

Numerical Weather Prediction Models' Temperature Post-Processing in Heat Wave Early Warning in Umbria: a Case Study and Preliminary Results

Renato Zauri^{1*}, Roberto Schiaroli², Federico Governatori Leonardi¹, Nicola Berni¹

Riassunto: Questo lavoro si propone di fornire stime attendibili delle temperature in aree ben definite della Regione Umbria al fine di ottimizzare l'emissione di allerte in caso di ondate di calore. Il Centro Funzionale Decentrato (CFD) della Regione, come soggetto di supporto alle decisioni per il Sistema di Protezione Civile, dal 2007 fornisce tabelle sintetiche contenenti valori estrapolati dall'output del modello di previsione COSMO/LAMI. Per la campagna 2010 si è deciso di sviluppare un sistema automatico di calcolo sia delle temperature che di alcuni indici bioclimatici. I valori delle temperature massime e minime, per ognuna delle aree di allertamento (collegate ai distretti sanitari), vengono calcolati a partire dai dati del modello di previsione numerica COSMO-ME, tramite una procedura automatica che individua all'interno di ogni area il punto più caldo (quello, in pratica, più svantaggiato per gli effetti dell'ondata di calore). Inoltre, dal confronto tra i dati misurati in tempo reale dalla rete di monitoraggio idro-meteorologico dell'Idrografico Regionale e quelli previsti, è stato possibile definire dei correttori statistici per rendere più vicini alla realtà quelli calcolati dal modello meteorologico. Tali correttori sono stati ottimizzati per quelle condizioni sinottiche che possono favorire le ondate di calore.

Parole chiave: biometeorologia, previsione temperature, ondate di calore, indice di Thom, allertamento.

Abstract: This work aims to give a reliable temperature estimation in well defined areas of Umbria Region (Central Italy) to optimize heat wave early warning messages. The Functional Center (CFD) of Umbria, as decision making support to Regional Civil Protection System, provides, since 2007, numerical tables containing temperature values estimated from numerical model COSMO/LAMI. During summer 2010 we developed an automatic system to calculate temperature and some bio-climatic indexes. For each warning area (public health districts), minimum and maximum temperatures were calculated from raw output of COSMO-ME model, using an automated procedure that searches and finds the hottest point (the most disadvantaged for heat waves' effects). Moreover, comparing estimated data to those measured by real-time observing network of Hydrographic Service, it has been possible to define a statistical bias to improve the model's raw temperature output. Biases have been optimized for such synoptic situations favourable to heat wave development.

Key words: biometeorology, temperature forecast, heat waves, Discomfort Index, early warning.

1. INTRODUZIONE

Con il termine ondate di calore (*Heat Waves*) si intendono condizioni meteorologiche estreme che si verificano durante la stagione estiva, caratterizzate da temperature elevate ed alti tassi di umidità, al di sopra dei valori usuali, che posso durare giorni o settimane. L'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) non ha formulato una definizione standard di ondata di calore e, in diversi Paesi, la definizione si basa sul superamento di valori soglia di temperatura, definiti attraverso l'identificazione dei valori massimi osservati nella serie storica dei dati registrati in una specifica area. Oltre che dai valori di temperatura e di umidità relativa, le ondate di calore sono identificate dalla loro durata.

Nelle aree maggiormente urbanizzate, l'effetto delle ondate di calore è aggravato dalla cosiddetta isola di calore urbana (Urban Heat Island, UHI), fenomeno dovuto al maggior assorbimento di energia solare da parte delle superfici asfaltate e dal cemento. Inoltre poiché il suolo urbano presenta una scarsa capacità di trattenere acqua, ne consegue una minore evaporazione e quindi un minor raffreddamento in prossimità del terreno. Quello dell'isola di calore urbana rappresenta il fattore principale di malessere delle categorie esposte, rispetto alla popolazione che risiede in aree rurali (Unger, 1999; Mariani and Sovrano Pangallo, 2005) e, per una sua valutazione quantitativa, ci si può riferire al lavoro di Landsberg (1981), il quale ha trovato la seguente relazione empirica che stima la differenza di temperatura tra aree urbane ed aree rurali circolanti:

$$\Delta t \approx 0.1d$$

in cui d è il diametro della città in km.

* Corresponding author: Renato Zauri rzauri@yahoo.it

¹ Regione Umbria Centro Funzionale Decentrato, Foligno

² Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale dell'Umbria, Perugia

received 30-Oct-10 accepted 30-Nov-10.

L'esperienza del 2003 (Conti *et al.*, 2005), di un'ondata di calore particolarmente intensa e prolungata verificatasi nell'Europa centrale e meridionale, ha mostrato come tali fenomeni, se non adeguatamente previsti, siano in grado di dar luogo a vere e proprie situazioni di emergenza per i sistemi di sanità pubblica. In presenza di previsioni accurate, è invece possibile adottare misure di prevenzione degli effetti negativi delle ondate di calore. In tal senso il riferirsi a scenari previsionali predefiniti (scenari di rischio) permette di mirare gli interventi preventivi in maniera ottimale verso le persone a rischio più elevato (modelli d'intervento).

2. IL CONTESTO OPERATIVO DELLA REGIONE UMBRIA IN RELAZIONE ALLE ONDATE DI CALORE

L'entità del rischio sanitario apportato dalle ondate di calore ha evidenziato da tempo l'importanza di allestire sistemi di allerta e di prevenzione bioclimatica. In quest'ottica, la Regione Umbria con opportune D.G.R. approva annualmente, dal 2004, le *"linee di azione e direttive per l'emergenza calore"*, redatte d'intesa con le Prefetture di Perugia e di Terni, per la prevenzione degli effetti sulla salute di eventuali ondate di calore. Con tali atti si cerca di stabilire misure di sorveglianza e di risposta da attuare in periodi stagionali caratterizzati dall'innalzamento delle temperature al di sopra di una soglia critica posta pari a $+33^{\circ}\text{C}$.

A tal fine il Servizio Protezione Civile della Regione Umbria provvede a trasmettere al Servizio Programmazione Socio-sanitaria dell'Assistenza di Base e Ospedaliera e Osservatorio Epidemiologico, a tutti i Comuni e le Province dell'Umbria, alle ASL, ai Distretti Sanitari di Base ed alle Prefetture un bollettino di livello di attivazione emergenza calore inerente il territorio regionale, elaborato sulla base del bollettino meteo diramato dal Dipartimento della Protezione Civile, integrato con i prodotti previsionali dell'Aeronautica Militare.

In funzione dei livelli di attivazione e delle conseguenti attività operative è importante conoscere con anticipo la variazione a livello locale delle condizioni meteo-climatiche; pertanto il Centro Funzionale ha approntato, in via sperimentale, una tabella con le previsioni di temperature minime e massime su 9 aree di allerta coincidenti con la ripartizione territoriale dei Distretti Sanitari (figura 1).

Il bollettino viene emesso tutti i giorni della settimana eccetto la domenica, con i dati previsti nelle successive 72 ore e con la relativa indicazione del livello di attivazione.

Dallo scorso anno la città di Perugia è entrata a far parte del programma nazionale che prevede l'attivazione, nelle principali città italiane, di sistemi di previsione e di allerta sugli effetti delle ondate di calore sulla salute. Tali sistemi, denominati *Heat Health Watch Warning*

Systems (HHWWS) (Michelozzi *et al.*, 2010), consentono di individuare, per ogni specifica area urbana, le condizioni meteo-climatiche che possono avere un impatto significativo sulla salute dei soggetti vulnerabili. Sulla base di questi modelli vengono elaborati, da parte del Dipartimento di Epidemiologia della ASL RM/E (individuato, come Centro di Competenza Nazionale ai sensi della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 Febbraio 2004), bollettini giornalieri in cui sono comunicati i possibili effetti sulla salute derivanti dalle condizioni meteorologiche previste a 24, 48 e 72 ore.

Per la città di Perugia la competente struttura individuata per la gestione dell'Emergenza Calore dovrà attenersi esclusivamente a quanto previsto dal bollettino elaborato dal Centro di Competenza Nazionale, e dovrà attivarsi direttamente tramite le proprie strutture secondo procedure appositamente stabilite a livello locale. Sul resto del territorio regionale si mantiene invece valido il bollettino di livello di attivazione emergenza calore emesso dalla Regione Umbria.

Il Centro Funzionale dell'Umbria partecipa al sistema di allertamento per l'emergenza calore fornendo un supporto tecnico scientifico alle decisioni, limitatamente alle forzanti meteorologiche del fenomeno dell'ondata di calore, dando la possibilità, tramite il proprio sito Internet, di monitorare le temperature in tempo reale su tutto il territorio regionale, e fornendo

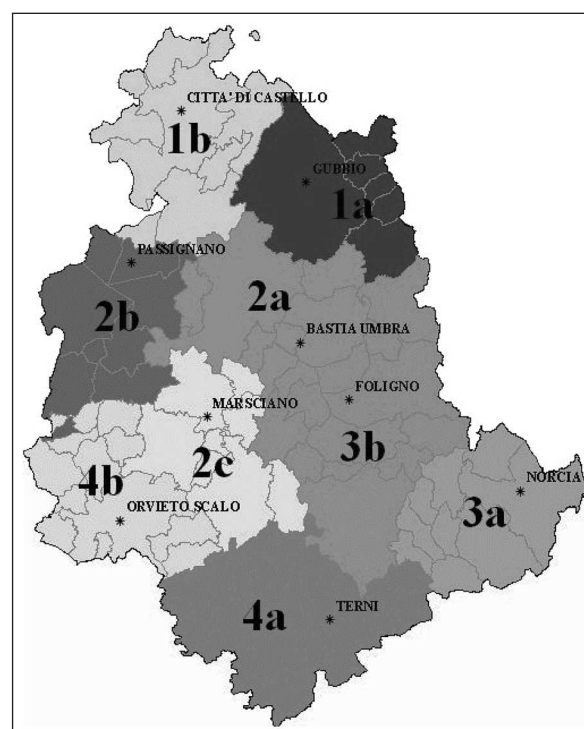


Fig. 1 - Suddivisione in aree di allertamento per l'emergenza calore della Regione Umbria.

Fig. 1 - Heat wave warning areas in Umbria Region.

