

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI



FACOLTÁ DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA



Laurea in Architettura

DICAAR

IMPIANTI PER LA SOSTENIBILITA' ENERGETICA DEGLI EDIFICI

A.A. 2018-2019

Le condizioni ambientali di comfort adattativo

Docente: GIORGIO POPOLANO- ROBERTO RICCIU

Roberto Ricciu: Corso di impianti per la
sostenibilità energetica degli edifici

Indice

- a) Generalità sulla temperatura percepita
- b) Indice di Thom
- c) Indice NOAA
- d) Indice UMIDEX
- e) Indice Wind Chill

Percezione delle temperature e umidità

Cosa vediamo e sentiamo nei mass media

Da diverse estati tra le [cose che si leggono sui giornali](#) e si sentono in televisione a proposito del “caldo estivo” ci sono le considerazioni sulla cosiddetta “temperatura percepita” (o “temperatura apparente”), che viene presentata come un valore di temperatura diverso da quello che segnano i termometri ma che in qualche modo dovrebbe essere più aderente alla realtà, per via di altre grandezze, come l’umidità o il vento.

Sarebbe corretto parlarne quindi citando i vari valori degli indici – senza chiamarli “temperatura”: non sono temperature – oppure parlando di “assenza di disagio”, “disagio debole”, “disagio” e “forte disagio”, come viene fatto per esempio [sul sito dell’Agenzia regionale per la protezione ambientale \(ARPA\)](#) dell’Emilia-Romagna.

Gli indici bioclimatici sono numerosi.

Indice di Thom

L'ARPA Emilia-Romagna usa l'[indice di Thom](#), ideato negli anni Cinquanta dal climatologo del Servizio Meteorologico Nazionale degli Stati Uniti Earl C. Thom. I valori di questo indice vanno da 16 a 26: fino a 23 non si prova disagio, a 24 si prova "leggero disagio", a 25 "disagio" e a 26 "forte disagio". L'indice di Thom si calcola a partire dai valori di temperatura di bulbo secco e temperatura di bulbo umido

Il **Thom Index** (DI) viene calcolato con una formula molto semplice:

$$\mathbf{DI = 0.4 (T_a + T_w) + 4.8}$$

dove T_a = temperatura di bulbo asciutto ($^{\circ}$ C)

e T_w = temperatura di bulbo umido ($^{\circ}$ C).

In base ai valori ottenuti, si individuano le classi di benessere o di disagio.

Indice di Thom (tabella)

DESCRIZIONE		CLASSI DI														
Benessere		DI < 21														
Meno del 50% della popolazione prova un leggero disagio		21 ≤ DI < 24														
Oltre il 50% della popolazione prova un crescente disagio		24 ≤ DI < 27														
La maggioranza della popolazione prova disagio e un significativo deterioramento delle condizioni psicofisiche		27 ≤ DI < 29														
Tutti provano un forte disagio		29 ≤ DI < 32														
Stato di emergenza medica, il disagio è molto forte, il rischio di colpi di calore è pericoloso ed elevato		DI ≥ 32														
	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
42°C	32	32	33	33	34	34	35	35	36	36	37	37	37	38	38	38
41°C	31	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	37	37	37	37
40°C	30	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35	35	36	36	36	37
39°C	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35	36	36
38°C	29	30	30	31	31	31	32	32	33	33	34	34	34	35	35	35
37°C	28	29	29	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34	34	34
36°C	28	28	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33	33	34
35°C	27	27	28	28	29	29	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33
34°C	26	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32
33°C	26	26	27	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31
32°C	25	25	26	26	27	27	27	28	28	29	29	29	30	30	30	30
31°C	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30
30°C	24	24	24	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29
29°C	23	23	24	24	25	25	25	26	26	26	27	27	27	27	28	28
28°C	22	23	23	23	24	24	25	25	25	25	26	26	26	27	27	27
27°C	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26	26
26°C	21	21	22	22	22	23	23	23	24	24	24	25	25	25	25	26
25°C	20	21	21	21	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	25	25
24°C	20	20	20	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23	24	24	24
23°C	19	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22	23	23	23
22°C	18	19	19	19	19	20	20	20	21	21	21	21	22	22	22	22

Indice NOAA

Un altro è l'indice di calore [usato dal servizio metereologico del governo degli Stati Uniti](#).

