

In principio era il comfort

Olimpia Splendid

Scaletta

1. Aspetti teorici/applicativi del comfort termoigrometrico
 1. Il ruolo della temperatura media radiante
2. Edifici a basso consumo, aspetti normativi
3. Il clima e i nuovi edifici
 1. Fare bene «il freddo» è sempre più importante
4. Il ruolo dei corpi scaldanti negli edifici a basso consumo
 1. Emissione del calore radiativa, convettiva, mista
5. Valutazioni energetiche
6. Valutazioni economiche
 1. Tradizionali e multiattributo

1. Il comfort termoigrometrico

04/06/2019

Filippo Busato

3

IL BENESSERE TERMICO

Viene definito come un atteggiamento mentale di completa soddisfazione per l'ambiente entro il quale si opera.

Le variabili principali che influenzano il benessere termico sono:

- la temperatura a bulbo secco dell'aria;*
- la temperatura media radiante;*
- l'umidità dell'aria;*
- la velocità media relativa dell'aria;*
- l'attività fisica svolta;*
- la resistenza termica del vestiario indossato.*

Mentre le prime 4 variabili sono sotto il controllo del termotecnico (o almeno dovrebbero esserlo), le rimanenti due sono legate al soggetto e vanno presunte in funzione dell'impiego degli ambienti riscaldati.

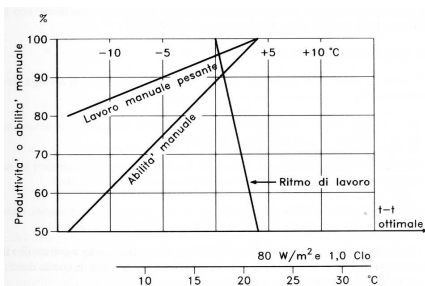


Fig. 3.1 Andamento della produttività e dell'abilità manuale in funzione della temperatura operante (attività fisica 1,4 met e vestiario 1 clo).

Analisi sperimentali hanno dimostrato non solo che ovviamente condizioni di benessere termico favoriscono la produttività e l'abilità manuale, ma ne hanno anche quantificato l'influenza:

Un altro dato assai importante è quello relativo all'influenza del benessere ambientale sull'andamento del numero di incidenti sul lavoro:

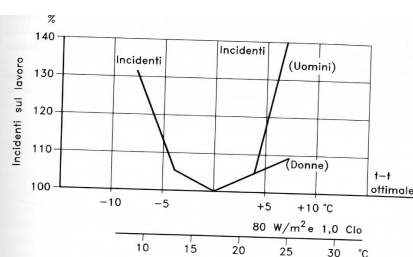


Fig. 3.2 Andamento del numero di incidenti sul lavoro in funzione della temperatura operante (attività fisica 1,4 met e vestiario 1 clo).

Per analizzare le condizioni di benessere un punto di partenza è dato dalla necessità di *omotermità* dell'organismo umano cioè dalla necessità di mantenere costante la temperatura corporea nei pressi di 37°C entro il ristretto margine di mezzo grado. Per questo l'organismo è dotato di un sistema di termoregolazione che provvede a mantenere il valore previsto anche quando per le condizioni ambientali o per l'attività svolta vi sia tendenza ad allontanarsene.

Il corpo umano è sede di reazioni chimiche che trasformano in energia le sostanze nutritive assimilate. L'energia termica prodotta internamente al corpo umano da tali reazioni dà luogo al flusso metabolico. Questo viene espresso con un'unità di misura apposita, il *met*:

$$1 \text{ met} = 58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 50 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2}$$

L'unità corrisponde al flusso metabolico specifico da attribuirsi ad un individuo sveglio a riposo.

Specifico significa che si riferisce all'unità di area superficiale del corpo nudo, valutabile con la relazione di *DuBois*:

$$A_{Du} = 0,202 m^{0,425} h^{0,725}$$

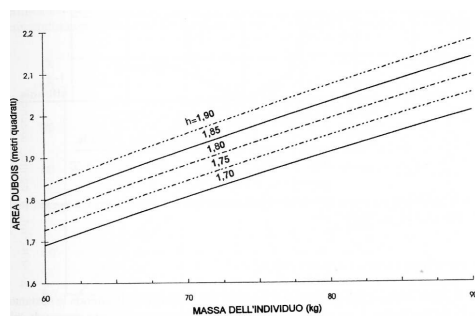


Fig. 3.3 Area DuBois in funzione del peso dell'individuo per diverse altezze.

Ovviamente 1 *met* è il flusso metabolico di base, qualunque attività porta a valori più alti che l'organismo deve smaltire per garantire l'omoterma.

La tabella riporta alcuni valori orientativi del flusso metabolico:

TABELLA 3-1 Flussi metabolici specifici per diverse attività

Tipo di attività	Flusso metabolico specifico		Flusso metabolico totale (orientativo) W
	met	W/m ²	
seduto, a riposo	1,0	58	110
in piedi, a riposo	1,2	70	133
attività sedentaria (ufficio)	1,2	70	133
attività leggera in piedi (laboratori, industrie leggere)	1,6	93	177
attività media, in piedi (macchine utensili)	2,0	116	220
attività pesante (assemblaggio impianti, riparazioni autovetture, macchine utensili complesse)	3,0	174	330

Lo smaltimento del flusso metabolico avviene attraverso due meccanismi principali, quello sensibile (per differenza di temperatura) e quello latente (dovuto ad un processo di evaporazione). Il vestiario può ostacolare entrambi i processi dissipativi.

Il meccanismo latente opera sia per evaporazione del sudore che per traspirazione attraverso i pori dell'epidermide che nel processo di respirazione.

Per quanto riguarda il meccanismo sensibile risulta fondamentale valutare l'influenza del vestiario, la cui capacità isolante viene normalmente espressa con un'apposita unità incoerente, il clo:

$$1 \text{ clo} = 0,155 \frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}}$$

L'unità corrisponde alla resistenza termica di un abito europeo di mezza stagione:

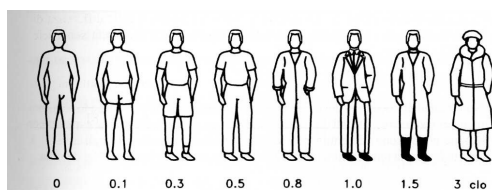


Fig. 3.4 Isolamento termico in funzione del vestiario.

Dato un certo abbigliamento, oltre al valore dell'isolamento termico del vestiario, va conosciuto il fattore di vestiario che aumenta la superficie disperdente rispetto al corpo nudo ed il fattore di resistenza alla diffusione che tiene conto di come sia ostacolato lo sviluppo di vapore dal vestiario.

TABELLA 3-III Isolamento termico (clo), fattore di vestiario, fattore di resistenza alla diffusione in funzione del tipo di abbigliamento

Abbigliamento	R_v (clo)	f_v	f_d
corpo nudo	0	1	1
calzoncini corti	0,1	1	1
abbigliamento per climi caldi (T-shirt, calzoncini corti)	0,3	1,05	0,9
abbigliamento estivo	0,5	1,1	0,85
tenuta da lavoro, leggera (biancheria intima leggera, camicia a maniche lunghe in cotone, calzoni da lavoro, calze in lana e scarpe)	0,6	1,1	0,82
abbigliamento invernale tipico per interni (biancheria intima, camicia a maniche lunghe, pullover, pantaloni, calze in lana e scarpe)	1,0	1,20	0,75
tenuta da lavoro, pesante (abito completo con pantaloni giacca e gilet)	1,5	1,30	0,65
tuta da lavoro	1,2 ÷ 1,7	1,25	0,75

Si hanno ora gli elementi che consentono a partire dalla conoscenza della temperatura superficiale del corpo nudo T_p e dal vestiario di valutare per un certo ambiente quale sia lo scambio termico sensibile. Dell'ambiente si conosce la temperatura a bulbo secco dell'aria T_a e la temperatura media radiante T_{mr} . La temperatura T_p può essere valutata in funzione del flusso metabolico specifico (H/A_{Du})

$$T_p = 35,7 - 1,6 \times \frac{H}{A_{Du}} \quad \frac{H}{A_{Du}} \text{ in met}$$

Mentre il coefficiente di convezione fra corpo umano ed aria è fornito da tabelle:

TABELLA 3-II Coefficiente di convezione fra aria e corpo umano in diverse condizioni

	α_c [$W/m^2 K$]
Persone sedute	3,20
Persone sdraiate	3,40
Persone semisdraiate	3,90
Persone in piedi	4,50

La ripartizione fra scambio sensibile e latente è legata, dato un certo vestiario, al livello di attività e alla temperatura operante.

Si vede subito che per livelli di attività superiori a 2 met il meccanismo latente diventa prevalente a meno che la temperatura operante non sia molto bassa.

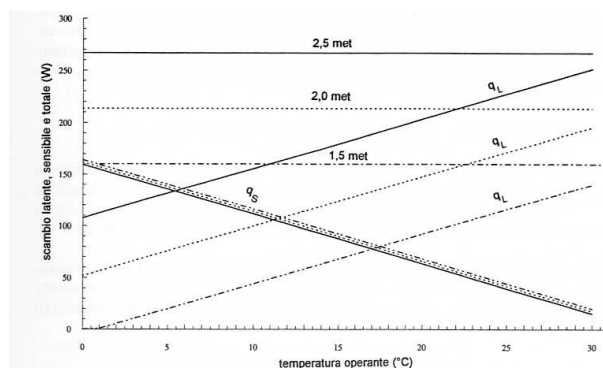


Fig. 3.6 Scambio termico sensibile, latente e totale in funzione della temperatura operante per 3 livelli di attività (1,5-2,0-2,5 met); abbigliamento 1 clo.

Mentre il bilancio metabolico dell'individuo è sempre soddisfatto (ne risulterebbe a rischio altrimenti la stessa sopravvivenza), la ricerca sperimentale ha mostrato che il soddisfacimento avviene in modo confortevole solo se sono rispettate relazioni precise fra la temperatura superficiale dell'epidermide ed il grado di sudorazione con il livello di attività:

$$E_{sw} = 0,42 \times A_{Du} \left(\frac{H}{A_{Du}} - 58,2 \right) \quad H \text{ in W} \quad T_p = 35,7 - 1,6 \times \frac{H}{A_{Du}} \quad \frac{H}{A_{Du}} \text{ in met}$$

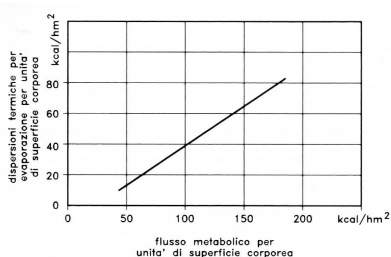


Fig. 3.8 Dispersioni termiche per evaporazione in funzione del livello di attività per persone in condizioni di benessere termico.

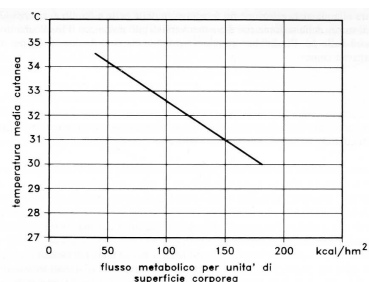


Fig. 3.7 Temperatura media superficiale della pelle in funzione del livello di attività per persone in condizioni di benessere termico.

