

**IRSAP**  
creating your comfort

***2019***

# **VENTILAZIONE MECCANICA ADATTIVA**

*2019*

# **ORIGINI DELLA VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA**

## ***Origini della ventilazione meccanica controllata***

In anni recenti si è assistito ad una crescita di interesse per la problematica della qualità dell'aria indoor IAQ (Indoor Air Quality).

I motivi principali sono 3:

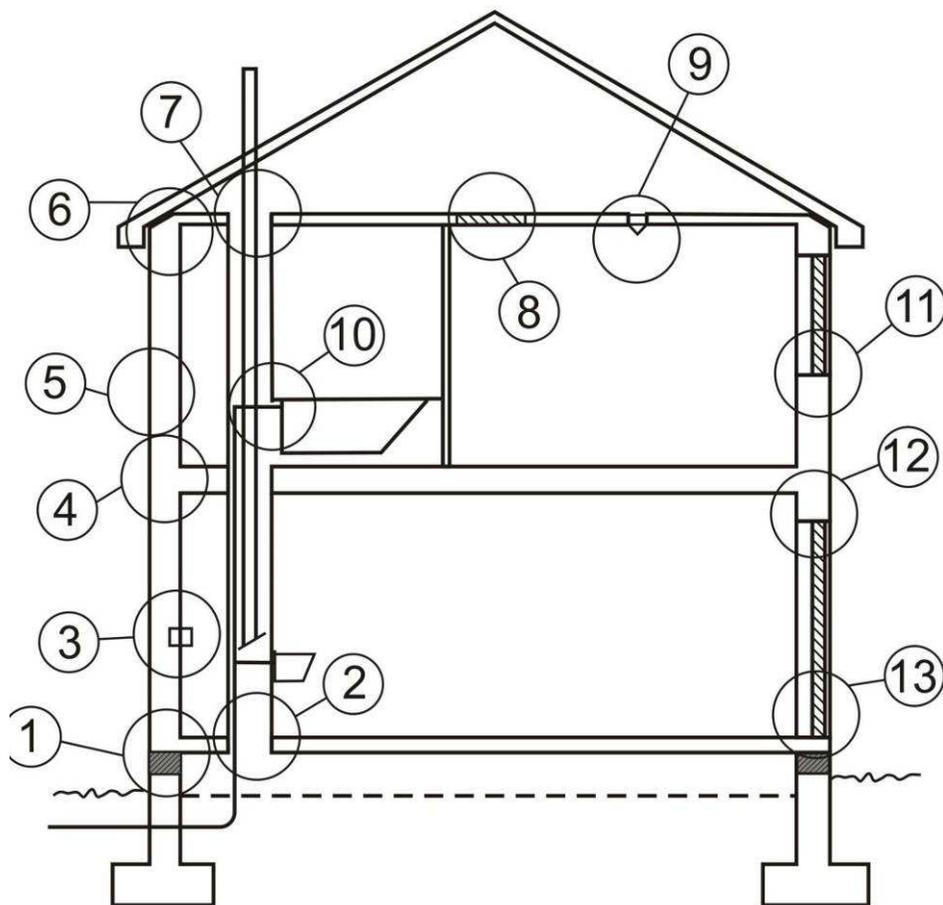
- 1) Maggiore consapevolezza degli effetti degli inquinanti indoor sulla salute, sul benessere e sulla produttività delle persone
- 2) Richiesta di sempre più elevati livelli di prestazione dei sistemi impiantistici
- 3) Aggravamento condizioni inquinamento indoor

## Aggravamento condizioni inquinamento indoor

- a) Diffuso impiego di materiali (per l'edificio, per gli arredi, ecc.) che emettono sostanze potenzialmente inquinanti
- b) Largo utilizzo negli ambienti di apparati (fotocopiatrici, stampanti, ecc.) anch'essi potenzialmente inquinanti
- c) Riduzioni delle infiltrazioni e dei ricambi d'aria negli ambienti dettate da obiettivi di riduzione dei costi economici e di contenimento dei consumi energetici

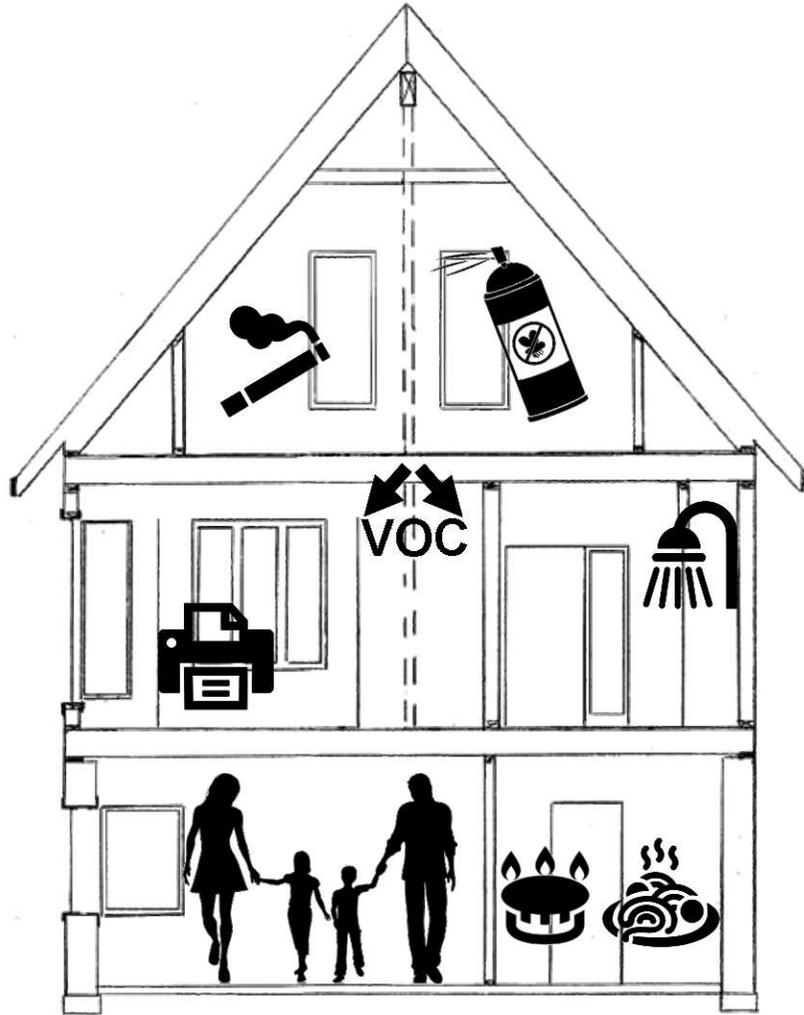
# Le leggi sul risparmio energetico

## Dove si è intervenuto



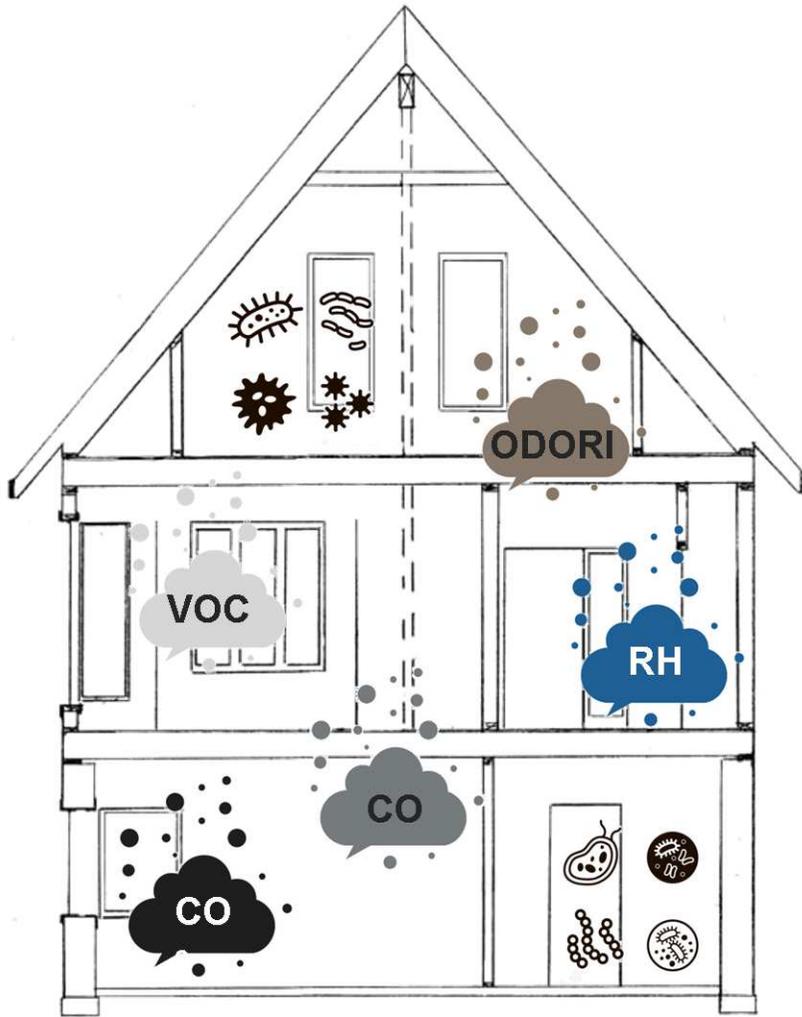
- 1** Giunzioni pavimento-parete
- 2** Fenditure tra tubazioni e pavimenti
- 3** Fori su pareti per passaggio di impianti elettrici
- 4** Fessure in corrispondenza ai solai
- 5** Passaggi di tubazioni di sfiato
- 6** Mancanza di tenuta tra tetto e pareti
- 7** Fenditure tra soffitto-tetto e tubazioni
- 8** Infiltrazioni attraverso botole e sportelli a scarsa tenuta
- 9** Aperture nel soffitto per corpi illuminanti
- 10** Aperture verso cavedi attraverso sportelli o pannelli
- 11** Fessure tra finestre e pareti
- 12** Fori di drenaggio
- 13** Porte e finestre a scarsa tenuta

## La sindrome da edificio malato



Non è solo l'effetto della sigillatura dei serramenti a aumentare l'inquinamento dell'aria, ma anche i nuovi materiali da costruzione, nonché la presenza di apparecchiature come fotocopiatrici responsabili della formazione di ozono.

# La sindrome da edificio malato



Tra la fine degli anni 70 e l'inizio degli anni 80 ci si accorge che i nuovi edifici sono diventati insalubri.

Si cominciano ad effettuare ricerche molto serie sulle conseguenze sulla salute degli occupanti e sulle loro produttività, nel caso di uffici.

**Sick Building Syndrome (SBS)** o **Sindrome dell'Edificio Malato**: gli occupanti di un edificio possono lamentare *generici disturbi di salute*, non riconducibili a malattia o causa specifiche, **avvertibili solo ed esclusivamente durante la permanenza all'interno dell'edificio**. I malesseri possono essere localizzati anche solo a determinate stanze o settori.

**Building Related Illness (BRI)** ovvero **Malattia Correlata all'Edificio** sta ad indicare una malattia particolare ben identificata, causata dalla presenza di determinati inquinanti in sospensione nell'aria di un ambiente chiuso.

# CONCETTI DI BASE

# Strategie per ricambiare l'aria degli ambienti

- Aerazione
- Ventilazione naturale
- Ventilazione meccanica
- Ventilazione ibrida

## Il concetto di AERAZIONE

*“natural ventilation by window opening”*

L'aerazione, dipendendo dall'utenza, è arbitraria. Affiancarla al termine “natural ventilation”, induce a pensare all'aerazione “per quanto possibile” *controllata*.

Non è così, perché l'aerazione dipende dall'utenza che non sempre ha la giusta sensibilità nei confronti della IAQ.

La dicitura «aerazione forzata» (presente in molti regolamenti edilizi) è scorretta!

# Effetti dell'apertura delle finestre

Il modo più naturale per cambiare l'aria è aprire le finestre. Tuttavia il metodo è poco efficace e potenzialmente dannoso/pericoloso.



- Nessun controllo della portata di aria
- Discomfort termico
- Spreco energetico
- Nessun filtraggio
- Formazione correnti d'aria
- Rumore in ambiente
- Problemi di sicurezza
- Impossibile in caso di maltempo

## Portata d'aria immessa

Secondo la norma UNI EN 15242 la portata d'aria  $Q$  in  $\text{m}^3/\text{h}$  immessa in un ambiente dall'apertura della finestra da un singolo lato è data da:

$$Q = 3,6 * 500 A_{FA} \left( 0,01 + 0,001 v_V^2 + 0,0035 H_F |T_I - T_E| \right)^{0,5}$$

con:

$A_{FA}$  area apertura finestra in  $\text{m}^2$

$v_V$  velocità del vento in  $\text{m/s}$

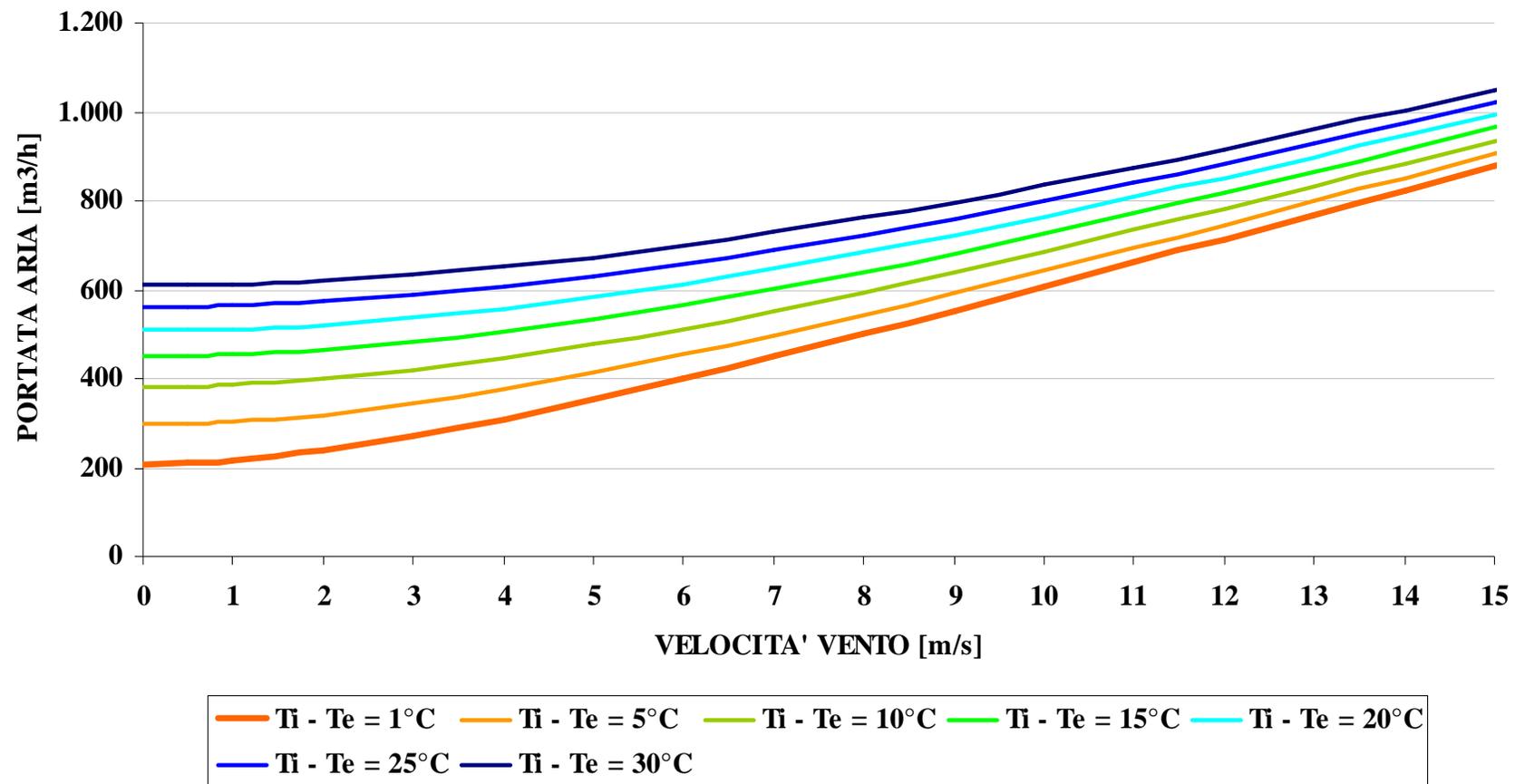
$H_F$  altezza finestra in  $\text{m}$

$T_E$  temperatura dell'aria esterna in  $^{\circ}\text{C}$

$T_I$  temperatura dell'aria interna in  $^{\circ}\text{C}$

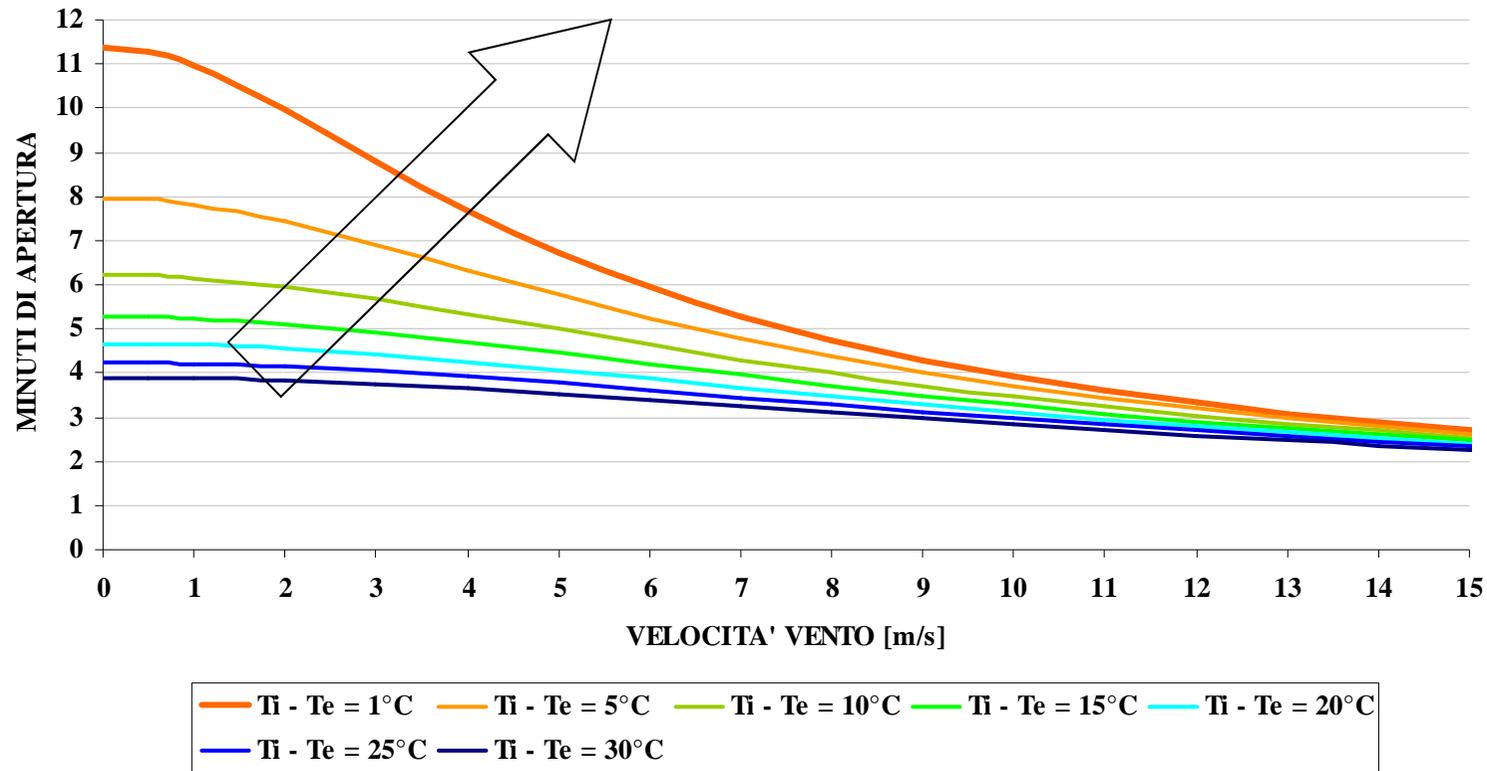
# Portata d'aria immessa

La figura mostra la portata d'aria per 1 m<sup>2</sup> di finestra altezza 1m in funzione della velocità del vento



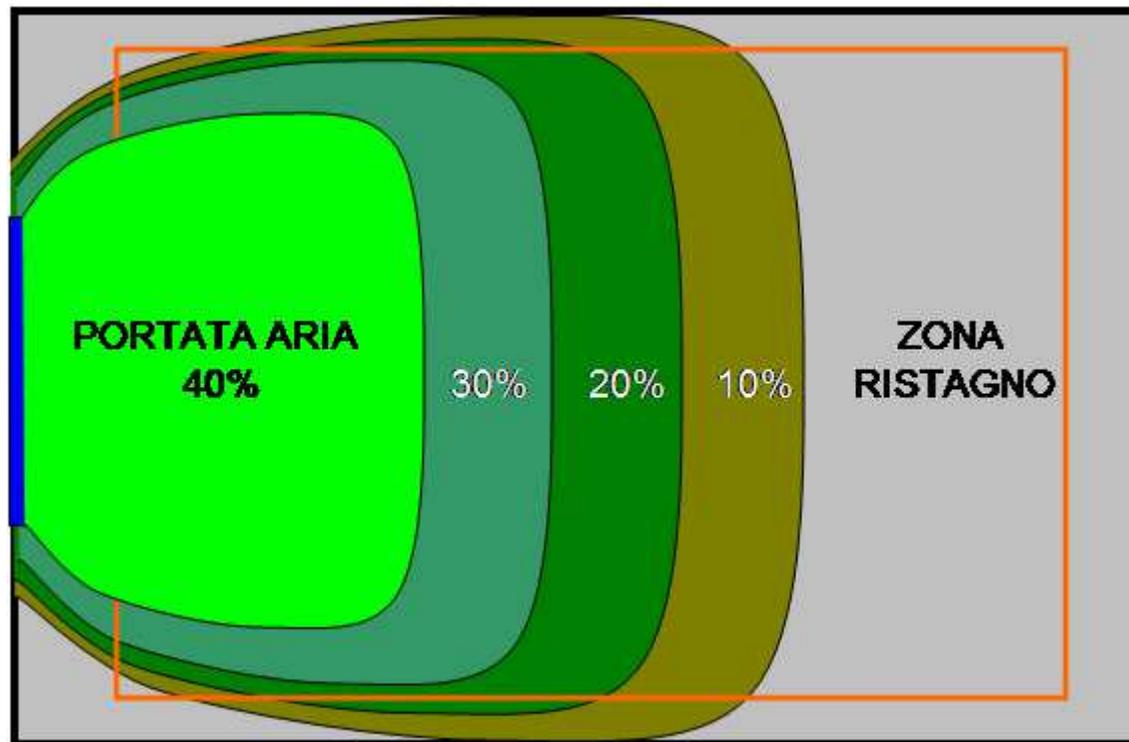
## Portata d'aria immessa

Per fare un esempio, per immettere  $40 \text{ m}^3$  d'aria in una stanza con  $1 \text{ m}^2$  di finestra altezza  $1 \text{ m}$ , la finestra dovrebbe rimanere aperta per:



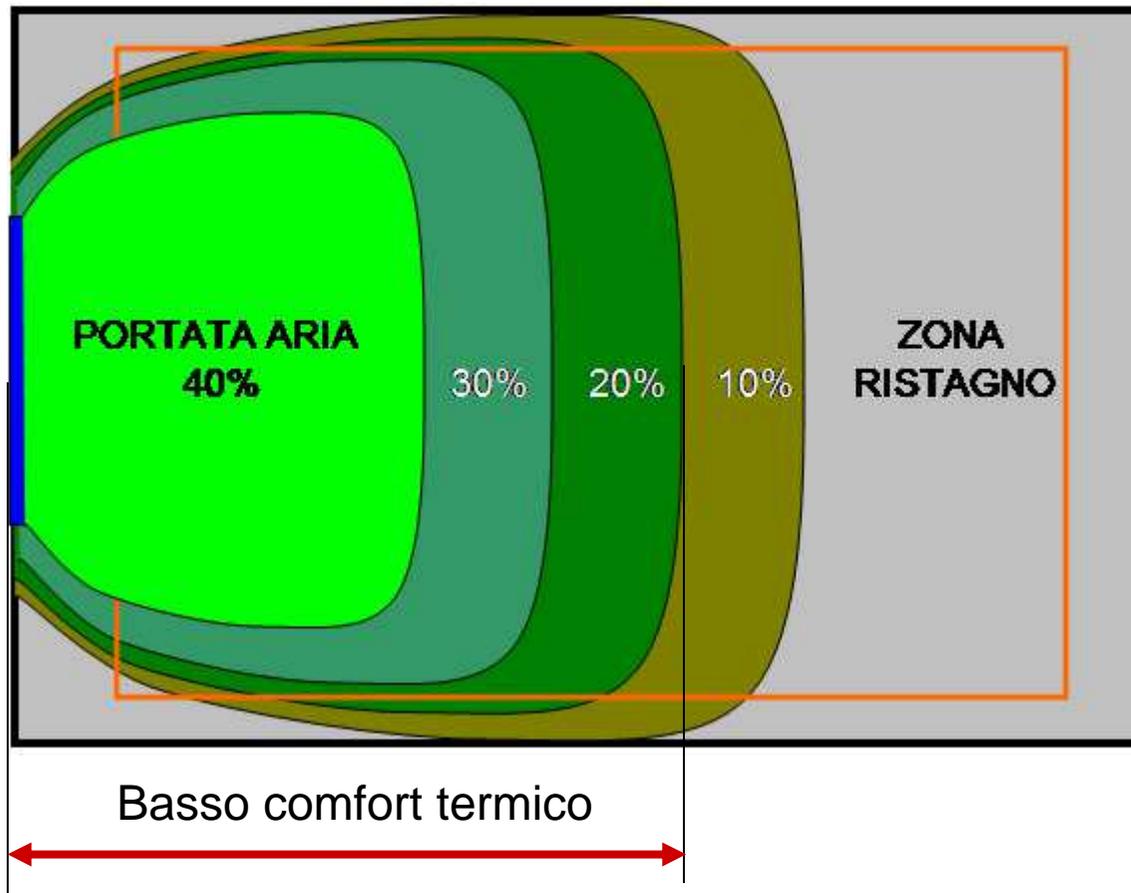
## Miscelazione dell'aria in ambiente

Con la semplice apertura delle finestre, non si ottiene la stessa  
ottiene una buona miscelazione dell'aria. Indicativamente  
l'aria immessa si distribuisce come mostrato in figura (vista in  
pianta)



## Miscelazione dell'aria in ambiente

Di conseguenza vicino alla finestra aperta, il comfort termico peggiora (vista in pianta).



## Portata d'aria immessa da una finestra non completamente aperta

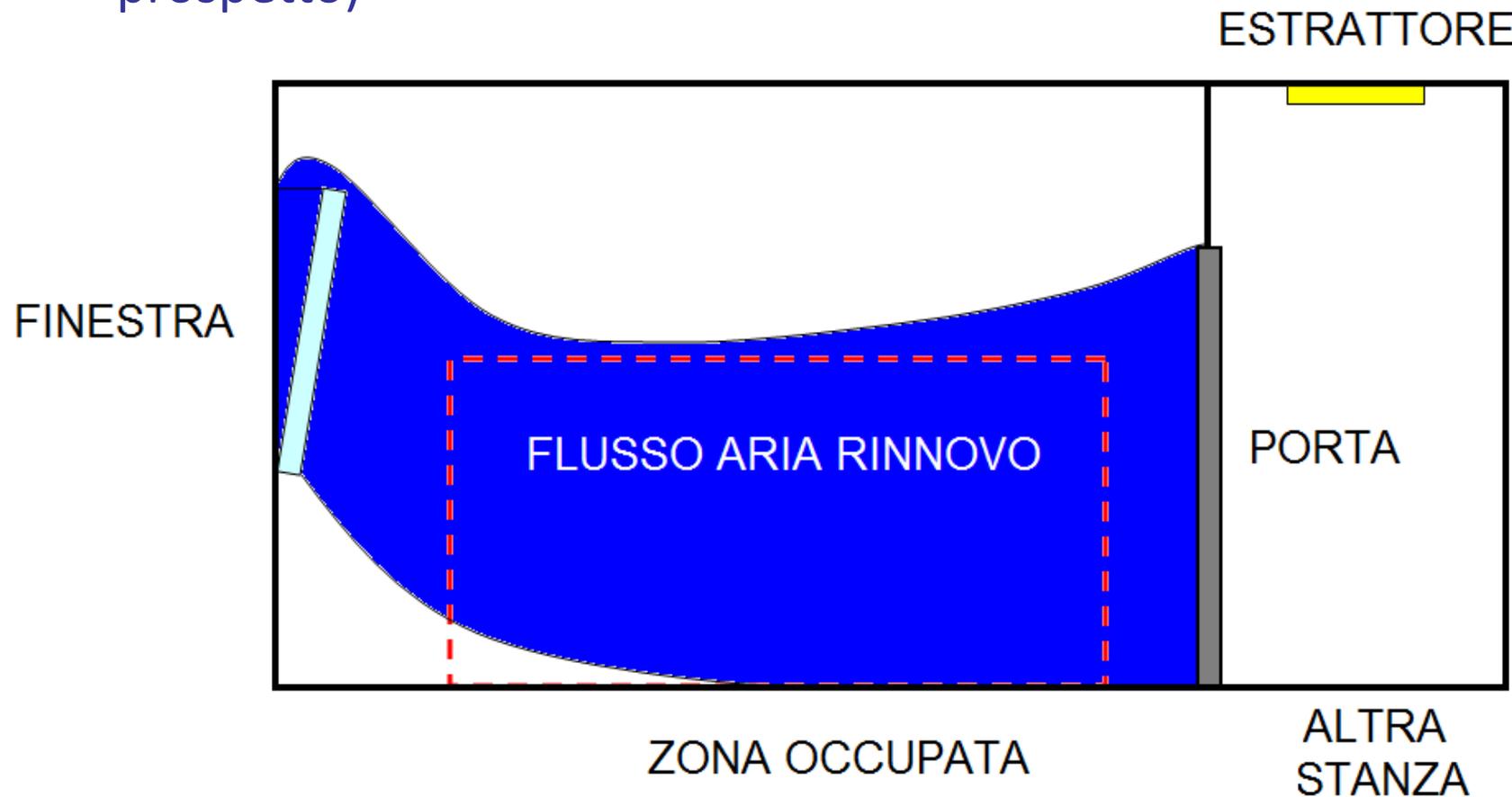
Lo norma UNI EN 15242 permette di calcolare anche la portata d'aria immessa da una finestra aperta parzialmente (tipico caso della finestra a Vasistas).

$$A_{FAp} = (2,6 * 10^{-7} \alpha^3 - 1,19 * 10^{-7} \alpha^2 - 1,86 * 10^{-7} \alpha) A_{FA}$$

$\alpha$  è l'angolo di apertura della finestra

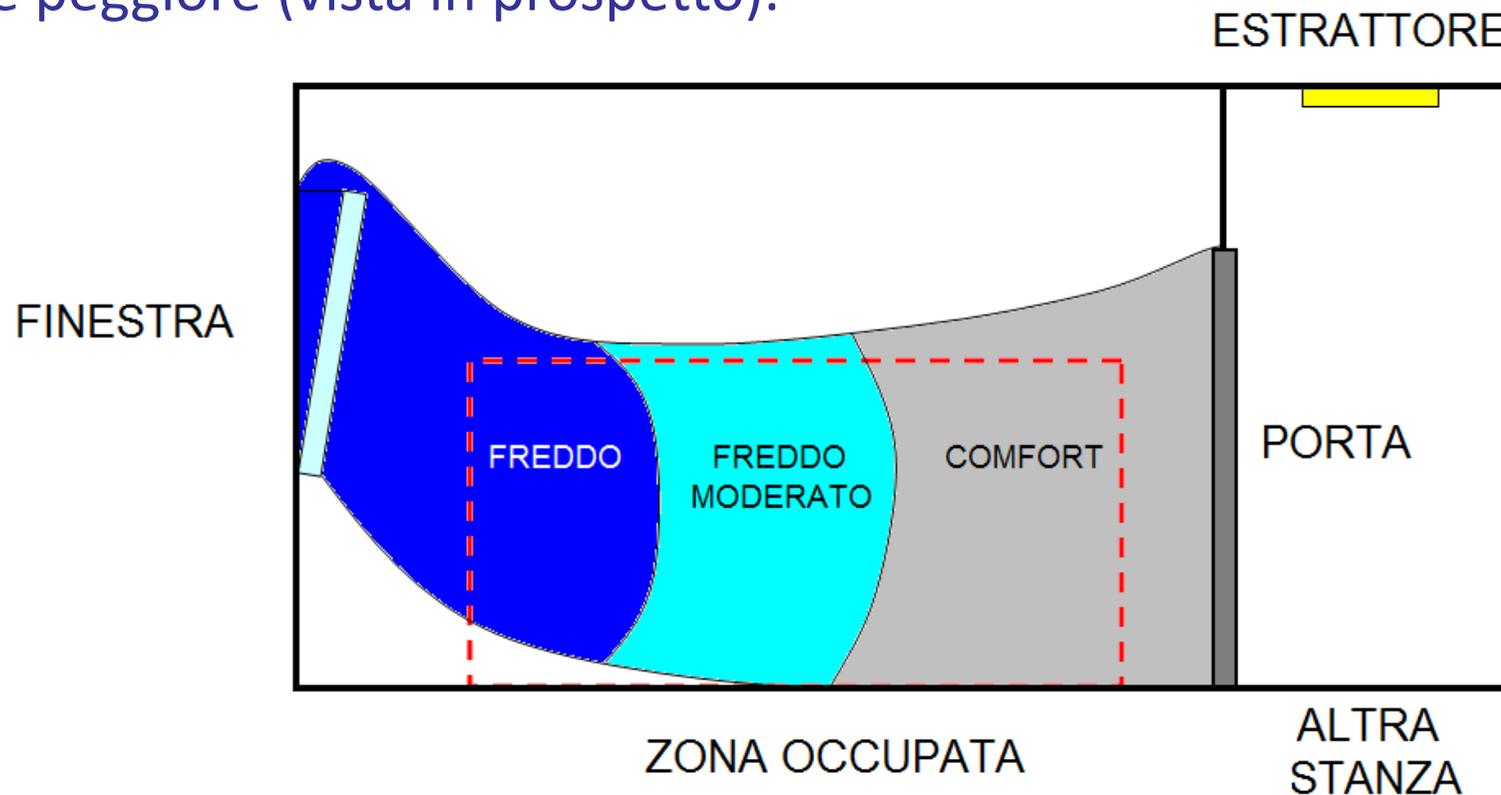
## Miscelazione dell'aria in ambiente

Per garantire una buona qualità dell'aria in tutta la zona occupata, è necessario creare un flusso d'aria (Vista in prospettiva)



## Miscelazione dell'aria in ambiente

Se questo risolve il problema della qualità dell'aria, non risolve affatto quello del benessere termico. L'aria immessa si riscalda mano a mano che il flusso avanza verso l'estrazione: le zone più vicine al punto d'immissione sono quelle dove il comfort termico è peggiore (vista in prospettiva).



## Il concetto di VENTILAZIONE

*“Designed supply and removal of air to and from a treated space”*

La ventilazione richiede un progetto.

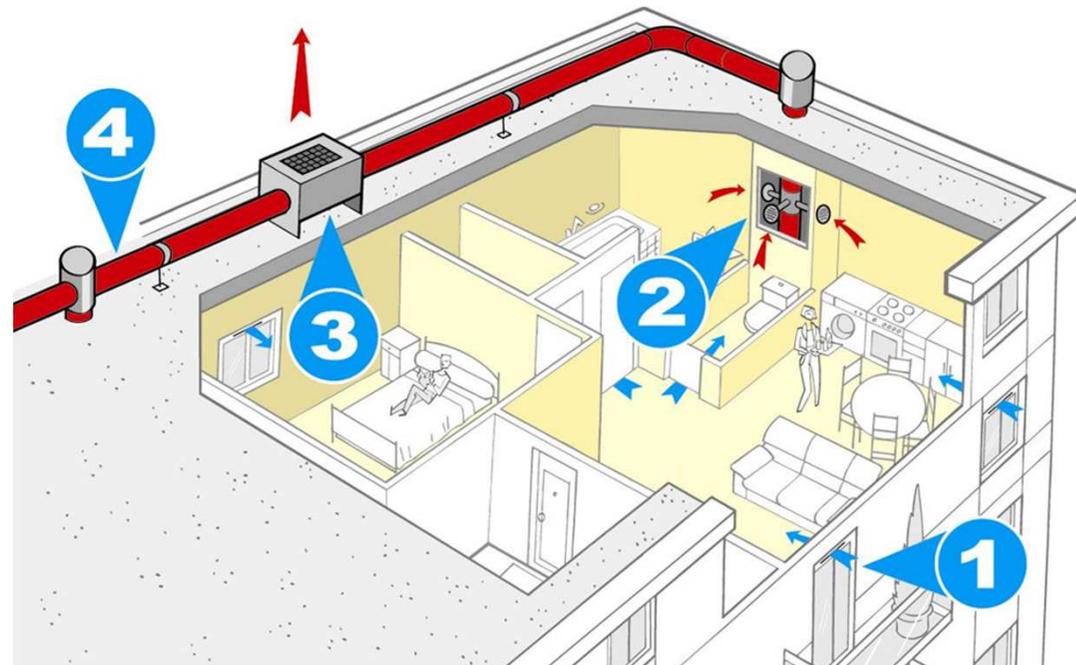
Lo studio della ventilazione degli ambienti è di competenza del progettista.

Egli deve individuare la strategia più idonea per l'ottenimento di una adeguata IAQ.

# Il concetto di VENTILAZIONE MECCANICA

*“ventilation with the aid of powered air movement components”*

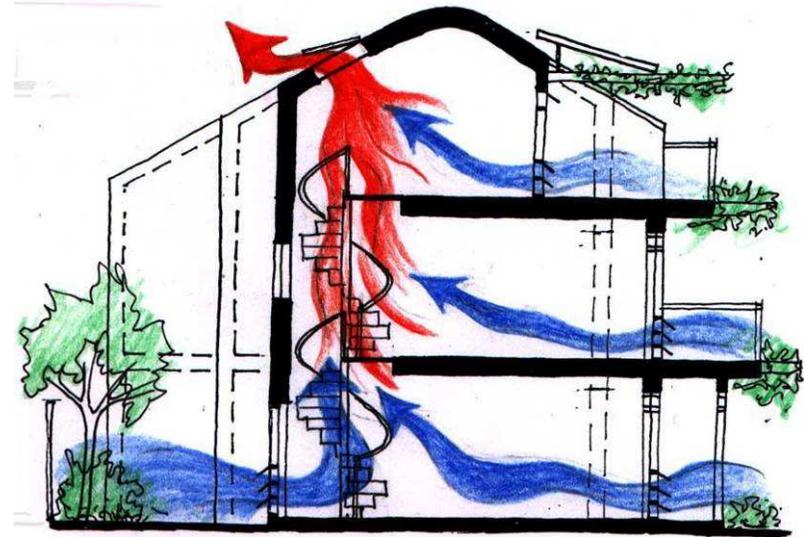
L'aria è mossa da ventilatori. Vi è un consumo energetico.



# Il concetto di VENTILAZIONE NATURALE

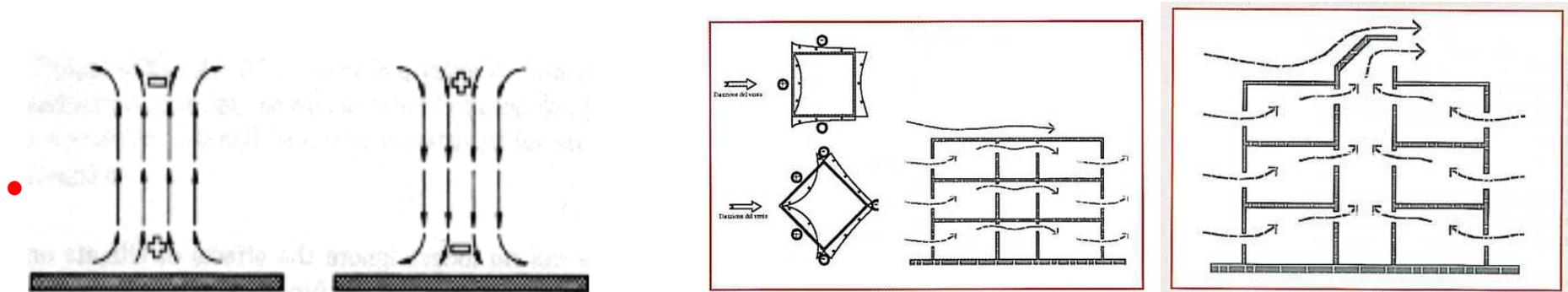
*“Ventilation through leakage paths (infiltration) and openings (ventilation) in the building which relies on pressure differences without the aid of powered air movement components”*

Il movimento dell'aria avviene in modo naturale grazie alla differenza di temperatura e di pressione ambiente ed esterno.



# Ventilazione naturale: fenomenologia

Il **gradiente termico**: differenza di temperatura dell'aria tra diverse zone dell'edificio comunicanti tra di loro (*stack ventilation: ventilazione per effetto camino*).



Il **gradiente anemologico**: causato dall'incidenza del vento sull'edificio. Le parti direttamente esposte all'aria subiranno la pressione del vento (sovrappressione), mentre gli altri lati - verso i quali vi sarà un notevole passaggio d'aria - saranno caratterizzati da condizioni depressionarie (*wind-driven ventilation – cross ventilation: ventilazione trasversale*).

## **Leggende metropolitane sulla ventilazione naturale**

**“La ventilazione naturale può contribuire a una riduzione dei consumi di energia elettrica, per ventilazione meccanica e condizionamento, e dell’inquinamento dell’aria (gas serra) connesso.”**

Commento: non è vero! La VN non è controllabile, per cui in alcune situazioni climatiche il ricambio dell’aria è esagerato ed in altre nullo (il che implica anche un non controllo della qualità dell’aria interna).

# Leggende metropolitane sulla ventilazione naturale

**“La VN determina condizioni ambientali interne più salutari, o percepite tali, della ventilazione meccanica.”**

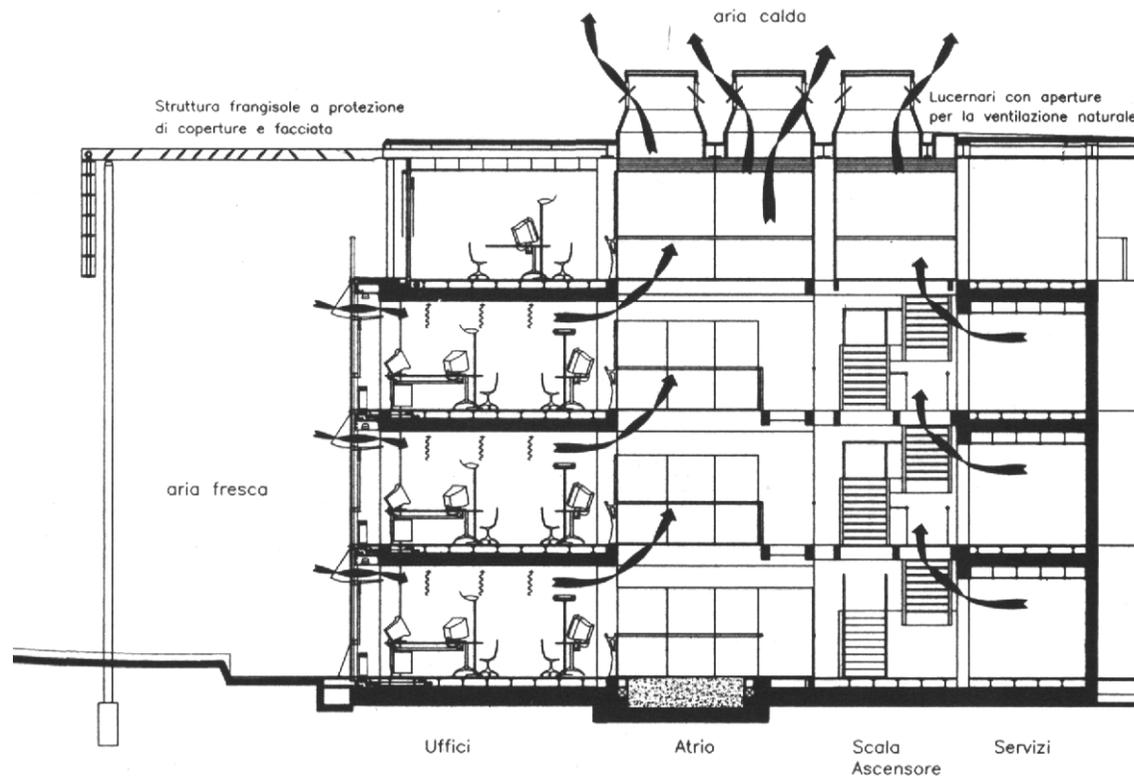
Commento: la VN non sempre è efficace, in particolare per la diluizione del gas radon, per l'eliminazione delle muffe ed in caso di fughe di gas,

Inoltre, come detto in precedenza, la portata non è costante: quindi l'affermazione sopra riportata non è giustificata.

