

⁶ In generale le fasi di caldo anomalo a maggio non possono raggiungere, per ovvi motivi meteo-climatici, intensità paragonabili a quelle dei mesi successivi, quindi risulta altamente improbabile che le due soglie di THI e Humidex individuate possano essere superate.

uniche due località sulle 49 analizzate ad aver superato per almeno 3 giorni consecutivi le soglie critiche nel mese di maggio sono state Foggia, nel 2009, e Messina, nel 2005.

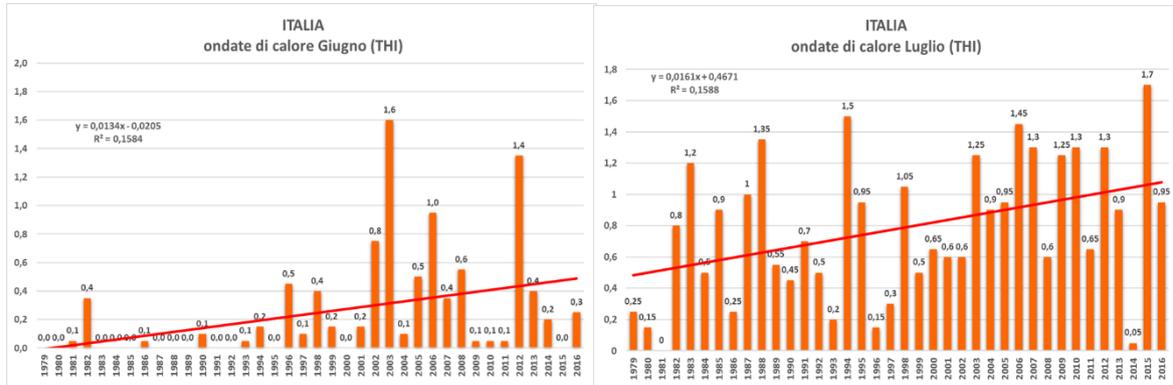


Figure 5.3-5.4: andamento delle ondate di calore da THI tra il 1979 e il 2016 nei mesi di giugno e luglio. È indicata la retta di regressione lineare, i trend sono significativi al 95% (nr. campione=49)

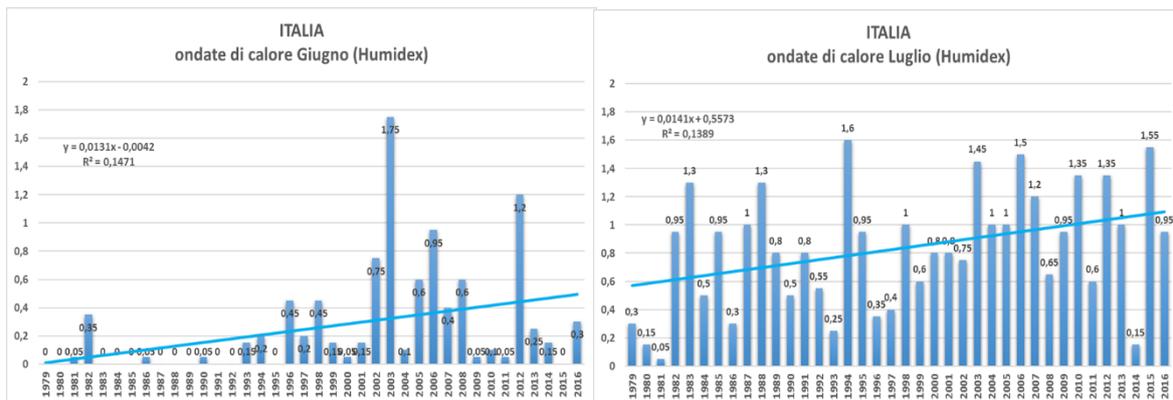


Figure 5.5-5.6: andamento delle ondate di calore da Humidex tra il 1979 e il 2016 nei mesi di giugno e luglio. È indicata la retta di regressione lineare; i trend sono significativi al 95% (nr. campione=49)

Oltre al numero di ondate di calore è stata verificata anche la variazione del numero totale dei giorni che superano le soglie di disagio individuate per THI e Humidex, nonché il numero massimo di giorni consecutivi in cui le suddette soglie vengono superate. I grafici, riportati di seguito (Figure 5.7-5.8), mostrano un chiaro incremento di entrambe le variabili (nell'osservare le linee di tendenza si consideri la diversa scala dei valori); impressionante il picco del 2003, quando tra maggio e settembre si registrarono 60 giorni oltre la soglia critica per l'Humidex e 58 giorni per il THI. Anche il massimo numero di giorni critici consecutivi raggiunse un picco senza precedenti: 23 per entrambi gli indici.

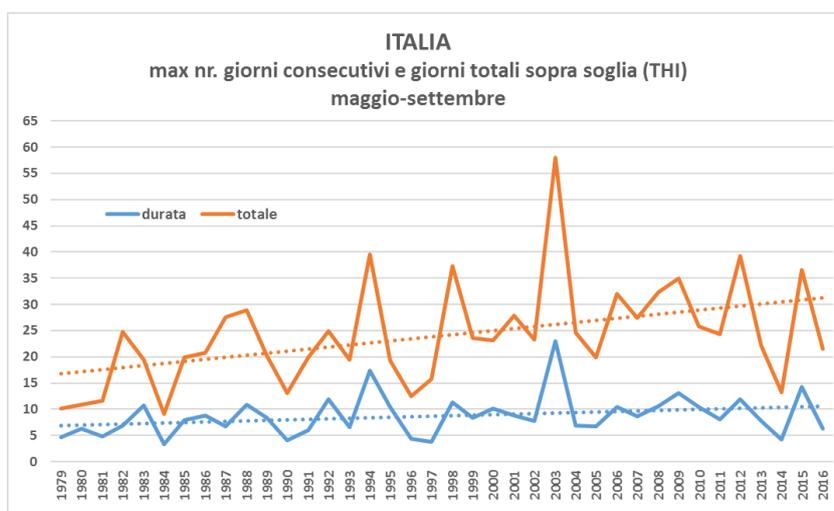


Figura 5.7: andamento del numero massimo consecutivo di giorni sopra soglia (linea blu) tra il 1979 e il 2016 e andamento del numero totale di giorni sopra soglia tra il 1979 e il 2016 (linea arancione) per l'indice THI. Entrambe le variabili mostrano un trend di crescita (a tal proposito si consideri la diversa scala dei valori).

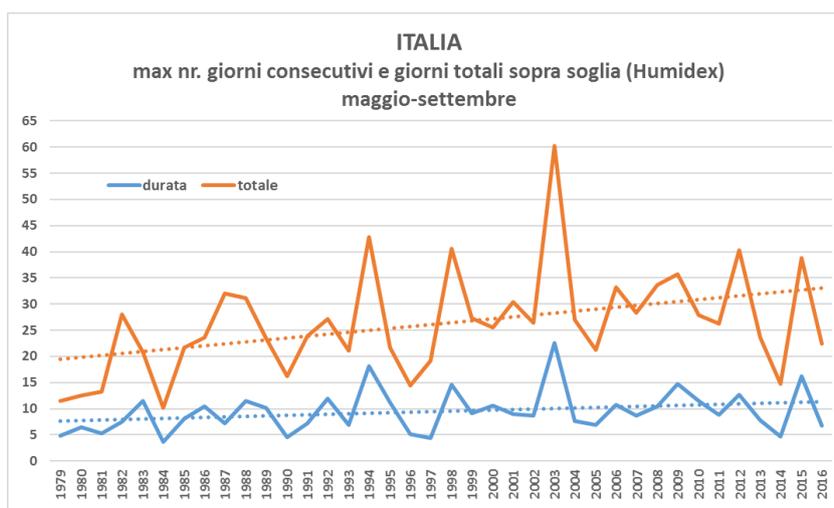


Figura 5.8: andamento del numero massimo consecutivo di giorni sopra soglia (linea blu) tra il 1979 e il 2016 e andamento del numero totale di giorni sopra soglia tra il 1979 e il 2016 (linea arancione) per l'indice Humidex. Entrambe le variabili mostrano un trend di crescita (a tal proposito si consideri la diversa scala dei valori).

A livello geografico i trend al rialzo del numero di ondate di calore risultano leggermente più forti sull'area centro-settentrionale del Paese, in particolare nei mesi di giugno e luglio. Anche i giorni totali e il numero massimo di giorni consecutivi sopra soglia mostrano una crescita lievemente maggiore al centro-nord rispetto al Sud e alle isole. Per i grafici relativi ai trend delle ondate di calore divisi per mese e macro-area si rimanda all'appendice. Quanto descritto conferma, ancora una volta, come il riscaldamento termico estivo sia stato particolarmente intenso sull'area centro settentrionale della Penisola in accordo con le marcate anomalie di circolazione atmosferica osservate, specialmente nel mese di giugno (per approfondimenti si rimanda al capitolo 3)

5.1.2 Picchi di mortalità estiva e ondate di calore in Italia

Com'è noto in letteratura ondate di calore estivo particolarmente intense e durature possono causare un significativo aumento dei ricoveri ospedalieri e della mortalità, andando ad aggravare condizioni patologiche (in particolare respiratorie e cardiovascolari) nei soggetti a rischio (D. O. Astrom et al., 2011; S. Muthers, 2010; J. Kysely et al., 2004). Anche le fasi di intenso caldo-umido individuate in questo lavoro di tesi mostrano un'evidente correlazione con i principali picchi di mortalità estiva registrati in Italia negli ultimi 38 anni.

Prima di descrivere in maniera più dettagliata i risultati è necessaria una breve premessa sulla distribuzione annuale e mensile della mortalità in Italia. Partendo dai dati ufficiali Eurostat è stato ricavato un indice che tiene conto del trend della mortalità annua e del numero effettivo dei giorni dei vari mesi; in parole semplici un valore di 100 indica un mese in cui la mortalità media giornaliera coincide con quella media dell'anno di appartenenza (per approfondire si rimanda a "materiali e metodi").

Il grafico sottostante (5.9) mostra la distribuzione dell'indice in Italia all'interno dell'anno ed è stato ricavato utilizzando la media aritmetica degli indici di ogni mese dal 1960 al 2015. Osservandolo si può notare come il grosso della mortalità si concentri nei mesi invernali, tardo autunnali e nel mese di marzo, mentre in estate e nei mesi di maggio, settembre e ottobre i valori dell'indice sono sempre inferiori a 100 (nessuna variazione significativa della distribuzione si riscontra nel periodo 1979-2015).

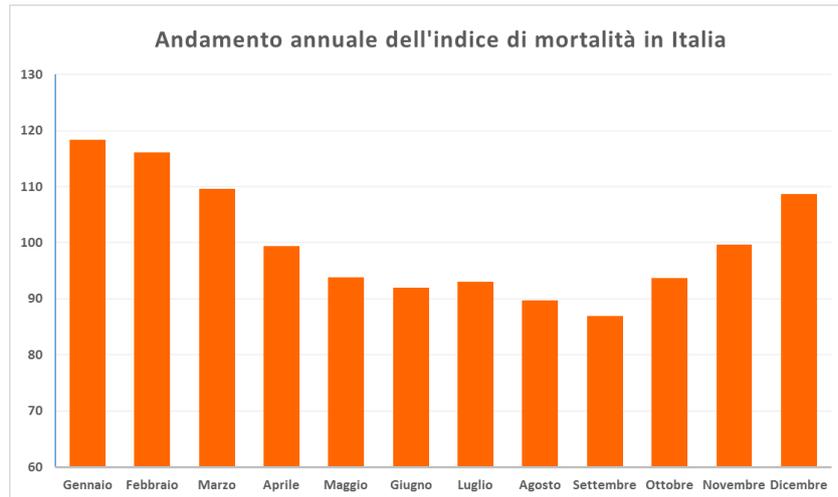


Figura 5.9: distribuzione mensile dell'indice di mortalità in Italia (serie di riferimento 1960-2015)

Durante la stagione fredda, quindi, alla mortalità di base, le cui cause non verranno affrontate in questa tesi, si aggiunge un surplus legato a cause esogene quali le epidemie influenzali (W.P. Glezen et al. 1982 – E. Goldstein et al., 2012) e il freddo; in un articolo del 2014 di Anice C. Lowen e di John Steel si dimostra la correlazione positiva tra le basse temperature e la proliferazione dei virus influenzali. In estate, invece, si ha una decisa riduzione della mortalità grazie alle migliori condizioni climatiche e all'assenza di epidemie virali. I picchi di decesso sono, nella quasi totalità dei casi, causati da intense ondate di calore, che se da un lato creano un'emergenza grave ma momentanea, dall'altro non riescono ad innalzare in maniera significativa l'indice in quanto decisamente meno frequenti e regolari rispetto alle epidemie influenzali. Inoltre i picchi di mortalità estiva, per quanto considerevoli, non riescono mai a raggiungere i livelli di quelli invernali. In sintesi la stagione estiva resta in assoluto, al netto dell'indubbio incremento del disagio termometrico osservato, quella meno impattante per la salute pubblica.