Si calcola misurando la temperatura e l'umidità relativa e combinandole con una serie di coefficienti stabiliti in modo empirico, per tenere conto

- della massa corporea e dell'altezza medie
- di una stima degli abiti indossati
- della quantità di attività fisica che si compie
- della densità del sangue, della velocità del vento
- dell'esposizione ai raggi solari.

Indice NOAA(tabella)

NOAA national weather service: heat index

		Temperature															
		80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	88 °F (31 °C)	90 °F (32 °C)	92 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	98 °F (37 °C)	100 °F (38 °C)	102 °F (39 °C)	104 °F (40 °C)	106 °F (41 °C)	108 °F (42 °C)	110 °F (43 °C)
Relative humidity (%)	40	80 °F (27 °C)	81 °F (27 °C)	83 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	136 °F (58 °C)
	45	80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	87 °F (31 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	100 °F (38 °C)	104 °F (40 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)	
	50	81 °F (27 °C)	83 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	99 °F (37 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	113 °F (45 °C)	118 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	131 °F (55 °C)	137 °F (58 °C)		
	55	81 °F (27 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	117 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)			
	60	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	110 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	123 °F (51 °C)	129 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)				
	65	82 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	98 °F (37 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	114 °F (46 °C)	121 °F (49 °C)	128 °F (53 °C)	136 °F (58 °C)					
	70	83 °F (28 °C)	86 °F (30 °C)	90 °F (32 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	119 °F (48 °C)	126 °F (52 °C)	134 °F (57 °C)						
	75	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	92 °F (33 °C)	97 °F (36 °C)	103 °F (39 °C)	109 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	132 °F (56 °C)							
	80	84 °F (29 °C)	89 °F (32 °C)	94 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	121 °F (49 °C)	129 °F (54 °C)								
	85	85 °F (29 °C)	90 °F (32 °C)	96 °F (36 °C)	102 °F (39 °C)	110 °F (43 °C)	117 °F (47 °C)	126 °F (52 °C)	135 °F (57 °C)								
	90	86 °F (30 °C)	91 °F (33 °C)	98 °F (37 °C)	105 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	122 °F (50 °C)	131 °F (55 °C)									
	95	86 °F (30 °C)	93 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	108 °F (42 °C)	117 °F (47 °C)	127 °F (53 °C)										
100	87 °F (31 °C)	95 °F (35 °C)	103 °F (39 °C)	112 °F (44 °C)	121 °F (49 °C)	132 °F (56 °C)											

- Caution
- Extreme caution
- Danger
- Extreme danger

Indice Umidex

Nel 1965 in Canada è iniziata la ricerca e lo studio di questo indice, per poi in seguito trovare una scala di valori che a partire dalla temperatura e dall'umidità relativa dell'aria, fosse in grado di descrivere il disagio che proviamo nei classici giorni estivi caldo-umidi. Tale indice si basa su di una semplice relazione empirica che prende in considerazione la temperatura dell'aria e la tensione di vapore. In realtà, anziché l'umidità relativa, usa la pressione di vapore, secondo la formula:

$$H = T_a + (0.5555 (e - 10)) \text{ con}$$

T_a = temperatura in ° C,

e = pressione di vapore dell'aria (hPa).

Conoscendo il legame tra queste ultime possiamo ottenere un'altra versione dell'Indice Humidex:

$$H = T_a + (0.5555 (0.06 * UR * 10^{0.03T_a} - 10))$$

L'indice è applicabile tra le temperature di 20° C e 55° C.

I range di valori dell'Indice Humidex associati a effetti e categorie di disagio:

$$C_{pv} = 1,875 \text{ kJ/kg K}$$

$r = 2501 \text{ kJ/kg}$ è il calore latente di vaporizzazione dell'acqua a 0° C.