Ponendo questi due vincoli alle equazioni di bilancio di un individuo in un certo ambiente si trova che, per un certo livello di attività e grado di vestiario, solo opportune combinazioni delle 4 variabili dell'ambiente consentono condizioni di benessere. La rappresentazione delle diverse combinazioni porta a tracciare le curve di benessere:

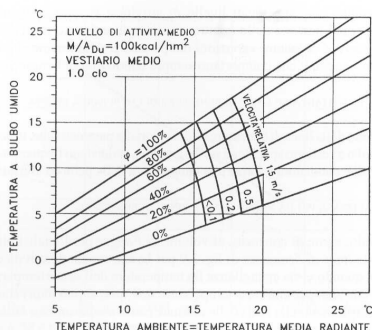


Fig. 3.9 Linee di benessere per attività di 2 met ed abbigliamento 1,0 clo in funzione della temperatura dell'aria quando vi sia eguaglianza fra questa e la temperatura media radiante.

Data una certa velocità dell'aria (ad esempio molto bassa) ed una temperatura a bulbo umido di 10°C solo una temperatura ambiente di 15°C fornisce condizioni di benessere, purché lo stesso valore sia assunto anche dalla temperatura media radiante.

La situazione si modifica per un diverso livello di attività o per un vestiario più pesante. In questi casi le variazioni di temperatura richieste possono essere rilevanti.

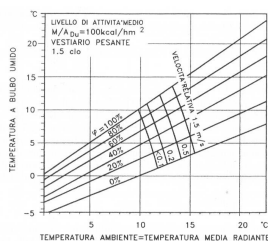


Fig. 3.10 Linee di benessere per attività di 2 met ed abbigliamento 1,5 clo in funzione della temperatura dell'aria quando vi sia eguaglianza fra questa e la temperatura media radiante.

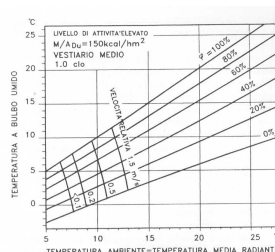


Fig. 3.11 Linee di benessere per attività di 3 met ed abbigliamento 1,0 clo in funzione della temperatura dell'aria quando vi sia eguaglianza fra questa e la temperatura media radiante.

Dal punto di vista del semplice benessere termico tutti i valori di umidità relativa sono accettabili; non così se si tiene conto di altri fattori quali la disidratazione delle mucose, la percezione degli odori o la proliferazione batterica o virale, per cui il campo consentito oscilla dal 30 al 70% di umidità relativa.

La temperatura media radiante può essere un parametro di cui tener conto o su cui intervenire. Risulta utile allora un grafico in cui si fissa l'umidità relativa al 50% e si studiano le linee di benessere in funzione degli altri tre parametri ambientali. Anche in questo caso si nota la forte influenza sui valori dei parametri del livello di attività o del grado di vestiario.

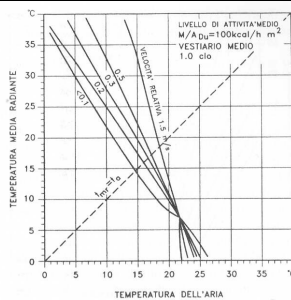


Fig. 3.13 Linee di benessere per attività di 2 met ed abbigliamento 1,0 clo in funzione della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante per diverse velocità dell'aria (umidità relativa 50%).

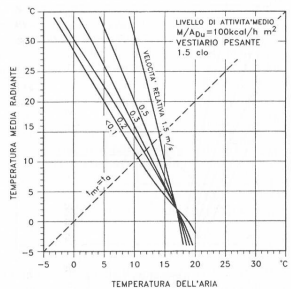


Fig. 3.14 Linee di benessere per attività di 2 met ed abbigliamento 1,5 clo in funzione della temperatura dell'aria e della temperatura media radiante per diverse velocità dell'aria (umidità relativa 50%).

Mentre le linee di benessere permettono di progettare un ambiente confortevole, scegliendo in base alle linee i valori dei parametri, non si hanno gli strumenti per valutare ambienti che si discostano poco o tanto dalle linee di benessere, in maniera da decidere se siano accettabili o comunque se una condizione sia migliore di un'altra.

Il PMV (Predicted Mean Vote) cerca di risolvere questo problema.

Si richiede a degli individui un giudizio soggettivo su di un ambiente secondo una scala che va da -3 +3 con 0 per valore ottimale:

- 3 molto freddo
- 2 freddo
- 1 fresco
- 0 neutralità
- +1 tiepido
- +2 caldo
- +3 molto caldo

I voti ottenuti da numerose interviste con singoli soggetti sono stati correlati da Fanger con la sollecitazione termica, cioè con la differenza fra il flusso metabolico e quanto l'individuo scambierebbe con l'ambiente con lo stesso livello di attività in condizioni di benessere. Questo ha consentito la costruzione di tabelle di PMV:

TABELLA 3-IV Voto medio per diverse velocità dell'aria e temperature ambientali per livello di attività di 2 met

Livello di attività 100 kcal/m ² h		Velocità relative (m/s)								
Resistenza termica del vestiario	Temperatura ambiente	<0.10	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50	1.00	1.50
clo	°C									
0	18.	-2,00	-2,02	-2,35						
	20.	-1,35	-1,43	-1,72						
	22.	-0,69	-0,82	-1,06						
	24.	-0,04	-0,21	-0,41						
	26.	0,59	0,41	0,26						
	28.	1,16	1,03	0,93						
	30.	1,73	1,66	1,60						
0,25	16.	-1,41	-1,48	-1,69	-2,02	-2,29	-2,51			
	18.	-0,93	-1,03	-1,21	-1,50	-1,74	-1,93	-2,61		
	20.	-0,45	-0,57	-0,73	-0,98	-1,18	-1,35	-1,93	-2,32	
	22.	0,04	-0,09	-0,23	-0,44	-0,61	-0,75	-1,24	-1,56	
	24.	0,52	0,38	0,28	0,10	-0,03	-0,14	-0,54	-0,80	
	26.	0,97	0,86	0,78	0,65	0,55	0,46	0,16	-0,04	
	28.	1,42	1,35	1,29	1,20	1,13	1,07	0,86	0,72	
0,50	14.	-1,08	-1,16	-1,31	-1,53	-1,71	-1,85	-2,32		
	16.	-0,69	-0,79	-0,92	-1,12	-1,27	-1,40	-1,82	-2,07	
	18.	-0,31	-0,41	-0,53	-0,70	-0,84	-0,95	-1,31	-1,54	
	20.	0,07	-0,04	-0,14	-0,29	-0,40	-0,50	-0,81	-1,00	
	22.	0,46	0,35	0,27	0,15	0,05	-0,03	-0,29	-0,45	
	24.	0,83	0,75	0,68	0,58	0,50	0,44	0,23	0,10	
	26.	1,21	1,15	1,10	1,02	0,96	0,91	0,75	0,65	
0,75	10.	-1,16	-1,23	-1,35	-1,54	-1,67	-1,78	-2,14	-2,34	
	12.	-0,84	-0,92	-1,03	-1,20	-1,32	-1,42	-1,74	-1,93	
	14.	-0,52	-0,60	-0,70	-0,85	-0,97	-1,06	-1,34	-1,51	
	16.	-0,20	-0,29	-0,38	-0,51	-0,61	-0,69	-0,95	-1,10	
	18.	0,12	0,03	-0,05	-0,17	-0,26	-0,32	-0,55	-0,68	
	20.	0,43	0,34	0,28	0,18	0,10	0,04	-0,15	-0,26	
	22.	0,75	0,68	0,62	0,54	0,48	0,43	0,27	0,17	
1,00	8.	-0,95	-1,02	-1,11	-1,26	-1,36	-1,45	-1,71	-1,86	
	10.	-0,68	-0,75	-0,84	-0,97	-1,07	-1,15	-1,38	-1,52	
	12.	-0,41	-0,48	-0,56	-0,68	-0,77	-0,84	-1,05	-1,18	
	14.	-0,13	-0,21	-0,28	-0,39	-0,47	-0,53	-0,72	-0,83	
	16.	0,14	0,06	0,00	-0,10	-0,16	-0,22	-0,39	-0,49	
	18.	0,41	0,34	0,28	0,20	0,14	0,09	-0,06	-0,14	
	20.	0,68	0,61	0,57	0,50	0,44	0,40	0,28	0,20	

Le tabelle, che presuppongono un'umidità relativa del 50% ed una temperatura media radiante pari alla temperatura dell'aria, vanno corrette quando questo non sia verificato.

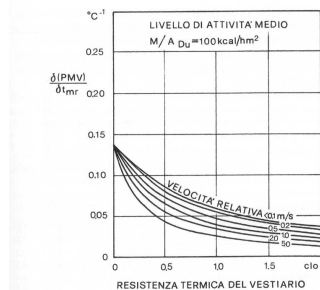


Fig. 3.17. Influenza della temperatura media radiante sul PMV in funzione del vestiario per diverse velocità dell'aria.

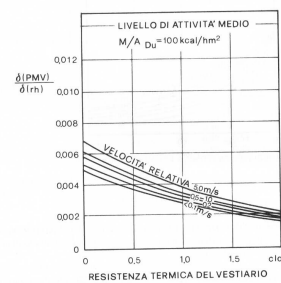


Fig. 3.18. Influenza dell'umidità relativa PMV in funzione del vestiario per diverse velocità dell'aria.

La correzione dipende dal livello di attività e dal grado di vestiario ed è particolarmente significativa per differenze nella temperatura media radiante.

Quanto esposto consente di attribuire un voto a qualsiasi condizione ambientale. Si tratta ora di stabilire quale votazione sia considerata sufficiente.

A questo fine viene introdotta un'ultima grandezza: la percentuale prevista di insoddisfatti (PPD - *Predicted Percentage of Dissatisfied*).

Viene definito convenzionalmente insoddisfatto un soggetto che dia una votazione all'ambiente maggiore o uguale a +2 o minore o uguale a -2, corrispondenti rispettivamente alle sensazioni di caldo e di freddo.

Il responso è di carattere statistico, per cui anche in condizioni di neutralità si ha mediamente una certa percentuale di insoddisfatti o verso il caldo (2,5%) o verso il freddo (2,5%).

Questo significa che nelle migliori condizioni il 5% dei soggetti risulta insoddisfatto. Questa percentuale aumenta quando ci si allontani da condizioni di neutralità.

L'andamento degli insoddisfatti è descritto dalla Tabella, ovvero in termini globali dalla curva sottostante

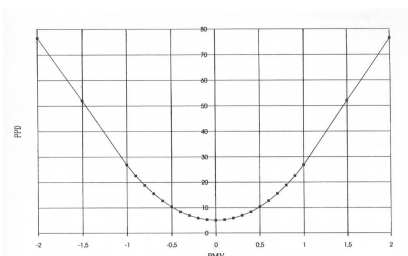


Fig. 3.19 Percentuale prevista di insoddisfatti in funzione del PMV.