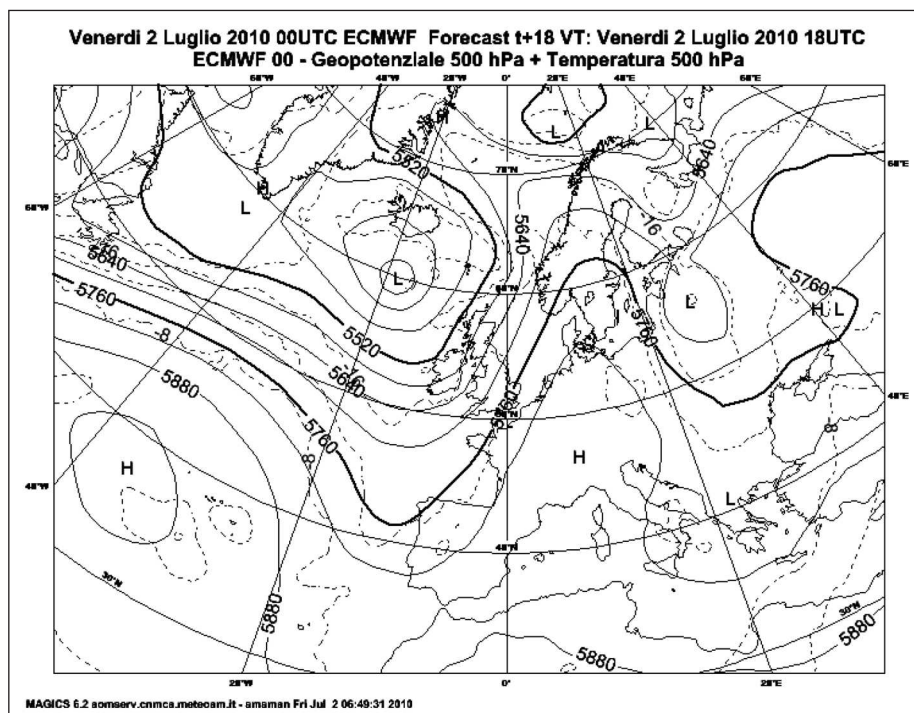


Fig. 2 - Situazione sinottica favorevole ad un'ondata di calore sull'Italia (Fonte: Aeronautica Militare).
Fig. 2 - Heat wave favourable synoptic situation in Italy (source: Italian Air Force).

previsioni di temperature ed indici bioclimatici, basate su modelli meteorologici numerici di previsione (NWP).

Inoltre l'area meteo del CFD provvede ad avvisare chi di competenza sull'arrivo di un'ondata di calore, qualora il fenomeno sia ben deducibile da condizioni sinottiche correttamente simulate dai modelli previsionali a larga scala.

Con riferimento a tale contesto, il presente lavoro si propone lo studio del comportamento delle previsioni numeriche di temperatura e la stima, con una semplice tecnica MOS (Model Output Statistics), di un eventuale bias tra dato misurato e dato previsto, da utilizzare come correttivo al valore grezzo del modello, per fornire un supporto alle decisioni più vicino alla realtà. Inoltre verrà studiato anche il comportamento di un indice bioclimatico per valutarne le *performance* previsionali rispetto a quelle del metodo a soglia per le temperature massime. Non rientra nello scopo di questo lavoro, la validazione della soglia assunta per l'allarme da ondate di calore, trattandosi di un problema di epidemiologia e statistica medica.

3. CONDIZIONI SINOTTICHE FAVOREVOLI ALLE ONDATE DI CALORE

La principale causa, a livello sinottico, delle ondate di calore sull'Italia è l'Anticiclone Subtropicale Africano (ASA), un'area di alta pressione, di natura continentale, che interessa in modo pressoché permanente tutta l'area dell'Africa settentrionale.

Come ogni area di alta pressione, anche l'ASA possiede

i suoi meccanismi dinamici, in particolar modo quando lo scenario sinottico presenta un'ampia area di bassa pressione tra le isole Canarie, il Marocco e la Penisola Iberica (figura 2).

In questo caso si innesca un'espansione dell'alta pressione verso Nord che raggiunge così il bacino del Mediterraneo e l'Europa meridionale dando luogo alla formazione di un promontorio.

Questo scenario determina stabilità atmosferica con valori di temperatura molto gradevoli nella stagione invernale, mentre più critiche sono le conseguenze quando questa configurazione si presenta nella stagione estiva. Infatti le correnti calde provenienti dal Sahara, oltre a portare un sensibile aumento delle temperature (generalmente oltre la norma e con valori elevati nelle pianure e nelle valli interne), attraversando il Mediterraneo si caricano di umidità, con conseguenti condizioni di caldo afoso e sensibile disagio fisico, specie per i soggetti particolarmente vulnerabili.

Durante la stagione estiva, la presenza stabilizzante dell'ASA, che è sempre accompagnata da elevati valori dell'altezza di geopotenziale, è riconoscibile dalla pressoché totale assenza di attività cumuliforme nelle zone interne.

Questa situazione circolatoria è la principale responsabile delle ondate di calore di lunga durata. Uno studio di Conte *et al.* (1994) svolto utilizzando come base statistica 28 episodi individuati nel periodo 1950-1992 evidenzia una durata che va da un minimo di 9 ad un massimo di 21 giorni. In tale studio si è inoltre evidenziata la presenza di ondate di breve durata (3-5 giorni) asso-

Sabato 19 Giugno 2010 00UTC ECMWF Forecast t+42 VT: Domenica 20 Giugno 2010 18UTC
 ECMWF 00 - Geopotenziale 500 hPa + Temperatura 500 hPa

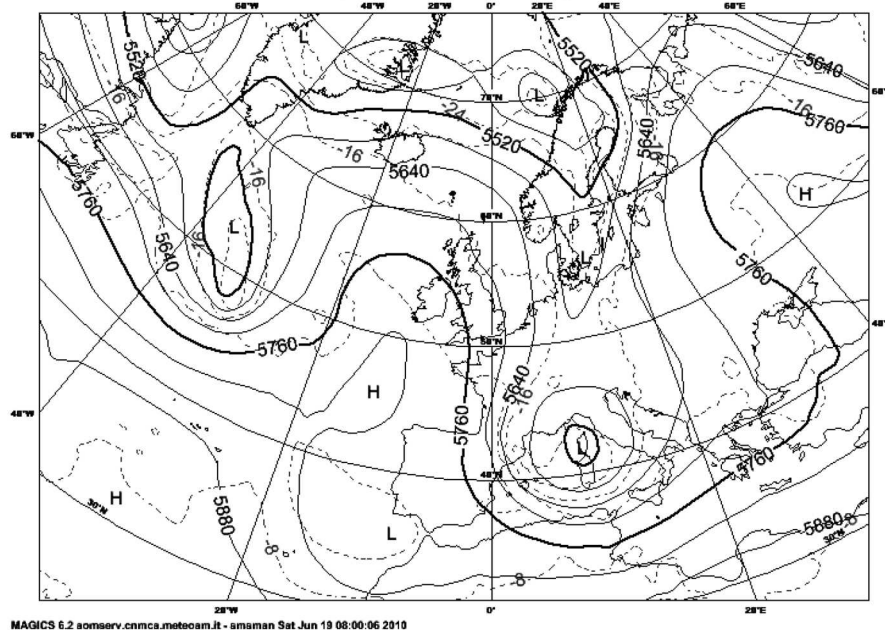


Fig. 3 - Situazione sinottica tipica di un'intrusione d'aria fredda atlantica (Fonte: Aeronautica Militare).
 Fig. 3 - Atlantic cold air intrusion synoptic situation (source: Italian Air Force).

ciate all'anomala presenza del getto sub tropicale che si sposta verso Nord rispetto alla propria sede naturale fino ad interessare l'area mediterranea.

In assenza di tali importanti strutture le perturbazioni atlantiche o russo-balcaniche possono entrare nel Mediterraneo con conseguente instabilità diffusa che, qualora si abbiano immediatamente dopo un periodo di forte caldo, possono dar luogo a temporali, anche molto intensi, a causa del surriscaldamento dei bassi strati e la conseguente superadiabaticità della colonna troposferica, il tutto seguito da un generalizzato e repentino calo delle temperature (figura 3).

4. BREVE DESCRIZIONE DEL MODELLO COSMO-ME

COSMO-ME è il modello ad alta risoluzione del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, della famiglia COSMO (Schattler e Montani, 2005), che fornisce previsioni fino a 72h su gran parte dell'Europa e sul bacino del Mediterraneo, con una risoluzione orizzontale di circa 7 km e 40 livelli verticali. Esso viene utilizzato con un'analisi di tipo 3D-VAR del CNMCA, mentre le condizioni al contorno sono date dall'output del modello globale ECMWF.

La caratteristica principale dei modelli della famiglia COSMO è la non-idrostaticità che dovrebbe tradursi nella capacità di simulare in maniera migliore, rispetto ad un approccio idrostatico, i moti verticali dell'atmosfera ed in particolare i fenomeni termoconvettivi, il forcing orografico e le strutture frontali.

La miglior performance per simulare fenomeni a pic-

cola scala comporta, ovviamente, una procedura di calcolo più complessa e maggiori risorse.

5. L'INDICE DI THOM ED IL THI

L'indice di Thom è uno degli indici bioclimatici storici (Thom e Bosen, 1959) e largamente utilizzato (Pirretti *et al.*, 2007) per la stima del disagio fisico in condizioni di elevate temperature ed umidità:

$$DI = 0.4(T_a + T_w) + 4.8$$

dove T_a è la temperatura dell'aria e T_w è la temperatura di bulbo bagnato, misurate in gradi Celsius. Quest'ultima grandezza non viene fornita dal modello che dà, invece, la temperatura di *dew-point* T_d . Occorre quindi ricorrere a delle formule empiriche per ottenere T_w . In questo lavoro è stata utilizzata una forma semplificata dell'indice di Thom (Unger, 1999) che fa riferimento alla temperatura dell'aria ed all'umidità relativa RH :

$$THI = T_a - 0.55(1 - 0.01 RH)(T_a - 14.5)$$

Questo indice è comunemente chiamato Indice Termometro-Igrometrico (Kyle, 1994).

L'umidità relativa RH si ricava, tramite l'equazione di Clausius-Clapeyron, noti T_a e T_d (Lawrence, 2005):

$$RH = 100 \cdot \exp \left(5243.8 \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_d} \right) \right)$$

L'indice di Thom è stato usato, originariamente, per dare una stima del disagio fisico dovuto allo stress da

Classificazione	THI range (°C)
Nessun disagio	THI < 21
Meno del 50% della popolazione prova disagio	21 ≤ THI < 24
Più del 50% della popolazione prova disagio	24 ≤ THI < 27
Gran parte della popolazione prova disagio	27 ≤ THI < 29
Tutti provano disagio	29 ≤ THI < 32
Stato di emergenza medica	THI > 32

Tab. 1 - Classificazione degli effetti termici in estate secondo il *THI* (Matzarakis e Mayer, 1991).

Tab. 1 - Summer thermal effects classification according to THI (Matzarakis e Mayer, 1991).

calore. Il *THI* è stato testato, successivamente, su un vasto intervallo di situazioni, dal grande caldo al freddo. Il *THI* consente, quindi, anche di caratterizzare climaticamente una certa zona, ma per gli scopi del presente lavoro si è interessati, di fatto, alla capacità del *THI* di dare un'indicazione degli effetti delle alte temperature sullo stato fisico delle persone. La letteratura consultata (Matzarakis and Mayer, 1991) fornisce lo schema interpretativo dei valori di *THI* riportata in tabella 1.

