

Gennaio
2025

SPECIALE CALENDARIO 2025

Comfort e Benessere

Comfort Abitativo: gli Impianti radianti sono la soluzione?

Analisi tecnica e simulazioni

Ing. Andrea Gozzi, Edilclima

Introduzione

L'impianto a pannelli radianti rappresenta il riferimento per tutti i nuovi impianti! Vediamo insieme se questa affermazione è effettivamente sempre vera e se basta solo l'impianto suddetto per creare il cosiddetto "comfort".

Dopo una panoramica sulle normative di riferimento, relative al calcolo del carico termico e al dimensionamento dell'impianto radiante, abbiamo simulato un caso pratico di edificio residenziale, considerando le ultime specifiche legislative e gli effetti che hanno introdotto.

Normativa

La progettazione di qualsiasi impianto di riscaldamento o raffrescamento richiede come dato di input il calcolo di potenza di ogni locale da riscaldare e raffrescare.

Le potenze in riscaldamento possono essere determinate secondo la norma UNI EN 12831. Tale norma fornisce metodi di calcolo delle dispersioni termiche e del carico termico in condizioni di progetto. Invece le potenze in raffrescamento possono essere determinate secondo il metodo Carrier.

Questo consente la valutazione distinta dei carichi termici per irraggiamento solare (attraverso i componenti finestrati) e di quelli per trasmissione (attraverso i componenti opachi o finestrati), dei carichi termici per ventilazione e dei carichi termici interni.

Per il dimensionamento degli impianti radianti a pavimento è possibile utilizzare le seguenti normative:

- UNI EN 1264:2021, sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture;
- UNI EN ISO 11855:2021, Sistemi di riscaldamento e raffreddamento radianti integrati.

Tipologia dell'edificio

L'edificio utilizzato come esempio è una villetta, sita nel comune di Padova (con una temperatura esterna minima di -5°C), completamente indipendente, composta da tre livelli di cui quello al piano terra è riscaldato, mentre il piano seminterrato e il sottotetto sono locali non riscaldati.

La superficie calpestabile è di circa 120 m^2 , il rapporto tra la superficie disperdente ed il volume risulta maggiore di 0,9 (tipico per questo tipo di edifici).



Figura 1: simulazione degli ombreggiamenti con EC700 V13

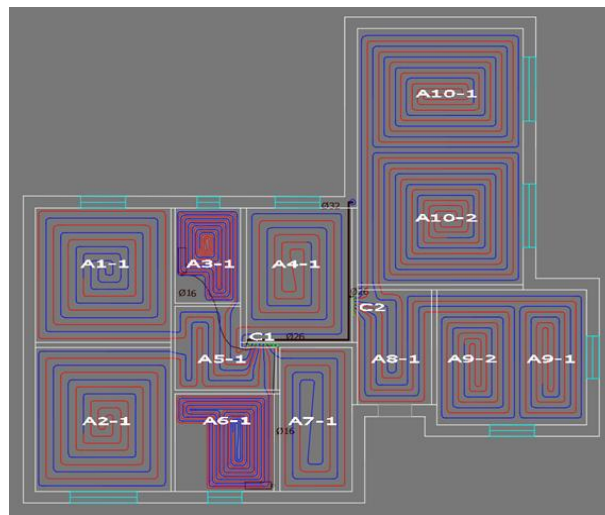


Figura 2: Schema di posa pannelli radianti con EC717 V8

Per maggior chiarezza, nella tabella sottostante sono riportate le caratteristiche geometriche principali e le temperature di progetto per tutti i locali della villetta.

Occorre subito prestare attenzione alla differenza tra i valori di superficie calpestabile (S_c) e di superficie di posa pannelli (S_p): quest'ultimo valore rappresenta la superficie effettivamente disponibile per la posa dei pannelli ed in alcuni casi, ad esempio per i locali ad uso bagno, può essere sensibilmente inferiore rispetto a quella disponibile. La norma UNI EN 12831 consiglia, per il calcolo delle dispersioni dei locali ad uso bagno, una temperatura di progetto di 24°C .

L'insieme di questi due effetti determina una potenza specifica maggiore per i locali ad uso bagno che, non sempre è gestibile solo con l'impianto a pannelli a pavimento.

