

Pannelli radianti: comportamento termico e prestazioni

ing. Stefano Paolo Corgnati, Ph.D.

*POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Energetica
stefano.corgnati@polito.it*

Indice delle tematiche

- Comfort termoigrometrico
- Tipologie di pannelli radianti
- Dinamiche di asportazione dei carichi termici
- Prestazioni (in riscaldamento e raffrescamento) dei pannelli radianti
- Accoppiamento dei pannelli radianti con le strategie di ventilazione (miscelazione e dislocamento)



Comfort termoisgrometrico

Teoria di Fanger e norma ISO 7730

Comfort globale

Discomfort locale



Comfort termoigrometrico

Comfort **globale** – parametri ambientali:

- Temperatura dell'aria
- Temperatura media radiante
- Umidità relativa dell'aria
- Velocità dell'aria

convezione

irraggiamento

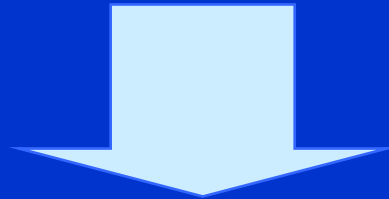
Pannello radiante



Comfort termoigrometrico

Comfort **globale** – parametri soggettivi:

- Attività metabolica
- Resistenza dell'abbigliamento



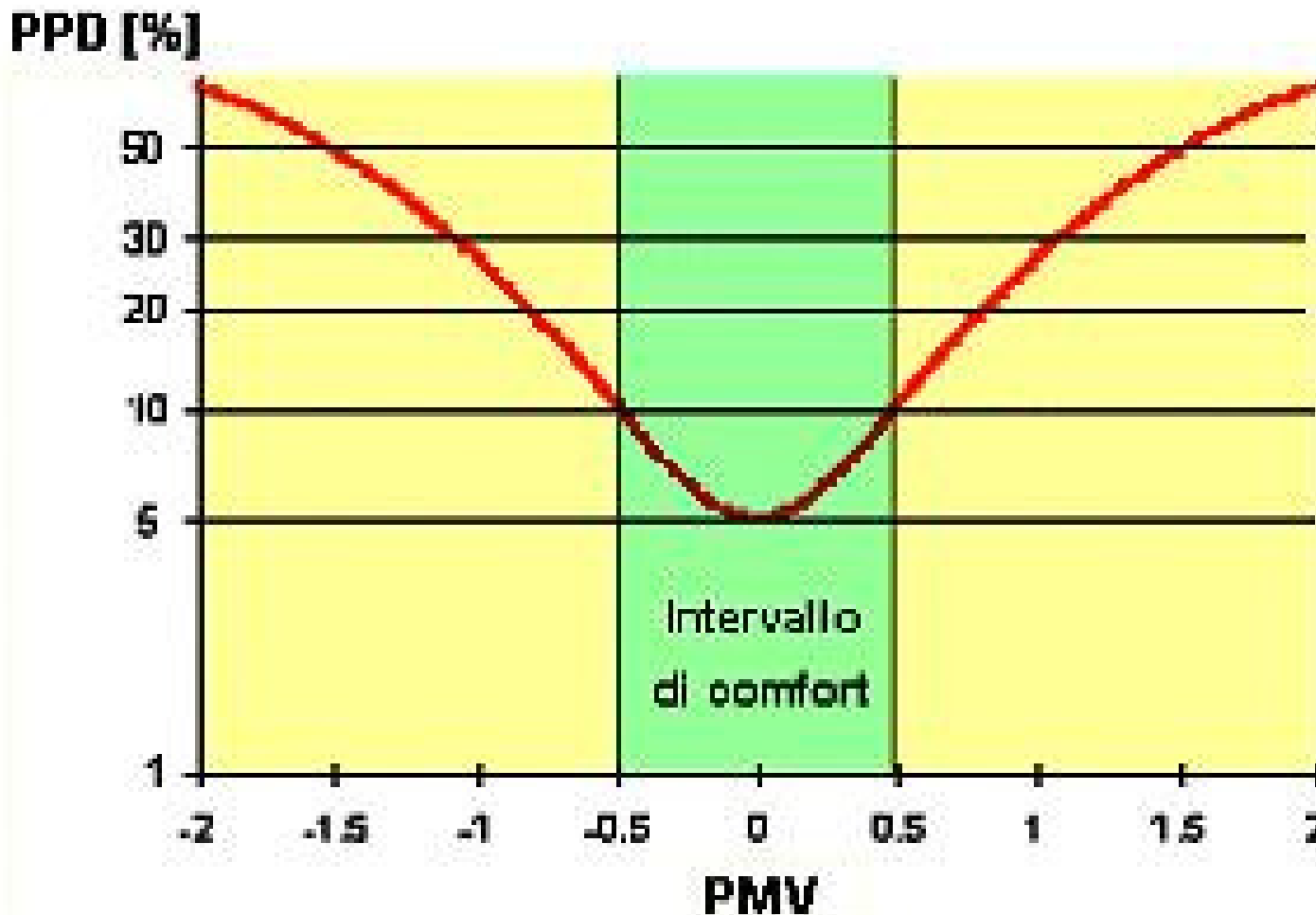
Indici di comfort **globale** (Fanger):

- Voto Medio Previsto: $-0,5 < PMV < +0,5$
- % Prevista di Insoddisfatti: $PPD < 10\%$



Comfort termoisgrometrico

Comfort globale – PMV e PPD



Comfort termoigrometrico

Discomfort **locale** – aspetti:

- Correnti d'aria (draft risk, DR)
- Temperatura pavimento
- Gradiente verticale temperatura dell'aria
- Asimmetria radiante

Pannello radiante



Comfort termoigrometrico

Discomfort **locale**:

Draft risk (rischio di correnti d'aria, ISO 7730)
dovuta alla caduta del getto nella zona occupata

$$PD_{DR} = DR = (34 - T_a) (V - 0.05)^{0.62} (0.37 V T_u + 3.14)$$

Comfort termoigrometrico

Discomfort **locale**:

Temperatura del pavimento

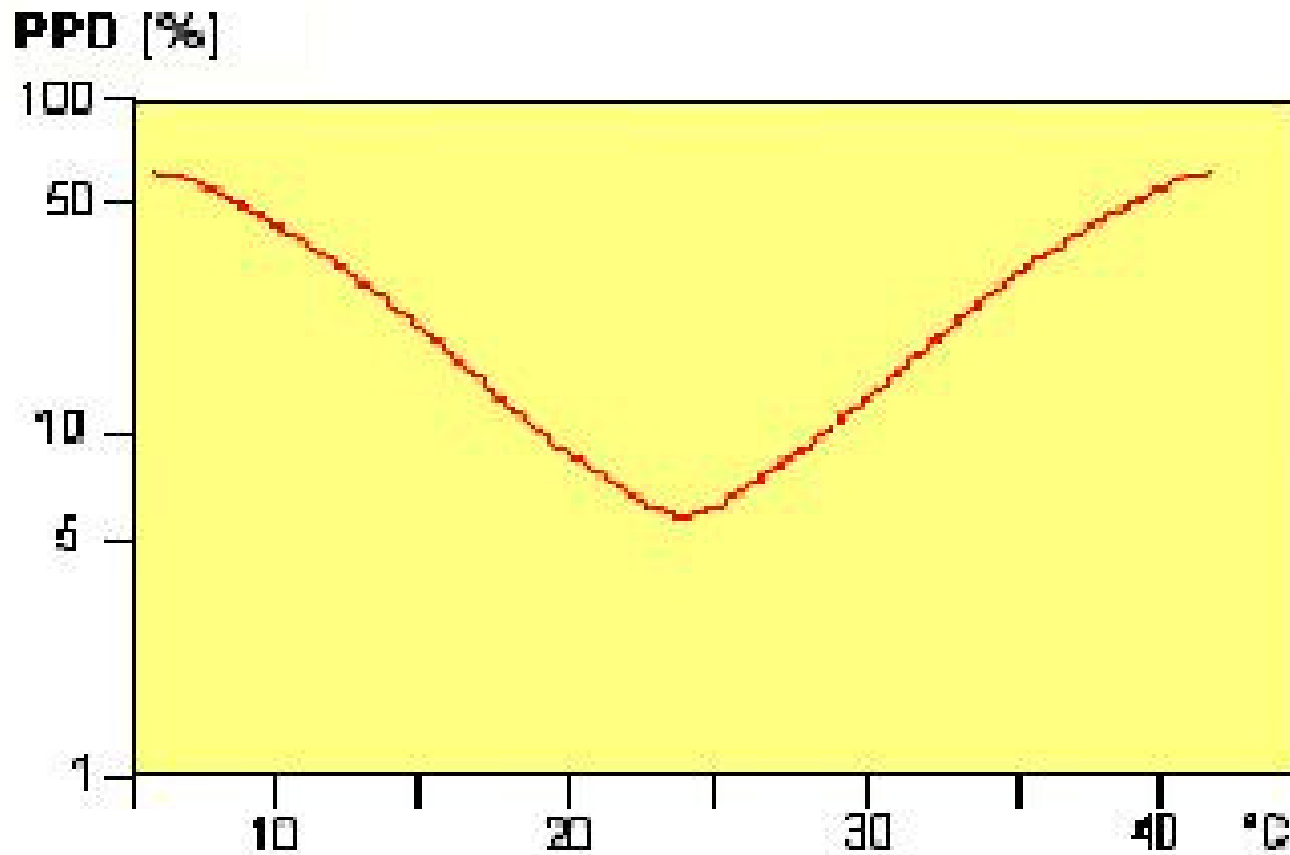
Livelli di temperatura superficiale del pavimento:

- accettabile una temperatura del pavimento compresa tra **18°C e 30°C** (ottima intorno a 25°C), limiti ai quali corrisponde una *percentuale prevista di insoddisfatti* di circa il 10%.