6. METODOLOGIA PER LA STIMA DELLE TEMPERATURE

Per la stima delle temperature massime in ogni zona di allertamento si è deciso di adottare il criterio già impiegato negli anni precedenti e che consiste, con riferimento alle previste dell'NWP fino a tre giorni compreso quello corrente (previsioni fino a 72h ad iniziare dalle 00UTC), nell'individuare all'interno di ogni zona l'area con la temperatura più elevata nelle ore centrali della giornata.

Negli anni passati tale procedimento veniva eseguito da un operatore, opportunamente addestrato, che analizzava le mappe di temperatura a 2m fornite dal modello a scala locale LAMI, fornito dal DPC tramite la rete dei Centri Funzionali. Il procedimento, oltre ad essere oneroso come impegno, aveva il difetto di "dipendere" dalla soggettività dei vari operatori nell'interpretare le mappe.

Per ovviare a ciò, nella campagna di prevenzione 2010 degli effetti delle ondate di calore sulla salute, si è deciso di sviluppare un sistema automatico che riproducesse il procedimento usuale senza le incertezze interpretative che un operatore può introdurre.

I dati di base, forniti dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, sono le simulazioni del NWP COSMO-ME, sostanzialmente identico al LAMI, ma inizializzato in maniera leggermente diversa e su un'area un po' più ampia.

I dati vengono processati tramite un software di mappatura dei dati meteorologici che interpolando i campi sulle varie zone di allertamento ricava per ogni *step*

temporale (3h) ed all'interno di ciascuna zona, il valore massimo delle temperature massime e minime triorarie e degli indici bioclimatici individuando il punto di massimo svantaggio termico. Le sequenze di valori vengono graficate per un eventuale controllo di congruità (figura 4).

Successivamente, per ogni giorno di previsione, viene calcolato il valore massimo della sequenza delle massime ed il valore minimo della sequenza delle minime, nonché il valore massimo giornaliero degli indici.

L'identificazione, quindi, delle temperature massime e minime giornaliere

$$T_{max}^d(X) \text{ e } T_{min}^d(X)$$

per ogni zona *X*, nell'arco delle 24h, avviene secondo il seguente schema:

$$T_{max}^d(X) = \max(\max(T_{max}^{3h}(X, 24h)))$$

$$T_{min}^d(X) = \min(\max(T_{min}^{3h}(X, 24h)))$$

Le stime delle temperature minime servono a valutare la componente del disagio durante le ore notturne; in tal senso non si va a considerare la minima assoluta della giornata, che potrebbe essere più bassa, ma il valore massimo delle minime notturne.

I risultati vengono riassunti in tabelle, rese disponibili sul sito internet del CFD (www.cfumbria.it) in un'apposita pagina con accesso riservato.

7. ANALISI STATISTICA DEI DATI

Per stimare l'errore commesso dal modello di previsione (errore che nel nostro caso è ovviamente comprensivo dell'errore insito nella metodologia di individuazione delle punte estreme di temperatura negli aerei di riferimento) è stata utilizzata una semplice tecnica MOS (Eccel *et al.*, 2008) confrontando quanto misurato dalle stazioni meteorologiche della rete regionale in tempo reale (che fa capo all'Istituto Idrografico) ed il valore previsto dal modello nelle prime 24h (in futuro si conta di estendere l'analisi anche alle successive 48 e 72h di previsione).

I valori misurati di temperatura massima e di *THI* massimo, per ogni area, sono stati ottenuti con lo stesso procedimento con cui sono stati calcolati i valori massimi di temperatura e *THI* previsti, cioè considerando tutte le stazioni ricadenti in ogni zona di allerta e prendendo il valore massimo tra tutti quelli misurati (il valore più elevato anche nel caso delle minime), nell'ipotesi che, data la fitta distribuzione delle stazioni sul territorio, possa essere individuata la località termicamente più svantaggiata.

A seguire è stata condotta un'analisi statistica degli scarti tra grandezze misurate e previste, al fine di trovare degli stimatori che possano, eventualmente, apportare una correzione di quelle temperature che si discostano troppo dalla realtà.

Per prima cosa sono stati calcolati gli indici statistici di

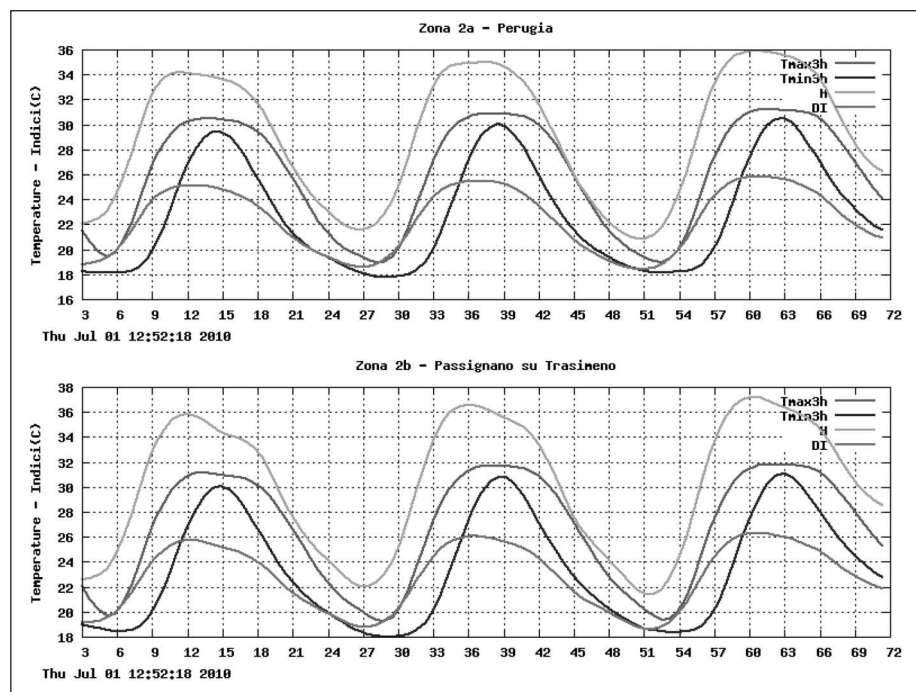


Fig. 4 - Esempi degli andamenti delle temperature e degli indici bioclimatici nelle 72h di previsione del modello: Tmax3h, Tmin3h: Temperatura massima e minima nello step temporale (3h) del modello NWP; H: Indice HUMIDEX (Masterson e Richardson, 1979), DI: Indice di Thom.
Fig. 4 - Example plot of temperatures and bioclimatic indexes from NWP 72h forecast. Tmax3h, Tmin3h: highest and lowest temperature ; H: HUMIDEX index (Masterson e Richardson, 1979), DI: Discomfort index .

variabilità e tendenza centrale di un campione di dati: media, mediana, deviazione standard, coefficienti di variazione e quartili.

Il coefficiente di variazione (CV) o deviazione standard relativa è un indice di dispersione definito come il rapporto tra la deviazione standard (σ) ed il valore assoluto della media aritmetica del campione:

$$CV = \frac{\sigma}{|\mu|}$$

ha senso solo se il valor medio è diverso da zero. Esso è utile nella individuazione di un'eventuale sistematicità nella stima dell'errore del modello rispetto al misurato, qualora la media degli scarti si discosti sensibilmente da zero. In caso di errore sistematico i CV saranno relativamente piccoli.

Un errore di tipo sistematico è molto più facile da gestire che non un errore affetto da fluttuazioni stocastiche che ampliano la dispersione della distribuzione dei dati (cosa assai più complessa da trattare, se non facendo ricorso a reti neurali artificiali o foreste stocastiche come in Eccel *et al.*, 2008). È utile, allora, analizzare i CV per ottenere un'indicazione della sistematicità dell'errore del modello di previsione.

Successivamente, sono stati prodotti dei *boxplot* per avere informazioni sulla distribuzione degli scarti e mettere in risalto quei valori che si discostano troppo dalla distribuzione stessa, utilizzando l'apposita funzione del software di statistica R (www.r-project.org) che stima gli *outliers* secondo il modello descritto da Chambers *et al.* (1983) e modificato da McGill *et al.* (1978), basato sulla normalità asintotica della mediana che risulta, pertanto,

abbastanza indipendente dalla reale distribuzione dei campioni.

Definiamo gli estremi della distribuzione (ignota) nell'intervallo:

$$\left[1stQ - \frac{1.58 \cdot IQR}{\sqrt{n}}, 3rdQ + \frac{1.58 \cdot IQR}{\sqrt{n}} \right]$$

dove n è la dimensione del campione e IQR è la distanza interquartile, cioè la differenza tra il terzo ed il primo quartile. Tutti i valori che stanno al di fuori vengono considerati come *outliers*. Essi verranno eliminati quando si tratterà di stimare la correzione da applicare alle temperature previste dal modello.

L'analisi degli *outliers* si rivela molto importante per identificare quei casi in cui il comportamento del modello mostrava evidenti anomalie rispetto al misurato (scarti troppo grandi o troppo piccoli) che, come si vedrà, saranno riconducibili, per la maggior parte, a determinate situazioni sinottiche.

Il correttore da applicare è stato identificato nella mediana degli scarti, stimatore molto più robusto, e sostanzialmente indipendente dalla funzione di distribuzione reale del campione, che non il valor medio il quale, invece, risulta assai dipendente dalla forma della distribuzione e dalla dimensione del campione.

Con analoga procedura sono stati analizzati gli scarti per l'indice *THI* massimo misurato e previsto.

8. RISULTATI PRELIMINARI

8.1 Temperature massime

I dati esaminati comprendono il periodo dal 23/05/2010 al 31/07/2010, pari a 70 giorni di dati. Le statistiche degli

scarti di temperatura tra previsto e misurato sono riassunti nella tabella 2.

Si nota immediatamente come vi sia una sostanziale sottostima delle temperature massime da parte del modello COSMO-ME, ad eccezione della zona 1a (Gubbio) in cui la media degli scarti è la più bassa (-0.27) con una mediana pari a zero.

Utilizzando il modello *boxplot* è stato ottenuto il grafico di figura 5.