Le ultime due colonne della tabella riportano le dispersioni totali e per singolo locale, calcolate con il regime normativo della prima del decreto requisiti minimi.

Descrizione	V	H	Sc	Sp	θ_i (Inv.)	θ_e (Est.)	(D.M.26/06/15) 1^ Fase	
	[m ²]	[m]	[m ²]	[m ²]	[°C]	[°C]	fhi (Inv.) [W]	fgi (Est.) [W]
Camera 1	38,7	2,8	13,8	13,3	20	25	635	629
Bagno 1	13,3	2,8	4,8	3,6	24	-	332	-
Camera 2	30,1	2,8	10,8	10,1	20	25	395	441
Soggiorno	90,2	2,8	32,2	31,1	20	25	1574	1894
Ingresso 1	18,1	2,8	6,5	5,9	20	25	256	286
Cucina	42,9	2,8	15,3	14,5	20	25	1007	2758
Ingresso 2	22,1	2,8	7,9	7,2	20	25	320	355
Bagno 2	20,6	2,8	7,4	4,3	24	-	458	-
Camera 3	41,4	2,8	14,8	14	20	25	711	1006
Disimpegno	14,9	2,8	5,3	2,4	20	25	92	141
Totale edificio	332	-	119	106	-	-	5780	7510

Tabella 1: dati geometrici e potenze di calcolo.

Calcolo della potenza invernale

Per evidenziare l'effetto dell'evoluzione normativa sul calcolo delle dispersioni in termini di potenza si è deciso di verificare lo stesso edificio con le normative che si sono susseguite in questi ultimi 30 anni.

Ipotizzando che l'edificio venga costruito con prestazioni al limite della normativa, abbiamo realizzato otto modelli con il programma EC700 v.13 di Edilclima (appena al di sotto del limite fissato dalla normativa di riferimento dell'epoca) utilizzando la stessa planimetria e le stesse condizioni al contorno.

L'edificio che risulta dalle varie simulazioni è sostanzialmente diverso per quanto concerne la prestazione energetica sia dal lato involucro che dal lato impianto; infatti si passa da un edificio non isolato con generatore a gas tradizionale ad uno "NZEB" pesantemente isolato, con impianto VMC, recuperatore, pompa di calore e impianto fotovoltaico.

Da queste simulazioni abbiamo realizzato la tabella 2 e la tabella 4.

La prima tabella è così composta:

- nelle due righe iniziali sono presenti tutti i regimi normativi e le loro corrispettive date di entrata in vigore;
- la sezione centrale riporta le **potenze specifiche di progetto** (W/m²) per ogni singolo locale e per l'intero edificio: il colore differente è legato alla massima potenza specifica che può erogare un pannello radiante secondo norma UNI EN 1264;
- nell'ultima riga è calcolata la percentuale (rispetto all'intero edificio) che indica di quanto sono diminuite le dispersioni rispetto al caso non isolato.

Regime normativo	Non isolato	Legge 10/91	D.Lgs. 192/05	D.Lgs. 311/06 (1^ fase)	D.Lgs. 311/06 (2^ fase)	D.P.R. 59/09	D.M. 26/06/15 (1^ fase)	D.M. 26/06/15 (2^ fase) NZEB
In vigore dal	-	17/01/91	08/01/05	02/02/07	01/01/08	25/06/09	01/10/15	01/01/21
Descrizione	Potenza invernale fhi [W/m²]							
Camera 1	140	96	85	81	67	58	48	41
Bagno 1	241	186	174	169	151	141	92	85
Camera 2	111	75	69	66	55	49	39	35
Soggiorno	131	89	81	77	60	60	51	45
Ingresso 1	88	55	50	46	42	46	43	40
Cucina	177	133	121	117	97	95	69	62
Ingresso 2	140	91	78	74	63	54	44	37
Bagno 2	284	229	215	208	186	168	107	98
Camera 3	141	107	97	93	74	60	51	45
Disimpegno	136	82	78	70	69	67	38	35
Totale edificio	146	104	94	66	75	69	54	48
Variazione [%]	0	29	35	38	49	52	63	67

Tabella 2: risultati della potenza specifica invernale al variare dei regimi normativi.

La tabella 3 riporta le rese teoriche in riscaldamento legata alle temperature massime superficiali del pavimento e del soffitto radiante secondo UNI EN 1264.