Questi limiti di comfort influenzano direttamente la resa in raffrescamento e riscaldamento del pavimento radiante.

Comfort termoigrometrico

Temperatura del pavimento



Comfort termoigrometrico

Temperatura del soffitto

Livelli di temperatura superficiale del soffitto:

- la **massima temperatura accettabile** è influenzata numerosi fattori, tra i quali il più significativo è l'altezza del soffitto.

Nell'edilizia residenziale, con una tipica altezza di 3 metri e temperatura dell'aria a 20°C, la pratica consiglia di non superare temperature di **35°C**.



Comfort termoigrometrico

Temperatura del soffitto

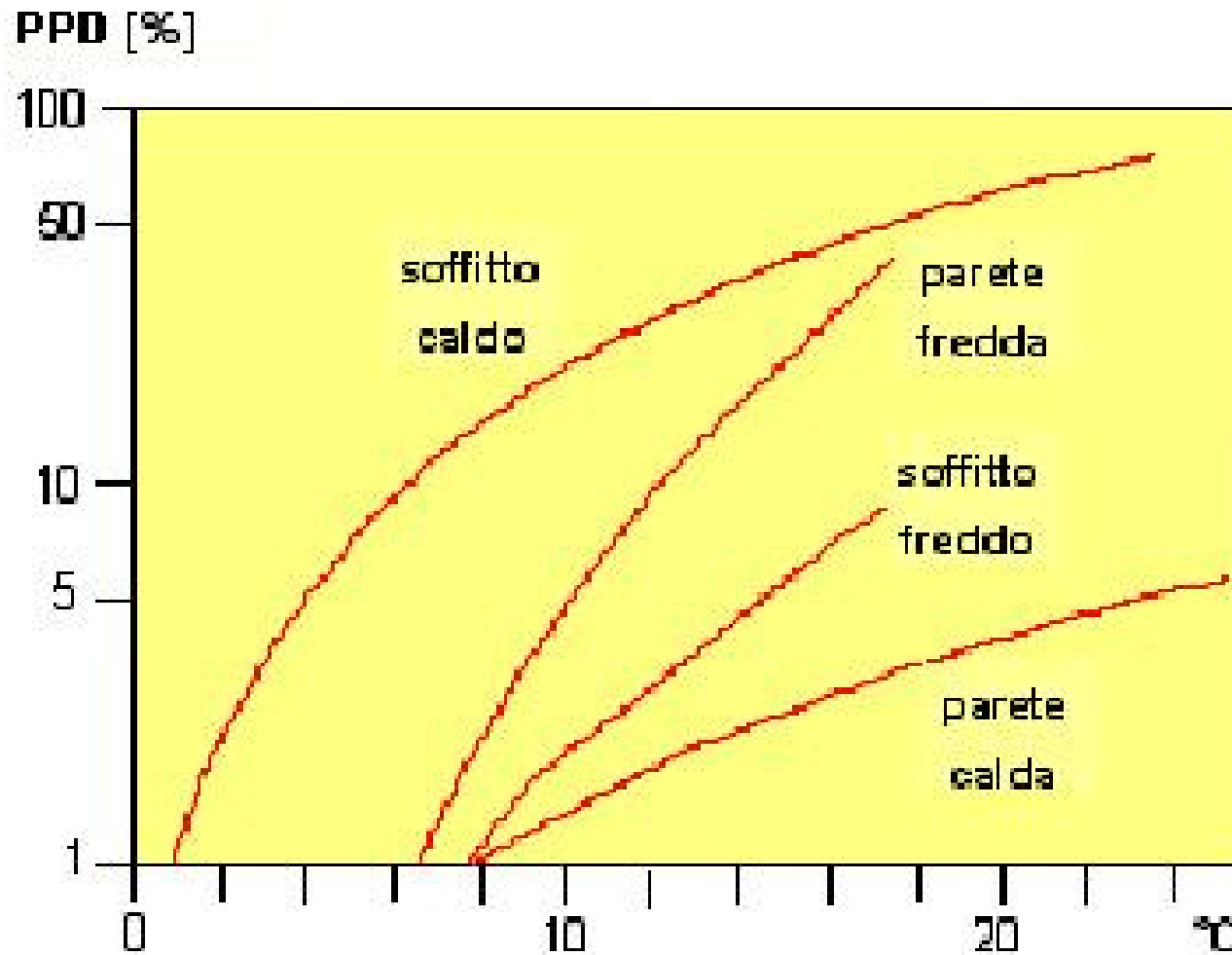
- la **minima temperatura** non è legata a problemi di benessere, abbondantemente soddisfatto con le usuali temperature di esercizio.

Il vincolo è legato ai **problemi di condensa superficiale**, quando la sua temperatura scende al di sotto di quella di rugiada dell'aria ambiente. Indicativamente, con una temperatura dell'aria di 26°C la temperatura di rugiada varia da 12°C per U.R. del 40% a **18°C per U.R. del 60%**.



Comfort termoigrometrico

Asimmetria Radiante



Tipologie di pannelli radianti

I Sistemi Radianti

Scambio di calore con l'ambiente circostante avviene in larga misura per radiazione

per riscaldamento

per raffrescamento

ELEMENTI RADIANTI

(piastre, termostrisce,...)

PANNELLI RADIANTI

Sistemi a basso differenziale di temperatura e grandi superfici di scambio termico

Tipologie di Pannelli Radianti

Pannelli a capacità
termica trascurabile

(p.es. serpentina su
pannello metallico)

Pannelli con capacità
termica

(serpentina annegata
nelle strutture)