TABELLA 3-VI Percentuale prevista di insoddisfatti per troppo freddo o troppo caldo ed in totale in funzione del PMV

PMV	Percentuale prevista di insoddisfatti PPD		
	Freddo	Caldo	Totale
-2,0	76,4	-	76,4
-1,5	52,0	-	52,0
-1,0	26,8	-	26,8
-0,9	22,5	-	22,5
-0,8	18,7	0,1	18,8
-0,7	15,3	0,2	15,5
-0,6	12,4	0,3	12,7
-0,5	9,9	0,4	10,3
-0,4	7,7	0,6	8,3
-0,3	6,0	0,9	6,9
-0,2	4,5	1,3	5,8
-0,1	3,4	1,8	5,2
0	2,5	2,5	5,0
+0,1	1,8	3,4	5,2
+0,2	1,3	4,5	5,8
+0,3	0,9	5,9	6,8
+0,4	0,6	7,7	8,3
+0,5	0,4	9,8	10,2
+0,6	0,3	12,2	12,5
+0,7	0,2	15,2	15,4
+0,8	0,1	18,5	18,6
+0,9	-	22,2	22,2
+1,0	-	26,4	26,4
+1,5	-	51,4	51,4
+2,0	-	75,7	75,7

Le normative stabiliscono i limiti di accettabilità sulla base di questi andamenti. Ad esempio Fanger indica un PPD max dello 7,5% che suggerisce un PMV fra +/-0,35. La ISO 7730 prescrive un PMV fra +/-0,5 che significa un PPD max del 10%. L'ASHRAE 55 accetta un 20% per il PPD cioè un PMV fra +/-0,85.

Temperatura aria 21 °C - TMR 21 °C

CBE Thermal Comfort Tool

ASHRAE-55 EN-15251 Compare Ranges

Select method: PMV method

Air temperature: 21 °C Use operative temperature

Mean radiant temperature: 21 °C

Air speed: 0,2 m/s Local air speed control

Humidity: 50 % Relative humidity

Metabolic rate: 1,2 met Standing, relaxed: 1.2

Clothing level: 1 clo Typical winter indoor

Create custom ensemble

Globe temp Specify Set SI Local ?

pressure defaults IP discomfort HELP

Complies with EN-15251

PMV: -0,31

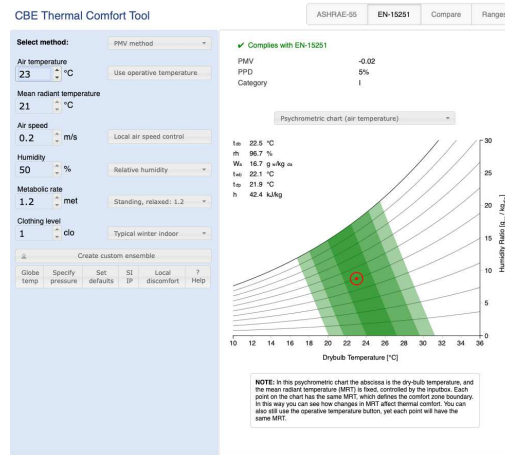
PPD: 7%

Category: II

Psychrometric chart (air temperature)

NOTE: In this psychrometric chart the abscissa is the dry-bulb temperature, and the mean radiant temperature (MRT) is fixed, controlled by the inputs. Each point on the chart has the same MRT, which defines the comfort zone boundary. In this way you can see how changes in MRT affect thermal comfort. You can also still use the operative temperature button, yet each point will have the same MRT.

Temperatura aria 23 °C - TMR 21 °C

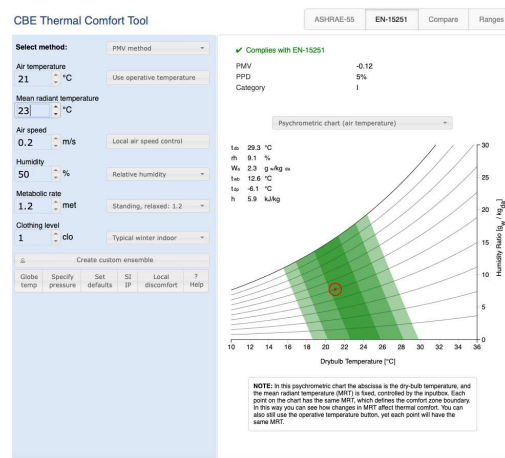


04/06/2019

Filippo Busato

23

Temperatura aria 21 °C - TMR 23 °C



04/06/2019

Filippo Busato

24

2. Edifici a basso consumo

04/06/2019

Filippo Busato

25

La Legislazione in tematica di EE



26

Introduzione

Ambito	EPBD	RES	NORME di base
EUROPA	2018/844/EU 2010/31/CE EPBD «recast»	Promozione dell'uso delle energie rinnovabili	EN 13790 (edificio) EN 15316 (impianto) EN 15306 (energia primaria)
ITALIA	DM 26/06/15 DLgs 192/05 DM 59/09 DM 26/06/09	DL 28/2011 "Romani"	UNI/TS 11300

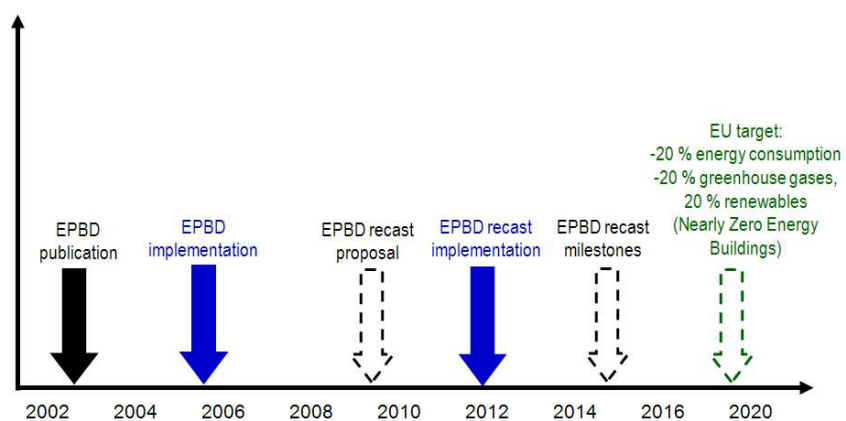
16/10/2018

Filippo Busato - PhD

27

Energy Performance Buildings Directive - EPBD

Timeline EPBD



28

Verso gli edifici a energia zero: quali soluzioni praticabili per la sostenibilità energetica?

La definizione di “Zero Energy Building” e le sue diverse interpretazioni

16/10/2018

Filippo Busato - PhD

29

Fabbisogno
≠
Consumo

16/10/2018

Filippo Busato - PhD

30

Fabbisogno
(netto, interno)
≠
Consumo
(esterno, fonti)

16/10/2018

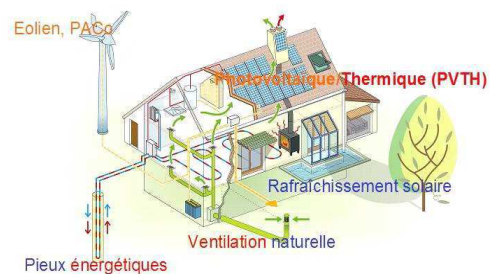
Filippo Busato - PhD

31

Verso gli edifici a energia zero: quali soluzioni praticabili per la sostenibilità energetica?

Zero Energy Building (ZEB)

Un edificio con una domanda di energia estremamente ridotta e tale da essere soddisfatta dalla produzione di energia in sito da fonti rinnovabili



16/10/2018

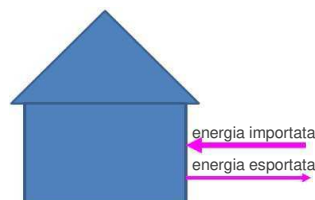
Filippo Busato - PhD

32

Verso gli edifici a energia zero: quali soluzioni praticabili per la sostenibilità energetica?

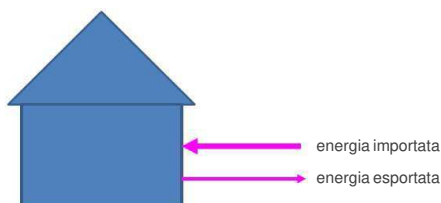
net Zero Energy Building (nZEB)

Un edificio che è connesso ad una infrastruttura energetica territoriale (rete elettrica, rete gas, teleriscaldamento...) e che, nell'arco temporale di un anno solare, presenta una somma algebrica dei flussi energetici in ingresso e in uscita di valore pari a zero



$$E = \sum_i (E_{del,i} \cdot f_{del,i}) - \sum_i (E_{exp,i} \cdot f_{exp,i})$$

Verso gli edifici a energia zero: quali soluzioni praticabili per la sostenibilità energetica?



$$E = \sum_i (E_{del,i} \cdot f_{del,i}) - \sum_i (E_{exp,i} \cdot f_{exp,i}) = 0$$

Alternative

- $E_{del} = 0$
- $E_{del} \times f_{del} = E_{exp} \times f_{exp}$
- $f_{del} = 0$

$$E = \sum_i (E_{del,i} \cdot f_{del,i}) - \sum_i (E_{exp,i} \cdot f_{exp,i}) = 0$$

16/10/2018

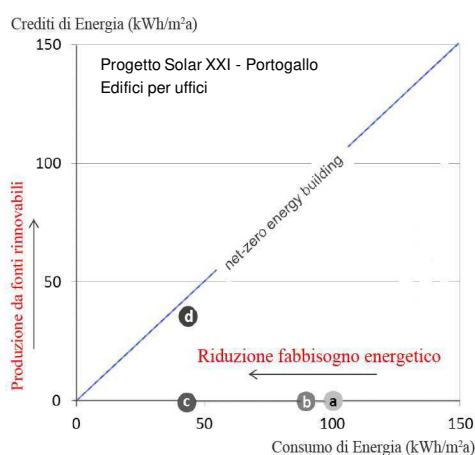
Filippo Busato - PhD

35

Verso gli edifici a energia zero: quali soluzioni praticabili per la sostenibilità energetica?

Il percorso verso gli nZEB

- Livello standard (consumo di "edifici tipici")
- Miglioramento del livello standard
- Con interventi di efficientamento energetico
- Con produzione da fonti energetiche rinnovabili



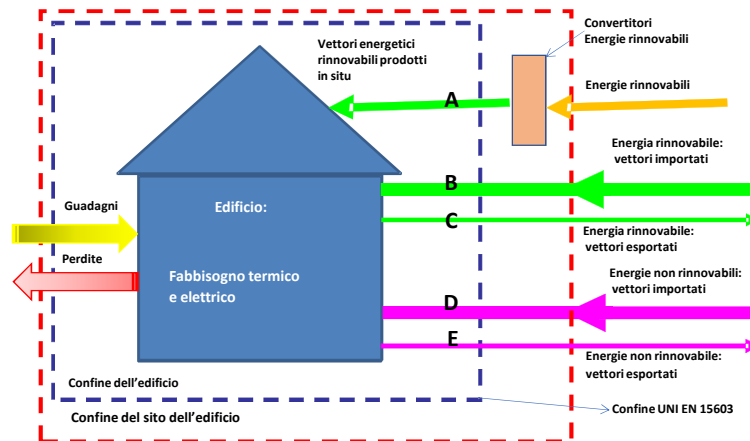
Witichen, K.B. Thomsen, K.E. *Introducing cost-optimal levels for energy requirements*, in REHVA Journal, vol.49, Marzo 2012

16/10/2018

Filippo Busato - PhD

36

Definizioni: Confini dell'edificio



$$E_p = \sum_i (E_{del,i} f_{del,i}) - \sum_i (E_{exp,i} f_{exp,i})$$

Verso gli edifici a energia zero: quali soluzioni praticabili per la sostenibilità energetica?

Lo ZEB può essere valutato in termini di

- consumi annui di singole fonti energetiche, primarie o secondarie (kg, m³, kWh)
- consumo annuo di energia primaria (kWh/m²a)
- costo annuo per l'energia utilizzata (€/m²a)
- emissioni annue di anidride carbonica connesse all'uso dell'energia (kg CO₂/m²a)

Verso gli edifici a energia zero: quali soluzioni praticabili per la sostenibilità energetica?