Descrizione	Pavimento				Soffitto			
	Ottimale	Occupat a	Bagni	Marginale	Ottimale	h ≤ 2,7 [m]	Bagni	h > 2,7 [m]
T. (locale) [°C]	20	20	24	20	20	20	24	20
T. Pavimento [°C]	26	29	33	35	29	33	37	40
Resa [W/m ²]	64	100	100	175	59	85	85	130

Tabella 3.: temperature del pavimento e rese teoriche correlate (riscaldamento).

Nel caso in cui la potenza da fornire al locale sia così elevata (non è il caso dell'esempio trattato) da portare una temperatura superficiale del pavimento maggiore di 29°C, si può suddividere l'area in due zone: una centrale, dove usualmente si sosta, e un'altra marginale, larga non più di un metro, dove si può arrivare fino a 35°C.

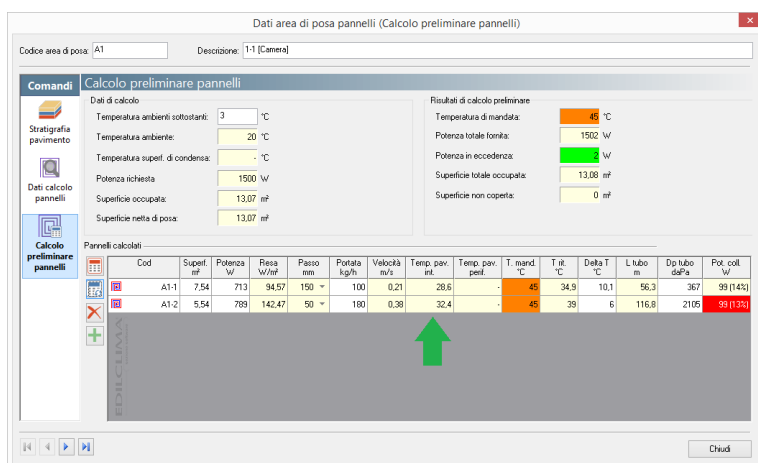


Figura 3: pre-dimensionamento tabellare con EC717 V8

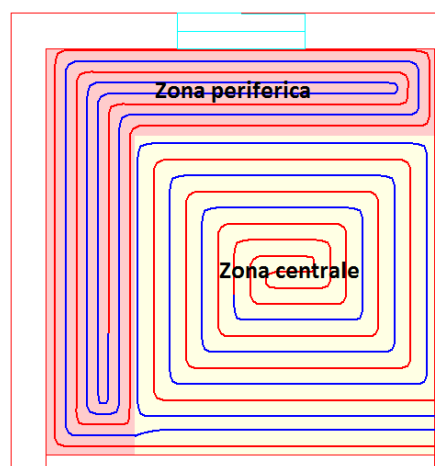


Figura 4: esempio di posa con zona periferica

In caso di soffitti radianti, quando l'altezza dei locali supera 2.7 m, è consentito utilizzare temperature superficiali medie superiori a 33 °C purché sia verificato il limite fisiologico degli occupanti con la EN ISO 7730. Discorso analogo per le pareti radianti quando la temperatura sale oltre i 40 °C.

Per approfondire l'argomento si veda il focus al fondo di questo articolo: [Focus: il calcolo del comfort secondo EN ISO 7730](#)

Analisi dei risultati in riscaldamento

Per quanto riguarda la tipologia di edificio e la destinazione d'uso residenziale, secondo quanto emerso dalle simulazioni eseguite, sarebbe consigliato un impianto radiante a pavimento o a soffitto solo dopo l'introduzione del D.Lgs. 192/05.

Il caso non isolato porterebbe a temperature superficiali del pavimento superiore a quelle consentite dalla normativa, invece l'estremo opposto è rappresentato dalla seconda fase del D.M.26/06/15 dove l'impianto riesce a gestire completamente le dispersioni senza l'aggiunta di nessun elemento di integrazione.

Ovviamente questo è solo un esempio ed ogni edificio ha un suo carico termico, quindi prima di partire verso una determinata scelta si consiglia **sempre** di determinare il **carico termico specifico** per ciascun locale (W/m²).

