



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Carlo Antonio Stival
via A. Valerio 6/1
34127 Trieste
+390405583489
cstival@units.it

ARGOMENTO

24

Benessere, igiene e salute dell'utenza

Comfort termico negli spazi interni

Laboratorio di **Costruzione dell'Architettura**
Corso di **Tecnologie e soluzioni edilizie**
per la **sostenibilità ambientale**

Classificazione delle esigenze: BSI (1)

classe	esigenze	requisiti	
BSI. Benessere, igiene e salute dell'utente	Benessere termico degli spazi esterni	BSI.1.1	Riduzione di scambi termici radiativi tra persona e superfici circostanti in periodi di sovrariscaldamento
		BSI.1.2	Aumento di scambi termici radiativi in periodi di sottoriscaldamento
		BSI.1.3	Controllo degli effetti del vento dominante invernale
		BSI.1.4	Controllo degli effetti del vento dominante estivo
	Benessere termico degli spazi interni	BSI.2.1	Controllo adattativo delle condizioni di comfort termico
	Benessere visivo degli spazi esterni	BSI.3.1	Riduzione degli effetti di disturbo visivi
	Benessere visivo degli spazi interni	BSI.4.1	Illuminazione naturale
	Benessere acustico negli spazi esterni	BSI.5.1	Protezione degli spazi d'attività esterni da fonti di rumore esterne agli spazi stessi
	Benessere acustico negli spazi interni	BSI.6.1	Protezione degli spazi interni da fonti di rumore
BSI.6.2		Qualità acustica dell'organismo edilizio	

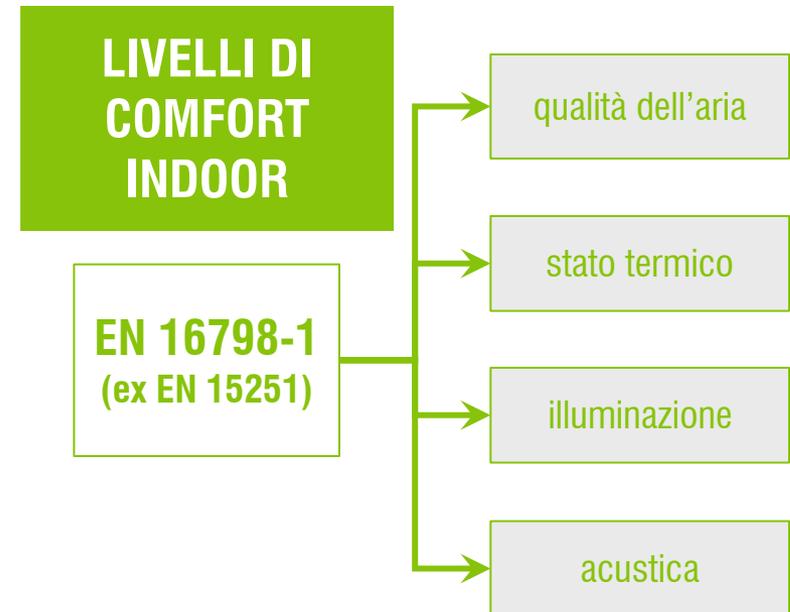
24.1

Equilibrio termico e comfort termico

Riferimenti di benessere indoor

Già con la direttiva 2002/91/CE si richiedeva che i **requisiti minimi** di **rendimento energetico** dovessero tener conto delle **condizioni** generali del **clima** degli **ambienti interni** allo scopo di **evitare** possibili **effetti negativi**.

Sulla base del lavoro sviluppato dal gruppo CEN/BT/WG 173 "Energy Performance of Buildings Project Group" sono state estese circa 40 norme europee, che stabiliscono metodologie di calcolo inerenti il rendimento energetico negli organismi edilizi ed il **comfort** degli **ambienti indoor**. In particolare è decisivo l'apporto fornito dalla norma **EN 15251:2008** inerente i **livelli di comfort**.



Riferimenti di benessere indoor

UNI 16798-1:2019 – CATEGORIE DI ASPETTATIVA PER BENESSERE E SALUBRITÀ NEGLI AMBIENTI INDOOR

1

alto livello di aspettativa, adeguato a spazi occupati da utenze sensibili e con particolari necessità, quali disabili ed anziani

2

medio livello di aspettativa, da garantire in interventi di nuova costruzione e di ristrutturazione

3

livello accettabile, o moderato, di aspettativa, riferibile ad organismi edilizi esistenti

4

livello inferiore al minimo accettabile, applicabile ed accettabile solo per alcuni periodi limitati dell'anno

Bilancio termico dell'individuo

Il benessere termico è definito a partire dalle **sensazioni termiche** degli individui, ed è quindi legato alla **termoregolazione** del **corpo umano**.

Per la sopravvivenza dell'individuo, è necessario che il corpo umano sia **in equilibrio con l'ambiente** in cui si trova, vale dire che l'**energia scambiata** con l'ambiente deve essere **pari** all'**energia prodotta** dal **metabolismo**; la stazionarietà della temperatura corporea che porta alla confortevole sensazione di equilibrio si definisce **omotermia** e può essere espressa attraverso il bilancio:

$$(M - W) - E - C_{resp} - (R + C) = \Delta Q$$

Calore accumulato. Se il comfort è ricercabile annullando tale valore, è necessario che i contributi che squilibrano il bilancio debbano essere ripresi e contenuti da un opportuno sistema di condizionamento.

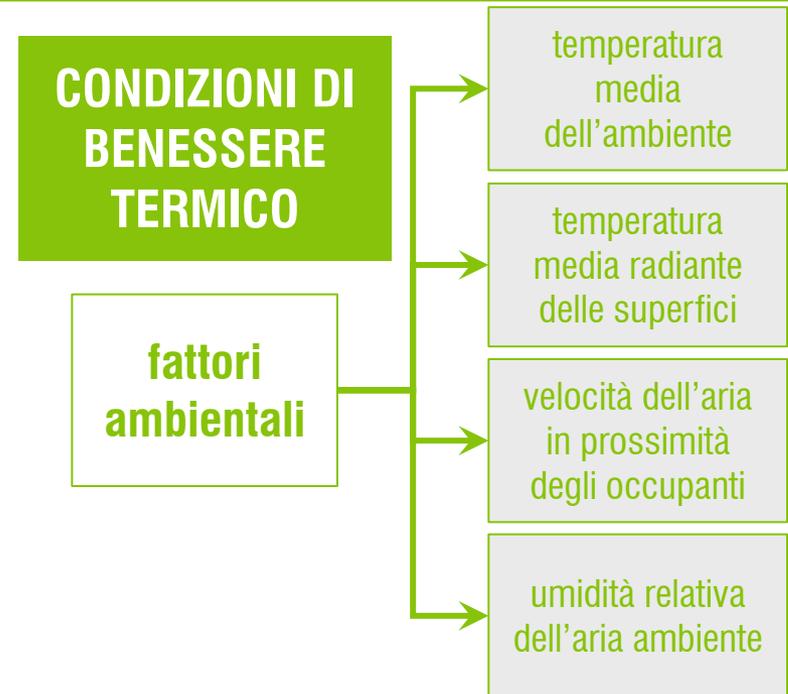
nel quale compaiono i seguenti contributi:

- l'**energia interna metabolica M**, funzione dell'attività svolta dall'individuo, normalmente riferito all'unità di superficie corporea;
- il **lavoro meccanico W** svolto dall'individuo;
- gli **scambi termici per evaporazione E**, correlabili ai contributi di traspirazione (diffusione del vapore acqueo) e sudorazione. I due contributi dipendono dalla temperatura dell'epidermide, da temperatura, pressione umidità e velocità dell'aria, infine dalla permeabilità al vapore dell'abbigliamento;
- gli **scambi convettivi** legati alla **respirazione C_{resp}**;
- gli **scambi termici per irraggiamento R** e per **convezione C**. Lo scambio termico per irraggiamento dipende dalla **resistenza termica** offerta dal **vestiario**, dalla sua temperatura, dalla **temperatura media radiante** delle **superfici** che costituiscono il perimetro dell'ambiente.