# La ventilazione ibrida

La ventilazione ibrida associa la ventilazione naturale a quella meccanica controllata, usando l'una o l'altra a secondo delle condizioni climatiche.

E' poco usata nel residenziale



**INQUINANTI**

# Inquinanti esterni

Sono quelli presenti nell'aria esterna:

- Ossidi di azoto, zolfo e carbonio
- Ozono
- Composti organici volatili
- Particolato
- Pollini
- Microorganismi (muffe, batteri, funghi)

# Inquinanti interni

## *Percepibili*



Odori



Umidità



Fumo di tabacco  
ambientale

## *Non percepibili*



Allergeni  
insetti, animali,  
pollini...



Composti organici  
volatili



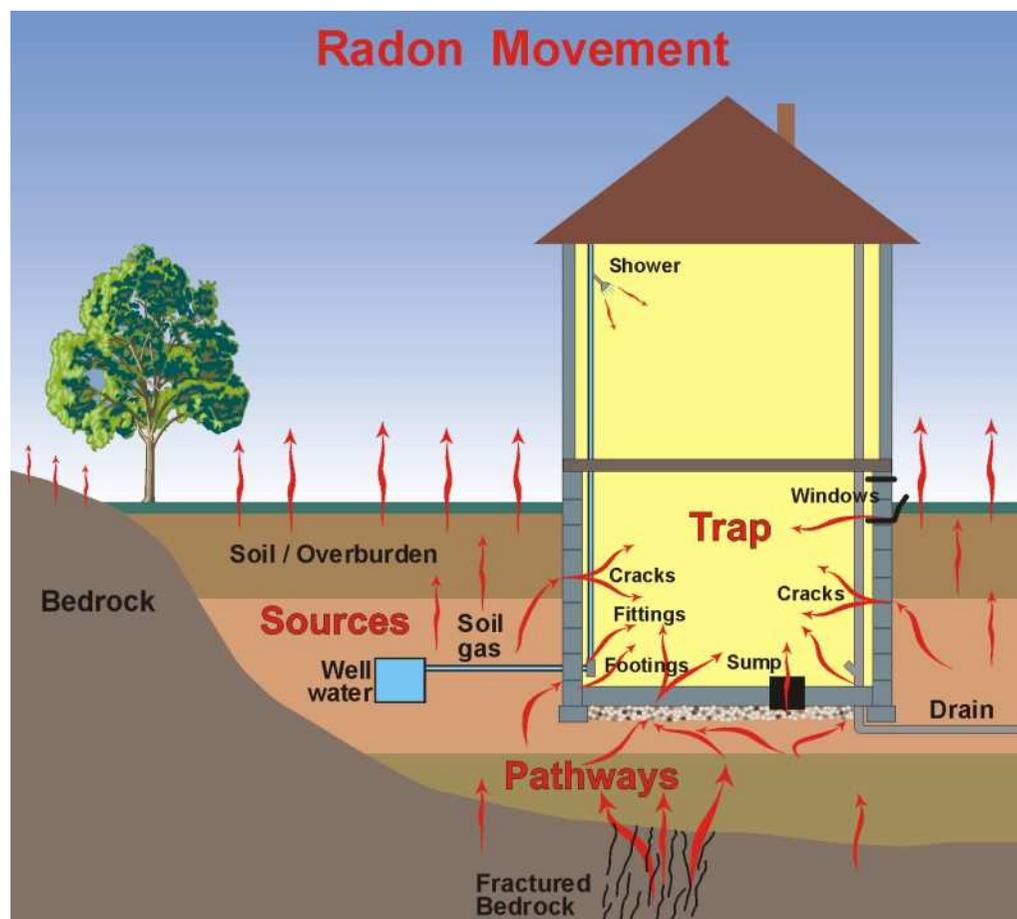
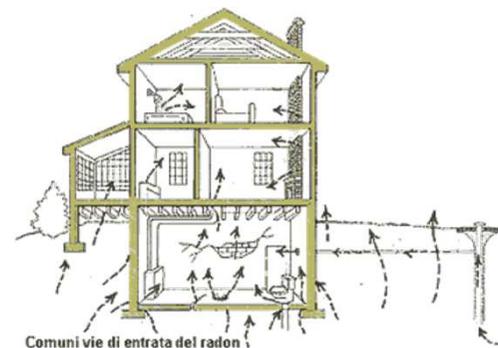
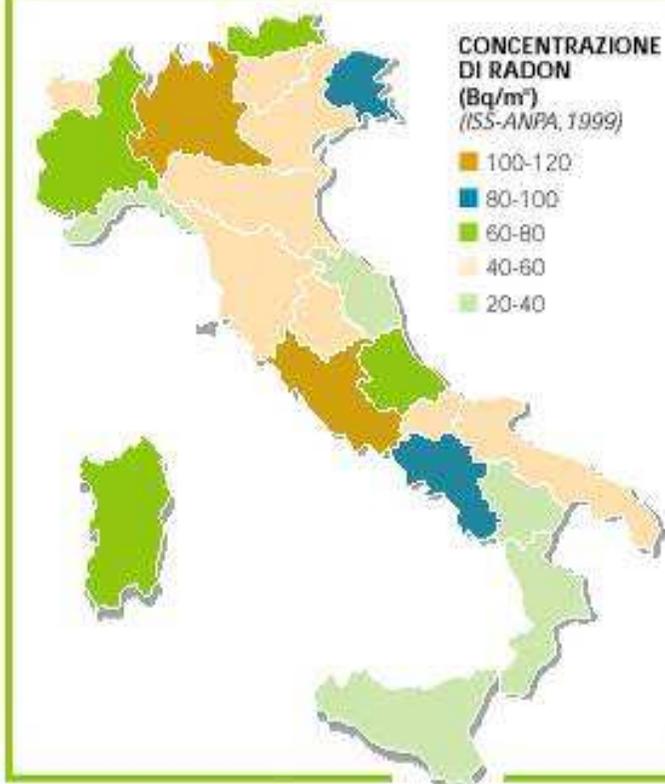
Radon

## Inquinanti

### IL RADON IN ITALIA

■ Concentrazione di radon, in Bequerel per metro cubo, nelle diverse regioni italiane. I valori medi regionali sono stati ricavati da un'indagine nazionale condotta alla fine degli anni ottanta, che ha indicato come valore medio nazionale 70 Bequerel per metro cubo.

(Fonte: ARPAV)



## Inquinanti interni

### **Batteri (o germi)**

Rappresentano un terzo di tutti gli organismi viventi nell'aria.

Si dividono in gram-negativi e gram-positivi. I primi producono endossina, sostanza infiammatoria associata a patologie tipiche dell'inquinamento interno.

I batteri gram-positivi comprendono varie specie come gli Stafilococchi e i Micrococchi, il cui vettore principale è l'uomo, ma possono trovarsi altrove, in condizioni di elevata umidità.

# Inquinanti interni

## **Virus**

Sono responsabili delle infezioni delle prime vie aeree (otiti, sinusiti, faringiti, tracheiti), delle basse vie respiratorie (bronchiti e polmoniti) e di alcune patologie epidemiche come morbillo e varicella.

Influenza e sindromi parainfluenzali sono le malattie a più ampia diffusione allergenica.

## effetti dovuti a scarsa qualità dell'aria

Inquinanti	Effetti sulla salute	Inquinanti	Effetti sulla salute
<b>Radon</b>	Insorgenza di cancro al polmone in seguito ad esposizioni continuative.	<b>Particolato</b>	Irritazione a occhi, naso e gola, infezioni del tratto respiratorio, bronchiti, cancro al polmone.
<b>ETS (fumo di sigaretta)</b>	Irritazione a naso, occhi e gola; mal di testa; cancro al polmone; disturbi al sistema cardiaco; aumento del rischio di infezioni del tratto respiratorio più basso; aumento episodi di asma; diminuzione funzioni polmonari.	<b>Cont. chimici</b>	Irritazione a occhi, naso e gola, mal di testa, difficoltà di coordinazione, nausea, possibili danni a fegato, reni e sistema centrale; sospetta causa di cancro negli esseri umani.
<b>Pb</b>	<u>10 µg/dl nel sangue:</u> diminuzione dello sviluppo fisico e mentale; <u>Oltre 80 µg /dl nel sangue:</u> convulsioni, coma ed eventualmente morte;	<b>Cont. biologici</b>	Irritazione a naso, occhi e gola; difficoltà respiratorie; capogiri; letargia; febbre e problemi digestivi; asma; disturbi di carattere infettivo .

**Eccesso di CO<sub>2</sub> negli ambienti**

# Le emissioni di CO<sub>2</sub> in ambiente

Dipendono dal numero di persone presenti e dalla loro attività.

Un adulto seduto a riposo emette 0,004 litri/s di CO<sub>2</sub>, corrispondenti a 14,4 litri/h.

La produzione sale con l'attività delle persone, arrivando fino a 0,013 litri/s (46,8 litri/h) in caso di attività all'interno di una abitazione.

Anidride carbonica viene rilasciata anche dagli animali domestici.

Ogni sigaretta fumata emette a 0,044 litri di CO<sub>2</sub> mentre un'ora di cottura ai fornelli a metano da 0,01 litri fino 0,025 litri.

Le piante assorbono l'anidride carbonica in alcune ore del giorno con la fotosintesi clorofilliana e la rilasciano "respirando". Il bilancio è comunque sempre negativo, nel senso che tendono a ridurre la presenza di CO<sub>2</sub> in ambiente.

# Contenuto limite di CO<sub>2</sub> in ambiente

Il contenuto di CO<sub>2</sub> si misura in PPM (parti per milione).

Il calcolo di 1 PPM si ottiene con la seguente formula:

$$1 \text{ PPM} = 1.000.000 \frac{\text{contenuto di } CO_2}{\text{volume dell'ambiente}}$$

Dove sia il contenuto che il volume sono espressi nella stessa unità di misura (o litri o m<sup>3</sup>)

Per fare un esempio, in una stanza da 60 m<sup>3</sup> (60.000 litri), il contenuto di 3 litri corrisponde a 5 PPM

# Contenuto limite di CO<sub>2</sub> in ambiente

Generalmente il contenuto di CO<sub>2</sub> nell'aria esterna varia tra 300 PPM e 500 PPM.

La UNI EN 15251 prescrive i valori limite per categoria di ambiente come differenza  $\Delta$  tra il contenuto di CO<sub>2</sub> dell'aria interna e quella esterna :

CATEGORIA I <sup>^</sup>	$\Delta \leq 300$ PPM
CATEGORIA II <sup>^</sup>	$\Delta \leq 500$ PPM
CATEGORIA III <sup>^</sup>	$\Delta \leq 800$ PPM
CATEGORIA IV <sup>^</sup>	$\Delta > 800$ PPM

E' comunque consigliato negli ambienti interni non eccedere valori di 5.000 PPM

# Contenuto limite di CO<sub>2</sub> in ambiente

Il significato delle categorie è :

Tab. 6.1 - Classificazione dell'aria interna secondo la norma UNI EN 15251 (2008)

Categoria	Percentuale insoddisfatti PD	Definizione
I	15%	<u>Alto livello di aspettativa</u> : è raccomandato per ambienti occupati da soggetti molto sensibili e fragili con necessità particolari, come diversamente abili, malati, bambini e anziani
II	20%	<u>Normale livello di aspettativa</u> : dovrebbe essere usato per i nuovi edifici per quelli ristrutturati
III	30%	<u>Moderato, ma accettabile livello di aspettativa</u> : può essere utilizzato per gli edifici esistenti
IV	>30%	Ambiente che presenta caratteristiche che non rispettano i criteri della precedente classe. Può essere accettato solo per un periodo limitato nell'anno

# Portata d'aria esterna per controllare CO<sub>2</sub> in ambiente

Per raggiungere il valore desiderato di CO<sub>2</sub> all'interno dell'ambiente si deve immettere una portata d'aria per persona  $Q_{Ep}$  in m<sup>3</sup>/h pari a:

$$Q_{Ep} = 1.000 \frac{G_{CO_2 \text{ persona}}}{C_I - C_E} = 1.000 \frac{G_{CO_2 \text{ persona}}}{\Delta C}$$

dove:

$G_{CO_2 \text{ persona}}$  è la produzione di CO<sub>2</sub> per persona, litri/h

$C_I$  è la quantità di CO<sub>2</sub> desiderata nell'ambiente interno, PPM

$C_E$  è la quantità di CO<sub>2</sub> dell'aria esterna, PPM

# Portata d'aria esterna per controllare CO<sub>2</sub> in ambiente

Quindi, volendo rispettare le classi della UNI EN 15251, le portate d'aria da immettere in m<sup>3</sup>/h per persona sono:

	Emissioni CO <sub>2</sub> per persona, litri/h							
	15	20	25	30	35	40	45	50
CATEGORIA I	50	67	83	100	117	133	150	167
CATEGORIA II	30	40	50	60	70	80	90	100
CATEGORIA III	19	25	31	38	44	50	56	63

**Eccesso di umidità dell'aria negli  
ambienti**

# **Eccesso di umidità all'interno degli ambienti**

Gli occupanti di edifici umidi e compromessi dalle muffe sono soggetti a:

- più alto rischio di infezioni respiratorie e manifestazione di asma e allergie
- maggiore rischio di contrarre malattie rare come la polmonite da ipersensibilità, alveolite allergica, rinosinusite cronica

# Produzione di vapore all'interno di un ambiente

Valori approssimativi di produzione di vapore per attività nel settore residenziale:

Adulto che dorme	40 g/h
Adulto in attività domestica	55 g/h
Cucinare (medio)	900 g
Lavare i piatti	100 g
Lavare e asciugare i vestiti	600 g
1 doccia	240 g

# Umidità specifica dell'aria all'interno di un ambiente

In un ambiente chiuso senza ricambio d'aria, la quantità di umidità specifica all'ora  $h$  è uguale a:

$$X_h = X_{h-1} + \frac{v G_x}{V} = X_{h-1} + \Delta X$$

$x_h$  = umidità specifica all'ora  $h$ , g/kg

$x_{h-1}$  = umidità specifica all'ora precedente, g/kg

$G_x$  = produzione di umidità nell'ora trascorsa, g

$V$  = volume dell'ambiente,  $m^3$

$v$  = volume specifico dell'aria,  $m^3/kg$

$\Delta x$  = variazione di umidità specifica nell'ora trascorsa, g/kg

Quindi, in un ambiente chiuso, l'umidità dell'aria tende sempre ad aumentare

# Umidità specifica dell'aria all'interno di un ambiente

Per fare un esempio, all'ora

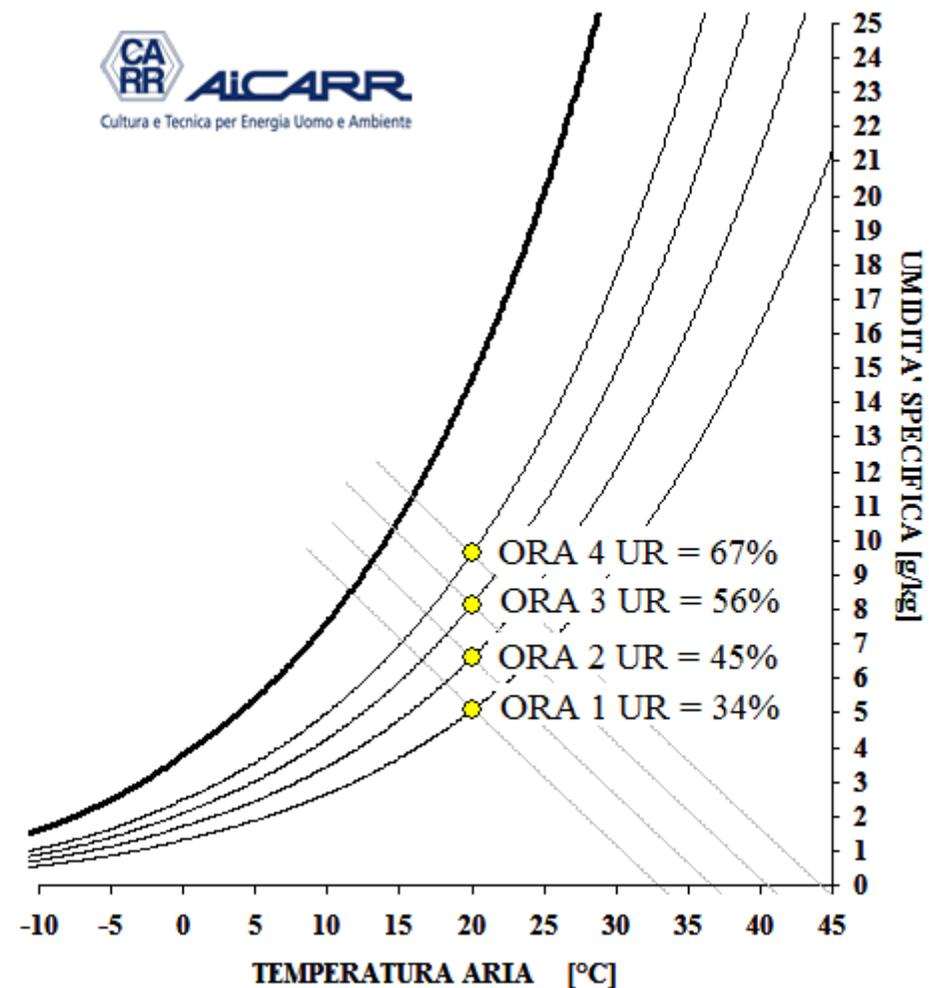
1:

$T = 20^{\circ}\text{C}$

$x = 5 \text{ g/kg}$

UR = 34%.

Se  $\Delta x = 1,5 \text{ g/h}$  l'aumento di UR nell'ambiente avviene come riportato in figura



## Umidità specifica dell'aria all'interno di un ambiente

Se invece vi è una immissione di aria esterna pari a  $y$  volte il volume dell'ambiente, il valore di  $x$  all'ora  $h$  è uguale a:

$$x_h = x_{h-1} + \frac{vG_x}{(1-n)V} + x_E \frac{V_E}{nV} = x_{h-1} + \frac{\Delta x}{(1-n)} + x_E \frac{V_E}{nV}$$

$x_E$  = portata oraria umidità specifica aria esterna, g/kg kg/h

$v_E$  = volume specifico dell'aria esterna immessa, m<sup>3</sup>/kg

$n$  = rapporto tra la portata d'aria di rinnovo e il volume, 1/h

Quindi, in un ambiente dove viene immessa aria l'umidità può aumentare, diminuire o rimanere inalterata a seconda della portata dell'aria di rinnovo.

# Umidità specifica dell'aria all'interno di un ambiente

Con aria esterna a 0°C e UR = 80% ( $x=3$  g/kg,  $v=0,78$  kg/m<sup>3</sup>), se si mantiene la temperatura interna a 20°C grazie al riscaldamento, l'andamento della temperatura dipende solo dal valore n:

	n = 0,5		n = 1		n = 1,5	
Temperatura	x	UR	x	UR	x	UR
°C	g/kg		g/kg		g/kg	
20	5,8	40%	5,8	40%	5,8	40%
20	6,6	45%	5,8	40%	5,1	35%
20	7,4	51%	5,8	40%	4,3	30%
20	8,1	56%	5,8	40%	3,6	25%

# Formazione delle muffe

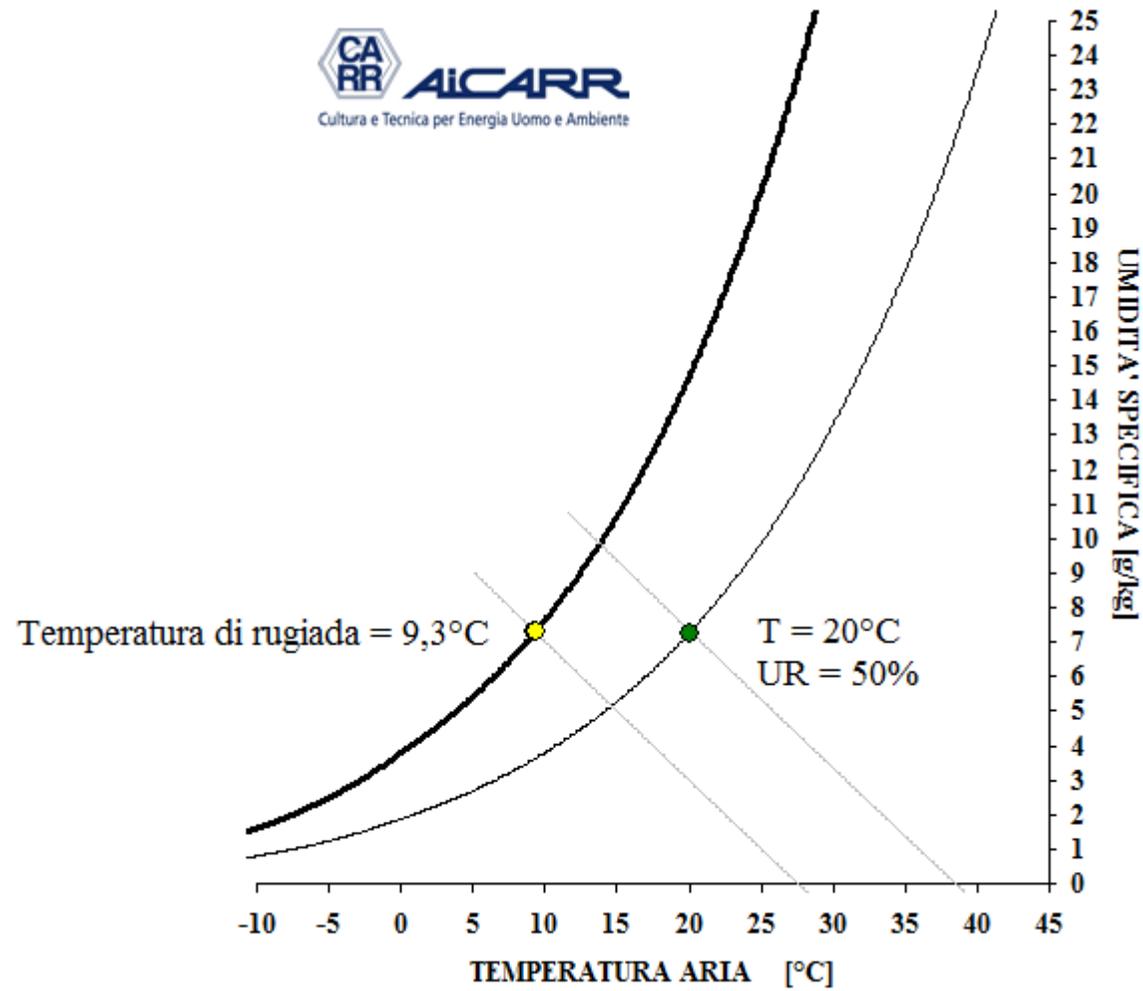
# Importanza della temperatura di rugiada



Le muffe si creano quando la parete risulta spesso bagnata.

Ciò avviene quando la temperatura della superficie della parete è inferiore alla temperatura di rugiada.

# Importanza della temperatura di rugiada



# Importanza della temperatura di rugiada

La tabella riporta la temperatura di rugiada per vari valori di temperatura e UR dell'aria interna .

UR interna	Temperatura interna		
	16°C	20°C	24°C
30%	-1,3	1,8	5,3
35%	0,4	4,2	7,7
40%	2,4	6,0	9,5
45%	4,2	7,7	11,4
50%	5,0	9,3	12,9
55%	7,0	10,7	14,3
60%	8,3	11,9	15,8
65%	9,3	13,3	17,0
70%	10,5	14,3	18,2
75%	11,6	15,5	19,3
80%	12,6	16,5	20,3

# Temperatura superficiale interna della parete

La temperatura superficiale interna  $T_{SI}$  della parete esposta si può calcolare con la formula semplificata:

$$T_{SI} = T_I - k(T_I - T_E) \frac{1}{\alpha_I}$$

$T_I$  = temperatura interna, °C

$T_E$  = temperatura esterna, °C

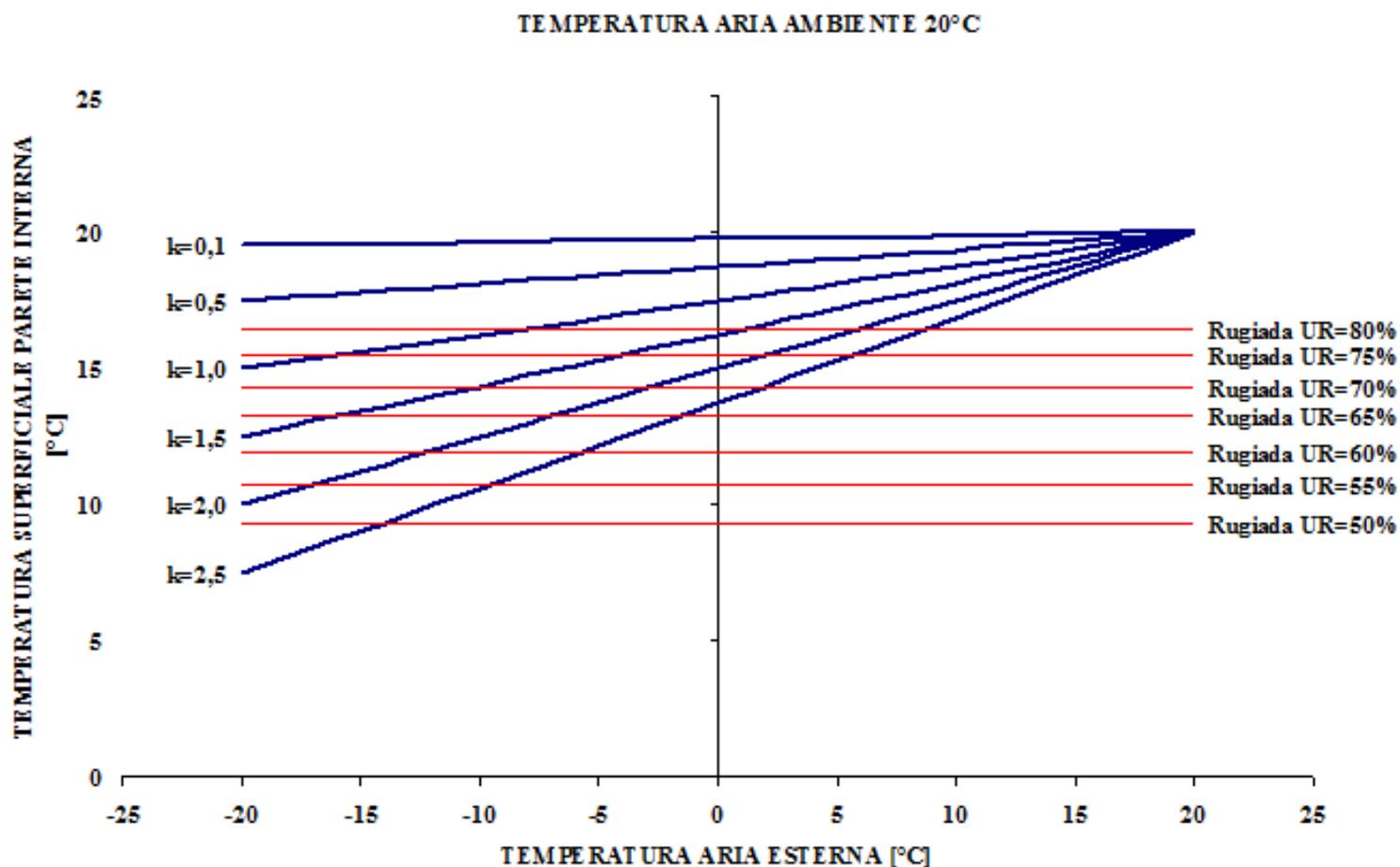
$k$  = trasmittanza della parete,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

$\alpha$  = adduttanza della parete,  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

$\alpha$  può essere posto pari a 8

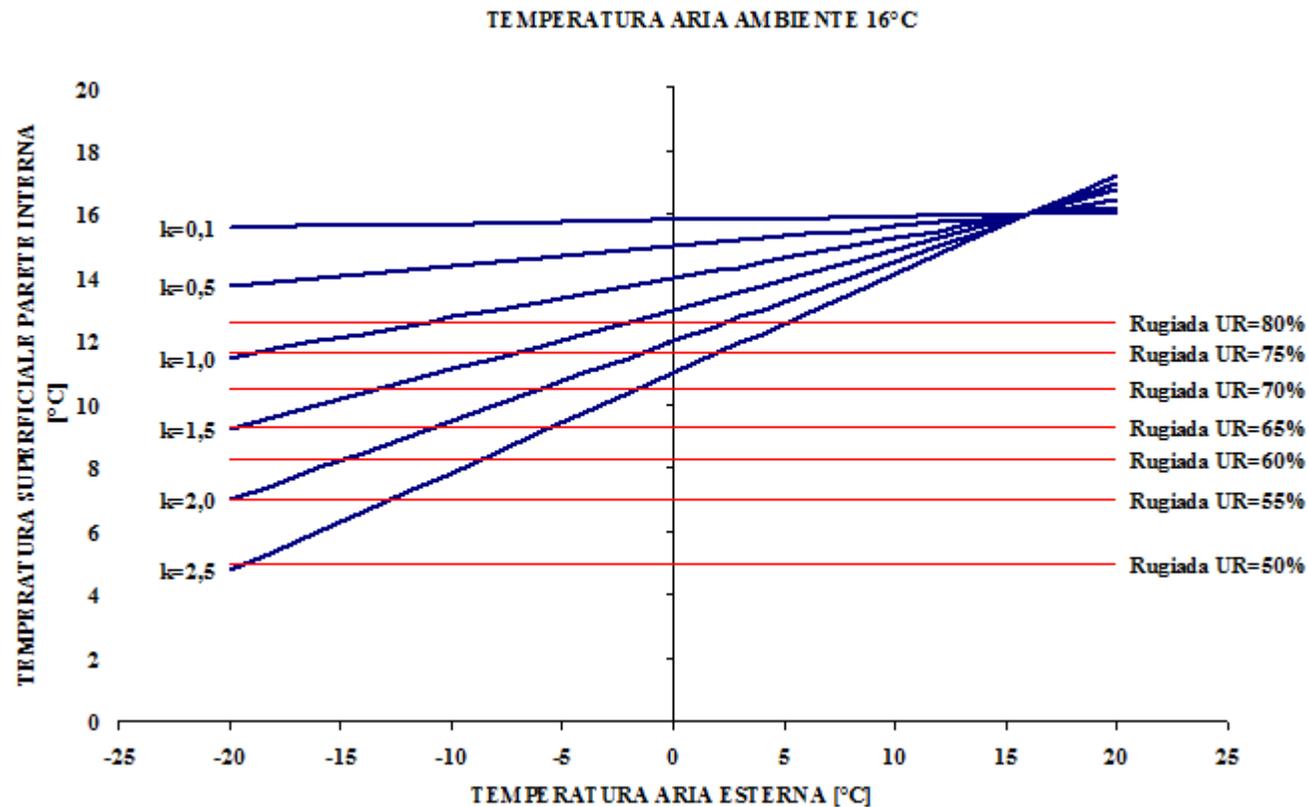
# Temperatura superficiale interna della parete

Non si hanno fenomeni di condensa superficiale a nessuna temperatura per k inferiori a 0,6 circa. Bisogna far molta attenzione ai ponti termici.



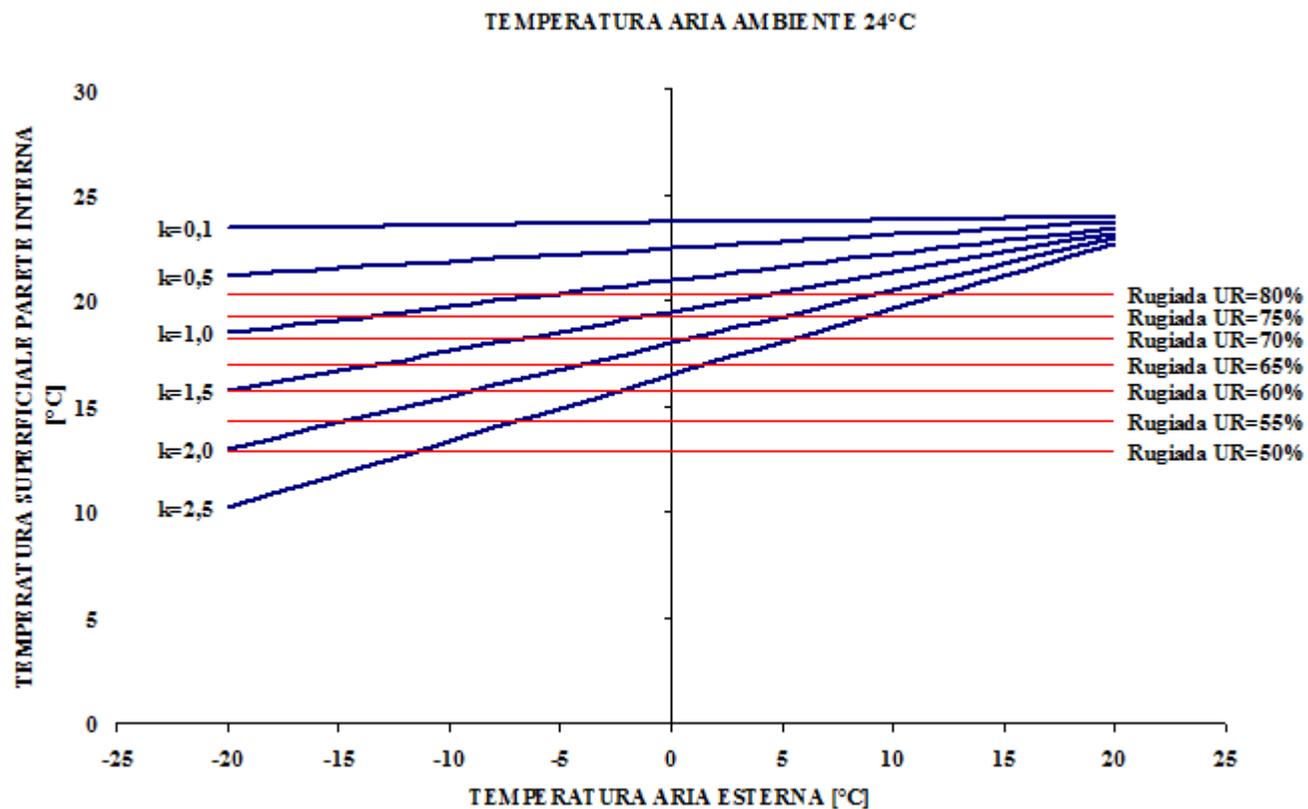
# Temperatura superficiale interna della parete

La condensa si forma ad UR superiore, se la temperatura dell'aria interna è minore (importa il valore di x interna).

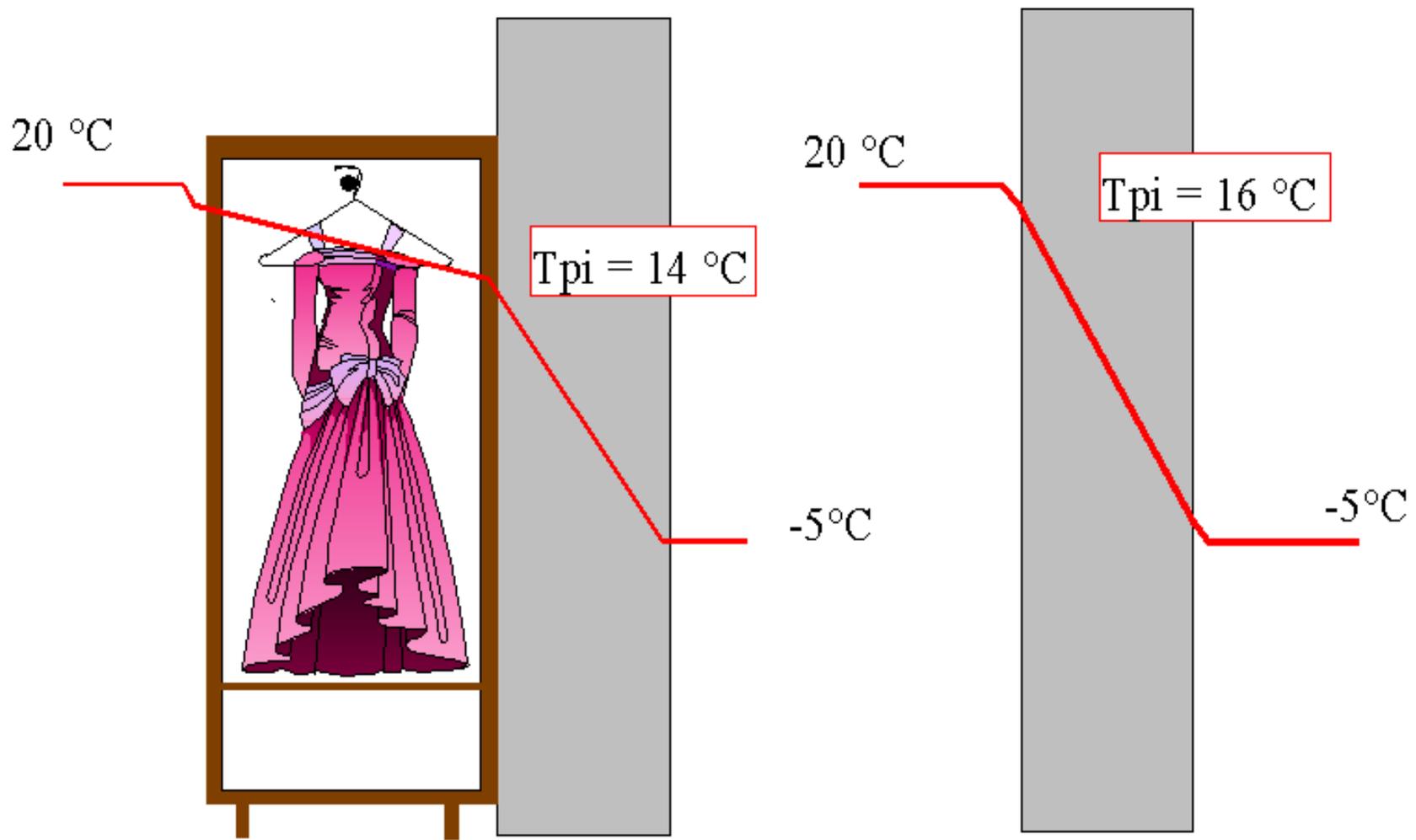


# Temperatura superficiale interna della parete

La condensa si forma ad UR inferiore, se la temperatura dell'aria è maggiore (importa il valore di  $x$  interna).

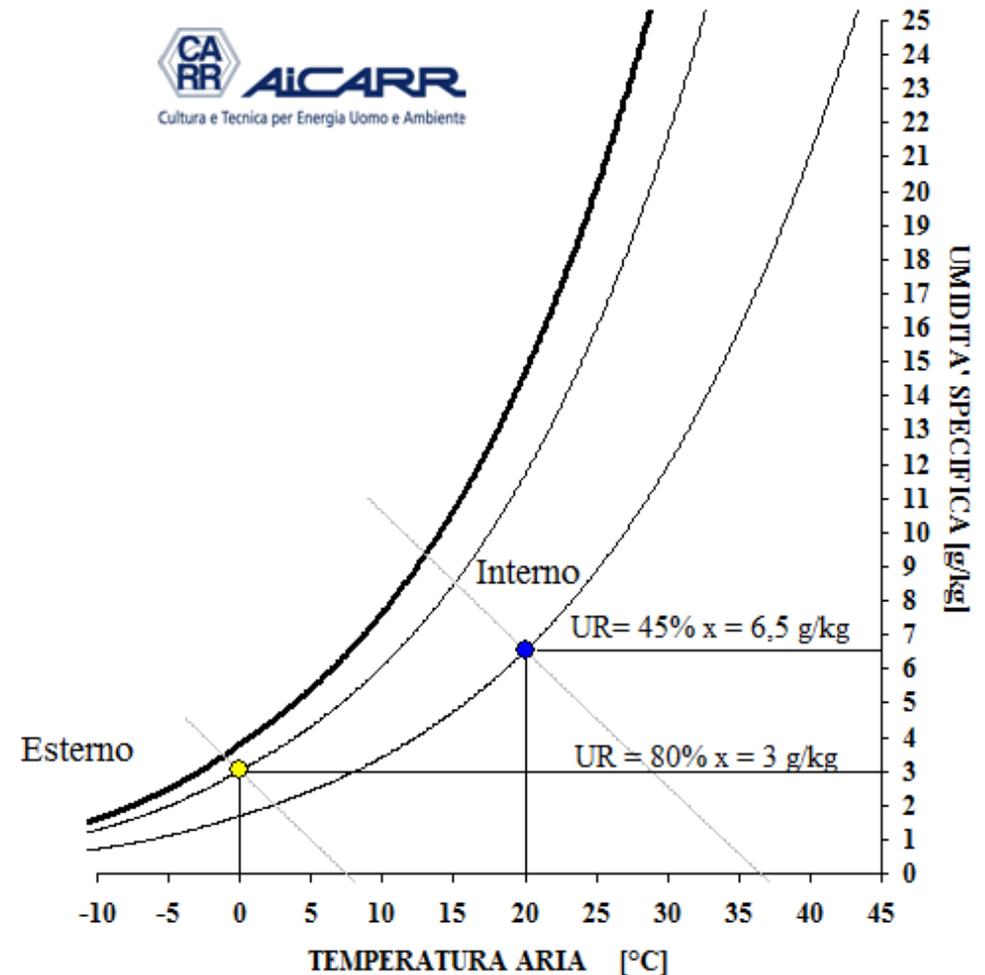


Dietro i mobili la temperatura superficiale è più bassa.