Questa premessa è doverosa in quanto, negli ultimi anni, l'estate viene spesso percepita come una stagione "ostile" a causa dell'aumento delle temperature, con effetti sulla mortalità che a volte appaiono addirittura superiori rispetto a quelli invernali.

Per quanto riguarda la correlazione tra ondate di caldo-umido identificate con i valori massimi di THI e Humidex e i picchi di mortalità estiva le immagini sottostanti risultano particolarmente indicative (5.10-5.11). I grafici mettono a confronto l'andamento dell'indice di mortalità medio nel trimestre estivo e le ondate di calore medie; come si può notare picchi e valli delle due variabili coincidono nella quasi totalità dei casi, segno evidente di una robusta corrispondenza causa-effetto.

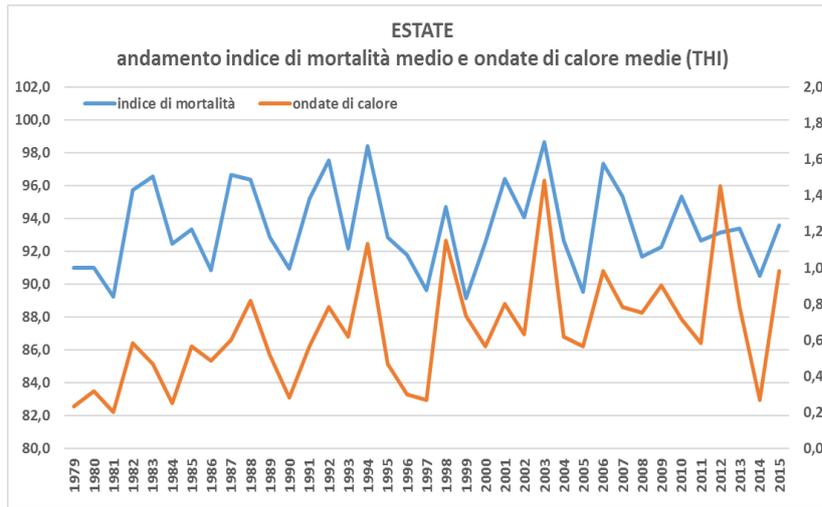


Figura 5.10: confronto tra le ondate di calore medie annue da THI e l'indice di mortalità medio

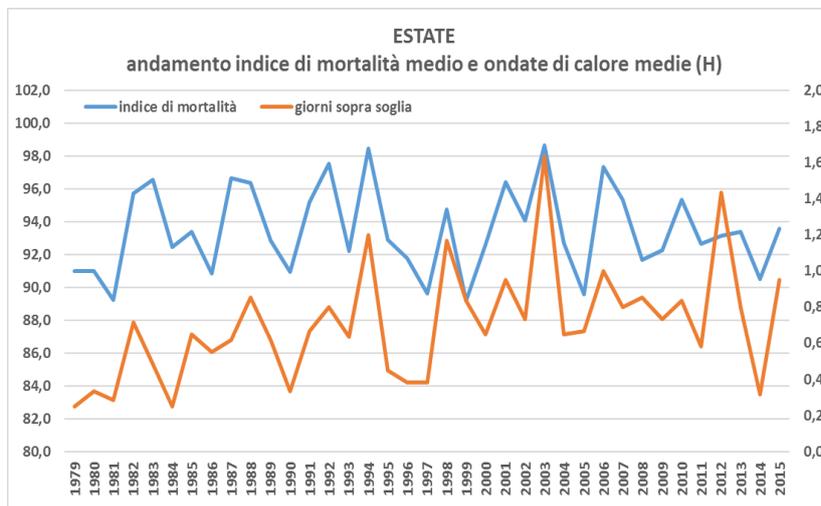


Figura 5.11: confronto tra le ondate di calore medie annue da Humidex e l'indice di mortalità medio.

Se allarghiamo l'indagine al numero totale di giorni con THI e Humidex massimi sopra soglia, vediamo che la relazione con l'indice di mortalità rimane evidente (Figure 5.12-5.13).

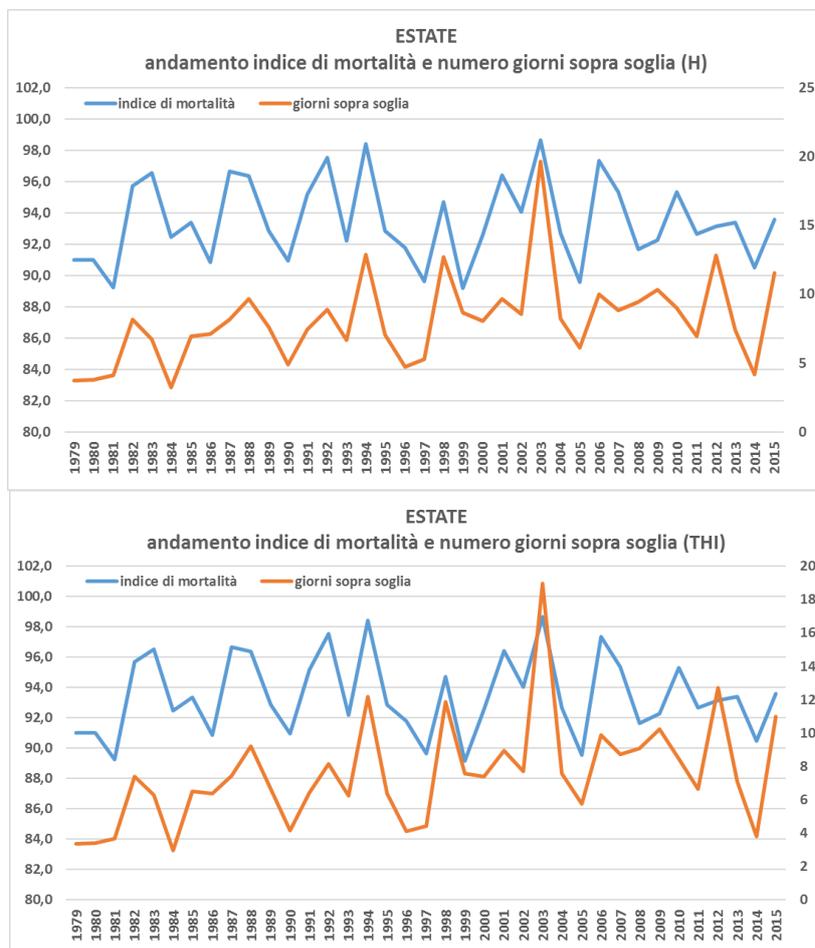


Figura 5.12-5.13: confronto tra i giorni totali oltre la soglia di disagio da Humidex (sopra) e da THI (sotto) e l'indice di mortalità medio. Si noti anche in questo caso la corrispondenza tra picchi e valli.

Un'ulteriore analisi, condotta sugli estremi della distribuzione degli indici di mortalità (80° e 90° percentile), mostra correlazioni con le ondate di calore e con il totale di giorni sopra soglia tra 0.8 e 0.9, questo sia per l'Humidex che per il THI (Figure 5.14-5.17); la varianza spiegata raggiunge valori tra il 66 e il 76% (in altre parole, c'è una probabilità intorno al 70-80% che gli estremi dell'indice di mortalità estivo siano in gran parte causati dalle ondate di calore). Pertanto in presenza di un'ondata di calore-afoso è lecito attendersi un incremento significativo dei ricoveri e dei decessi, in particolare nelle fasce di popolazione considerate a rischio.

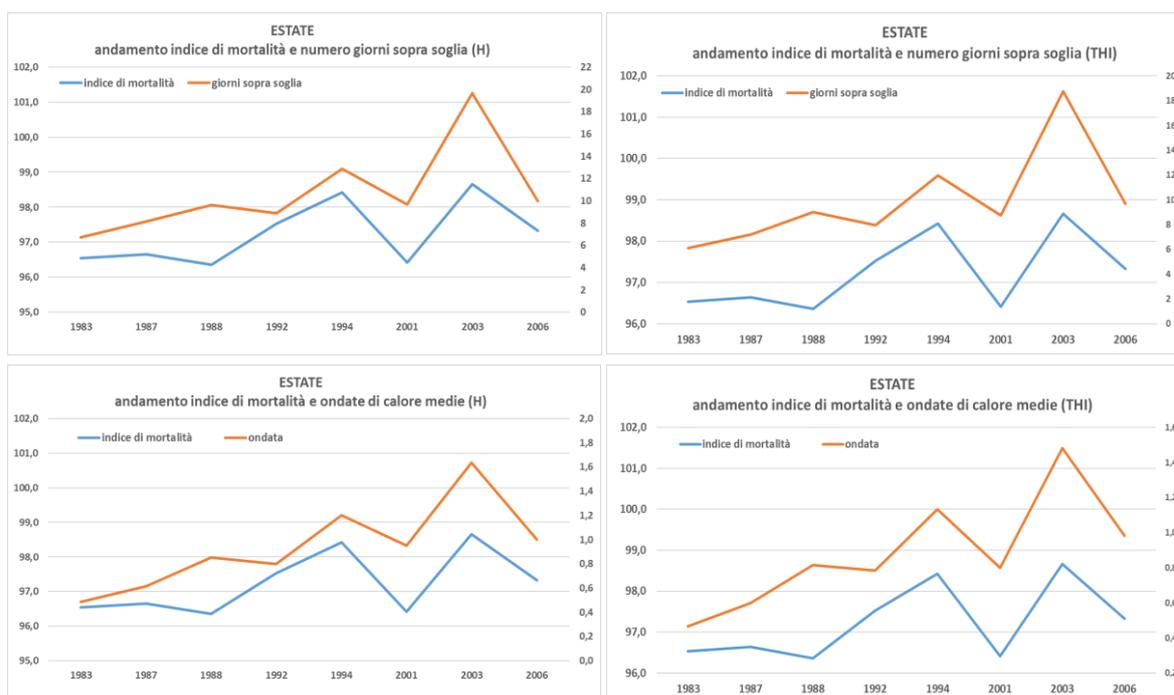


Figure 5.14-5.17: confronto tra i picchi dell'indice di mortalità (80° percentile) e le ondate di calore e i giorni sopra soglia da THI (destra) e Humidex (sinistra). Si noti la corrispondenza tra le due variabili.

Il confronto tra le due variabili mostra anche dei casi, piuttosto rari, in cui ad un picco di calore non corrisponde un picco dell'indice di mortalità. Tra le eccezioni spicca quella, piuttosto clamorosa, del 2012, quando ad un'estate estremamente calda⁷ (Ispra, Rapportoclima 2012) non ha corrisposto un indice di mortalità altrettanto anomalo. La ragione di un così netto disaccoppiamento va ricercata nei mesi invernali, nello specifico nel mese di febbraio, mese durante il quale si sono susseguite intense ondate di freddo che hanno interessato tutta l'Italia.

Le temperature abbondantemente al di sotto della norma⁸ (Ispra, Rapportoclima 2012) hanno probabilmente favorito le epidemie influenzali causando un picco di mortalità senza precedenti dal 1960 ad oggi: 62.649 decessi contro una media di 49.264 (+13.385). Anche il mese di marzo ha fatto registrare un importante surplus di morti (+6.759), probabilmente a causa dell'inerzia degli effetti del freddo e dell'influenza. L'estate successiva, nonostante il caldo anomalo, non ha fatto registrare picchi significativi di mortalità proprio perché nei

⁷ Al Nord l'estate 2012 è stata la seconda più calda dal 1960 dopo il 2003. Il mese di agosto ha fatto registrare un'anomalia di +3.22 °C al Centro e giugno di +2.69 °C al Sud e sulle Isole (Rapportoclima Ispra, 2012).

