

Caldo, freddo e indici biometeorologici

Sempre più spesso negli ultimi anni si sente parlare degli effetti sull'uomo dei cambiamenti climatici. La biometeorologia fornisce risposte sempre più precise ai quesiti su questi temi grazie anche agli sviluppi dei sistemi informatici. Il lavoro di ricerca presentato nell'articolo tende ad ampliare la valutazione delle condizioni di "benessere" o di "disagio" mediante lo sviluppo di procedure basate, oltre che sulla temperatura dell'aria, anche sull'effetto conseguente alla combinazione con l'umidità relativa e l'effetto del vento.

30

La scienza che studia le interazioni tra i fenomeni atmosferici e l'uomo è la biometeorologia umana, una scienza interdisciplinare per la quale sono necessarie competenze tra settori scientifici fra loro diversi, come la meteorologia, la medicina e la biologia (Höppe, 1997).

L'origine di tale scienza è remota, infatti, già nell'antica Grecia sia Ippocrate che Aristotele avevano intuito che determinati fenomeni climatici e meteorologici avevano una certa influenza sull'uomo e sul suo comportamento. Bisogna comunque attendere il XX secolo per compiere grossi passi anche in questo settore e, grazie allo sviluppo dei sistemi informatici e al miglioramento dei metodi d'analisi, molti ricercatori hanno cominciato a studiare gli effetti sull'uomo, oltre che dei singoli parametri meteorologici, anche della diversa combinazione di questi. Sono così stati sviluppati i cosiddetti "indici biometeorologici", chiamati anche "di disagio" o "di benessere".

Tali indici sono semplici formule empiriche di immediata applicazione che permettono di stimare le condizioni di benessere o di disagio fisiologico mediante quella che viene spesso definita "temperatura apparente", vale a dire la temperatura effettiva percepita dal corpo umano e non quella misurata nell'aria mediante un comune termometro (una descrizione dei diversi indici può essere trovata in Bacci e Morabito, 2002). Questi indici sono stati messi a punto studiando campioni di uomini adulti, di entrambi i sessi, tutti in buone condizioni di salute e con caratteri-

stiche fisiche "tipiche o normali", per esempio altezza 1,70 m, peso 65-70 kg (Steadman, 1979a), posti all'interno di camere climatiche. Gli indici danno un'informazione oggettiva e sintetica del potenziale impatto ambientale a livello di popolazione. Si parla di impatto potenziale, perché la risposta di ciascun individuo è strettamente dipendente dal proprio sistema di termoregolazione, variabile secondo l'età e, anche in individui della stessa età, variabile secondo le caratteristiche psicofisiche del soggetto, nonché al grado di acclimatazione dell'individuo considerato.

I principali servizi meteorologici nazionali di numerosi Paesi (Usa, Canada, ma anche Paesi europei come Inghilterra, Francia e Germania) impiegano giornalmente questi indici biometeorologici per la previsione di situazioni particolarmente stressanti legate a condizioni meteorologiche particolari, quali le ondate di calore o di gelo. Negli Usa, addirittura, quando i valori dell'indice biometeorologico perdurano oltre una certa soglia di disagio, il National Weather Service (NWS) avvia una procedura di allerta per la popolazione (Bacci e Morabito, 2002). Questo servizio di previsione riesce quindi, attraverso l'informazione meteorologica, a sensibilizzare la popolazione per prendere in tempo determinate precauzioni di tipo comportamentale, riducendo così il rischio di gravi danni alla salute, in particolare per le persone più sensibili, come i bambini, gli anziani e i malati. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di ampliare la valutazione delle condizioni di benes-

Tab. 1 - Effetti sull'organismo umano delle condizioni climatiche corrispondenti ai diversi valori dell'indice Wind Chill.

Classi Wind Chill (°C)	Effetti sull'organismo umano
+ 10 ≥ WChill > - 1	Condizioni di lieve disagio
- 1 ≥ WChill > - 10	Condizioni di disagio
- 10 ≥ WChill > - 18	Molto freddo
- 18 ≥ WChill > - 29	Possibile congelamento in seguito ad esposizione prolungata
- 29 ≥ WChill > - 50	Congelamento in seguito ad esposizione prolungata
WChill ≤ - 50	Rapido congelamento per esposizioni superiori a 30 secondi

sere o di disagio mediante lo sviluppo di procedure che tengano conto, oltre che della temperatura dell'aria, cioè di quel parametro meteorologico che più di ogni altro viene percepito dal nostro corpo e che quindi condiziona fortemente la nostra vita, anche dell'effetto conseguente alla combinazione con i due più importanti fattori che influenzano i processi di termoregolazione del nostro organismo, ovvero l'umidità relativa e l'effetto del vento.