# Migrazione del vapore

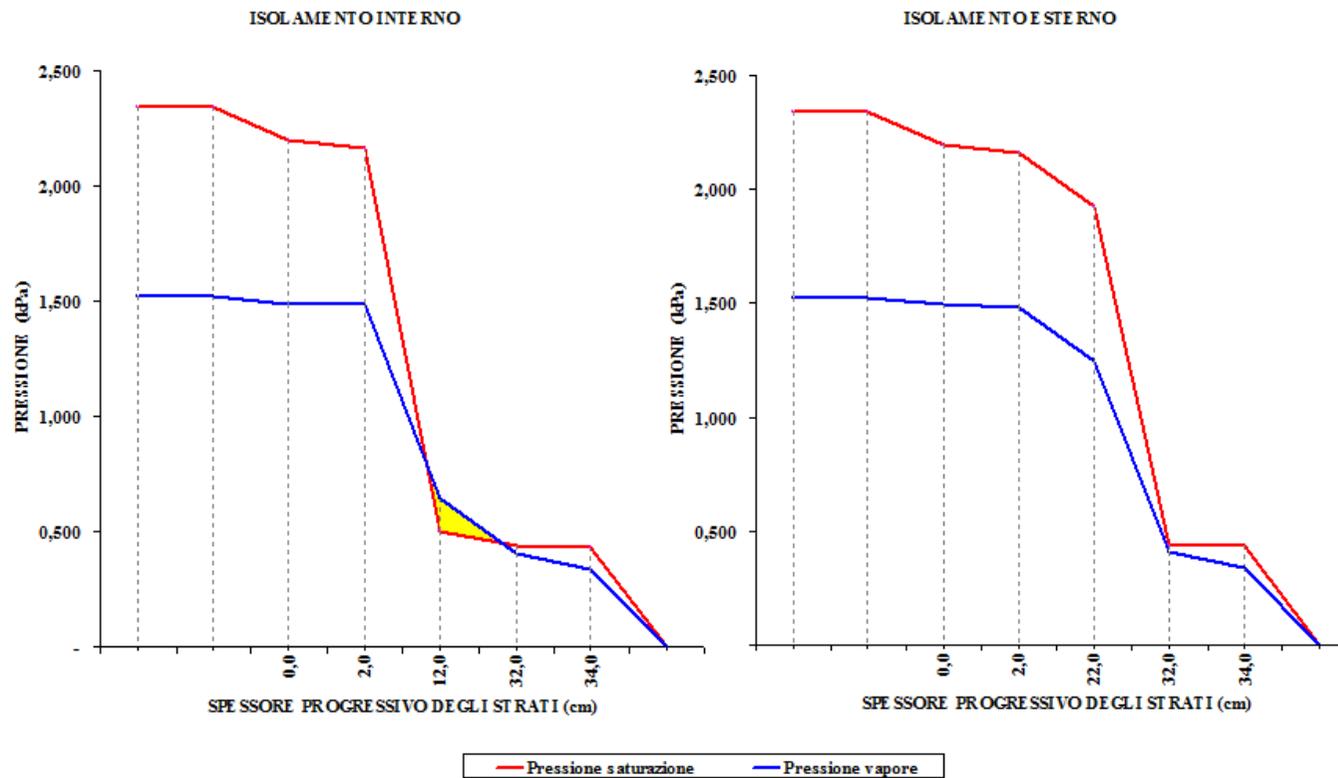
Il vapore migra da valori di da valori di umidità specifica superiori a valori di umidità specifica inferiori. Quindi, in inverno, migra quasi sempre dall'interno all'esterno, anche se l'UR esterna è maggiore di quella interna. Quindi è importante capire se vi possono essere fenomeni di condensa interstiziale, visibili attraverso il diagramma di Glaser



# Condensa interstiziale

$k$  struttura =  $0,33 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .  $T_E = -5^\circ\text{C}$   $UR_E = 80\%$ .  $T_I = 20^\circ\text{C}$   $UR_I = 65\%$  (dato convenzionale secondo le verifiche richieste da DPR 59/09 Art. 4 e DLgs 28/11).

Se l'isolamento termico è posto all'interno, si ha formazione di condensa, Altrimenti non si ha.



# Condensa interstiziale

Le verifiche vanno fatte anche in condizioni diverse da quelle convenzionali. La sciando inalterate tutte le altre condizioni:

- La struttura con isolamento interno comincia a condensare:

$$T_i = 20^\circ\text{C} \text{ con } T_E < 2^\circ\text{C} \text{ e } UR_i > 40\%$$

$$T_E = -5 \text{ con } T_i < 12^\circ\text{C} \text{ e } UR_i > 50\%$$

- La struttura con isolamento esterno non condensa mai

Quindi, nel caso di isolamento interno bisogna predisporre delle barriere al vapore prima dello strato isolante, sul lato interno

# I sistemi radianti in freddo

Con i sistemi radianti in funzionamento estivo, la superficie di pelle delle superfici attive può scendere mediamente a 19°C e localmente a 17°C. Pertanto è corretto mantenere l'ambiente a condizioni tali per cui la temperatura di rugiada non superi 15,5°C, per avere un minimo margine di sicurezza. Ciò significa non superare un valore di  $x$  superiore circa 11 g/kg.

Quindi i valori di UR massima sono:

Temperatura ambiente	UR massima
24°C	59%
25°C	56%
26°C	53%
27°C	50%

# **Indici della qualità dell'aria**

## La percezione della qualità dell'aria

Purtroppo l'uomo si adatta molto bene alla scarsa qualità dell'aria. Ci si accorge che in un ambiente l'aria è poco respirabile quando si entra o quando si esce, non mentre ci si soggiorna. L'esempio tipico è quello di una sala riunioni, piena di persone.

Quando si entra l'aria è respirabile (assenza di odori, basso contenuto di CO<sub>2</sub>, basso contenuto di umidità), ma durante la permanenza i valori cambiano, se l'impianto di ventilazione non è adeguato.

## La percezione della qualità dell'aria

Uno dei problemi maggiori per i progettisti di sistemi VMC è far comprendere all'utente finale i valori di qualità dell'aria raggiungibili con e senza sistema VMC.

Quindi è necessario avere a disposizione indici semplici e di facile lettura.

## Il concetto di n, tasso di ventilazione

Anche se non è propriamente un indice, il valore più usato e richiamato dalle normative è il tasso di ventilazione  $n$ , già visto in precedenza, che esprime il rapporto tra la portata d'aria di rinnovo e il volume dell'ambiente, quindi il numero di ricambi orari.

$$n = \frac{Q_{\text{rin}}}{V_A}$$

Dove

$Q_{\text{rin}}$  è la portata dell'aria di rinnovo,  $\text{m}^3/\text{h}$

$V_A$  è il volume dell'ambiente,  $\text{m}^3$

Di conseguenza,  $n$  è espresso in  $1/\text{h}$

## Vita dell'aria in ambiente

Un indice interessante, per far comprendere a chiunque la qualità dell'aria in ambiente, è la vita dell'aria  $\tau_A$  espressa in ore, definita come il tempo massimo in cui staziona una molecola d'aria all'interno dell'ambiente

$$\tau_A = \gamma \frac{V_A}{Q_{rin}} = \frac{\gamma}{n}$$

Dove  $\gamma$  è un coefficiente che dipende dalla distribuzione dell'aria in ambiente.

Nel caso di perfetta miscelazione tra aria immessa e aria ambiente (buona distribuzione dell'aria da VMC),  $\gamma$  equivale a 2. Quindi, quando il tasso di ventilazione  $n$  è pari a 0,75 volumi/ora, la vita dell'aria in ambiente è 2,7 ore.

$\gamma$  equivale a 1 solo nel caso di perfetta immissione "a pistone", spiegata più avanti. Nel caso di apertura della finestra, si può stimare  $\gamma = 3-4$ .

# Indici olfattivi

Un'altra possibilità di valutare la qualità dell'aria proposta da Fangher nel 1988, consiste nella valutazione degli odori tramite la percezione olfattiva che c'è nell'ambiente.

Fangher introdusse due grandezze: il carico inquinante  $G$  e l'inquinamento percepito  $\zeta$ .

Il primo è misurato in olf e il secondo in decipol.

1 olf equivale all'odore emesso da una persona mediamente pulita seduta a riposo.

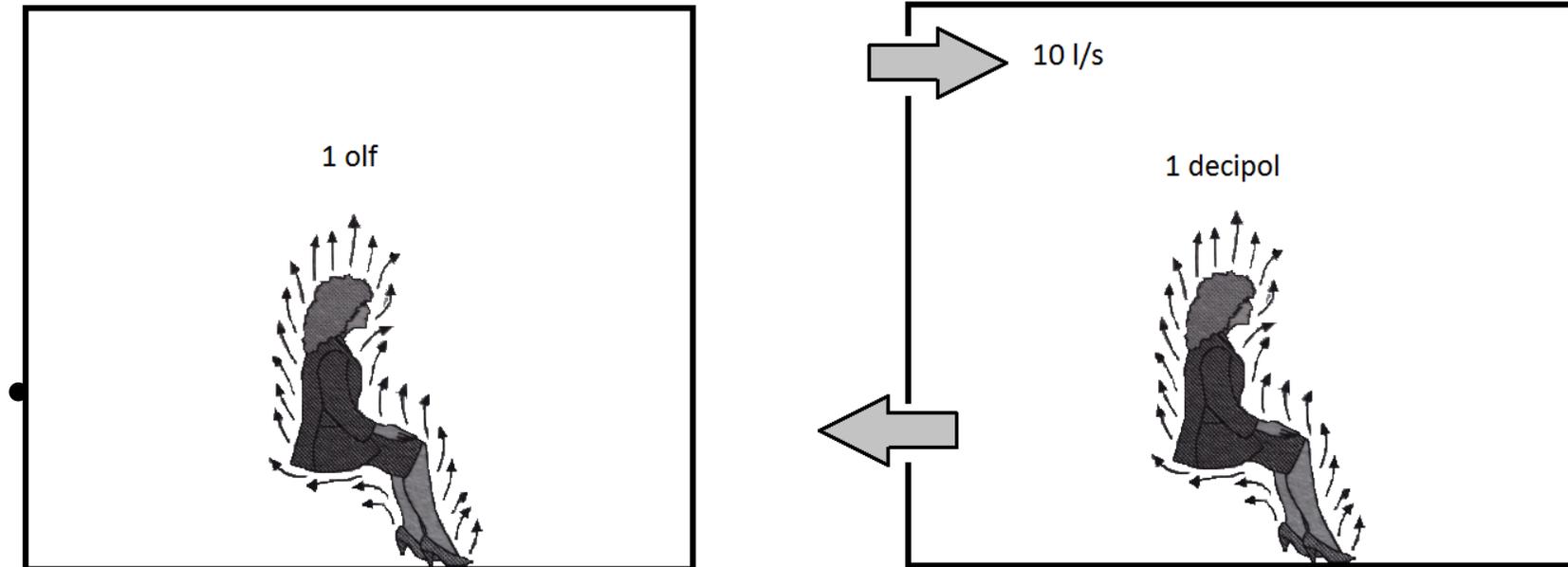
1 decipol rappresenta il valore di  $\zeta$  quando il carico  $G = 1$  olf e la portata d'aria di rinnovo è pari a 10 l/s.



# Olf e Decipol

1 olf equivale all'odore emesso da una persona mediamente pulita seduta a riposo.

1 decipol rappresenta il valore di  $\zeta$  quando il carico  $G = 1$  olf e la portata d'aria di rinnovo è pari a 10 l/s.



## Valori di olf per varie attività

La tabella mostra il carico di inquinamento indicativo per persone che svolgono attività domestiche e animali domestici, misurati in olf.

Attività sedentaria	1
Attività sedentaria con fumo sigaretta	6
Attività domestica	2,5
Attività fisica leggera	4
Animale domestico di piccola taglia	0,7
Animale domestico di media taglia	2
Animale domestico di grande taglia	3

## Valori di olf per varie attività

Il carico di inquinamento deriva anche da quanto contenuto nel locale. La tabella mostra i valori indicativi del carico per unità di superficie, misurati in olf/m<sup>2</sup>.

Camera da letto	0,2
Cucina vuota	0,4
Cucina durante preparazione cibi	1,5
Salotto	0,3

## Legame tra carico inquinante e inquinamento percepito

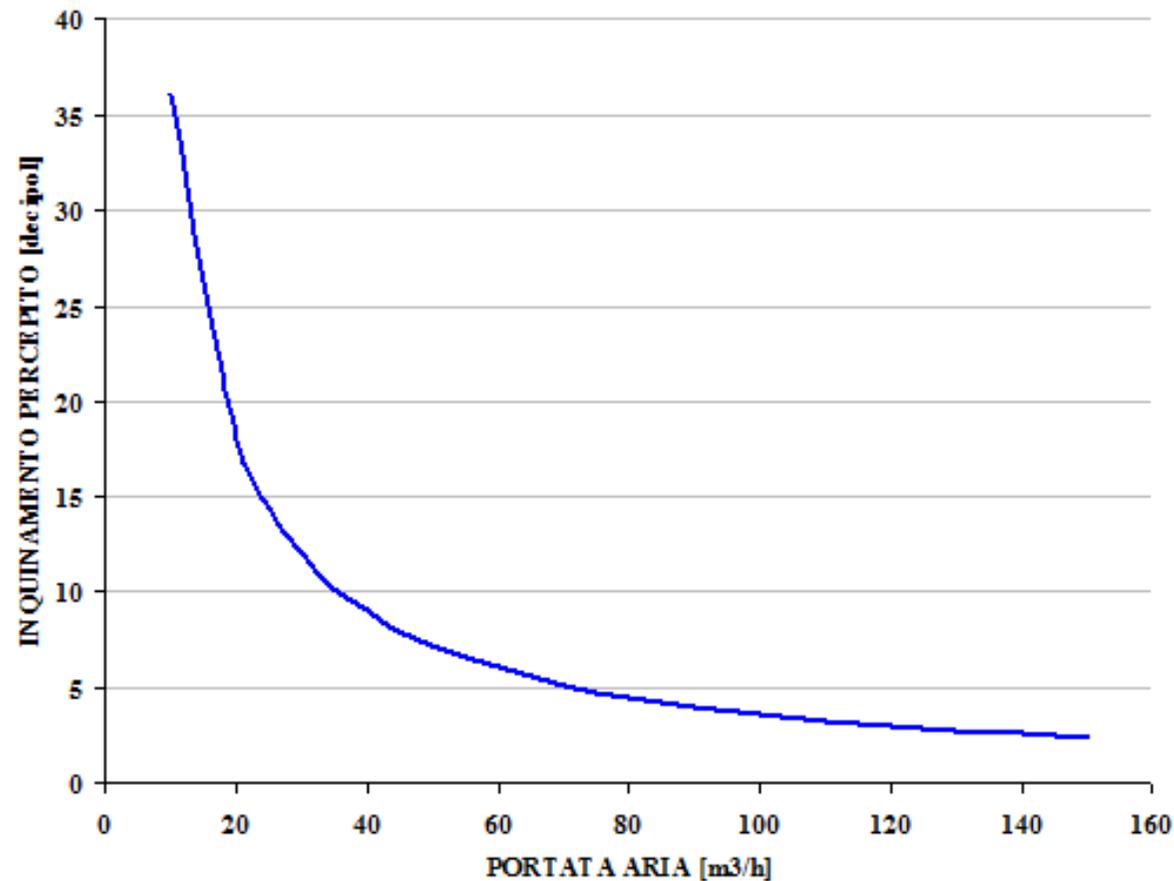
Il legame tra il carico inquinante  $G$  e l'inquinamento percepito  $\xi$  è espresso dalla formula:

$$\xi = 36 \frac{G}{Q_{\text{rin}}}$$

dove  $Q_{\text{rin}}$  è la portata d'aria immessa, espressa in  $\text{m}^3/\text{h}$ .

## Legame tra carico inquinante e inquinamento percepito

La figura mostra i valori di inquinamento percepito  $\zeta$  al variare della portata d'aria, per un Carico d'inquinamento  $G$  di 10 olf



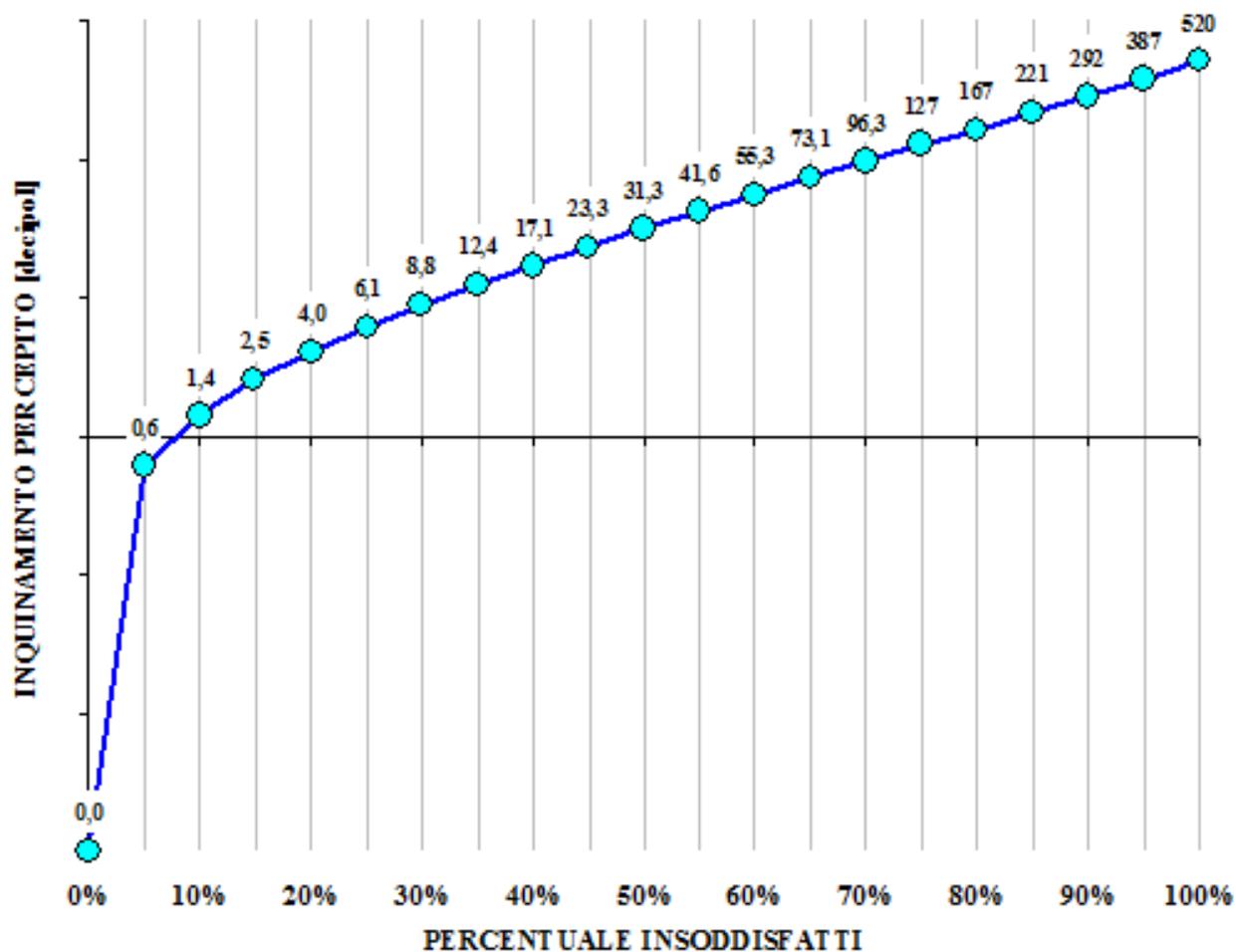
## Percentuale di insoddisfatti

Fangher fornisce anche una formula statistica per indicare la percentuale d'insoddisfatti tra gli occupanti dell'ambiente, al variare dell'inquinamento percepito  $\xi$

$$PD\% = 1,975 \exp(-3,25 \xi^{-0,25})$$

# Percentuale di insoddisfatti

La figura mostra la percentuale d'insoddisfazione degli occupanti, al variare dell'inquinamento percepito  $\zeta$ . La scala è logaritmica per apprezzare meglio le variazioni ai bassi valori d'insoddisfazione.



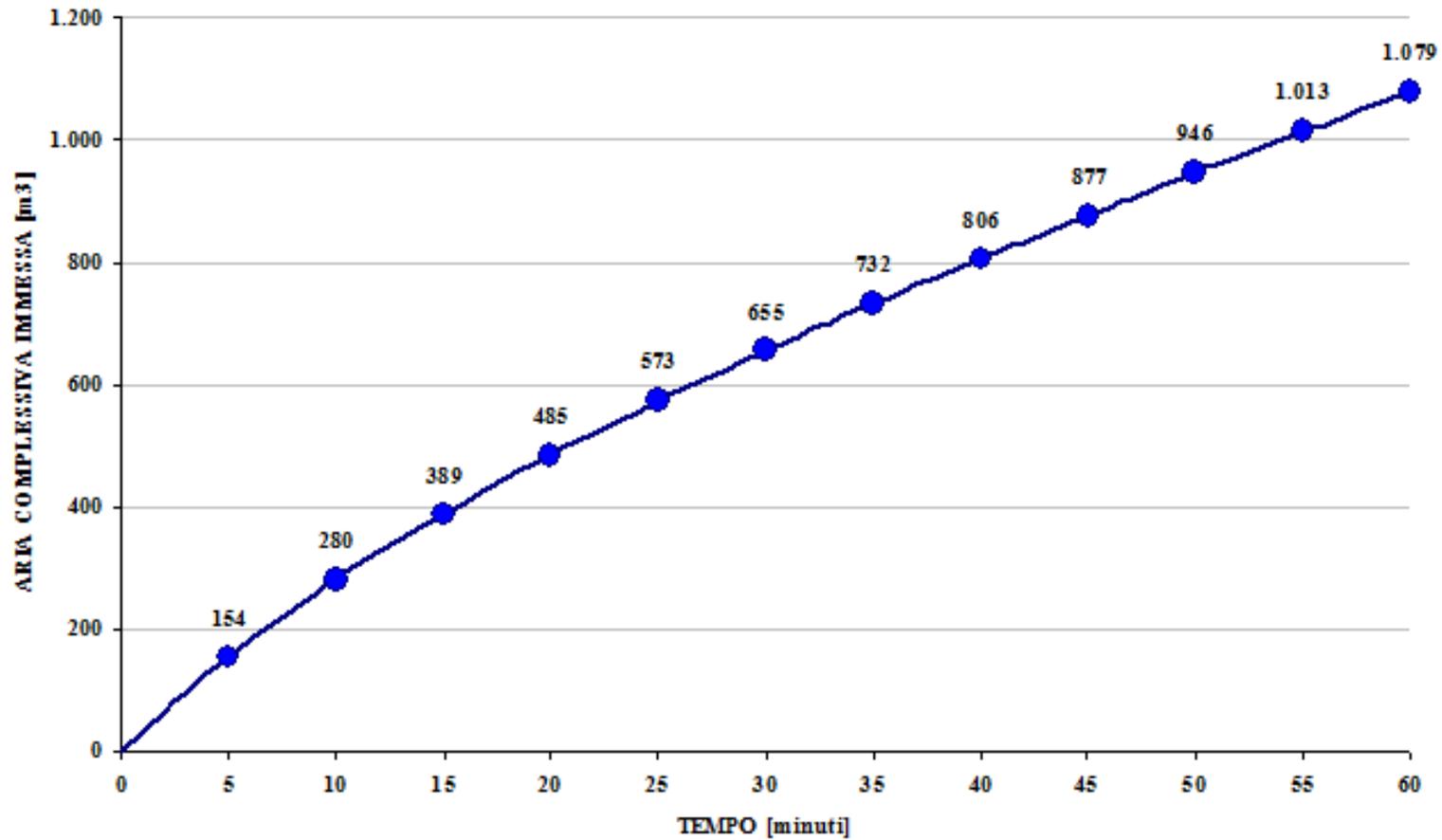
# Esempi

## Camera da letto matrimoniale - caratteristiche

Superficie	20 m <sup>2</sup>
Volume	60 m <sup>3</sup>
Area finestra	4 m <sup>2</sup>
Altezza finestra	2 m
k pareti	0,3 W/m <sup>2</sup> K
k vetri	1,5 W/m <sup>2</sup> K

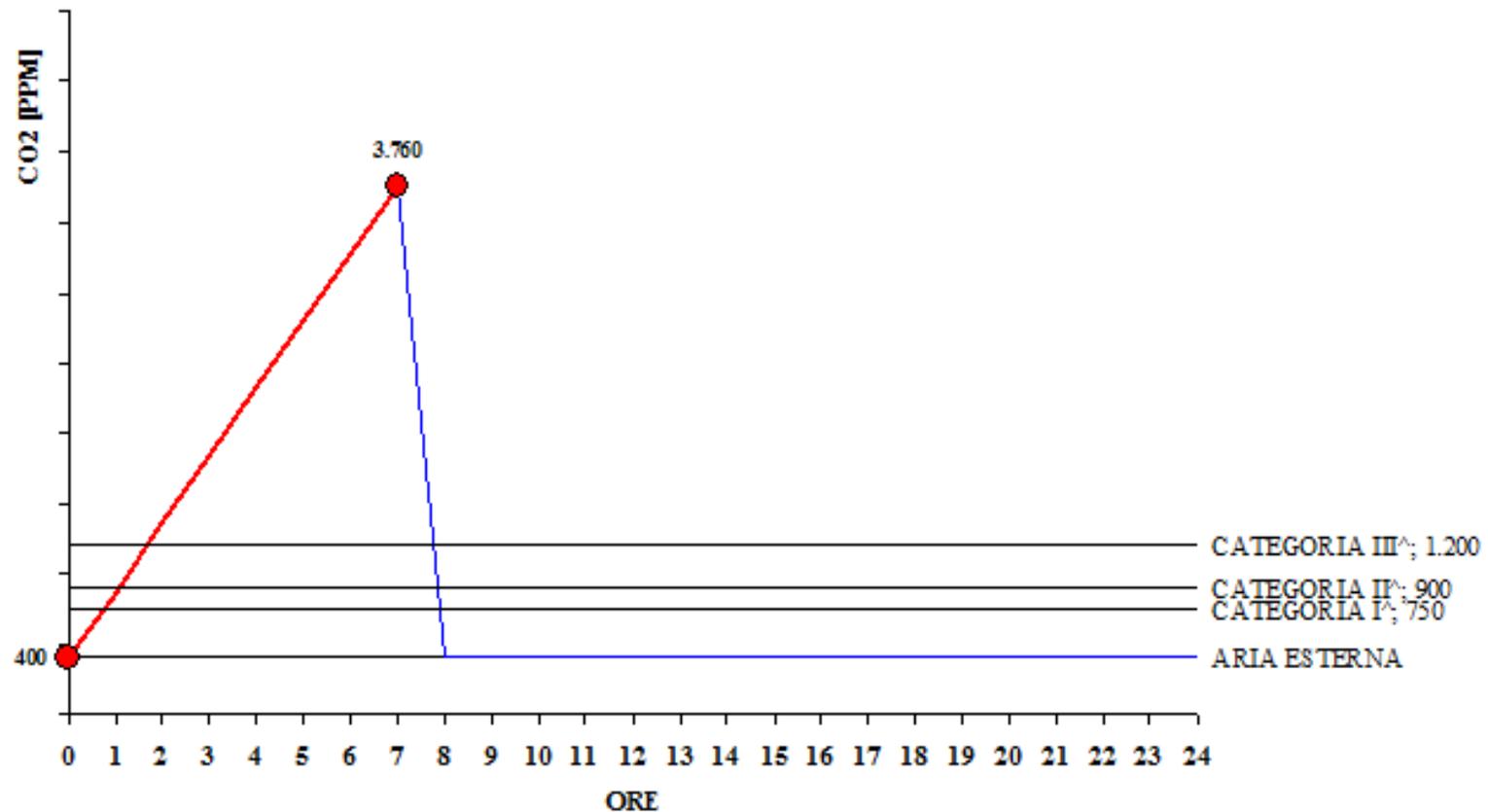
# T esterna 0°C

Portata d'aria in ambiente con finestra tutta aperta



# Controllo CO<sub>2</sub> – Apertura finestra

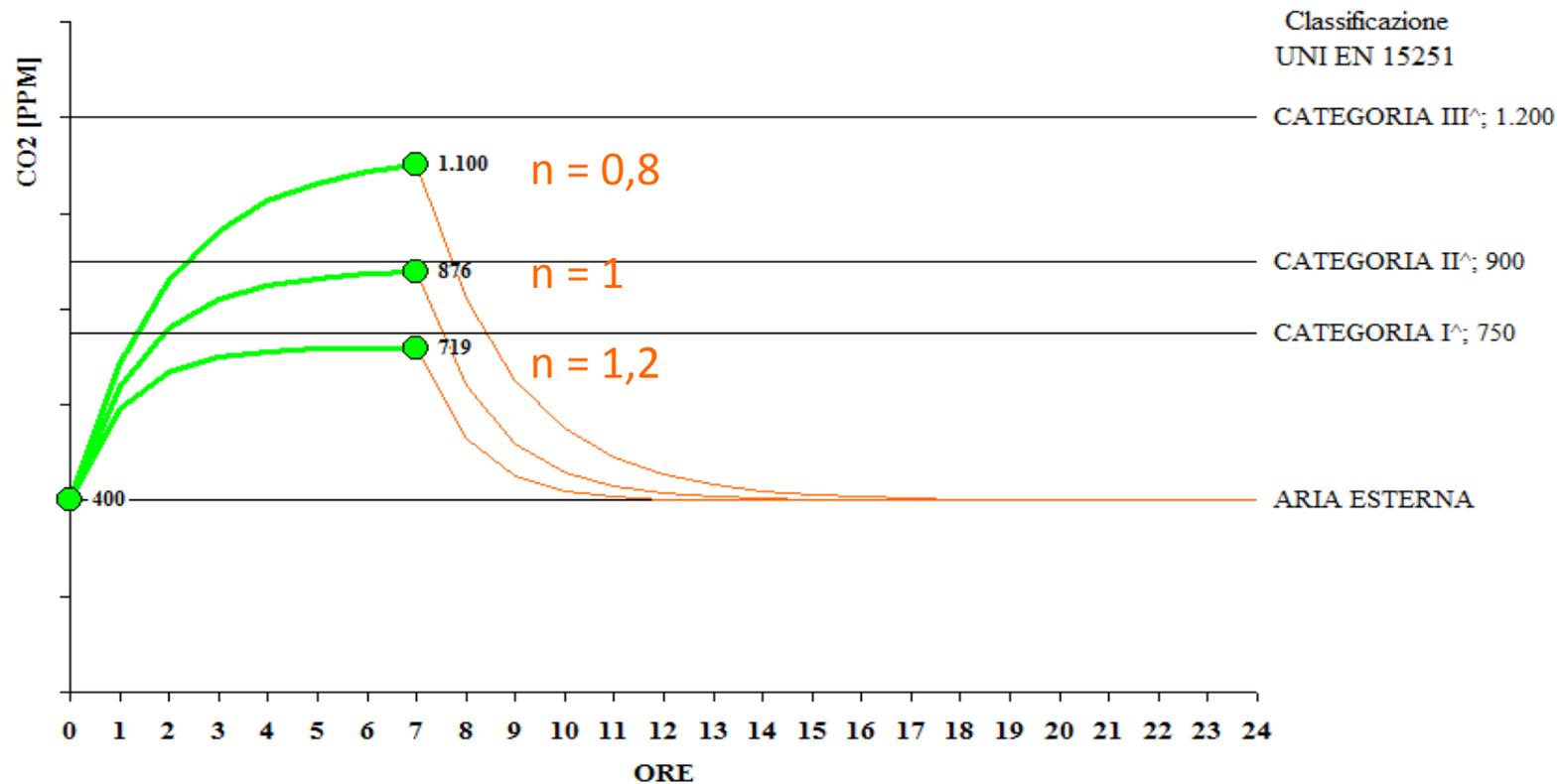
Servono 10 minuti per riportarsi alla condizione di PPM dell'aria esterna (immessi 280 m<sup>3</sup>)



# Controllo CO<sub>2</sub> - VMC

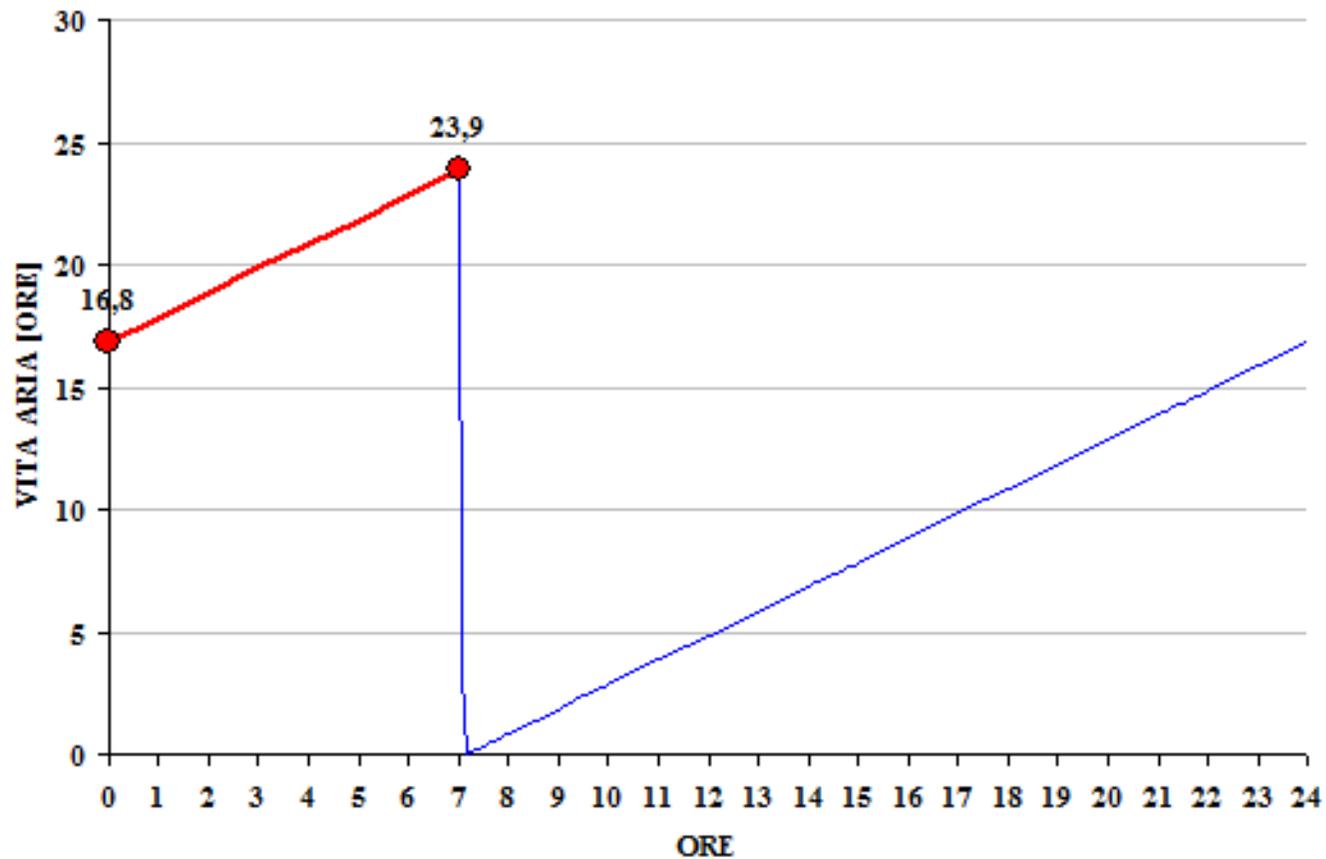
Il periodo di occupazione è da mezzanotte alle 7.

Le tre categorie sono garantite rispettivamente da  $n = 1,2$ ,  $n=1$  e  $n=0,8$ . Il valore di  $n$  è riferito al volume della camera



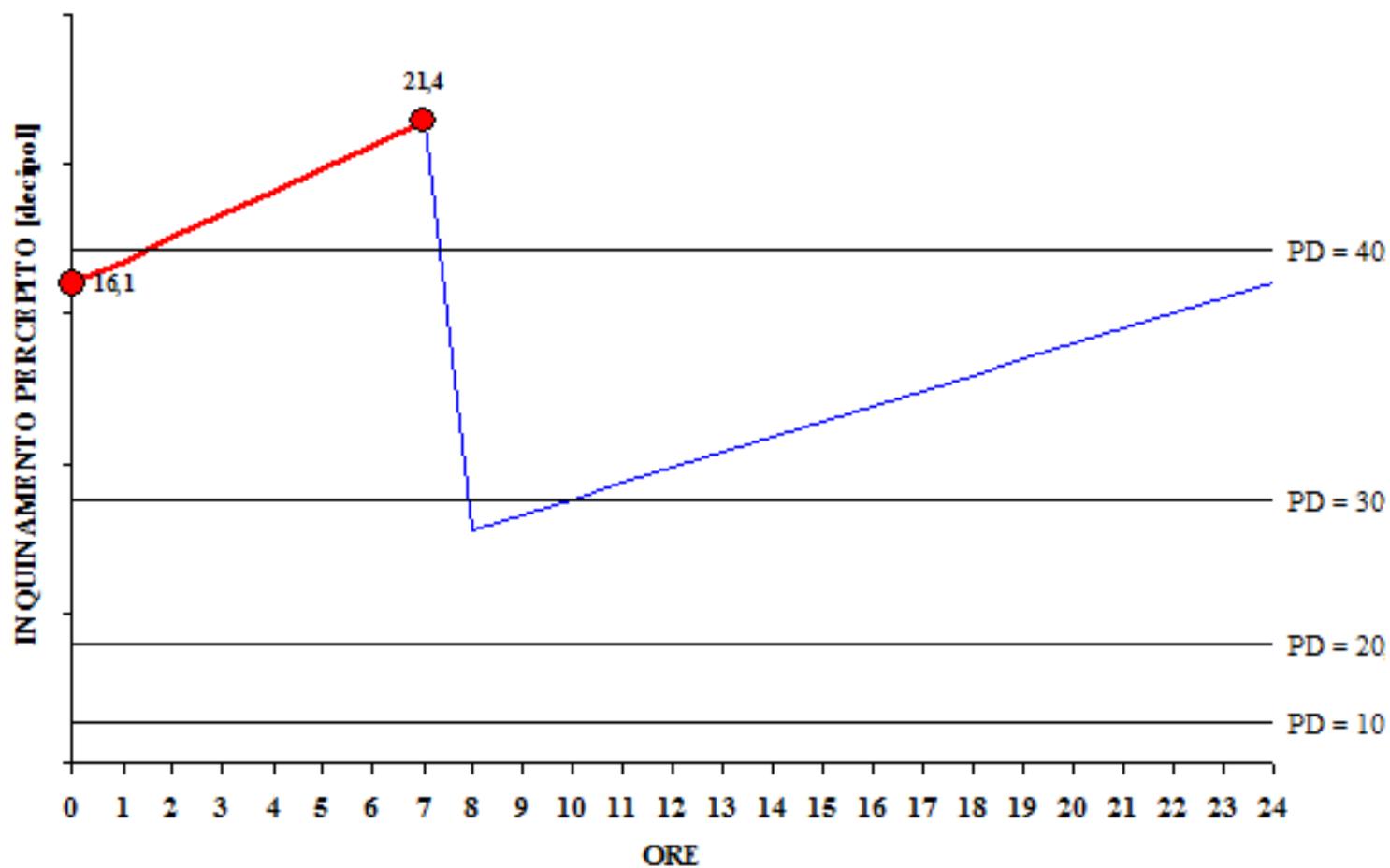
## Vita dell'aria – apertura finestra

Vita dell'aria: se si apre la finestra solo dopo l'uso, l'aria è “vecchia” quando si va a dormire.



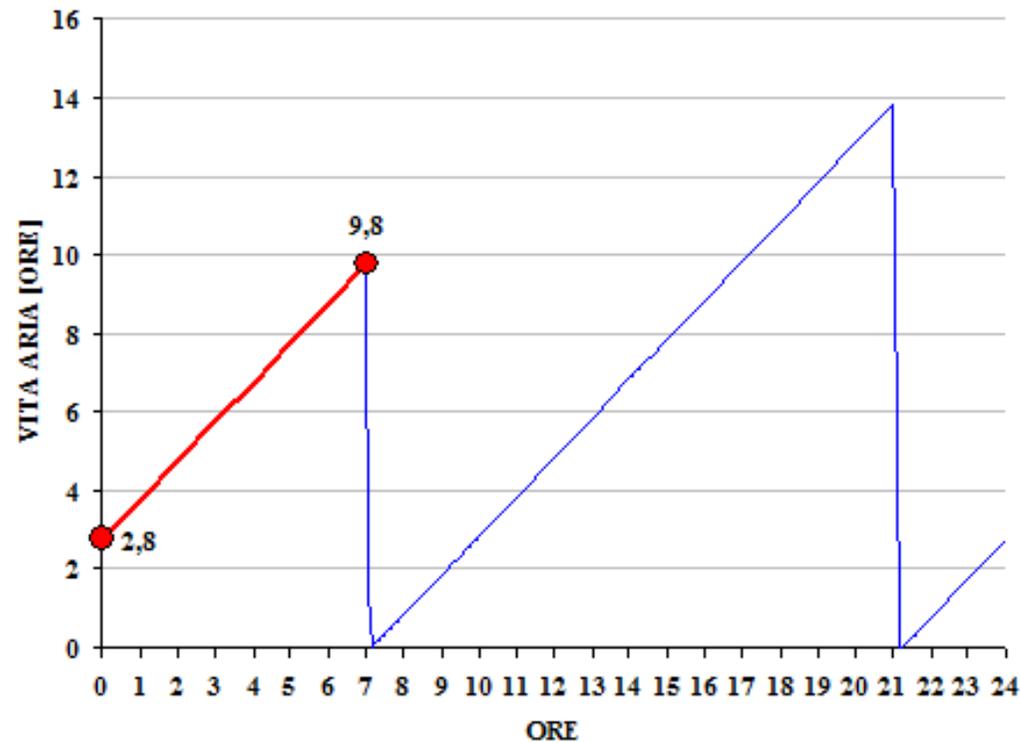
# Inquinamento percepito – apertura finestra

Ciò porta ad una scarsa percezione olfattiva, inaccettabile.



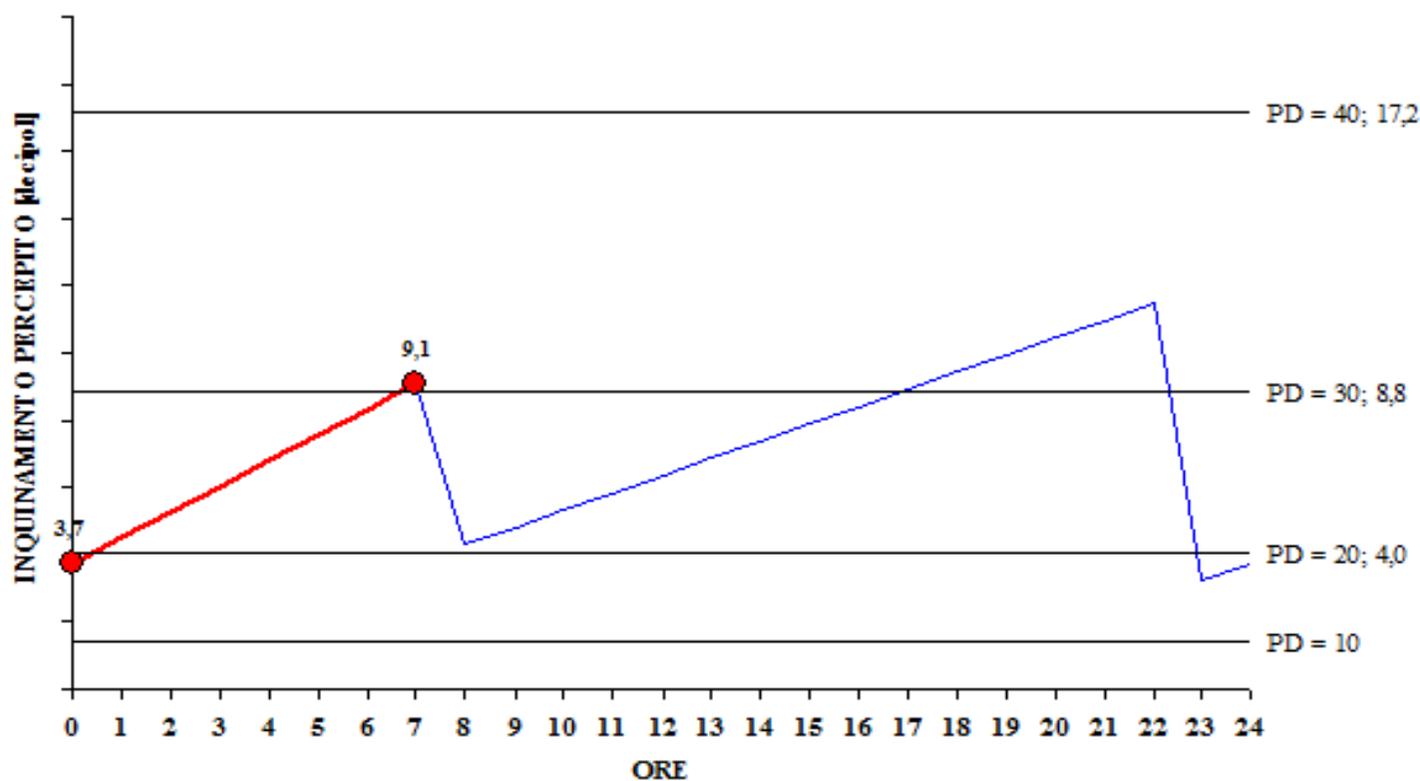
# Vita dell'aria – apertura finestra anche prima dell'uso

E' necessario allora aprire le finestre 10 minuti anche prima dell'uso (circa 3 ore prima per non abbassare troppo la temperatura). Si raddoppia la quantità di aria immessa.