⁸ Febbraio 2012 ha fatto registrare un'anomalia di -2,27 °C al Nord, -2.62 °C al Centro e -1.85 °C al Sud e sulle Isole. Si tratta di uno dei febbraio più freddi della serie storica.

mesi precedenti gli eccezionali rigori invernali hanno operato una marcata selezione dei soggetti a rischio.

Interessante sottolineare, infine, come ad un aumento della frequenza annua delle ondate di calore tra il 1979 e il 2016 (vedi paragrafo precedente), non abbia coinciso un incremento dell'indice di mortalità estivo (Figura 5.18). Per quanto siano numerose e complesse le variabili in gioco, una spiegazione potrebbe essere trovata nella maggior consapevolezza, da parte dell'opinione pubblica, dei rischi legati alle ondate di calore, nonché nella creazione di sistemi di prevenzione promossi dalle istituzioni (ISS, Protezione Civile), in particolare dopo l'eccezionale ondata di caldo dell'estate 2003 (M. Morabito et al., 2011). Inoltre è lecito ritenere che la diffusione sempre più capillare di tecnologie volte alla riduzione del disagio da caldo (condizionatori e deumidificatori) abbia probabilmente portato un giovamento anche nelle fasce di popolazione più esposte.

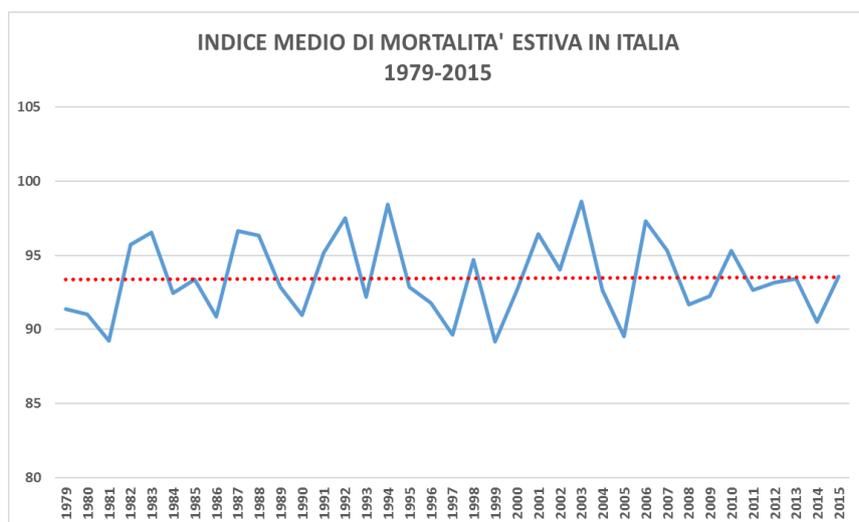


Figura 5.18: andamento dell'indice di mortalità in Italia tra il 1979 e il 2015. È indicata la retta di regressione lineare, si noti la totale assenza di trend.

Sintesi del paragrafo: *il numero medio di ondate di caldo-umido legate agli indici THI e Humidex ha evidenziato, tra il 1997 e il 2016, incrementi statisticamente significativi nei mesi di giugno, luglio e settembre; nel mese di agosto il trend, seppure in crescita, non risulta significativo. Maggio non mostra alcuna ondata. All'incremento delle ondate di calore si aggiunge un aumento marcato dei giorni totali al di sopra delle soglie di criticità individuate. I picchi di mortalità estiva coincidono, nella quasi totalità dei casi, con picchi di calore umido, mostrando correlazioni fino a 0.8-0.9 relativamente agli eventi estremi (80°-90° percentile).*

6. CONCLUSIONI

6.1 Sintesi dei principali risultati

1. Tra il 1979 e il 2016 le temperature massime e medie estive in Italia sono aumentate significativamente e con esse è cresciuto anche il disagio da caldo descritto dagli indici bioclimatici Humidex e THI. I maggiori incrementi hanno interessato l'area centro settentrionale del Paese e i mesi di maggio, giugno e luglio;
2. Il numero medio di ondate di caldo-umido legate agli indici THI e Humidex è aumentato su tutta Italia, con incrementi statisticamente significativi nei mesi di giugno, luglio e settembre. All'aumento delle ondate di calore si aggiunge una marcata crescita dei giorni considerati "critici", ovvero caratterizzati da valori di massimi di THI e Humidex superiori al 90° percentile;
3. I picchi di mortalità estiva individuati nel periodo oggetto di studio coincidono, nella quasi totalità dei casi, con picchi di caldo-umido. Tra le due variabili si osserva una forte correlazione statistica, in particolare per gli eventi estremi;
4. Dall'analisi delle serie termiche è emersa, nel periodo 1979-2016, la presenza di due sotto-periodi climaticamente distinti tra loro: il primo va dal 1979 al 1997, il secondo inizia nel 1998 e prosegue fino ad oggi. All'interno delle due fasi le curve tendono a disegnare dei plateau, indicando quindi una temporanea stabilizzazione delle temperature. Il periodo 1998-2016 risulta decisamente più caldo e stabile del primo con incrementi medi, nel trimestre estivo, superiori al grado;
5. Gli indici bioclimatici, in quanto fortemente dipendenti dalla variabile termica, mostrano le stesse fasi temporali individuate per le temperature. Il periodo 1998-2016 si contraddistingue per valori medi e massimi di THI e Humidex ben superiori rispetto a quelli del periodo 1979-1997. Nel 1998-2016 si riscontra,

altresì, un aumento significativo sia delle ondate di caldo-umido che dei giorni potenzialmente critici per la salute pubblica.

6. Alla base di una così netta discontinuità nelle temperature e negli indici bioclimatici tra i due sotto-periodi individuati pare esserci un cambio della circolazione atmosferica sul comparto euro-mediterraneo. Tra il 1979-1997 e il 1998-2016, infatti, il segno delle anomalie di alcune importanti variabili fisiche (tra cui venti zionali e altezza geopotenziale a 500 hPa) risulta invertito.
7. La particolare stabilità statistica del periodo 1998-2016 e il fatto che coincida con gli anni più recenti, ha portato a considerarlo come rappresentativo del livello di disagio che attualmente caratterizza le estati italiane. In altre parole il 1998-2016 può essere considerato come riferimento climatologico del disagio da caldo-umido in Italia. Su questa base sono state effettuate alcune semplici elaborazioni statistiche finalizzate a fornire indicazioni pratiche sull'andamento del caldo-afoso in Italia.

6.2 Conclusioni e prospettive future

In questo lavoro di tesi si è dimostrato, attraverso l'utilizzo di dati osservati al suolo, che il disagio da caldo in Italia tra il 1979 e il 2016 è cresciuto notevolmente. Un incremento statisticamente significativo dei valori medi e massimi degli indici THI e Humidex può avere ricadute negative sulla salute pubblica con un conseguente aumento dei costi sociali. Da qui l'importanza di un monitoraggio continuo del fenomeno che tenga conto non soltanto della singola emergenza, ma anche di come il caldo-umido si inserisce all'interno dei cambiamenti climatici. L'analisi delle serie termo-igrometriche condotta in questa tesi, infatti, ha permesso non soltanto di certificare l'incremento del calore-afoso e delle ondate ad esso collegate, ma anche di individuare due fasi bioclimatiche ben distinte tra loro. Di queste la più recente (1998-2016) si distingue per valori di THI e Humidex ben più alti della precedente (1979-1997) e per l'assenza di trend significativi. Il risultato ottenuto ha consentito la creazione di una base statistica di riferimento del caldo-afoso consultabile non soltanto dai membri della comunità scientifica interessati al fenomeno, ma anche dai decisori e dai comuni cittadini. Si ritiene plausibile, infatti, che le elaborazioni statistiche

ottenute sulla base del periodo di riferimento 1998-2016, possano essere rappresentative del livello di disagio termico che caratterizza le estati italiane nell'attuale fase climatica. L'aggiornamento degli indici termo-igrometrici sulla base delle oscillazioni climatiche, pertanto, risulta di fondamentale importanza sia per comprenderne l'andamento nel tempo, sia per poterne trarre le migliori indicazioni possibili per la gestione della salute pubblica.

Oltre a mostrare l'evoluzione del caldo-afoso in Italia negli ultimi decenni e a fornire una piattaforma statistica aggiornata, questa tesi aveva tra gli obiettivi iniziali anche la creazione di carte tematiche che mostrassero la distribuzione del disagio termico sul territorio nazionale. Si sarebbe trattato di un elemento informativo non soltanto di indubbia utilità, ma anche di facile fruizione e interpretazione da parte dei decisori e della comunità scientifica. L'ultima mappatura completa del caldo afoso in Italia risale ad oltre 50 anni fa e fu operata, con estrema cura e rigore, da Mario Pinna. Il cambiamento climatico recente avrebbe imposto un aggiornamento della stessa, ma purtroppo la cronica mancanza di serie storiche aggiornate, complete e digitalizzate non ha permesso il raggiungimento dello scopo; un'adeguata mappatura, infatti, richiede l'utilizzo di un numero molto elevato di stazioni meteorologiche. Tutte queste difficoltà derivano, a detta dello scrivente, dall'assenza in Italia di un servizio meteo-climatico nazionale, come invece presente nei maggiori paesi avanzati.

Sarebbe auspicabile che nel prossimo futuro le istituzioni e la comunità scientifica si impegnassero concretamente nel creare un database di libero accesso che raccolga e metta a disposizione le migliaia di serie storiche presenti nel nostro Paese. In caso contrario molti progetti di ricerca rischierebbero ancora di non vedere la luce, o di rimanere incompleti a causa dell'estrema dispersione dei dati climatologici.

Si spera, pertanto, che un efficiente riordino del settore possa, in un futuro non lontano, permettere di aggiornare la mappatura del calore umido in Italia. Un'alternativa potrebbe essere quella di utilizzare i dati termo-igrometrici ricostruiti sulla base delle rianalisi, tuttavia l'informazione finale non risulterebbe veritiera come lo sarebbe, invece, quella basata su dati reali osservati. E' bene a tal proposito ricordare che la qualità di un dato reale ben rilevato è sempre superiore rispetto a quella di un dato ricostruito sulla base di rianalisi modellistiche.

Un ulteriore sviluppo di questo lavoro di tesi potrebbe essere quello di elaborare, sulla base delle proiezioni dei modelli climatici e di circolazione atmosferica, i possibili scenari di evoluzione dei principali indici bioclimatici.

BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Astrom D.O., Forsberg B., Rocklov J. Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. *Mauritas*, 69 (2011) 99-105.

Christidis, N., and P. A. Stott (2015), Changes in the geopotential height at 500 hPa under the influence of external climatic forcings, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 10,798–10,806,

Glezen W.P., Decker M., Joseph S.W., Mercready R.G. Jr. Acute respiratory disease associated with influenza epidemics in Houston, 1981-1983. *The journal of infectious diseases*. 1987 Jun;155(6):1119-26.

Goldstein E., Viboud., Charu., Lipsitch M. Improving the estimation of influenza-related mortality over a seasonal baseline. 2012 Nov;23(6):829-38.

Hafez Y.Y., Almazroi M. Recent Study of Anomaly of Global Annual Geopotential Height and Global Warming. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014, 4, 347-357.

Iñiguez C, Ballester F, Ferrandiz J, Pérez-Hoyos S, Sáez M, López A, et al. Relation between temperature and mortality in thirteen Spanish cities. *Int J Environ Res Public Health* 2010;7:3196–210.

Zhu, J., Wang, S. and Zhang, X. (2002), Global warming mode of atmospheric circulation. *Atmosph. Sci. Lett.*, 3: 1–13. doi:10.1006/asle.2002.0052.

Keatinge WR, Donaldson GC, Cordioli E, Martinelli M, Kunst AE, Mackenbach JP, et al. Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study. *BMJ* 2000a;321:670–3.

Killick, R., Fearnhead, P., Eckley, I.A. (2012) Optimal detection of changepoints with a linear computational cost. *Journal of the American Statistical Association* 107(500) 1590-1598.