INDICE BIOMETEOROLOGICO PER LE CONDIZIONI DI FREDDO

Il vento interviene sulla sensazione termica avvertita dal nostro organismo accrescendo l'evaporazione cutanea e quindi l'asportazione di calore corporeo. Il tasso di calore perso dal corpo umano, in seguito all'effetto combinato di basse temperature e velocità del vento, è descritto dal termine "Wind Chill" (fattore di raffreddamento del vento). Tale termine risale ad un famoso geografo, l'esploratore polare Paul Siple che lo introdusse in una sua dissertazione nel 1939, "Adaptation of the explorer to the climate of Antarctica".

Durante il 1940, Siple e l'esploratore antartico Charles F. Passel, condussero esperimenti in Antartide per conto del Servizio Antartico degli Usa (U.S. Antarctic Service). Questi esperimenti si concentrarono sulla misurazione della perdita di calore conseguente al congelamento di 250 g d'acqua contenuta all'interno di un contenitore di plastica (Siple e Passel, 1945). L'equazione ottenuta da questi "primitivi" esperimenti (eq. 1) presentava comunque molti limiti e soprattutto non era stata verificata direttamente sul corpo umano.

Ad ogni classe dell'indice corrispondono determinati effetti sull'organismo umano (vedi tab. 1). È importante ricordare che questa formula è valida solo nel caso in cui la velocità del vento sia compresa tra 1,78 m/s e 25 m/s e la temperatura dell'aria sia inferiore a 10°C. Non tiene inoltre in considerazione l'effetto della radiazione solare. Durante il 2000, l'Ufficio del Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research (OFCM) ha formato un gruppo speciale, chiamato *Joint Action Group for Temperature Index* (JAG/TI), patrocinato

$$WChill = 33 - (33 - Ta) \cdot (0,474266 + 0,453843 \cdot \sqrt{v} - 0,0453843 \cdot v)$$

Ta = temperatura dell'aria (°C)
v = velocità del vento (m/s)

Eq. 1

$$New\ WChill = 13,12 + (0,6215 \cdot Ta) - (11,37 \cdot v^{0,16}) + (0,3965 \cdot Ta \cdot v^{0,16})$$

Ta = temperatura dell'aria (°C)
v = velocità del vento (km/h)

Eq. 2

dal Nws degli Usa, con l'intento di valutare e apportare le opportune modifiche per il miglioramento del vecchio indice basato sugli studi di Siple e Passel nel 1945. Tale gruppo ha messo a punto un nuovo indice che si chiama "New Wind Chill Temperature Index". Il 2 agosto 2001, la nuova formula per il calcolo del Wind Chill (eq. 2) è stata presentata al meeting della JAG/T1 a Toronto (Oscewvski and Bluestein, 2001).

Il risultato di questa equazione rappresenta una "temperatura apparente" corrispondente al tasso di dispersione del calore sulla superficie epidermica non protetta, sotto l'effetto combinato del vento e delle basse temperature. Questa nuova formula presenta numerosi vantaggi rispetto alla precedente e soprattutto è basata su complessi test clinici all'interno di un tunnel del vento. Tale formula, agli inizi di novembre 2001, era già stata inserita nel più aggiornato sistema di previsione del Nws degli Stati Uniti d'America (AWIPS, Advanced Weather Interactive Prediction System).

Quando vi sono condizioni di calma di vento e le temperature si aggirano su valori relativamente bassi, cioè intorno a 0°C, situazioni abbastanza frequenti nelle nostre regioni durante i mesi invernali, anche l'umidità gioca un ruolo molto importante sullo stato di benessere dell'uomo poiché produce un sottilissimo velo d'acqua sull'epidermide. La cute, essendo più calda, provoca l'evaporazione di questa pellicola d'acqua con un considerevole aumento del disagio da freddo. Tuttavia tale disagio non può essere valutato tramite l'equazione 2 poiché essa è valida solo per velocità del vento superiori o uguali a 1,3 m/s. Esiste però un altro indice, messo a punto da Scharlau, che tiene in considerazione l'effetto combinato di temperatura dell'aria ed umidità relativa, in assenza di vento. A quest'autore, da cui deriva il nome dell'indice, si deve