Lo studio degli *outliers* è stato utilizzato come elemento

	Zona 1a	Zona 1b	Zona 2a
Min	-3.0	-8.0	-6.0
1stQ	1.0	-4.0	-4.0
Mediana	0.0	-3.0	-3.0
Media	-0.27	-3.37	-3.02
3rdQ	1.0	-2.25	-3.0
Max	3.0	1.0	2.0
Dev.St.	1.48	1.66	1.30
CV	5.46	0.49	0.43
	Zona 2b	Zona 2c	Zona 3a
Min	-6.0	-7.0	-7.0
1stQ	-4.0	-4.0	-4.0
Mediana	-3.0	-3.0	-3.0
Media	-2.80	-3.1	-2.88
3rdQ	-2.25	-3.0	-2.0
Max	3.0	2.0	3.0
Dev.St.	1.42	1.40	1.69
CV	0.50	0.45	0.58
	Zona 3b	Zona 4a	Zona 4b
Min	-8.0	-6.0	-6.0
1stQ	-5.0	-4.0	-3.0
Mediana	-4.0	-4.0	-2.0
Media	-4.07	-3.55	-2.4
3rdQ	-3.0	-3.0	-2.0
Max	0.0	0.0	2.0
Dev.St.	1.60	0.98	1.18
CV	0.39	0.27	0.49

Tab. 2 - Statistiche principali del set di dati analizzato (scarti tra le temperature massime previste ed osservate in °C): valore minimo (min), primo quartile (1stQ), Mediana, Media, terzo quartile (3rdQ), valore massimo (Max) deviazione standard (Dev.St) e coefficiente di variazione (CV).

Tab. 2 - Statistical summary of maximum temperature differences (predicted vs measured) (in °C) data set analyzed: minimum value (min), first quartile (1stQ), Median, Mean, third quartile (3rdQ), maximum value (max), standard deviation (Dev.St) and variation coefficient (CV).

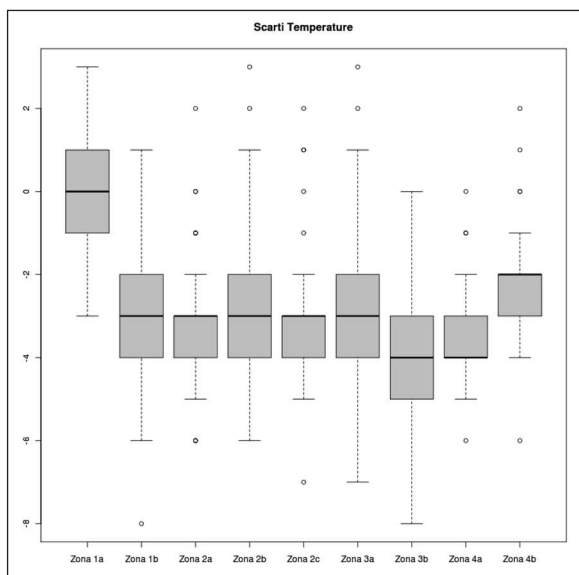


Fig. 5 - Boxplot del set di dati analizzato per ognuna delle zone di allertamento. In ordinata sono riportati gli scarti tra la temperatura massima giornaliera prevista e quella misurata, in °C.

Fig. 5 - Data set boxplot analysis in each warning zone. Differences in highest daily temperature predicted and measured, in °C on vertical axis.

di supporto all'identificare i casi per i quali il comportamento del modello era da considerare "anomalo". In particolare sono stati considerati a "comportamento del modello anomalo" e dunque esclusi dall'analisi statistica successiva sia i casi in cui si verificavano *outliers* sia i casi in cui il modello ha mostrato comportamenti critici in situazioni sinottiche "non ASA". Questi ultimi casi (riassunti in tabella 3) sono riconducibili in particolare alle seguenti tipologie di situazioni sinottiche:

- *Irruzioni d'aria fredda (sia atlantiche che balcaniche)*: il modello meteo simula bene le temperature nei valori, quindi con scarti piccoli o positivi. Ciò mostra che in condizioni di alta pressione nei periodi estivi il modello tende, in qualche modo, a tenere bassi valori estremi di temperatura ed a funzionare meglio quando l'escursione termica e le condizioni sinottiche sono quelle tipiche delle stagioni di transizione;
- *Variazioni rapide delle temperature*: se il grosso della variazione ha luogo su archi di tempo dell'ordine di 1 giorno il modello non riesce a simularla correttamente o non "vedendola" affatto oppure simulandola in ritardo (il giorno successivo). Questo tipo di problema è dovuto, tipicamente, all'inizializzazione del modello stesso.

Eliminando dunque i casi a "comportamento del modello anomalo" dal dataset di calibrazione si è giunti ad un dataset finale da cui sono state ricavate le statistiche riepilogative riportate in tabella 4.

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
Giorni	12-giu	2-giu	28-mag	28-mag	28-mag	19-giu	28-mag	28-mag	28-mag
	13-giu	3-giu	2-giu	3-giu	3-giu	20-giu	29-mag	12-giu	29-mag
	15-giu	13-giu	3-giu	13-giu	13-giu	21-giu	3-giu	15-giu	3-giu
	19-giu	15-giu	13-giu	15-giu	15-giu	22-giu	4-giu	16-giu	15-giu
	20-giu	20-giu	15-giu	20-giu	21-giu	23-giu	5-giu	6-lug	26-giu
	6-lug	22-giu	16-giu	24-giu	26-giu	6-lug	19-giu	7-lug	6-lug
	16-lug	23-giu	23-giu	6-lug	6-lug	8-lug	20-giu	9-lug	18-lug
	17-lug	6-lug	6-lug	19-lug	17-lug	11-lug	21-giu		19-lug
	18-lug	9-lug	20-lug	20-lug	22-lug	19-lug	23-giu		30-lug
	20-lug	18-lug	22-lug	30-lug	25-lug	20-lug	26-giu		
	29-lug	20-lug	30-lug		30-lug	23-lug	27-giu		
	30-lug	29-lug				24-lug	6-lug		
		30-lug				25-lug	7-lug		
		31-lug				29-lug	11-lug		
							20-lug		
							22-lug		
							23-lug		
							25-lug		
							29-lug		
							30-lug		
							31-lug		

Tab. 3 - Giornate escluse dalle statistiche per le temperature massime in base ai criteri illustrati nel testo.

Tab. 3 - Maximum temperature outliers' dates, not used in statistics (see text).

La mediana dimostra la sua robustezza come stimatore del comportamento medio degli scarti. Com'era da prevedersi, i CV si riducono drasticamente indicando un comportamento ben definito del modello meteorologico nei casi di alte pressioni estive.

Le buone prestazioni della mediana sono confermate anche dall'analisi delle distribuzioni degli scarti (figura 6), che non mostra accentuate asimmetrie rispetto alla mediana stessa.

In base a ciò sono stati individuati i correttori, uno per ogni zona, da applicare alle temperature previste (tabella 5). Tali correttori sono applicabili anche, per le temperature previste per i giorni successivi al primo, in base al fatto che l'errore in temperatura dei modelli della famiglia COSMO è abbastanza costante nei tre giorni di previsione, nel senso che il ciclo giornaliero si ripete più o meno identico senza evidenti peggioramenti all'aumentare dell'intervallo temporale dall'istante di inizializzazione (Tesini and Cacciamani, 2008; Tesini, 2010, comunicazione privata).

8.2 Indice di Thom-THI

I record esaminati comprendono il medesimo periodo dal 23/05/2010 al 31/07/2010, pari a 70 giorni di dati.

Le statistiche degli scarti di *THI* tra previsto e misurato sono riassunti nella tabella 6.

La prima cosa che si evidenzia è che gli scarti tra previsto ed osservato hanno, in assoluto, valori decisamente inferiori agli scarti delle temperature massime, il che attesta la bontà del metodo di ricerca del punto più svantaggiato; inoltre si nota che combinando tempera-

tura ed umidità previste dal modello si ottiene una grandezza il cui valore è molto più vicino alla realtà che non la semplice temperatura massima. Da ciò deriva l'ipotesi preliminare secondo cui la previsione del *THI* manifesta una maggiore accuratezza rispetto alla previsione della temperatura massima.

Analogamente a quanto fatto per le temperature, utilizzando il modello *boxplot* (figura 7) sono state identificate quelle date in cui il comportamento del modello è stato definito "anomalo".

Considerando anche come viene costruito l'indice termigrometrico, non tutte le date "critiche" esaminate per le temperature massime corrispondono con quelle individuate per il *THI* (tabella 7). Eliminando queste date dalle statistiche otteniamo i parametri riassunti in tabella 8.

La mediana non mostra nelle zone 1a, 2b e 3a la stessa "robustezza" del caso delle temperature, anche se le distribuzioni degli scarti risultano molto strette ed abbastanza simmetriche (figura 8).

Si tratta, però, di differenze minime rispetto al set di dati completo riportato in tabella 9. Questo è imputabile, principalmente, al fatto che stiamo trattando differenze piccole (dell'ordine del decimo di grado), rispetto a quelle delle temperature, e con valori più ravvicinati.

Il valor medio ha, comunque, una minore stabilità, rispetto alla mediana, nel passaggio tra set completo e set selezionato; pertanto per i *THI* previsti è stata ugualmente utilizzata la mediana per individuare i correttori statistici che sono riassunti in tabella 10.