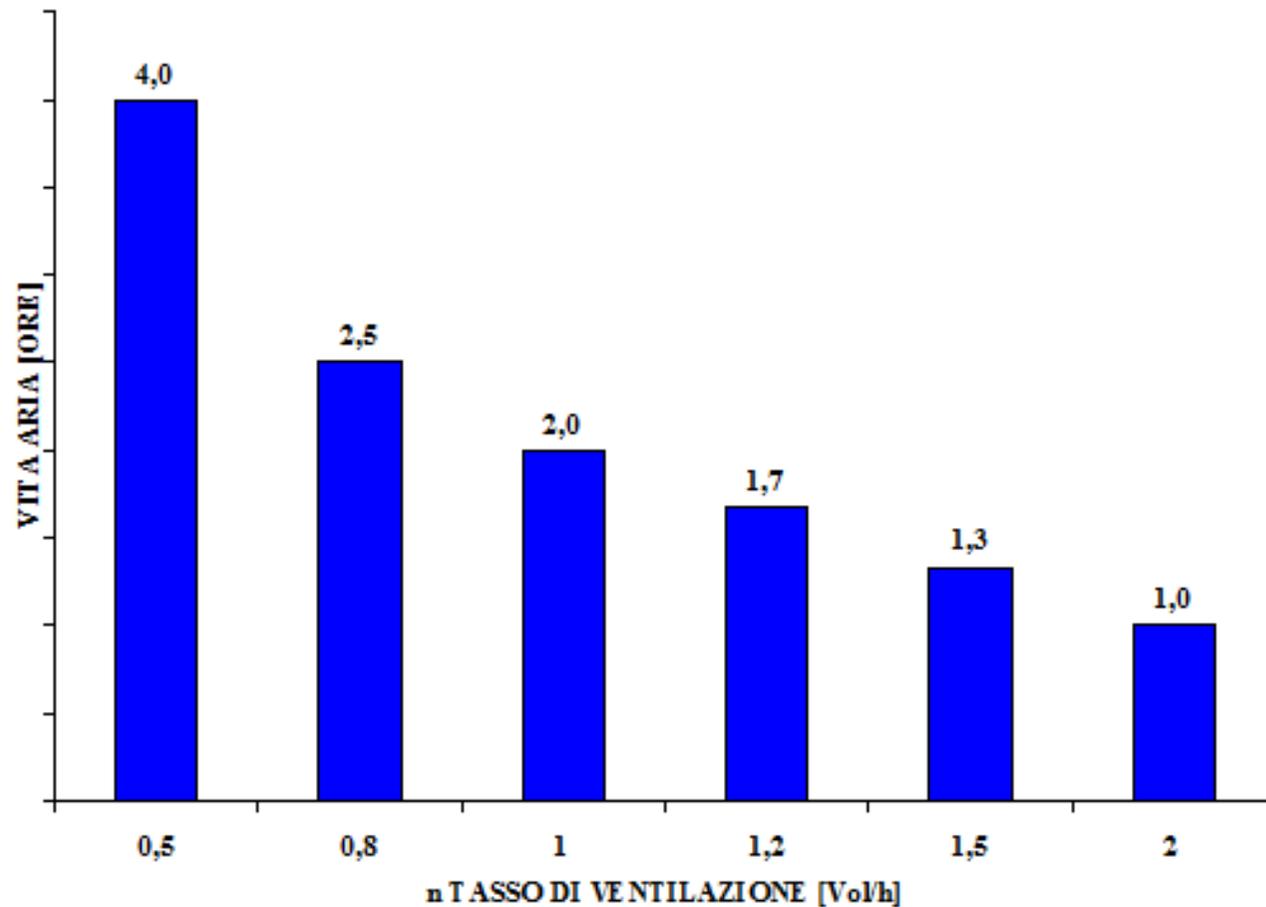
# Inquinamento percepito – apertura finestra anche prima dell'uso

Questo migliora la capacità olfattiva, anche se si rimane sempre al di sopra del 30% d'insoddisfazione



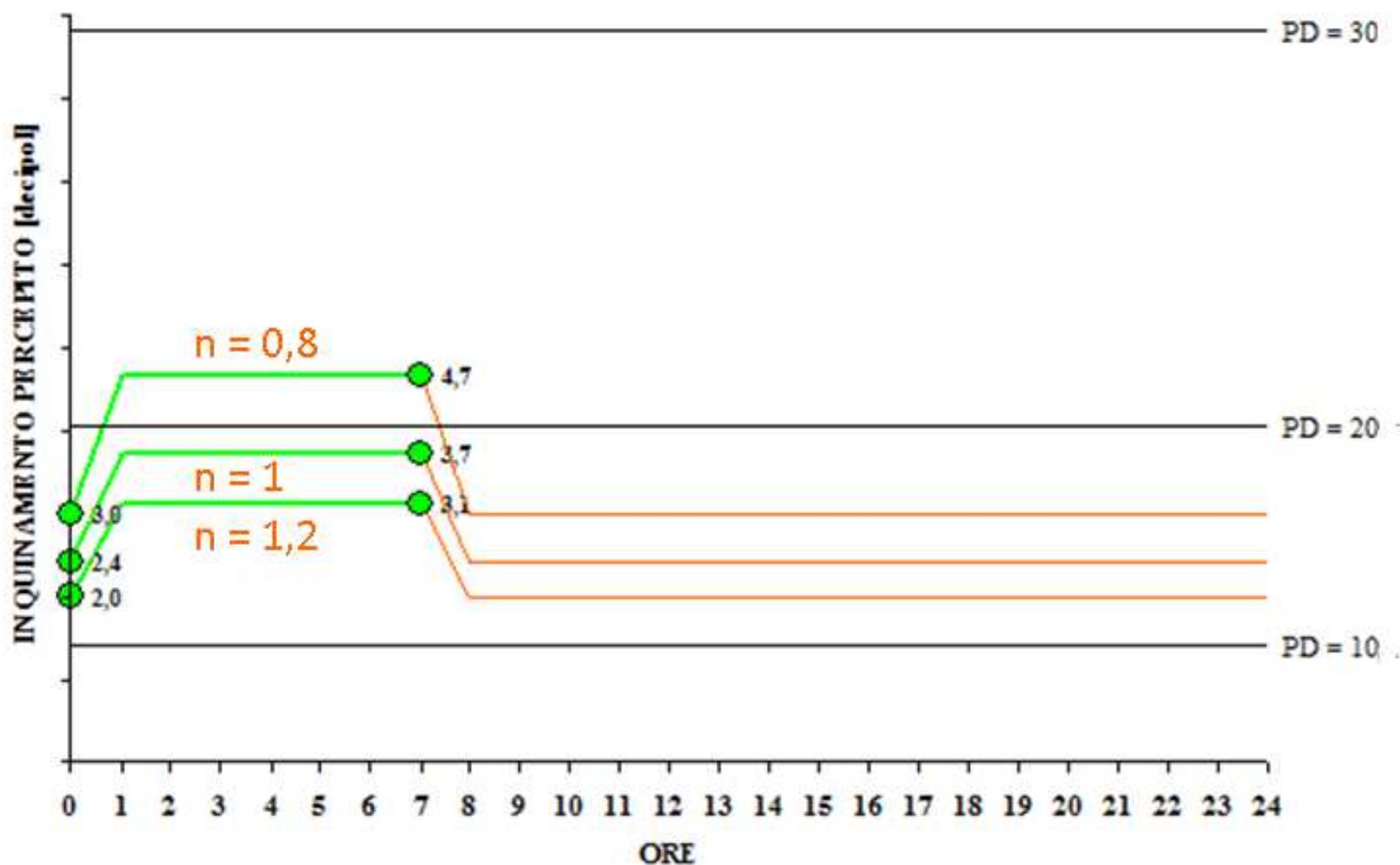
# Vita dell'aria – VMC

Con la VMC la vita dell'aria è costante nel tempo e dipende solamente dal tasso di ventilazione  $n$ . I valori sono molto inferiori rispetto all'apertura delle finestre.



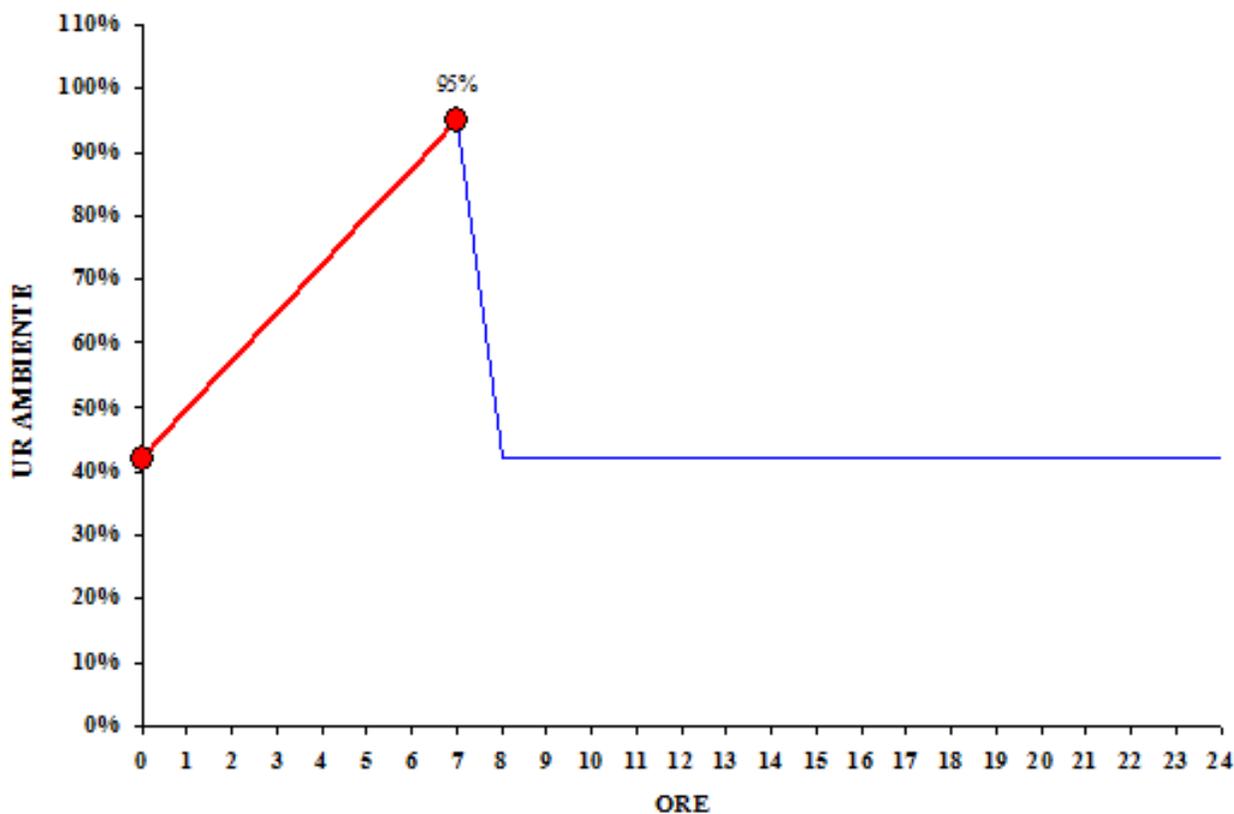
# Inquinamento percepito – VMC

Grazie alla minore vita dell'aria, anche l'inquinamento percepito diminuisce di molto e, tranne la prima ora, rimane costante nel tempo.



## UR ambiente – apertura finestre

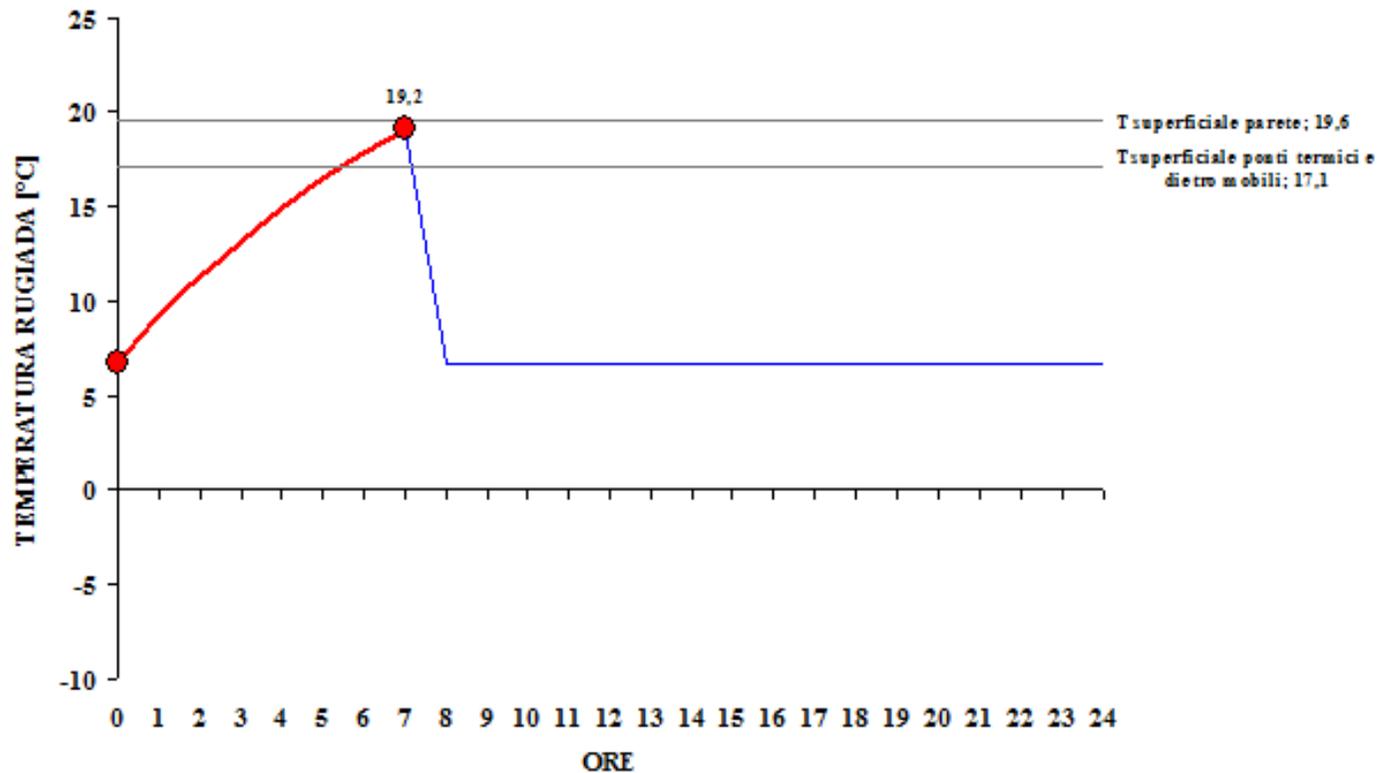
Il periodo critico per il controllo della UR in ambiente non è in pieno inverno, ma nella mezza stagione, ad esempio con una temperatura esterna di 10°C e una UR esterna dell'80%. Se si apre la finestra, l'UR ambiente sale fino al 95%. Non serve a nulla l'apertura della finestra prima dell'uso.



# Condensa superficiale – apertura finestre

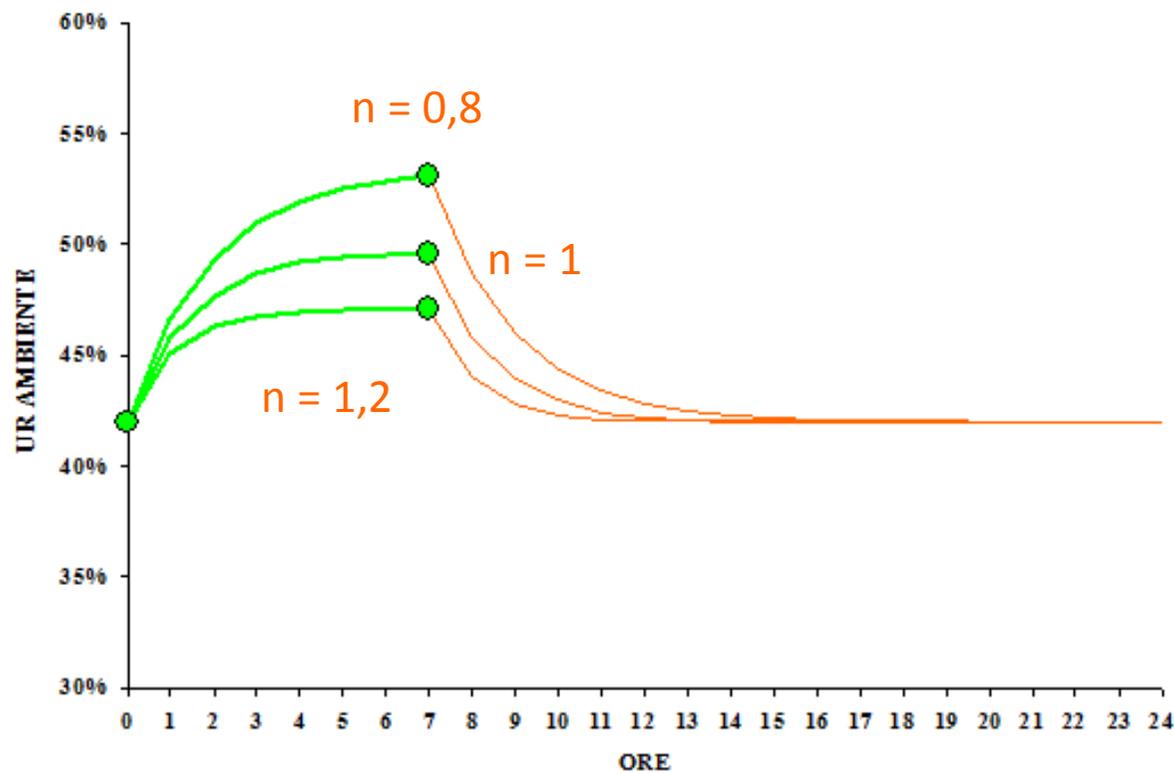
In questa situazione si rischia seriamente di formare condensa superficiale quantomeno dietro i mobili, sui ponti termici e sui vetri.

Per ovviare alla situazione bisognerebbe aprire la finestra anche di notte, oppure dormire con la porta della camera aperta, per miscelare l'aria con il resto della casa



# UR ambiente – VMC

Con la VMC l'umidità relativa ambiente rimane sempre al di sotto del 55%, per cui non vi è nessun problema di formazione di condensa superficiale.



# **NORMATIVA**

## Norme per la progettazione dei sistemi

- Italia:** Legge 10  
UNI 10339 (in fase di revisione)  
UNI 11300 parte III<sup>^</sup>: norma energetica
- Europa:** UNI EN 15251 – UNI EN 13779 (non residenziale)  
EN 16798 (uguale alla 15251, ma ogni stato membro deciderà i valori più consoni)
- USA:** ASHRAE Standard 62.1 e 62.2.

## Legge 10

In ambito residenziale, già nella Legge 373 del 30 Aprile 1976, e successivamente ripreso e riconfermato con la Legge nr.10 / 91, veniva fissato un numero di

$$n = 0,5$$

Questo valore risultava, essere il tasso ideale per una corretta diluizione degli inquinanti e per la riduzione dell'umidità all'interno degli ambienti domestici. Ancora adesso è preso come riferimento, ma bisogna stare molto attenti.

## UNI 10339 – 1995

E' una norma solo italiana.

Fornisce la classificazione degli impianti, i requisiti minimi e i valori delle grandezze di riferimento durante il funzionamento degli stessi

Questa normativa si applica in fase di progettazione di tutti gli impianti aeraulici destinati al benessere delle persone, installati in edifici chiusi.

## UNI 10339 – 1995

In attesa della pubblicazione della revisione vale la tabella della versione del 1995.

Classificazione degli edifici	Portata d'aria esterna $q_{AE}$ [m <sup>3</sup> /h per.]	Portata di estrazione $q_{AE}$ [m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> ]	Indice di affollamento i [per/100 m <sup>2</sup> ]
<b>Edifici adibiti a residenza e assimilabili</b>			
<b>Abitazioni civili</b> Soggiorni e camere da letto Cucina, bagni, servizi	40	Estrazioni	4
<b>Collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi:</b> sale riunioni dormitori, camere cucina bagni, servizi	32 40	60 Estrazioni	60 10
<b>Alberghi, pensioni</b> Ingresso, soggiorni Sale conferenza (piccole) Auditori (grandi) Sale da pranzo Camere da letto Bagni, servizi	40 20 20 35 40	Estrazioni	20 60 100 60 5

## UNI 10339 Parte III

E' una norma energetica, non di progettazione.

Viene definita la portata d'aria esterna in edifici ad uso civile

La portata d'aria esterna o di estrazione per residenze civili a carattere continuativo come soggiorno, camere da letto, bagni, cucina, servizi è stabilita una portata di ca.  $40 \text{ m}^3/\text{h}$  a persona.

Tuttavia per il calcolo energetico prevede un tasso di ventilazione pari a  $n=0,3 \text{ vol/h}$ , anche se si ritiene opportuno consigliare l'adozione di un valore  $\geq 0,5 \text{ vol/h}$ .

# UNI ISO 15251

Divide i locali in due categorie:

1. **Locali di servizio** (bagni, cucine), dai quali avviene l'estrazione
2. **Locali "nobili"** (soggiorni, camere da letto), nei quali avviene l'immissione

Il flusso dell'aria è sempre da NOBILI a SERVIZIO

# UNI ISO 15251

Considera 4 categorie di benessere raggiunto

Tab. 6.1 - Classificazione dell'aria interna secondo la norma UNI EN 15251 (2008)

<b>Categoria</b>	<b>Percentuale insoddisfatti PD</b>	<b>Definizione</b>
<b>I</b>	15%	<u>Alto livello di aspettativa</u> : è raccomandato per ambienti occupati da soggetti molto sensibili e fragili con necessità particolari, come diversamente abili, malati, bambini e anziani
<b>II</b>	20%	<u>Normale livello di aspettativa</u> : dovrebbe essere usato per i nuovi edifici per quelli ristrutturati
<b>III</b>	30%	<u>Moderato, ma accettabile livello di aspettativa</u> : può essere utilizzato per gli edifici esistenti
<b>IV</b>	>30%	Ambiente che presenta caratteristiche che non rispettano i criteri della precedente classe. Può essere accettato solo per un periodo limitato nell'anno

# UNI ISO 15251

Prevede 3 criteri di calcolo

1. Valutazione delle estrazioni dai locali di servizio
2. Valutazione dei rinnovi d'aria complessivi nell'unità abitativa
3. Valutazione dei rinnovi d'aria nei singoli locali nobili

Il secondo e il terzo criterio hanno due possibili alternative:  
pertanto le metodologie di calcolo sono in tutto 5.

## UNI ISO 15251 – 1<sup>^</sup> criterio

### **Valutazione delle estrazioni dai locali di servizio**

Si applica solo quando non c'è un sistema VMC. Serve per dimensionare gli estrattori da bagni e da cucine.

Il limite principale del criterio è che è indipendente dalle superfici dei locali nobili.

## UNI ISO 15251 – 1<sup>^</sup> criterio

Raggiungimento delle varie categorie:

Categoria I: 100 m<sup>3</sup>/h nelle cucine  
72 m<sup>3</sup>/h nei bagni

Categoria II: 72 m<sup>3</sup>/h nelle cucine  
54 m<sup>3</sup>/h nei bagni

Categoria III: 50 m<sup>3</sup>/h nelle cucine  
36 m<sup>3</sup>/h nei bagni

## UNI ISO 15251 – 2<sup>^</sup> criterio

### **Valutazione dei rinnovi d'aria complessivi nell'unità abitativa**

Si basa sulla valutazione della portata di ventilazione o sul numero di ricambi d'aria necessari per garantire che l'unità abitativa appartenga ad una determinata categoria.

## UNI ISO 15251 – 2<sup>^</sup> criterio

Apparentemente questo criterio fa riferimento all'unità abitativa nel suo complesso, senza specificare come deve essere distribuita l'aria di rinnovo nei singoli ambienti.

In realtà, dovendo sempre essere evitato il flusso d'aria dei locali di servizio verso quelli nobili, è gioco forza distribuire la portata di ventilazione nei locali nobili provvedendo all'estrazione dai bagni e dalla cucina, che però a volte ha la necessità anche di avere un rinnovo d'aria direttamente dall'esterno (da sommare a quello estratto).

## UNI ISO 15251 – 2<sup>^</sup> criterio

Si possono scegliere 2 impostazioni

a) In funzione della volumetria

b) In funzione della superficie

## UNI ISO 15251 – 2<sup>^</sup> criterio

Valutazione dei rinnovi d'aria complessivi nell'unità abitativa

Categoria I: 0,7 volumi/h

Categoria II: 0,6 volumi/h

Categoria III: 0,5 volumi/h

## UNI ISO 15251 – 2<sup>^</sup> criterio

In funzione della superficie

Categoria I: 1,76 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)

Categoria II: 1,51 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)

Categoria III: 1,26 m<sup>3</sup>/(h m<sup>2</sup>)

## UNI ISO 15251 – 3<sup>^</sup> criterio

Valutazione dei rinnovi d'aria nei singoli locali nobili

Si basa sulla definizione delle portate di ventilazione per ciascun ambiente nobile (soggiorno, camera da letto)

## UNI ISO 15251 – 3<sup>^</sup> Criterio

Si possono scegliere 2 alternative

a) In funzione del numero di persone presenti

b) In funzione della superficie

## UNI ISO 15251 – 3<sup>^</sup> Criterio

In funzione delle persone presenti

Categoria I: 36 m<sup>3</sup>/h per persona

Categoria II: 25 m<sup>3</sup>/h per persona

Categoria III: 15 m<sup>3</sup>/h per persona

## UNI ISO 15251 – 3<sup>^</sup> Criterio

In funzione della superficie

Categoria I:  $5 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

Categoria II:  $3,6 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

Categoria III:  $2,2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

# IL CALCOLO TRA NORME E REALTA'

## Come procedere?

Quale metodo scegliere, tra quelli illustrati?

E come essere certi che poi le prestazioni siano davvero quelle desiderate?

La **fisica**, per sua grande fortuna, **non legge le norme**. Personalmente sono sempre favorevole a metodi di calcolo più analitici, piuttosto che seguire banalmente le norme.

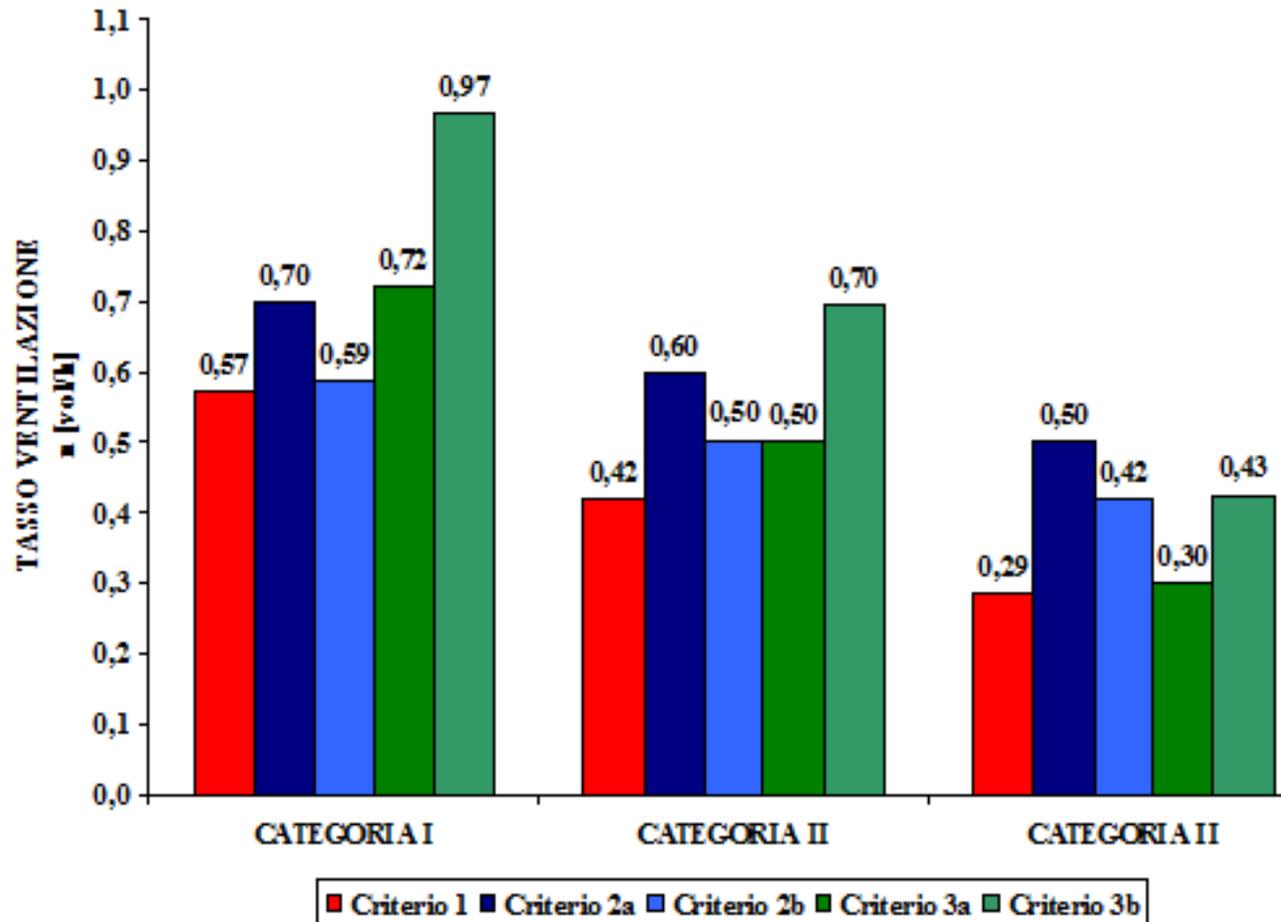
Di seguito, si confrontano i risultati dei vari metodi di calcolo, poi si mostra un esempio reale su un appartamento da 100 m<sup>2</sup>.

## Appartamento su cui avviene il confronto

	Volume	Superficie	Persone
	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup>	
Camera singola	45	15	1
Camera matrimoniale	54	18	2
Cucina - sala da pranzo	60	20	3
Salotto	75	25	3
Bagno	36	12	
Disobblighi neutri	30	10	
<b>TOTALE</b>	<b>300</b>	<b>100</b>	

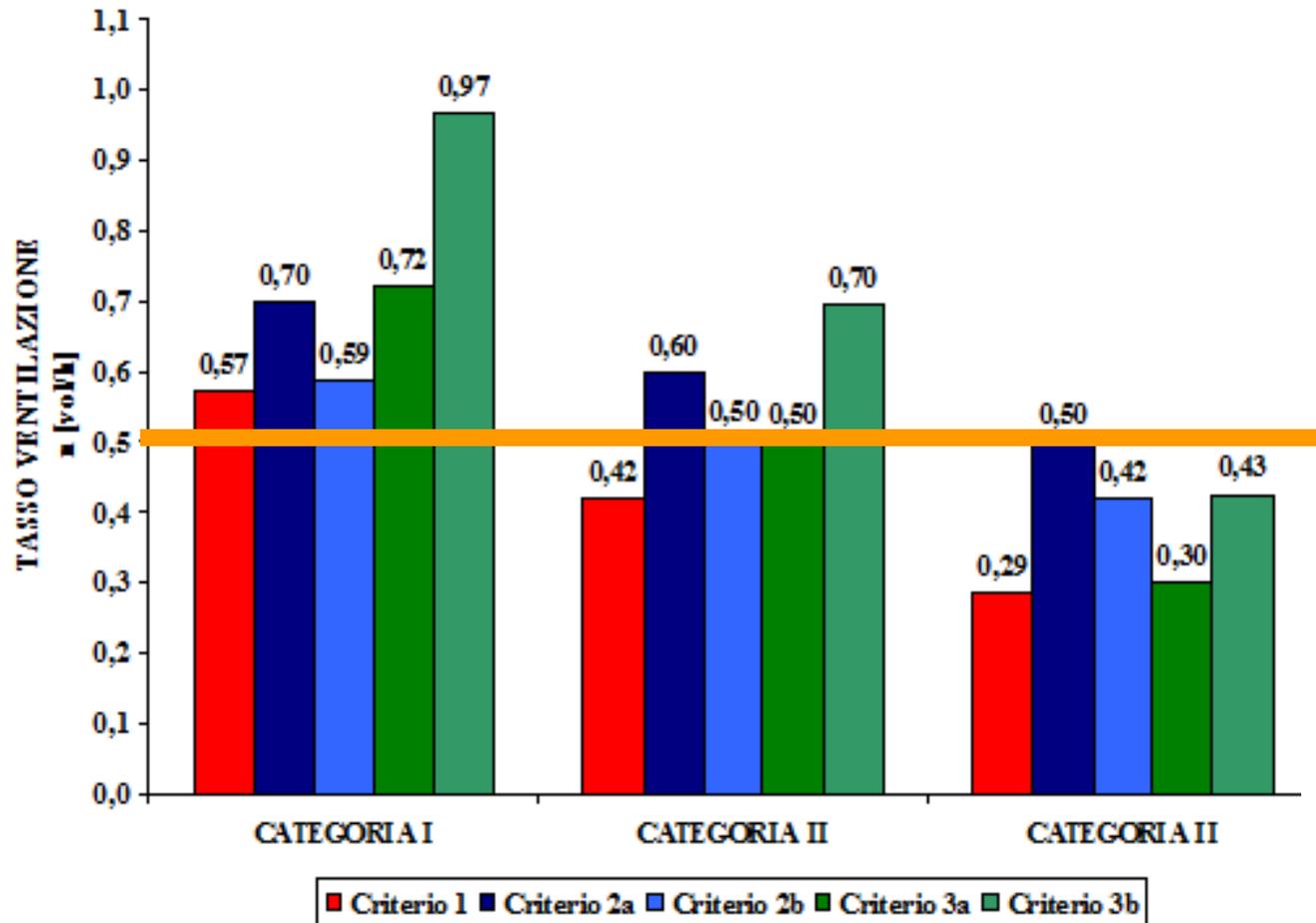
## Risultati secondo la UNI EN 15251

C'è molta disuniformità nella Categoria I: i criteri 3a e 3b richiedono portate elevate. Ci sono sovrapposizioni tra le classi a seconda del criterio adottato (n=0,70 porta alla Categoria II col criterio 3b, ma è ampiamente in Categoria I con tutti gli altri criteri).



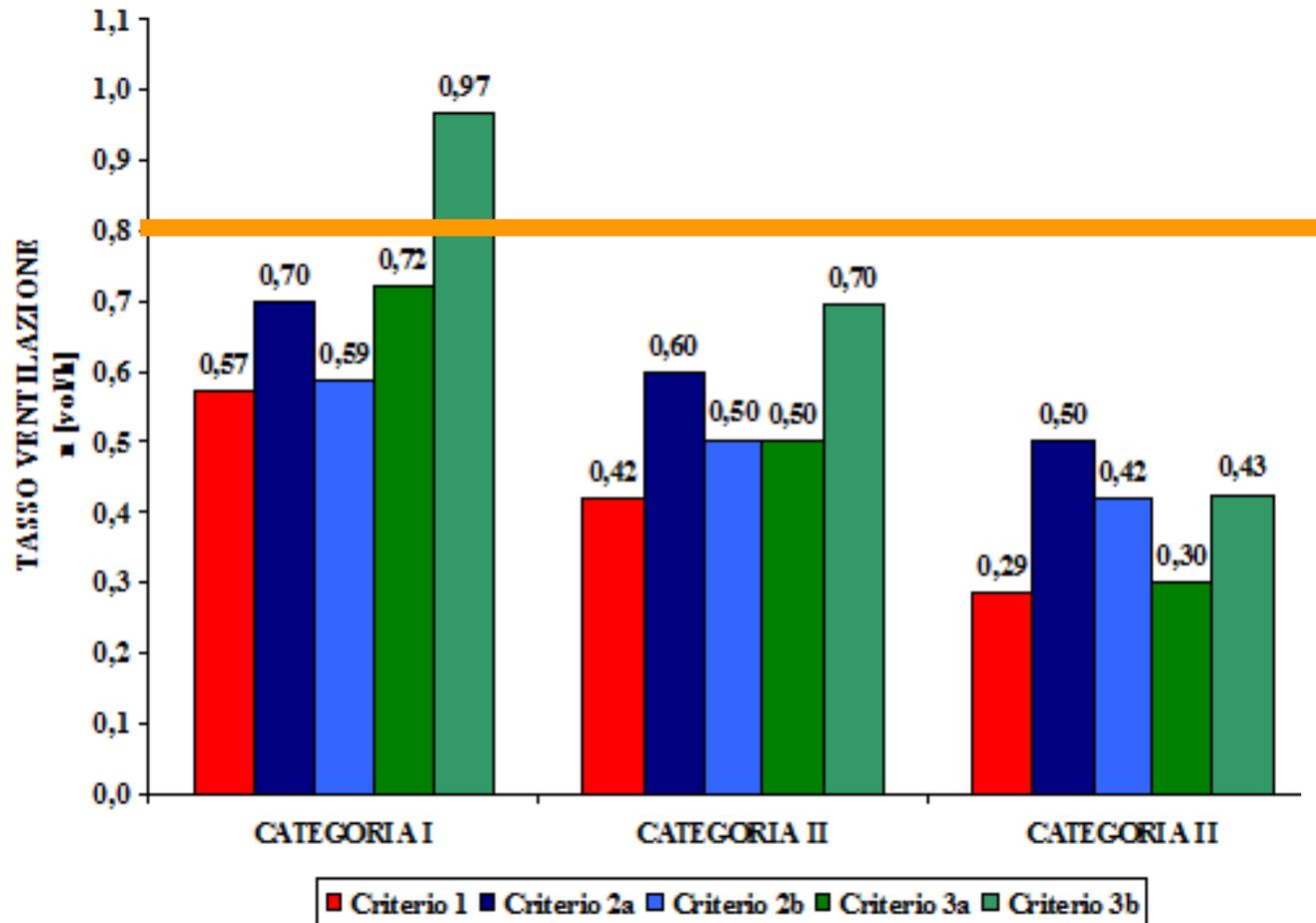
# Risultati secondo la UNI EN 15251

Il valore  $n=0,5$ , adottato da gran parte della normativa italiana, garantisce la Categoria II.



## Risultati secondo la UNI EN 15251

Al contrario, se si applica la UNI 10339 esistente, si ottengono valori di portata molto alti, con valori di comfort di Categoria I.



# Considerazioni tecniche

## Non bisogna mai eccedere con la portata d'aria

Nelle abitazioni, non conviene mai eccedere con la portata d'aria di rinnovo perché:

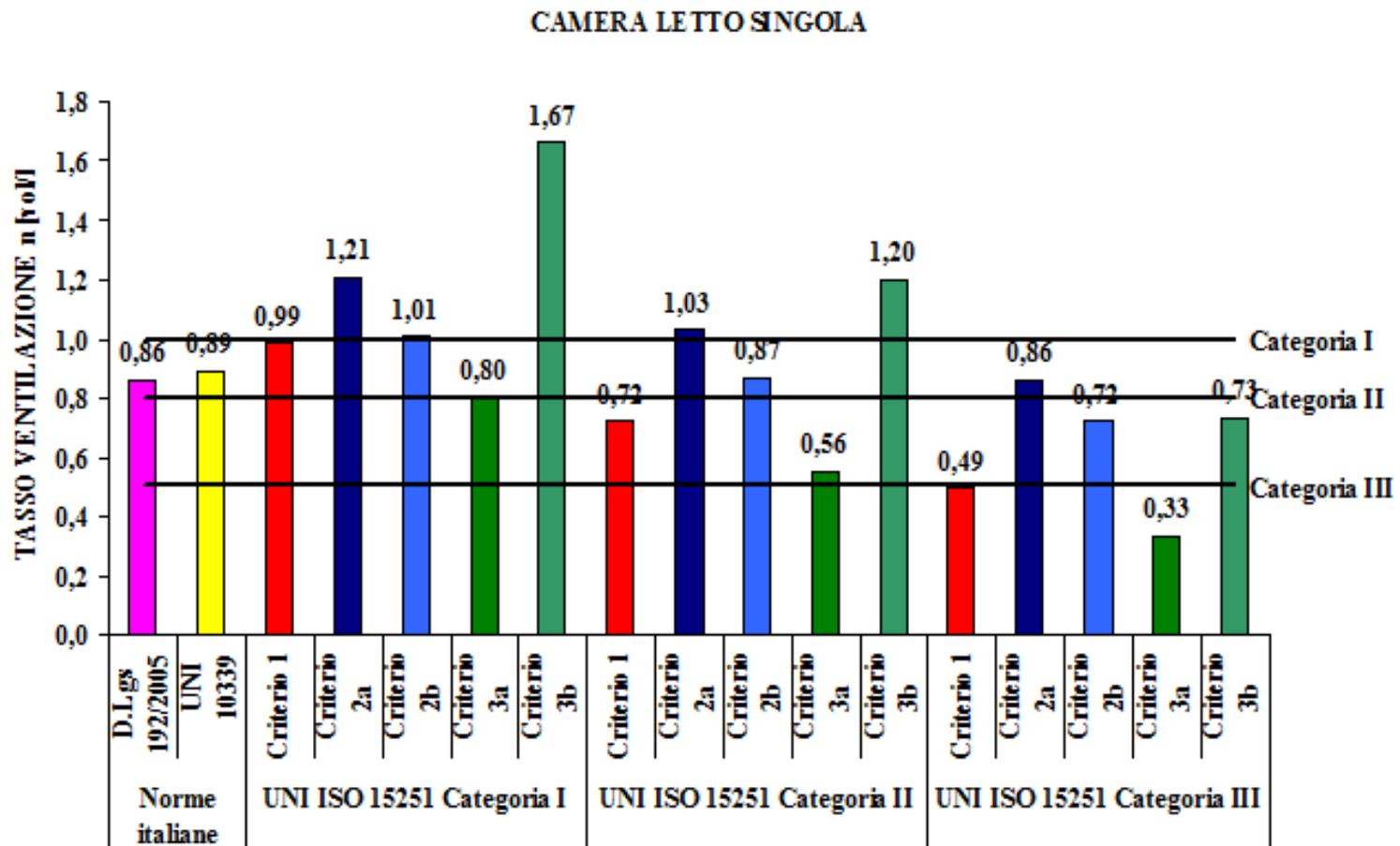
- Maggiore è la portata d'aria di rinnovo, maggiore è il consumo energetico, sia per i generatori che per i ventilatori.
- In un ambiente domestico è sempre molto difficile posizionare le bocchette di distribuzione in modo corretto: sarebbe consigliabile non superare  $n = 0,8 - 1$  nelle camere da letto e nei soggiorni. Valori più elevati si possono mantenere in cucina.
- Nelle abitazioni c'è sempre la possibilità di aprire le finestre, se le prestazioni della sola ventilazione meccanica non garantiscono in alcune condizioni il controllo della CO<sub>2</sub> e della UR.