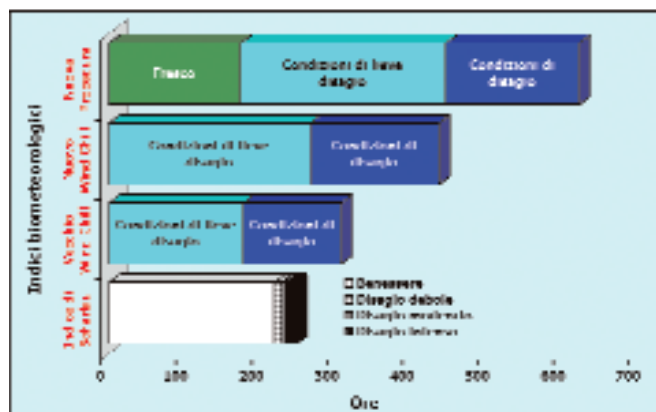


Fig. 1 - Confronto tra indici biometeorologici per periodi freddi (Firenze, Gennaio 2002).

la realizzazione di due tabelle specifiche, una valida per il disagio climatico invernale e l'altra per il disagio climatico estivo (Scharlau, 1950). Nella tabella per il disagio invernale, per ogni singolo valore di umidità relativa, è indicata la temperatura critica dell'aria (T_c), al di sotto della quale l'organismo umano prova disagio fisiologico per la presenza di condizioni termoisometriche sfavorevoli. Per ricavare anche i valori intermedi della tabella, e per rendere la stessa applicabile in modo automatico, può essere utilizzata l'equazione 3 (Bacci e Morabito, 2002).

La differenza tra la temperatura dell'aria (T_a) rilevata dal sensore della stazione meteorologica e la temperatura critica (T_c), individua un ΔT che può essere positivo, se la temperatura rilevata è superiore alla temperatura critica; oppure negativo, se la temperatura rilevata è inferiore alla temperatura critica. Nel primo caso non si ha disagio, nel secondo caso si ha un disagio la cui intensità (debole, moderata o intensa) dipenderà dall'ampiezza del ΔT stesso.

Ai fini di integrare l'influenza del vento e quella dell'umidità relativa per individuare una certa condizione di disagio fisiologico da freddo in qualunque condizione meteorologica invernale, si è pensato di impiegare l'equazione 2, quando il vento ha una velocità

superiore o uguale a 1,3 m/s, mentre quando questo scende sotto la soglia indicata, di calcolare il disagio con l'equazione 3, tenendo quindi in considerazione anche l'effetto dell'umidità relativa, particolarmente influente quando la temperatura non è particolarmente bassa (circa 0°C). A tale scopo sono state ricalibrate le soglie dei ΔT con i valori di temperatura apparente calcolati con l'equazione 2 con la minima velocità del vento (1,3 m/s) e i valori risultanti sono stati descritti secondo la classificazione proposta per il Wind Chill. Questa nuova procedura può essere impiegata solo quando la temperatura dell'aria è inferiore o uguale a 10°C. Nella figura 1 sono messi a confronto i risultati ottenuti mediante l'applicazione dei differenti indici biometeorologici precedentemente descritti, prima separatamente e quindi secondo la nuova procedura. Le elaborazioni sono state effettuate nel mese di gennaio 2002. Tale mese è stato scelto per le basse temperature registrate a Firenze in questo periodo. Osservando il grafico si vede chiaramente che la nuova procedura, a differenza della vecchia e della nuova formula del Wind Chill, permette di individuare, oltre alle condizioni di dis-

agio dovute alle basse temperature associate alla presenza di vento (eq. 2), anche condizioni di disagio e di fresco caratterizzate da assenza di vento ma con elevata umidità relativa (eq. 3). Quindi la nuova procedura presenta un campo d'azione più ampio rispetto all'impiego dei singoli indici biometeorologici.