A_ Edificio a energia netta zero (*net Zero Site Energy Building*)

un edificio che produce in sito almeno tanta energia da fonti rinnovabili quanta ne utilizza in un anno solare

B_ Edificio a energia primaria netta pari a zero (*net Zero Source Energy Building*)

un edificio che produce (o acquista) tanta energia da fonti rinnovabili quanta energia primaria utilizza in un anno solare

($1\text{kWh}_{el} = 2,5\text{kWh}_{en, primaria}$)

Verso gli edifici a energia zero: quali soluzioni praticabili per la sostenibilità energetica?

C_ Edificio a costo energetico nullo (*net Zero Energy Cost Building*)

un edificio in cui, nel corso di un anno solare, l'incasso per le energie prodotte in sito da fonti rinnovabili è almeno pari alla spesa per le energie di cui necessita

D_ Edificio a emissioni zero (*net Zero Emission Building*)

un edificio in cui, nell'arco dell'anno solare, viene prodotta tanta energia rinnovabile a emissioni zero (o si acquistano tanti crediti di emissione) quanta serve per controbilanciare le emissioni di anidride carbonica connesse all'energia che utilizza

Prestazione energetica globale dell'edificio

(UNI EN 15603-2008 "Prestazione energetica degli edifici – Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica")

Indici basati sull'Energia Primaria:

$$E_P = \sum_i \{E_{del,i} \cdot f_{P,del,i}\} - \sum_i \{E_{exp,i} \cdot f_{P,exp,i}\}$$

$E_{del,i}$ energia distribuita (in ingresso all'edificio) riferita al vettore i -esimo

$E_{exp,i}$ energia esportata (in uscita dall'edificio) riferita al vettore i -esimo

$f_{P,del,i}$ fattore di energia primaria per il vettore energetico distribuito i

$f_{P,exp,i}$ fattore di energia primaria per il vettore energetico esportato i

Indici basati sulle emissioni di CO₂:

$$m_{CO_2} = \sum_i \{E_{del,i} \cdot K_{del,i}\} - \sum_i \{E_{exp,i} \cdot K_{exp,i}\}$$

$K_{del,i}$ coefficiente di emissione di CO₂ per il vettore energetico distribuito i

$K_{exp,i}$ coefficiente di emissione di CO₂ per il vettore energetico esportato i

16/10/2018

Filippo Busato - PhD

41

La definizione di
"nearly net ZEB", le
prestazioni
energetiche ottimali e i
"reference buildings"


16/10/2018


Filippo Busato - PhD


42

DM 26/06/2015

Edifici a energia quasi zero

 Sono «edifici a energia quasi zero» tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, per cui sono contemporaneamente rispettati:

 tutti i requisiti previsti con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici;

 gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, ovvero copertura del 50%.



Caratteristiche NZEB

- Dalla definizione riportata dal **D.Lgs. 192/2005 e s.m.i** e ripresa nel **D.M. 26/06/2015**, un edificio NZEB deve soddisfare i seguenti requisiti:

Fabbisogno di energia termica ridotto:

- - Dimensionando adeguatamente l'involucro;
- - Utilizzando gli effetti capacitivi della struttura per minimizzare i carichi termici

Fabbisogno di energia degli impianti ridotto quanto più economicamente fattibile

Fabbisogno di energia coperto da fonti rinnovabili o tramite produzione in situ di energia elettrica e termica

Qualità ambiente interno (da 19 giugno 2018 come Direttiva 2018/844 [29])

- - Benessere termoigrometrico
- - Benessere visivo
- - Benessere acustico
- - Qualità dell'aria interna

Fonte seminari nZEB AICARR




Involucro edilizio

- Nella progettazione di un edificio NZEB, l'**involucro edilizio** assume una rilevanza fondamentale, rappresentando un **filtro in grado di mitigare e controllare** gli effetti indotti dalla variazione delle condizioni ambientali esterne al fine di mantenere le **condizioni di benessere** interno con il **minor consumo possibile di energia**.
- Principali parametri di cui tenere conto:
 - Contesto climatico;
 - Orientamento e forma dell' edificio (ed in particolare il rapporto S/V);
 - Presenza o meno di elementi schermanti;
 - Correzione dei ponti termici;
 - Scelta della tipologia di isolamento termico ;
 - Costruzione massiva tale da garantire inerzia e sfasamenti del carico termico;
- Requisiti sia in termini di **risparmio energetico invernale** che in termini di **risparmio energetico estivo**.

Parametro relativo ai componenti di involucro [7] e [28]	Definizione del requisito secondo [7] e [28]	Indicazione progettuale (1)
Coefficiente medio globale di scambio termico - H't (W/(m²K))	Valore calcolato per l'edificio reale inferiore a quello massimo ammissibile riportato in tabella 10 dell'appendice A [7]	Prevedere l'isolamento delle strutture opache in modo da ottenere dei valori di trasmittanza (compresi quelli dei ponti termici) prossimi il più possibile a quelli utilizzati per l'edificio di riferimento (2019/2021) [7]
Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile $A_{sol,est}$ e $A_{sup,utile}$	Valore calcolato per l'edificio reale inferiore al valore massimo ammissibile riportato in tabella 11 dell'appendice A [7]	La soluzione ottimale consiste nell'adottare un vetro performante (dal punto di vista del fattore solare) accoppiato a schermature preferibilmente esterne. Un serramento con fattore solare del vetro pari circa a 0.5 e fattore solare vetro + schermatura pari a 0.30+0.35, consente generalmente di soddisfare contemporaneamente le verifiche dei parametri: $A_{sol,est}/A_{sup,utile}$, $EP_{H,t,est}$, $EP_{C,est}$
Indice di prestazione termica utile per il riscaldamento $EP_{H,t,est}$ (kWh/m²)	Valore calcolato per l'edificio reale inferiore al corrispondente indice calcolato per l'edificio di riferimento del 2019/2021 [7]	Se viene soddisfatto il requisito del parametro Ht viene di conseguenza rispettato il parametro $EP_{H,t,est}$
Indice di prestazione termica utile per il raffrescamento $EP_{C,est}$ (kWh/m²)	Valore calcolato per l'edificio reale inferiore al corrispondente indice calcolato per l'edificio di riferimento del 2019/2021 [7]	Se viene soddisfatto il requisito del parametro $A_{sol,est}/A_{sup,utile}$ viene generalmente rispettato il parametro $EP_{C,est}$
Riflettanza solare dei materiali impiegati nelle coperture	Riflettanza maggiore o uguale a 0.65 per le coperture piane e 0.30 per le coperture a falda. Tali prescrizioni non sono obbligatorie ma costituiscono una buona pratica progettuale	-

Fonte seminari nZEB AICARR

Impianti HVAC & R


- In un edificio NZEB:
 -  L'indice di prestazione energetica globale dell'edificio reale deve essere **minore** di quello dell'edificio di riferimento;
 -  I valori delle efficienze medie stagionali degli impianti di riscaldamento, raffrescamento, produzione di ACS e ventilazione devono essere **maggiori** a quelli dell'edificio di riferimento;
 -  La quota di copertura del fabbisogno di energia primaria totale dell'edificio necessaria per ottenere riscaldamento, raffrescamento e ACS con **FER**, ai sensi dell'allegato 3 del **D.Lgs. 28/2011**, deve essere almeno pari al **50% nel caso di edifici privati** e al **55% nel caso di edifici pubblici**
- I valori delle efficienze medie stagionali degli impianti di riscaldamento, raffrescamento, produzione di ACS e ventilazione devono essere **maggiori** a quelli dell'edificio di riferimento (**Parametri di riferimento** per i rendimenti dei sottosistemi impiantistici sono contenuti nel **Decreto 26/06/2015**);

Servizio impiantistico	Parametri di riferimento
Riscaldamento	- Il prodotto tra i rendimenti di emissione, regolazione, distribuzione all'utenza, accumulo e distribuzione primaria dell'edificio reale deve essere maggiore del rendimento del sottosistema di utilizzazione indicato nella tabella 7 dell'Appendice A del Decreto - Il rendimento del sottosistema di generazione dell'edificio reale deve essere possibilmente maggiore del valore di riferimento indicato nella tabella 8 dell'appendice A del Decreto
Acqua calda sanitaria	- Il prodotto tra i rendimenti di erogazione, distribuzione all'utenza, accumulo, distribuzione primaria e rete di ricircolo dell'edificio reale deve essere maggiore del rendimento del sottosistema di utilizzazione indicato nella tabella 7 dell'Appendice A del Decreto - Il rendimento del sottosistema di generazione dell'edificio reale deve essere possibilmente maggiore del valore di riferimento indicato nella tabella 8 dell'Appendice A del Decreto
Raffrescamento	- Il prodotto tra i rendimenti di emissione, regolazione, distribuzione all'utenza, accumulo e distribuzione primaria dell'edificio reale deve essere maggiore del rendimento del sottosistema di utilizzazione indicato nella tabella 7 dell'Appendice A del Decreto - Il rendimento del sottosistema di generazione dell'edificio reale deve essere possibilmente maggiore del valore di riferimento indicato nella tabella 8 dell'Appendice A del Decreto
Ventilazione meccanica	Il consumo specifico di energia elettrica dell'edificio reale espresso in $W/(m^3h)$ deve essere minore del o uguale al valore di riferimento indicato nella tabella 9 dell'Appendice A del Decreto

Fonte seminari nZEB AICARR





Produzione di energia da fonti rinnovabili

- In un edificio NZEB:

-  La quota di copertura del fabbisogno di energia primaria totale dell'edificio necessaria per ottenere riscaldamento, raffrescamento e ACS con **FER**, ai sensi dell'allegato 3 del **D.Lgs. 28/2011**, deve essere almeno pari al **50% nel caso di edifici privati** e al **55% nel caso di edifici pubblici**
- Una prima difficoltà nel perseguimento dei requisiti del **D.Lgs. 28/2011**, risiede nel fatto che la percentuale di copertura mediante fonti di energia rinnovabile si riferisce all'energia primaria totale in ingresso al sistema di generazione, includendo quella utilizzata per il **raffrescamento**, per la quale è **molto difficile sfruttare fonti di energia rinnovabile**.
- Le tecnologie esplicitate in tabella sono infatti usate per **produrre energia termica per il riscaldamento e la produzione di ACS**.
- Ciò significa che: più i fabbisogni sono sbilanciati verso il raffrescamento, **come per edifici ubicati in zone climatiche calde o con requisiti prestazionali non residenziali**, più è difficile perseguire il punto 3 dei requisiti prestazionali impiantistici, per ottenere un NZEB.