Calcolo della potenza estiva

Fino all'emanazione del D.P.R. 59/09 (in vigore dal 25/06/09) non c'erano vincoli espressamente definiti sulla quantità massima di energia estiva. Era quindi compito esclusivo del progettista architettonico che, in base alla propria esperienza, doveva realizzare le misure atte a ridurre il più possibile i carichi termici estivi. Se tali valutazioni non venivano fatte in modo opportuno, ci si poteva trovare con edifici dai carichi estivi così elevati da rendere molto difficile e dispendiosa una soluzione impiantistica.

Se volete vedere un esempio di questo tipo guardate ["La casa invisibile di Joshua Tree"](#).



Figura 5: La casa invisibile di Joshua Tree

Come per il calcolo invernale, abbiamo realizzato un'ulteriore tabella che indica come varia la potenza estiva con l'applicazione dei vincoli di legge.

Nella tabella 4 viene indicata la **potenza sensibile di progetto** (W/m^2) con colorazioni diversificate in base alla temperatura minima del pavimento.

Regime normativo	Non Isolato	DPR 59/09	DM 26/06/15 (1ª fase)	DM 26/06/15 (2ª fase) NZEB
In vigore	-	25/06/2009	01/10/2015	01/01/2021
Descrizione	Potenza estiva sensibile fgl,sen [W/m^2]			
	[W/m^2]	[W/m^2]	[W/m^2]	[W/m^2]
Camera 1	80	42	33	27
Camera 2	65	37	29	24
Soggiorno	89	60	46	37
Ingresso 1	61	45	34	28
Cucina	266	180	162	109
Ingresso 2	78	43	34	31
Camera 3	134	80	57	39
Disimpegno	95	73	46	37
Totale edificio	107	68	55	41
Variazione [%]	0	36	49	62

Tabella 4: risultati della potenza specifica estiva al variare dei regimi normativi.

La tabella 5 riporta le rese teoriche in raffrescamento legate alle temperature superficiali minime e all'umidità relativa massima sia per pavimento che per soffitto.

Descrizione	Pavimento			Soffitto		
	Resa Minima	Resa Media	Resa Massima	Resa Minima	Resa Media	Resa Massima
T. locale [°C]	25	25	25	25	25	25
T. pavimento [°C]	21	19	18	21	19	18
UR % limite	79	70	65	79	70	65
Resa [W/m^2]	28	42	49	43	65	76

Tabella 5: temperatura del pavimento, soffitto e relative rese teoriche (raffrescamento).

Analisi dei risultati in raffrescamento

Analizzando il carico estivo, anche nel caso considerato, pure rispettando gli attuali limiti di legge, abbiamo delle rientrate tali da dover abbinare all'impianto sempre un sistema di integrazione. Tale sistema si rende strettamente necessario per due motivi: il radiante non gestisce il carico latente (effetto cantina assicurato) e la potenza da asportare potrebbe non essere sufficiente per tutti locali.

Una tipologia di impianto che potrebbe essere adottata è quella riportata in figura di seguito ovvero PdC aria-acqua, VMC + batteria ed integrazione in raffrescamento con ventil, canalizzato per la zona più alto carico.