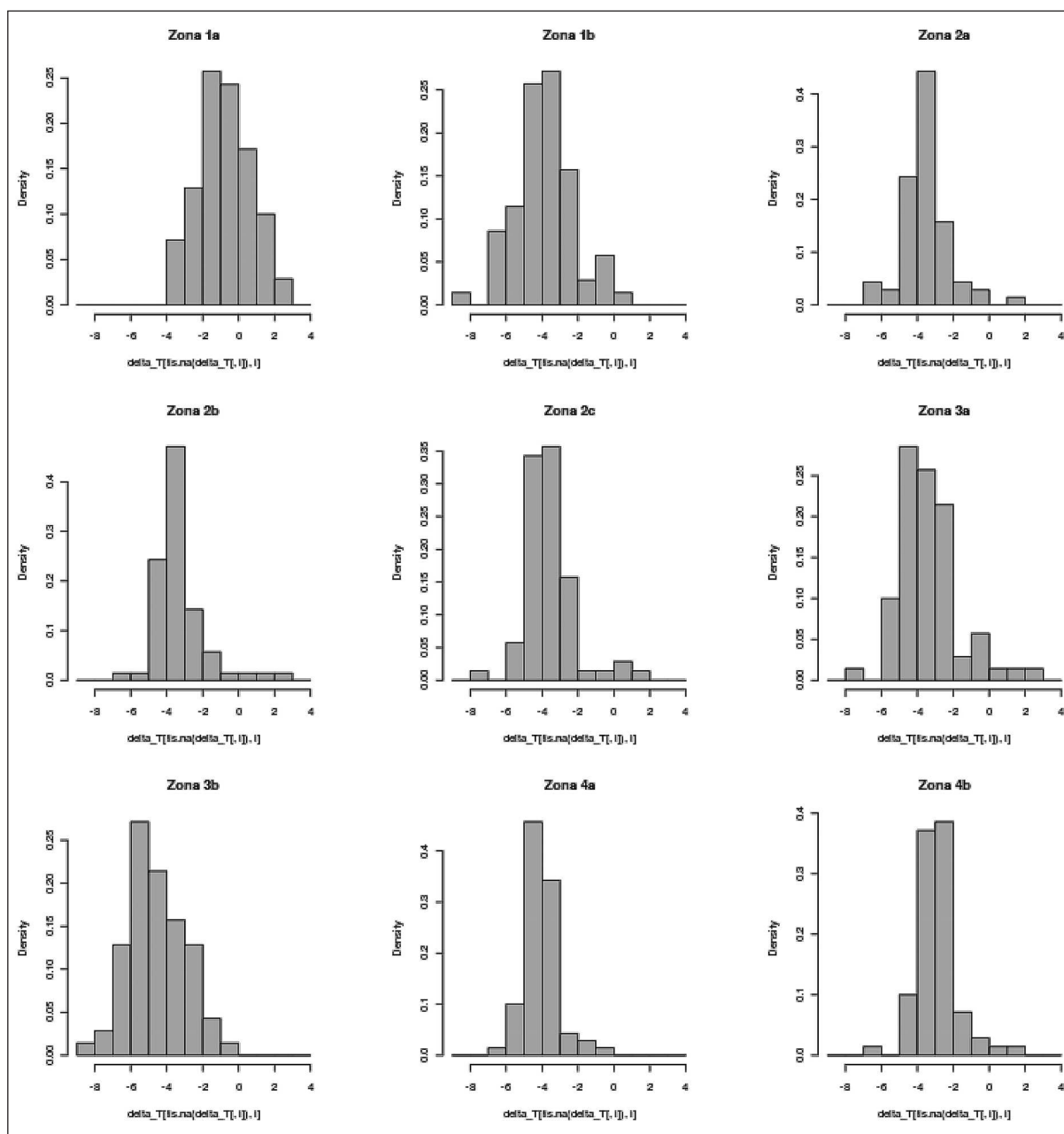


Fig. 6 - Istogrammi degli scarti tra temperature massime previste e misurate: in ascissa scarti di temperature in °C, in ordinata le frequenze relative.

Fig. 6 - Histograms of highest daily temperature differences (in °C) between predicted and measured values.

Come precedentemente visto per le temperature, anche nel caso dei *THI* le correzioni stimate per le prime 24h di previsione sono state applicate anche ai valori previsti per gli *step* temporali successivi.

A tal proposito occorre chiarire alcuni punti. Come riportato nella tabella 8 i CV delle zone 2c e 4b sono molto elevati; rispettivamente 0.74 e 0.39. Ciò è da imputare al fatto che, a causa della dotazione strumentale della rete, in tali zone si hanno soltanto due stazioni equipaggiate con il sensore igrometrico (una per zona)

e quindi solo in due punti è stato possibile avere una misura del *THI*.

Per dare un significato anche a questi dati si è confrontato il comportamento del *THI* nelle zone in questione con quello nelle zone limitrofe, alla ricerca di eventuali correlazioni.

Le figure 9 e 10 mostrano una significativa correlazione dei valori di *THI* misurati e previsti tra le zone 2c, 4b e quelle a loro adiacenti.

Si ha, quindi, una prima evidenza di come il modello di

	Zona 1a	Zona 1b	Zona 2a
Min	-3,0	-5,0	-4,0
1stQ	-1,0	-4,0	-4,0
Mediana	0,0	-3,0	-3,0
Media	-0,43	-3,21	-3,06
3rdQ	0,0	-2,5	-3,0
Max	2,0	-1	-2,0
Dev.St.	1,11	0,97	0,72
CV	2,53	0,30	0,23
	Zona 2b	Zona 2c	Zona 3a
Min	-4,0	-4,0	-4,0
1stQ	-3,0	-4,0	-4,0
Mediana	-3,0	-3,0	-3,0
Media	-3,0	-3,16	-3,04
3rdQ	-3,0	-3,0	-2,0
Max	-2,0	-2,0	-1,0
Dev.St.	0,64	0,71	0,91
CV	0,21	0,22	0,30
	Zona 3b	Zona 4a	Zona 4b
Min	-5,0	-5,0	-4,0
1stQ	-5,0	-4,0	-3,0
Mediana	-4,0	-4,0	-2,0
Media	-3,97	-3,56	-2,46
3rdQ	-3,0	-3,0	-2,0
Max	-2,0	-2,0	-1,0
Dev.St.	0,98	0,70	0,73
CV	0,24	0,19	0,30

Tab. 4 - Statistiche principali del set di dati (scarti tra le temperature massime previste ed osservate in °C) dopo l'eliminazione dei dati "anomali": valore minimo (min), primo quartile (1stQ), Mediana, Media, terzo quartile (3rdQ) valore massimo (Max) Deviazione standard (Dev.St) e Coefficiente di variazione (CV).

Tab. 4 - Statistical summary of maximum temperature differences (predicted vs. measured, in °C) data set after outliers elimination: minimum value (min), first quartile (1stQ), Median, Mean, third quartile (3rdQ), maximum value (max), standard deviation (Dev.St) and variation coefficient (CV).

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
vcorr	0	+3	+3	+3	+3	+3	+4	+4	+2

Tab. 5 - Correttori (°C) adottati per migliorare la stima delle temperature massime previste per ogni singola zona.

Tab. 5 - Corrections (°C) values used to improve predicted maximum temperatures in each zone.

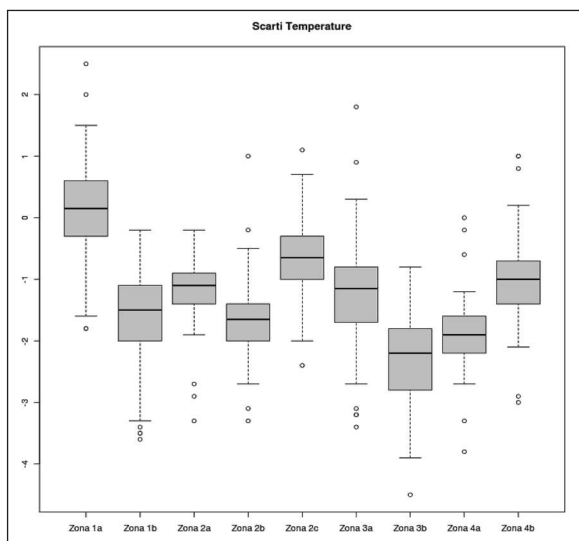


Fig. 7 - Boxplot degli scarti tra *THI* massimo giornaliero previsto e misurato (in °C) del set di dati analizzato per ognuna delle zone di allertamento.

Fig. 7 - Highest daily THI predicted and THI measured differences (in °C) for each warning zone.

previsione abbia un comportamento assai simile a quello reale, anche se ad uno sguardo più attento (figura 10) le zone 2a, 2b, 2c e 4b hanno una correlazione tra loro più forte di quella osservata (figura 9), mentre la 3b mostra una correlazione un po' più debole rispetto al misurato.

L'aspetto da evidenziare, però, è che sia le misure di stazione sia i valori previsti dal modello hanno un comportamento assai simile, per cui si ritiene sensato applicare lo stesso criterio di correzione anche nelle zone 2c e 4b, utilizzando la mediana degli scarti.

9. VERIFICA DEL METODO

Per valutare la bontà del metodo (ricerca punto terminamente svantaggiato + correzione del dato + superamento o meno delle soglie) si è fatto ricorso alle tabelle di contingenza (Wilks, 2006).

La tabella utilizzata ha la struttura illustrata in figura 11. I casi di tipo A sono quelli per cui l'evento previsto si è poi effettivamente osservato, nel caso B l'evento previsto non è stato osservato (*falso allarme*), di tipo C sono i casi di *mancato allarme* (evento non previsto, ma osservato) ed infine gli eventi non attesi e che non si sono verificati vanno a far parte del gruppo D.

Una volta classificati gli eventi è possibile costruire, dalle risultanze delle tabelle di contingenza, degli indi-

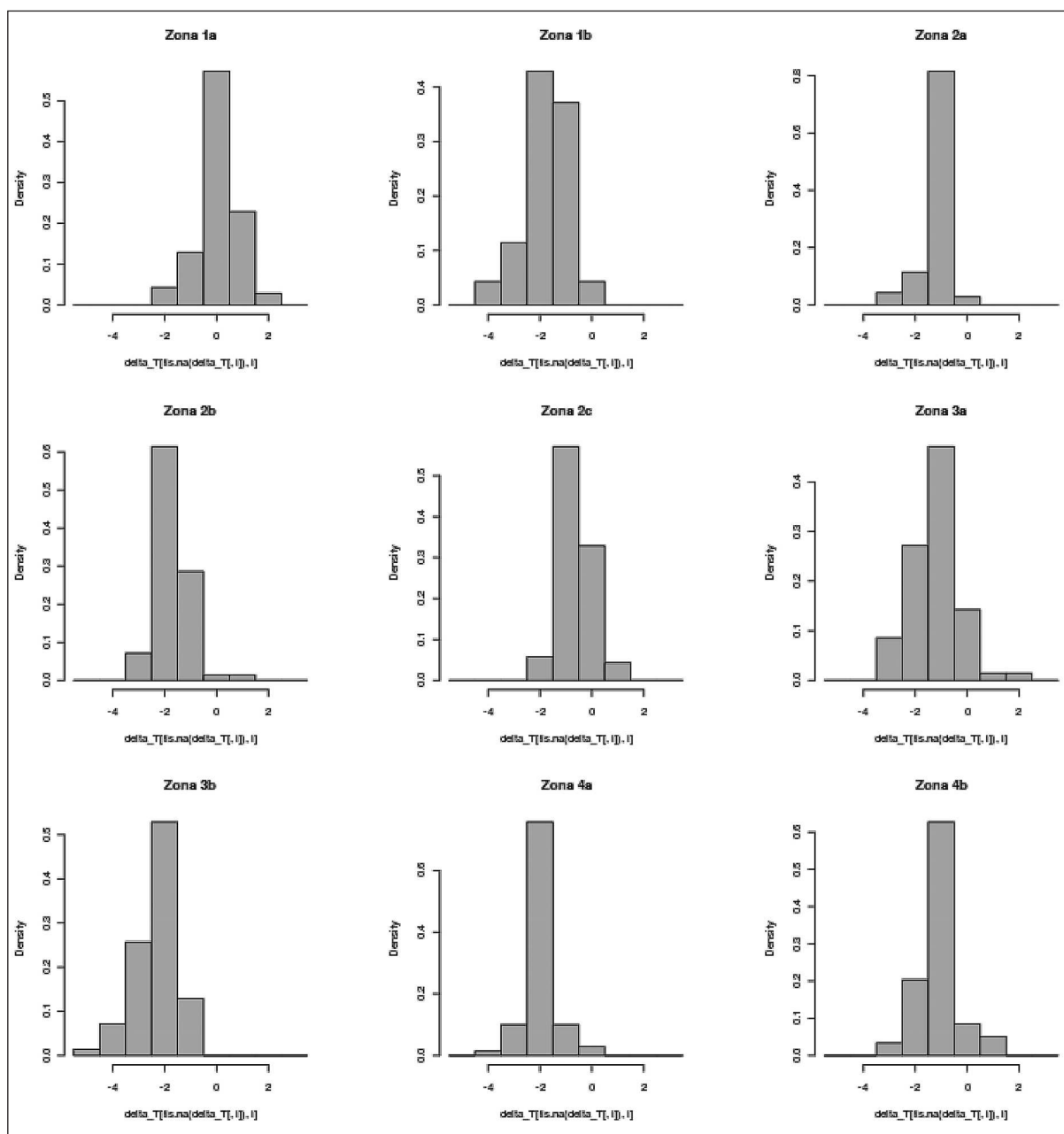


Fig. 8 - Istogrammi degli scarti (in °C) tra il *THI* massimo giornaliero previsto e quello misurato.
Fig. 8 - Highest daily THI predicted and measured differences (in °C) histograms.

catori che rendono conto della bontà e della capacità previsionale, del metodo di ricerca e stima delle temperature e dei *THI* massimi.