Bilancio termico dell'individuo

Il comfort in un ambiente confinato può essere descritto individuando fattori legati all'individuo:

- la **temperatura dell'aria nell'ambiente confinato** t_a ; questo parametro influisce direttamente sulla sensazione di benessere termico poiché regola lo scambio termico per convezione;
- la **temperatura media radiante delle superfici** che delimitano l'ambiente t_{mr} ; si assume per semplificare il calcolo degli scambi termici per irraggiamento;
- la **velocità v_a** assunta **dall'aria** nell'ambiente ed in prossimità degli occupanti;
- l'**umidità relativa U_R** nell'aria ambiente, che determina gli scambi di vapore acqueo tra l'individuo e l'ambiente;



Grandezze	T_{oper}	$t_{1,1} - t_{0,1}$	T_{Floor}	$T_{RadFloor}$	v_{aria}	u_{rel}
Condizioni invernali	$22 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$	$< 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	$19 \div 26 \text{ } ^\circ\text{C}$	$29 \text{ } ^\circ\text{C}$	$0,12 \div 0,15 \text{ m/s}$	$40 \div 60\%$
Condizioni estive	$24,5 \pm 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$	$< 3 \text{ } ^\circ\text{C}$	T_{aria}	T_{aria}	$0,25 \div 0,30 \text{ m/s}$	$30 \div 70\%$

Bilancio termico dell'individuo

e fattori ambientali, tipici dello spazio confinato:

- il **tasso metabolico M**, potenza termica generata dagli occupanti e dipendente dall'attività svolta; si impiega un'unità di misura incoerente, il **met** (58,2 W/m²) che equivale all'attività di una persona di media corporatura seduta, in quiete. Se $M > 2 \text{ met}$, è opportuno ridurre la temperatura indoor per agevolare la dissipazione di calore;
- la **resistenza termica dell'abbigliamento I_{CL}** dell'utenza, misurata anche in questo caso con una unità incoerente, il **clo**, pari ad una resistenza termica di 0,155 m²K/W. Il valore è tipico di un abbigliamento leggero che copra interamente la superficie corporea; la resistenza termica di un tipico abbigliamento estivo è pari a 0,5 clo, in inverno invece l'aggiunta di un cappotto al ricorrente abbigliamento può portare ad una resistenza termica complessiva di 2 clo.



ATTIVITÀ	ENERGIA METABOLICA [met]
Riposo disteso	0,8
Riposo seduto, rilassato	1,0
Attività sedentaria	1,2
Attività leggera in piedi	1,6
Attività media in piedi	2,0
Cammino a 2 km/h	1,9
Cammino a 3 km/h	2,4
Cammino a 4 km/h	2,8
Cammino a 5 km/h	3,4

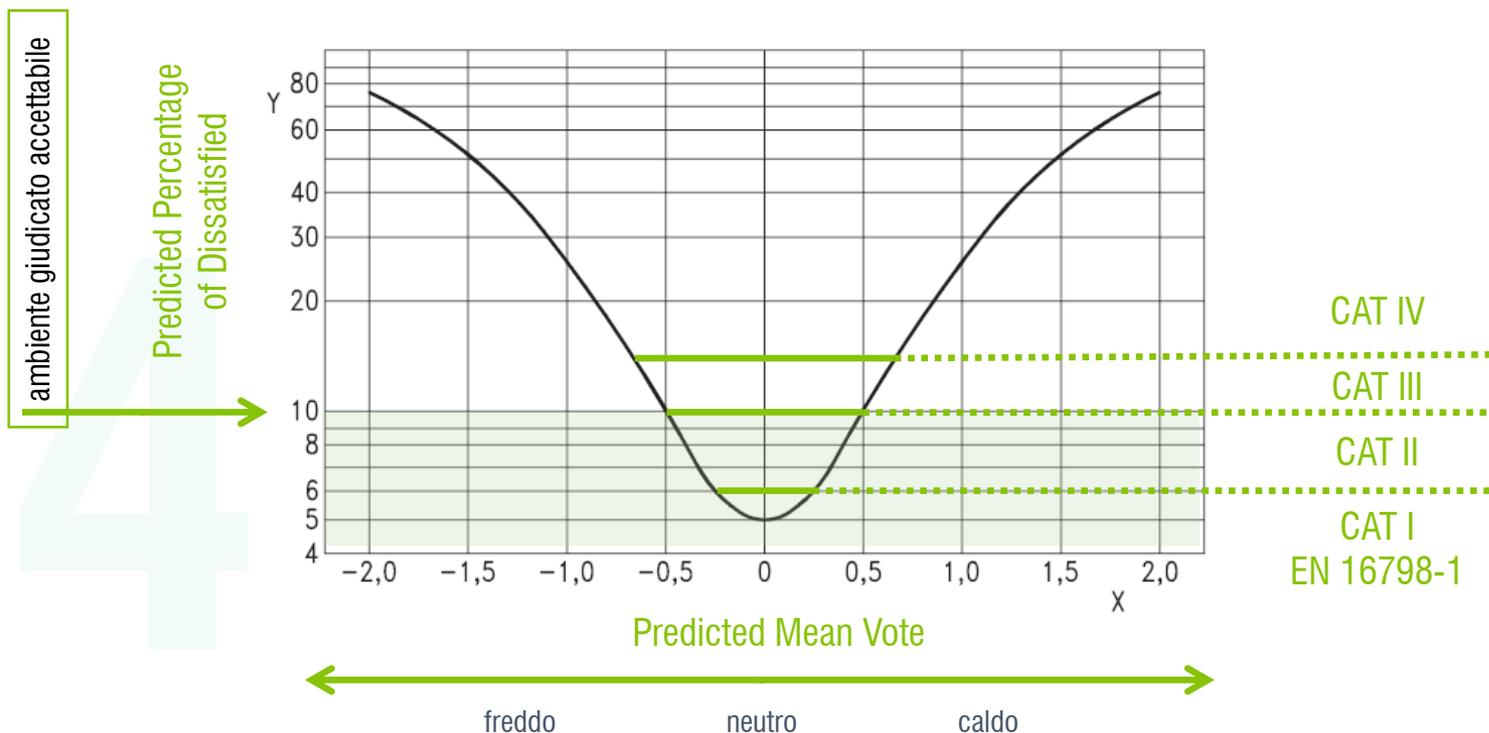
Condizioni di comfort termico

La condizione di comfort termico, quindi, si manifesta quando l'individuo esprime un giudizio di soddisfazione, ossia di **neutralità termica**, nei confronti dell'ambiente.

Se dunque una generica equazione del benessere è:

$$comf = f(M, I_{CL}, t_a, v_a, \varphi_a, t_{mr}, t_{dress}, E) = 0$$

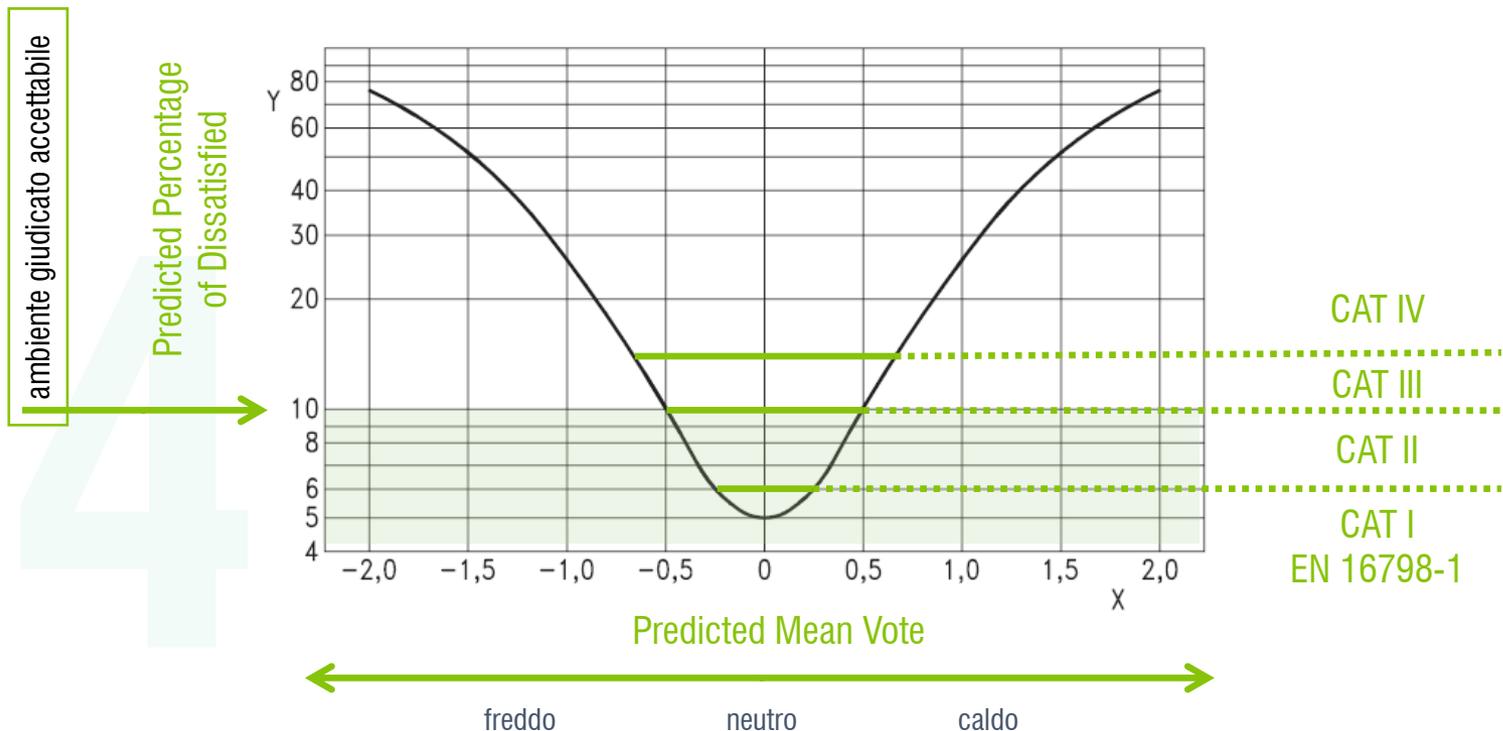
la funzione "comf" può essere azzerata secondo approcci diversi, ad esempio **controllando alcuni parametri** e mantenendo immutati altri.



Condizioni di comfort termico

Si è così introdotta una scala di voti da assegnare ad un ambiente confinato, compresa entro l'intervallo [-3;+3]. Tale indice, denominato PMV (*Predicted Mean Vote*), è ottenibile per via sperimentale secondo indicatori statistici.

Un ambiente è giudicato accettabile quando la percentuale prevista di utenti insoddisfatti, valutabile con l'indice PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) è inferiore al 10%; a questa percentuale corrisponde un valore assoluto di PMV inferiore a 0,5.

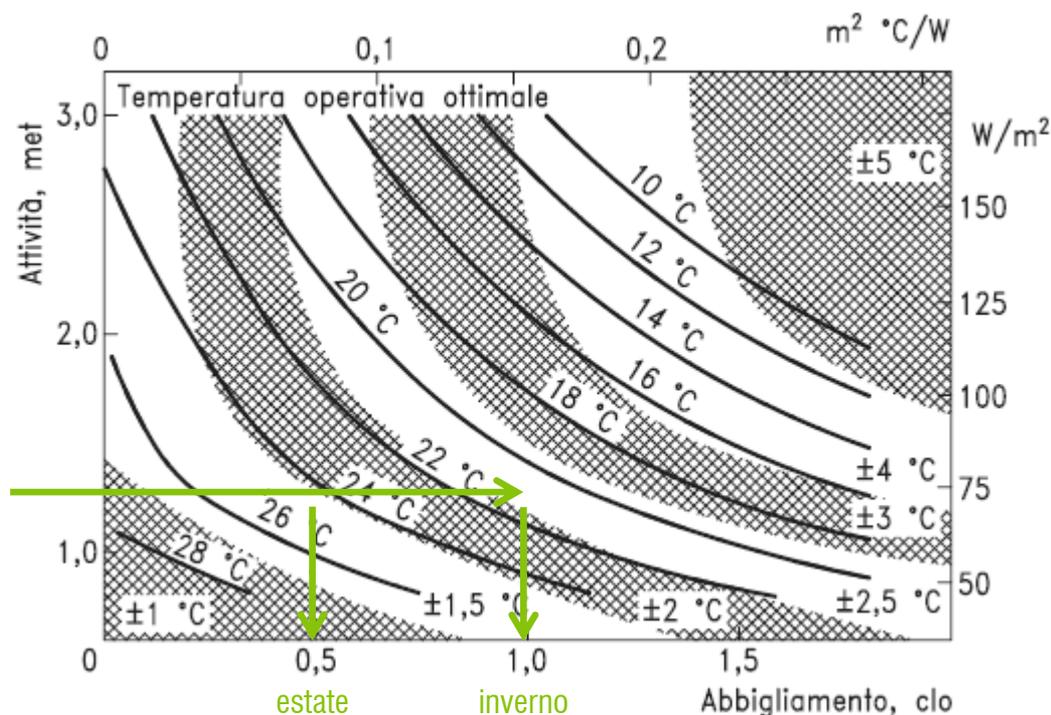


Condizioni di comfort termico

Se gli **scambi radiativi** dipendono dalla **temperatura superficiale** delle pareti, e gli **scambi convettivi** dalla **temperatura dell'aria**, per la determinazione delle condizioni di benessere si impiega la **temperatura operativa**, dipendente dalla temperatura dell'aria, dalla temperatura media radiante e, dalla velocità dell'aria.

È quindi possibile descrivere l'andamento del **PMV** in funzione dei **fattori tipici dell'individuo**, M e I_{cl} : si evidenziano così le **curve di benessere** al variare della **temperatura dell'aria**. Per bassi valori di resistenza termica del vestiario e di metabolismo sono preferibili temperature elevate, e viceversa.

attività leggera, sedentaria



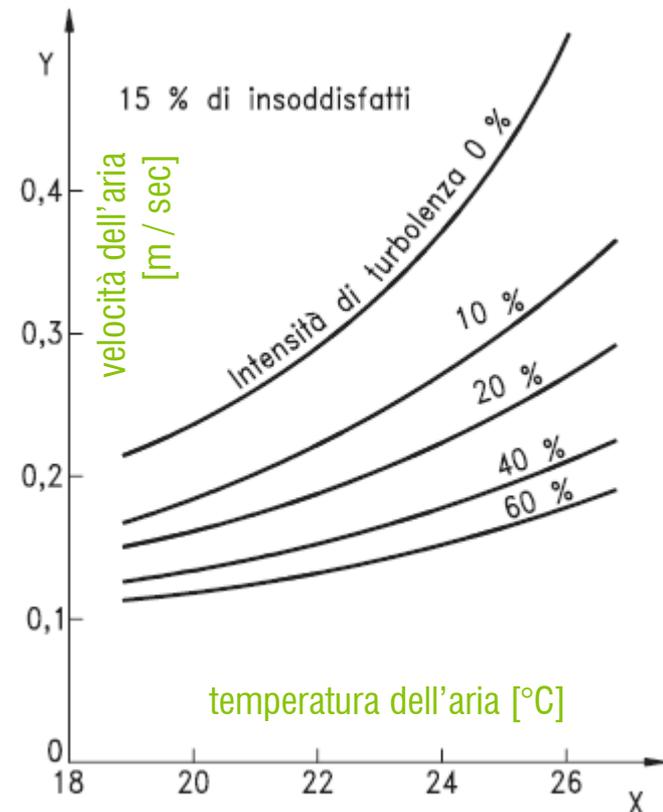
Valore ottimale della temperatura operativa, corrispondente a $PMV=0$, in funzione dell'attività svolta e dell'abbigliamento; l'umidità relativa nell'ambiente si suppone pari al 50%

Condizioni di comfort termico

Se i due indici PMV e PPD permettono di individuare condizioni accettabili di comfort termico in ambienti confinati per la maggior parte dell'utenza, restano comunque **esclusi** da questa stima **eventuali effetti di discomfort** che interessino una specifica parte corporea, ossia **disagi locali**. I più frequenti sono causati dalle **correnti d'aria**. In questo caso è possibile stimare la **percentuale di persone insoddisfatte** attraverso l'indicatore DR (**Draught Rating**), funzione della temperatura dell'aria, della velocità della corrente e dell'intensità locale dell'aria.