Fonte seminari nZEB AICARR

Strategie progettuali per obblighi da fonti rinnovabili

- Le strategie **realisticamente** perseguibili sono nella pratica le seguenti:
 -  Utilizzo di generatori di calore a **biomassa** (biomassa è considerata rinnovabile all'80% se di tipo solido e al 60% se di tipo liquido o gassoso);
 -  **Incrementare la quota minima di fotovoltaico** imposta dal Decreto 28/2011, per compensare il fabbisogno per il raffrescamento;
 -  Utilizzando il **teleriscaldamento** per la totale copertura dei fabbisogni di riscaldamento e ACS, (il Decreto 28/2011 prevede l'esenzione dal rispetto del vincolo di copertura da FER);
 -  Utilizzando **pompe di calore** per la copertura del fabbisogno di riscaldamento e ACS, il raggiungimento dell'obiettivo NZEB dipende principalmente dall'**indice SPF**, che determina la quota di energia rinnovabile utilizzata dalla macchina;

Fonte seminari nZEB AICARR

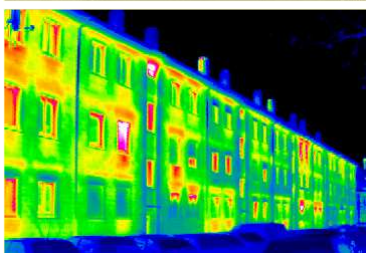
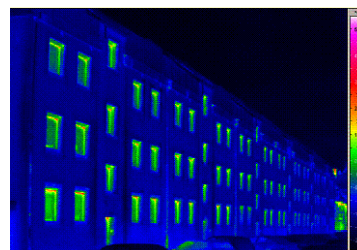
3. Il clima e i nuovi edifici

04/06/2019

Filippo Busato

49

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA INVOLUCRO CON TECNICHE PASSIVE HOUSE – FRANKFURT

PRIMA**87%****DOPO**

E' corretto anche in Italia?

Se si, è corretto sempre?

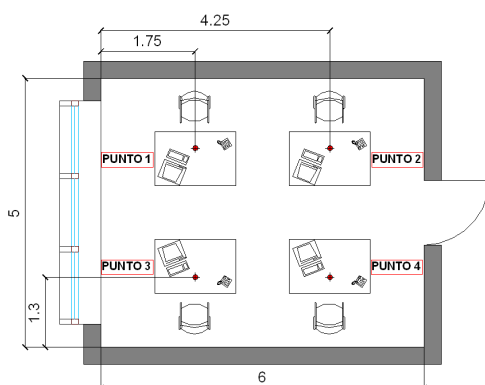
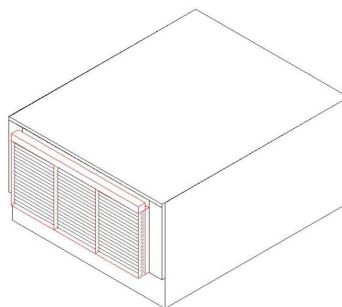
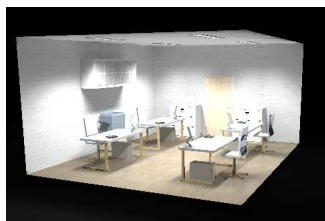
Michele Vio (Ciclo incontri SIME)

Cosa si è fatto sinora

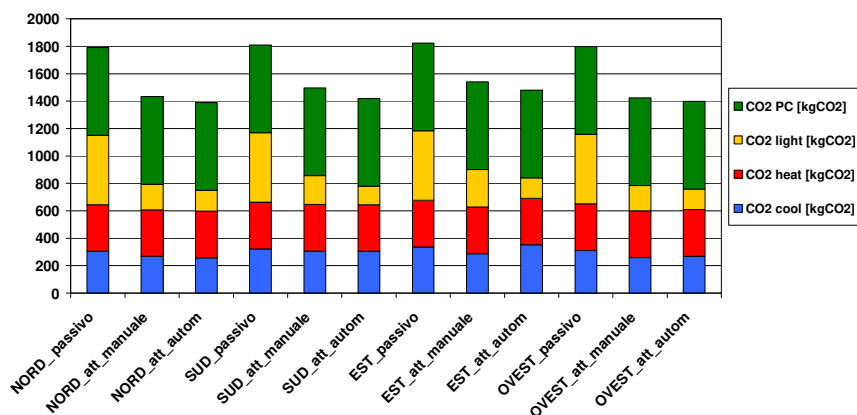


Michele Vio (Ciclo incontri SIME)

Dove mettere la vetrata?



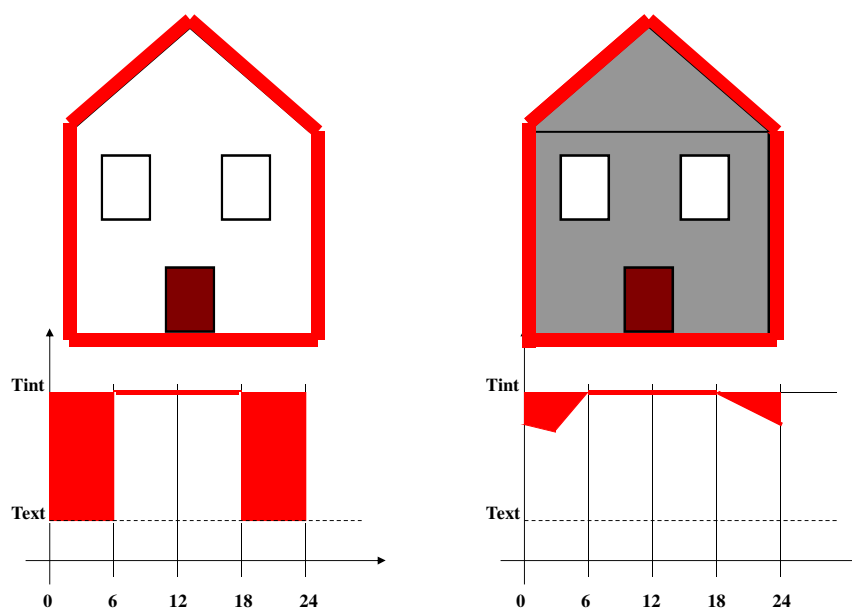
- Ufficio di 30 m²
- Sito a Venezia fatto ruotare secondo le quattro orientazioni
- Buon isolamento



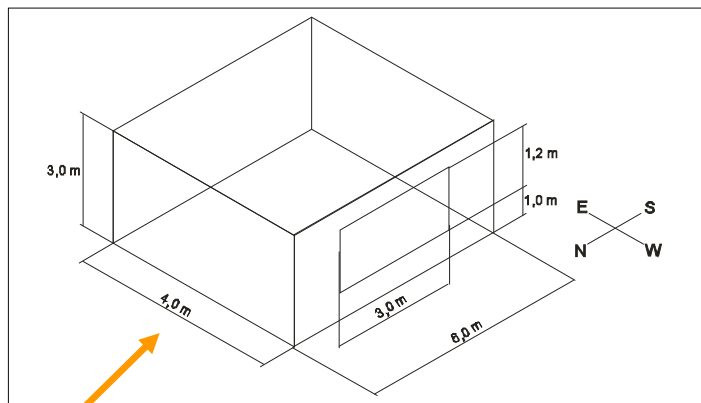
- Dove si vuole. La trasmittanza dei serramenti è ormai molto bassa
- L'importante è una schermatura efficiente

De Carli, De Giuli, Di Bella, Papparotto. 2007. *Analisi di risparmio energetico. Sistemi di building automation. CDA Condizionamento dell'aria riscaldamento refrigerazione*

Strutture massive e intermittenza di funzionamento

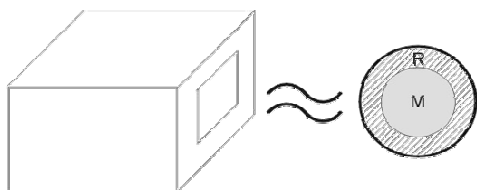


Esempio:



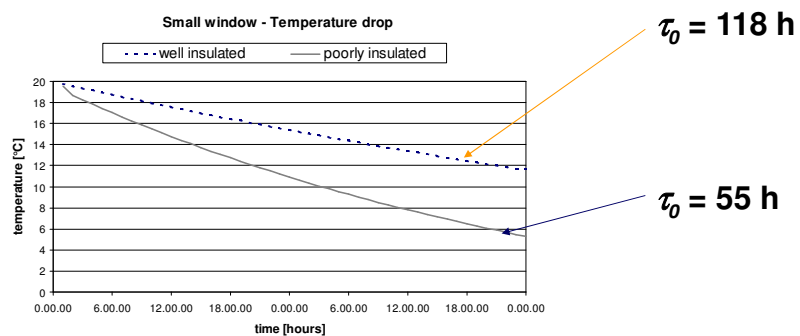
Finestra di medie dimensioni (circa 1/7 della superficie in pianta)

Cadute di temperatura allo spegnimento dell'impianto di riscaldamento



$$\tau_0 = (RC)$$

$$t_e - t = (t_e - t_i) \cdot e^{-\tau/\tau_0}$$



Esempio di calcolo di fabbisogno energetico

Stesso edificio a parità di trasmittanza con tecnologia massiva o leggera

	Fabbisogno invernale	Fabbisogno estivo			Fabbisogno ACS	Fabbisogno totale
	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]		
	Q_{Risc}	Q_{Sens}	Q_{Lat}	$Q_{\text{tot. estivo}}$	$Q_{\text{h,W}}$	Q_{Totale}
Milano Massiva	52	10	5	15	17	84
Milano Leggera	50	9	7	16	17	83
Roma Massiva	20	20	15	35	17	72
Roma Leggera	19	18	15	33	17	69
Palermo Massiva	8	33	19	52	17	77
Palermo Leggera	7	29	20	49	17	73

Conta la massa dell'edificio?

- La massa dell'edificio conta se l'edificio ha una trasmittanza alta (poco isolato)
- Se l'edificio è isolato la massa dell'involucro non è più rilevante, conta la costante di tempo dell'edificio

Inerzia dell'impianto (terminali)

- L'inerzia dell'involucro interagisce con l'inerzia dell'impianto
- Con edifici »leggeri» ha senso utilizzare impianti ad elevata inerzia ed elevato contenuto d'acqua?

4. I corpi scaldanti

Impianto di climatizzazione

Insieme di apparecchiature che sono in grado di assicurare, in presenza di dispersioni e guadagni termici di una zona, il mantenimento in essa di un determinato valore di temperatura (e umidità relativa)



Scambio termico

- In presenza di aria, non vi è modo di escludere gli scambi convettivo e radiativo
- Lo scambio radiativo non può essere evitato
- Nella realtà ingegneristica è fondamentale determinare l'entità di ciascuna modalità di scambio

Corpi scaldanti

Radiatori

Ghisa

Sono costituiti da elementi realizzati per fusione e assemblati con nipples.

Al tradizionale **modello a colonne** si è aggiunto, negli anni Settanta, il **modello a piastre** che presenta anteriormente un'ampia superficie radiante e posteriormente una sezione atta a limitare lo scambio termico passivo con le pareti.



Corpi scaldanti

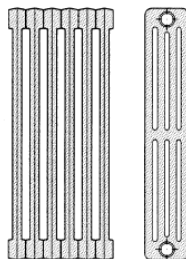
Aspetti positivi dei radiatori in ghisa:

- non temono fenomeni corrosivi;
- dilatandosi non causano rumori;
- sono sempre componibili.