## Non bisogna mai eccedere con la portata d'aria

Conviene procedere per ogni singolo ambiente e verificare i vari parametri con un calcolo analitico e poi confrontarli con i valori riportati dalle singole norme.

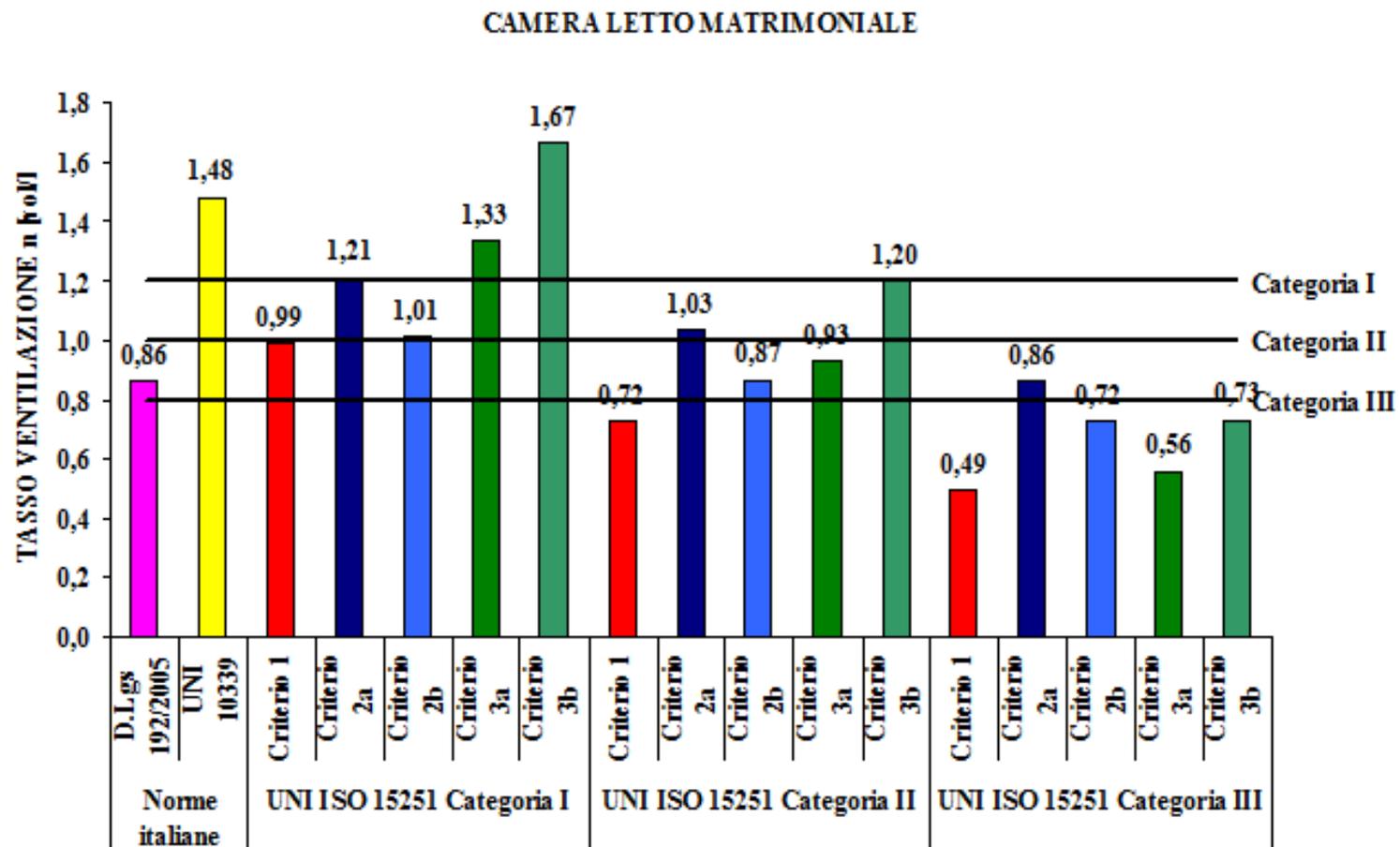
## Camera da letto singola – controllo CO<sub>2</sub>

La figura confronta i valori reali per il controllo della CO<sub>2</sub> con i valori delle singole norme. Le norme italiane portano a una buona Categoria II.



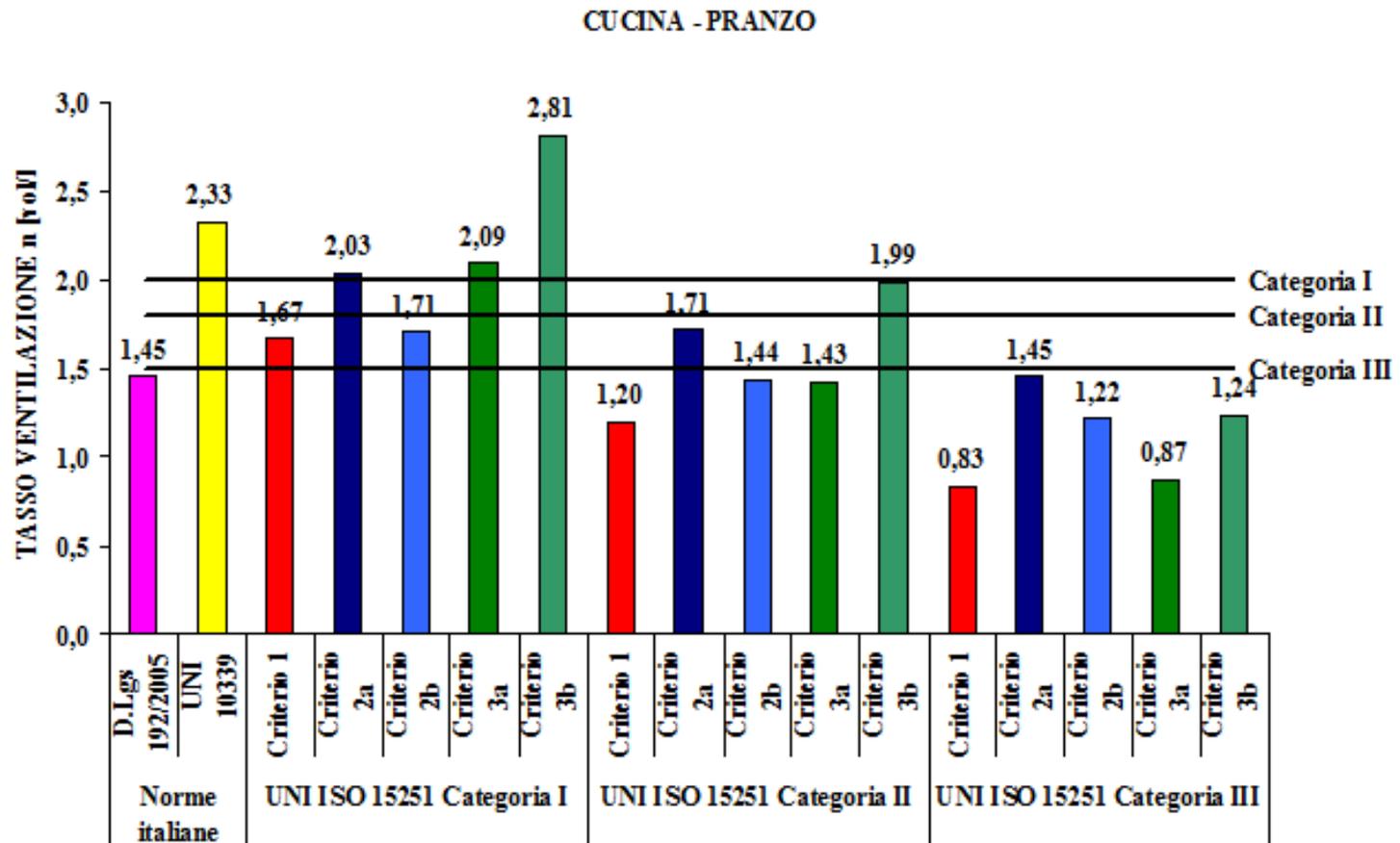
## Camera da letto matrimoniale – controllo CO<sub>2</sub>

La figura confronta i valori reali per il controllo della CO<sub>2</sub> con i valori delle singole norme. Le norme italiane portano a una buona Categoria II.



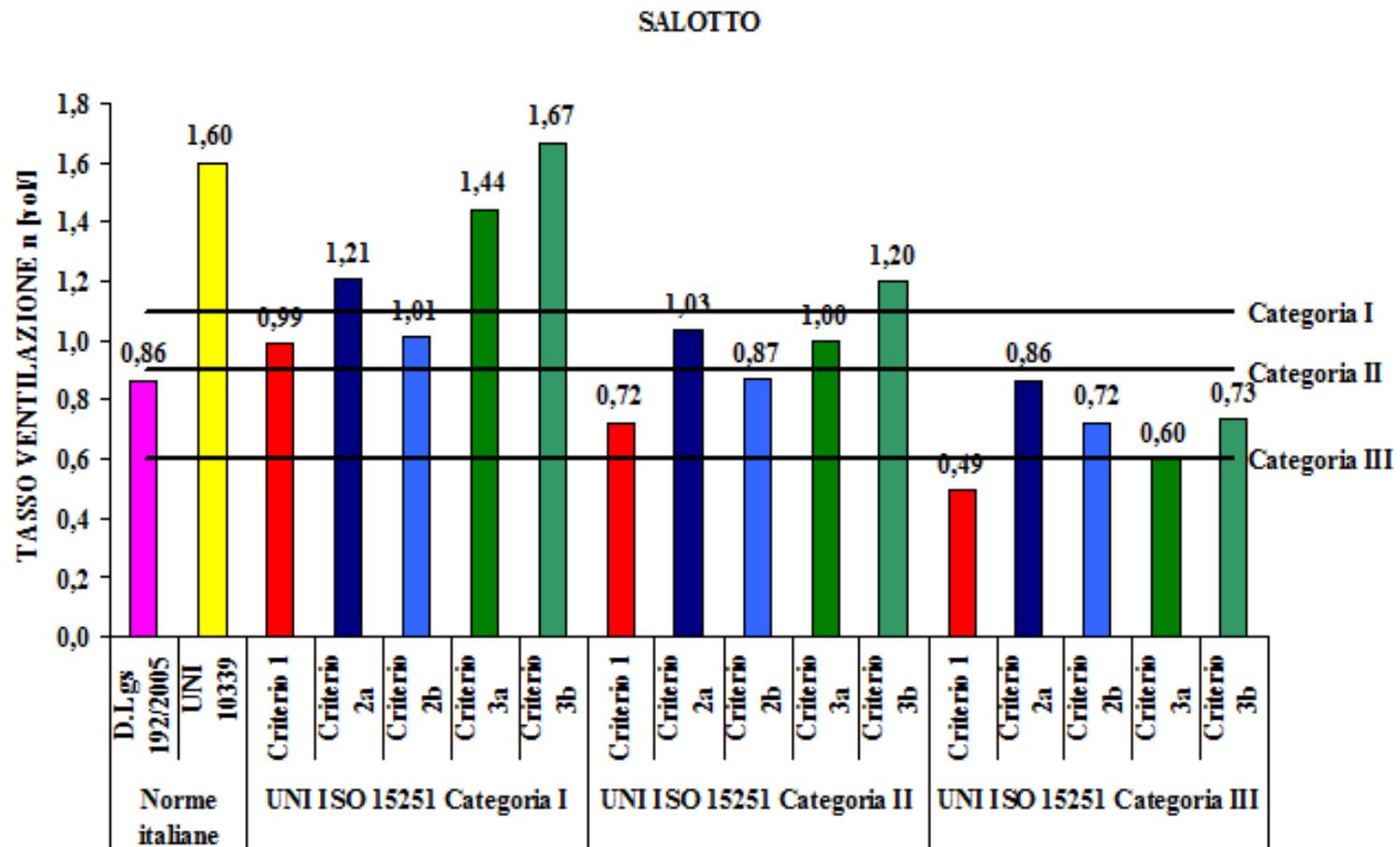
## Cucina - Pranzo – controllo CO<sub>2</sub>

La figura confronta i valori reali per il controllo della CO<sub>2</sub> comprensivi della sovrappressione, con i valori delle singole norme.



## Salotto – controllo CO<sub>2</sub>

La figura confronta i valori reali per il controllo della CO<sub>2</sub> con i valori delle singole norme.



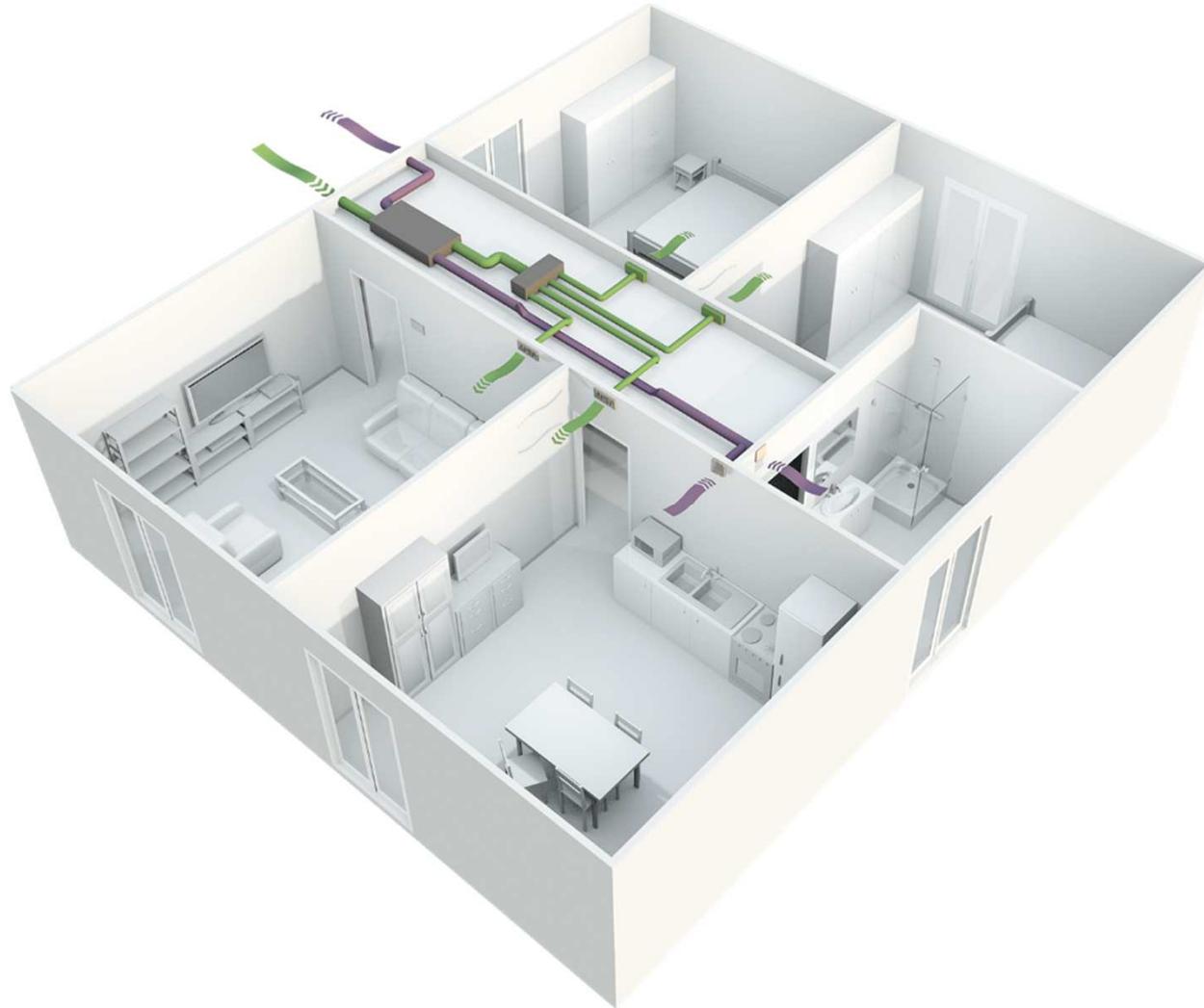
Confronto sul singolo locale

		CATEGORIE RAGGIUNTE			
		Camera singola	Camera matrimoniale	Cucina	Salotto
Norme italiane	D.Lgs 192/2005	II	III	III	II
	UNI 10339	II	I	I	II
UNI ISO 15251 Categoria I	Criterio 1	I	II	III	I
	Criterio 2a	I	I	I	I
	Criterio 2b	I	II	II	II
	Criterio 3a	II	I	I	I
	Criterio 3b	I	I	I	I
UNI ISO 15251 Categoria II	Criterio 1	III	III	III	III
	Criterio 2a	I	II	II	II
	Criterio 2b	II	III	III	II
	Criterio 3a	III	III	III	II
	Criterio 3b	I	I	I	I
UNI ISO 15251 Categoria III	Criterio 1	III	IV	IV	IV
	Criterio 2a	II	III	III	III
	Criterio 2b	III	IV	IV	IV
	Criterio 3a	IV	IV	IV	IV
	Criterio 3b	III	IV	IV	IV

# Sistemi VMC

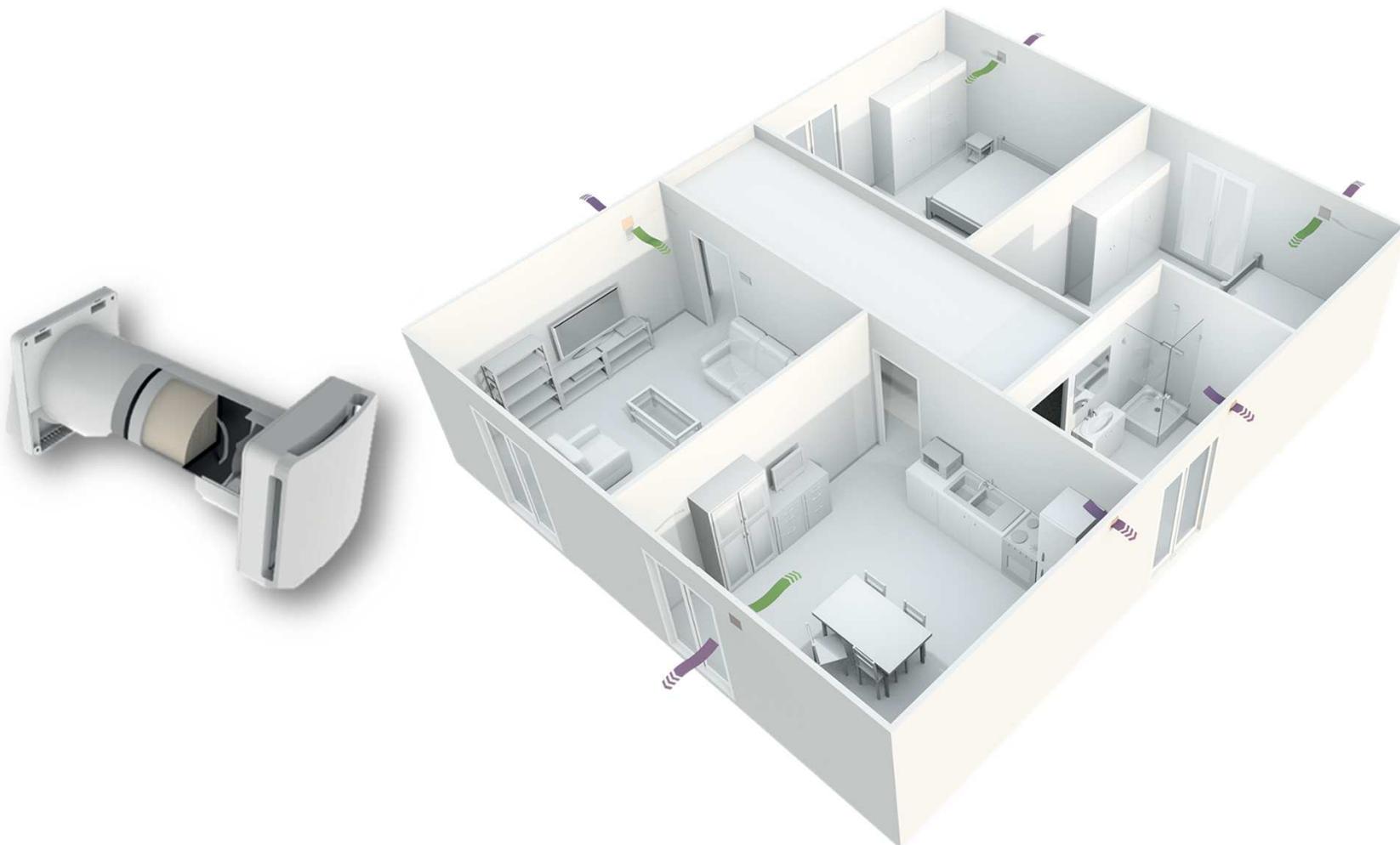
## Sistemi VMC a doppio flusso

Generalmente sono sempre dotati di recupero di calore dall'aria espulsa .



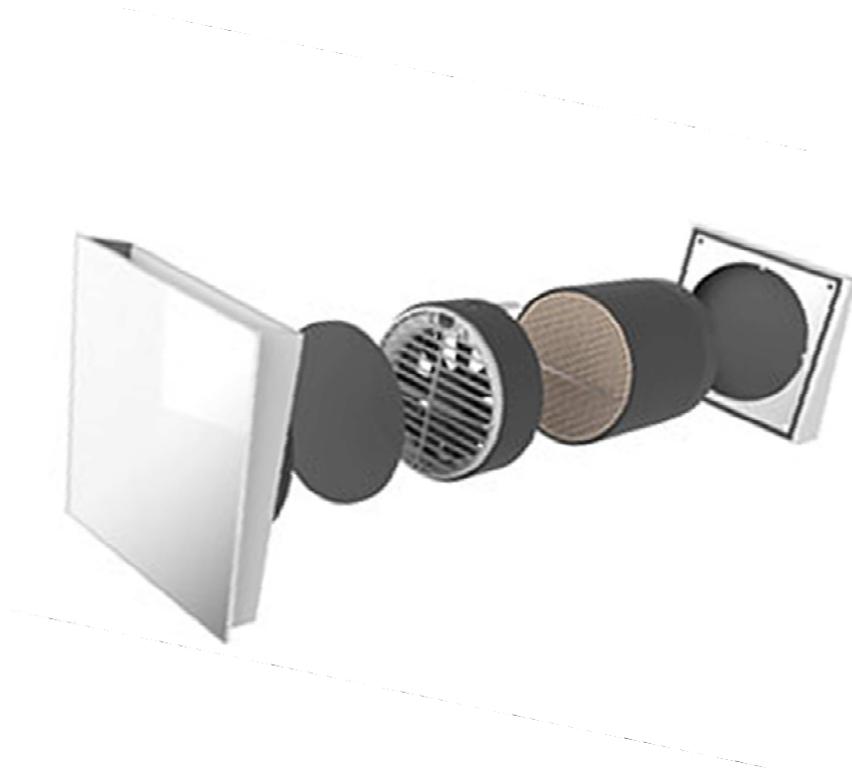
## VMC doppio flusso non canalizzato

Ideale per ristrutturazioni, presenta una cattiva distribuzione dell'aria. Come tutti i sistemi puntiformi ha una portata d'aria limitata



## Sistemi Push Pull a recupero di calore

Si tratta di un sistema a recupero di calore puntiforme da parete in cui il ventilatore immette aria per 30 secondi e per altri 30 l'espelle. Come tutti i sistemi puntiformi ha una portata d'aria limitata.

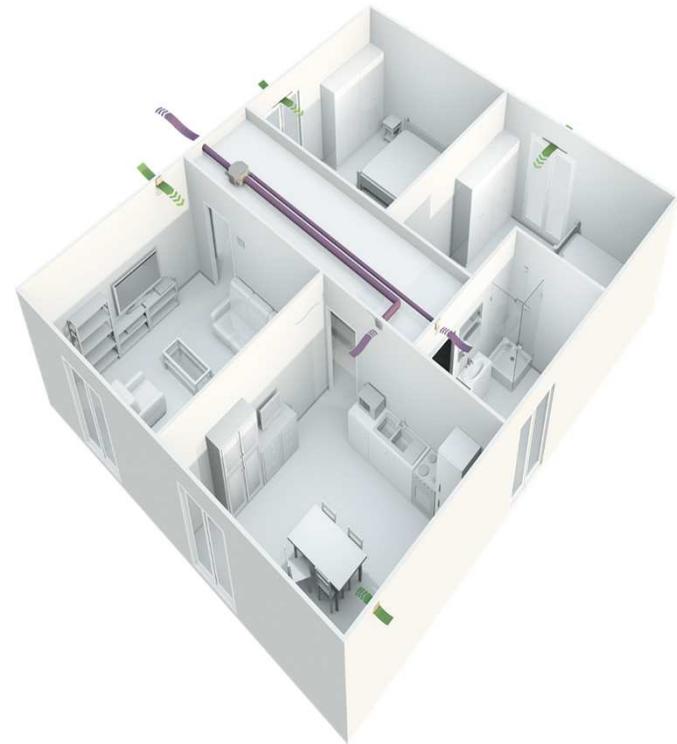


## Sistemi VMC a singolo flusso

Sistemi a singolo flusso per immissione

Sistemi a singolo flusso per estrazione

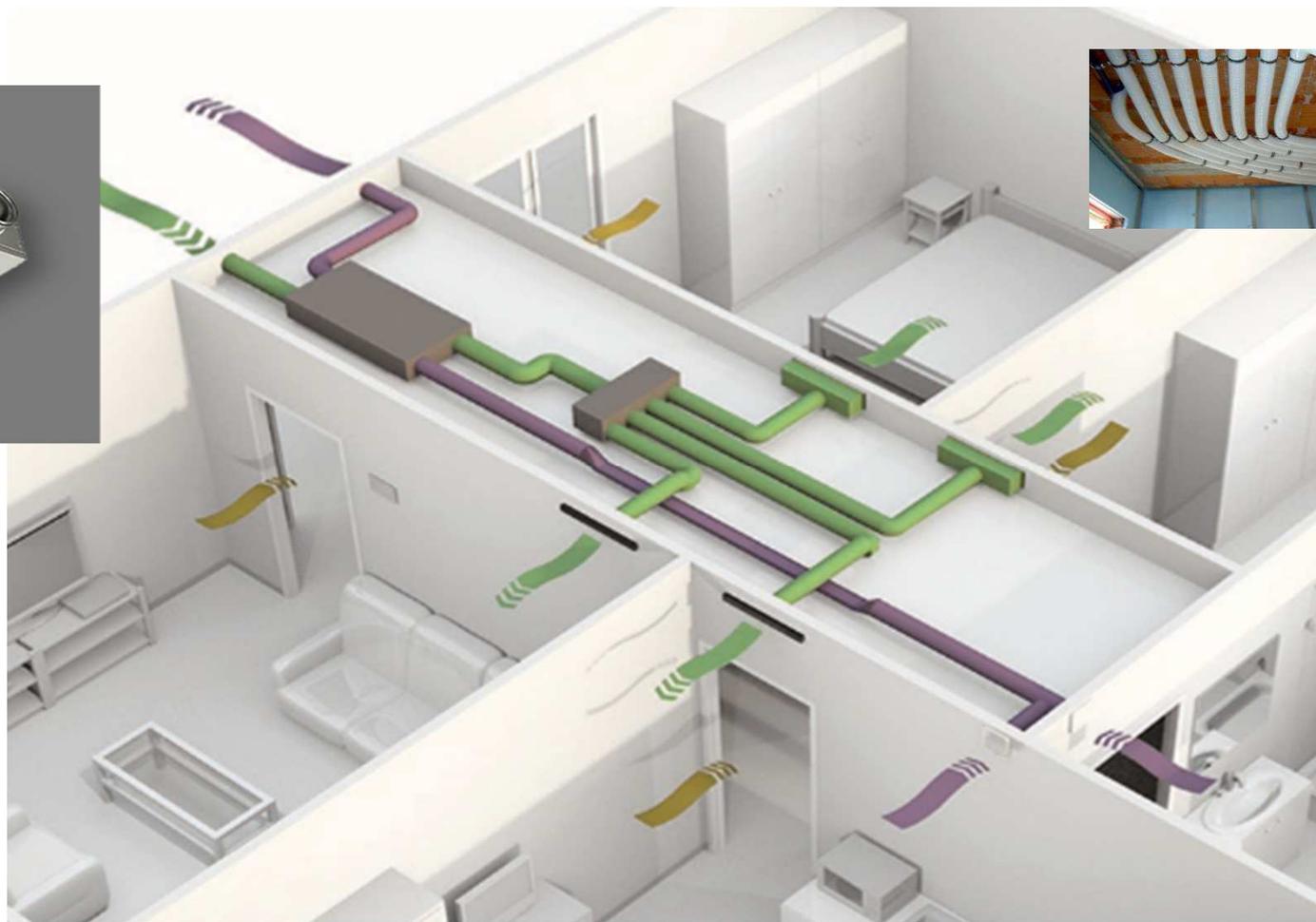
Sistemi a singolo flusso per estrazione  
puntiforme



# Sistemi VMC a doppio flusso canalizzati

## Sistemi VMC a doppio flusso con recupero di calore

Generalmente sono sempre dotati di recupero di calore dall'aria espulsa .



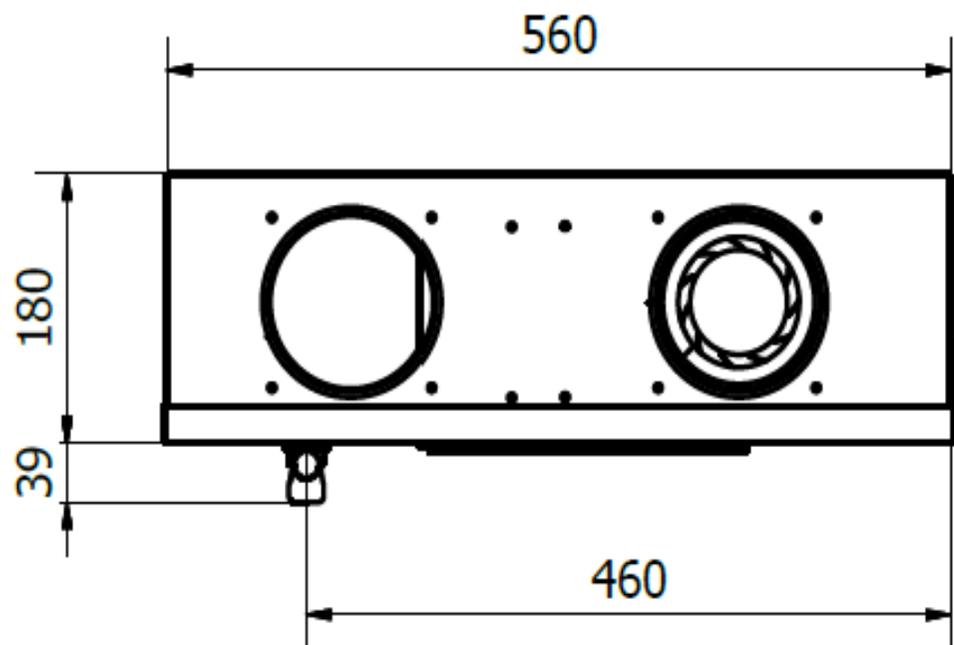
## Tipologia di recupero di calore

Recuperatori di calore sia verticali che orizzontale .



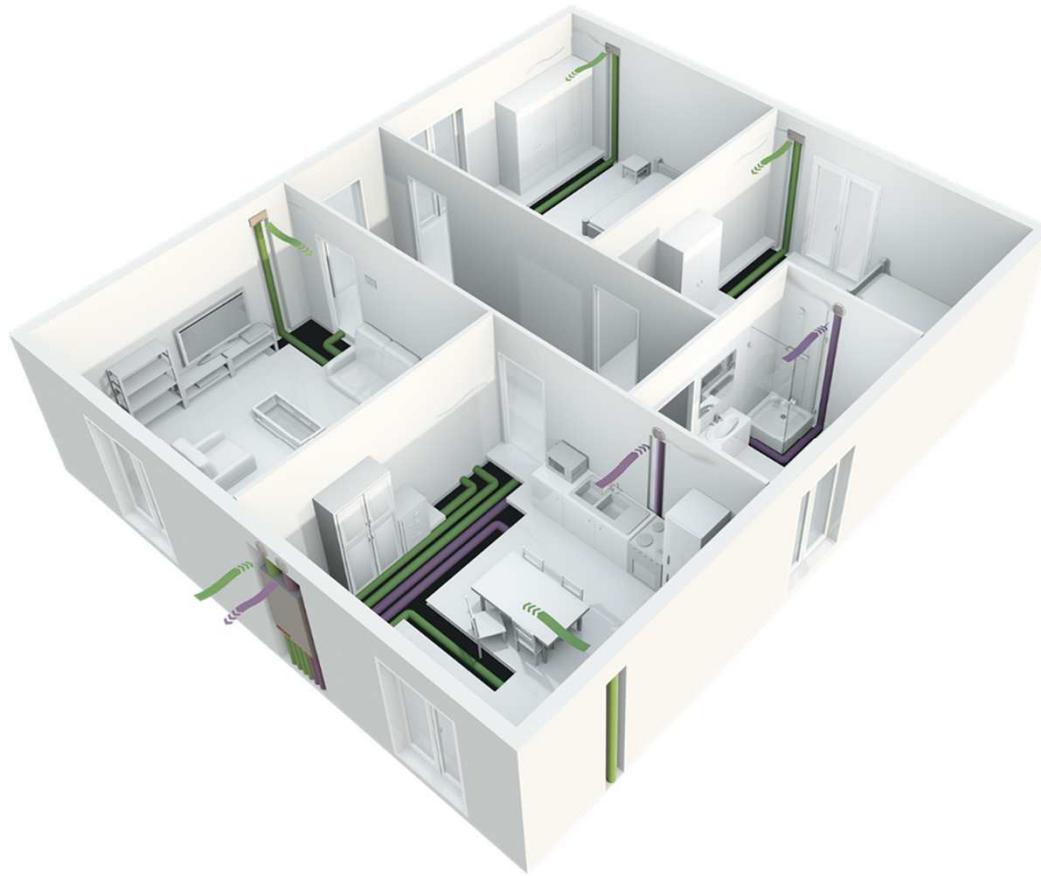
## Recuperatori orizzontali da controsoffitto

Tipiche dimensioni di un recuperatore orizzontale da controsoffitto.

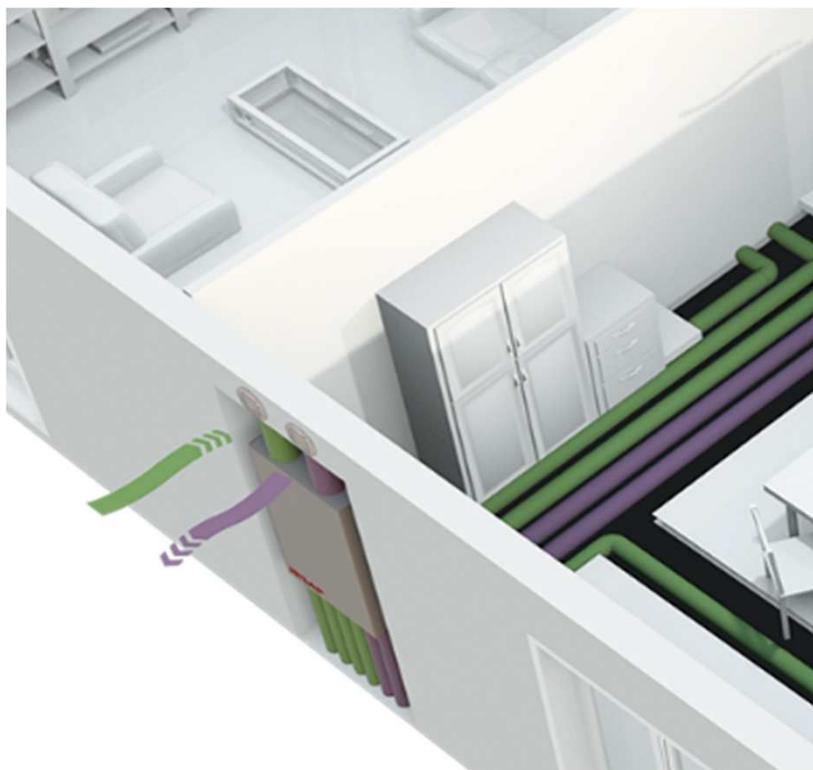


# Recuperatori verticali

Installazione con ventilatori verticali con mandata verso il basso.

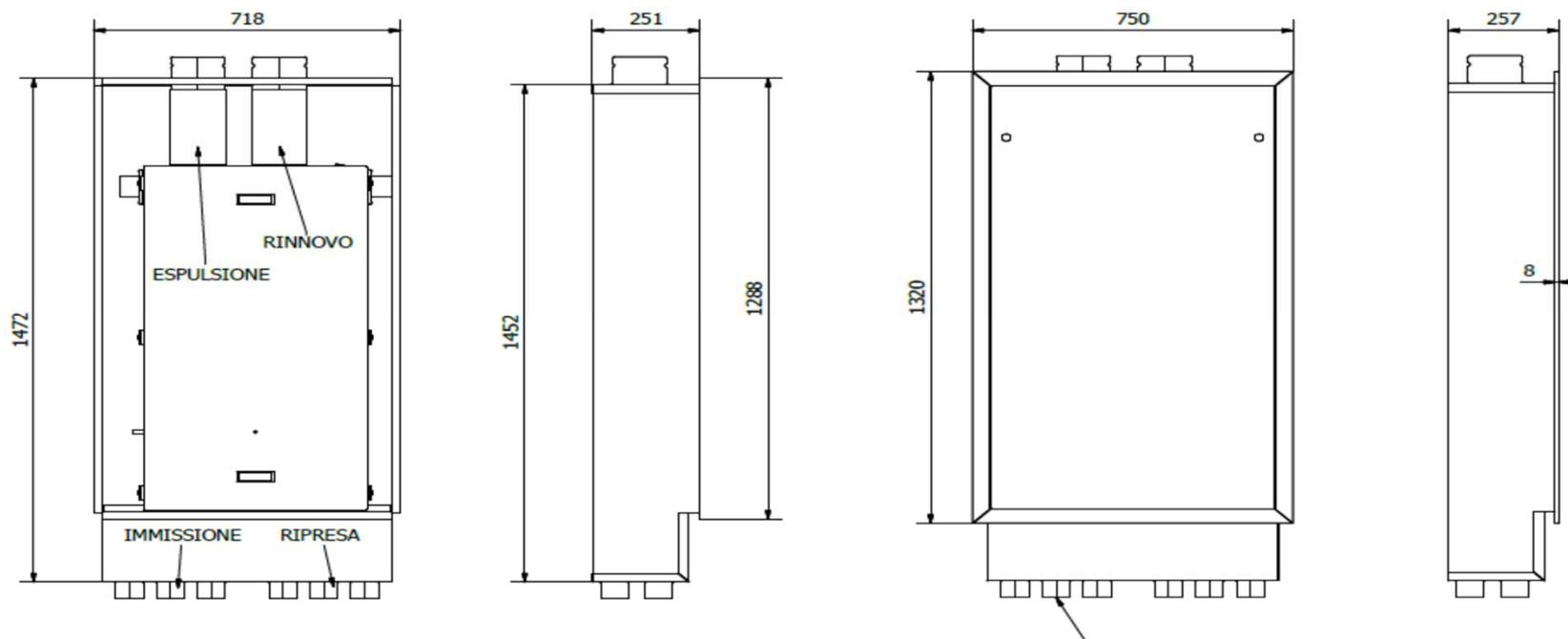


## Recuperatori verticali



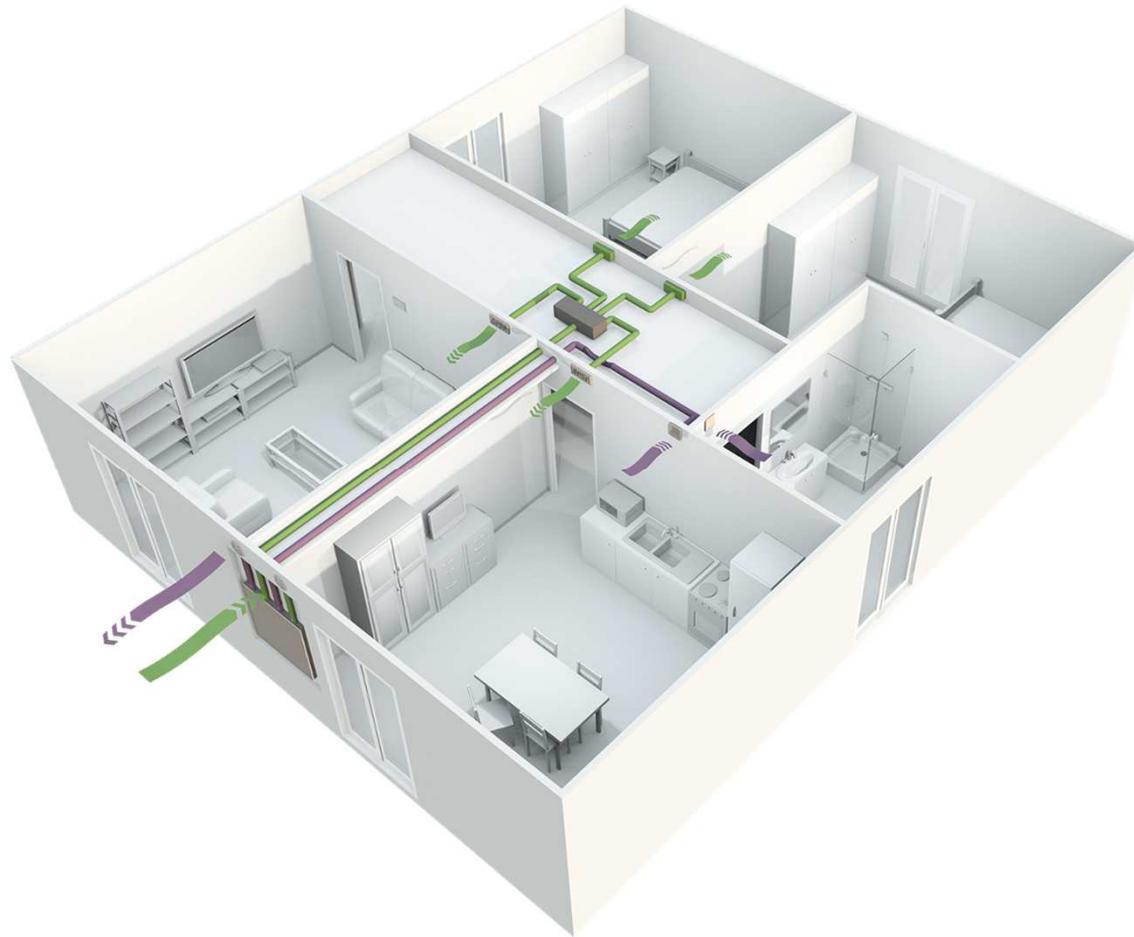
## Recuperatori orizzontali da controsoffitto

Tipiche dimensioni di un recuperatore verticale da incasso.



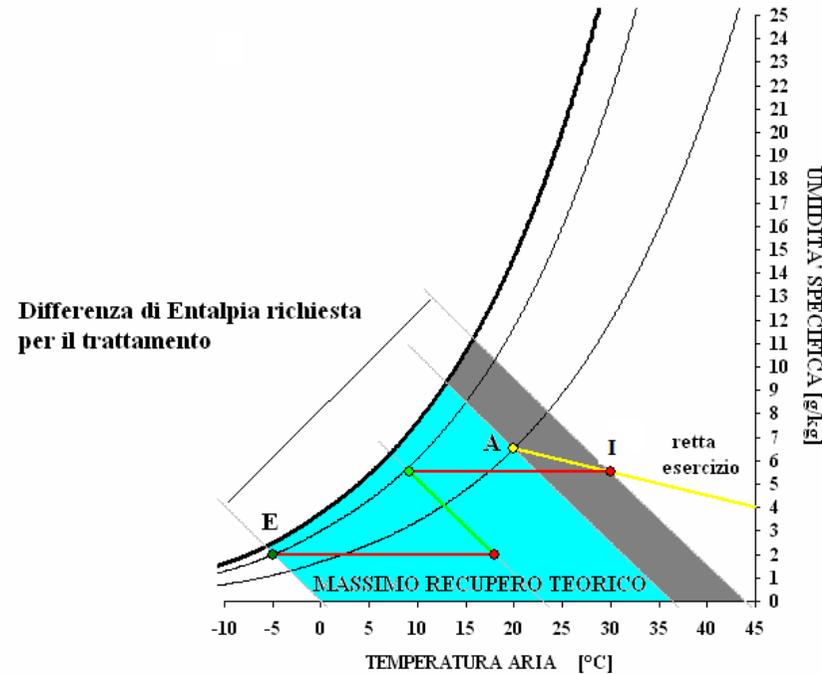
# Recuperatori verticali

Installazione con ventilatori verticali con mandata verso l'alto.