Il rischio da corrente d'aria è ovviamente inferiore per attività che sviluppano un tasso metabolico superiore alle attività sedentarie.

Il **rischio** derivante si può **contenere** mantenendo la **velocità locale** delle correnti d'aria entro il valore guida di **0,2 m/sec**, comunque variabile in base alla temperatura interna.



24.2

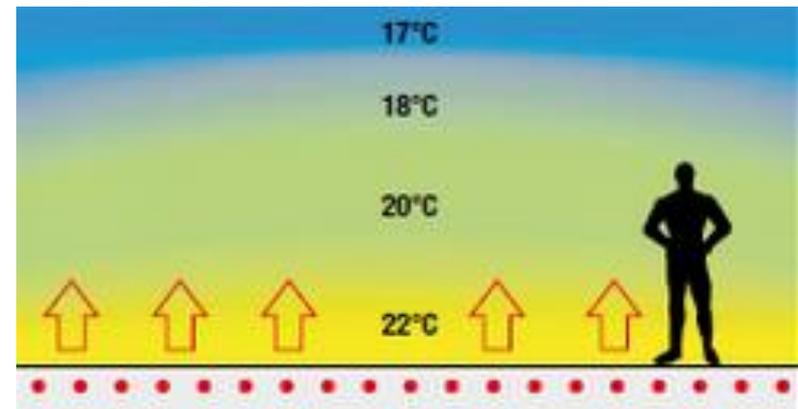
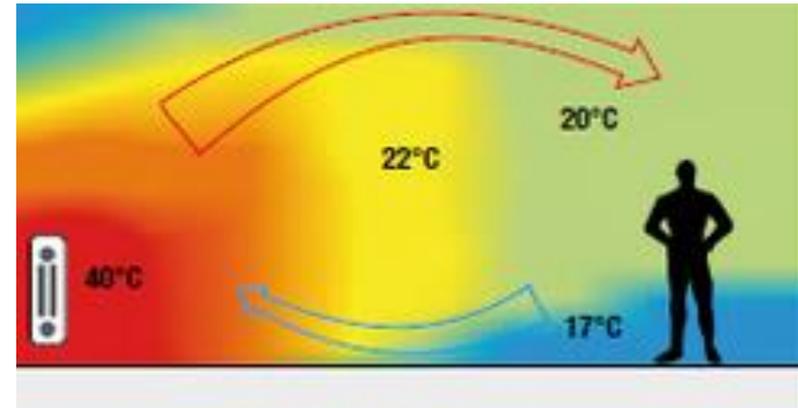
Controllo adattativo delle condizioni di comfort termico

Relazione con i terminali di emissione

Un notevole disagio locale può essere causato da un elevato **gradiente verticale** della **temperatura** dell'aria indoor, che induce stati termici diversi a testa e caviglie. Tale condizione è strettamente connessa alla **tipologia** di **condizionamento** invernale, e specificamente ai **terminali di emissione**.

Il riscaldamento ottimale in tal senso deve garantire:

- un congruo ed **equilibrato riscaldamento** delle **superfici interne**;
- una quota **preponderante** di **scambio termico** per irraggiamento;
- una ridotta temperatura superficiale dei terminali e, conseguentemente, una **ridotta temperatura** di circolazione del **fluido termovettore**;
- ridotti gradienti di temperatura tra le diverse superfici;
- **trascurabili fenomeni** di sollevamento e **circolazione** delle **polveri**.



Relazione con i terminali di emissione

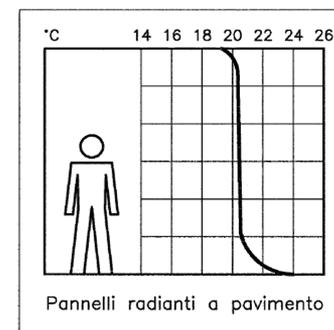
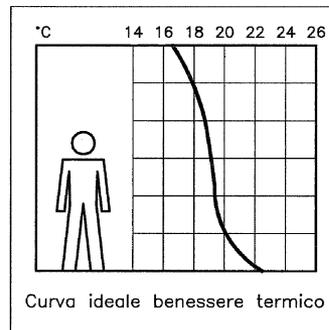
radiatori, convettori

Comportano un'asimmetria nella distribuzione della temperatura dell'aria indoor.

Permettono la circolazione di pulviscolo e di polveri.

pannelli radianti a pavimento

Sono i terminali più adatti, privilegiando infatti la trasmissione del calore per irraggiamento. Evitano inoltre la combustione del pulviscolo atmosferico e la circolazione della polvere.

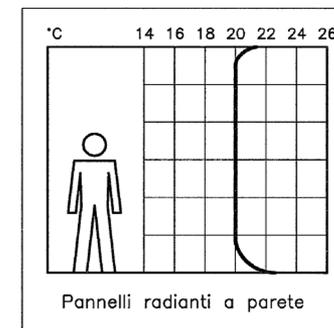
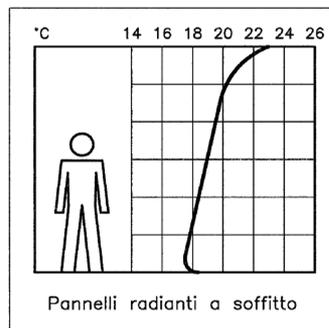
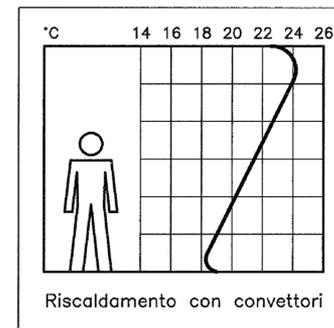
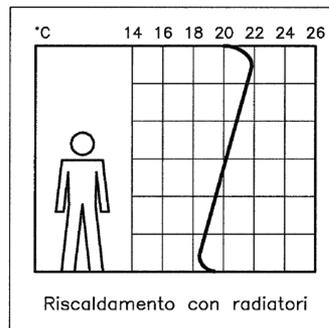


pannelli radianti a parete

Permettono l'ottimale distribuzione della temperatura in ambiente, ma rendono non fruibile la parete d'installazione

pannelli radianti a soffitto

Poco efficaci, poiché creano la stratificazione dell'aria calda ed un conseguente layer di aria fredda a quota pavimento.