Kożuchowski, K., Wibig, J. and Maheras, P. (1992), Connections between air temperature and precipitation and the geopotential height of the 500 hPa level in A meridional cross-section in Europe. *Int. J. Climatol.*, 12: 343–352. doi:10.1002/joc.3370120403.

Lin Y.K., Chang C.K., Li M.H., Wu Y.C., Wang Y.C. High-temperature indices associated with mortality and outpatient visits: characterizing the association with elevated temperature. *Science of The Total Environment*. 10.1016/j.scitotenv.2012.04.039.

Lorenz, D. J., and E. T. DeWeaver (2007), Tropopause height and zonal wind response to global warming in the IPCC scenario integrations, *J. Geophys. Res.*, 112, D10119, doi:10.1029/2006JD008087.

Lowen A.C., Mubareka S., Steel J., Palese P. Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature. *Plos Pathogens*. 2007 Oct 19;3(10):1470-6.

Masterson J., Richardson F.A., Humidex, A Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity, Downsview, Ontario, Environment Canada, (1979) 45p.

Morabito M., Profili F., Crisci A., Francesconi P., Genisi G.F., Orlandini S. Heat-related mortality in the Florentine area (Italy) before and after the exceptional 2003 heat wave in Europe: an improved public health response? *International Journal of Biometeorology*. 10.1007/s00484-011-0481-y. 2011.

Muthers S., Matzarakis A., Koch E. Climate Change and Mortality in Vienna. A Human Biometeorological Analysis Based on Regional Climate Modeling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2010, 7, 2965-2977; doi:10.3390/ijerph7072965

Pinna M. 1969, "I valori termici nella classificazione del clima italiano: il caldo umido in Italia", in: *La distribuzione della temperatura in Italia nel trentennio 1926-1955*, Ministero Lavori Pubblici, n. 21 del Servizio Idrografico, pp. 92-96, Roma.

Reichler T. (2009), Changes in the Atmospheric Circulation as Indicator of Climate Change. Climate Change, Observed Impacts on Planet Earth, pages 145–164. Elsevier.

Staiger H., Laschewsky G., Gratz A. The perceived temperature – a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. International Journal of Biometeorology. 10.1007/s00484-011-0409-6, 2011.

The Eurowinter Group. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. The Eurowinter Group. Lancet 1997 ;349:1341–6.

Thom EC (1959) The discomfort index. Weatherwise (V) 20:57–60.

SITOGRAFIA

<https://www.arcgis.com/features/index.html>

<https://www.arpa.piemonte.gov.it/rischinaturali/rischi/effetti-sulla-salute/biometeorologia/Discomfort.html>

<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature>

http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Mortality_and_life_expectancy_statistics

<http://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/cambiamenti-climatici-e-meteo>

<http://www.scia.isprambiente.it/documentazione.asp>

http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/statoambiente/Stato_amb_36_13_Indcli ma2012_finale.pdf

<https://data.noaa.gov/dataset/global-surface-summary-of-the-day-gsod>

<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/>

<http://www.epicentro.iss.it/focus/caldo/aggiornamenti.asp>

https://www.politicheagricole.it/flex/FixedPages/Common/miepfy900_allerCaldo.php/L/IT?link=due

http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_dossier.wp?contentId=DOS19911

<https://www.r-project.org/>

<http://www.sar.sardegna.it/documentazione/agro/thi.asp>

APPENDICE: tabelle e grafici

1. TREND TERMICI DIVISI PER LOCALITA', SOTTOZONA E MACRO-AREA (serie dati 1979-2016)

LOCALTA'	ESTATE T MED			ESTATE T MAX		
	°C/decade	°C	1- α =95%	°C/decade	°C	1- α =95%
PIEMONTE						
Torino	0,35	1,3	X	0,36	1,4	X
Cameri	0,46	1,7	X	0,3	1,1	
Mondovì	0,48	1,5	X	0,67	2,1	X
LIGURIA						
Genova	0,32	1,2	X	0,31	1,2	X
Capo Mele	0,48	1,8	X	0,51	1,9	X
LOMBARDIA						
Milano Linate	0,67	2,5	X	0,75	2,9	X
Bergamo	0,6	2,3	X	0,59	2,2	X
Brescia	0,59	2,2	X	0,73	2,8	X
VENETO - ALTO ADIGE						
Venezia	0,59	2,2	X	0,59	2,2	X
Verona	0,65	2,5	X	0,83	3,2	X
Bolzano	0,57	2,2	X	0,54	2,1	X
Treviso	0,72	2,7	X	0,74	2,7	X
FRIULI						
Ronchi Legionari	0,34	1,3	X	0,35	1,3	X
Aviano	0,34	1,3	X	0,75	2,9	X
Trieste	0,49	1,8	X	0,69	2,6	X
EMILIA ROMAGNA - MARCHE						
Bologna	0,47	1,8	X	0,62	2,4	X
Piacenza	0,58	2,2	X	0,52	2,0	X
Forlì	0,68	2,6	X	0,67	2,5	X
Rimini	0,52	2,0	X	0,27	1,0	
Cervia	0,4	1,5	X	0,56	2,1	X
Ancona Falconara	0,44	1,7	X	0,34	1,3	X
TOSCANA CENTRO-NORD						
Pisa	0,39	1,5	X	0,33	1,3	X
Firenze	0,38	1,4	X	0,45	1,7	X
LAZIO-MAREMMA-UMBRIA						
Grosseto	0,68	2,6	X	0,75	2,9	X
Perugia	0,72	2,7	X	0,74	2,8	X
Viterbo	0,58	2,2	X	1	3,8	X
Latina	0,57	2,2	X	0,89	3,4	X
Roma Ciampino	0,61	2,3	X	0,62	2,4	X
Pratica di mare	0,44	1,7	X	0,71	2,7	X

LOCALTA'	ESTATE T MED			ESTATE T MAX		
PUGLIA-ABRUZZO	°C/decade	°C	1-α=95%	°C/decade	°C	1-α=95%
Pescara	0,25	1,0	X	0,34	1,3	X
Bari	0,46	1,7	X	0,53	2,0	X
Lecce	0,41	1,6	X	0,49	1,9	X
Brindisi	0,39	1,5	X	0,32	1,2	X
Santa maria di Leuca	0,49	1,9	X	0,49	1,9	X
Marina di Ginosa	0,64	2,4	X	0,74	2,8	X
Foggia	0,56	2,1	X	0,7	2,7	X
CAMPANIA						
Napoli	0,6	2,3	X	0,35	1,3	X
Grazzanise	0,6	2,2	X	0,92	3,4	X
Capo Palinuro	0,5	1,9	X	0,64	2,4	X
CALABRIA						
Reggio Calabria	0,44	1,6	X	0,68	2,5	X
Lamezia Terme	0,35	1,3	X	0,25	1,0	
SICILIA						
Cozzo Spadaro	0,33	1,3	X	0,18	0,7	
Messina	0,31	1,2	X	0,41	1,6	X
SARDEGNA						
Decimomannu	0,55	2,1	X	1	3,8	X
Alghero	0,38	1,4	X	0,61	2,3	
Cagliari	0,43	1,6	X	0,33	1,3	X
Olbia	0,23	0,9		0,59	2,2	X
ISOLE MINORI						
Lampedusa	0,16	0,6		0,32	1,2	
Pantelleria	0,27	1,0	X	0,17	0,6	

NORD - CENTRO	MAGGIO T MED			GIUGNO T MED		
	°C/decade	°C	1-α=95%	°C/decade	°C	1-α=95%
PIEMONTE						
Torino	0,54	2,1		0,57	2,2	X
Cameri	0,43	1,6	X	0,69	2,6	X
Mondovì	0,41	1,3		0,87	2,7	X
LIGURIA						
Genova	0,52	2,0	X	0,51	1,9	X
Capo Mele	0,6	2,3	X	0,6	2,3	X
LOMBARDIA						
Milano Linate	0,77	2,9	X	0,89	3,4	X
Bergamo	0,73	2,8	X	0,81	3,1	X
Brescia	0,66	2,5	X	0,76	2,9	X
VENETO - ALTO ADIGE						
Venezia	0,47	1,8	X	0,7	2,7	X
Verona	0,62	2,4	X	0,83	3,2	X
Bolzano	0,58	2,2	X	0,83	3,2	X
Treviso	0,54	2,1	X	0,78	3,0	X
FRIULI						
Ronchi Legionari	0,29	1,1		0,48	1,8	X
Aviano	0,26	1,0		0,55	2,1	X
Trieste	0,21	0,8		0,61	2,3	X
EMILIA ROMAGNA - MARCHE						
Bologna	0,47	1,8	X	0,6	2,3	X
Piacenza	0,68	2,6	X	0,78	3,0	X
Forlì	0,66	2,5	X	0,75	2,9	X
Rimini	0,33	1,3		0,52	2,0	X
Cervia	0,31	1,2		0,35	1,3	X
Ancona Falconara	0,43	1,6	X	0,5	1,9	X
TOSCANA CENTRO-NORD						
Pisa	0,34	1,3		0,48	1,8	X
Firenze	0,29	1,1		0,53	2,0	X
LAZIO-MAREMMA-UMBRIA						
Grosseto	0,7	2,7	X	0,8	3,0	X
Perugia	0,52	2,0	X	0,86	3,3	X
Viterbo	0,43	1,6		0,73	2,7	X
Latina	0,64	2,4	X	0,74	2,8	X
Roma Ciampino	0,56	2,1	X	0,67	2,5	X
Pratica di mare	0,51	1,9	X	0,47	1,8	X

NORD - CENTRO	LUGLIO TMED			AGOSTO TMED		
	°C/decade	°C	1- α =95%	°C/decade	°C	1- α =95%
PIEMONTE						
Torino	0,25	1,0		0,23	0,9	
Cameri	0,41	1,6		0,29	1,1	
Mondovì	0,37	1,1		0,19	0,6	
LIGURIA						
Genova	0,33	1,3		0,12	0,5	
Capo Mele	0,52	2,0	X	0,29	1,1	
LOMBARDIA						
Milano Linate	0,65	2,5	X	0,55	2,1	X
Bergamo	0,59	2,2	X	0,41	1,6	
Brescia	0,54	2,1	X	0,48	1,8	X
VENETO + ALTO ADIGE						
Venezia	0,63	2,4	X	0,44	1,7	X
Verona	0,65	2,5	X	0,47	1,8	X
Bolzano	0,5	1,9	X	0,38	1,4	X
Treviso	0,79	2,9	X	0,58	2,2	X
FRIULI						
Ronchi Legionari	0,34	1,3		0,21	0,8	
Aviano	0,3	1,1		0,15	0,6	
Trieste	0,49	1,9	X	0,4	1,5	
EMILIA ROMAGNA + ANCONA						
Bologna	0,48	1,8	X	0,34	1,3	
Piacenza	0,52	2,0	X	0,42	1,6	X
Forlì	0,57	2,2	X	0,45	1,7	X
Rimini	0,54	2,1	X	0,49	1,9	X
Cervia	0,47	1,8	X	0,37	1,4	
Ancona Falconara	0,51	1,9	X	0,31	1,2	
TOSCANA CENTRO-NORD						
Pisa	0,39	1,5	X	0,3	1,1	
Firenze	0,35	1,3		0,26	1,0	
LAZIO-MAREMMA-UMBRIA						
Grosseto	0,68	2,6	X	0,55	2,1	X
Perugia	0,71	2,7	X	0,54	2,1	X
Viterbo	0,56	2,1	X	0,55	2,0	X
Latina	0,64	2,4	X	0,41	1,6	X
Roma Ciampino	0,59	2,2	X	0,58	2,2	X
Pratica di mare	0,42	1,6	X	0,42	1,6	X