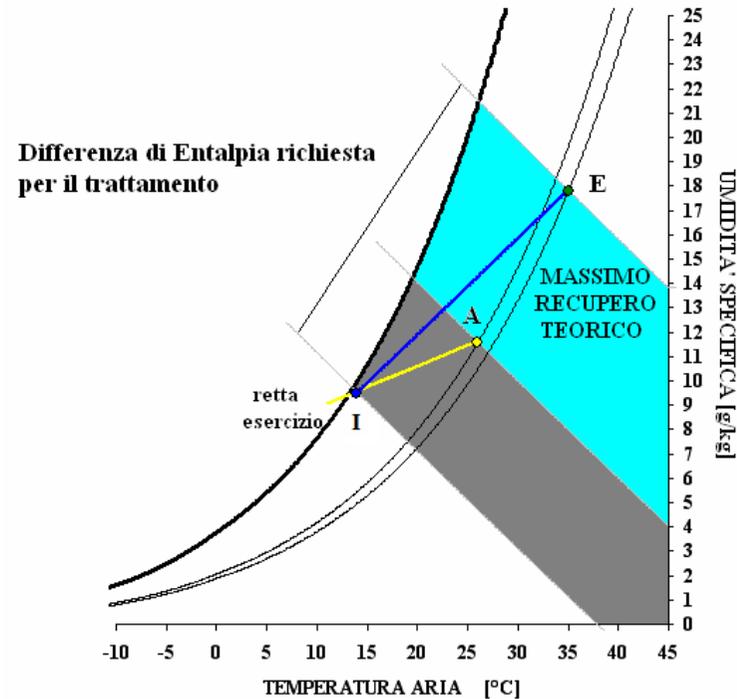
# Cenni sul recupero di calore dall'aria espulsa

# Massimo recupero di calore possibile



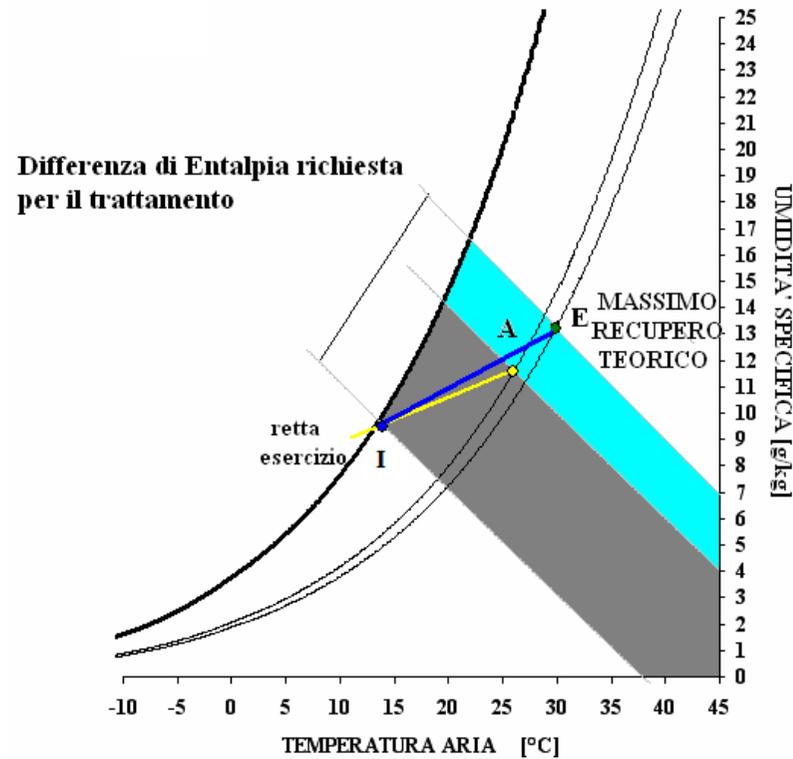
In riscaldamento, il trattamento dell'aria richiede un incremento di entalpia dalle condizioni dell'aria esterna, E, a quelle di immissione, I. Di questa differenza di entalpia è teoricamente recuperabile solo la parte evidenziata dall'area azzurra, perché il recupero avviene sull'aria espulsa, che generalmente si trova alle condizioni ambiente, A.

# Massimo recupero di calore possibile



In raffreddamento, il trattamento dell'aria richiede una diminuzione di entalpia dalle condizioni dell'aria esterna, E, a quelle di immissione, I. Di questa differenza di entalpia è teoricamente recuperabile solo la parte evidenziata dall'area azzurra, perché il recupero avviene sull'aria espulsa, che generalmente si trova alle condizioni dell'ambiente.

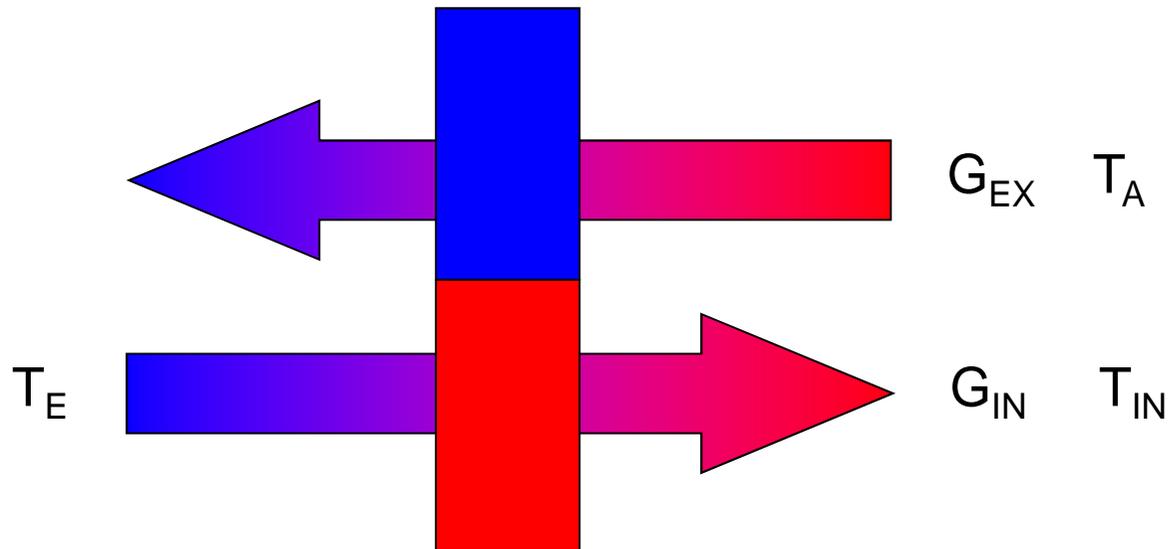
# Massimo recupero di calore possibile



In raffreddamento, la percentuale massima di recupero possibile è tanto minore quanto più l'entalpia dell'aria esterna si avvicina a quella dell'ambiente. Come mostra la figura, l'area azzurra diminuisce, mentre quella grigia rimane inalterata rispetto alla diapositiva precedente. Quando l'entalpia dell'aria esterna è minore di quella dell'aria in ambiente, bisogna by-passare il recupero di calore

## L'importanza del recupero di calore

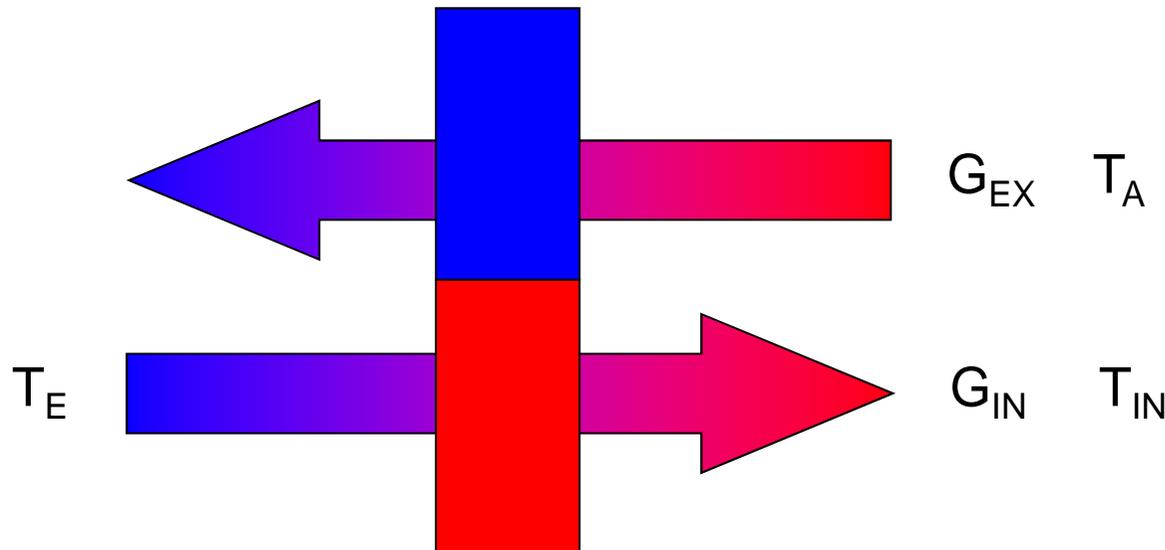
Un recuperatore di calore è caratterizzato da una portata di massa dell'aria immessa  $G_{IN}$  e della portata dell'aria espulsa  $G_{EX}$



# L'importanza del recupero di calore

Il rendimento secondo la norma UNI EN 308 è:

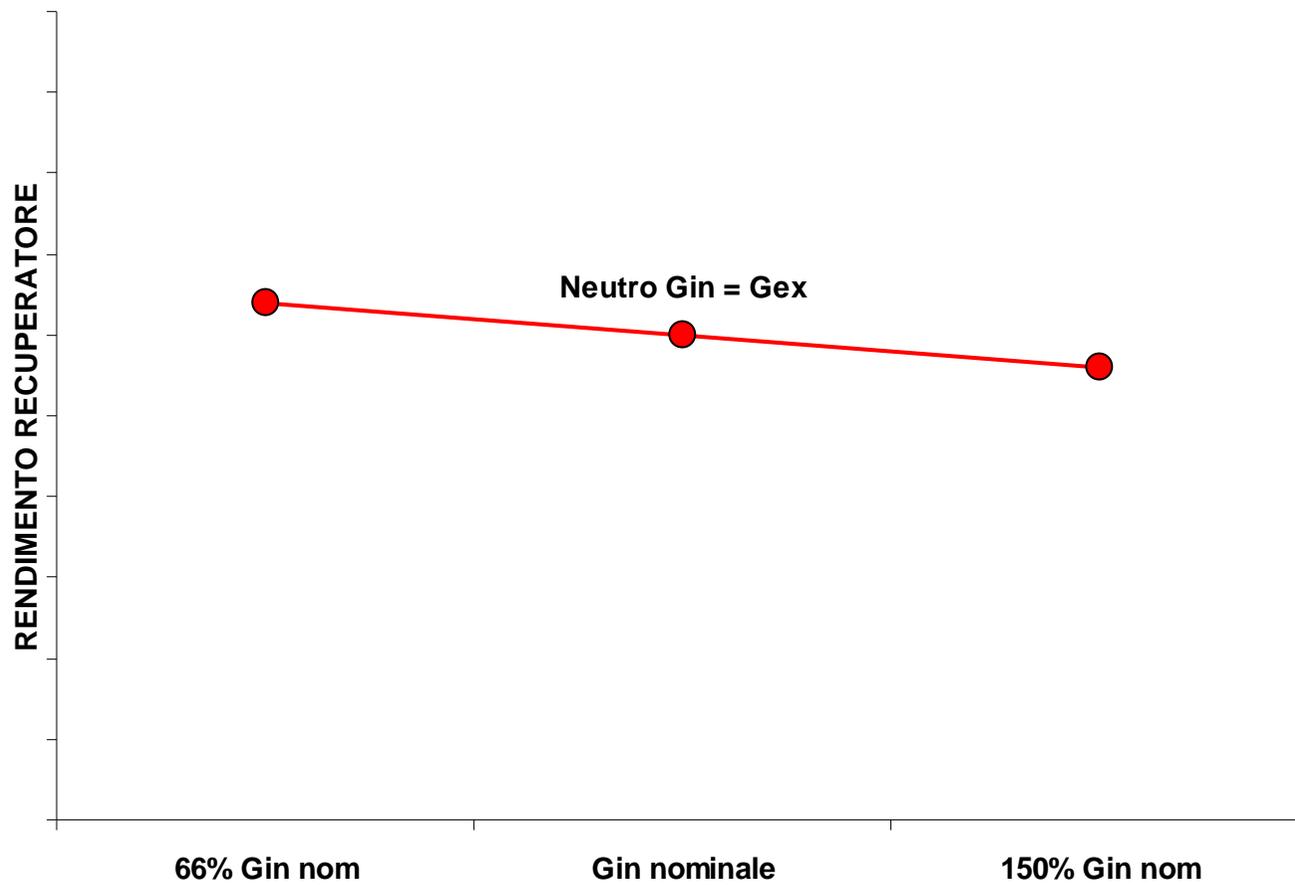
$$\eta = \frac{t_{IN} - t_E}{t_A - t_E}$$



Non considera le portate, perché la norma prevede 7 punti di prova

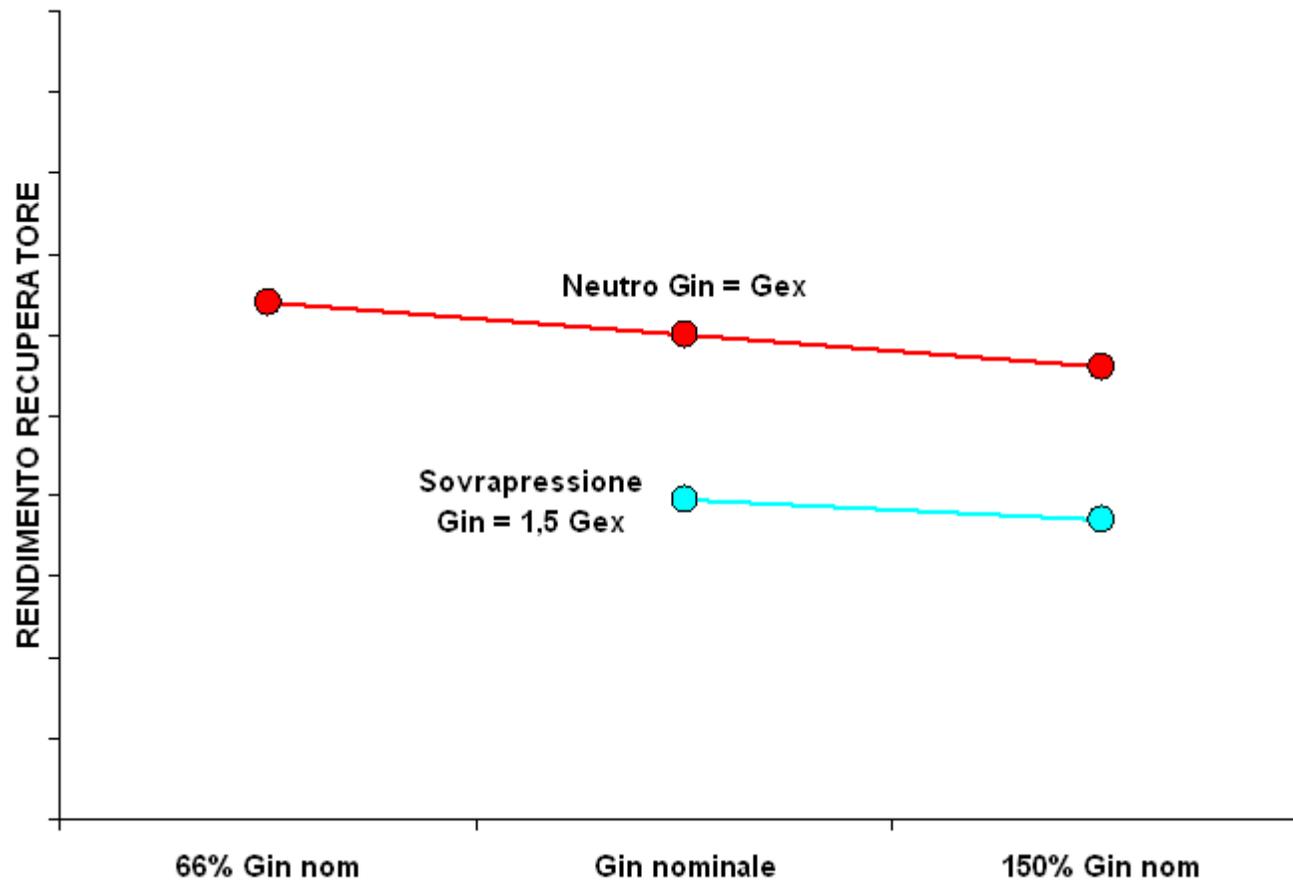
# L'importanza del recupero di calore

I primi 3 punti sono dati nelle condizioni neutre: la portata dell'aria immessa è uguale alla portata dell'aria espulsa.



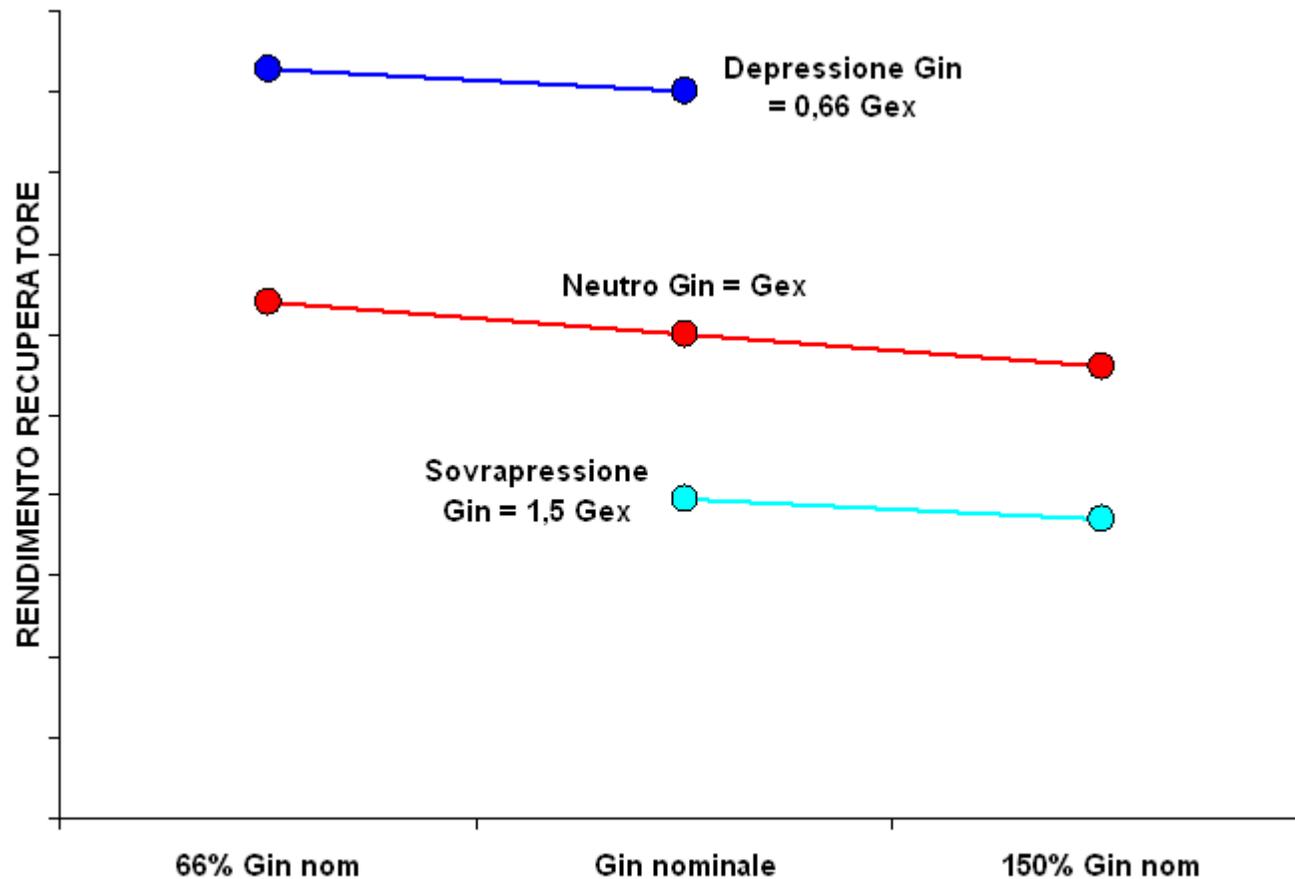
## L'importanza del recupero di calore

Altri 2 punti sono dati in condizioni di sovrappressione: la portata dell'aria immessa e 1,5 volte superiore a quella espulsa. Il rendimento si abbassa



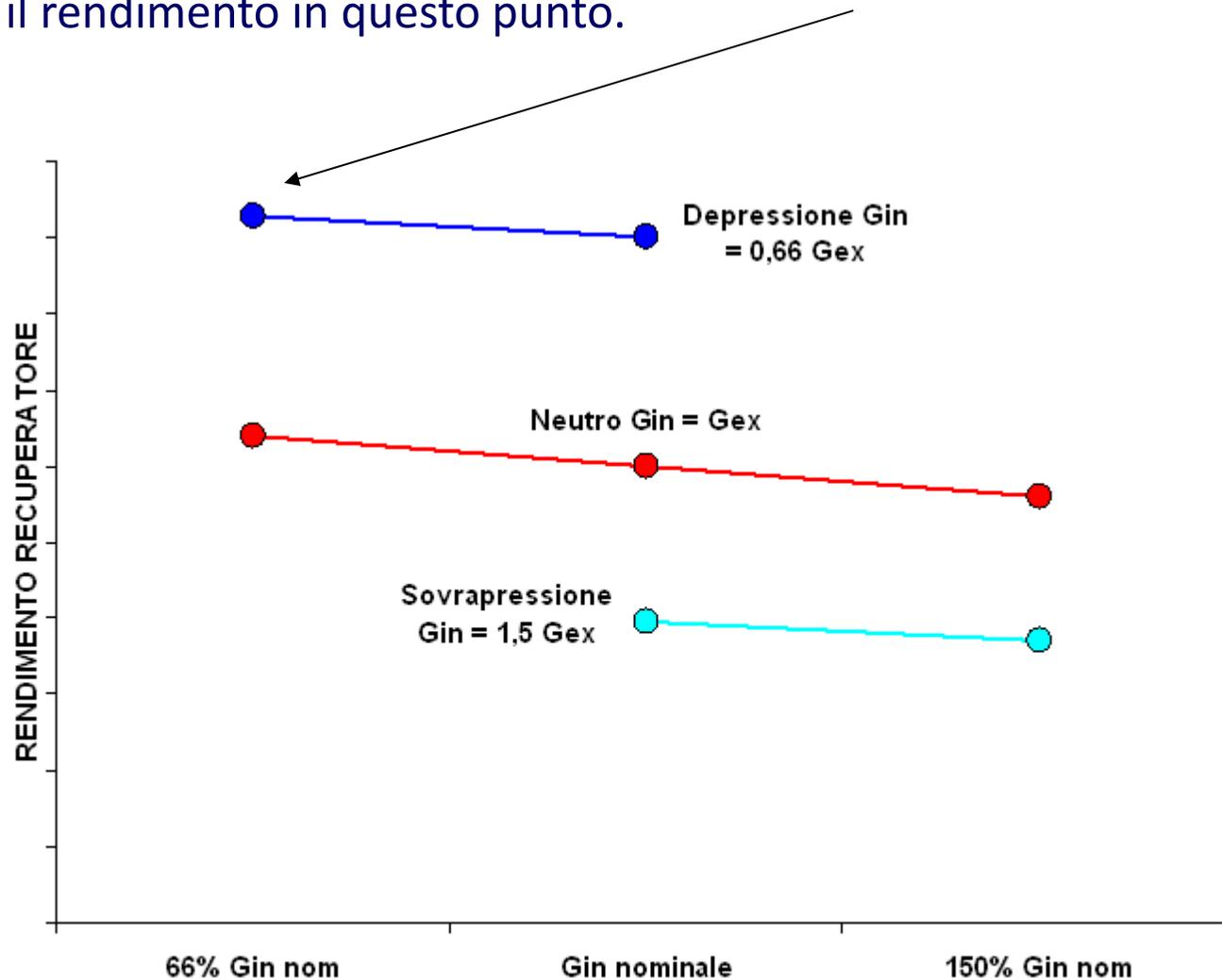
## L'importanza del recupero di calore

I Gli ultimi 2 punti sono date in condizioni di depressione: la portata dell'aria immessa e il 67% dell'aria espulsa. Il rendimento si abbassa



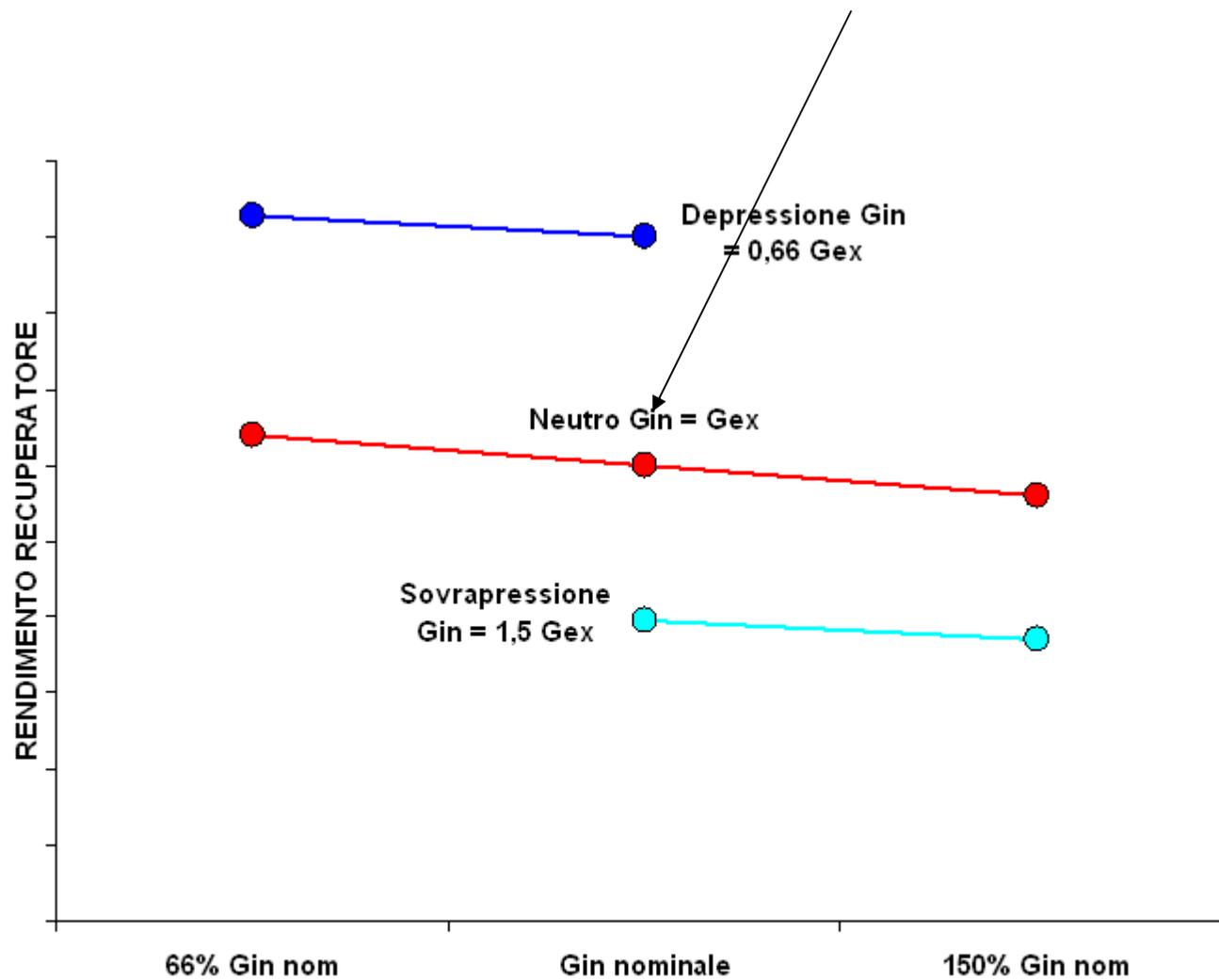
# L'importanza del recupero di calore

La frase equivoca "rendimento superiore al 90% secondo la UNI 308 porta a dichiarare il rendimento in questo punto.



# L'importanza del recupero di calore

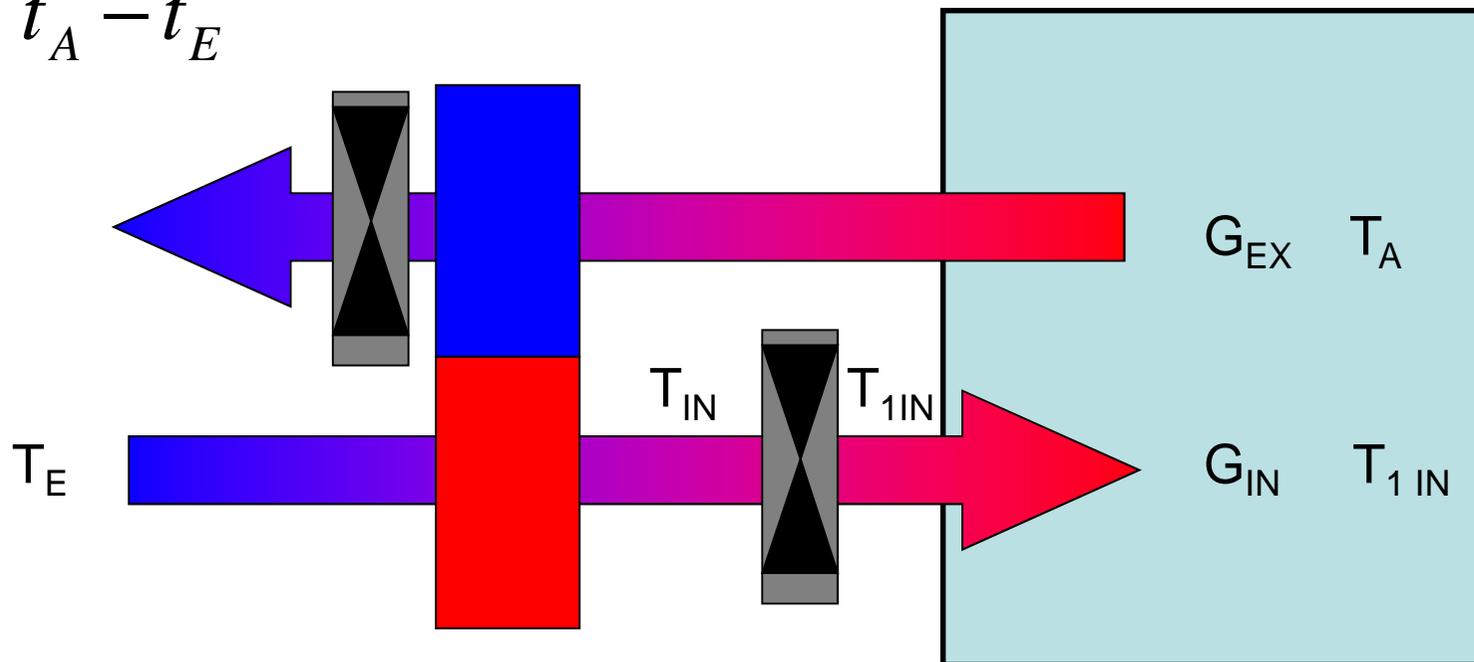
Mentre andrebbe dichiarato ne punto nominale.



## L'importanza del recupero di calore

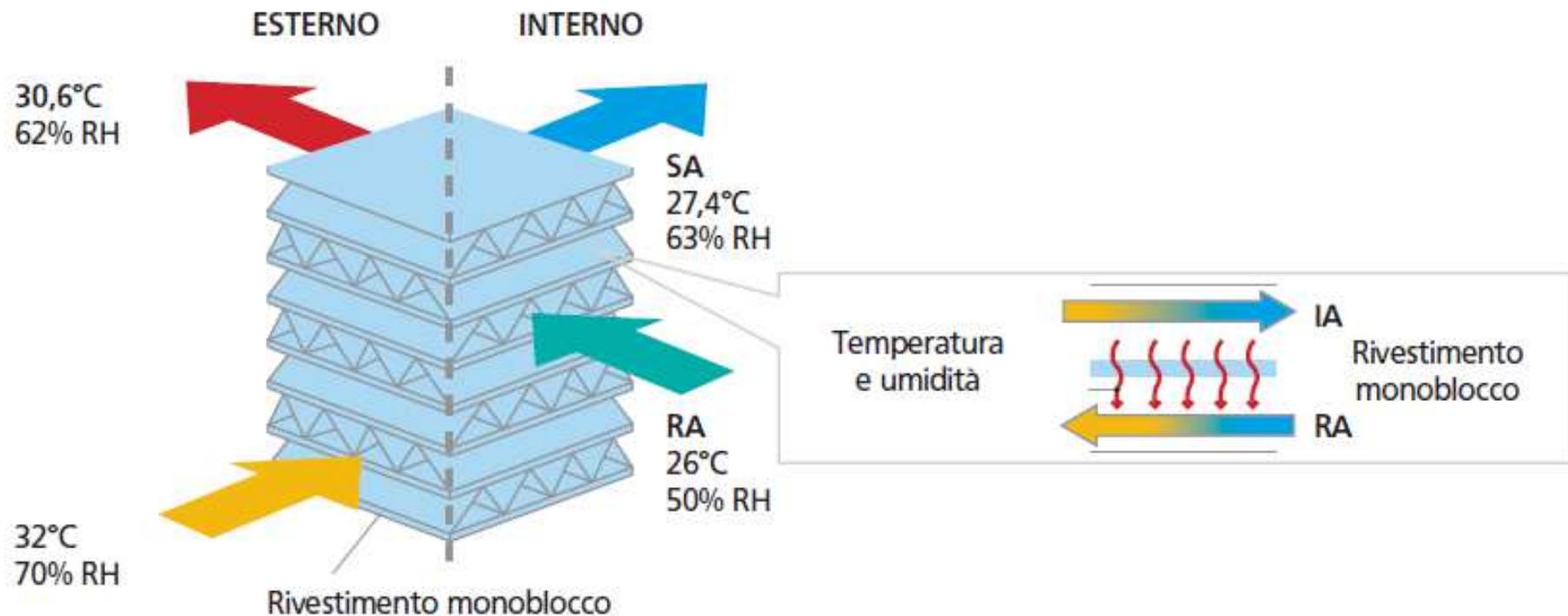
Il rendimento può essere dichiarato secondo la EN 13141-7 che tiene conto anche della posizione del ventilatore e del conseguente aumento di temperatura.

$$\eta = \frac{t_{1IN} - t_E}{t_A - t_E}$$



## Il recupero sensibile e latente (recuperatori entalpici)

Possono essere di tipo rotativo o a flussi incrociati (carta speciale). Il materiale di questi ultimi fa passare l'umidità



## Limiti dei recuperatori entalpici

Utilizzando un recuperatore entalpico si crea un processo a catena:

- l'umidità specifica recuperata in eccesso fa aumentare la  $x$  dell'aria in ambiente;
- di conseguenza aumenta la differenza tra la  $x$  in ambiente e la  $x$  dell'aria di rinnovo;
- ciò comporta l'aumento del valore dell'umidità specifica recuperata e quindi anche di quello della  $x$  dell'aria immessa in ambiente;
- di conseguenza la  $x$  dell'aria in ambiente aumenta ulteriormente.

# Limiti dei recuperatori entalpici

Questo effetto a catena è descritto dall'equazione:

$$x_A = x_E + \frac{\Delta x}{1 - \varepsilon_L}$$

dove:

$x_A$  umidità specifica dell'aria ambiente

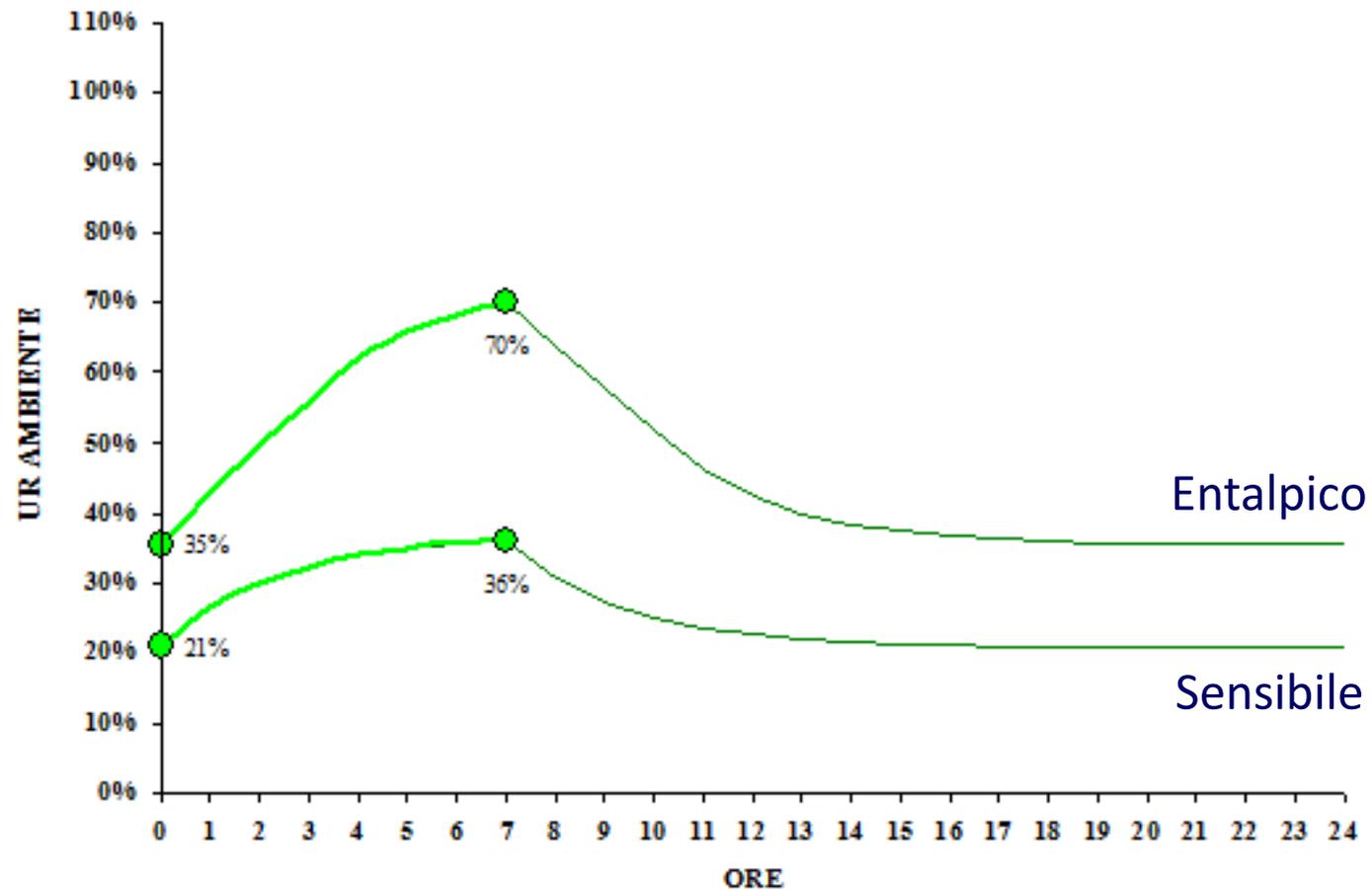
$x_E$  umidità specifica dell'aria esterna

$\eta_L$  efficienza latente del recuperatore secondo la Norma UNI EN 308

$\Delta x$  differenza di umidità specifica tra aria ambiente e aria immessa

# Limiti dei recuperatori entalpici

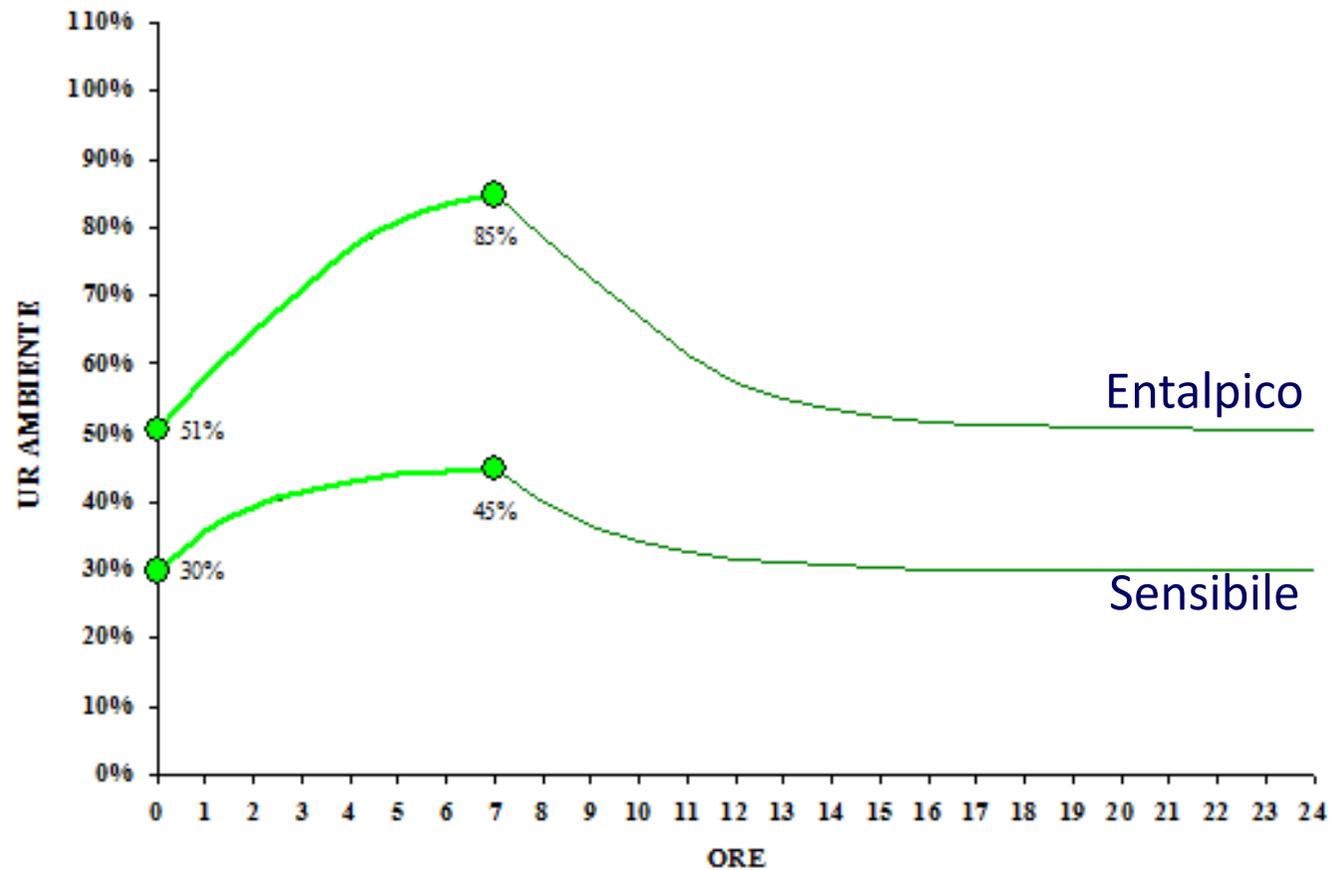
Camera matrimoniale:  $T$  esterna =  $0^{\circ}\text{C}$ , UR esterna 90%



# Limiti dei recuperatori entalpici

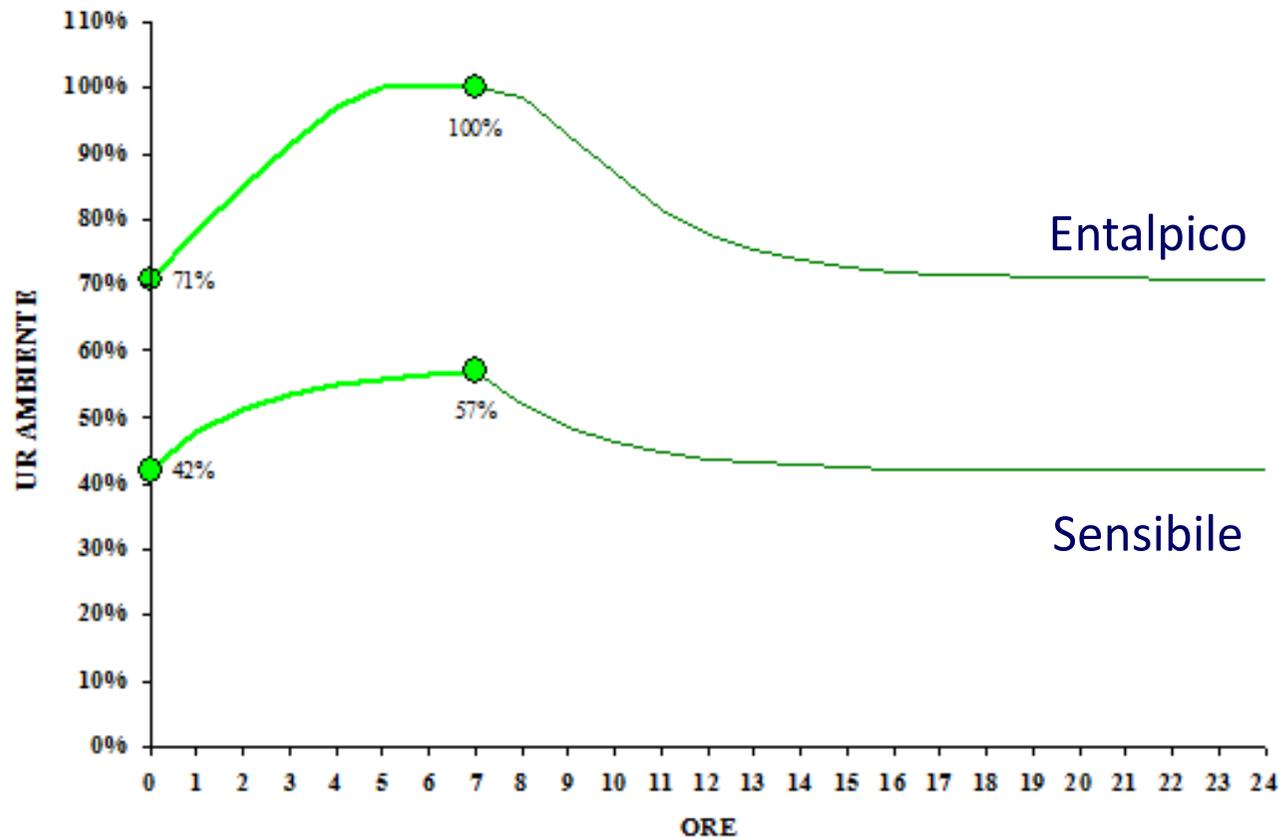
Camera matrimoniale: T esterna = 5°C, UR esterna 90%

Possibile formazione di condensa superficiale con entalpico



# Limiti dei recuperatori entalpici

Camera matrimoniale: T esterna = 10°C, UR esterna 90%  
Sicura formazione di condensa superficiale con entalpico



# Accessori degli impianti

## Accessori – Sonda qualità dell'aria

Permette di attivare l'impianto VMC solamente se la qualità dell'aria è troppo bassa.