Soffitti

Pareti

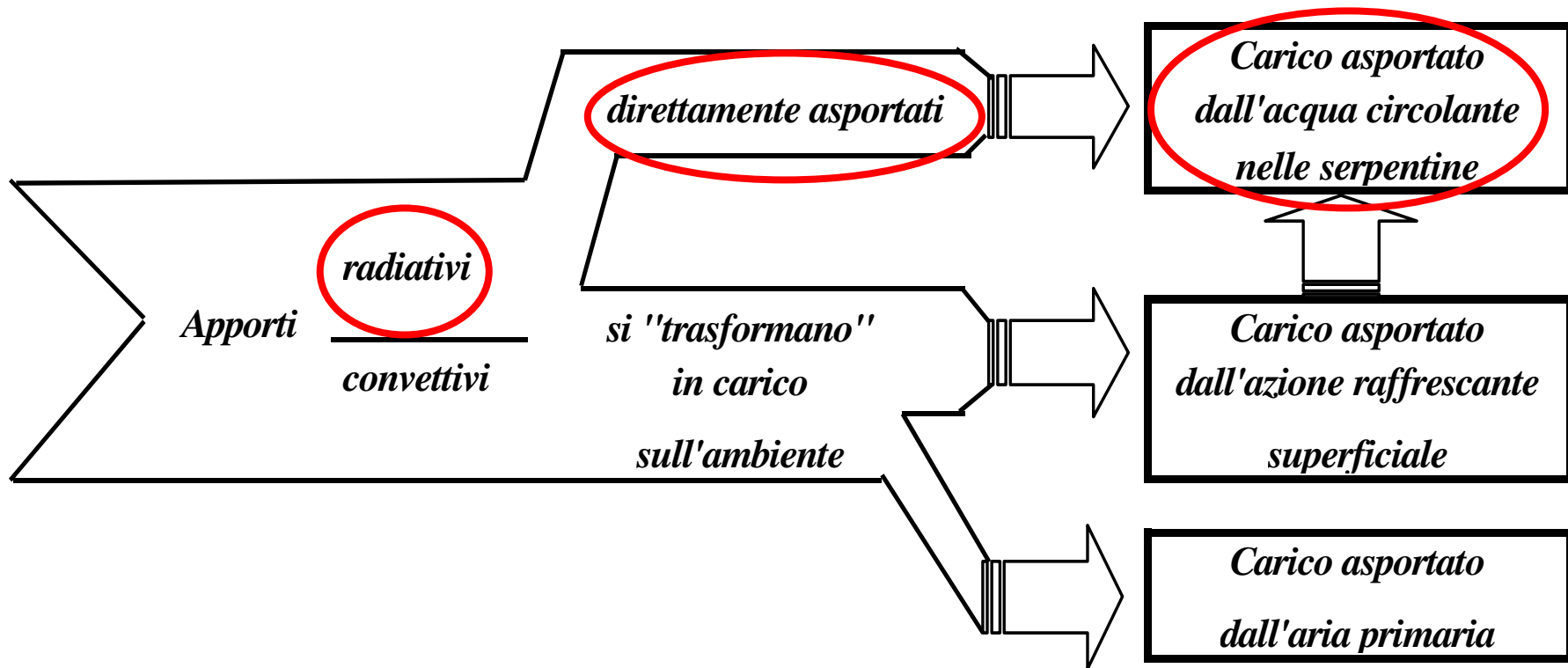
Pavimento

con moderata attivazione termica della massa

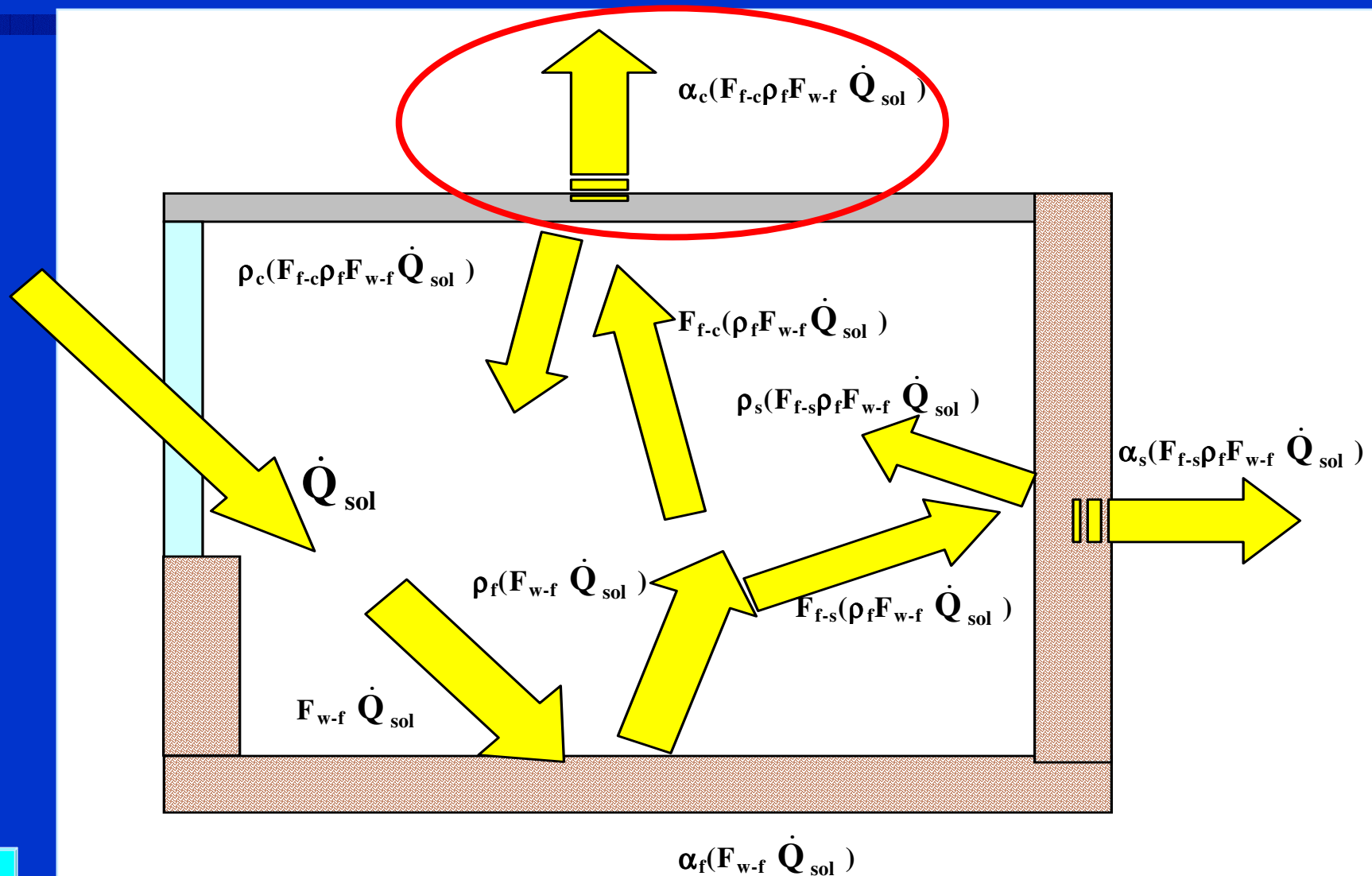
con elevata attivazione termica della massa



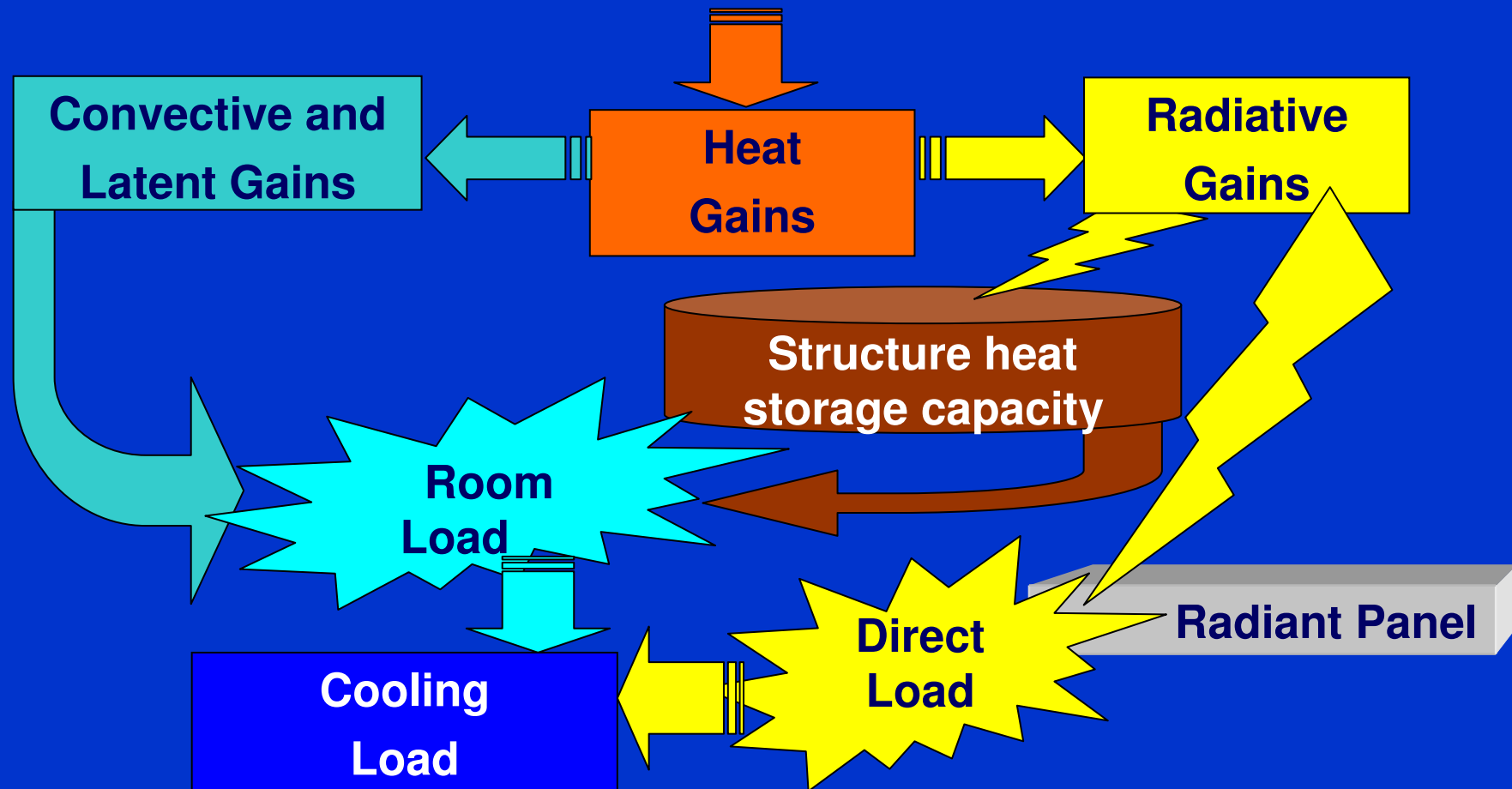
Dinamiche di asportazione dei carichi termici