Indice Umidex(tabella)

HUMIDEX

		Temperature (°C, for range 59–109 °F)															
		15	20	25	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	41	42	43
Dew point (°C)	10	16	21	26	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	42	43	44
	15	19	24	29	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	45	46	47
	20		28	33	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	49	50	51
	23			35	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	51	52	53
	24			36	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	52	53	54
	25				42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	53	54	55
	26				43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	54	55	56
	27				45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	56	57	58
	28				46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	57	58	59

CATEGORIE	HUMIDEX (°C)	EFFETTI
Benessere	$H < 27$	Tutti sono a proprio agio
Cautela	$27 \leq H < 30$	Leggero disagio. Possibile affaticamento in seguito a prolungata esposizione al sole e/o attività fisica
Estrema cautela	$30 \leq H < 40$	Disagio. Possibile colpo di calore, possibile spossatezza e crampi da calore in seguito a prolungata esposizione al sole e/o attività fisica
Pericolo	$40 \leq H < 55$	Grande disagio. Evitare sforzi. Cercare un luogo fresco ed in ombra. Probabili crampi o spossatezza da calore. Possibile colpo di calore in seguito a prolungata esposizione al sole e/o attività fisica
Elevato pericolo	$H \geq 55$	Imminente colpo di calore in seguito a prolungata esposizione al sole

Indice di Temperatura Equivalente (T_{eq})

Ma che cos'è la temperatura equivalente? E' la temperatura che una massa d'aria, a pressione costante, assumerebbe se il vapore acqueo in essa contenuto condensasse tutto quanto. Perciò in parole povere **la temperatura equivalente è semplicemente la temperatura effettiva dell'aria aumentata del calore latente di condensazione di tutto il vapore acqueo contenuto nell'aria stessa**

Ecco l'equazione:

$$T_{eq} = (T_a + m * (r - 2.236 * T_a)) / (cp + m * cw)$$

dove:

T_a = temperatura ambiente (°C);

r = calore latente di vaporizzazione dell'acqua (cal/g), pari a 585 cal/g

m = rapporto di mescolanza, cioè il rapporto tra la massa del vapore d'acqua e la massa dell'aria asciutta (g/Kg);

cp = calore specifico dell'aria a pressione costante (cal°C/g), pari a 0.24 cal°C/g;

w = calore specifico dell'acqua (cal°C/g), pari a 1 cal°C/g

Indice di Temperatura Equivalente (T_{eq})

E' un indice valido per valori di pressione compresi tra 800 mb e 1100 mb e per temperature tra 20° C e 45° C.

CLASSIFICAZIONE	CLASSI T_{eq}
Fresco	$T_{eq} \leq 27$
Moderatamente fresco	$27 < T_{eq} \leq 34$
Benessere	$34 < T_{eq} \leq 47$
Leggermente afoso	$47 < T_{eq} \leq 51$
Afoso	$T_{eq} > 51$

WIND CHILL

Nel 1941 i ricercatori Paul Siple e Charles Passel si trovavano in Antartide e misurarono il tempo che un panno umido impiegava per congelare e trovarono che dipendeva dalla velocità del vento. Da qui nasce il Wind Chill, un'indice che misura la temperatura che percepiamo sulla pelle per effetto del vento.

Si tratta della cosiddetta "formula di Steadman":