SUD - ISOLE	MAGGIO T MED			GIUGNO T MED		
	°C/decade	°C	1- α =95%	°C/decade	°C	1- α =95%
PUGLIA-ABRUZZO						
Pescara	0,23	0,9		0,34	1,3	X
Bari	0,38	1,4	X	0,51	1,9	X
Lecce	0,23	0,9		0,39	1,5	X
Brindisi	0,31	1,2		0,38	1,4	X
Santa maria di Leuca	0,32	1,2		0,47	1,8	X
Marina di Ginosa	0,49	1,9	X	0,7	2,7	X
Foggia	0,55	2,1	X	0,7	2,7	X
CAMPANIA						
Napoli	0,62	2,4	X	0,69	2,6	X
Grazzanise	0,44	1,6	X	0,75	2,8	X
Capo Palinuro	0,63	2,4	X	0,57	2,2	X
CALABRIA						
Reggio Calabria	0,43	1,6	X	0,47	1,7	X
Lamezia Terme	0,42	1,6	X	0,33	1,3	X
SICILIA						
Cozzo Spadaro	0,4	1,5	X	0,28	1,1	X
Messina	0,47	1,8	X	0,33	1,3	X
SARDEGNA						
Decimomannu	0,55	2,1	X	0,66	2,5	X
Alghero	0,43	1,6	X	0,5	1,9	X
Cagliari	0,58	2,2	X	0,53	2,0	X
Olbia	0,35	1,3		0,29	1,1	
ISOLE MINORI						
Lampedusa	0,27	1,0		0,17	0,6	
Pantelleria	0,25	1,0		0,14	0,5	

SUD - ISOLE	LUGLIO T MED			AGOSTO T MED		
	°C/decade	°C	1- α =95%	°C/decade	°C	1- α =95%
PUGLIA-ABRUZZO						
Pescara	0,29	1,1		0,13	0,5	
Bari	0,51	1,9	X	0,36	1,4	
Lecce	0,39	1,5	X	0,45	1,7	X
Brindisi	0,37	1,4	X	0,43	1,6	X
Santa maria di Leuca	0,56	2,1	X	0,45	1,7	X
Marina di Ginosa	0,68	2,6	X	0,53	2,0	X
Foggia	0,51	1,9	X	0,48	1,8	X
CAMPANIA						
Napoli	0,5	1,9	X	0,59	2,2	X
Grazzanise	0,52	1,9	X	0,45	1,7	X
Capo Palinuro	0,52	2,0	X	0,46	1,7	X
CALABRIA						
Reggio Calabria	0,54	2,0	X	0,42	1,6	X
Lamezia Terme	0,34	1,3	X	0,39	1,5	X
SICILIA						
Cozzo Spadaro	0,38	1,4	X	0,32	1,2	X
Messina	0,36	1,4	X	0,24	0,9	
SARDEGNA						
Decimomannu	0,57	2,2	X	0,43	1,6	X
Alghero	0,37	1,4		0,26	1,0	
Cagliari	0,46	1,7	X	0,31	1,2	
Olbia	0,28	1,1		0,1	0,4	
ISOLE MINORI						
Lampedusa	0,24	0,9		0,1	0,4	
Pantelleria	0,3	1,1		0,37	1,4	X

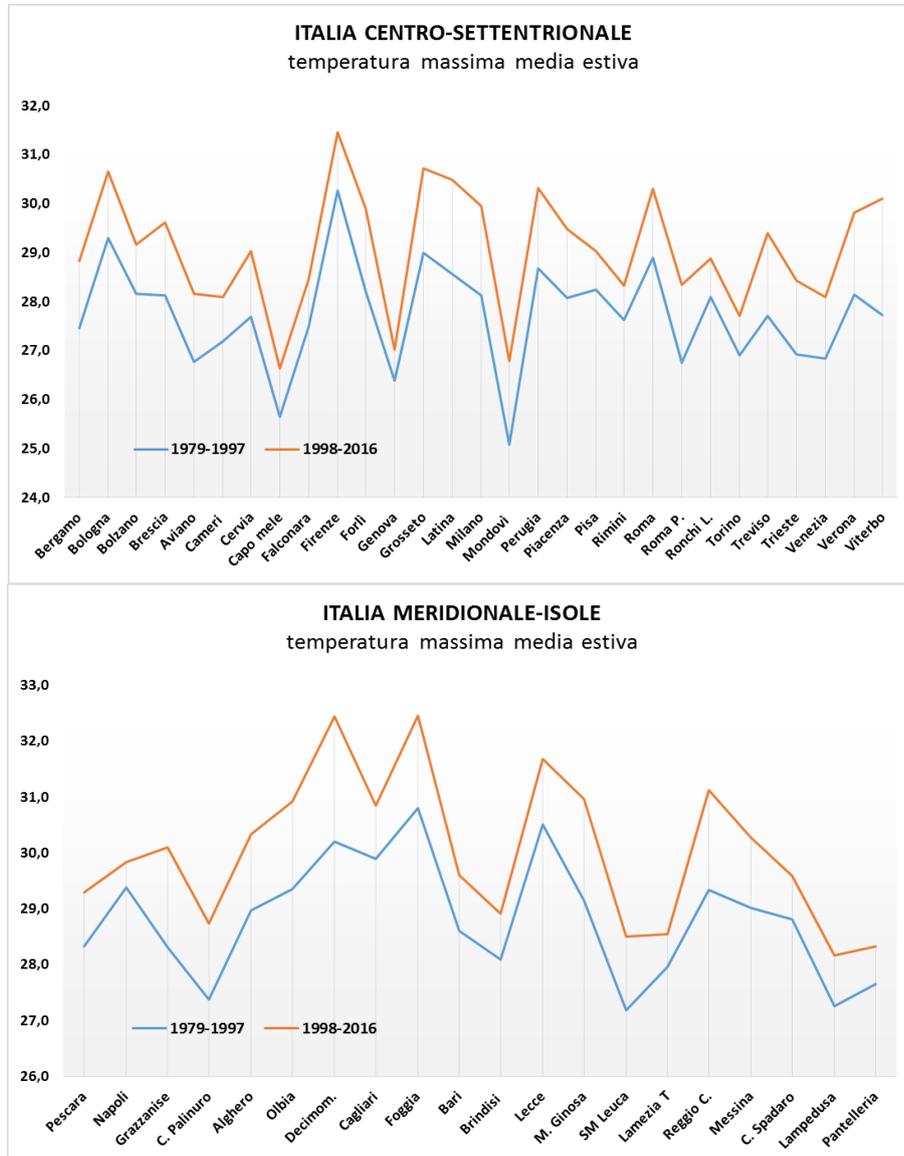
NORD - CENTRO	MAGGIO T MAX			GIUGNO T MAX		
PIEMONTE	°C/decade	°C	1-α=95%	°C/decade	°C	1-α=95%
Torino	0,59	2,2	X	0,46	1,7	X
Cameri	0,38	1,4		0,53	2,0	X
Mondovì	0,58	1,8		1	3,1	X
LIGURIA						
Genova	0,51	1,9	X	0,47	1,8	X
Capo Mele	0,68	2,6	X	0,69	2,6	X
LOMBARDIA						
Milano Linate	0,91	3,5	X	0,93	3,5	X
Bergamo	0,78	3,0	X	0,75	2,9	X
Brescia	0,83	3,2	X	0,81	3,1	X
VENETO + ALTO ADIGE						
Venezia	0,48	1,8		0,72	2,7	X
Verona	0,74	2,8	X	0,96	3,6	X
Bolzano	0,65	2,5	X	0,8	3,0	X
Treviso	0,59	2,2		0,81	3,0	X
FRIULI						
Ronchi Legionari	0,28	1,1		0,52	2,0	X
Aviano	0,64	2,4	X	0,99	3,8	X
Trieste	0,4	1,5		0,78	3,0	X
EMILIA ROMAGNA + ANCONA						
Bologna	0,6	2,3	X	0,71	2,7	X
Piacenza	0,62	2,4	X	0,66	2,5	X
Forlì	0,64	2,4	X	0,73	2,8	X
Rimini	0,19	0,7		0,26	1,0	
Cervia	0,51	1,9	X	0,53	2,0	X
Ancona Falconara	0,37	1,4		0,37	1,4	X
TOSCANA CENTRO-NORD						
Pisa	0,37	1,4		0,46	1,7	X
Firenze	0,45	1,7		0,63	2,4	X
LAZIO-MAREMMA-UMBRIA						
Grosseto	0,82	3,1	X	0,95	3,6	X
Perugia	0,51	1,9		0,92	3,5	X
Viterbo	0,85	3,1	X	1,1	4,0	X
Latina	0,87	3,3	X	1	3,8	X
Roma Ciampino	0,59	2,2	X	0,73	2,8	X
Pratica di mare	0,9	3,4	X	0,88	3,3	X

NORD - CENTRO	LUGLIO T MAX			AGOSTO T MAX		
	°C/decade	°C	1- α =95%	°C/decade	°C	1- α =95%
PIEMONTE						
Torino	0,29	1,1		0,32	1,2	
Cameri	0,29	1,1		0,29	1,1	
Mondovì	0,66	2,0	X	0,1	0,3	
LIGURIA						
Genova	0,33	1,3		0,14	0,5	
Capo Mele	0,55	2,1	X	0,32	1,2	
LOMBARDIA						
Milano Linate	0,7	2,7	X	0,62	2,4	X
Bergamo	0,58	2,2	X	0,43	1,6	
Brescia	0,69	2,6	X	0,68	2,6	X
VENETO + ALTO ADIGE						
Venezia	0,64	2,4	X	0,4	1,5	
Verona	0,83	3,2	X	0,71	2,7	X
Bolzano	0,48	1,8		0,34	1,3	
Treviso	0,85	3,1	X	0,6	2,2	X
FRIULI						
Ronchi Legionari	0,37	1,4		0,15	0,6	
Aviano	0,74	2,8	X	0,51	1,9	
Trieste	0,69	2,6	X	0,59	2,2	X
EMILIA ROMAGNA + ANCONA						
Bologna	0,61	2,3	X	0,54	2,1	
Piacenza	0,45	1,7	X	0,46	1,7	
Forlì	0,7	2,7	X	0,63	2,4	X
Rimini	0,31	1,2		0,24	0,9	
Cervia	0,64	2,4	X	0,37	1,4	
Ancona Falconara	0,39	1,5	X	0,25	1,0	
TOSCANA CENTRO-NORD						
Pisa	0,25	1,0		0,27	1,0	
Firenze	0,33	1,3		0,39	1,5	
LAZIO-MAREMMA-UMBRIA						
Grosseto	0,68	2,6	X	0,59	2,2	X
Perugia	0,69	2,6	X	0,56	2,1	
Viterbo	0,98	3,7	X	0,9	3,3	X
Latina	0,89	3,4	X	0,7	2,6	X
Roma Ciampino	0,54	2,1	X	0,57	2,2	X
Pratica di mare	0,63	2,4	X	0,61	2,3	X