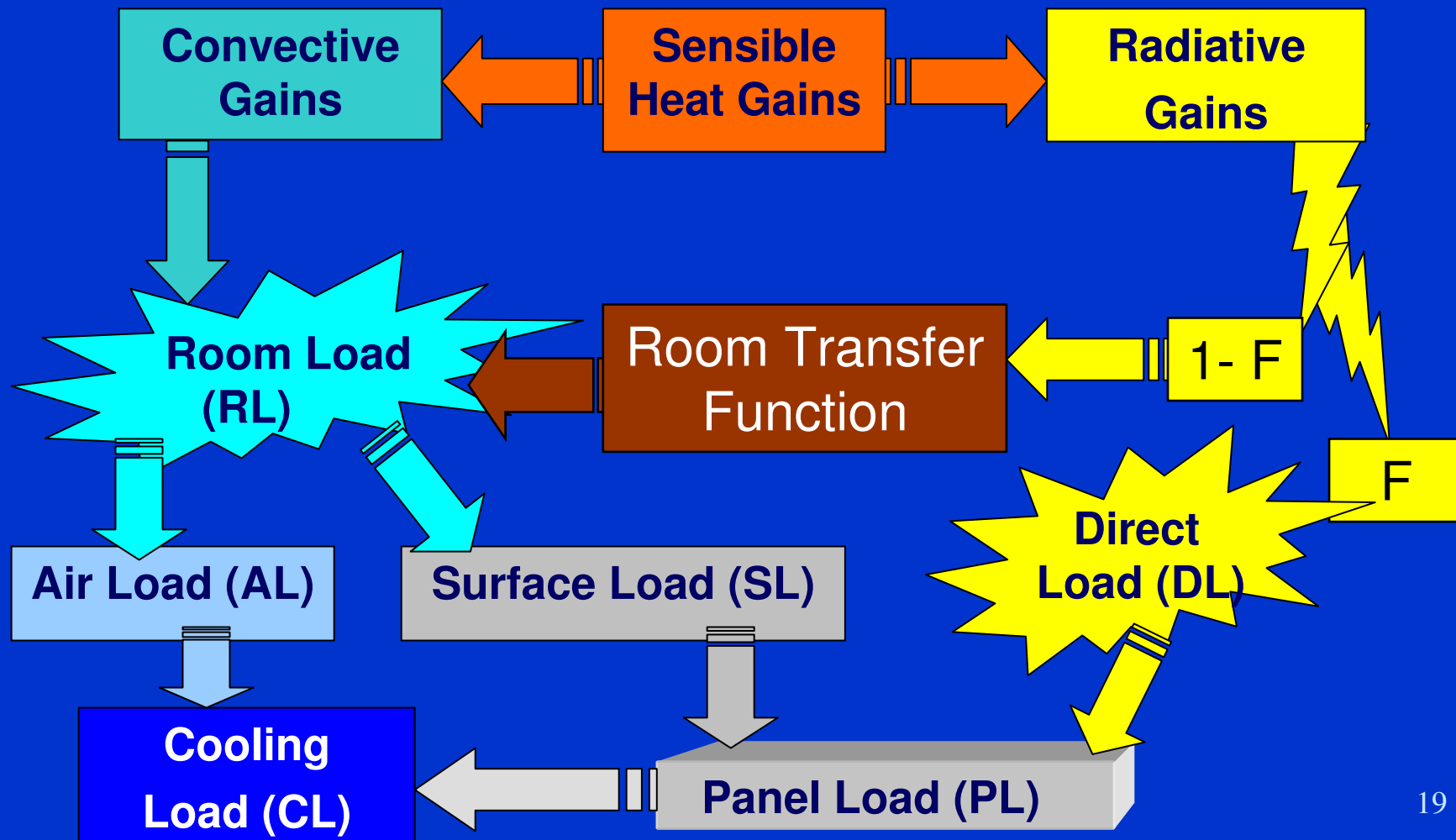
Dinamiche di asportazione dei carichi termici