Gli indicatori utilizzati sono:

Probability of detection (POD)

$$POD = \frac{A}{A + C}$$

tale indicatore stima la frazione degli eventi osservati che sono stati correttamente previsti. Ignora i falsi allarmi ed è un buono stimatore per eventi rari.

False Alarm Ratio (FAR)

$$FAR = \frac{B}{A + B}$$

tale indicatore stima i falsi allarmi, ignora i mancati allarmi. Deve essere utilizzato insieme al *POD* per ottenere deduzioni complessive.

Miss Alarm Rate (MAR)

$$MAR = \frac{C}{A + C}$$



	Zona 1a	Zona 1b	Zona 2a
Min	-1,8	-3,6	-3,3
1stQ	-0,3	-2,0	-1,4
Mediana	0,15	-1,5	-1,1
Media	0,14	-1,65	-1,18
3rdQ	0,67	-1,1	-0,9
Max	2,5	-0,2	-0,2
Dev.St.	0,82	0,79	0,51
CV	5,8	0,47	0,43
	Zona 2b	Zona 2c	Zona 3a
Min	-3,3	-2,4	-3,4
1stQ	-2,0	-1,0	-1,67
Mediana	-1,65	-0,65	-1,15
Media	-1,65	-0,59	-1,21
3rdQ	-1,4	-0,3	-0,8
Max	1,0	1,1	1,8
Dev.St.	0,61	0,61	0,93
CV	0,37	1,03	0,77
	Zona 3b	Zona 4a	Zona 4b
Min	-4,5	-3,8	-3,0
1stQ	-2,8	-2,2	-1,4
Mediana	-2,2	-1,9	-1,0
Media	-2,3	-1,9	-1,01
3rdQ	-1,82	-1,6	-0,7
Max	-0,8	0,0	1,0
Dev.St.	0,77	0,56	0,75
CV	0,33	0,30	0,74

Tab. 6 - Statistiche principali del set di dati analizzato (scarti del *THI* previsto meno osservato in °C): valore minimo (min), primo quartile (1stQ), Mediana, Media, terzo quartile (3rdQ) valore massimo (Max) Deviazione standard (Dev.St) e Coefficiente di variazione (CV).

Tab. 6 - Statistical summary of *THI* differences (predicted vs. observed in °C) data set: minimum value (min), first quartile (1stQ), Median, Mean, third quartile (3rdQ), maximum value (max), standard deviation (Dev.St) and variation coefficient (CV).

tale indicatore stima la percentuale di mancati allarmi, ignora i falsi allarmi. Usato insieme a *POD* e *FAR* consente di dare una valutazione più completa delle previsioni.

Bias (*BIAS*)

$$BIAS = \frac{A+B}{A+C}$$

tale indicatore da un lato stima il rapporto della frequenza con cui viene previsto l'evento, rispetto alla

frequenza con cui viene osservato e dall'altro indica se il sistema previsionale tende a prevedere poco (*BIAS* <1) o troppo (*BIAS* > 1) l'evento. Il *BIAS* stima solo le frequenze relative, non la bontà della previsione rispetto all'osservato ed è indice di un possibile comportamento sistematico dei modelli.

Nel caso specifico è stato definito "evento" il superamento delle soglie $T \geq 33^{\circ}\text{C}$ e $THI \geq 27^{\circ}\text{C}$ e in base a ciò sono state compilate le tabelle di contingenza sia per i dati grezzi ottenuti dal modello meteorologico sia per i dati modificati applicando il correttore statistico calcolato precedentemente.

Lo scopo era quello di valutare le capacità previsionali del modello, corretto e non, e le performance, in caso di allertamento, del metodo a soglia termica e di *THI*.

9.1 Temperature massime

A parte la zona di Gubbio (1a), la capacità di individuazione dell'evento risulta assai scadente per le previsioni non corrette. Applicando il semplice correttore statistico si è in grado di ottenere notevoli miglioramenti delle *performance* previsionali con la capacità di individuare ben il 95% degli eventi nella zona 2a (Perugia) (tabella 11).

Come già evidenziato in precedenza il modello meteorologico ha una tendenza sistematica a sottostimare le temperature in condizioni ASA. Questo fatto si ripercuote sulla possibilità di falsi allarmi, inesistenti nelle previsioni non corrette. Il comparire dei falsi allarmi (dell'ordine del 10% sul totale) è imputabile, in parte, alla sovrastima delle temperature in caso di irruzioni fredde, quando la simulazione tende a dare una temperatura più vicina alla realtà (tabella 12).

La stima dei mancati allarmi è un indice, si ritiene, più critico del falso allarme: mentre un falso allarme può infatti dar luogo ad una parziale lievitazione dei costi del sistema di allertamento ed emergenza, il mancato allarme può provocare danni assai più elevati all'intera comunità. La performance del modello *tout-court*, in tal senso, è disastrosa, mancando circa il 60-70% degli eventi di superamento soglia. La situazione migliora in modo assai rilevante se applichiamo la correzione (tabella 13).

Il *BIAS* conferma quanto già in sostanza dedotto dagli indici fin qui esaminati: la forte sottostima degli eventi nell'output del modello ed una *performance* molto buona nel modello corretto, con *BIAS* prossimo ad 1 su tutte le zone, anche se si evidenzia, ancora, una debole sottostima. Ciò, si ritiene, sia da attribuire a quelle fluttuazioni intrinseche nella grandezza temperatura, che il semplice correttore utilizzato non riesce pienamente a compensare (tabella 14).

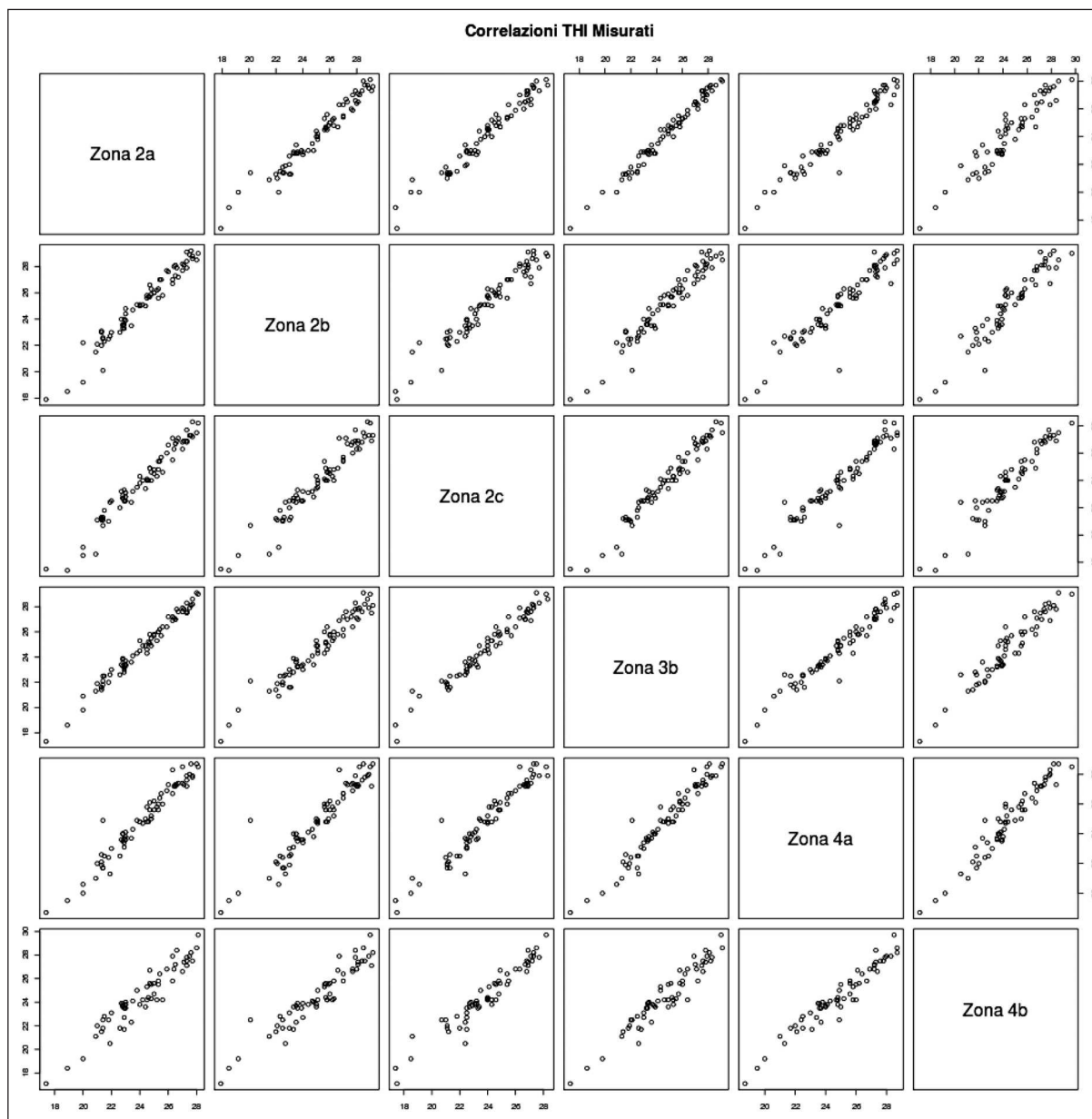


Fig. 9 - Grafici di correlazione del *THI* misurato nelle zone 2c e 4c con le zone limitrofe.
Fig. 9 - Correlation plots for measured *THI* in zones 2c and 4c to nearest zones.

9.2 Indice *THI*

Il *POD* riflette il comportamento già evidenziato precedentemente (tabella 15). Da notare lo 0,09 della zona 4a (Terni) che, con il correttore, diventa 1,00. In base a questo indice le capacità previsionali del *THI* sono sostanzialmente confrontabili col metodo delle temperature massime, ma nelle zone 3b e 4a il miglioramento risulta sensibilmente più elevato.