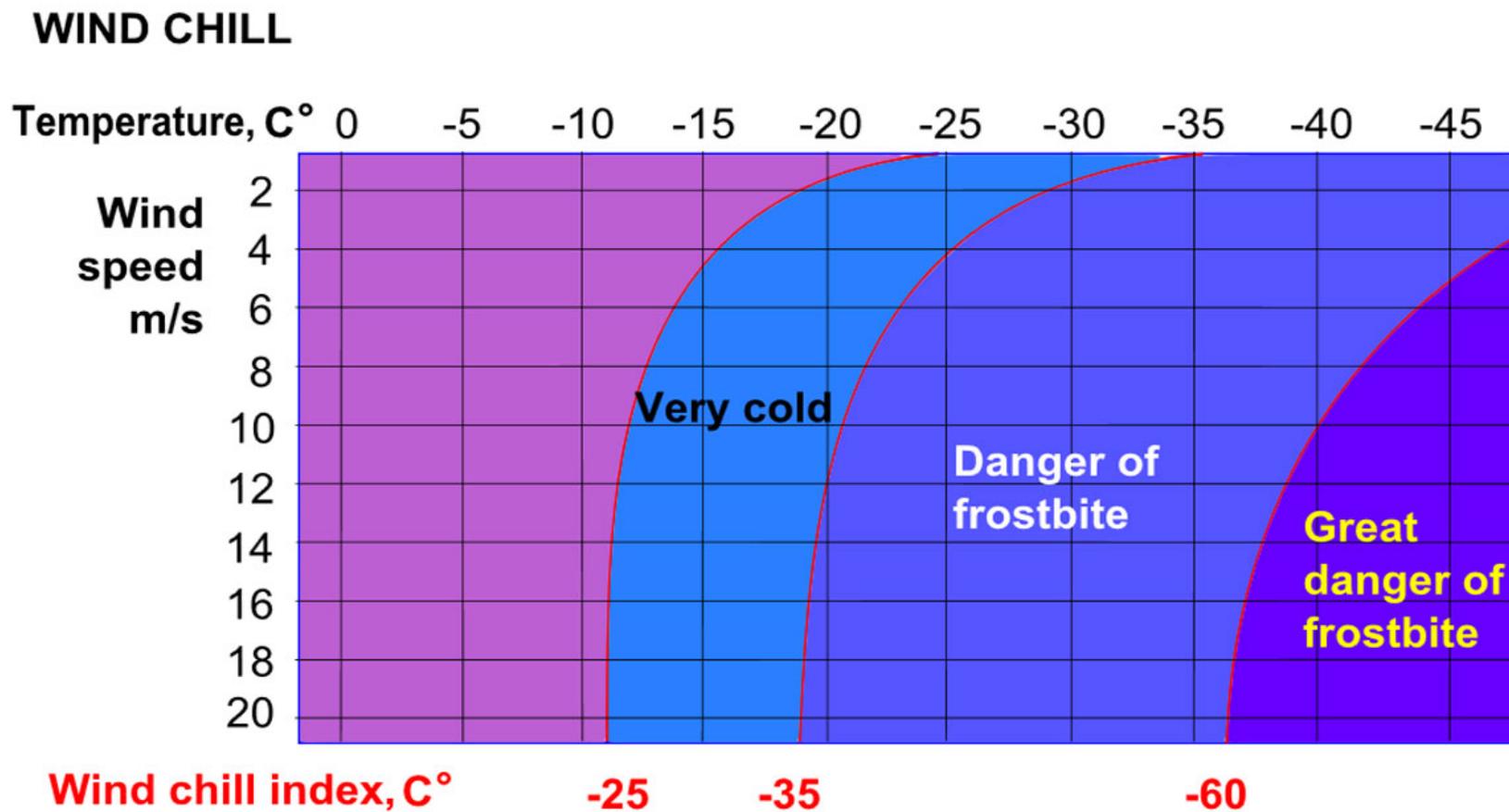
$$\mathbf{WC = 0.045 (7.1766 * v^{1/2} + 10.45 - 0.5145 * v) (Ta - 33) + 33}$$

nella quale Ta = temperatura dell'aria ($^{\circ}$ C)

v = velocità del vento (nodi).

L'indice è applicabile quando la velocità del vento è compresa tra 1.78 m/s e 25 m/s (cioè tra circa 3 nodi e 48 nodi) e quando la temperatura è inferiore o uguale a 10° C.

WIND CHILL(grafico)



Considerazioni finali

Esistono altri indici oltre a questi sopra definiti e sarebbe importante specificare quale viene usato, o comunque attenersi alle indicazioni sul disagio e non parlare di “temperatura percepita”, che è un’espressione impropria visto che il corpo umano non *percepisce* la temperatura, ma sensazioni di caldo o freddo che possono essere più o meno intense. Queste sensazioni variano, da persona a persona, in base all’umidità relativa all’aria ma anche alla velocità del vento, al vestiario, allo stress, e quindi per via di

[come funziona la nostra pelle](#)

Conclusione

- *La temperatura percepita non esiste.*

O almeno non esiste nei termini in cui viene comunemente intesa.

- Esiste un parametro che va correttamente sotto il nome di “indice di calore” o “sensazione termica” e viene abbastanza da lontano.

-Durante la guerra del Vietnam si era notato come gli equipaggi “*scramble*” , vale a dire pronti a partire su allarme, che attendevano all’interno degli aerei, erano in qualche caso soggetti a malore per le temperature elevate.

- *In qualche caso, ma non sempre.*

- Un non meglio identificato Dr. Steadman fece alcuni studi e rilevò come i malori fossero più frequenti in caso di umidità elevata.

- Il punto è proprio questo, niente di più, niente di meno.

Ingenuamente il Dr. Steadman, pensando di avere a che fare con persone di buon senso, pensò di rendersi utile elaborando un algoritmo, cioè un piccolo calcolo che teneva conto della temperatura e dell’umidità per segnalare se quella temperatura era “pericolosa” o meno.

Percezione delle temperature e umidità

FINE