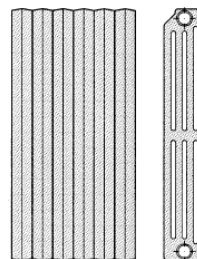
Aspetti negativi:

- **maggior costo**, soprattutto rispetto ai radiatori in acciaio a piastra e a colonne;
- **elevato peso** che rende meno agevole il montaggio del corpo scaldante;
- **fragilità** che può esser causa di rotture in fase di montaggio;
- **elevata inerzia termica** che può rendere meno efficienti i sistemi di regolazione della temperatura ambiente.

tipo a colonna



tipo a piastra

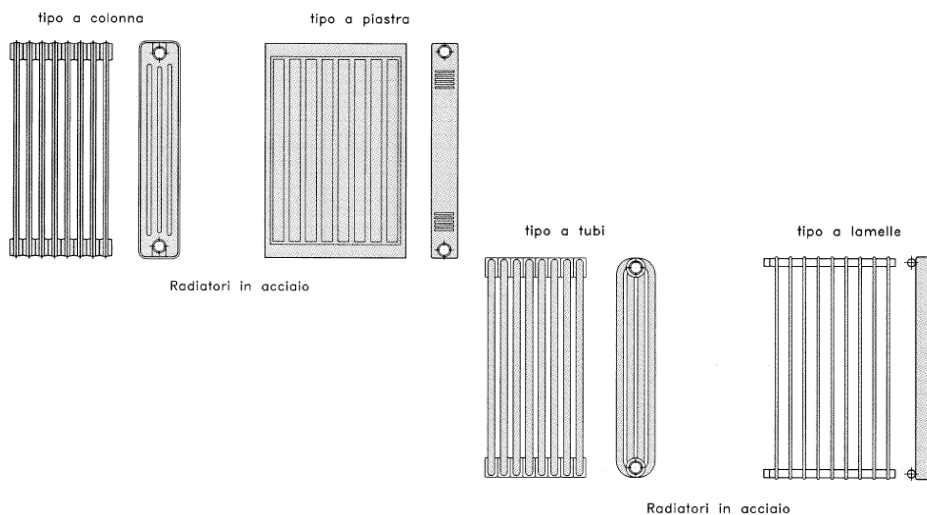


Radiatori in ghisa

Corpi scaldanti

Acciaio

Sono realizzati mediante saldatura di lamiera stampate o di tubi. Possono essere a piastra, a colonne, a tubi o a lamelle.



Corpi scaldanti

Aspetti positivi dei radiatori in acciaio:

- **costo contenuto.** Nei tipi a piastra e a colonne sono i radiatori più economici;
- **limitato peso.** A parità di resa termica pesano circa il 65-70% in meno dei radiatori in ghisa;
- **facile inserimento ambientale.** La vasta gamma di tipi e di forme geometriche disponibili consente soluzioni estetiche facilmente integrabili nell'ambiente;
- **bassa inerzia termica nei tipi a piastra.**

Aspetti negativi:

- **elevata inerzia termica nei tipi a colonne e a tubi** (cioè nei tipi che contengono molta acqua). Tale caratteristica può rendere meno efficienti i sistemi di regolazione della temperatura ambiente;
- **non sono componibili nei tipi a piastra, a lamelle e a colonne con elementi saldati;**
- **possibili fenomeni di corrosione.** Senza adeguati rivestimenti superficiali questi radiatori sono facilmente esposti a corrosione esterna.



Corpi scaldanti

Termoarredo



Corpi scaldanti

Alluminio

Sono costituiti da elementi realizzati per estrusione o pressofusione e assemblati con nipples.



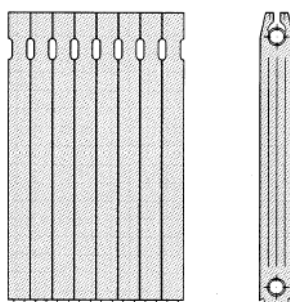
Corpi scaldanti

Aspetti positivi dei radiatori in alluminio:

- **costo relativamente contenuto.** Costano sensibilmente meno dei radiatori in ghisa;
- **leggerezza.** A parità di resa termica pesano circa il 70 ÷ 75% in meno dei radiatori in ghisa;
- **sono sempre componibili;**
- **limitata inerzia termica.**

Aspetti negativi:

- **possibili fenomeni di corrosione interna.** La presenza di alcali forti nell'acqua favorisce fenomeni di corrosione dell'alluminio. Per questo è opportuno evitare addolcimenti troppo spinti ed eventualmente ricorrere ad inibitori chimici.



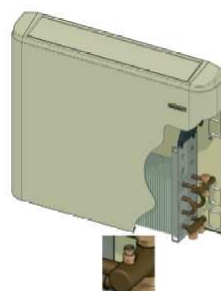
Radiatore in alluminio

Corpi scaldanti

Termoconvettori (a pavimento)



Con Griglia Fissa (Versione G) Con Pala Manuale (Versione M) Con Pala Automatica (Versione A)



batteria tripla

batteria doppia

batteria singola

Corpi scaldanti

Termoconvettori (a zoccolo)



Corpi scaldanti

Ventilconvettori



Vantaggi degli impianti a pavimento radiante

I principali vantaggi che gli impianti a pannelli possono offrire riguardano:

- il benessere termico
- la qualità dell'aria
- le condizioni igieniche
- l'impatto ambientale
- il calore utilizzabile a bassa temperatura
- il risparmio energetico

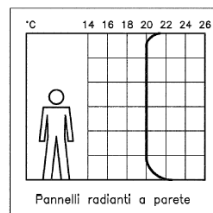
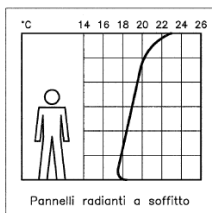
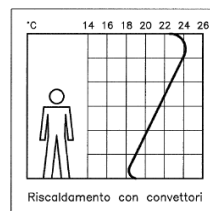
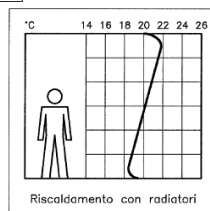
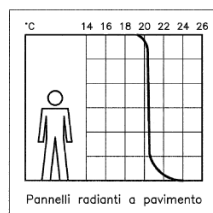
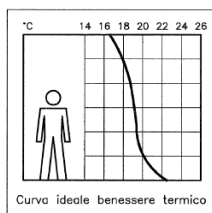
BENESSERE TERMICO

Come evidenziato dalla curva ideale riportata, per poter assicurare in un locale condizioni di benessere termico si devono mantenere zone leggermente più calde a pavimento e più fredde a soffitto.

Gli impianti che meglio si prestano a offrire tali condizioni sono quelli a pavimento radiante per i seguenti motivi:

1. la specifica posizione (cioè a pavimento) dei pannelli;
2. il fatto che essi cedono calore soprattutto per irraggiamento, evitando così il formarsi di correnti convettive d'aria calda a soffitto e fredda a pavimento.

Vantaggi degli impianti a pavimento radiante



Sistemi misti convettivo-radiante (es. Bi2 Air)



- | | | | |
|---|---|----|--|
| 1 | Batteria di scambio termico | 6 | Bacinella raccolta condensa |
| 2 | Pannello radiante ad elevata efficienza | 7 | Stocca frontale in lamiera elettrozincata |
| 3 | Ventilatore tangenziale | 8 | Griglia aspirazione anti intrusione |
| 4 | Motore elettrico DC Brushless | 9 | Fianchi in ABS |
| 5 | Flap aria mandata e Griglia mandata anti intrusione | 10 | Comando touch bordo macchina (versione TR) |

04/06/2019

Filippo Busato

77

5. Valutazioni energetiche

04/06/2019

Filippo Busato

78

Funzionalità, comfort, energia

- Spesso si confrontano tra loro sistemi che hanno funzionalità diverse
 - Ad esempio nella generazione di calore, confronto tra caldaia a condensazione e pompa di calore
 - **E' sempre corretto?**
 - **E' corretto in tutti i climi**
- I confronti andrebbero sempre svolti a parità di funzionalità e a parità di comfort
 - Riscaldamento e/o climatizzazione
 - Parità di temperatura operante (es. nel caso di riscaldamento)

04/06/2019

Filippo Busato

79

Un confronto possibile

- Abitazione residenziale su due piani
- 170 m² di superficie calpestabile
- Due tipologie di distribuzione
 1. Sistema radiante con deumificazione a espansione diretta, condensato ad acqua d'impianto);
 2. Sistema con ventilradiatori Bi2 Air
- Centrale termica con pompa di calore e caldaia di integrazione, solare termico;
- 3 climi: **Courmayeur (Alta Val d'Aosta), Torino, Napoli** (rispettivamente in climi europei di riferimento Cold, Average, Warm, e climi DPR 412/93 F, E, C)

04/06/2019

Filippo Busato

80

Dati climatici

- Gradi giorno riscaldamento (HDD) e raffrescamento (CDD)

Località	T progetto	HDD	CDD
Courmayeur	-20	3926	103
Torino	-10	1821	956
Napoli	0	1185	1322

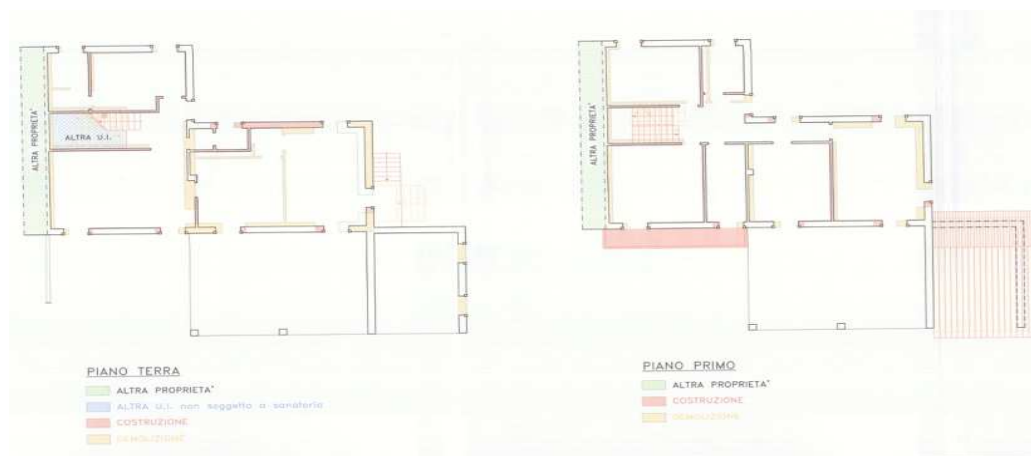
- L'involucro è stato progettato in conformità ai requisiti minimi della zona climatica specifica

04/06/2019

Filippo Busato

81

Planimetria

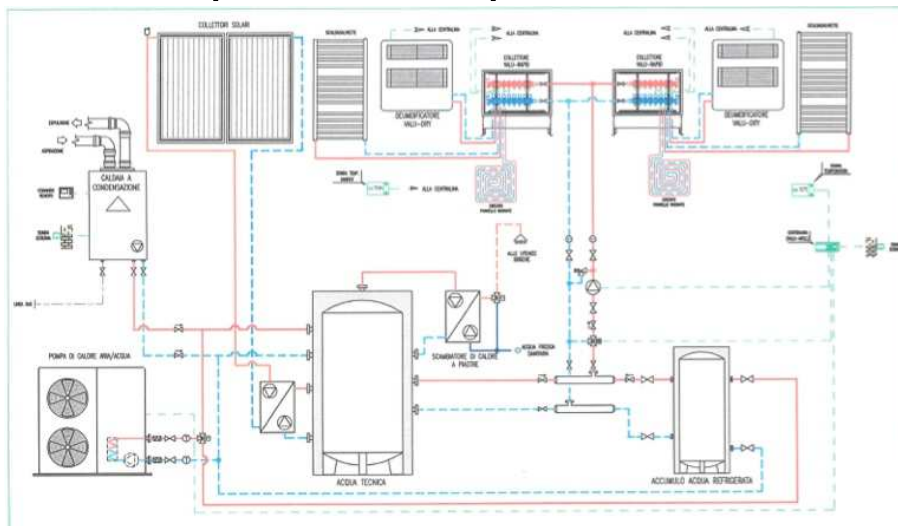


04/06/2019

Filippo Busato

82

Schema impiantistico per il radiante



04/06/2019

Filippo Busato

83

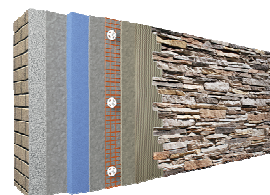
Edificio di Riferimento

84

•INVOLUCRO

TRASMITTANZA STRUTTURE VERTICALI OPACHE [W/m ² K] VERSO L'ESTERNO, AMBIENTI NON RISCALDATI O CONTRO TERRA								
ZONA CLIMATICA	EDIFICIO DI RIFERIMENTO		VALORI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA		VALORI RIQUALIF. ENERG. IN DEROGA +30%		VALORI ATTUALI	VALORI IN DEROGA +30%
	2015	2019/2021	2015	2019/2021	2015	2019/2021	2010	
A e B	0,45	0,43	0,45	0,4	0,585	0,52	0,62/0,48	
C	0,38	0,34	0,4	0,36	0,52	0,468	0,40	
D	0,34	0,29	0,36	0,32	0,468	0,416	0,36	0,468
E	0,3	0,26	0,3	0,28	0,39	0,364	0,34	0,442
F	0,28	0,24	0,28	0,26	0,364	0,338	0,33	0,429