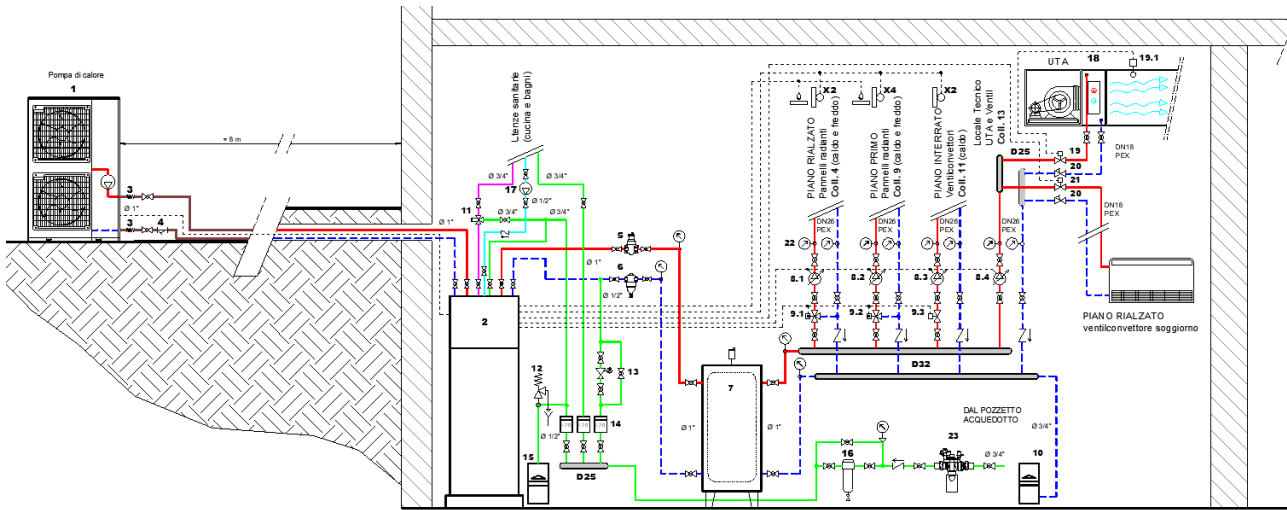


Figura 6: schema tipico per casa unifamiliare di un impianto a pannelli radianti e sistema VMC centralizzato con trattamento aria.

Considerazioni finali

L'impianto radiante risulta sicuramente una scelta vincente per motivi di igiene e di non invasività, ma per ottenere il corretto funzionamento del sistema e anche il cosiddetto "comfort termico" non ci si può affidare esclusivamente alla tipologia impiantistica ma occorre sempre eseguire una verifica del sistema Edificio-Impianto che tenga conto delle effettive dispersioni sia in regime invernale che estivo.

Se non eseguiamo questo tipo di verifica rischiamo di utilizzare temperature di mandata troppo elevate (o troppo basse) per gestire gli alti carichi termici compromettendo il comfort termico e in alcuni casi anche la prestazione energetica.

Viceversa qualora l'edificio abbia un carico termico specifico basso, esempio edificio isolato, il sovradimensionamento dell'impianto radiante potrebbe non essere un problema, in quanto la regolazione, di tipo climatico, diminuirebbe la temperatura a valori più bassi, che in presenza di pompe di calore, porterebbe anche ad un aumento del rendimento.

Focus: il calcolo del comfort secondo EN ISO 7730

La norma di riferimento per il calcolo del comfort è la EN ISO 7730.

Essa, come si legge nella sua premessa, nasce pensata per gli uffici ma risulta in realtà applicabile a qualunque tipologia di ambiente.

Il principio di base su cui si basa la norma è il bilancio termico del corpo umano, il quale risulta influenzato da tre fattori principali: l'attività che si sta compiendo, l'abbigliamento indossato e i parametri ambientali che circondano l'individuo quali temperatura, velocità dell'aria e temperatura media radiante.

Il comfort dell'individuo all'interno di un ambiente climatizzato viene quindi stimato eseguendo un'equazione di bilancio termico ed esprimendo il risultato con due fattori:

- PMV, Predicted Mean Vote, rappresentante la sensazione termica provata, misurata in una scala di valori che si estende da -5 a +5;
- PPD, Predicted Percentage Dissatisfied, rappresentante la percentuale di individui insoddisfatti della sensazione termica provata nello specifico ambiente.

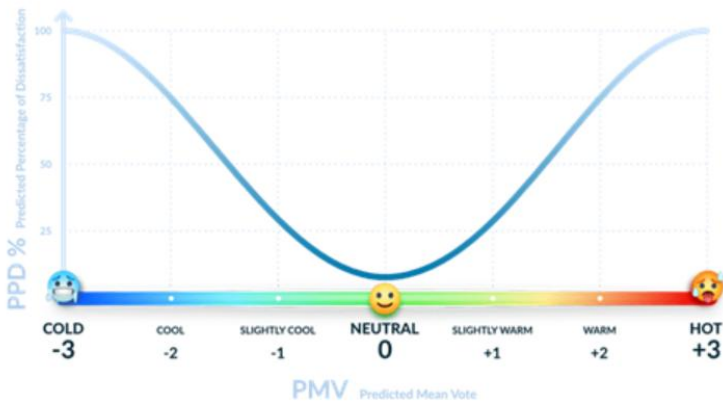


Figura 3 La teoria del benessere termico (Fonte: fybra.co)

All'interno dell'Annex A della EN ISO 7730 vengono infine indicate 3 categorie A, B e C, indicate in ordine di bontà dei risultati, nelle quali si ricade a seconda dei valori di PMV e PPD ottenuti dalla valutazione del bilancio energetico.