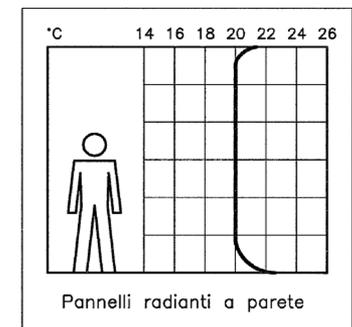
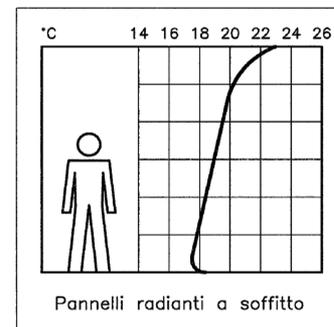
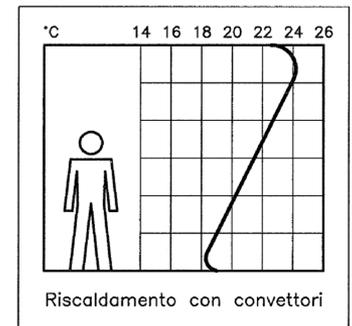
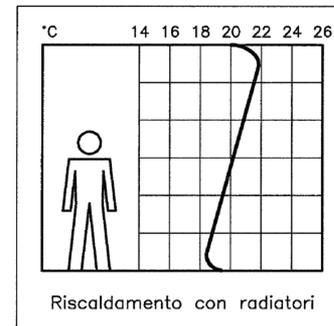
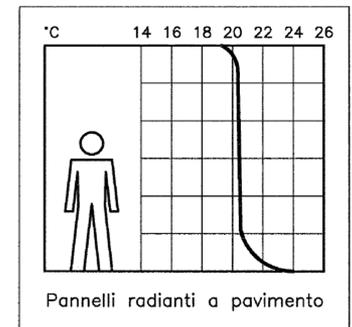
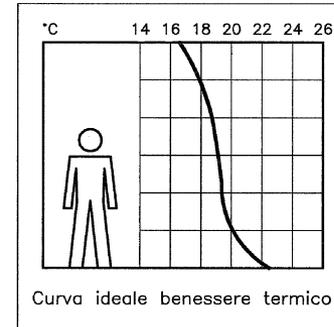


Relazione con i terminali di emissione

I pannelli radianti privilegiano l'**irraggiamento** come modalità di trasmissione del calore e, a pavimento, possono descrivere una **curva di benessere termico prossima** a quella di comfort **ottimale**. Rispetto ai radiatori, inoltre, evitano la combustione del pulviscolo presente nell'aria ed una elevata circolazione di polvere.

La predisposizione di pannelli radianti a parete consente ancora una buona resa rispetto alla curva di benessere termico; **meno efficace** è il posizionamento del sistema radiante **a soffitto**, che induce una **stratificazione dell'aria calda** all'interno dell'ambiente producendo un layer di aria fredda alla quota del pavimento.

La disposizione a **pavimento**, ottimale per il servizio di riscaldamento, può essere impiegato con **discreti risultati** anche per il **raffrescamento**, in quanto generalmente il pavimento è la prima superficie interna ad essere colpita dalla radiazione solare in entrata.

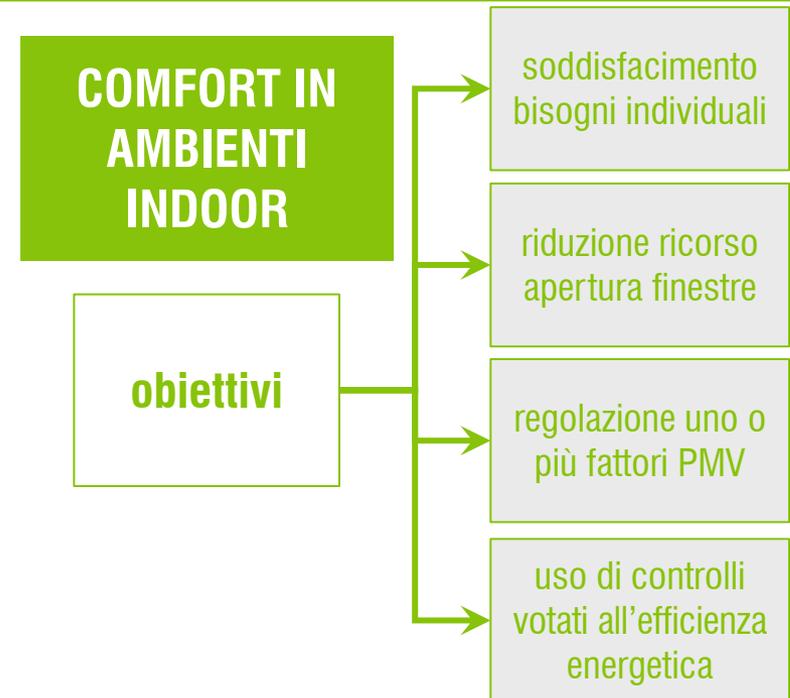


Comfort in ambienti confinati

Negli ambienti confinati con sistemi di climatizzazione estiva devono essere previsti **dispositivi di controllo** della **temperatura** dell'**aria interna**, tali da rendere possibile l'adattamento delle condizioni microclimatiche ad una congrua variabilità termica.

L'obiettivo è raggiungibile con la **parzializzazione** degli **spazi funzionali** dell'edificio, al fine di consentire la **regolazione puntuale** della **temperatura** dell'aria interna da parte del singolo fruitore o di gruppi omogenei di utenza che ne impiegano gli spazi principali.

In particolare, è essenziale che il sottosistema di controllo e regolazione consenta di operare **modifiche** ad almeno uno dei **fattori ambientali** che determinano l'indice di comfort PMV.

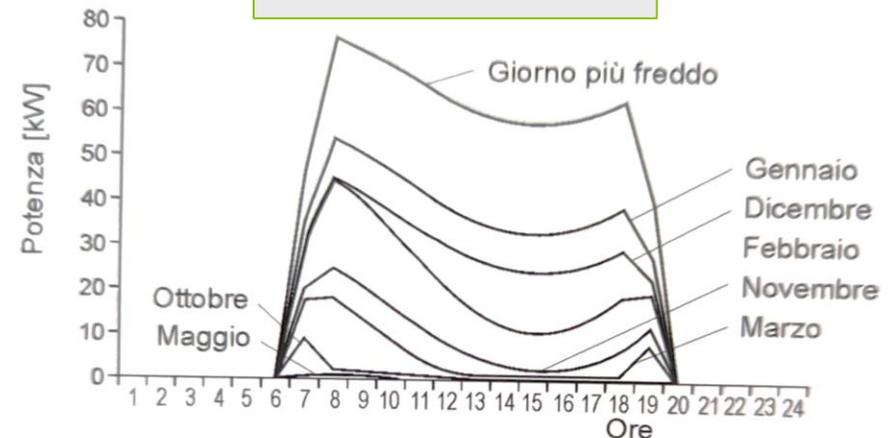


Controllo adattativo del comfort termico

È innanzitutto necessario evidenziare che la **regolabilità** di un impianto di climatizzazione estiva dipende dalla **configurazione** assunta dai **sottosistemi** di **distribuzione** e **regolazione**; bisogna quindi optare per una tipologia impiantistica capace di **differenziare opportunamente** la **richiesta** di **carico termico** in grado di contrastare la sollecitazione termica complessiva gravante in un ambiente confinato.

La parzializzazione del carico massimo deve essere possibile anche in presenza di carichi termici particolari, derivanti da un elevato affollamento o da altre apparecchiature fonte di carichi endogeni.