Dinamiche di asportazione dei carichi termici

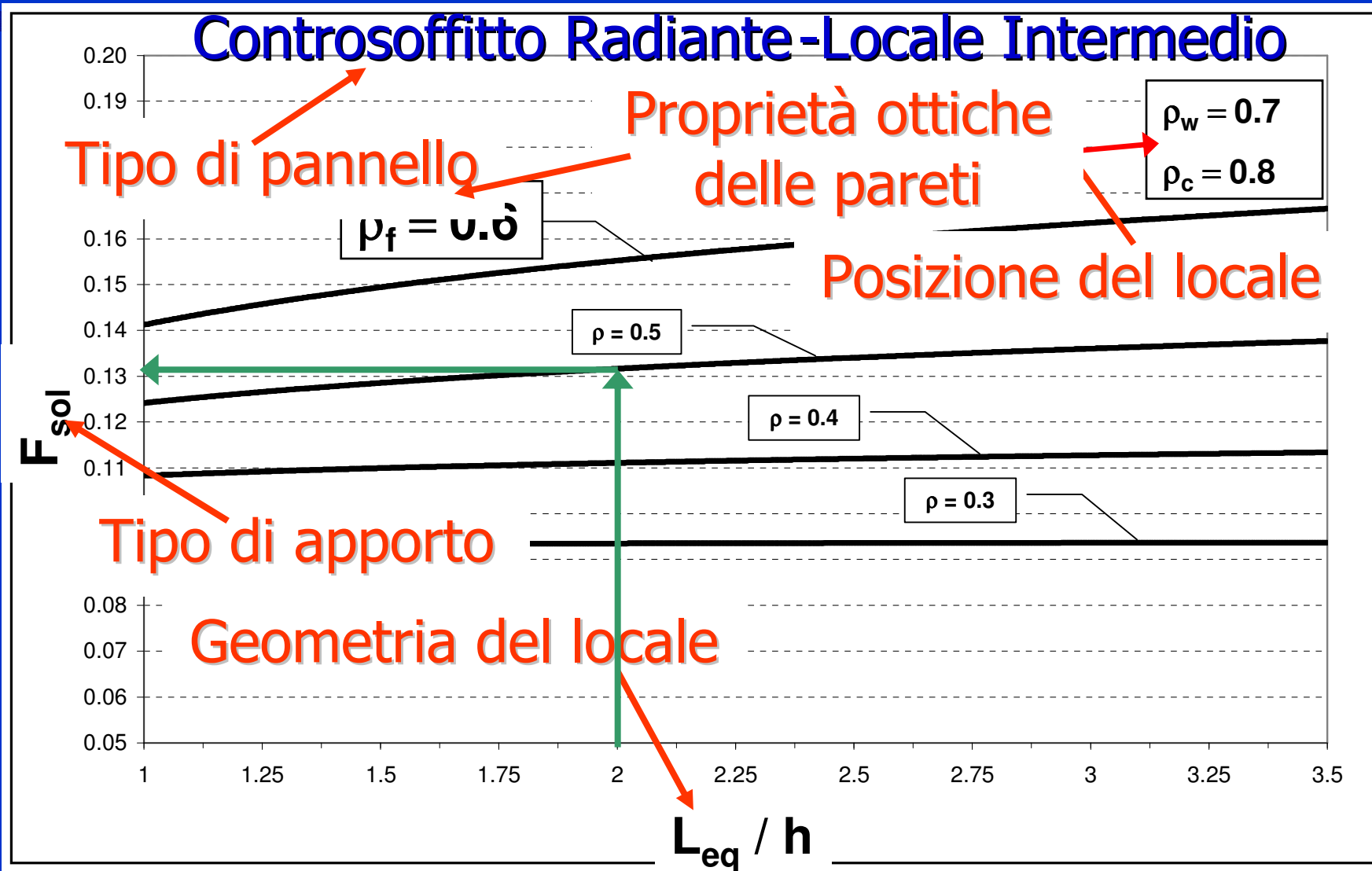


Dinamiche di asportazione dei carichi termici



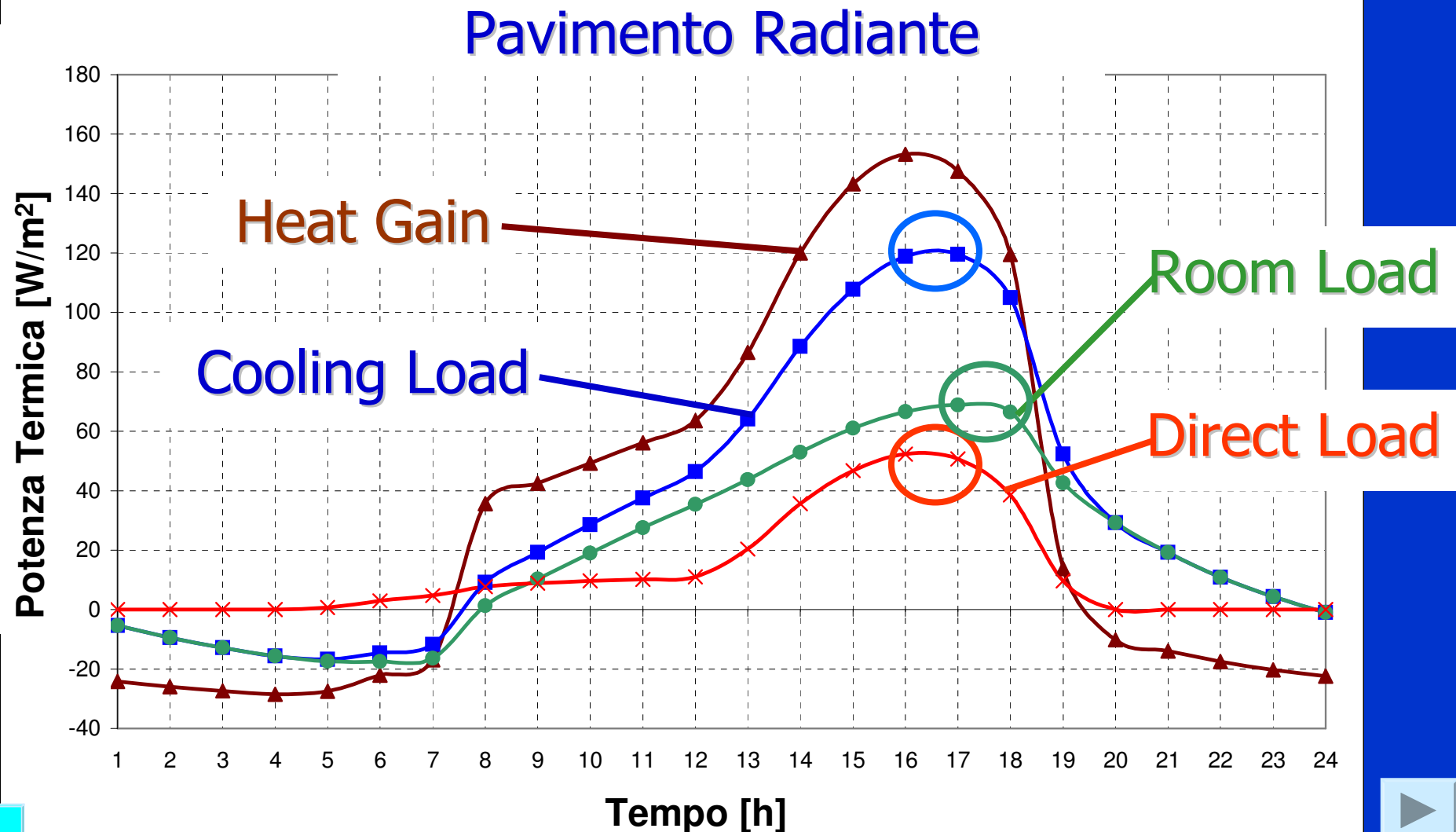
Dinamiche di asportazione carichi

Carico direttamente rimosso DL



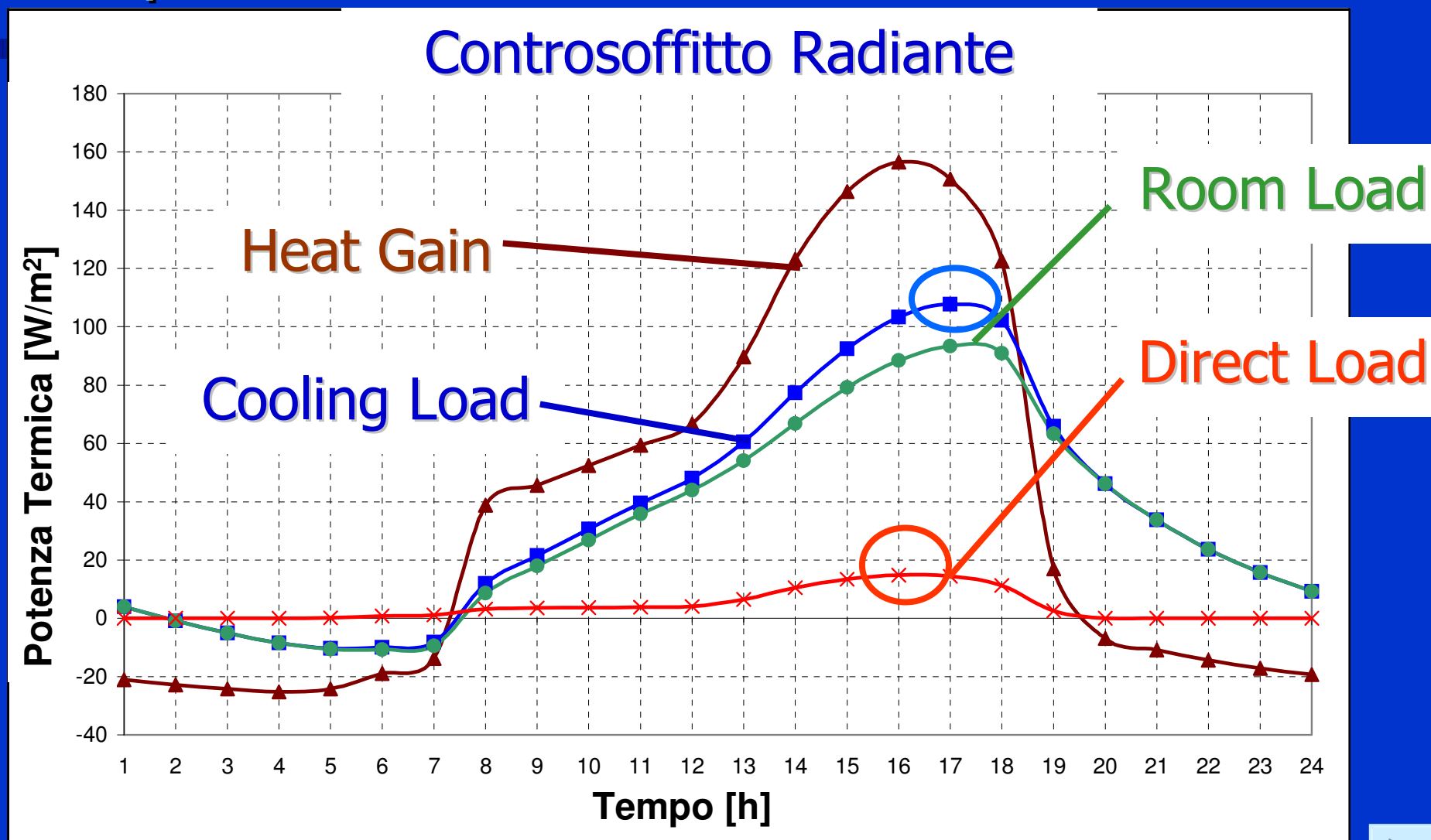
Prestazione dei pannelli radianti

Componenti di carico termico da rimuovere



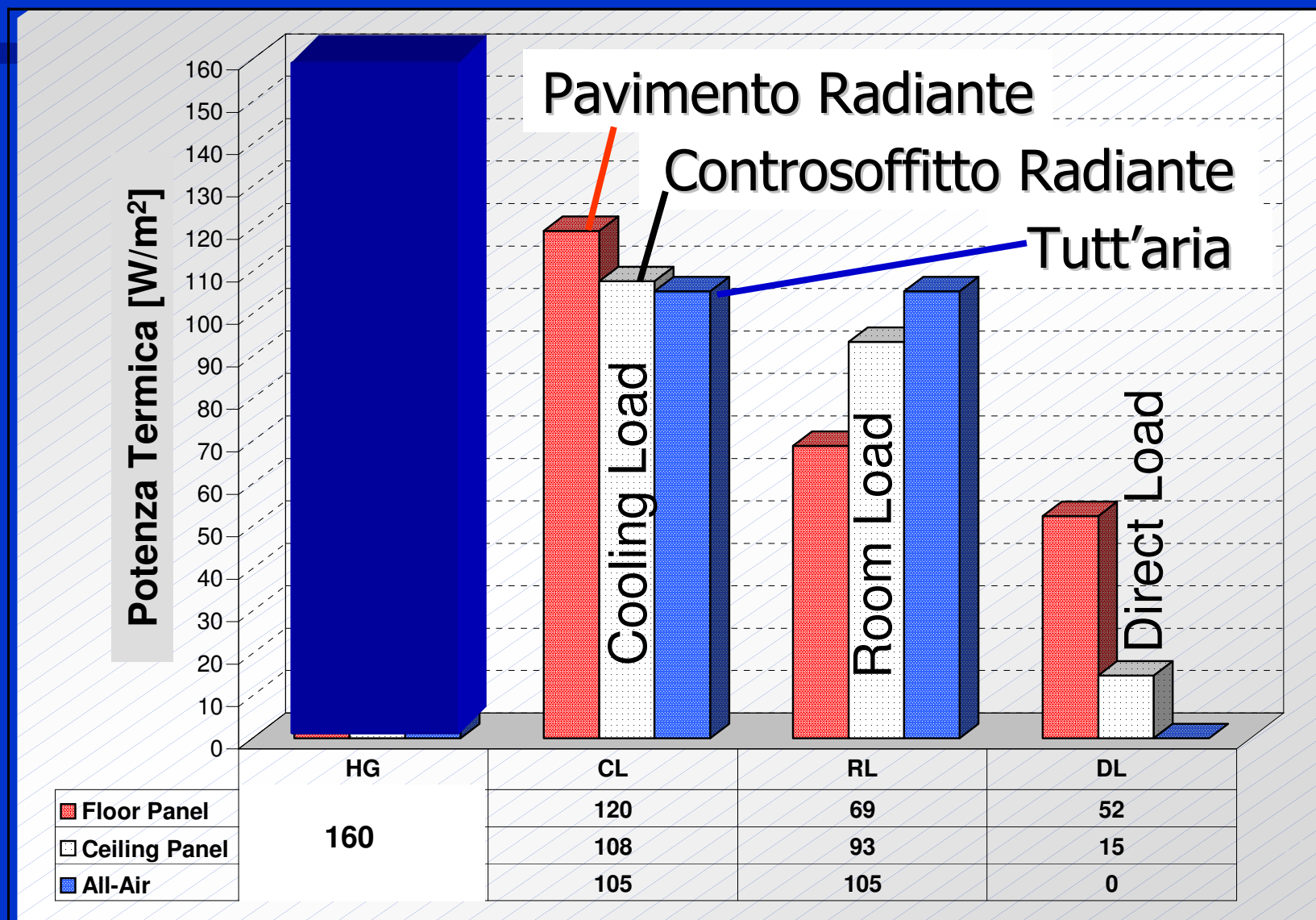
Prestazione dei pannelli radianti

Componenti di carico termico da rimuovere



Prestazione dei pannelli radianti

Confronto potenze termiche di progetto



Prestazioni dei pannelli radianti

	Resa [W/m ²]			
	Riscaldamento		Raffrescamento (con $\Delta T = 6^\circ\text{C}$)	
	Emissiva	Superficiale	Totale	
Pavimento	$\Delta T = 9^\circ\text{C}$	99	42	ordine dei 100 , in funzione dell'ammontare degli apporti radiativi
Soffitto (h=3m)	$\Delta T = 20^\circ\text{C}$	120	66	

Circa 90 W/m² con $\Delta T = 15^\circ\text{C}$



Dimensionamento del sistema misto pannelli radianti e aria primaria

Grandezza vincolante: temperatura superficiale del pannello (media e minima)

↓
Limitazione della potenzialità raffrescante superficiale del pannello

↓
quando

Carico Ambiente (RL) > Capacità
Raffrescante Superficiale del pannello (SL)

il carico residuo deve essere rimosso
dall'aria primaria

Dimensionamento del sistema misto pannelli radianti e aria primaria

Pannelli a capacità termica trascurabile e non

Il carico sul pannello si traduce
istantaneamente in carico sull'acqua
(p.es. controsoffitto radiante)