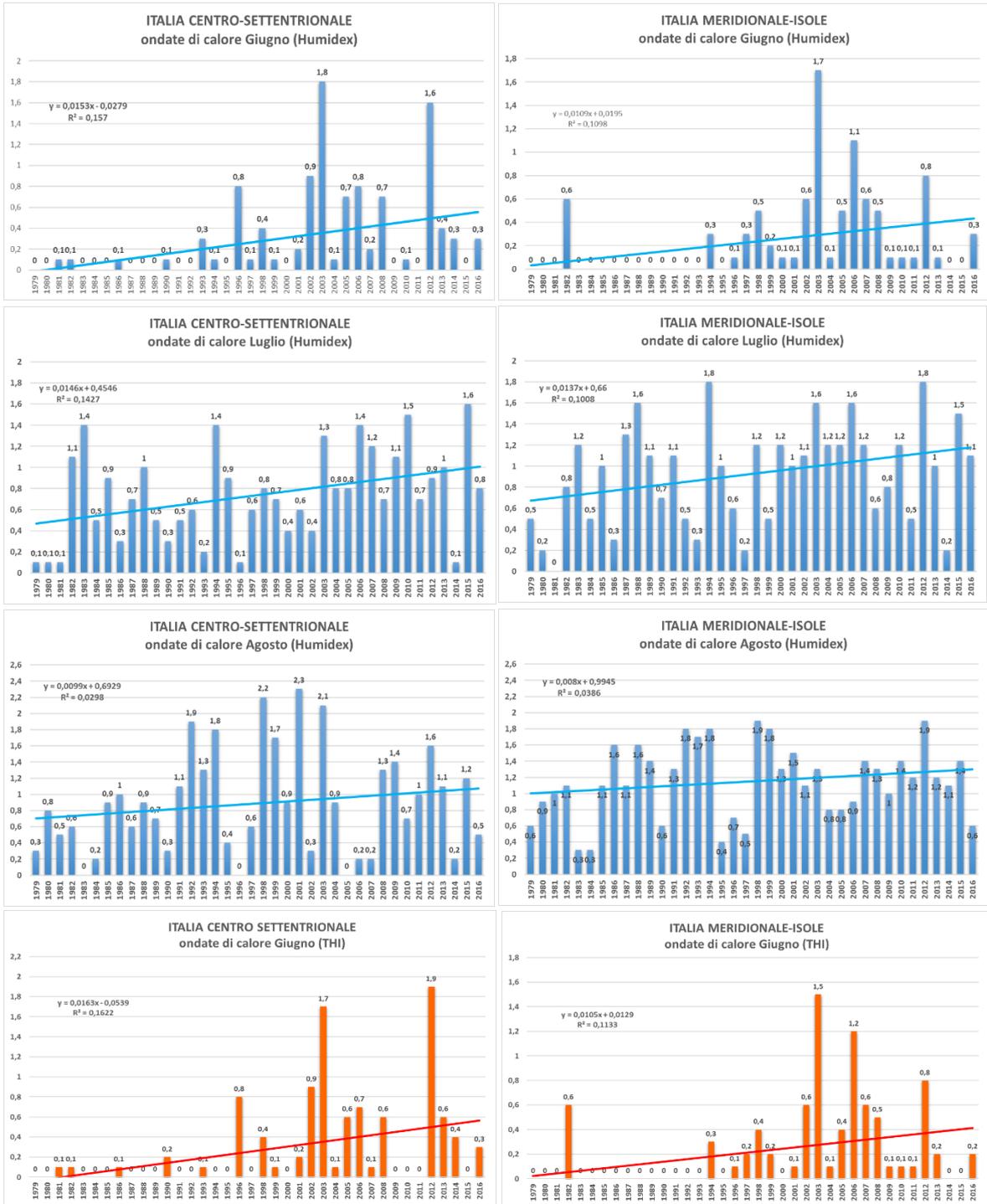
SUD - ISOLE	MAGGIO T MAX			GIUGNO T MAX		
PUGLIA - ABRUZZO	°C/decade	°C	1-α=95%	°C/decade	°C	1-α=95%
Pescara	0,32	1,2		0,43	1,6	X
Bari	0,5	1,9	X	0,55	2,1	X
Lecce	0,4	1,5		0,52	2,0	X
Brindisi	0,33	1,3		0,28	1,1	
Santa maria di Leuca	0,26	1,0		0,46	1,7	X
Marina di Ginosa	0,67	2,5	X	0,82	3,1	X
Foggia	0,6	2,3	X	0,79	3,0	X
CAMPANIA						
Napoli	0,42	1,6		0,49	1,9	X
Grazzanise	0,82	3,0	X	1,1	4,1	X
Capo Palinuro	0,8	3,0	X	0,73	2,8	X
CALABRIA						
Reggio Calabria	0,62	2,3	X	0,68	2,5	X
Lamezia Terme	0,46	1,7	X	0,23	0,9	
SICILIA						
Cozzo Spadaro	0,26	1,0		0,1	0,4	
Messina	0,59	2,2	X	0,48	1,8	X
SARDEGNA						
Decimomannu	1	3,8	X	1,2	4,6	X
Alghero	0,68	2,6	X	0,75	2,9	X
Cagliari	0,46	1,7	X	0,39	1,5	X
Olbia	0,79	3,0	X	0,7	2,7	X
ISOLE MINORI						
Lampedusa	0,4	1,5	X	0,32	1,2	
Pantelleria	0,21	0,8		0,01	0,0	

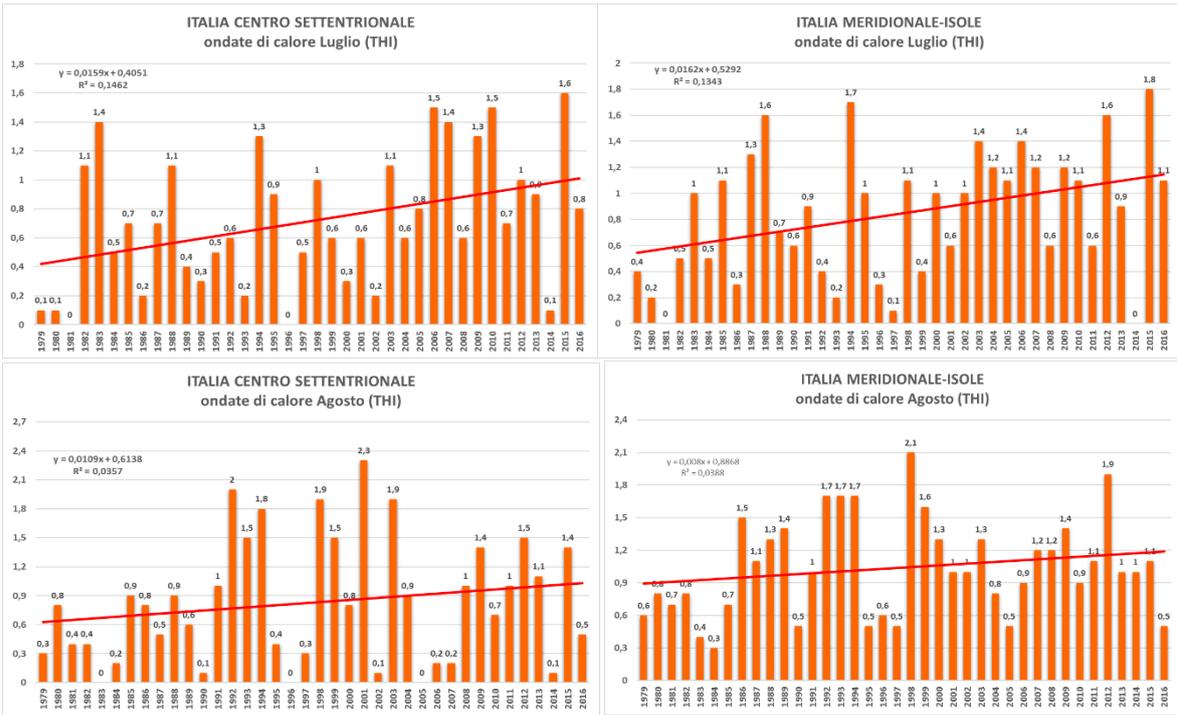
SUD – ISOLE	LUGLIO			AGOSTO		
PUGLIA - ABRUZZO	°C/decade	°C	1-α=95%	°C/decade	°C	1-α=95%
Pescara	0,34	1,3		0,25	0,9	
Bari	0,61	2,3	X	0,44	1,7	
Lecce	0,39	1,5		0,56	2,1	X
Brindisi	0,32	1,2		0,37	1,4	X
Santa Maria di Leuca	0,54	2,1	X	0,48	1,8	X
Marina di Ginosa	0,77	2,9	X	0,62	2,4	X
Foggia	0,66	2,5	X	0,66	2,5	X
CAMPANIA						
Napoli	0,22	0,8		0,35	1,3	
Grazzanise	0,77	2,8	X	0,88	3,2	X
Capo Palinuro	0,6	2,3	X	0,58	2,2	X
CALABRIA						
Reggio Calabria	0,71	2,7	X	0,65	2,5	X
Lamezia Terme	0,21	0,8		0,32	1,2	X
SICILIA						
Cozzo Spadaro	0,25	1,0		0,2	0,8	
Messina	0,43	1,6	X	0,4	1,5	X
SARDEGNA						
Decimomannu	0,88	3,3	X	0,9	3,4	X
Alghero	0,49	1,9		0,58	2,2	X
Cagliari	0,31	1,2		0,28	1,1	
Olbia	0,56	2,1	X	0,42	1,5	
ISOLE MINORI						
Lampedusa	0,42	1,6		0,23	0,9	
Pantelleria	0,18	0,7		0,32	1,2	