CARICHI TERMICI



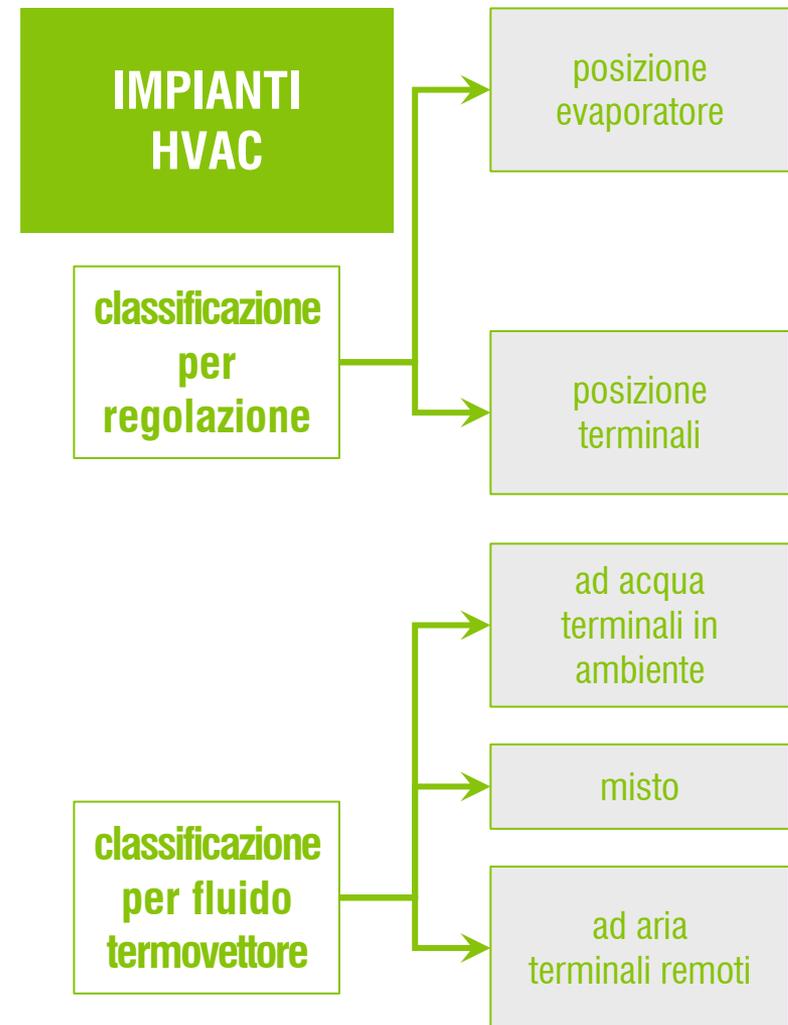
CARICHI FRIGORIFERI



Controllo adattativo del comfort termico

Per comprendere le modalità di realizzazione del controllo del comfort termico negli ambienti confinati attraverso un impianto HVAC (*Heating, Ventilation & Air Conditioning*) è necessario fissare due **posizioni**:

- 1) Posizione dell'**evaporatore**. Pur essendo sempre l'aria il vettore finale del calore, si distinguono impianti ad **espansione diretta** ed impianti a **fluido intermedio**: la seconda tipologia prevede che le batterie di scambio termico siano alimentate da acqua, riscaldata o refrigerata;
- 2) Posizione dei **terminali in ambiente**. La suddivisione prevede la **collocazione** direttamente **in ambiente** oppure **in posizione remota**, configurazione in cui viene collegato all'ambiente con canalizzazioni di mandata e ripresa.



Controllo adattativo del comfort termico

Posizione del terminale rispetto all'ambiente	Tipologia a fluido intermedio	Tipologia ad espansione diretta
Terminale in ambiente	Impianti ad acqua	Impianti con condizionatori autonomi
	Fan coil a 2 tubi	Split-system e multisplit
	Fan coil a 4 tubi	Sistemi ad anello d'acqua
Sistema misto	Impianti misti	
	Fan coil a 2 e 4 tubi + aria primaria	Sistemi a portata d'aria costante o variabile + recupero di calore
	Sistema radiante + aria primaria	Sistemi ad anello d'acqua + aria primaria
Terminale remoto	Impianti ad aria	
	Per singola zona, a portata costante o variabile	Condizionatori canalizzabili
	Per singola zona, a portata costante o variabile, con post-riscaldamento di zona	
	Multizona	
Doppio canale, a portata costante o variabile		

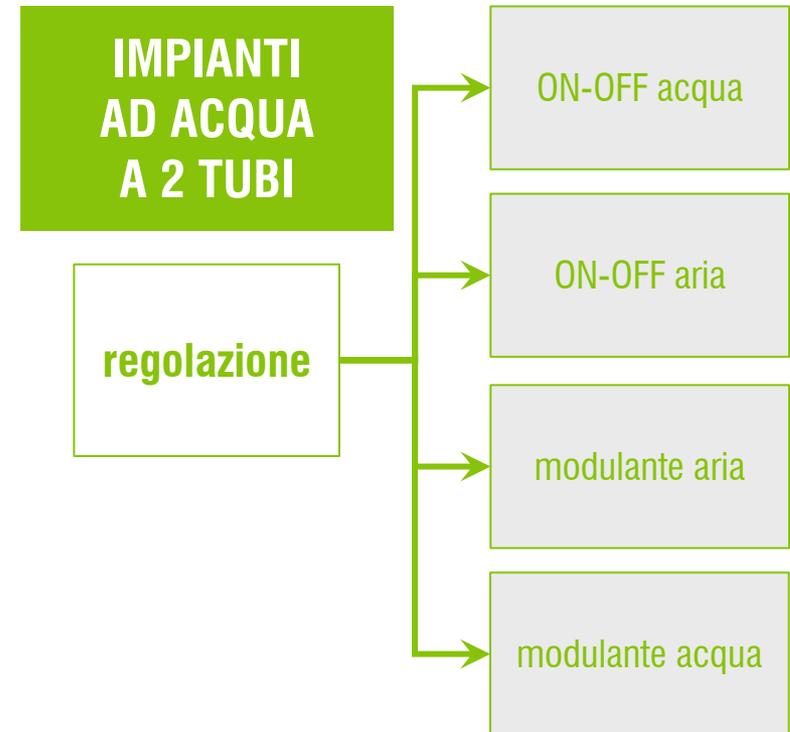
N.B. In verde, le soluzioni che permettono di climatizzare ambienti con stati termici opposti

Impianti ad acqua

Gli impianti **ad acqua a 2 tubi** permettono di climatizzare locali diversi permettendo la regolazione autonoma di ciascuno spazio ma a condizione che i **carichi termici** contemporanei gravanti nei locali stessi siano **dello stesso segno**.

Il singolo terminale può essere controllato autonomamente dall'utenza, consentendo la regolazione puntuale del solo parametro di temperatura dell'aria (questa tipologia tratta infatti esclusivamente il calore sensibile). Alla facilità di installazione si contrappone però la non eccellente distribuzione dell'aria circolante all'interno dell'ambiente, e quindi una non uniformità della temperatura indoor.

La regolazione sull'acqua avviene consentendo o modulandone la **portata** in ingresso alla batteria; la regolazione sull'aria, con l'attivazione o la modulazione della velocità del **ventilatore**.

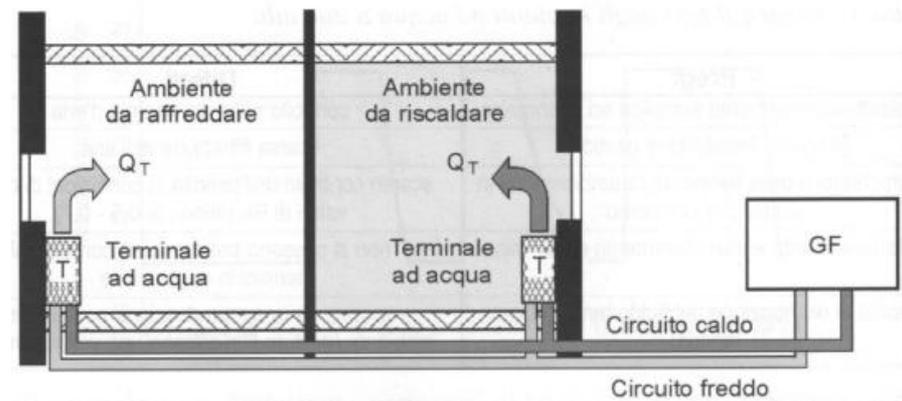


Impianti ad acqua

Gli impianti **ad acqua a 4 tubi** permettono la **climatizzazione** di **locali diversi**, e la loro regolazione autonoma, anche se essi sono gravati da **carichi termici** di **segno opposto**. Tale condizione accade, ad esempio, in **zone omogenee** per carichi endogeni, ma i cui **locali** risultano **diversamente soleggiati** a causa di esposizioni contrastanti. I terminali sono **collegati** a **circuiti distinti**, il primo percorso da acqua refrigerata ed il secondo da acqua calda.

I sistemi di regolazione sono i medesimi previsti per gli impianti ad acqua a 2 tubi, e per gli stessi motivi è da preferirsi la regolazione on-off sull'aria.