Esiste uno sfasamento tra carico
sul pannello e quello sull'acqua
(p.es. pavimento radiante)



Considerazioni economiche

COSTO D'INVESTIMENTO

Tutt'aria VAV = 120 Euro/m²

Misto (CC+MV) = 150 Euro/m²

Sovra-costo Investimento = + 30 Euro /m²

COSTO DI GESTIONE/ESERCIZIO

Sovra-costo Gestione/Esercizio = - 5 Euro /m²

PAY-BACK PERIOD Semplice

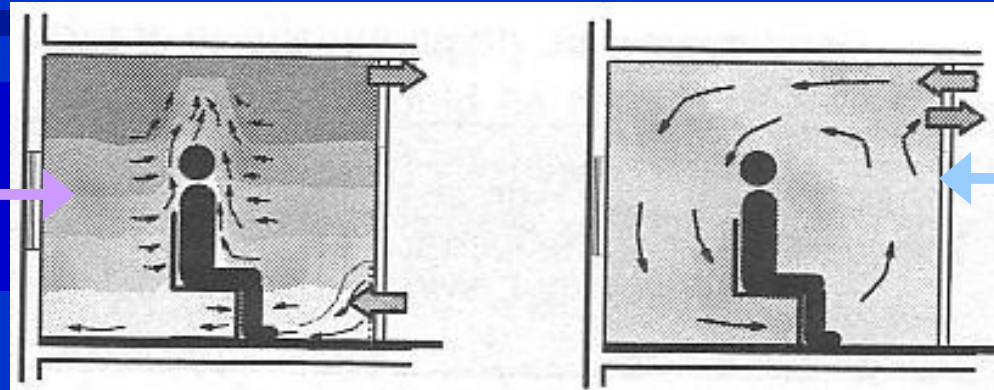
PB = 6 anni

(nota: appalto di gestione di un Ospedale = 20 anni)



Impianti ad aria: strategie di ventilazione

Dislocamento
(DV)



Miscelazione
(MV)

Problematiche di comfort
in presenza di elevati carichi termici

Gradiente verticale di temperatura
Velocità dell'aria a pavimento

Correnti d'aria

Soluzione: Controsoffitti Radianti (CC)²⁸



Impianti ad aria: strategie di ventilazione

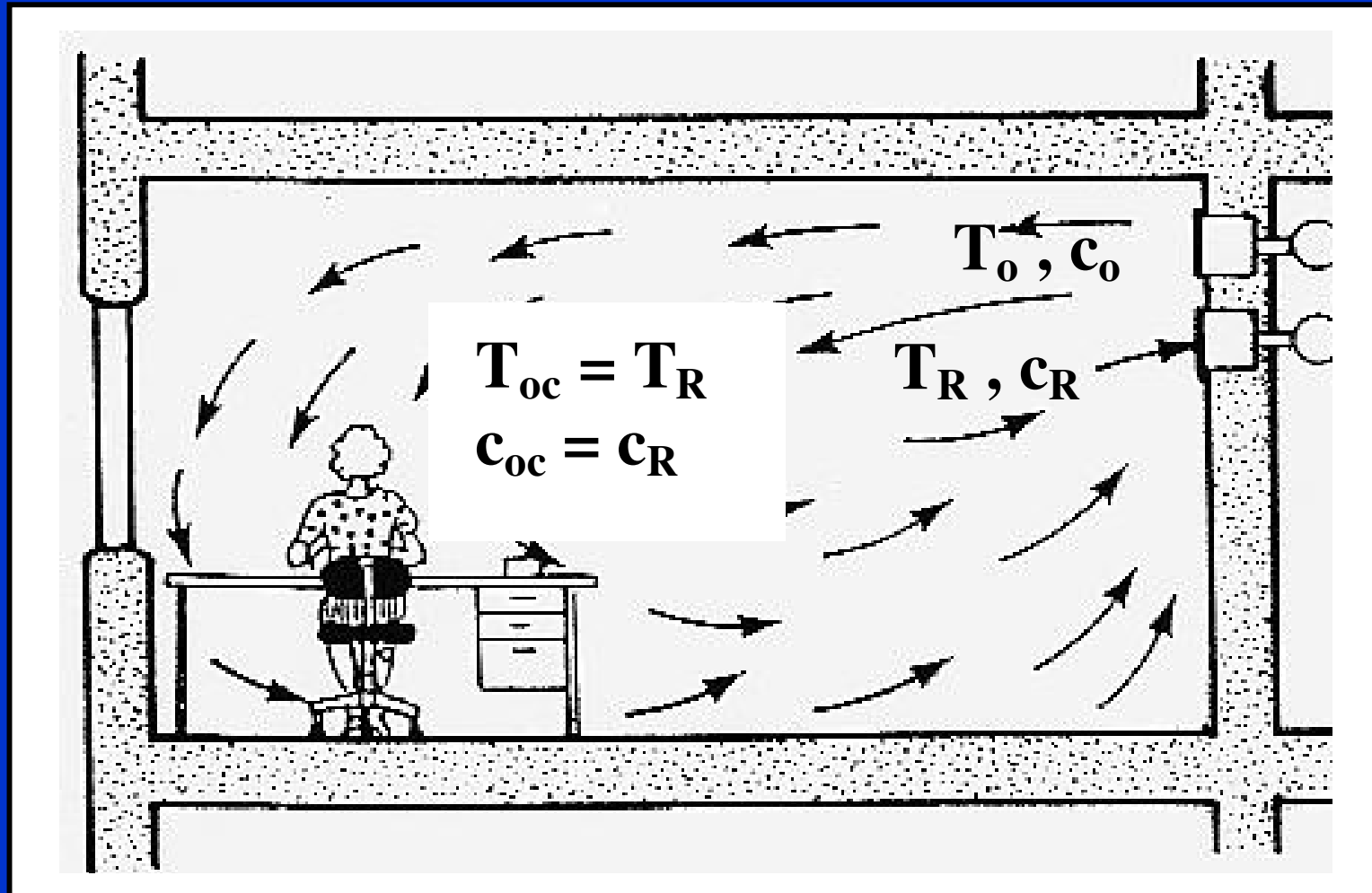
Miscelazione (MV) – Obiettivo:

Rendere uniformi le condizioni termoigrometriche e la concentrazione di contaminati in tutto il locale. La distribuzione dell'aria è "guidata" dalle proprietà termofluidodinamiche del getto d'aria immesso per miscelare l'aria ambiente.



Impianti ad aria: strategie di ventilazione

Miscelazione (MV)



Impianti ad aria: strategie di ventilazione

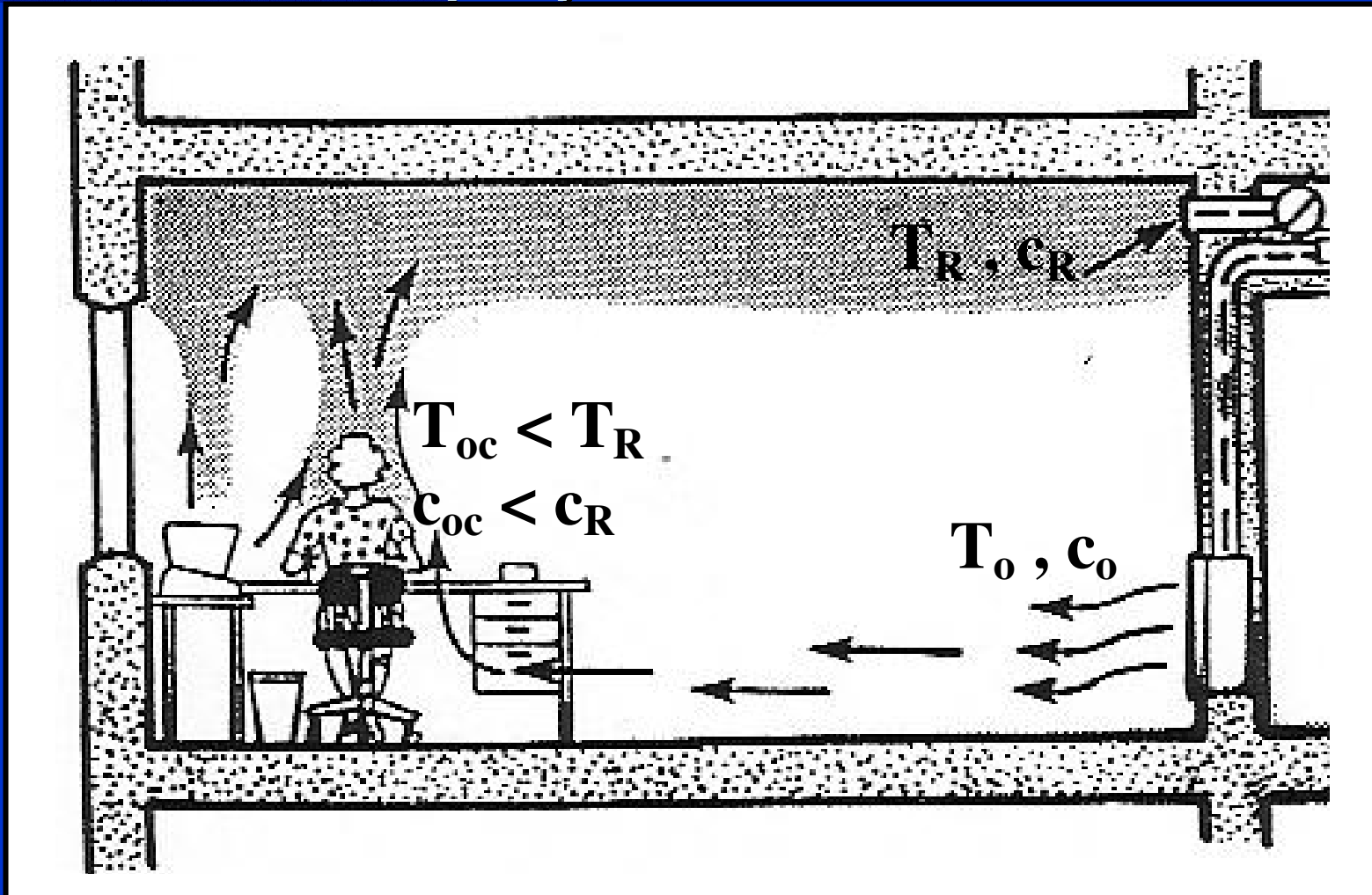
Dislocamento (DV) – Obiettivo:

Creare un gradiente positivo (al crescere dell'altezza) sia di temperatura che di concentrazione di contaminanti nel locale. La distribuzione dell'aria è "guidata" dai pennacchi termici delle sorgenti termiche presenti nel locale.



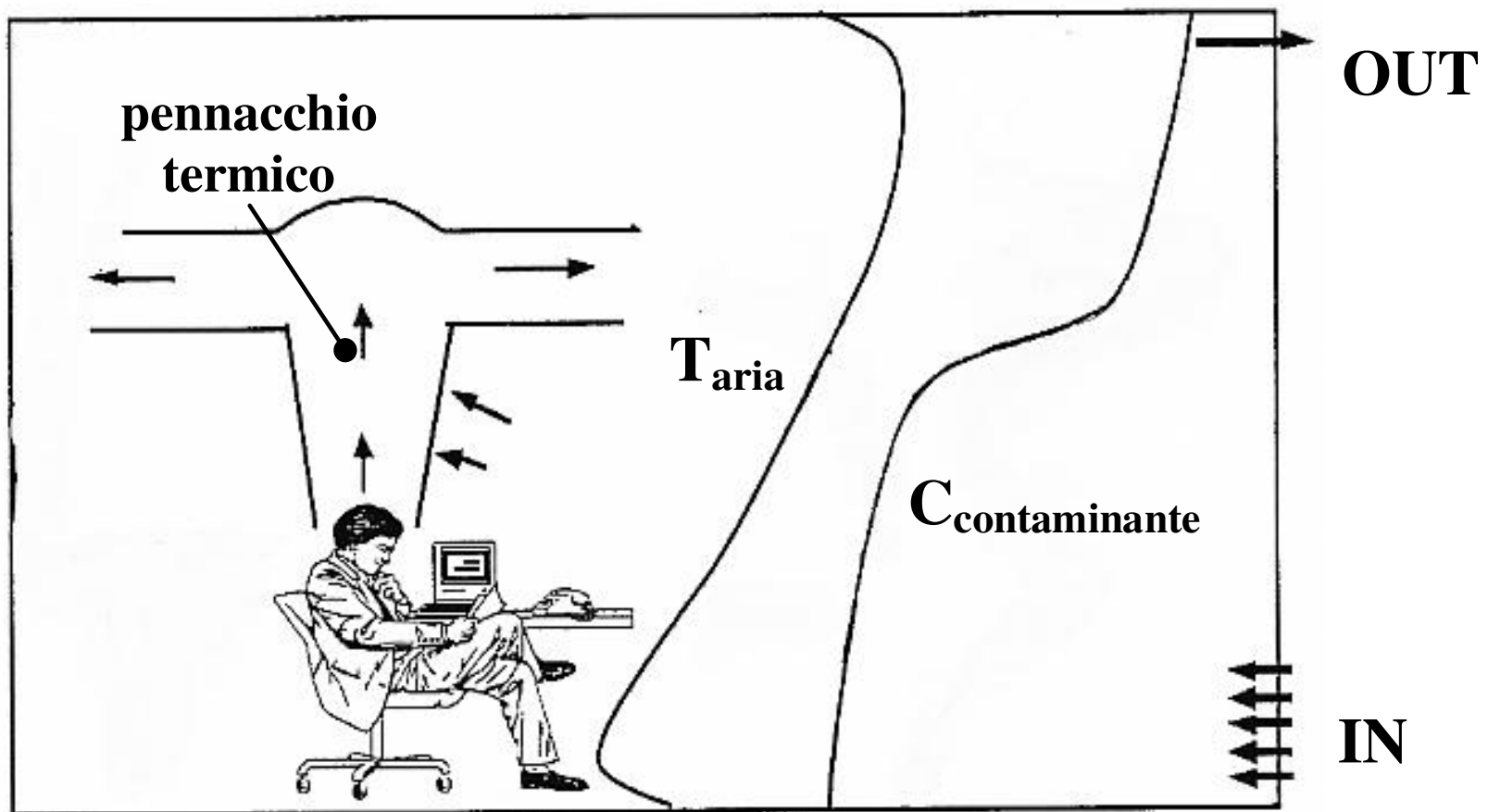
Impianti ad aria: strategie di ventilazione

Dislocamento (DV)



Impianti ad aria: strategie di ventilazione

Dislocamento (DV)



Sistemi ad aria primaria: strategie di ventilazione

**Mixing
Ventilation**

**Displacement
Ventilation**

Problematiche di comfort
in presenza di elevati carichi termici

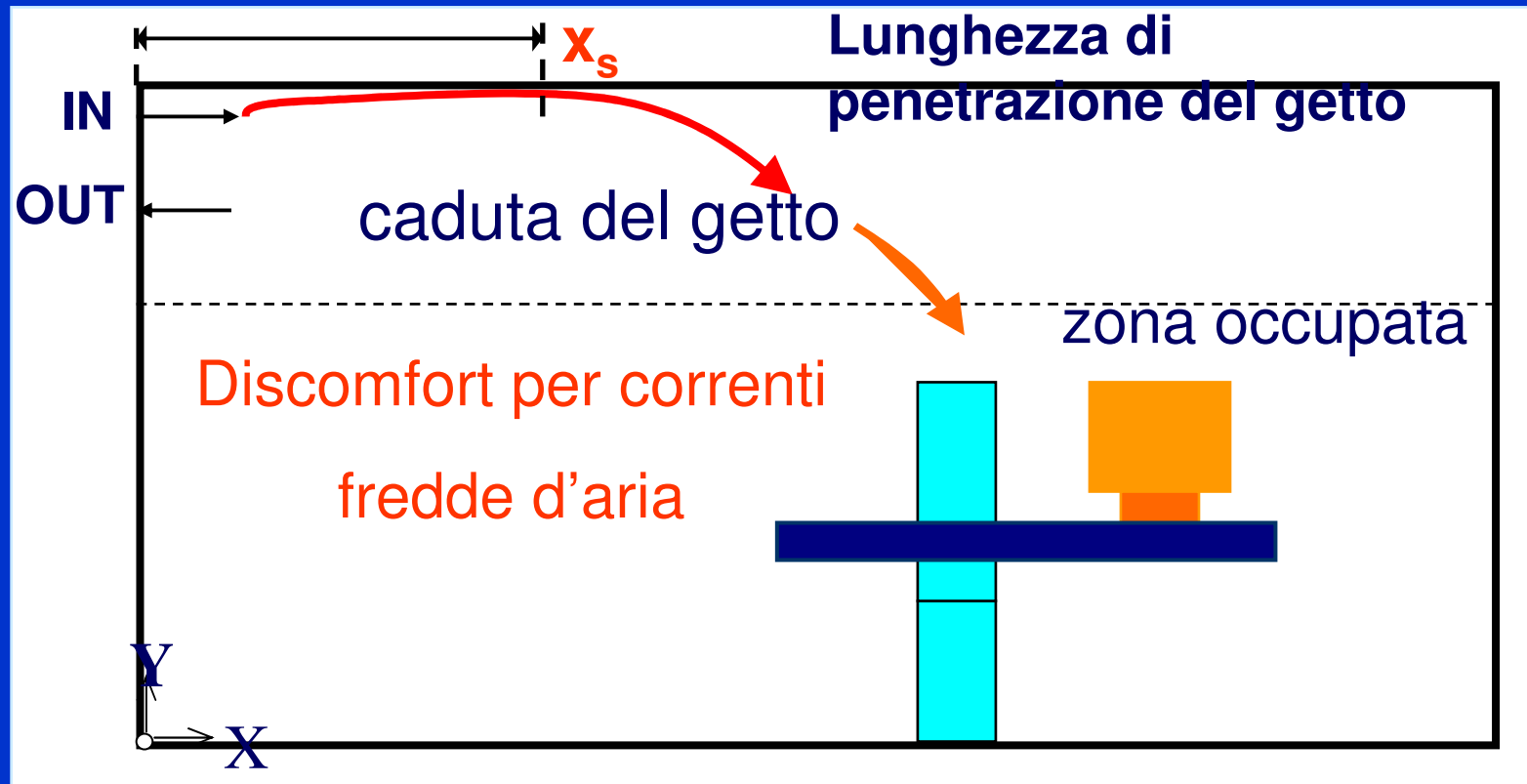


Controsoffitti Radianti



Ventilazione a miscelazione (MV)