2. CONFRONTO TRA I VALORI DI TEMPERATURA MASSIMA MEDIA ESTIVA NEI PERIODI 1979-1997 e 1998-2016.

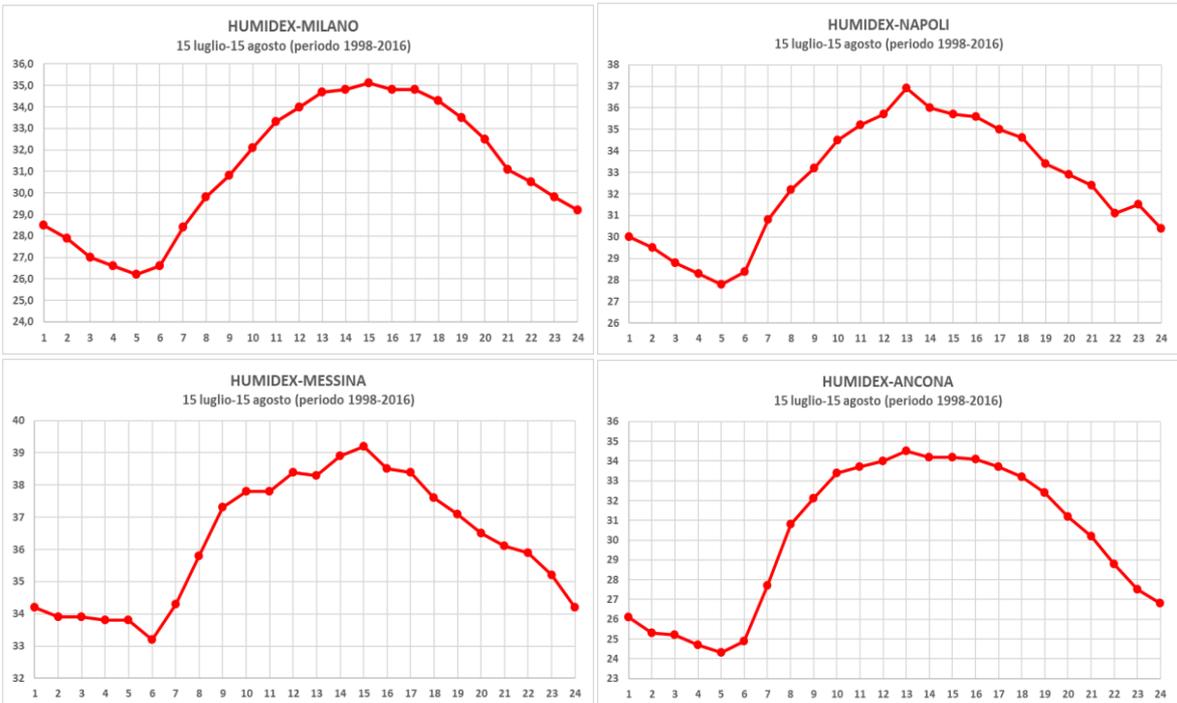


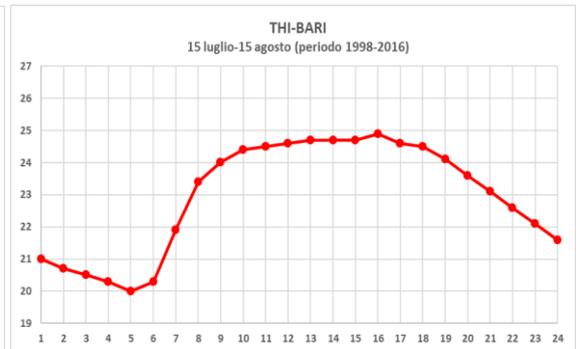
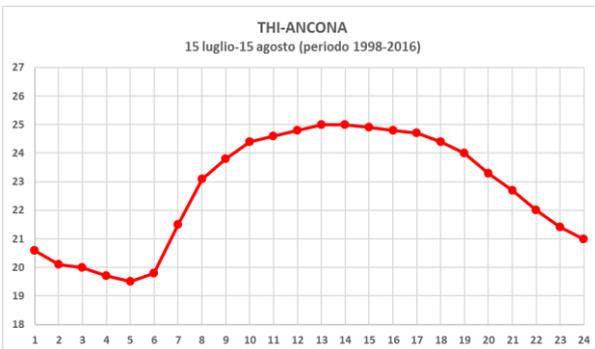
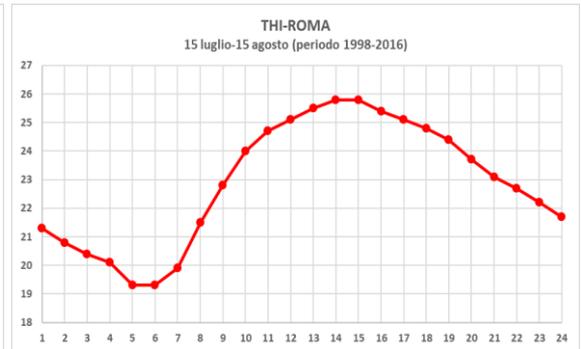
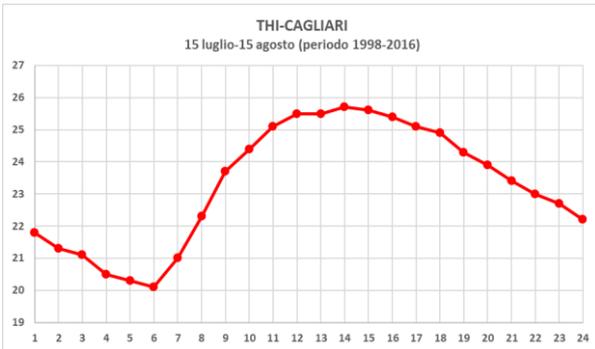
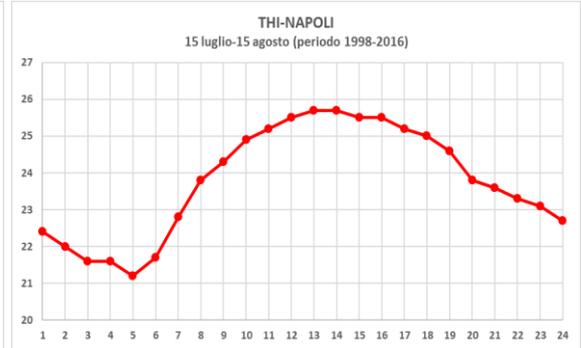
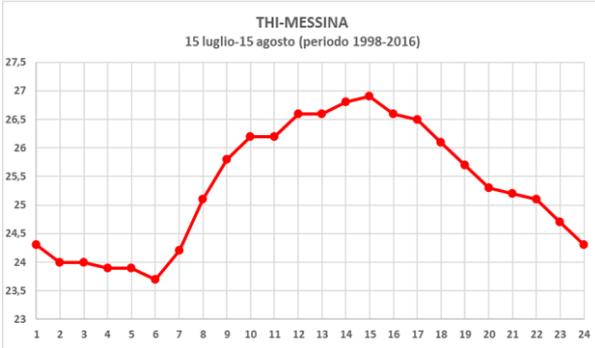
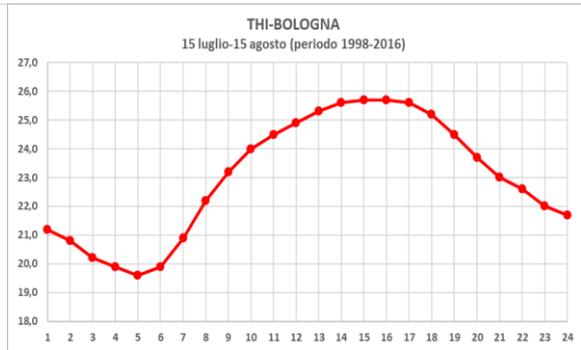
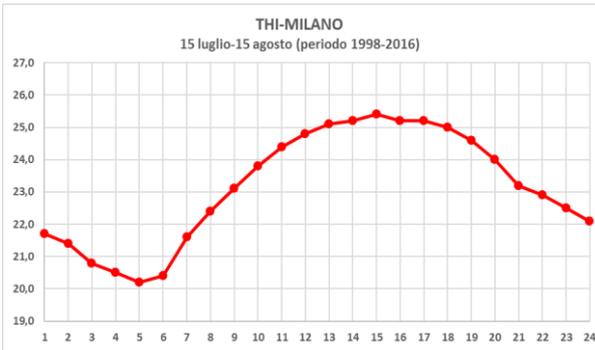
3. TREND ONDATE DI CALORE e NUMERO GIORNI CONSECUTIVI E TOTALI SOPRA SOGLIA DIVISI PER MACRO-AREA (HUMIDEX-THI) (periodo 1979-2016)



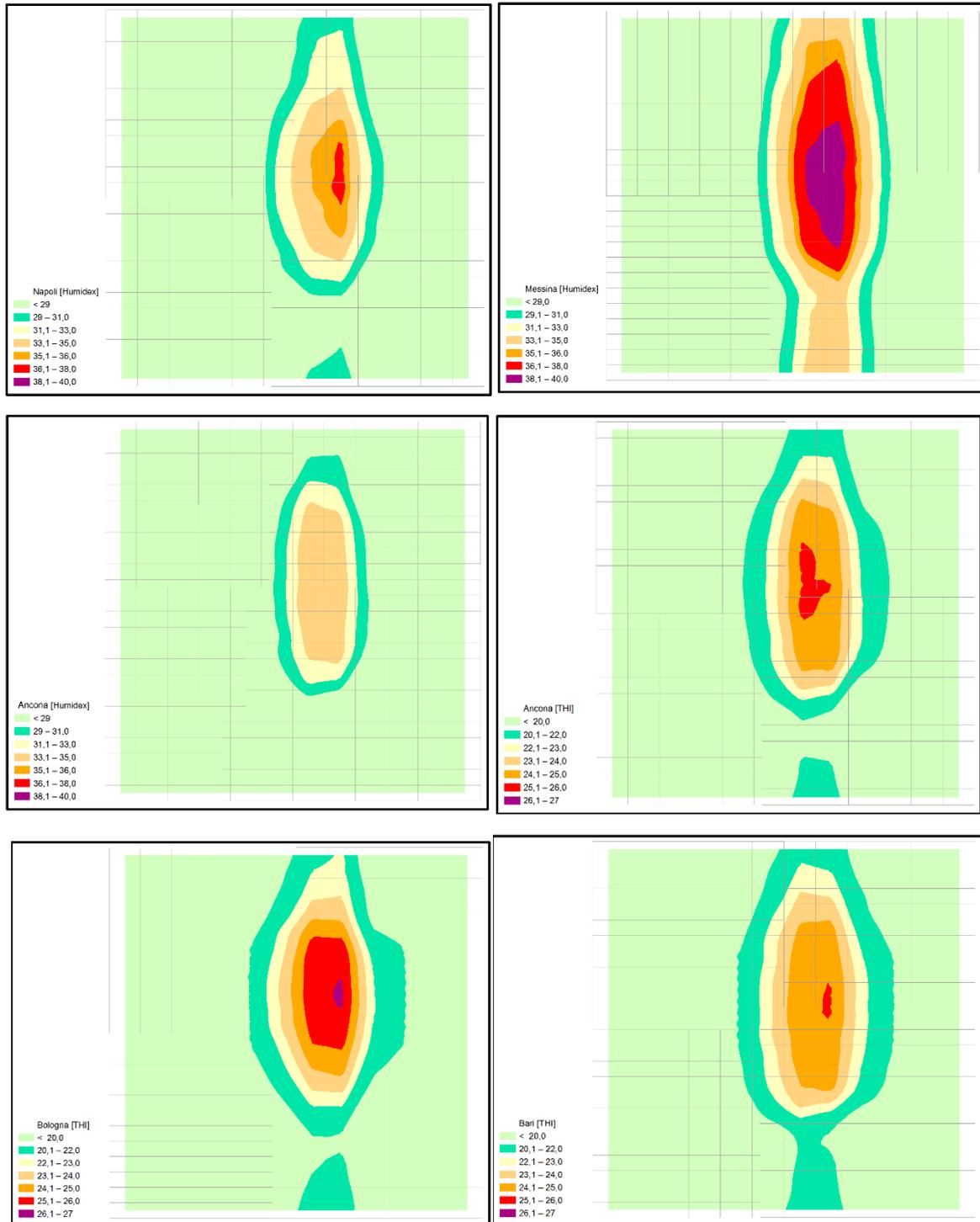


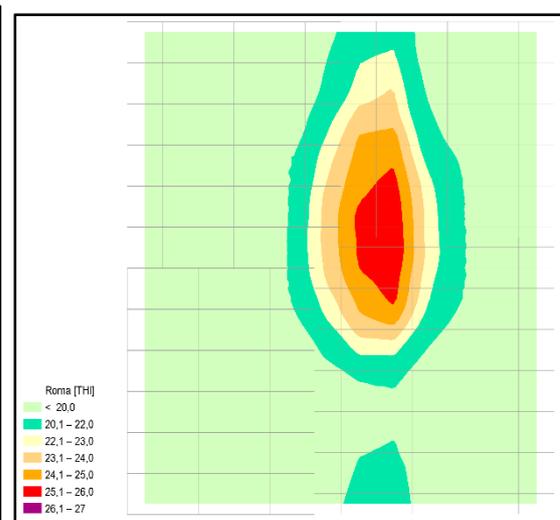
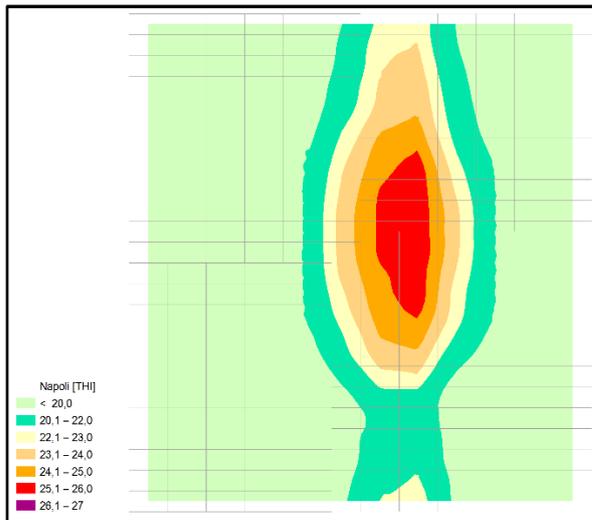
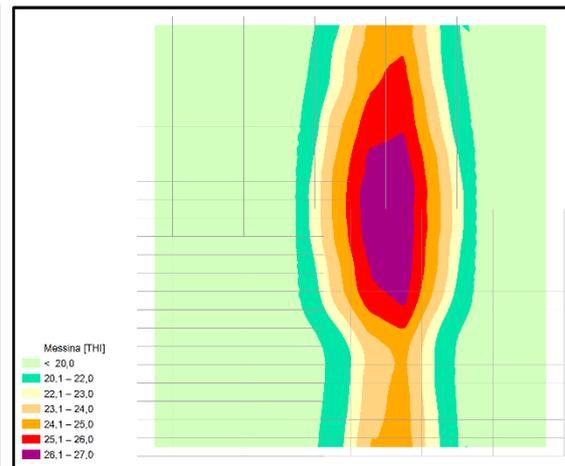
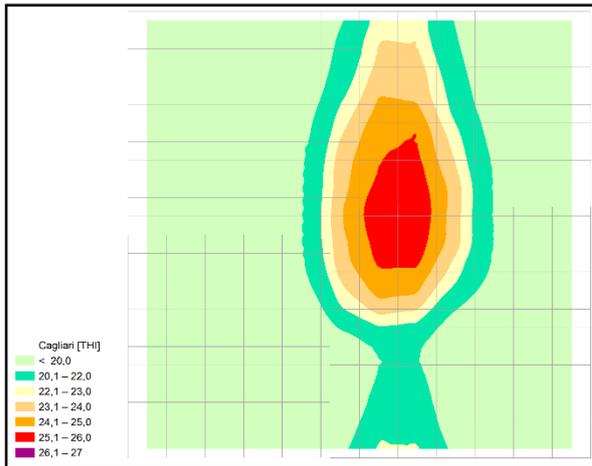
4. DISTRIBUZIONE GIORNALIERA DEGLI INDICI HUMIDEX E THI NEL PERIODO 15 LUGLIO-15 AGOSTO (climatologia di riferimento: 1998-2016)