Per il *FAR* valgono le stesse considerazioni fatte in precedenza. Il tasso di falsi allarmi corretto risulta un po' più elevato rispetto all'altro metodo, eccetto la zona 3a

per cui si passa dal 29% col primo metodo al 18% con il *THI* (tabella 16).

I mancati allarmi sono diminuiti eccetto in 3 zone in cui sono leggermente più alti (di circa il 5%). Potrebbe essere un fatto negativo, ma in questa sede si può evidenziare che nel caso del *THI* si tratta di oscillazioni dell'ordine del decimo di grado che potrebbero essere agevolmente corrette in fase decisionale (tabella 17).

Il *BIAS* è su valori molto prossimi ad 1 con una leggera sovrastima solo nelle zone 2b e 4a, ma con valori decisamente migliori rispetto al metodo delle temperature (tabella 18).

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
Giorni	31-mag	31-mag	31-mag	31-mag	31-mag	3-giu	31-mag	28-mag	27-mag
	7-giu	2-giu	11-giu	3-giu	2-giu	16-giu	2-giu	31-mag	28-mag
	8-giu	13-giu	16-giu	11-giu	11-giu	20-giu	11-giu	12-giu	31-mag
	12-giu	21-giu	20-giu	12-giu	15-giu	21-giu	6-lug	24-giu	11-giu
	13-giu	22-giu	6-lug	22-giu	16-giu	22-giu	7-lug	6-lug	12-giu
	19-giu	23-giu	31-lug	23-giu	6-lug	6-lug	11-lug	7-lug	15-giu
	20-giu	28-giu		24-giu	30-lug	7-lug	23-lug	11-lug	6-lug
	7-lug	6-lug		6-lug	31-lug	8-lug	25-lug	19-lug	8-lug
	8-lug	7-lug		30-lug		19-lug	31-lug	30-lug	19-lug
	11-lug	17-lug				26-lug			
	28-lug	19-lug				29-lug			
	31-lug	25-lug				30-lug			
		30-lug				31-lug			
		31-lug							

Tab. 7 - Giornate escluse dalle statistiche del THI.

Tab. 7 - THI outliers' dates, not used in statistics.

	Zona 1a	Zona 1b	Zona 2a
Min	-1,1	-2,2	-1,7
1stQ	-0,2	-1,7	-1,4
Mediana	0,05	-1,5	-1,1
Media	0,11	-1,43	-1,1
3rdQ	0,5	-1,1	-0,9
Max	1,1	-0,5	-0,2
Dev.St.	0,54	0,42	0,31
CV	4,63	0,30	0,28
	Zona 2b	Zona 2c	Zona 3a
Min	-2,5	-1,4	-2,2
1stQ	-2,0	-0,9	-1,5
Mediana	-1,6	-0,65	-1,1
Media	-1,66	-0,59	-1,14
3rdQ	-1,4	-0,32	-0,9
Max	-0,7	0,7	0,1
Dev.St.	0,37	0,43	0,54
CV	0,22	0,74	0,47
	Zona 3b	Zona 4a	Zona 4b
Min	-3,2	-2,6	-1,8
1stQ	-2,6	-2,1	-1,3
Mediana	-2,2	-1,9	-1,0
Media	-2,17	-1,88	-1,05
3rdQ	-1,8	-1,6	-0,72
Max	-0,8	-1,2	-0,3
Dev.St.	0,58	0,32	0,42
CV	0,26	0,17	0,39

10. CONCLUSIONI

Questo lavoro si è posto l'obiettivo di fornire stime attendibili delle temperature in aree ben definite della Regione Umbria al fine di ottimizzare l'emissione di allerte in caso di ondate di calore.

Il Centro Funzionale Decentrato (CFD) della Regione, come soggetto di supporto alle decisioni per il Sistema di Protezione Civile, dal 2007 fornisce tabelle sintetiche contenenti valori estrapolati dall'output del modello di previsione COSMO/LAMI.

L'obiettivo principale non è quello della verifica del metodo a soglia, essendo questo un problema di epidemiologia e statistica medica (discipline deputate a studiare le correlazioni tra forzanti ambientali e risposta fisiologica). La soglia di 33 °C per le temperature massime è stata, ad oggi, adottata come riferimento procedurale della Regione Umbria e la soglia di 27 per il THI massimo è stata ricavata dalla letteratura corrente (Matzarakis and Mayer, 1991).

Ci si è prefissi, principalmente, lo studio del modello COSMO-ME in condizioni ASA, valutandone le capacità previsionali del fenomeno in sé e l'accuratezza nella determinazione della temperatura massima del THI massimo in ognuna delle zone di allerta sanitaria.

L'originalità del metodo consiste, sostanzialmente, nella ricerca del punto termicamente più svantaggiato all'interno di ciascuna zona di allertamento della Regione Umbria.

Tab. 8 - Statistiche principali del set di dati degli scarti del THI previsto meno osservato (in °C) dopo l'eliminazione degli outliers: valore minimo (min), primo quartile (1stQ), Mediana, Media, terzo quartile (3rdQ) valore massimo (Max) Deviazione standard (Dev.St) e Coefficiente di variazione (CV).

Tab. 8 - Statistical summary of THI differences (predicted vs. observed, in °C) dataset after outliers elimination: minimum value (min), first quartile (1stQ), Median, Mean, third quartile (3rdQ), maximum value (max), standard deviation (Dev.St) and variation coefficient (CV).

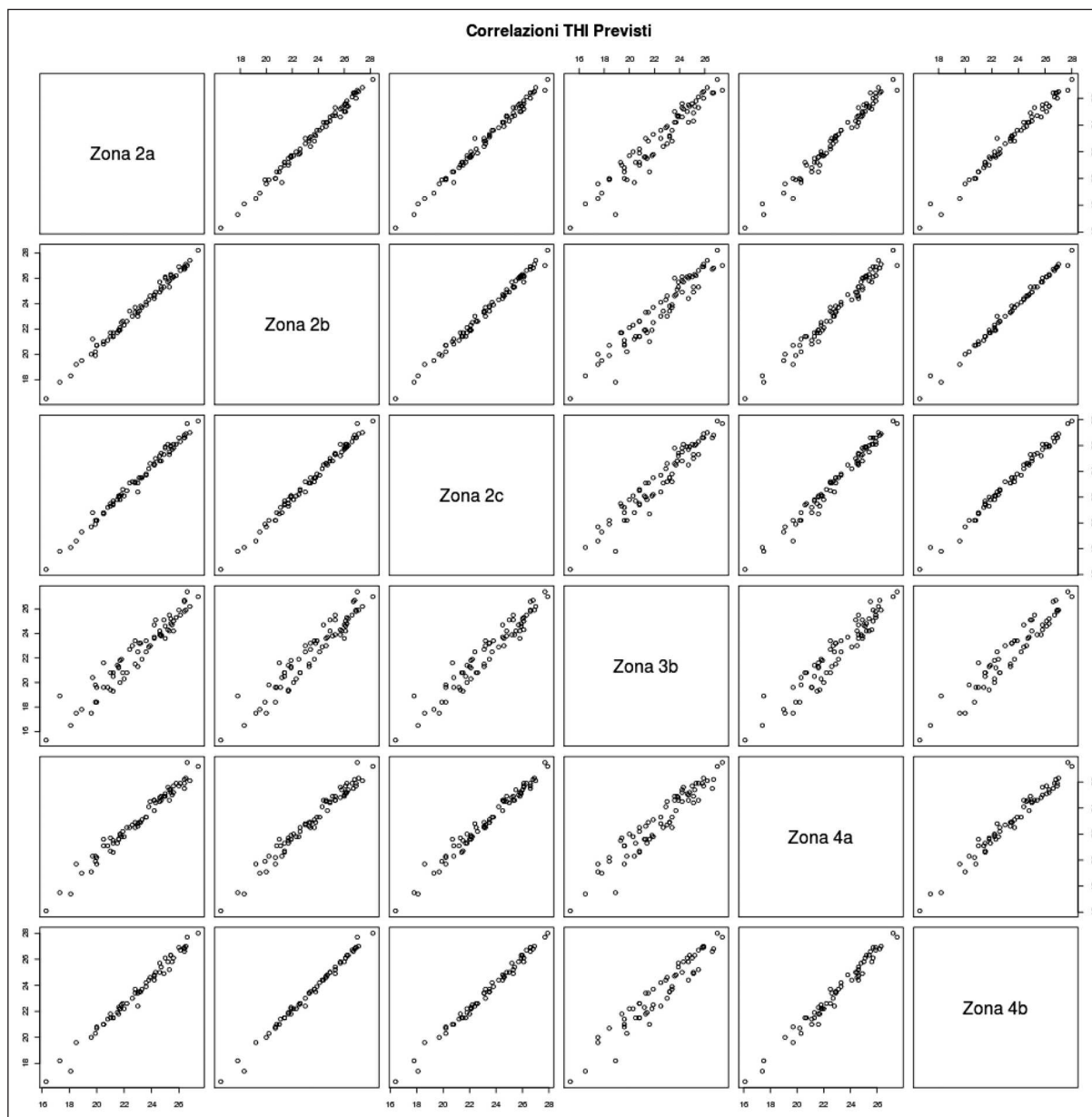


Fig. 10 - Grafici di correlazione del THI previsto nelle zone 2c e 4c con le zone limitrofe.
Fig. 10 - Correlation plots for predicted THI in zones 2c and 4c to nearest zones.

In base alle analisi statistiche effettuate si è evidenziata una certa sistematicità del modello COSMO nel sotto-stimare le temperature massime in condizioni ASA, mentre l'errore risultava più contenuto in situazioni con temperature più basse o con dinamica più vivace. Per ottenere una stima corretta del comportamento in condizioni ASA, in fase di calibrazione del metodo, sono stati considerati solo i giorni in cui era presente un'ondata di calore.

Per le temperature massime, eccetto la zona di Gubbio, sono stati riscontrati scarti rispetto al misurato dell'ordine di 3-4 °C con dei CV di circa 0.2-0.3. Nella zona

di Gubbio (1a) i CV perdono di significato a causa del basso valor medio degli scarti (-0.43).

Un CV relativamente piccolo, unitamente allo studio delle distribuzioni degli scarti (che sono risultate abba-

Zona	1a	2b	3a
Differenza	-0.10	0.05	0.05

Tab 9 - Differenze tra le mediane degli scarti del THI con e senza outliers.

Tab 9 - Gaps between THI difference medians, with and without outliers.

		OSSERVATO	
		SI	NO
PREVISTO	SI	A	B
	NO	C	D

Fig. 11 - Tabella di contingenza per eventi previsti vs. osservati.

Fig. 11 - Contingency table for predicted events vs observed.

Tab. 10 - Correttori adottati per migliorare la stima dei *THI* previsti per ogni singola zona.

Tab. 10 - Corrections values used to improve predicted THI in each zone.

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
vcorr	0.0	1.5	1.1	1.6	0.7	1.1	2.2	1.9	1.0

Tab. 11 - POD e POD con correttore (PODc) per le temperature massime.