Gli impianti a 2 ed a 4 tubi sono accomunati dal **controllo nullo dei ricambi d'aria**; per questo motivo **non ne è consigliabile l'impiego** in locali ad **elevato affollamento**, ad elevata richiesta di **rinnovo d'aria**, o in cui sia richiesta un'**elevata qualità dell'aria** di rinnovo stessa.



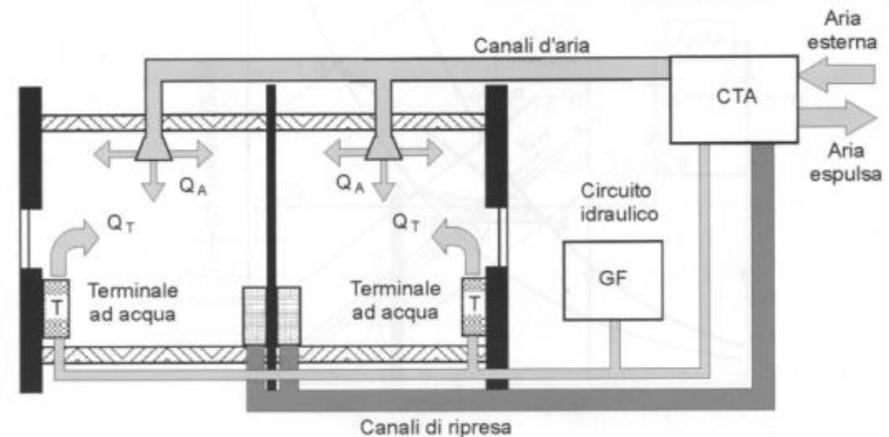
Schema di un impianto ad acqua a 4 tubi

Impianti misti (ad aria primaria)

Questa famiglia prevede la disposizione dei **terminali sia in ambiente che in remoto**. Questi ultimi provvedono alla **distribuzione** della **portata d'aria** di rinnovo, lasciando ai terminali in ambiente il **bilanciamento dei carichi** a livello del **singolo ambiente**. Gli **impianti ad aria primaria**, in analogia agli impianti ad acqua, possono presentare una configurazione a 2 o a 4 tubi per i terminali posti in ambiente.

La tipologia ad aria primaria e fan coil a 2 tubi tratta nel singolo locale **due portate d'aria**: quella **primaria Q_A** di aria esterna tratta e quella dai **terminali ambiente Q_T** . Nelle condizioni di funzionamento estivo, la portata d'aria ai fan coil è superiore a quella primaria di un fattore mediamente pari a 4.

Una **regolazione** di tipo **on-off** ai **fan coil** – che lavorano esclusivamente sul carico sensibile – permette di evitare un rapido incremento dell'umidità relativa a seguito dell'abbattimento del carico sensibile.

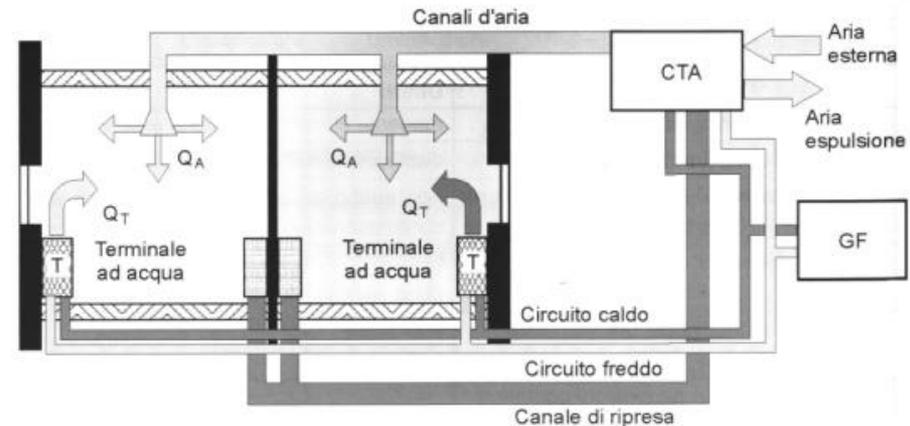


Schema di un impianto ad aria primaria e fan coil a 2 tubi

Impianti misti (ad aria primaria)

Questo tipo di impianto, quindi, consente **un'elevata flessibilità di gestione**, un **buon controllo della temperatura** anche nella stagione invernale, una **ridotta invasività delle condotte** per l'aria primaria e un'elevata **possibilità di regolazione locale** da parte dell'utenza.

Gli impianti ad aria primaria e fan coil a 4 tubi presentano le stesse potenzialità dell'analogo tipo a 2 tubi, con l'ulteriore vantaggio di poter soddisfare contemporaneamente le richieste di locali con carichi termici di segno discorde: i fan coil sono infatti collegati a due circuiti idraulici.



Schema di un impianto ad aria primaria e fan coil a 4 tubi

Impianti a tutta aria

Negli **impianti a tutta aria** è necessario innanzitutto distinguere tra:

- configurazione per **singola zona**;
- configurazione **multizona**.

La prima tipologia è impiegata per **climatizzare ambienti** caratterizzati da un **cospicuo volume** e da un **elevato affollamento**.

La portata d'aria circolante nella rete di distribuzione può essere **costante** o **variabile**. La prima configurazione è utilizzata per **sale conferenze**, sale **cinematografiche**, **teatri**, **palazzetti sportivi**, **centri commerciali**, quindi destinazioni d'uso in cui **l'utenza non permane nell'ambiente per più di qualche ora**.

La seconda configurazione (**VAV**) permette il controllo della temperatura **riducendo la portata d'aria** a ventilatore nel momento in cui **diminuisce il carico termico**. La riduzione della portata deve comunque tener conto dell'efficienza dei diffusori.



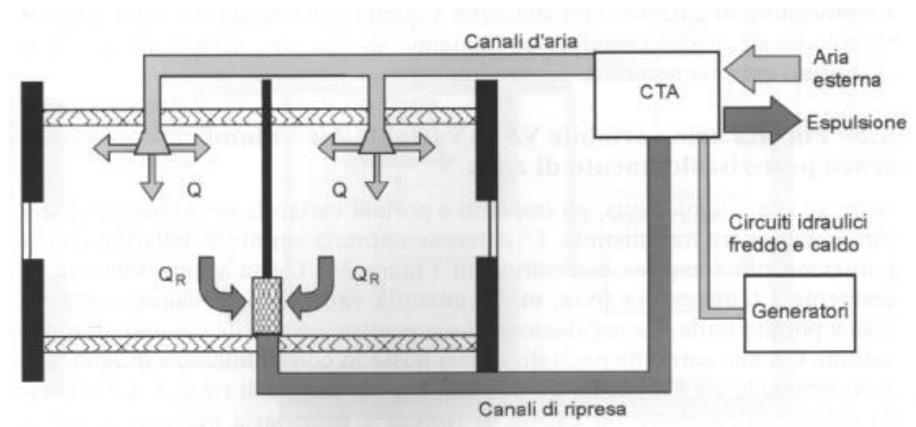
I diffusori devono infatti garantire un adeguato **lancio** della **corrente d'aria** anche in presenza di **portate ridotte**. Spesso non è possibile impostare una portata inferiore al 40% di quella nominale, proprio allo scopo di evitare la caduta di aria fredda nell'ambiente ed un conseguente senso di disagio tra gli occupanti. Quindi, il limite inferiore di portata deve essere fissato al valore minimo di portata d'aria di rinnovo richiesta.

Impianti a tutta aria

Gli impianti a tutta aria, come detto, devono **garantire la portata d'aria di rinnovo** e **bilanciare il carico termico di un ambiente** con lo **stesso fluido vettore**, l'aria; la miscela di rinnovo avviene nella centrale di trattamento. La non proporzionalità tra volume dell'ambiente e carico termico comporta una **scompensazione della portata di rinnovo tra locali diversi**.