Categoria	PPD [%]	PMV [-]
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7

Tabella 3 Categorie per il calcolo del comfort

Il calcolo del comfort può essere eseguito mediante l'uso di un software che esegua valutazioni di prestazione energetica in regime dinamico orario. Con EC700, abbinato al modulo EC701, è possibile attivare tale calcolo ed eseguire una valutazione, locale per locale, dei valori di PMV e PPD.

Nel caso del villino residenziale in esame, nonostante non venissero superate le temperature superficiali medie previste dalla norma di riferimento per la progettazione del sistema radiante, si è comunque proceduto alla valutazione del comfort con calcolo degli indici di PMV e PPD.

Più in dettaglio si è impostato un calcolo dinamico orario prevedendo un profilo di utilizzo dell'abitazione tipico di una villetta indipendente andando poi a impostare uno specifico profilo di utilizzo dei sistemi di chiusure oscuranti per i locali con esposizione a sud pieno per evitare un eccessivo ingresso di apporti solari gratuiti nelle ore centrali della giornata nel periodo estivo.

Dal calcolo sono stati esclusi il disimpegno e i bagni, locali in cui non è prevista una presenza continuativa di individui.

Il risultato ottenuto ha comprovato la buona riuscita della progettazione dell'edificio in quanto i valori di comfort si sono attestati su categorie A e B.

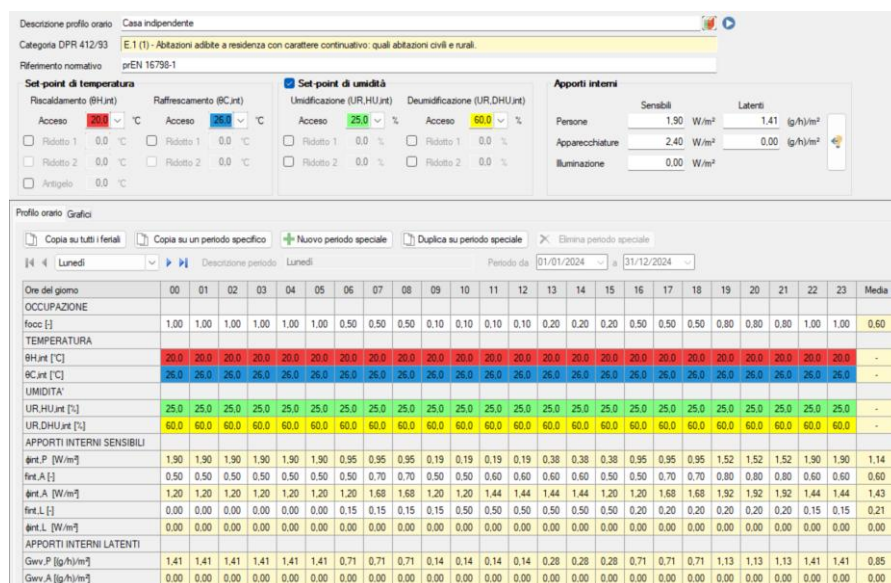


Figura 4 Il profilo orario impostato per la zona termica Villetta



Figura 5 Il risultato del calcolo degli indici di comfort sul locale Camera

Dettagli - Voto medio previsto (PMV) e percentuale prevista di insoddisfatti (PPD)									
Locale	Descrizione	Verifica	Categoria minima	Inverno			Estate		
				PMV [-]	PPD [%]	Categoria	PMV [-]	PPD [%]	Categoria
1	Camera	Positiva	B	-0,28	6,61	B	0,21	5,90	B
3	Camera	Positiva	B	-0,27	6,53	B	0,28	6,61	B
4	Soggiorno	Positiva	B	-0,28	6,63	B	0,34	7,36	B
5	Ingresso 1	Positiva	B	-0,27	6,51	B	-0,06	5,07	A
6	Cucina	Positiva	B	-0,29	6,71	B	0,48	9,89	B
7	Ingresso 2	Positiva	B	-0,28	6,63	B	0,34	7,39	B

Figura 6 I risultati di calcolo degli indici di comfort