5. DISTRIBUZIONE GIORNALIERA DEGLI INDICI HUMIDEX E THI NEL PERIODO MAGGIO-SETTEMBRE (climatologia di riferimento: 1998-2016)





**6. CLIMATOLOGIE COMPLETE DEGLI INDICI THI E HUMIEIX (VALORI
MEDI E VALORI MASSIMI). PERIODO 1998-2016**

CLIMA 1998-2016	THI_MED maggio	THI_MED giugno	THI_MED luglio	THI_MED agosto	THI_MED settembre	THI_MAX maggio	THI_MAX giugno	THI_MAX luglio	THI_MAX agosto	THI_MAX settembre
alghero	17,3	20,6	22,6	22,7	20,4	21,5	24,4	26,1	26,3	24,0
arezzo	16,2	19,5	21,4	21,4	18,0	20,7	23,7	25,5	25,6	22,3
aviano	17,2	20,6	22,1	21,9	18,4	20,6	23,6	25,0	24,9	21,7
bari	17,7	21,0	22,9	22,9	20,0	21,1	23,9	25,6	25,6	22,9
bergamo	17,4	20,7	22,1	21,9	18,6	20,8	23,7	25,0	24,8	21,6
bologna	17,8	21,2	22,8	22,7	19,2	21,5	24,4	25,9	25,9	22,6
bolzano	17,2	20,1	21,4	21,1	17,8	21,2	23,7	24,9	24,7	21,6
brescia	17,7	21,0	22,5	22,2	19,0	21,5	24,2	25,6	25,3	22,4
brindisi	18,4	21,9	24,0	24,4	21,4	21,1	24,2	26,2	26,5	23,7
cagliari	18,2	21,4	23,4	23,8	21,4	21,6	24,5	26,4	26,7	24,4
cameri	16,3	19,8	21,3	21,1	18,0	20,0	23,0	24,4	24,2	21,4
capo mele	17,4	20,6	22,9	23,0	20,4	19,6	22,6	24,7	24,8	22,3
capo palinuro	18,4	21,7	23,9	24,5	21,4	21,0	24,0	26,1	26,5	23,7
cervia	17,2	20,6	22,7	22,6	19,1	21,0	24,1	25,9	25,9	22,6
cozzo spadaro	19,0	22,3	24,8	25,4	23,2	21,2	24,4	26,7	27,2	25,1
decimomannu	18,0	21,2	23,4	23,8	21,3	22,0	24,9	26,8	27,1	24,7
falconara	17,0	20,3	22,3	22,2	19,1	20,6	23,5	25,2	25,1	22,2
firenze	17,8	21,1	22,9	23,0	19,8	21,7	24,7	26,3	26,5	23,4
foggia	18,0	21,4	23,3	23,5	20,3	22,2	25,1	26,8	27,0	23,8
forlì	17,2	20,5	22,1	22,1	18,8	21,1	23,9	25,5	25,5	22,3
genova	18,0	21,1	23,1	23,2	20,5	20,1	23,0	24,8	25,0	22,6
grazzanise	17,4	21,2	23,1	23,5	20,7	21,7	24,7	26,4	26,9	24,1
grosseto	17,4	20,7	22,6	23,0	20,2	21,6	24,4	26,1	26,4	23,7
lamezia terme	17,7	20,9	23,1	23,5	20,8	20,9	23,9	25,8	26,3	23,9
lampedusa	19,2	22,3	24,7	25,6	24,0	20,8	23,9	26,1	26,9	25,2
latina	17,7	21,0	22,9	23,1	20,5	21,5	24,4	26,1	26,3	23,7
lecce	17,9	21,1	22,9	23,3	20,5	21,8	24,4	26,1	26,5	23,7
marina_ginosa	18,5	22,2	24,4	24,7	21,5	21,7	25,1	27,1	27,3	24,3
messina	19,6	23,1	25,6	26,0	23,1	21,7	25,0	27,4	27,8	25,0
milano	18,1	21,4	23,0	22,6	19,3	21,7	24,6	25,9	25,7	22,7
mondovì	16,3	19,9	21,8	21,5	17,9	19,1	22,6	24,3	23,9	20,3
napoli	18,3	21,5	23,3	23,8	20,7	21,5	24,3	26,0	26,4	23,5
olbia	17,5	20,8	23,0	23,0	20,5	21,4	24,3	26,2	26,3	23,9
pantelleria	18,4	21,5	24,0	24,8	22,8	20,5	23,5	25,7	26,5	24,5
perugia	16,6	19,8	21,3	21,5	18,5	20,7	23,6	25,1	25,2	22,1
pescara	16,9	20,3	22,2	22,1	19,1	20,7	23,8	25,5	25,4	22,7
piacenza	17,0	20,5	21,9	21,8	18,4	21,0	24,0	25,3	25,2	22,1
pisa	16,8	20,2	22,3	22,7	19,6	20,6	23,7	25,5	25,8	23,0
reggio_calabria	19,2	22,5	24,8	25,1	22,5	21,9	24,8	26,9	27,2	24,8
rimini	17,0	20,8	22,9	23,0	19,4	20,5	23,8	25,7	25,7	22,5
roma	17,6	21,0	23,0	23,4	20,3	21,2	24,3	26,1	26,4	23,5
roma_pratica	17,5	20,8	22,9	23,3	20,6	21,0	23,8	25,5	25,9	23,4
ronchi legionari	17,0	20,2	21,8	21,6	18,2	20,9	23,6	25,1	25,0	21,9
SM leuca	18,1	21,5	23,7	24,1	21,3	20,1	23,4	25,5	25,9	23,1
termoli	18,9	22,4	24,8	24,7	21,8	20,9	24,3	26,4	26,4	23,6
torino	16,5	20,0	21,4	21,1	17,9	20,1	23,2	24,5	24,3	21,4
treviso	18,0	21,2	22,9	22,6	19,0	21,5	24,2	25,8	25,6	22,3
trieste	17,9	21,1	22,9	22,8	19,6	20,5	23,4	25,1	24,9	21,9
venezia	17,6	20,8	22,4	22,2	18,8	20,6	23,5	25,1	25,0	21,8
verona	17,9	21,3	23,0	22,8	19,2	21,6	24,4	26,0	25,8	22,6
viterbo	16,6	19,9	21,8	22,0	19,0	20,5	23,5	25,3	25,5	22,4

CLIMA 1998-2016	H_MED maggio	H_MED giugno	H_MED luglio	H_MED agosto	H_MED settembre	H_MAX maggio	H_MAX giugno	H_MAX luglio	H_MAX agosto	H_MAX settembre
alghero	20,4	26,2	29,9	30,4	26,0	26,5	32,7	36,5	37,1	32,0
arezzo	17,7	23,5	26,9	26,9	21,2	24,7	30,9	35,0	35,0	28,0
aviano	20,1	26,3	29,3	29,0	22,5	25,1	31,3	34,4	34,3	27,5
bari	20,6	26,6	30,2	30,4	25,0	25,8	31,8	35,4	35,6	29,7
bergamo	19,8	26,1	28,8	28,5	22,3	25,0	31,4	34,3	33,8	27,1
bologna	20,7	26,9	30,0	29,8	23,3	26,4	32,8	36,1	36,0	28,8
bolzano	19,0	24,7	27,1	26,8	20,7	25,5	31,1	33,7	33,2	26,7
brescia	20,5	26,8	29,7	28,9	23,2	26,3	32,4	35,5	34,7	28,6
brindisi	22,7	29,2	33,4	34,4	28,3	26,7	33,1	37,4	38,2	32,0
cagliari	21,6	27,4	31,7	32,4	27,8	26,9	33,0	37,5	38,2	33,0
cameri	17,8	24,1	27,0	26,9	21,0	23,1	29,6	32,8	32,2	26,2
capo mele	20,5	26,7	31,0	31,1	25,7	23,5	29,7	34,1	34,3	28,8
capo palinuro	22,5	28,8	33,3	34,5	28,3	26,2	32,7	37,3	38,3	32,1
cervia	20,6	26,9	30,7	30,8	24,5	26,2	32,6	36,5	36,5	29,8
cozzo spadaro	23,8	29,8	34,9	36,3	32,1	27,1	33,4	38,5	39,8	35,3
decimomannu	20,7	26,6	31,2	32,0	27,7	27,1	33,5	38,0	38,9	33,7
falconara	19,9	25,8	29,3	29,4	23,6	25,1	31,0	34,6	34,6	28,4
firenze	20,7	26,9	30,2	30,6	24,3	27,0	33,4	37,0	37,4	30,4
foggia	21,0	27,1	30,9	31,5	25,5	27,6	34,1	38,0	38,6	31,6
forlì	19,7	25,7	28,7	28,7	22,7	25,5	31,7	35,2	35,2	28,3
genova	21,5	27,6	31,3	31,7	25,8	24,6	30,6	34,4	34,9	29,1
grazzanise	21,1	27,9	31,8	32,6	27,0	27,3	34,0	37,8	39,0	32,9
grosseto	20,3	26,1	30,0	30,9	25,5	26,7	32,8	36,7	37,5	31,5
lamezia terme	21,5	27,6	31,8	32,6	26,9	26,1	32,4	36,7	37,6	32,1
lampedusa	24,1	30,3	35,1	37,1	33,2	26,4	32,8	37,6	39,5	35,3
latina	20,9	26,8	30,5	31,0	26,0	26,6	32,8	36,7	37,2	31,4
lecce	20,3	26,2	29,8	31,0	26,0	26,3	32,5	36,2	37,4	31,4
marina_ginosa	22,8	29,4	33,7	34,7	28,4	27,5	34,6	39,0	39,9	33,1
messina	24,5	31,5	36,7	37,8	31,8	27,9	34,9	40,2	41,3	35,1
milano	21,2	27,7	30,7	30,3	23,8	26,7	33,3	36,4	35,8	29,1
mondovì	18,4	25,2	28,6	28,1	21,5	22,3	29,5	33,1	32,2	25,0
napoli	21,9	28,0	31,5	32,5	26,1	26,8	32,9	36,7	37,6	31,0
olbia	20,2	26,2	30,4	30,7	25,9	26,3	32,6	36,8	37,1	31,8
pantelleria	22,0	27,8	32,9	35,0	31,4	25,2	31,1	36,0	38,1	34,1
perugia	18,3	23,7	26,4	26,9	21,7	24,5	30,6	33,7	34,0	27,6
pescara	19,6	25,7	29,2	29,2	23,4	25,3	31,7	35,3	35,3	29,2
piacenza	19,2	25,8	28,4	28,4	22,2	25,3	32,0	34,8	34,5	27,8
pisa	19,6	25,9	29,7	30,5	24,6	25,2	31,7	35,6	36,3	30,2
reggio_calabria	23,3	29,6	34,4	35,2	29,9	27,3	33,9	38,7	39,4	33,9
rimini	20,5	27,3	31,3	31,6	25,2	25,6	32,2	36,3	36,5	29,9
roma	20,8	26,8	30,8	31,5	25,9	26,2	32,6	36,6	37,3	31,2
roma_pratica	21,3	27,1	31,2	32,0	26,7	26,1	32,1	35,9	36,7	31,2
ronchi legionari	19,4	25,3	28,4	28,2	21,8	25,3	31,3	34,6	34,3	27,6
SM leuca	21,7	27,9	32,2	33,3	27,9	24,6	31,0	35,5	36,6	30,8
termoli	23,5	30,2	34,9	34,8	28,6	26,5	33,4	38,0	38,0	31,7
torino	18,6	25,2	27,6	27,2	21,2	23,8	30,4	33,3	32,7	26,5
treviso	21,4	27,5	30,8	30,4	23,5	26,8	32,8	36,3	35,9	28,7
trieste	20,9	27,1	30,5	30,3	24,1	24,8	31,1	34,6	34,3	27,8
venezia	20,8	26,8	30,0	29,6	23,1	25,3	31,3	34,8	34,6	27,8
verona	21,0	27,6	30,9	30,6	23,8	26,6	33,1	36,5	36,3	29,2
viterbo	18,4	24,2	27,7	28,2	23,1	24,3	30,6	34,4	34,9	28,7