## Accessori – Sonda umidità dell'aria

Permette di attivare l'impianto VMC solamente se la qualità dell'aria è troppo elevata (da non utilizzare con recuperatori entalpici e deve sempre essere attivata in estate).



## Accessori – Batteria acqua calda e fredda

Consente di integrare la potenza termica fornita dai terminali.

La batteria fredda va SEMPRE utilizzata con i sistemi radianti in raffreddamento (si deve deumidificare l'aria prima di immetterla)



## Accessori – Batteria acqua calda e fredda

Funzionamento invernale – Potenza fornita

Potenza di integrazione [W] in ambiente con aria a 20°C

		Portata aria [m <sup>3</sup> /h]		
		150	300	500
T aria immessa [°C]	22	97	194	323
	24	194	388	646
	26	291	581	969
	28	388	775	1.292
	30	484	969	1.615

# Accessori – Batteria acqua calda e fredda

Funzionamento in caldo

Consigliato quando la temperatura dell'aria esterna è inferiore a  $-5^{\circ}\text{C}$ , per evitare che l'aria entri in ambiente a temperatura troppo bassa

## Accessori – Batteria acqua calda e fredda

Funzionamento estivo -Potenza sensibile fornita

Potenza sensibile di integrazione [W] in ambiente con aria a 26°C

		Portata aria [m <sup>3</sup> /h]		
		150	300	500
T aria immessa [°C]	22	201	402	669
	20	301	602	1.004
	18	402	803	1.339
	16	502	1.004	1.673
	14	602	1.205	2.008

## Accessori – Batteria acqua calda e fredda

Funzionamento estivo - Potenza latente fornita

Potenza latente di integrazione [W] in ambiente con aria a 26°C e UR = 55%

		Portata aria [m <sup>3</sup> /h]		
		150	300	500
T aria immessa [°C] (UR = 95%)	22	0	0	0
	20	0	0	0
	18	0	0	0
	16	102	205	341
	14	269	538	896

## Accessori – Batteria elettrica

Da utilizzare solo in emergenza. Pessime prestazioni energetiche



500 W  
1000 W  
1500 W

# air'suite filter

## *Innovativo sistema di filtrazione antibatterico*



*IRSAP stabilisce un nuovo riferimento per la qualità dell'aria introdotta negli ambienti civili grazie ad Air'Suite® Filter, l'esclusivo ed innovativo sistema **brevettato** di filtrazione antibatterico. L'efficienza di abbattimento batterico è stata misurata e **certificata dal CNR (IRSA)** attraverso un protocollo di indagine con tecniche di citometria a flusso con risultati di inattivazione e danneggiamento pressoché totale delle cellule batteriche testate entro alcune ore dalla contaminazione.*

*Il connubio tra elevata **filtrazione di particolato (ePM1 80% secondo UNI EN ISO 16890:2017 - F7 secondo UNI779:2002)** e l'efficacia certificata del **potere antibatterico** garantiscono una qualità dell'aria ai massimi livelli ottenendo di conseguenza una drastica riduzione delle patologie respiratorie quali asma, bronchiti, riniti ed allergie oltre ad irritazione degli occhi e mal di testa.*

# air'suite filter

Recuperatori di calore ad alta efficienza – **Filtrazione ANTIBATTERICA biocida**



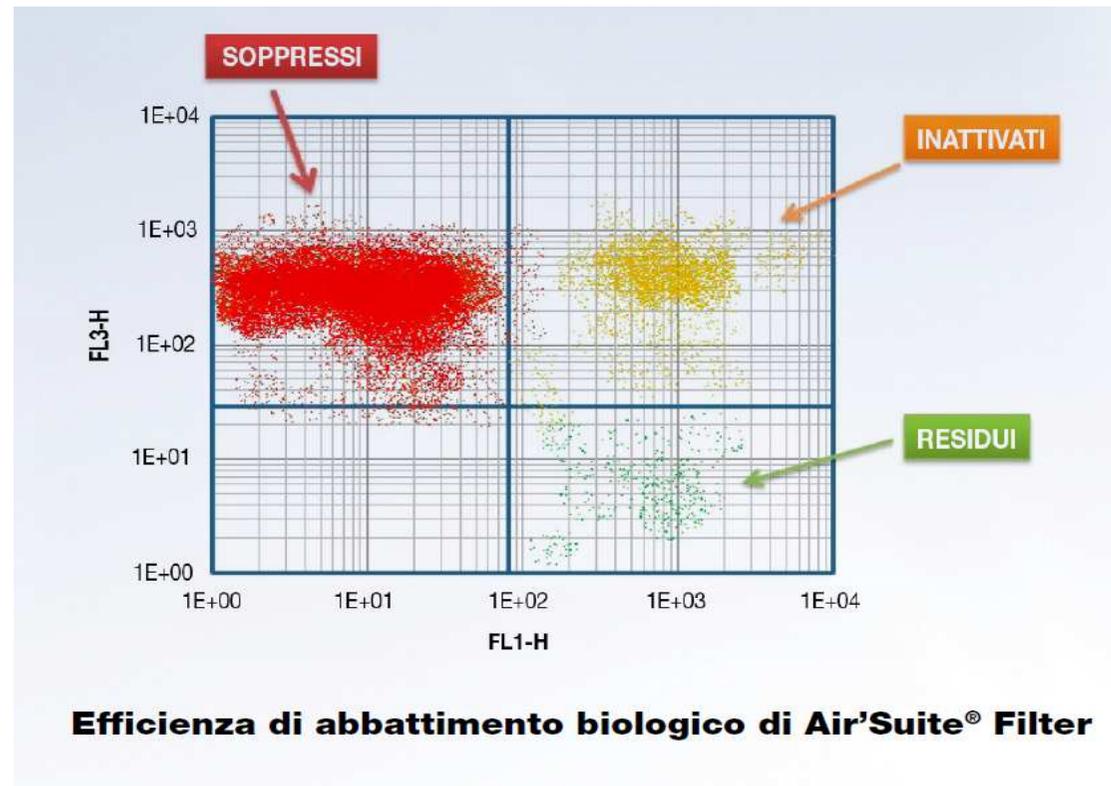
*Innovativo sistema  
di filtrazione  
antibatterico*

# air'suite filter

*Innovativo sistema di filtrazione antibatterico*



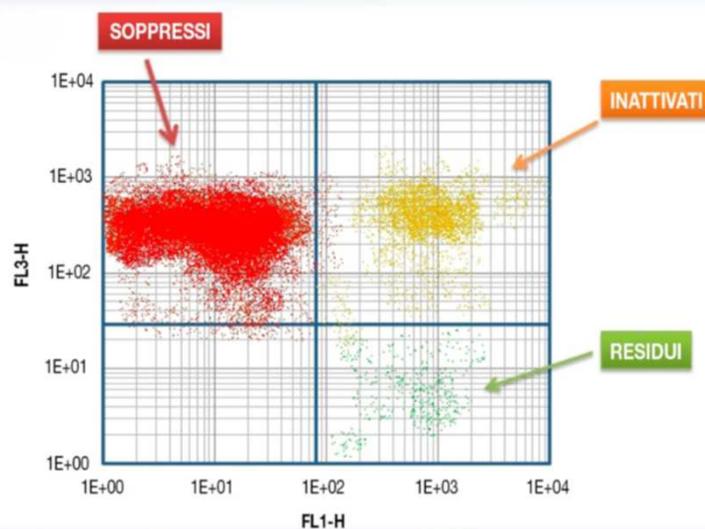
**ePM1 80% secondo  
UNI EN ISO 16890:2017**



# air'suite filter

Filtrazione antibatterica di serie su gamma IRSAIR

## Air'Suite® Filter



## Air'Suite® Filter

L'innovativo sistema di filtrazione antibatterico, certificato e brevettato, entra nella dotazione di serie delle unità IRSAIR su tutte le taglie di recuperatori.

# air'suite filter

## Filtrazione antibatterica di serie su gamma IRSAIR

Funzionalità



Filtro biocida antibatterico Air'Suite®



Proprietà biocida antibatterica certificata dal CNR (IRSA)

### Basse perdite di carico



Il trattamento superficiale antibatterico non incrementa le perdite di carico del filtro

Il filtro Air'Suite® ha le stesse dimensioni dei filtri standard e si inserisce semplicemente nella sede

### Efficienza filtrante



L'elevata efficienza filtrante dei filtri standard viene mantenuta anche nella versione Air'Suite®

# air'suite filter

## Normative VMC 2018



Classificazione FILTRI

ISO 16890

### Nuovo sistema di classificazione dell'efficienza ePMx

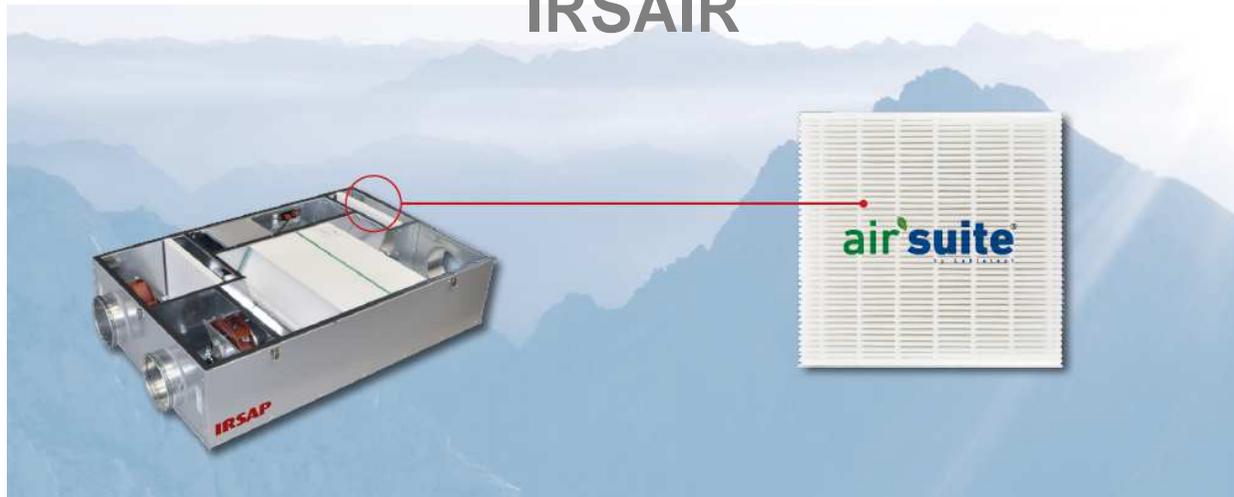
Attuali  
**F7**

PM 1	PM 2,5	PM 10
ePM1 95%	ePM2,5 95%	ePM10 95%
ePM1 90%	ePM2,5 90%	ePM10 90%
ePM1 85%	ePM2,5 85%	ePM10 85%
ePM1 80%	ePM2,5 80%	ePM10 80%
ePM1 75%	ePM2,5 75%	ePM10 75%
ePM1 70%	ePM2,5 70%	ePM10 70%
ePM1 65%	ePM2,5 65%	ePM10 65%
ePM1 60%	ePM2,5 60%	ePM10 60%
ePM1 55%	ePM2,5 55%	ePM10 55%
ePM1 50%	ePM2,5 50%	ePM10 50%

Attuali  
**M5**

# air'suite filter

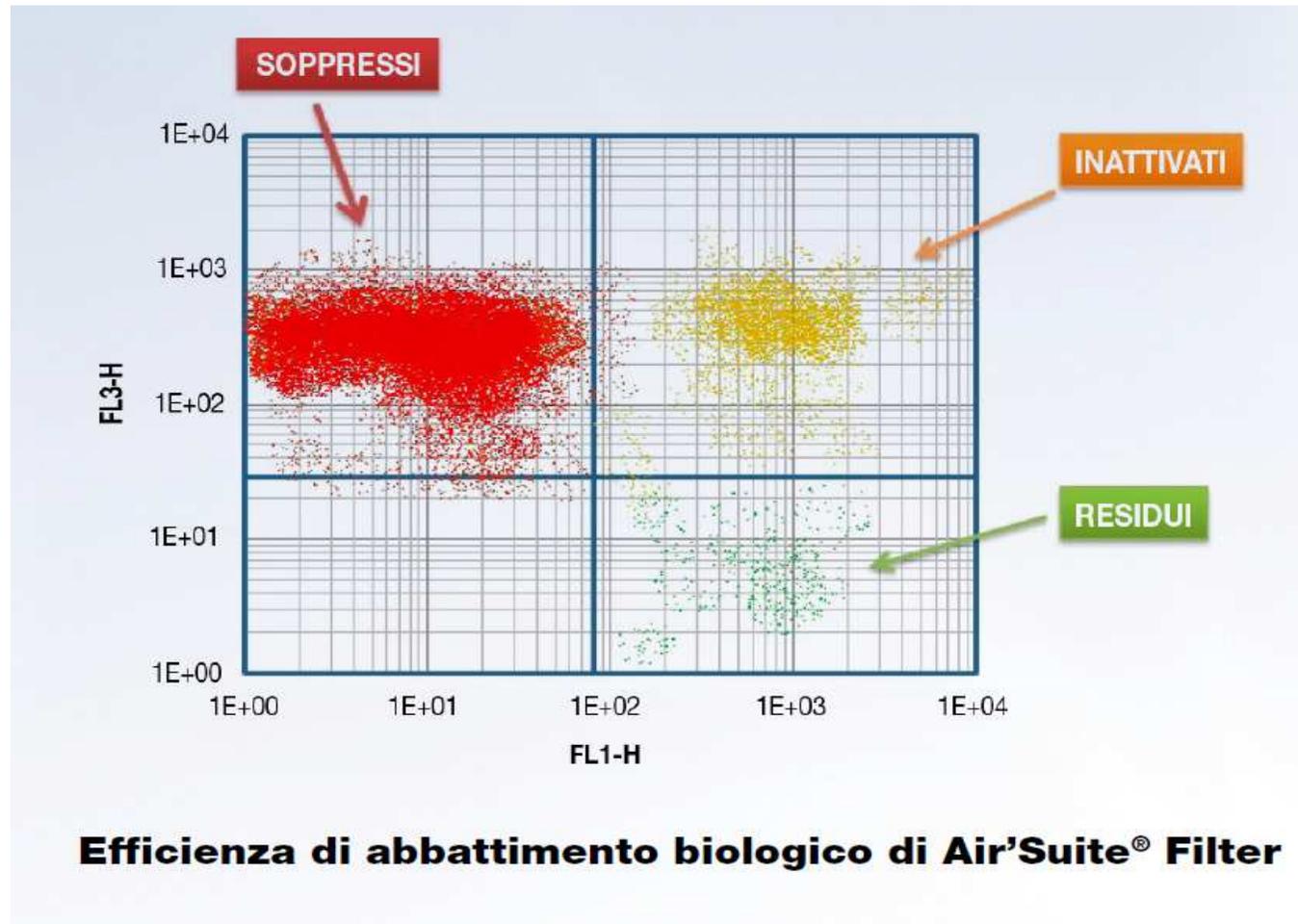
Filtrazione antibatterica di serie su gamma  
IRSAIR



*Air'Suite® Filter è fornito di serie su tutta la gamma residenziale di recuperatori IRSAIR.*

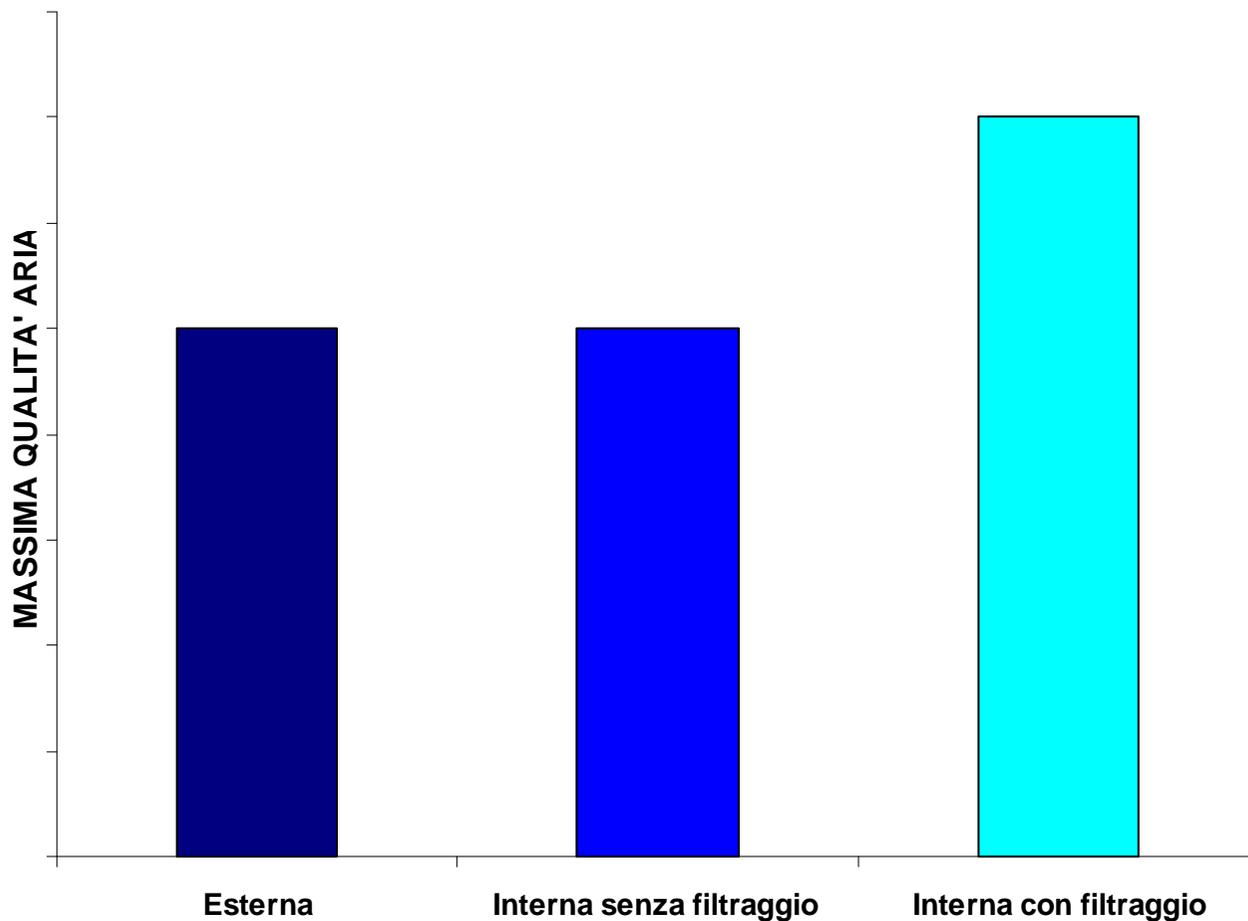
# air'suite filter

Sono studiati appositamente per sopprimere o rendere inattivi la maggior quantità di batteri presenti nell'aria.



# Il controllo della qualità dell'aria

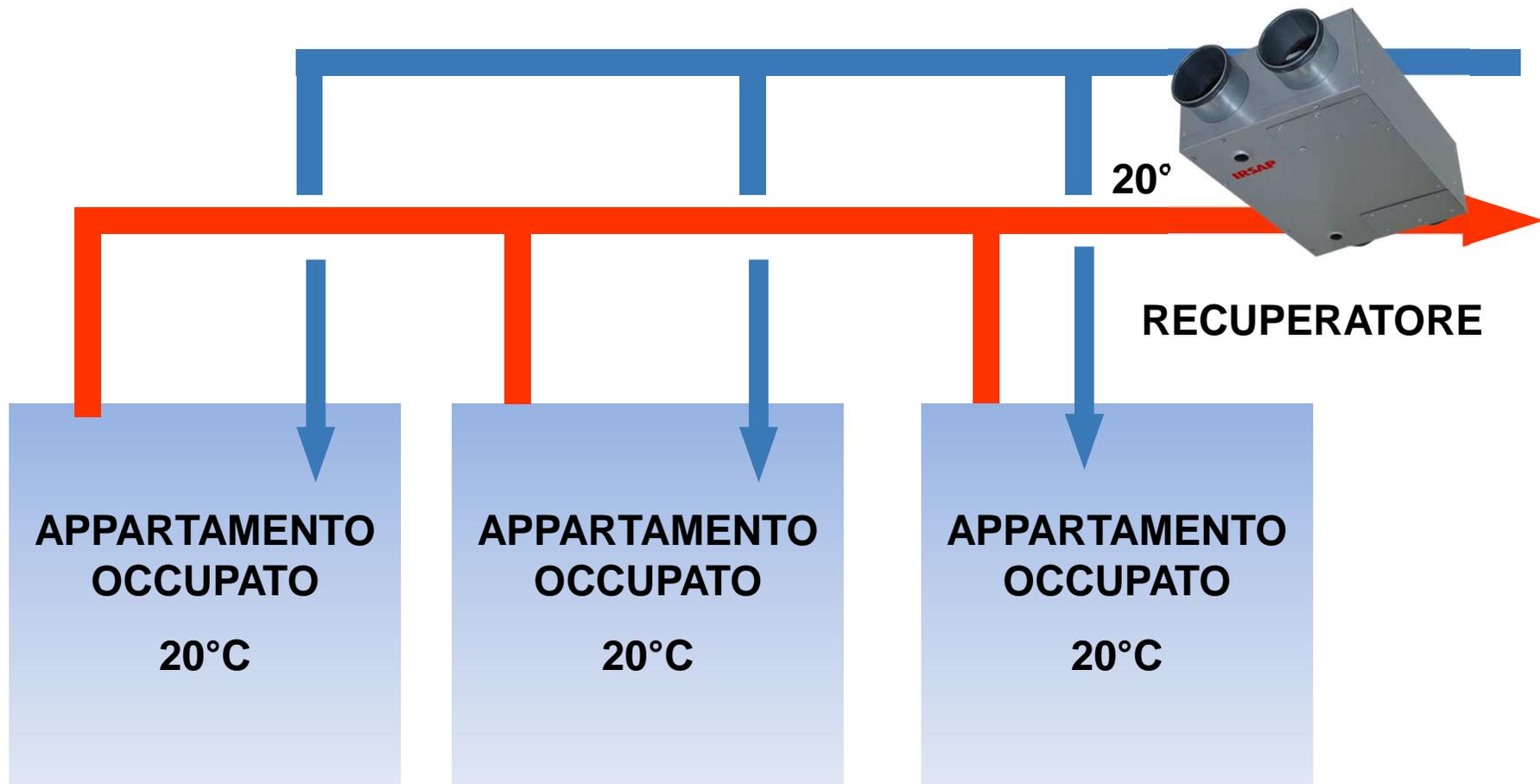
Se non si riducono gli inquinanti esterni, la qualità dell'aria in ambiente è pari a quella dell'aria esterna. Invece, se si filtra l'aria immessa in ambiente, la qualità dell'aria può migliorare notevolmente



# Sistemi VMC a doppio flusso canalizzati per condomini

# 1^ Tipologia – recuperatore centralizzato

Con recuperatore centralizzato



## 1^ Tipologia – recuperatore centralizzato

Questa tipologia ha la necessità di:

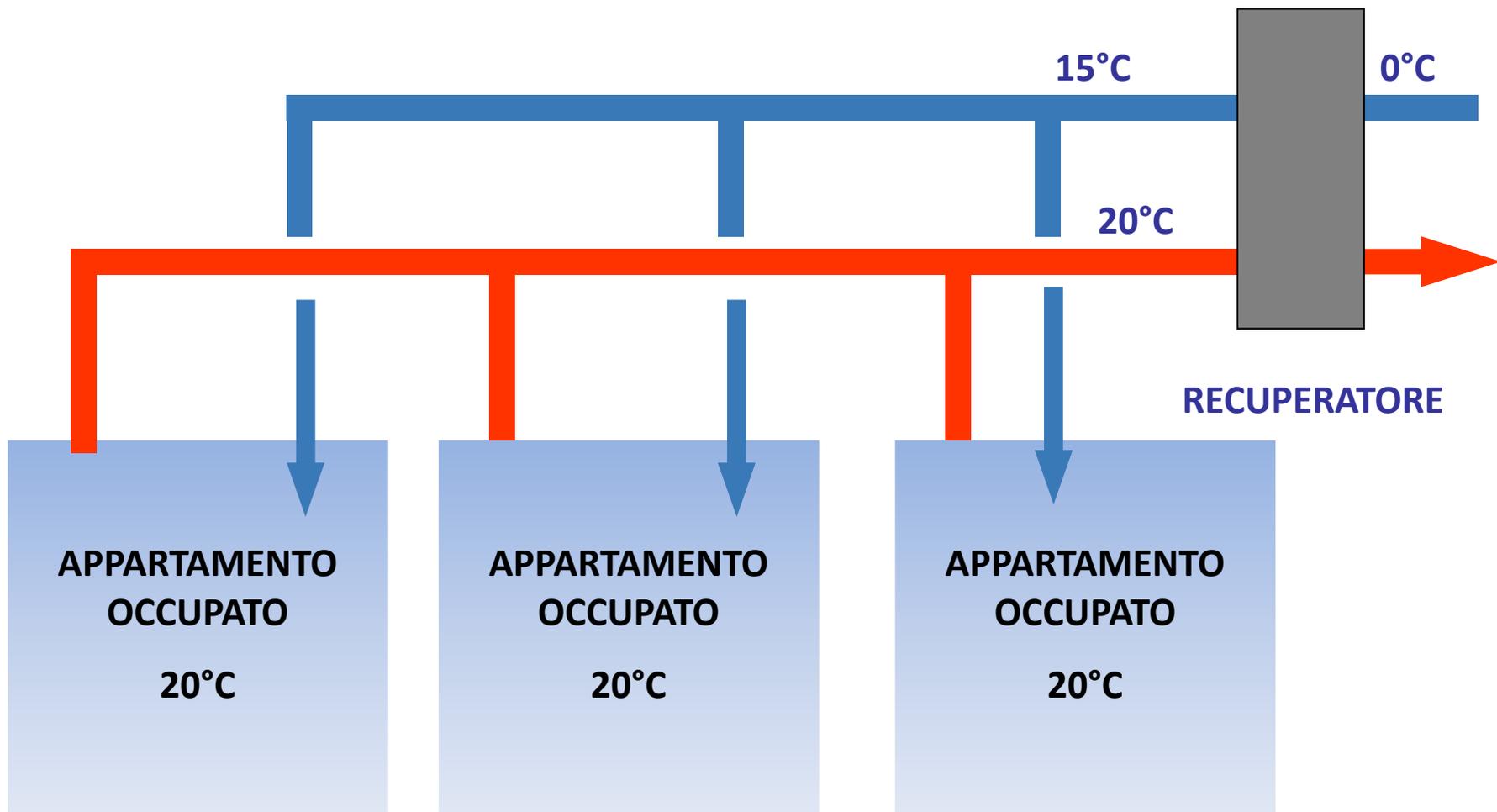
- 1) Isolare i canali di aria espulsa e aria immessa, per non perdere potenza di scambio
- 2) Inserire sempre e **automatizzare** (sonde qualità dell'aria) delle serrande di intercettazione ad almeno 3 posizioni

## 1^ Tipologia – recuperatore centralizzato



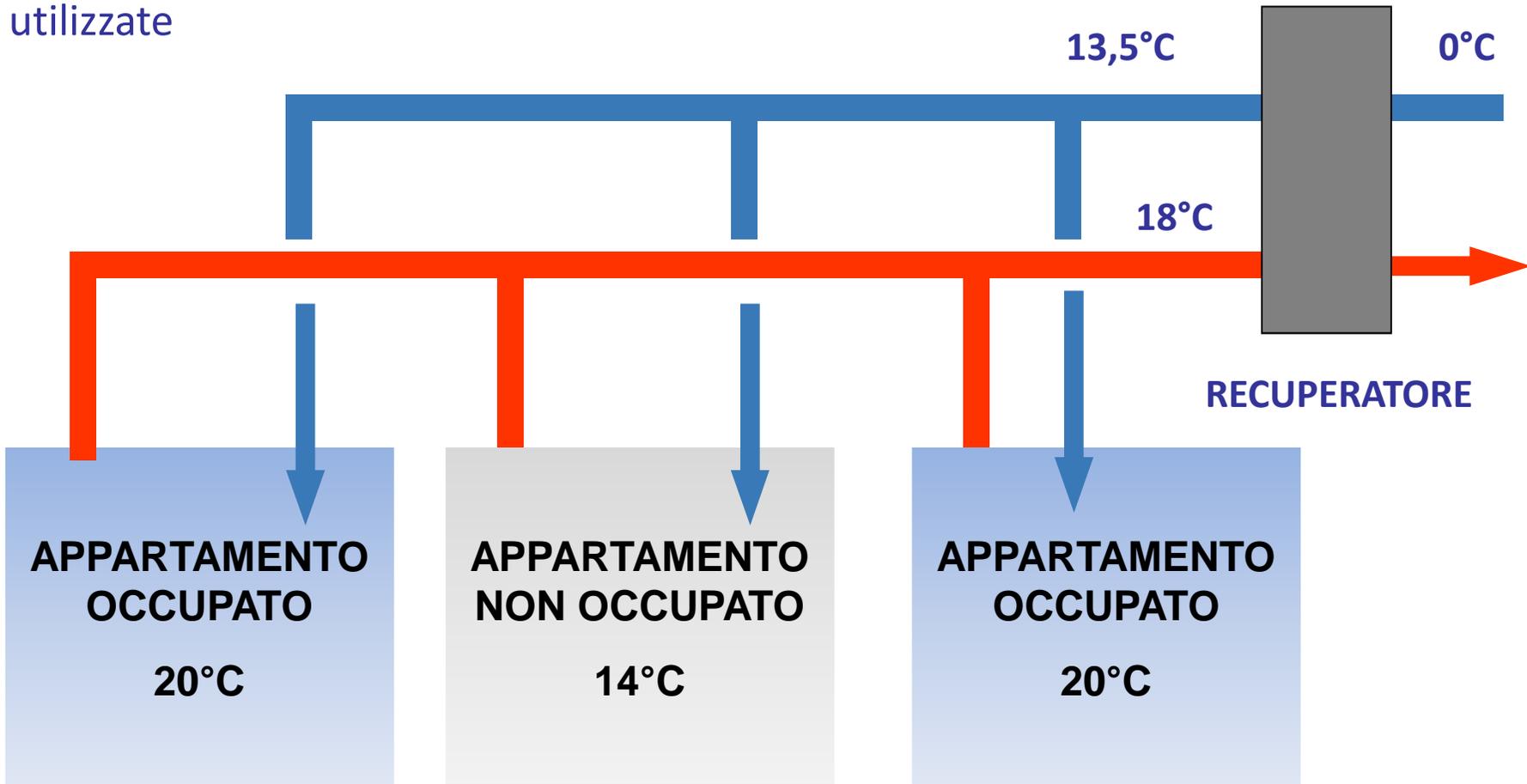
# 1^ Tipologia – recuperatore centralizzato

Cosa succede se le serrande non ci sono o non sono utilizzate



# 1^ Tipologia – recuperatore centralizzato

Cosa succede se le serrande non ci sono o non sono utilizzate

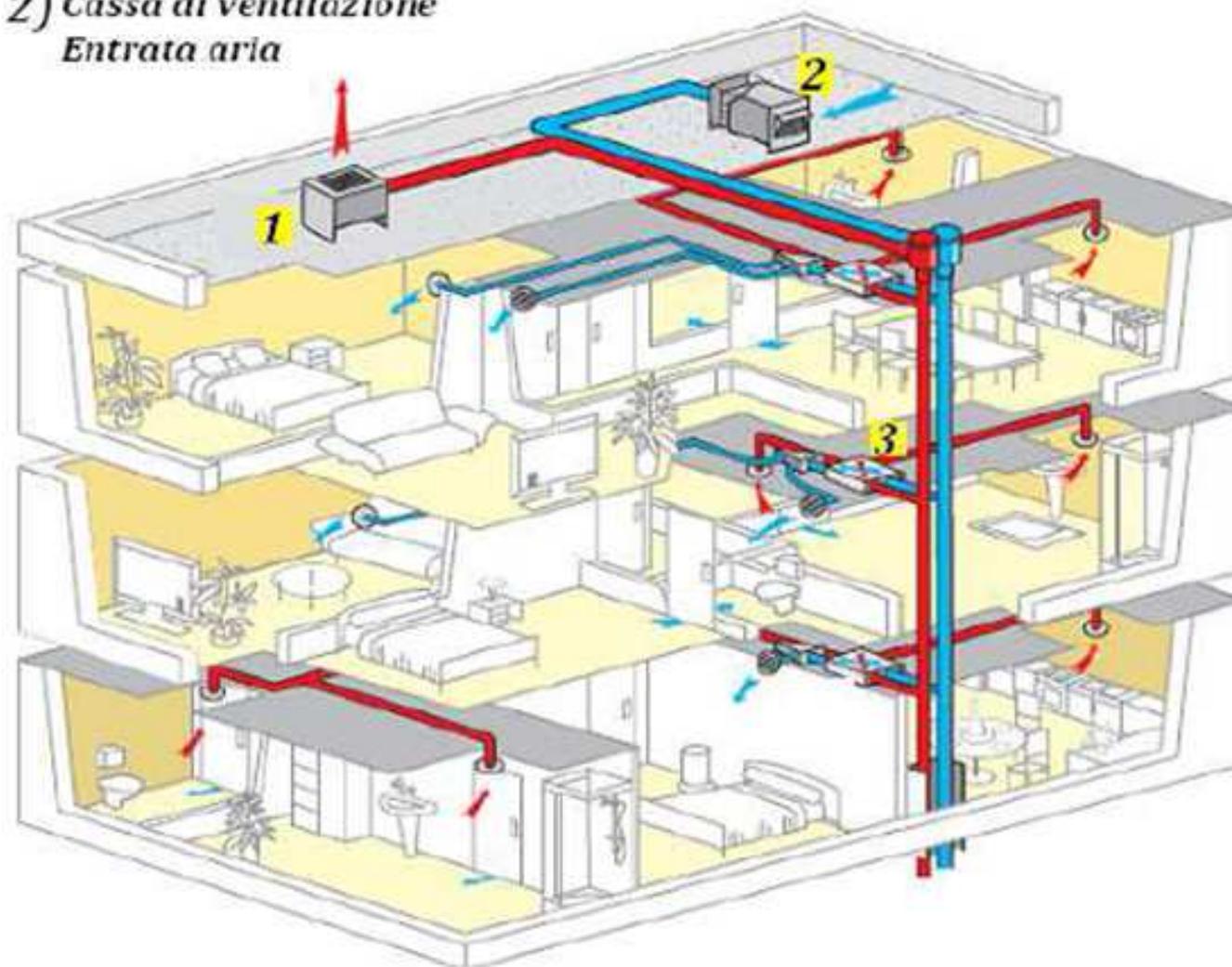


## 2<sup>a</sup> Tipologia – ventilatori centralizzati e recuperatori singoli

1) *Cassa di Ventilazione  
Espulsione Aria*

3) *Recuperatore statico  
passivo*

2) *Cassa di ventilazione  
Entrata aria*



## 2^ Tipologia – Ventilatori centralizzati e recuperatori singoli

Questa tipologia non ha la necessità di:

- 1) Isolare i canali di aria espulsa e aria immessa, per non perdere potenza di scambio
- 2) Automatizzare le serrande: si può lasciare la gestione al singolo inquilino. In ogni caso è bene ci siano e siano ad almeno 3 posizioni.

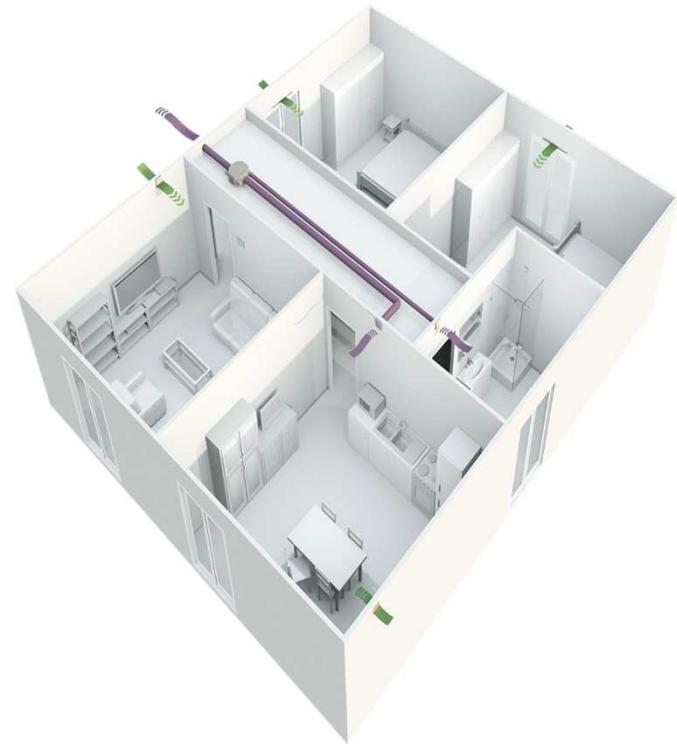
# Sistemi VMC a singolo flusso

# Sistemi VMC a singolo flusso

Sistemi a singolo flusso per immissione

Sistemi a singolo flusso per estrazione

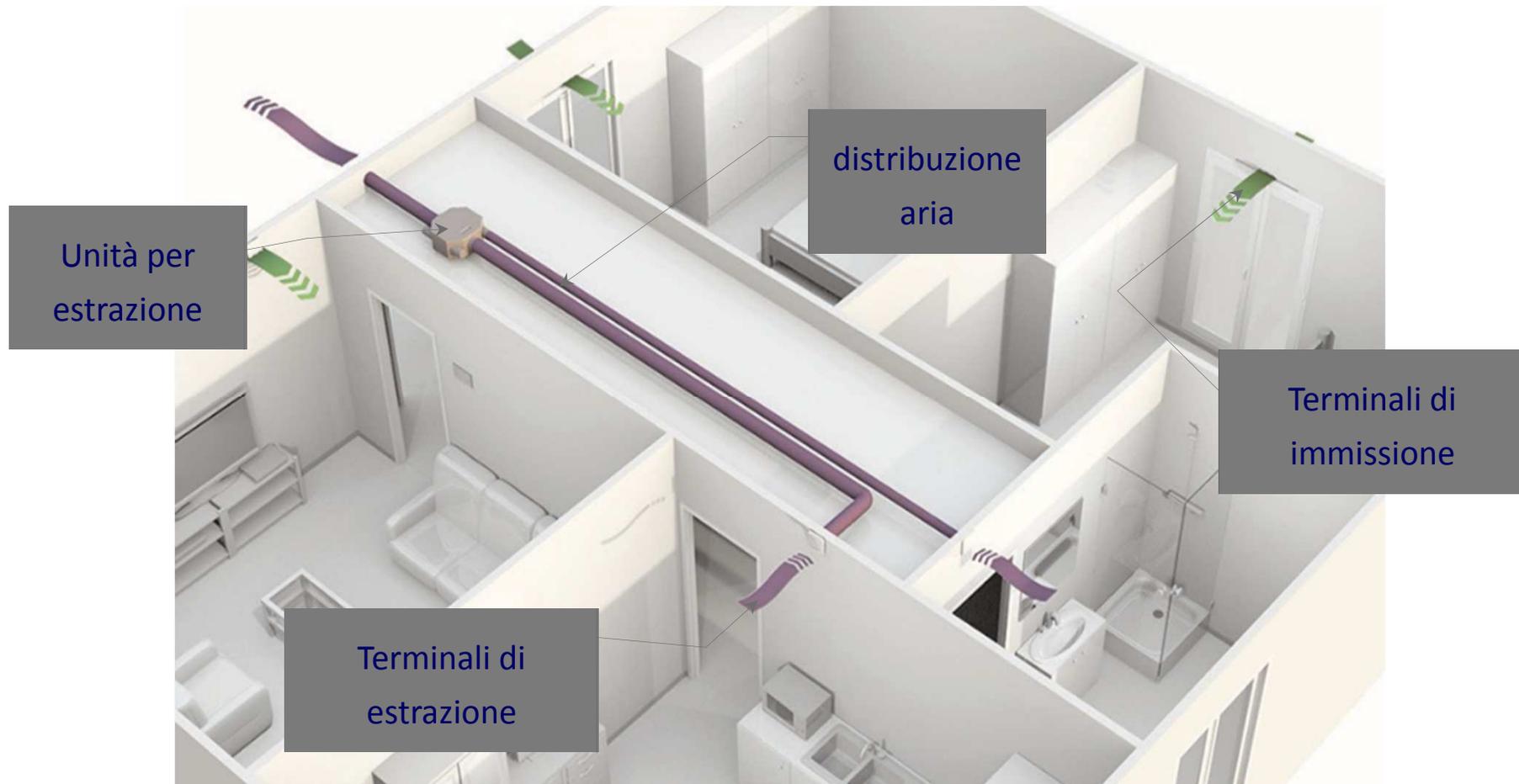
Sistemi a singolo flusso per estrazione  
puntiforme



## Sistemi VMC a singolo flusso per immissione



## Sistemi VMC a singolo flusso per estrazione



## Bocchette igroregolabili

Un impianto di Ventilazione Meccanica Controllata a semplice flusso per estrazione igroregolabile è un sistema che permette l'estrazione dell'aria viziata dai locali umidi (cucina, bagni, lavanderia, ripostigli) e contemporaneamente, per depressione, richiama aria dall'esterno per compensare l'aria estratta

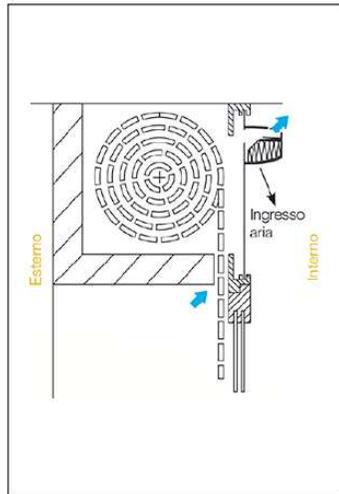
Il quantitativo d'aria, sia estratta che immessa, è modulata attraverso elementi sensibili caratteristici delle bocchette igroregolabili specifiche, in funzione dell'andamento della umidità relativa ambiente

# Bocchette igroregolabili

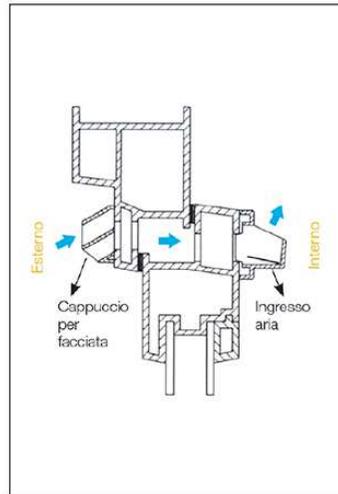
Gli ingressi aria devono essere posizionati ad una altezza dal pavimento di almeno 1,8 metri.