INDICE BIOMETEOROLOGICO PER LE CONDIZIONI DI CALDO

Nelle calde giornate estive l'organismo umano, per mantenere la temperatura interna del corpo intorno ai 36-37°C, deve cedere verso l'esterno parte del calore metabolico prodotto. La dispersione del calore in eccesso avviene principalmente mediante la traspirazione, la cui efficacia è però strettamente dipendente dal grado di umidità relativa dell'aria. Difatti, tanto maggiore è il grado di umidità relativa presente, tanto maggiore è la difficoltà dell'organismo di eliminare il calore in eccesso. In alcuni casi lo strato d'acqua che rimane sulla pelle forma una sorta di isolamento tra il corpo e l'ambiente e si può arrivare, nei casi più estremi, al colpo di calore con conseguenze anche molto gravi per l'organismo, in particolare per i soggetti a maggior rischio. Uno degli indici più usati a livello internazionale è l'Indice di Calore (Heat Index), detto anche Indice di Temperatura Apparente (Apparent Temperature), in grado di stimare le condizioni di disagio fisiologico dovute alle opprimenti condizioni meteorologiche caratterizzate da alte temperature ed elevati livelli igroscopici dell'aria (Steadman, 1979a; 1984). L'indice è rappresentato da una laboriosa equazione empirica, messa a punto in uno studio condotto e pubblicato da R.G. Steadman nel 1979 (eq. 4).

Questa equazione è valida solo per temperature uguali o superiori a 27 °C, umidità relativa

$$T_c = (-0,0003 \cdot Ur^2) + (0,1497 \cdot Ur) - 7,7133$$

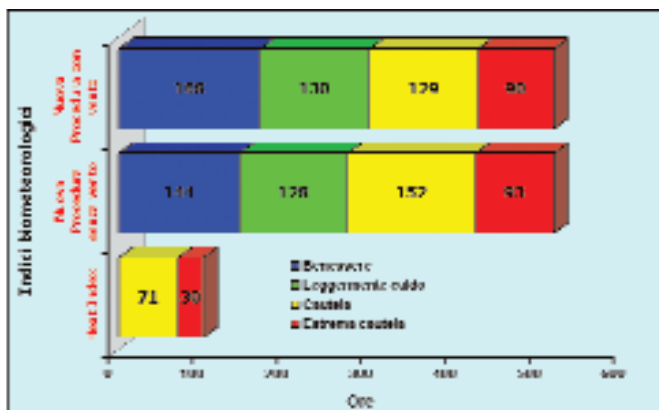
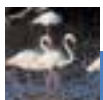
T_c = temperatura critica (°C)
 Ur = umidità relativa (%)

Eq. 3

$$HI = -42,379 + 2,04901523 \cdot Ta + 10,14333127 \cdot Ur - 0,22475541 \cdot Ta \cdot Ur - 6,83783 \cdot 10^{-3} \cdot Ta^2 - 5,481717 \cdot 10^{-2} \cdot Ur^2 + 1,22874 \cdot 10^{-3} \cdot Ta^2 \cdot Ur + 8,5282 \cdot 10^{-4} \cdot Ta \cdot Ur^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} \cdot Ta^2 \cdot Ur^2$$

HI = Heat Index
 T_a = temperatura in gradi Fahrenheit (°F)
 Ur = umidità relativa (%)

Eq. 4



32

Fig. 2 - Confronto tra indici biometeorologici per periodi caldi (Firenze, Giugno 2002).

uguale o maggiore al 40% e non tiene conto dell'effetto del vento e della radiazione solare. Il National Weather Service degli Usa ha classificato l'Indice di Calore in quattro categorie, andando da condizioni di cautela sino a condizioni di elevato pericolo. È a tutti nota la gradevole sensazione percepita dal nostro corpo provocata in seguito a un vento leggero, ma non tutti i venti hanno un effetto benefico. In particolare durante l'estate i venti preferibili sono quelli caldi e secchi piuttosto che caldi e umidi. Steadman nel 1979, con l'intento di migliorare la stima del disagio calcolato con l'Indice di Calore, ha effettuato ulteriori studi determinando l'incremento o la diminuzione della temperatura apparente (eq. 4) al variare della velocità del vento (m/s), quando la pressione atmosferica è circa uguale a 1,6 kPa (Steadman, 1979b).

Questi studi hanno mostrato un effetto benefico del vento fino ad una temperatura dell'aria di 33°C; oltre i 34°C, invece, la presenza del vento incrementa la sensazione di disagio. Per stimare il disagio fisiologico per l'organismo umano, conseguente a situazioni particolarmente opprimenti di caldo umido, è conveniente quindi tener conto anche dell'effetto del vento.