STRUTTURE OPACHE ORIZZONTALI E VERTICALI [W/m ² K] DI SEPARAZIONE TRA EDIFICI ED UNITA' IMMOBILIARI CONFINANTI		
ZONA CLIMATICA	EDIFICIO DI RIFERIMENTO	
	2015	2019/2021
Tutte	0,8	



Edificio di Riferimento

85

•INVOLUCRO

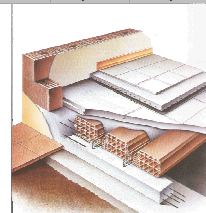
TRASMITTANZA STRUTTURE ORIZZONTALI o INCLINATE DI COPERTURA [W/m ² K]								
VERSO L'ESTERNO, AMBIENTI NON RISCALDATI								
ZONA CLIMATICA	EDIFICIO DI RIFERIMENTO		VALORI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA		VALORI RIQUALIF. ENERG. IN DEROGA +30%		VALORI ATTUALI	VALORI IN DEROGA +30%
	2015	2019/2021	2015	2019/2021	2015	2019/2021		
A e B	0,38	0,35	0,34	0,32	0,442	0,416	0,32	0,416
C	0,36	0,33	0,34	0,32	0,442	0,416		
D	0,3	0,26	0,28	0,26	0,364	0,338		
E	0,25	0,22	0,26	0,24	0,338	0,312	0,3	0,39
F	0,23	0,2	0,24	0,22	0,312	0,286	0,29	0,377



Edificio di Riferimento

•INVOLUCRO

TRASMITTANZA STRUTTURE ORIZZONTALI DI PAVIMENTO [W/m ² K]								
VERSO L'ESTERNO, AMBIENTI NON RISCALDATI O CONTRO TERRA								
ZONA CLIMATICA	EDIFICIO DI RIFERIMENTO		VALORI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA		VALORI RIQUALIF. ENERG. IN DEROGA +30%		VALORI ATTUALI	VALORI IN DEROGA +30%
	2015	2019/2021	2015	2019/2021	2015	2019/2021		
A e B	0,46	0,44	0,48	0,42	0,624	0,546	0,36	0,468
C	0,4	0,38	0,42	0,38	0,546	0,494		
D	0,32	0,29	0,36	0,32	0,468	0,416		
E	0,3	0,26	0,31	0,29	0,403	0,377	0,33	0,429
F	0,28	0,24	0,3	0,28	0,39	0,364	0,32	0,416



Edificio di Riferimento

87

•INVOLUCRO

TRASMITTANZA CHIUSURE TECNICHE TRASPARENTI E OPACHE E DEI CASSONETTI COMPRESIVI DEGLI INFISSI [W/m² K] VERSO L'ESTERNO, AMBIENTI NON RISCALDATI

ZONA CLIMATICA	EDIFICIO DI RIFERIMENTO		VALORI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA	
	2015	2019/2021	2015	2019/2021
A e B	3,2	3	3,2	3
C	2,4	2,2	2,4	2
D	2	1,8	2,1	1,8
E	1,8	1,4	1,9	1,4
F	1,5	1,1	1,7	1



Scompare doppia verifica serramento e vetro

Fattore di trasmissione solare totale g_{gl+sh}		
ZONA CLIMATICA	EDIFICIO DI RIFERIMENTO	
	2015	2019/2021
Tutte	0,35	

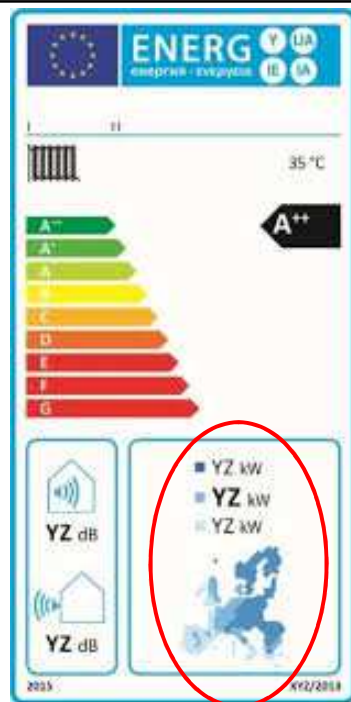
COP minimo della pompa di calore (condizione A7/W35)

Classe energetica A3

COP minimo	Pavim rad	Bi2
Courmayeur	3,8	3,9
Torino	3,2	3,4
Napoli	2,9	3

SEER e SCOP sono legati a profili orari di funzionamento (metodo BIN) per i climi di riferimento.

Etichetta energetica



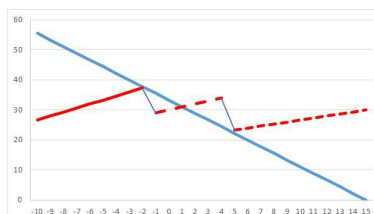
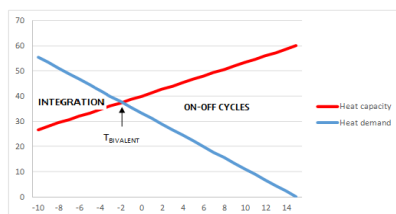
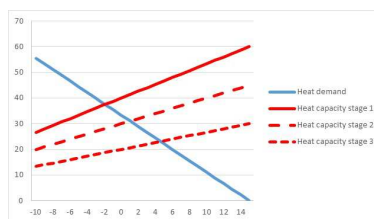
04/06/2019

Filippo Busato

89

SCOP

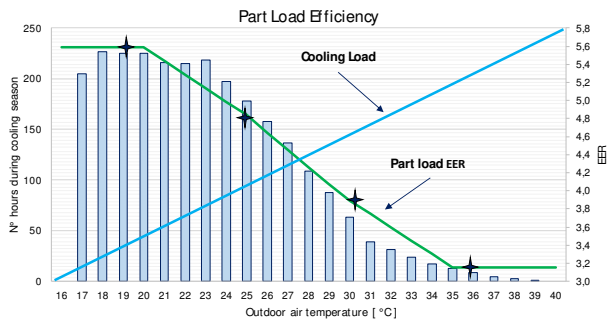
$T_{Bivalent}$ → temperatura esterna alla quale la capacità di riscaldamento dichiarata eguaglia il carico richiesto; sotto ad essa è necessaria una capacità supplementare (resistenza elettrica COP=1) per soddisfare il carico di riscaldamento richiesto



SEER

European cooling season for comfort chillers and air conditioners

Day	Outdoor temperature (hr. total)	Average cooling season (hr. total)
1	17	209
2	18	227
3	19	225
4	20	225
5	21	216
6	22	214
7	23	218
8	24	197
9	25	178
10	26	158
11	27	137
12	28	109
13	29	88
14	30	63
15	31	39
16	32	21
17	33	11
18	34	7
19	35	5
20	36	4
21	37	3
22	38	2
23	39	1
24	40	0



Il carico termico ha andamento lineare tra 0 → 100% (16 → 40 [°C])

Fabbisogni

Fabbisogno	Courmayeur	Torino	Napoli	UDM
Fabbisogno riscaldamento		74	53	28 kWh/m2
Fabbisogno raffrescamento sensibile		2	19	28 kWh/m2
Fabbisogno raffrescamento latente		1	9	14 kWh/m2

Rendimenti

Pav rad

Grandezza	Courmayeur	Torino	Napoli
Quota riscaldamento soddisfatta da caldaia	10%	8%	5%
COP medio	3,80	3,20	2,90
EER medio	3,00	3,00	3,00
rendimento caldaia	102%	102%	102%
EER deumidificatore	3,80	3,80	3,80

Bi2

Grandezza	Courmayeur	Torino	Napoli
Quota riscaldamento soddisfatta da caldaia	10%	8%	5%
COP medio	3,60	3,00	8,00
EER medio	2,90	2,90	2,90
rendimento caldaia	98%	98%	98%
EER deumidificatore	3,80	3,80	3,80

04/06/2019

Filippo Busato

93

Confronto energetico pavimento radiante

Fabbisogno	Courmayeur	Torino	Napoli
Fabbisogno gas riscaldamento (kWh/m2)	7,3	4,2	1,4
Fabbisogno pdc riscaldamento (kWh/m2)	17,5	15,4	9,0
Fabbisogno pdc raffrescamento sensibile (kWh/m2)	1,1	10,3	15,4
Fabbisogno pdc raffrescamento latente (kWh/m2)	0,3	2,5	3,7
Fabbisogno gas inverno (kWh/m2)	7,3	4,2	1,4
Fabbisogno elettrico inverno (kWh/m2)	17,5	15,4	9,0
Fabbisogno elettrico estivo (kWh/m2)	1,4	12,8	19,1
Fabbisogno gas inverno (kWh)	1.233,3	712,5	230,1
Fabbisogno elettrico inverno (kWh)	2.979,5	2.611,8	1.537,6
Fabbisogno elettrico estivo (kWh)	229,6	2.169,7	3.250,4
Consumo			
Fabbisogno gas inverno (Sm3)	129,1	74,6	24,1
Fabbisogno elettrico inverno (kWh)	2.979,5	2.611,8	1.537,6
Fabbisogno elettrico estivo (kWh)	229,6	2.169,7	3.250,4
Fabbisogno gas (Sm3)	129,1	74,6	24,1
Fabbisogno elettrico (kWh)	3.209,1	4.781,5	4.788,0