problema: caduta del getto



Problema: elevate velocità e/o basse temperature

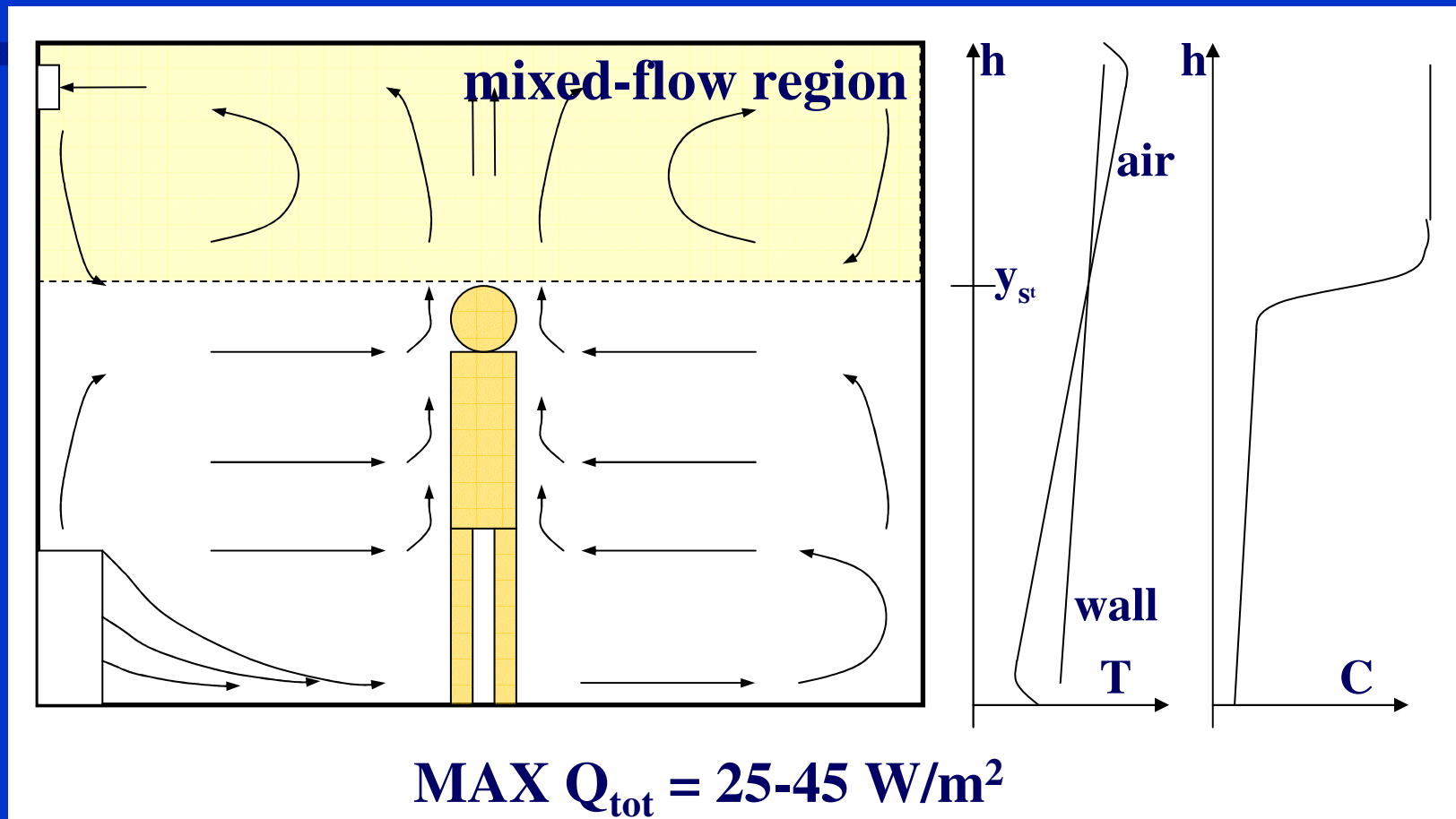


Displacement Ventilation (DV)

- DV : immissione di aria leggermente sottoraffreddata a livello del pavimento
- DV + riscaldamento: accoppiamento con pavimento caldo (soluzione ideale)
- DV + raffrescamento: accoppiamento con soffitto freddo (soluzione ideale) o pavimento freddo

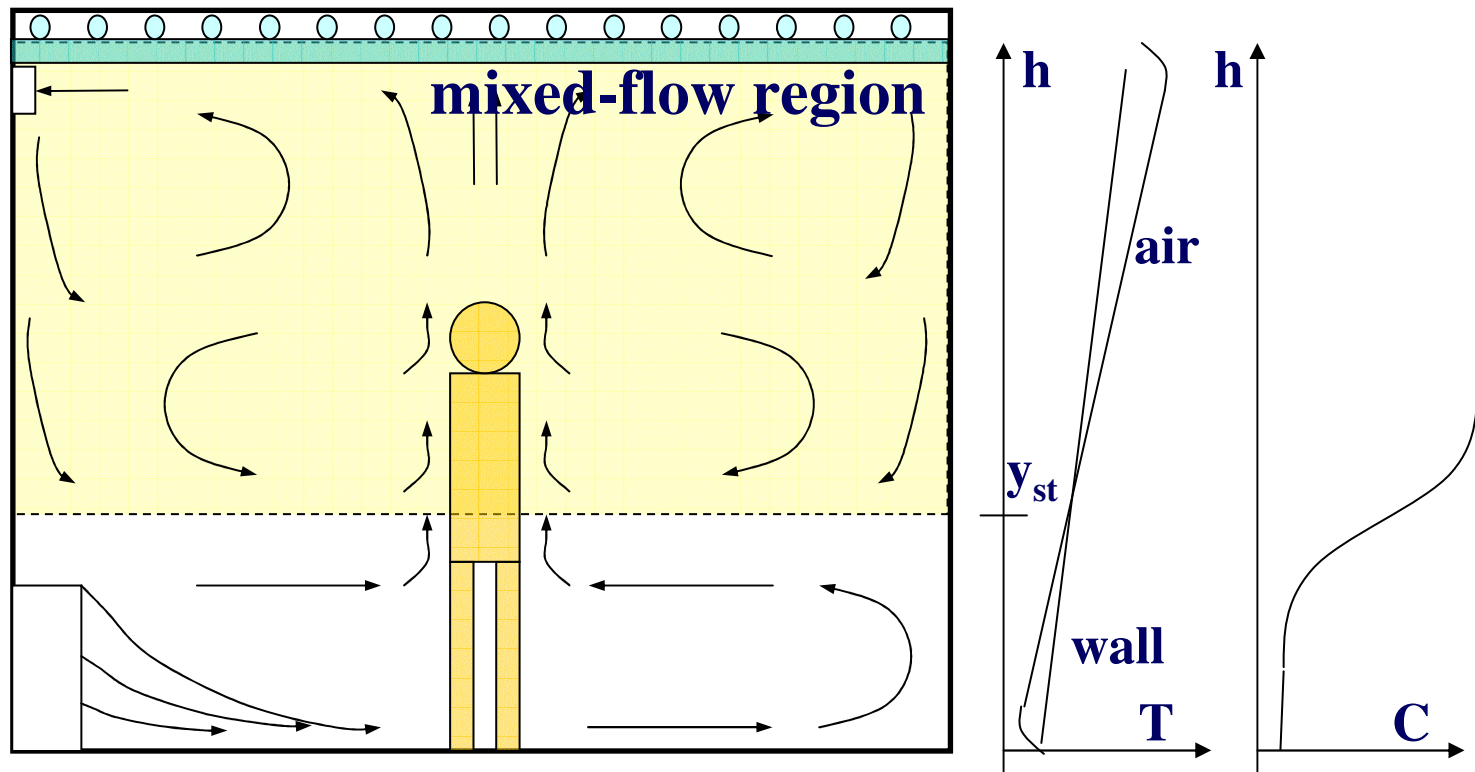


Displacement Ventilation (DV)



Problema con alti carichi: alto gradiente verticale di temperatura o bassa temperatura a pavimento³⁷

DV + Controsoffitto Radiante



MAX $Q_{\text{pannello}} = 50 \text{ W/m}^2$ (fino a $Q_{\text{tot}} 100 \text{ W/m}^2$)

Problema se $Q_{\text{pan}}/Q_{\text{tot}} > 0,5$:
estensione della mixed-region

Pannelli radianti

Conclusioni

- Nel caso dei pannelli radianti gli **aspetti di comfort** legati alle temperature superficiali ammissibili sono inscindibilmente connessi alle **prestazioni** (in riscaldamento e raffrescamento) del sistema
- I pannelli radianti presentano una singolare peculiarità nella dinamica di rimozione dei carichi termici (p.s. in presenza di carichi solari la resa di rimozione del carico cresce sensibilmente per la presenza di un alto **carico diretto**) ... **ciò deve essere attentamente valutato in fase di progetto**

Pannelli radianti

Conclusioni

- I pannelli radianti presentano delle **capacità superficiali** di cessione e asportazione dei carichi termici ben definite ed esclusivamente legate alla temperatura superficiale imposta
- L'**accoppiamento tra pannelli radianti e** sistemi di distribuzione dell'aria (sia **MV e DV**) permette di coprire un elevato numero di casistiche progettuali anche in presenza di elevati carichi, garantendo contemporaneamente un elevato livello di comfort e qualità dell'aria