Nel presente studio, inoltre, l'applicazione dell'indice è stata estesa per calcolare le condizioni fisiologiche dell'uomo a partire da una temperatura superiore a 20°C e senza limiti di umidità relativa.

Nella figura 2 sono confrontati i risultati ottenuti mediante l'applicazione dell'Heat Index classico, di quello per il quale è stato allargato il range operativo e di quello nel quale è stata introdotta anche la correzione per il vento. Il mese di giugno 2002 è stato

preso come esempio perché ha presentato eccezionalmente temperature molto alte, una vera e propria ondata di calore. Il grafico mostra che l'applicazione della sola formula per il calcolo dell'Heat Index riesce ad individuare solo una piccola parte delle condizioni di disagio dovute al calore. Questo perché l'indice presenta forti limitazioni, può infatti essere applicato solo quando la $T_a \geq 27^\circ\text{C}$, $U_r \geq 40\%$ e non considera l'effetto del vento. La nuova procedura, invece, tenendo conto dell'effetto del vento e allargando il range operativo permette di individuare anche condizioni di benessere, oltre a tutte le condizioni di disagio da calore. Osservando la figura 2, infatti, è interessante notare che l'applicazione della nuova procedura riduce le ore di disagio da calore (estrema cautela e cautela) ed aumenta le ore di benessere e leggermente caldo, evidenziando, quindi, un effetto benefico del vento. L'introduzione nella nuova procedura del solo allargamento del range operativo, anche se porta ad un miglioramento dei risultati rispetto all'applicazione della formula classica, porta comunque ad una sovrastima delle ore di disagio da calore ed una conseguente sotto-stima delle condizioni di benessere.

CONCLUSIONI

Lo sviluppo di procedure che tengano conto delle complesse dinamiche con cui si combinano la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e il vento, permettono di individuare in maniera più completa e approfondita le condizioni di benessere o di disagio fisiologico nei periodi caldi o freddi. L'impiego di queste procedure potrebbe essere adatto per individuare ed eventualmente prevedere gli effetti di condizioni meteorologiche particolarmente difficili soprattutto su persone più sensibili alle modifiche del tempo atmosferico, come gli anziani, i bambini e tutti quei soggetti che già presentano patologie importanti in atto. L'informazione biometeorologia potrebbe, inoltre, essere impiegata anche in campo medico dove potrebbe rappresentare uno strumento d'a-

nalisi molto utile, fornendo un'informazione più dettagliata di quello che succede nell'ambiente che ci circonda, rispetto alla semplice e diretta misura meteorologica.

Marco Morabito

Dipartimento di Scienza del suolo e nutrizione della pianta, Università di Agraria e Scienze forestali, Firenze
marcomorabito@virgilio.it
A. Crisci, L. Bacci
Istituto di Biometeorologia Firenze (IBIMET-CNR)

Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare a Franco Giovannini per averci fornito i dati meteorologici della stazione meteo situata all'Osservatorio Ximentano, appartenente alla Rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Provincia di Firenze, gestita dal Dipartimento Provinciale Arpat di Firenze.

BIBLIOGRAFIA

- L. Bacci e M. Morabito, Gli indici biometeorologici nella valutazione dello stato di benessere dell'uomo, Collana tecnico scientifica Ibimet, Quaderno n. 11, 2002.
- P. Höpfe, "Aspects of human biometeorology in past, present and future", in Int. J. Biometeorology, 1997, n. 40, pp. 19-23.
- R. Oszcewski e M. Bluestein, Meeting della Jag/Ti a Toronto, 2001, www.nws.noaa.gov.
- K. Scharlau, "Einführung eines Schwülemasstabes und Abgrenzung von Schwülezeiten durch Isohygrothermen", in Erdkunde, 1950, n. 4, pp. 188-201.
- P.A. Siple e C.F. Passel, "Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures", in Proc. Amer. Phil. Soc., 1945, n. 89, pp. 177-199.
- R.G. Steadman, "The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science", in J. Appl. Meteor., 1979a, n. 18, pp. 863-864.
- R.G. Steadman, "The assessment of sultriness. Part II: Effect of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature", in J. Appl. Meteor., 1979b, n. 18, pp. 874-885.
- R.G. Steadman, "A universal scale of apparent temperature", in J. Appl. Meteor., 1984, n. 23, p. 1674.