La **corretta portata d'aria** di rinnovo può essere garantita:

- incrementando la portata complessiva d'aria esterna per **soddisfare le richieste del locale più sfavorito**. Negli altri locali la portata di rinnovo effettiva è maggiore a quella effettivamente necessaria;
- **suddividendo le zone servite** da una centrale di trattamento aria così che i locali serviti ricevano lo stesso rapporto tra portata di rinnovo e portata totale.



Impianto a tutta aria
privo di regolazione per singolo locale

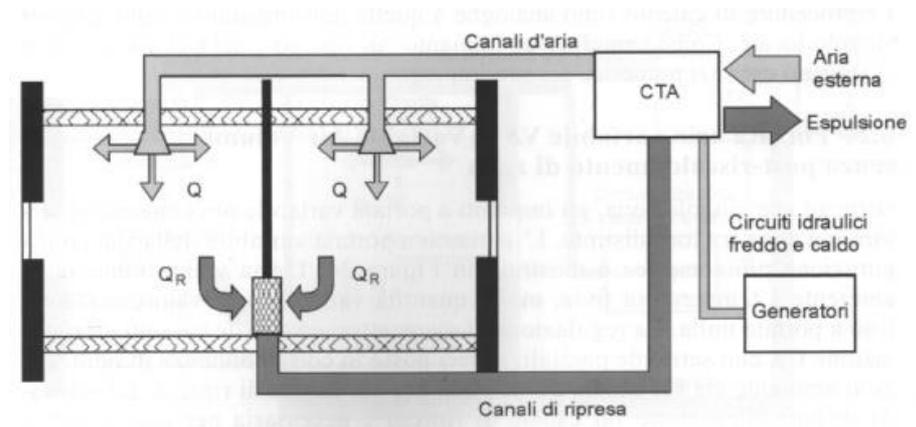
Impianti a tutta aria

In **assenza di regolazione per singolo locale**, questa tipologia di impianto permette il **controllo di temperatura e umidità relativa in un unico punto**, ed ogni ambiente riceve una quantità d'aria proporzionale al carico termico da smaltire nelle condizioni di progetto (carico massimo).

Le conseguenze sono che:

- il **controllo** delle condizioni ambientali è **mediato sull'intera volumetria** asservita all'impianto;
- le **condizioni termoigrometriche** peculiari dei singoli locali **possono variare significativamente** in presenza di **carichi endogeni** ben **diversi dalla media della zona**.

L'impiego di questa configurazione deve perciò essere circoscritta a singoli alloggi o a piccoli edifici ad uso uffici, o comunque a **superfici contenute** che presentino **uniformità di carichi endogeni** e di **esposizione alla radiazione solare**.



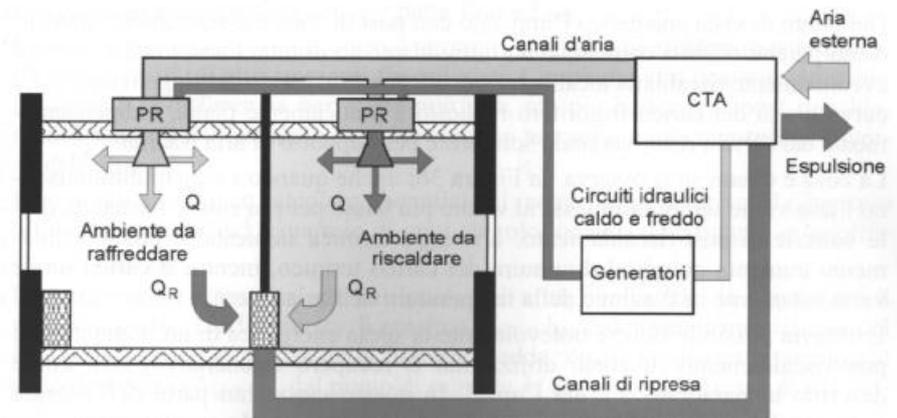
Impianto a tutta aria
privo di regolazione per singolo locale

Impianti a tutta aria

Con la **portata variabile**, la regolazione avviene per mezzo di **serrande parzializzatrici** poste in corrispondenza dei singoli ambienti in corrispondenza sia dei canali di mandata che di ripresa.

La presenza di carichi termici contrapposti può essere ovviata prevedendo il cosiddetto **postriscaldamento di zona**, in alternativa all'impiego di sistemi a portata variabile. La **centrale di trattamento aria** è **unica** per tutto l'impianto, e l'aria viene distribuita nell'edificio attraverso i consueti **canali di mandata** e di **ripresa**. La temperatura di mandata è costante, varia **la temperatura di immissione** grazie alle **batterie** di postriscaldamento **locali**.

Queste batterie sono attive tutto l'anno e sono **comandate** da **sonde** per la **temperatura ambiente** poste **in ciascun locale**. Le temperature di set-point possono essere modificate dall'utenza agendo su termostati di regolazione.



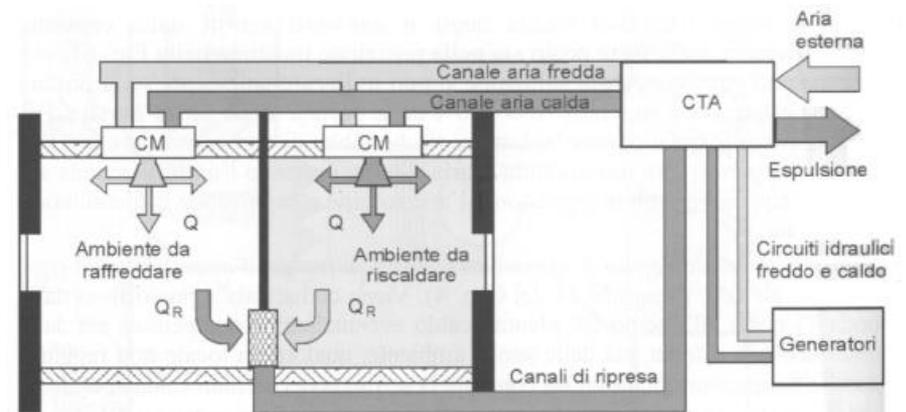
Impianto a tutta aria con postriscaldamento di zona

Impianti a tutta aria

Negli impianti a **doppio canale**, a portata costante o variabile, il convogliamento dell'aria verso gli ambienti avviene in **due distinti canali, caldo e freddo**; a monte dell'ingresso in ambiente è presente una **cassetta di miscelazione** per **regolare l'ottimale temperatura di immissione**, comandata da **sonde** poste nei singoli **locali**. In questo modo è possibile climatizzare locali adiacenti caratterizzati da **carichi termici opposti**.

Questa tipologia di impianti comporta un **maggiore ingombro dei canali d'aria**, cosicché è necessario incrementare la velocità per ridurre le sezioni dei condotti.

Nel funzionamento estivo, il canale caldo adduce verso l'ambiente aria non trattata – con conseguente difficoltà a trattare l'umidità relativa – mentre il canale freddo aria trattata dalla batteria fredda. Questa può allora essere posizionata più opportunamente a valle della camera di miscelazione della centrale di trattamento aria, così da trattare l'intero flusso in transito.



Impianto a doppio canale a portata variabile o costante

Quadro riassuntivo

Impianti ad acqua

Controllo della temperatura a livello del singolo fan coil (2 e 4 tubi): massima prestazione con controllo on-off sull'aria

Bilancio di carichi termici di segno opposto in locali distinti (4 tubi)

Nessun controllo dei ricambi d'aria

Impianti misti

Elevata regolabilità da parte dell'utenza

Riduzione del rischio di elevata umidità relativa con la regolazione on-off ai fan coil

Impianti a tutt'aria

Singola zona: non possibile la parzializzazione della regolazione

Singola zona: per esposizione omogenea ed impiego non continuativo

Multizona a portata variabile: ridotto controllo del ricambio d'aria; solo per locali con carico termico concorde

Multizona: controllo limitato di temperatura e umidità relativa

Postriscaldamento di zona: azione sulla temperatura di immissione per governo di carichi termici discordi

Doppio canale: controllo della temperatura di immissione attraverso la miscelazione dell'aria in ingresso

24