Tab. 11 - Maximum temperatures POD and corrected POD (PODc).

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
+B7	0,73	0,29	0,27	0,44	0,32	0,19	0,23	0,19	0,38
+B7	0,73	0,81	0,95	0,92	0,93	0,62	0,77	0,89	0,88

Tab. 12 - FAR e FAR con correttore (FARc) per le temperature massime.

Tab. 12 - Maximum temperatures FAR and corrected FAR (FARc).

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
CDE	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CDE	0,11	0,06	0,09	0,12	0,04	0,29	0,13	0,11	0,00

Tab. 13 - MAR e MAR con correttore (MARc) per le temperature massime.

Tab. 13 - Maximum temperatures MAR and corrected MAR (MARc).

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
MAR	0,27	0,71	0,73	0,56	0,68	0,81	0,77	0,81	0,62
MARc	0,27	0,19	0,05	0,08	0,07	0,38	0,23	0,11	0,12

Tab. 14 - BIAS e BIAS con correttore (BIASc) per le temperature massime.

Tab. 14 - Maximum temperatures BIAS and corrected BIAS (BIASc).

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
BIAS	0,82	0,29	0,27	0,44	0,32	0,19	0,23	0,19	0,38
BIASc	0,82	0,86	1,05	1,04	0,96	0,88	0,88	1,00	0,88

stanza simmetriche rispetto alla mediana) hanno confermato una sostanziale sistematicità dell'errore del modello, consentendo, così, di applicare un semplice correttore additivo alle previsioni.

Alla media degli scarti è stata preferita la mediana, stimatore statistico più robusto e sostanzialmente indipendente dalla forma della distribuzione degli scarti previsto-misurato.

Un procedimento analogo è stato applicato alle previsioni del *THI* ottenendo risultati simili.

Per valutare la bontà del metodo, consistente nella catena operativa che va dalla ricerca del valore massimo di temperatura o di *THI* all'interno di ogni zona all'applicazione dei correttori e l'allertamento per il superamento della soglia, si è fatto ricorso a tabelle di contingenza ed indicatori di *score*.

Risultato comune ad entrambi i metodi è il netto aumento delle capacità previsionali (*POD*) e la diminuzione, anche di un ordine di grandezza, dei mancati allarmi (*MAR*).

Tab. 15 - POD e POD con correttore (PODc) per il *THI*.*Tab. 15 - THI POD and corrected POD (PODc).*

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
+B7	0,89	0,28	0,25	0,38	0,47	0,23	0,20	0,09	0,50
+B7	0,89	0,78	0,88	0,96	0,88	0,69	0,80	1,00	0,88

Tab. 16 - FAR e FAR con correttore (FARc) per il *THI*.*Tab. 16 - THI FAR and corrected FAR (FARc).*

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
CDE	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CDE	0,11	0,18	0,07	0,12	0,12	0,18	0,20	0,15	0,07

Tab. 17 - MAR e MAR con correttore (MARc) per il *THI*.*Tab. 17 - THI MAR and corrected MAR (MARc).*

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
MAR	0,11	0,72	0,75	0,62	0,53	0,77	0,80	0,91	0,50
MARc	0,11	0,22	0,12	0,04	0,12	0,31	0,20	0,00	0,12

Tab. 18 - BIAS e BIAS con correttore (BIASc) per il *THI*.*Tab. 18 - THI BIAS and corrected BIAS (BIASc).*

Zona	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b
BIAS	1,00	0,28	0,25	0,38	0,47	0,23	0,20	0,09	0,50
BIASc	1,00	0,94	0,94	1,08	1,00	0,85	1,00	1,18	0,94

Per i falsi allarmi (*FAR*) la situazione peggiora con il correttore, ma ciò è facilmente interpretabile: prima della correzione i falsi allarmi sono praticamente nulli a causa, ovviamente, della continua sottostima delle previsioni; al contrario applicando il correttore a tutte le previsioni si hanno delle sovrastime nei casi non-ASA che entrano nel computo dei falsi allarmi: a parere degli scriventi questa situazione è assai meno pericolosa ed impattante che non un eccesso di mancati allarmi. Dagli indicatori di *score* si può, inoltre, dedurre quanto segue:

- Non si evidenziano comportamenti marcatamente differenti tra il metodo delle temperature e quello del *THI*.
- Il metodo del *THI* ha capacità previsionali (*POD*) leggermente superiori.
- I falsi allarmi (*FAR*) sono leggermente inferiori col metodo della temperatura massima.
- Il *THI* induce, però, meno mancati allarmi (*MAR*).
- Il *BIAS* è sostanzialmente migliore col metodo del *THI*.

Quindi, sebbene non vi siano eclatanti differenze nelle *performace* dei due metodi, il metodo del *THI* sembra leggermente più efficiente sulla predicibilità e sui mancati allarmi. Esso dimostra inoltre una maggiore affidabilità in fase computazionale. Ciò è confortato dal fatto che i correttori applicati hanno valori assai inferiori ri-

spetto a quelli adottati per le temperature massime (mediamente 1.5 invece di 3 gradi). Questo induce a pensare che, in un certo senso, gli errori che il modello introduce sulla previsione di temperatura ed umidità vadano a compensarsi quando vengono inseriti nella formula del *THI* che restituisce già un valore molto prossimo alla realtà.

Il prodotto finale, messo a disposizione delle strutture competenti (Servizio Protezione Civile e Direzione Sanità della Regione Umbria) in questa fase di sperimentazione, è costituito da una serie di tabelle in cui vengono riportati valori previsti e previsti corretti delle temperature massime giornaliere e del *THI* massimo giornaliero. Nel prodotto sono presenti anche le tabelle per le temperature minime e per l'indice HUMIDEX che saranno oggetto di successivi studi.

Le tabelle vengono pubblicate su un'area riservata del sito istituzionale del Centro Funzionale (www.cfumbria.it) ogni giorno, in maniera totalmente automatica con aggiornamenti orari a partire dalle ore 10:15 (9:15 in ora solare) fino alle ore 13:15 (12:15 in ora solare). Ovviamente, come in tutte le procedure automatiche, le informazioni fornite devono essere opportunamente vagliate e valutate da personale esperto: a titolo di esempio in caso di flussi disturbati o irruzioni fredde (atlantiche o russe), le tabelle non corrette saranno in grado di dare informazioni più rispondenti alla realtà.

In conclusione, è stato presentato quanto recentemente messo in campo dal CFD della Regione Umbria nel supporto alle decisioni al sistema di allertamento per le ondate di calore, fornendo risultati sperimentali incoraggianti.

Ulteriori sviluppi, attualmente in fase di definizione, saranno l'estensione dell'analisi statistica degli scarti alle 48 e 72 ore di *forecast*, lo studio del comportamento delle temperature minime previste dal modello e lo studio di altri indici bioclimatici, con lo scopo di mettere a punto un sistema di allertamento efficace (emissione di allarmi tempestivi) ed efficiente (riduzione al minimo dei falsi e mancati allarmi).

Ringraziamenti

Si ringrazia il Professor Luigi Mariani, dell'Università degli Studi di Milano, per i preziosi suggerimenti, la pazienza ed i consigli in fase di revisione del presente lavoro; la Dottoressa Francesca de' Donato (Dipartimento di Epidemiologia, ASL RM/E), l'Ing. Marco Stelluti (Centro Funzionale Regione Umbria), il Dottor Francesco Pasi (LaMMa), il Dottor Marco Vecchiocattivi (ARPA Umbria), la Dottoressa Stefania Tesini (ARPA-SIMN) e la Dottoressa Antonella Morgillo (ARPA-SIMN).

Bibliografia

- Alduchov O.A., Eskridge R.E., 1996. Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure. *J. Appl. Meteor.*, 35: 601-609.
- Chambers J.M., Cleveland W.S., Kleiner B., Tukey P.A., 1983. *Graphical Methods for Data Analysis*. Wadsworth & Brooks/Cole.
- Conte M., Sorani R., Velletri S., 1994. Heat waves in Central Mediterranean, MEDALUS II Conference, Athens, 18-24 May, 1994.
- Conti S., Meli P., Minelli G., Solimini R., Toccaceli V., Vichi M., Beltrano C., Perini L., 2005. Epidemiologic study of mortality during the Summer 2003 heat wave in Italy, *Environmental Research*, 98(3): 390-399.
- Eccel E., Ghielmi L., Granitto P., Barbiero R., Grazzini F., Cesari D., 2008. Tecniche di post-elaborazione di previsione di temperatura minima a confronto per un'area alpina. *Italian Journal of Agrometeorology*, 3: 38-44.
- Kyle W.J., 1994. The human bioclimate of Hong Kong, in: Brazdil R., Kolar M. (eds) *Proceedings of the Contemporary Climatology Conference*, Brno, TISK LITERA, Brno: 345-350.
- Lawrence M.G., 2005. The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 86: 225-233.
- Mariani L., Sovrano Pangallo G., 2005. Approccio quantitativo all'analisi degli effetti urbani sul clima. *Italian Journal of Agrometeorology*, 5: 31-36.
- Masterson J.M., Richardson F.A., 1979. Humidex, a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity. *CLI, Environment Canada, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario*, 45: 1-79.
- Matzarakis A., Mayer H., 1991. The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology. *Atmos. Environ.*, 25: 203-211.
- Michelozzi P., De' Donato F.K., Bargagli A.M., D'Ippoliti D., De Sario M., Marino C., Schifano P., Cappai G., Leone M., Kirchmayer U., Ventura M., Di Gennaro M., Leonardi M., Oleari F., De Martino A., Perucci C.A., 2010. Surveillance of summer mortality and preparedness to reduce the health impact of heat waves in Italy. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 7: 2256-2273.
- McGill R., Tukey J.W., Larsen W.A., 1978. Variations of box plots. *The American Statistician*, 32: 12-16.
- Pirretti G., Scotto F., Selvini A., Zauli Sajani S., 2007. Il sistema di previsione del disagio bioclimatico in Emilia Romagna – Verifica funzionamento servizio-Estate 2005, Rapporto interno, ARPA Emilia Romagna: http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/calore/Verifica_estate_2005.pdf.
- Scattler U., Montani A., (eds.), 2005. Operational implementations, COSMO Newsletter, n.5, Chapter 4.
- Tesini M.S., Cacciamani C., 2008. High resolution verification of COSMO-I7 2m temperature over Emilia-Romagna region. *COSMO Newsletter*, n.8: 45-56.
- Tesini M.S., 2010. Verifica delle previsioni modellistiche di temperatura, temperatura di rugiada e umidità relativa, comunicazione privata.
- Thom E.C., Bosen J.F., 1959. The discomfort index. *Weatherwise*, 12: 57-60.
- Unger J., 1999. Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central-European city. *Int. J. Biometeorol.*, 43: 139-144.
- Wilks D.S., 2006. *Statistical methods in the atmospheric sciences*, Academic Press.