04/06/2019

Filippo Busato

94

Confronto energetico Bi2

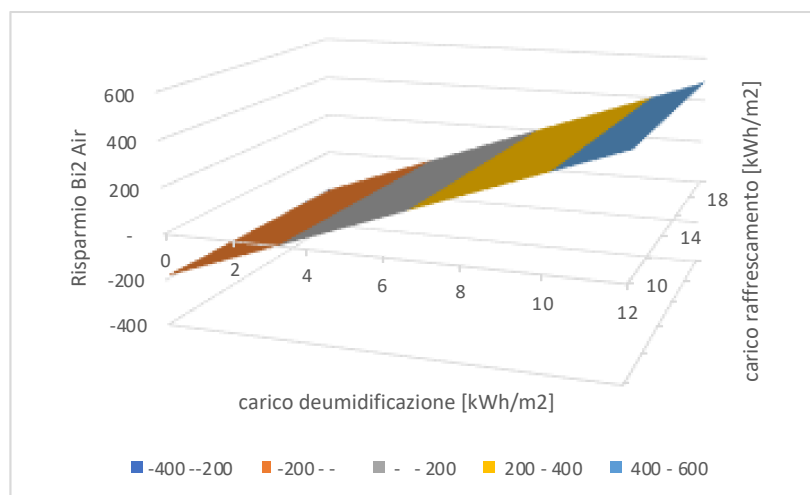
Fabbisogno	Courmayeur	Torino	Napoli
Fabbisogno gas riscaldamento (kWh/m ²)	7,6	4,4	1,4
Fabbisogno pdc riscaldamento (kWh/m ²)	18,5	16,4	9,4
Fabbisogno pdc raffrescamento sensibile (kWh/m ²)	1,0	9,8	14,6
Fabbisogno pdc raffrescamento latente (kWh/m ²)	-	-	-
Fabbisogno gas inverno (kWh/m ²)	7,6	4,4	1,4
Fabbisogno elettrico inverno (kWh/m ²)	18,5	16,4	9,4
Fabbisogno elettrico estivo (kWh/m ²)	1,0	9,8	14,6
Fabbisogno gas inverno (kWh)	1.283,7	741,6	239,5
Fabbisogno elettrico inverno (kWh)	3.145,0	2.785,9	1.592,5
Fabbisogno elettrico estivo (kWh)	175,9	1.661,5	2.489,1
Consumo			
Fabbisogno gas inverno (Sm ³)	134,4	77,7	25,1
Fabbisogno elettrico inverno (kWh)	3.145,0	2.785,9	1.592,5
Fabbisogno elettrico estivo (kWh)	175,9	1.661,5	2.489,1
Fabbisogno gas (Sm ³)	134,4	77,7	25,1
Fabbisogno elettrico (kWh)	3.320,9	4.447,4	4.081,7

04/06/2019

Filippo Busato

95

Analisi di sensitività (carico deumidificazione)

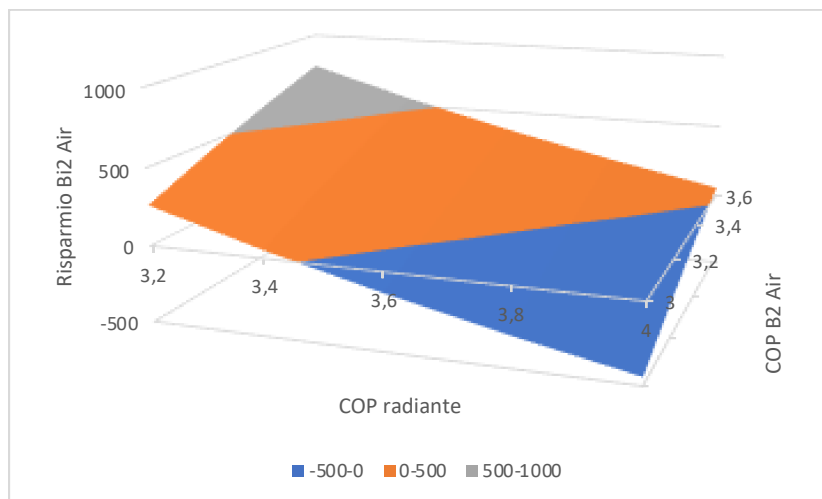


04/06/2019

Filippo Busato

96

Analisi di sensitività (COP, Courmayeur)

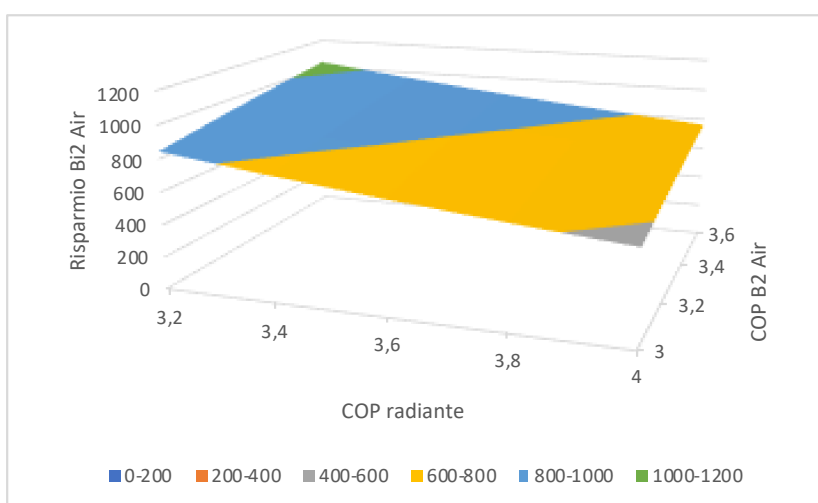


04/06/2019

Filippo Busato

97

Analisi di sensitività (COP, Napoli)



04/06/2019

Filippo Busato

98

6. Valutazioni economiche

04/06/2019

Filippo Busato

99

I costi d'installazione a confronto

Courmayeur

Voce di costo	Radiante	Bi2 Air
Sistema radiante con deumidificazione	€ 23.800,00	
CT	€ 15.745,00	€ 15.745,00
Sistema Bi2		€ 16.855,38
Totale	€ 39.545,00	€ 32.600,38

Torino

Voce di costo	Radiante	Bi2 Air
Sistema radiante con deumidificazione	€ 23.800	
CT	€ 12.745	€ 12.745
Sistema Bi2		€ 16.855
Total	€ 36.545	€ 29.600

Napoli

Voce di costo	Radiante	Bi2 Air
Sistema radiante con deumidificazione	€ 23.800	
CT	€ 10.745	€ 10.745
Sistema Bi2		€ 16.855
Total	€ 34.545	€ 27.600

Il costo dei 3 deumidificatori a espansione diretta (condensati ad acqua di impianto) è pari a circa 6000 €.

04/06/2019

Filippo Busato

100

Flussi di cassa Courmayeur

inflazione prodotti energetici	5%
tasso di attualizzazione	3%
Prezzo energia elettrica	0,22 €/kWh
Prezzo gas	0,9 €/Sm3

Anno	Flusso di cassa semplice		Flusso di cassa attualizzato	
	Radiante	Bi2 Air	Radiante2	Bi2 Air2
0	€ 39.545,00	€ 32.600,38	€ 39.545,00	€ 32.600,38
1	€ 863,35	€ 894,14	€ 838,20	€ 868,10
2	€ 906,52	€ 938,85	€ 854,48	€ 884,96
3	€ 951,84	€ 985,79	€ 871,07	€ 902,14
4	€ 999,43	€ 1.035,08	€ 887,98	€ 919,66
5	€ 1.049,41	€ 1.086,84	€ 905,23	€ 937,51
6	€ 1.101,88	€ 1.141,18	€ 922,80	€ 955,72
7	€ 1.156,97	€ 1.198,24	€ 940,72	€ 974,28
8	€ 1.214,82	€ 1.258,15	€ 958,99	€ 993,19
9	€ 1.275,56	€ 1.321,06	€ 977,61	€ 1.012,48
10	€ 1.339,34	€ 1.387,11	€ 996,59	€ 1.032,14
11	€ 1.406,30	€ 1.456,46	€ 1.015,94	€ 1.052,18
12	€ 1.476,62	€ 1.529,29	€ 1.035,67	€ 1.072,61
13	€ 1.550,45	€ 1.605,75	€ 1.055,78	€ 1.093,44
14	€ 1.627,97	€ 1.686,04	€ 1.076,28	€ 1.114,67
15	€ 1.709,37	€ 1.770,34	€ 1.097,18	€ 1.136,31
Total	€ 58.174,84	€ 51.894,69	€ 53.979,55	€ 47.549,77

04/06/2019

Filippo Busato

101

Flussi di cassa Torino

inflazione prodotti energetici	5%
tasso di attualizzazione	3%
Prezzo energia elettrica	0,22 €/kWh
Prezzo gas	0,9 €/Sm3

Anno	Flusso di cassa semplice		Flusso di cassa attualizzato	
	Radiante	Bi2 Air	Radiante2	Bi2 Air2
0	€ 36.545,00	€ 29.600,38	€ 36.545,00	€ 29.600,38
1	€ 1.175,02	€ 1.100,73	€ 1.140,80	€ 1.068,67
2	€ 1.233,77	€ 1.155,77	€ 1.162,95	€ 1.089,42
3	€ 1.295,46	€ 1.213,56	€ 1.185,53	€ 1.110,58
4	€ 1.360,23	€ 1.274,24	€ 1.208,55	€ 1.132,14
5	€ 1.428,25	€ 1.337,95	€ 1.232,02	€ 1.154,13
6	€ 1.499,66	€ 1.404,84	€ 1.255,94	€ 1.176,54
7	€ 1.574,64	€ 1.475,09	€ 1.280,33	€ 1.199,38
8	€ 1.653,37	€ 1.548,84	€ 1.305,19	€ 1.222,67
9	€ 1.736,04	€ 1.626,28	€ 1.330,53	€ 1.246,41
10	€ 1.822,84	€ 1.707,60	€ 1.356,37	€ 1.270,61
11	€ 1.913,99	€ 1.792,98	€ 1.382,70	€ 1.295,29
12	€ 2.009,69	€ 1.882,63	€ 1.409,55	€ 1.320,44
13	€ 2.110,17	€ 1.976,76	€ 1.436,92	€ 1.346,08
14	€ 2.215,68	€ 2.075,60	€ 1.464,82	€ 1.372,21
15	€ 2.326,46	€ 2.179,38	€ 1.493,27	€ 1.398,86
Total	€ 61.900,28	€ 53.352,61	€ 56.190,48	€ 48.003,80

04/06/2019

Filippo Busato

102

Flussi di cassa Napoli

inflazione prodotti energetici	5%
tasso di attualizzazione	3%
Prezzo energia elettrica	0,22 €/kWh
Prezzo gas	0,9 €/Sm ³

Anno	Flusso di cassa semplice		Flusso di cassa attualizzato	
	Radiante	Bi2 Air	Radiante2	Bi2 Air2
0	€ 34.545,00	€ 27.600,38	€ 34.545,00	€ 27.600,38
1	€ 1.128,80	€ 966,56	€ 1.095,93	€ 938,41
2	€ 1.185,24	€ 1.014,89	€ 1.117,21	€ 956,63
3	€ 1.244,51	€ 1.065,63	€ 1.138,90	€ 975,20
4	€ 1.306,73	€ 1.118,91	€ 1.161,01	€ 994,14
5	€ 1.372,07	€ 1.174,86	€ 1.183,56	€ 1.013,44
6	€ 1.440,67	€ 1.233,60	€ 1.206,54	€ 1.033,12
7	€ 1.512,71	€ 1.295,28	€ 1.229,97	€ 1.053,18
8	€ 1.588,34	€ 1.360,05	€ 1.253,85	€ 1.073,63
9	€ 1.667,76	€ 1.428,05	€ 1.278,20	€ 1.094,48
10	€ 1.751,15	€ 1.499,45	€ 1.303,02	€ 1.115,73
11	€ 1.838,70	€ 1.574,42	€ 1.328,32	€ 1.137,40
12	€ 1.930,64	€ 1.653,14	€ 1.354,11	€ 1.159,48
13	€ 2.027,17	€ 1.735,80	€ 1.380,40	€ 1.182,00
14	€ 2.128,53	€ 1.822,59	€ 1.407,21	€ 1.204,95
15	€ 2.234,96	€ 1.913,72	€ 1.434,53	€ 1.228,34
Total	€ 58.902,98	€ 48.457,35	€ 53.417,76	€ 43.760,53

04/06/2019

Filippo Busato

103