## Tipologie di montaggio

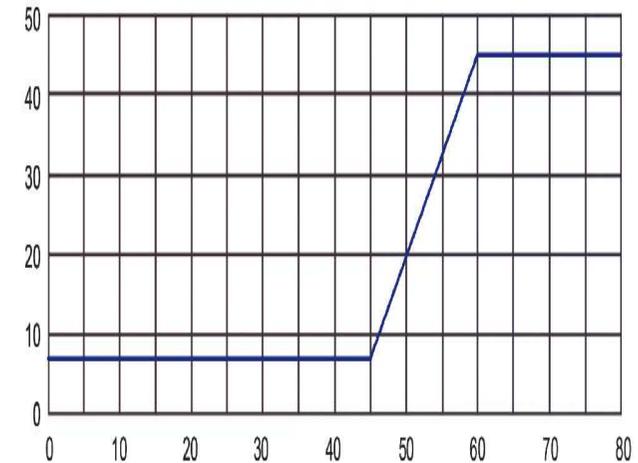
Nel cassonetto



Nel telaio della finestra



Nel muro



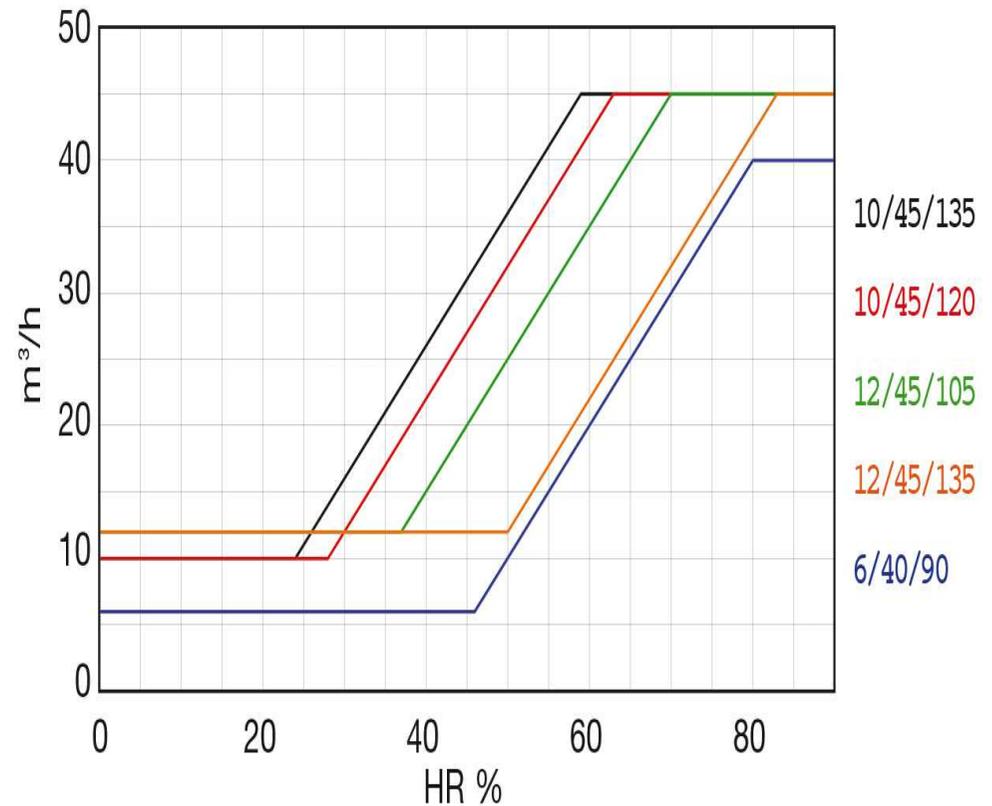
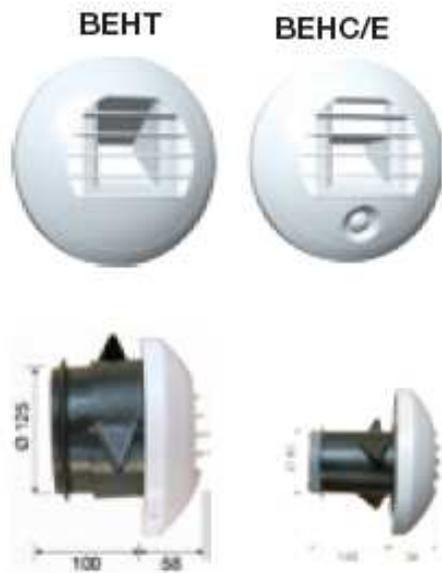
## Ingressi aria igroregolabili

La portata d'aria che circola attraverso gli ingressi aria dipende dall'umidità relativa presente nell'aria ambiente. Quando il livello di questa aumenta, una serranda, ubicata all'interno dell'ingresso aria, mantiene aperto il passaggio totale di aria (portata massima), mentre quando il livello di umidità relativa è basso la serranda si chiude (portata minima).

HR %

# Bocchette igroregolabili

Curve di lavoro delle bocchette di estrazione igroregolabili variazione della portata di passaggio in funzione delle UR % ambiente rilevata

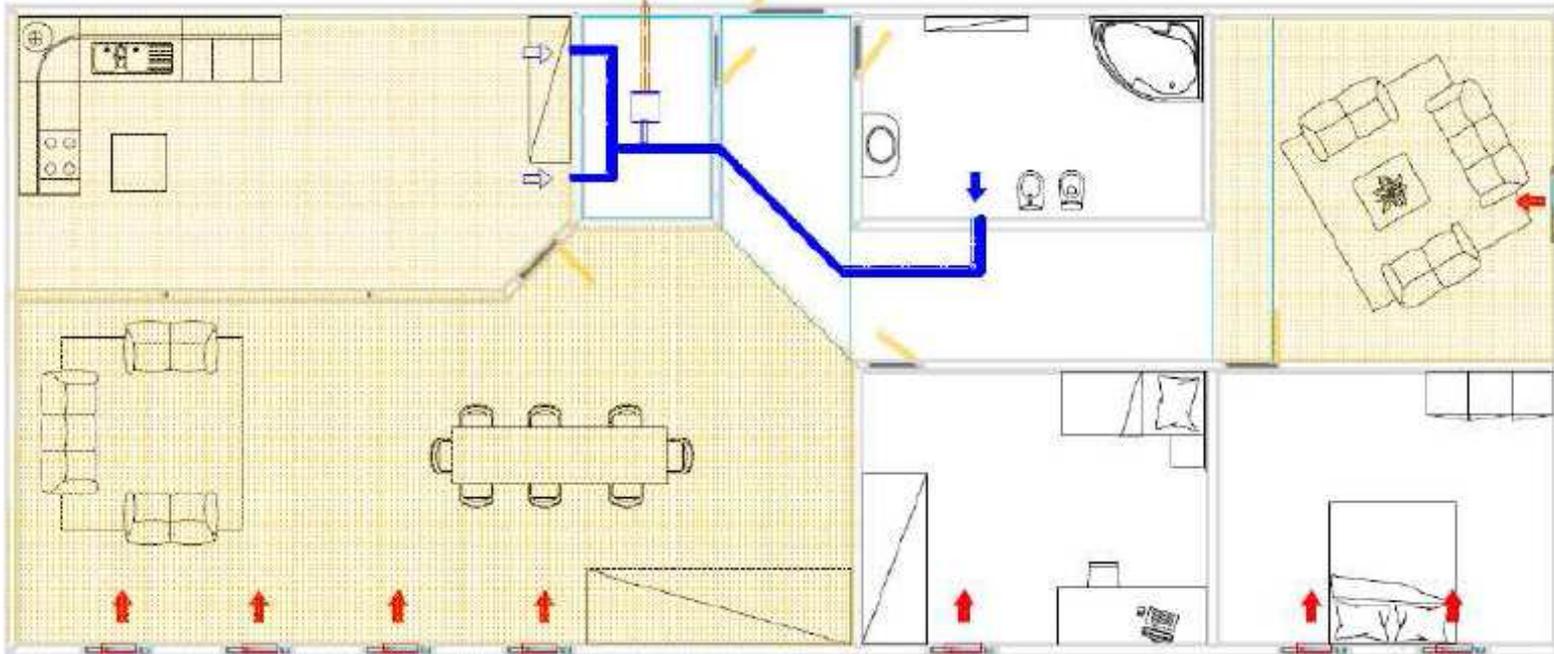


## Zona ad occupazione DIURNA con maggiore concentrazione di inquinanti

Zona giorno



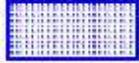
Occupazione giornaliera con maggiore concentrazione di umidità relativa ed inquinanti



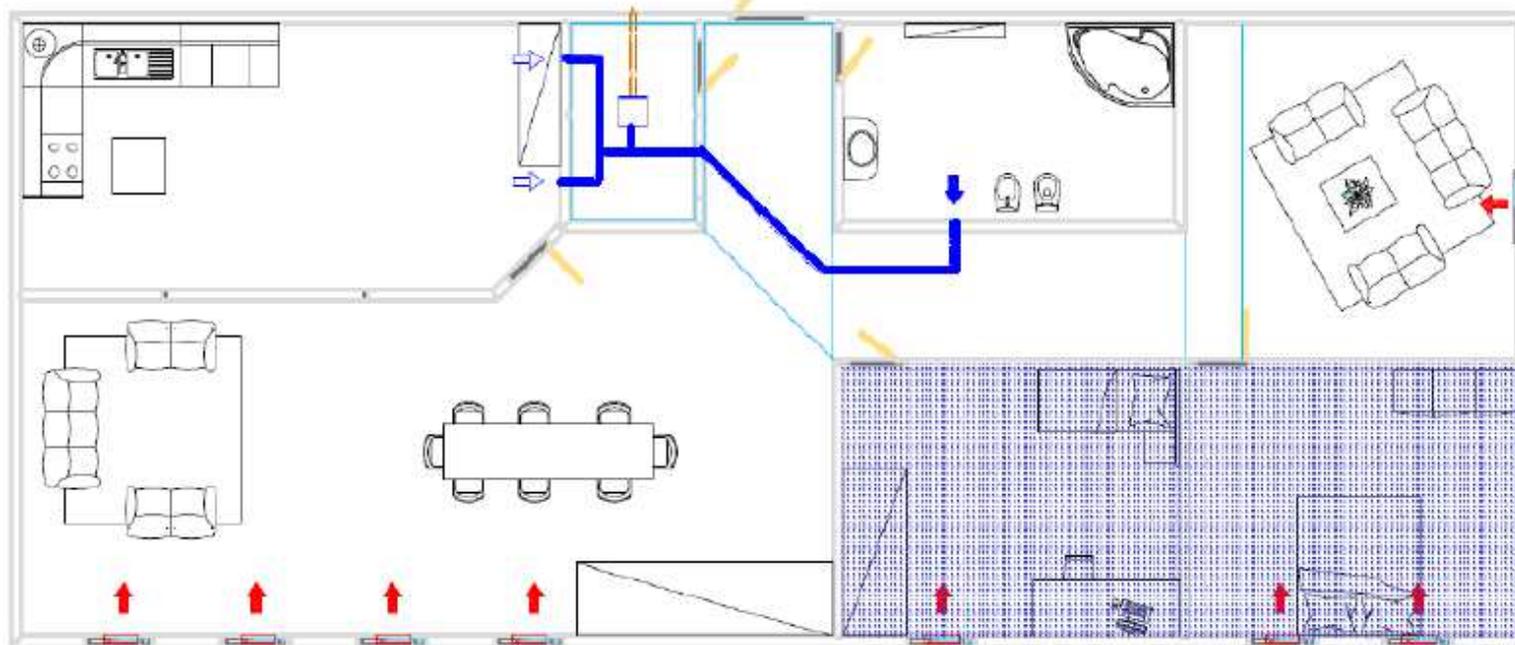
maggior portata d'aria nelle zone con più produzione di vapore acqueo  
le bocchette igroregolabili aumentano la portata d'aria negli ambienti occupati

## Zona ad occupazione NOTTURNA con maggiore concentrazione di inquinanti

Zona notte



Occupazione notturna con maggiore concentrazione di umidità relativa ed inquinanti (VOC)



maggior portata d'aria nelle zone con più produzione di vapore acqueo  
le bocchette igroregolabili aumentano la portata d'aria negli ambienti occupati

**VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA:  
UTILIZZO NEGLI IMPIANTI DI  
RISCALDAMENTO E CLIMATIZZAZIONE**

## Problematiche dei nuovi edifici

Negli ultimi anni la necessità di ottenere ridotti consumi e perdite di trasmissione e ventilazione per gli edifici ha cambiato completamente i parametri per le nuove costruzioni, abbassando i fabbisogni di energia per il riscaldamento.

Al contempo si è evidenziata la necessità della Ventilazione Meccanica Controllata (VMC) per garantire una buona qualità dell'aria interna e per prevenire fenomeni di condensazione superficiale e muffe grazie al controllo dell'umidità relativa in inverno.

## Problematiche dei nuovi edifici

Il quesito :

**E' possibile utilizzare avere il comfort interno in edifici residenziale senza impianto idronico?**

Negli ultimi anni la potenza termica di picco per il riscaldamento invernale si è notevolmente ridotta, per cui legittimo il dubbio.

È opportuno fare una analisi, ricordando anche che l'aumentata coibentazione termica degli edifici ha creato maggiori necessità in estate rispetto alla stagione invernale.

## Funzionamento in inverno

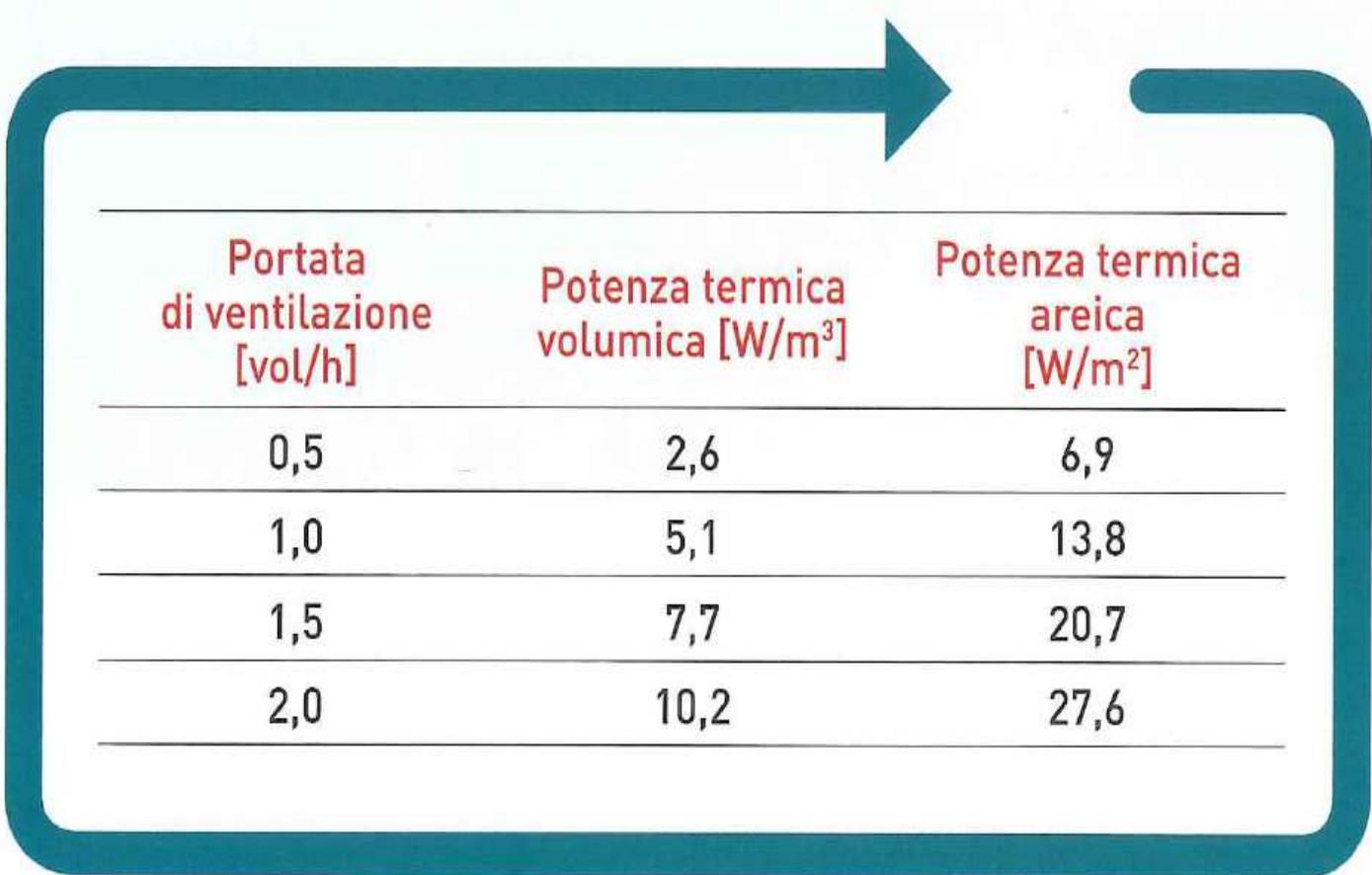
In inverno l'aria può essere immessa alla temperatura di 40°C (con una differenza di 20°C rispetto alla temperatura ambiente).

Vanno però considerati due aspetti:

- stratificazione aria per elevata temperatura
- efficienza dei generatori (PdC in particolare)

## Funzionamento in riscaldamento

Per analogia si può ricavare la potenza termica per altre portate di ventilazione



Portata di ventilazione [vol/h]	Potenza termica volumica [W/m <sup>3</sup> ]	Potenza termica areica [W/m <sup>2</sup> ]
0,5	2,6	6,9
1,0	5,1	13,8
1,5	7,7	20,7
2,0	10,2	27,6

## Funzionamento in riscaldamento

Valgono le seguenti considerazioni:

Il riscaldamento dei locali di servizio (cucina e bagni) avviene con l'aria riscaldata proveniente dai locali "nobili"; ciò non può garantire condizioni di comfort in tutti i locali.

I bagni sono vani in cui si desidera spesso un livello di temperatura diverso e più elevato. Ciò non può essere soddisfatto dalla VMC e pertanto nei bagni è necessario installare radiatori a resistenza elettrica, con aumento del consumo di energia primaria.

## Funzionamento in riscaldamento

Valgono le seguenti considerazioni:

Il fabbisogno termico di ogni stanza è variabile, soprattutto in funzione dell'orientamento e dell'utilizzo; nelle moderne abitazioni il "peso" del calore endogeno è importante.

Risulta difficile regolare l'apporto termico in ambiente in funzione del fabbisogno. Variare la portata d'aria è complesso e impossibile variando la temperatura, dal momento che l'aria trattata esce dalla batteria nelle stesse condizioni per tutti gli ambienti. Bisogna quindi verificare se e quanto possa essere accettabile il mancato controllo della temperatura ambiente e soprattutto la sua disomogeneità.

## Funzionamento in raffreddamento

Per analogia si può ricavare la potenza termica per altre portate di ventilazione



Portata di ventilazione [vol/h]	Potenza termica volumica [W/m <sup>3</sup> ]	Potenza termica areica [W/m <sup>2</sup> ]
0,5	1,7	4,6
1,0	3,4	9,2
1,5	5,1	13,8
2,0	6,8	18,2

## Funzionamento in raffreddamento

Per fare un esempio, in una stanza da 25 m<sup>2</sup> la potenza massima fornita dalla VMC va da 115 W con 0,5 vol/h, a 460 W con 2 vol/h.

Se vi sono presenti 4 persone e vi è una finestra da 4 m<sup>2</sup> irraggiamento massimo trasmesso di 250 W/m<sup>2</sup>, la potenza è superiore a 1.400 W.

Pertanto è chiaramente impossibile realizzare un raffrescamento serio con la sola VMC

# SISTEMI VMC INTEGRATI

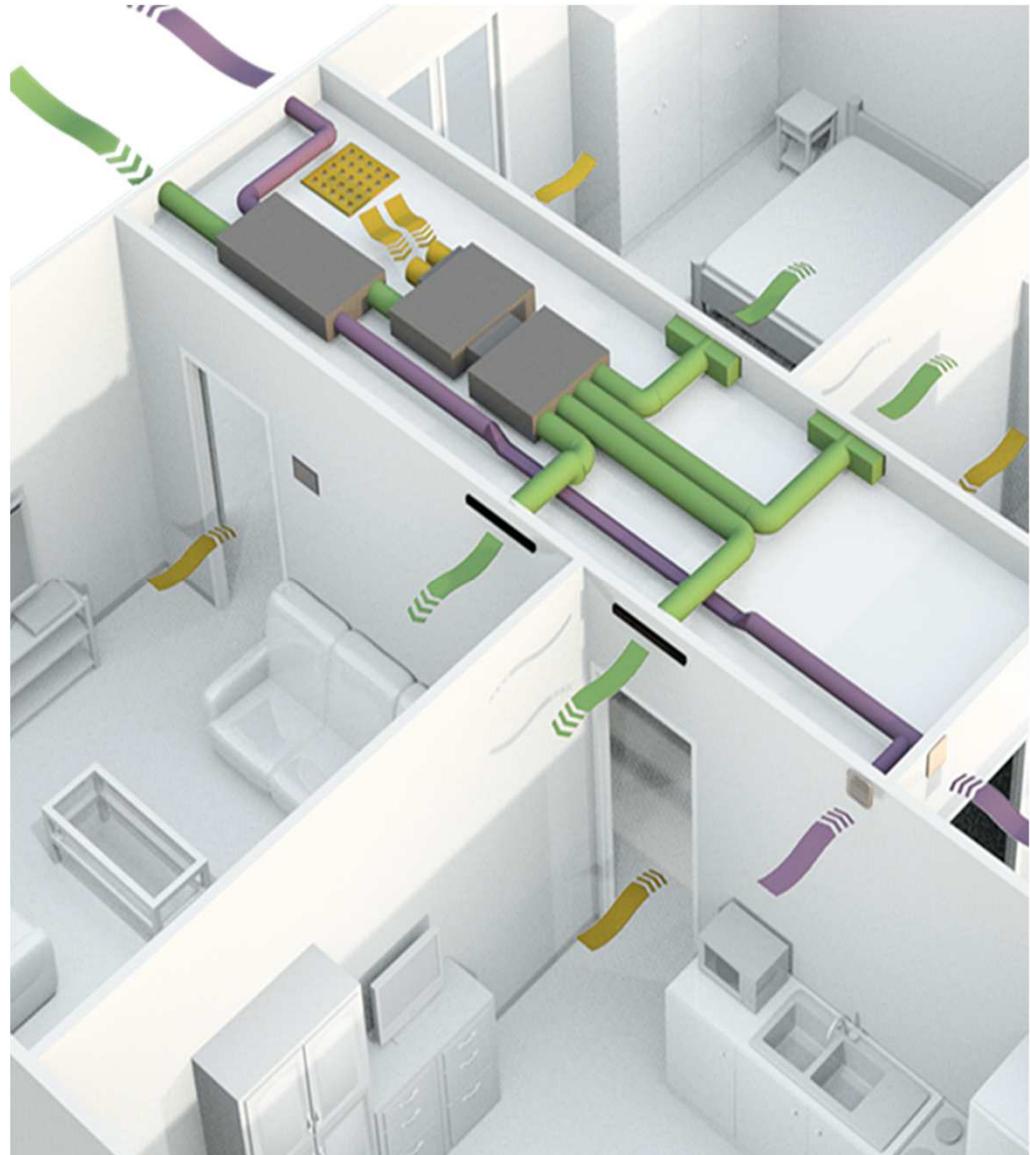
## VMC integrata a un impianto a tutta aria

Con la sola ventilazione non è possibile controllare il comfort; gli edifici hanno bisogno degli impianti , e questo risulta particolarmente vero perché i valori più vincolati riguardano il periodo estivo.

È comunque certo che nell'Europa continentale esistono casi di “edifici passivi”: in tali casi essi hanno un sistema di ventilazione (VMC) e non possiedono impianti per il controllo delle esigenze termiche. Questo è possibile grazie al clima del sito interessato: le necessità termiche si presentano solo in inverno e il clima mite estivo non pone problematiche gravose.

Una particolare attenzione all'involucro edilizio, unitamente a un buon sistema di VMC e , spesso, all'utilizzo di altre fonti, che rientrano nella cultura del luogo quali i sistemi che utilizzano le biomasse (stufe in maiolica, “stube”, caminetti, ecc.), permettono di risolvere le problematiche di riscaldamento. In Italia la richiesta di raffrescamento estivo non permette di garantire per tutto il periodo estivo il comfort termoigrometrico, specialmente nei periodi di maggiore calore.

VMC integrata a un  
impianto a tutta aria



## VMC integrata a un impianto a tutta aria

Integrano in un'unica soluzione 3 impianti normalmente separati tra loro:

**VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA** con recupero di calore ad elevata efficienza

**CLIMATIZZAZIONE ESTIVA**

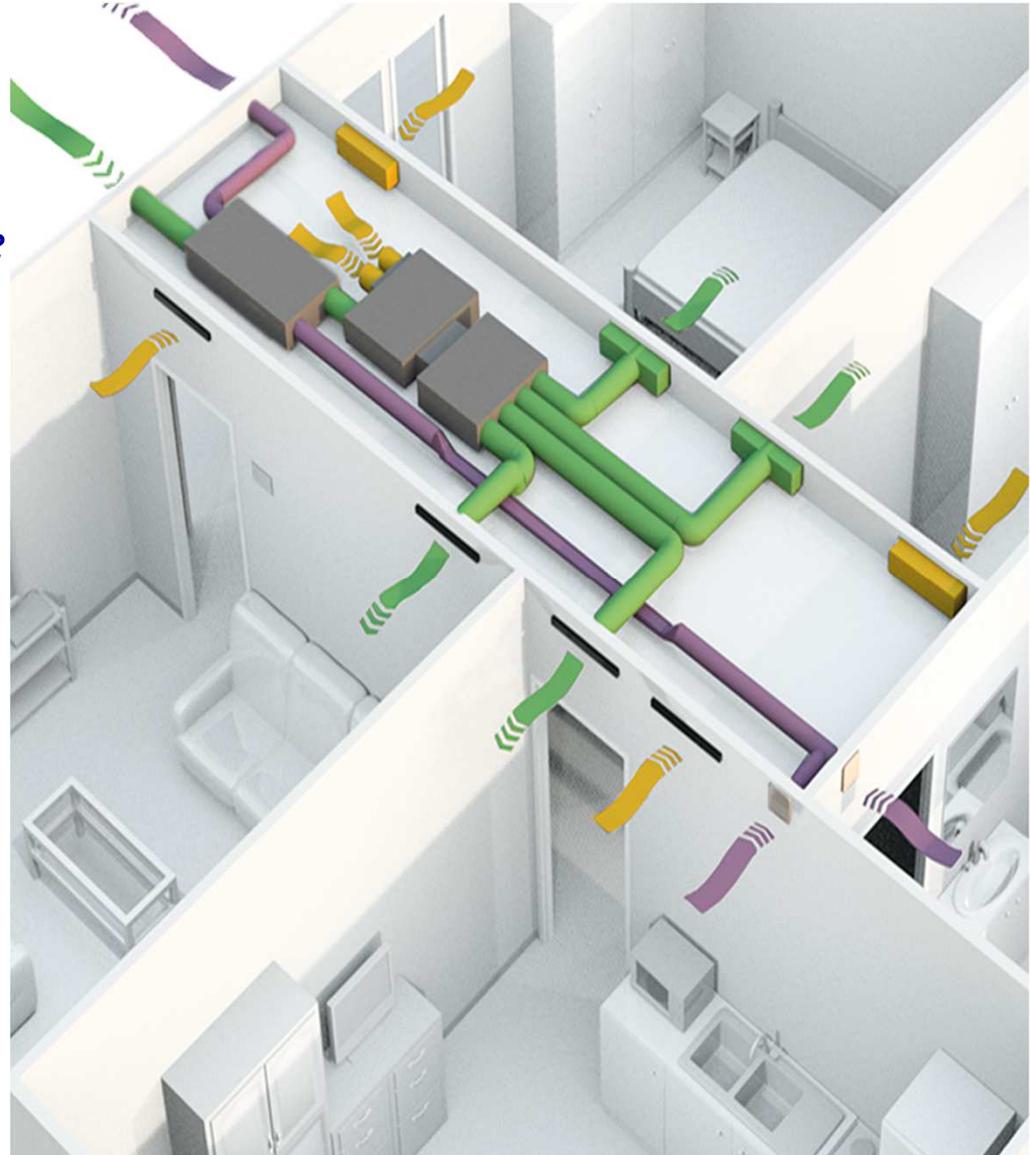
**RISCALDAMENTO** Anche in abbinamento a radiatori e/o pavimento radiante

## Ripresa da controsoffitto

*VERDE: Aria di rinnovo e climatizzazione*

*VIOLA: Aria viziata di estrazione*

*GIALLO: Aria di ricircolo*

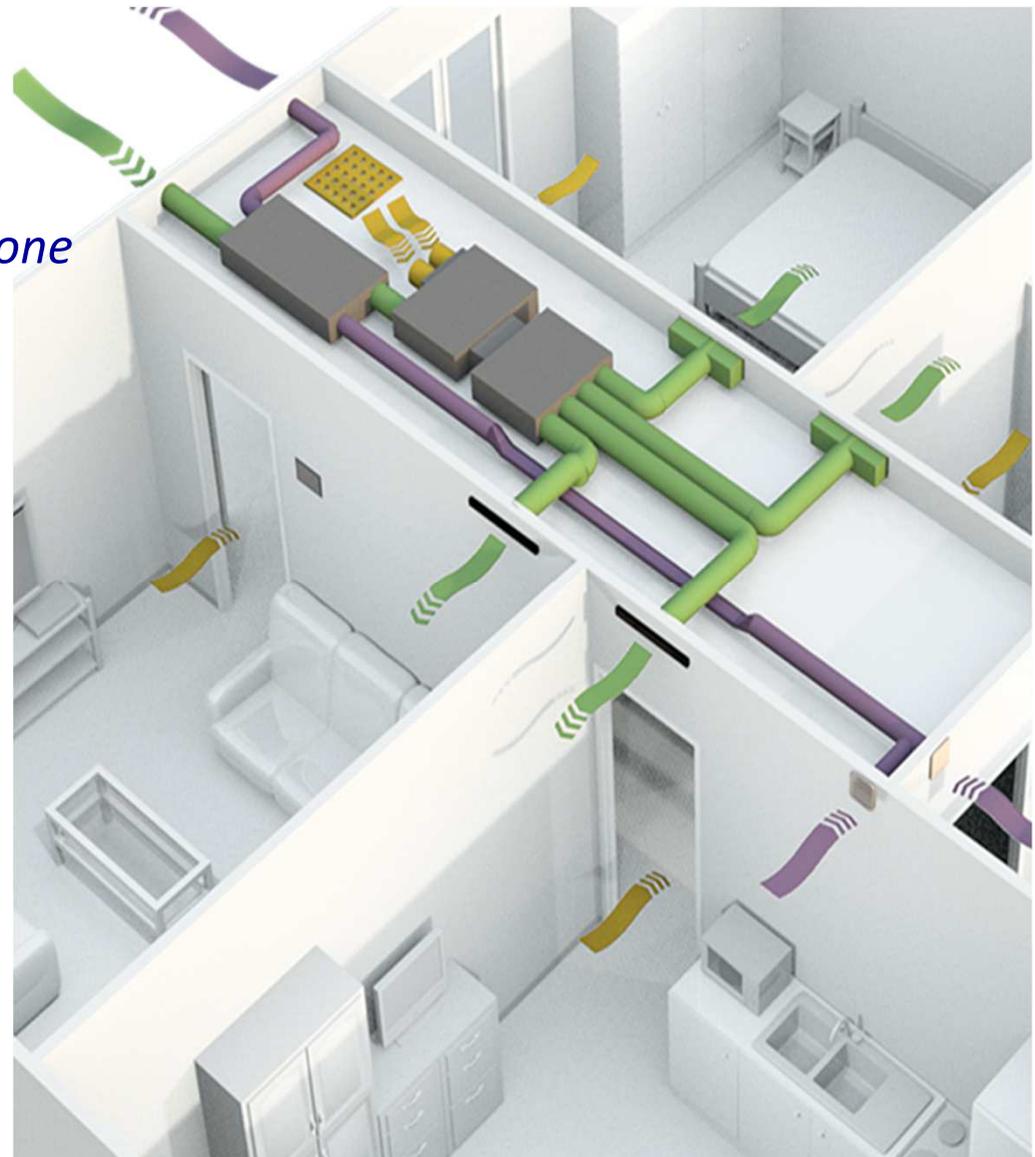


## Ripresa da corridoio

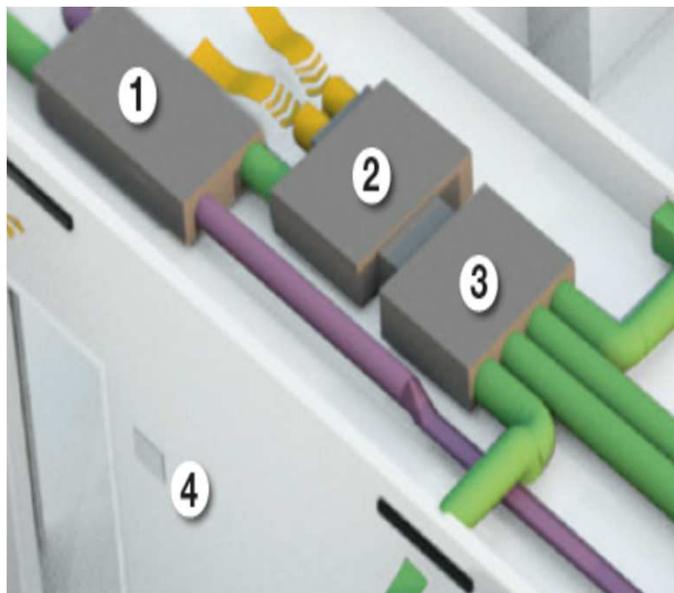
*VERDE: Aria di rinnovo e climatizzazione*

*VIOLA: Aria viziata di estrazione*

*GIALLO: Aria di ricircolo*



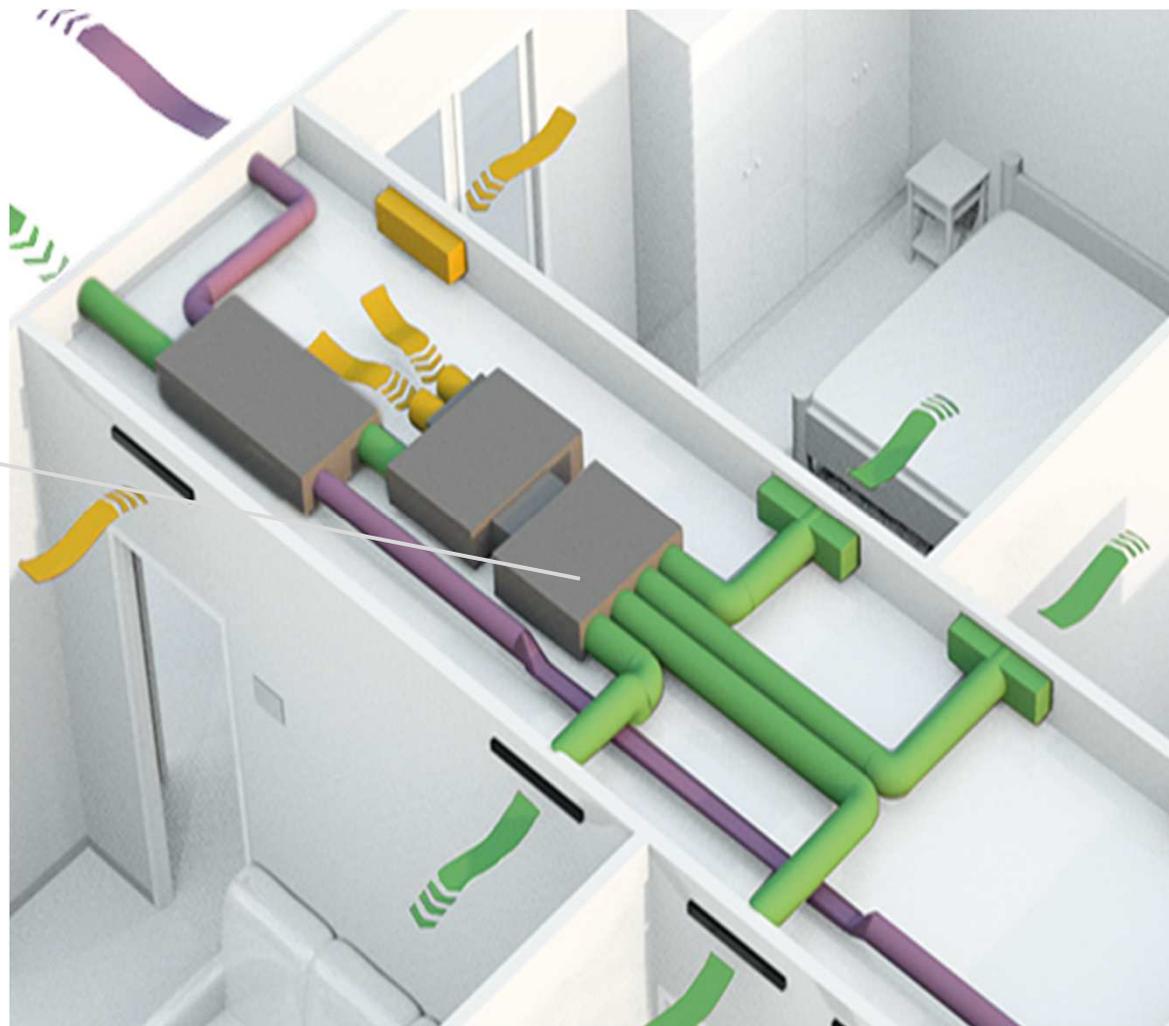
## Ripresa da corridoio



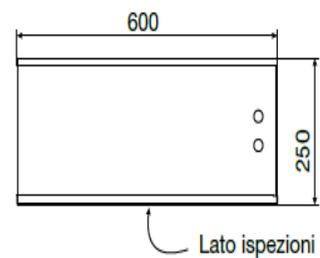
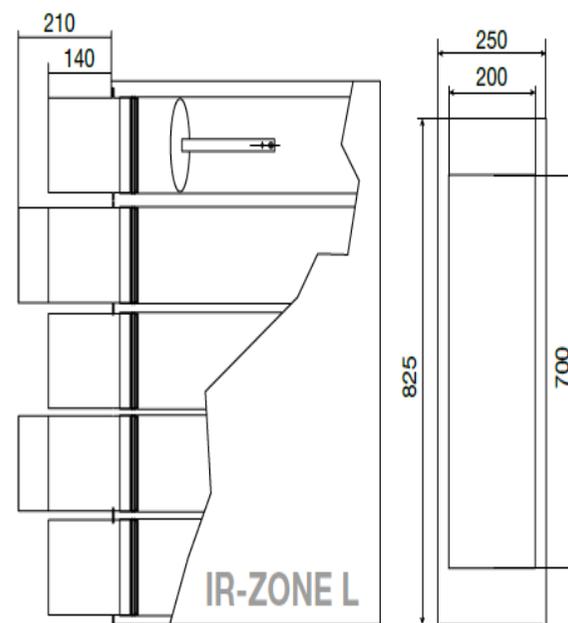
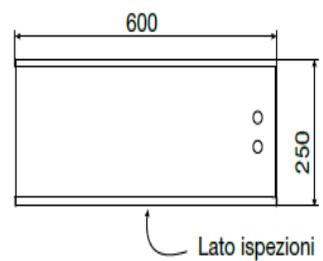
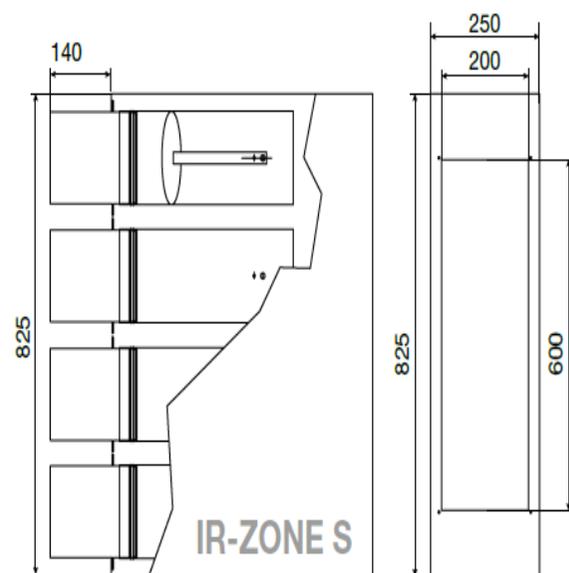
1	Recuperatore ad elevata efficienza
2	Modulo di climatizzazione canalizzato
3	Modulo di zone intelligente
4	Touchscreen a colori + sonde ambiente



## Serrande controllo portata aria



# Distributore con serrande



# Distributore con serrande

## Collegamento remoto

### Collegamento diretto

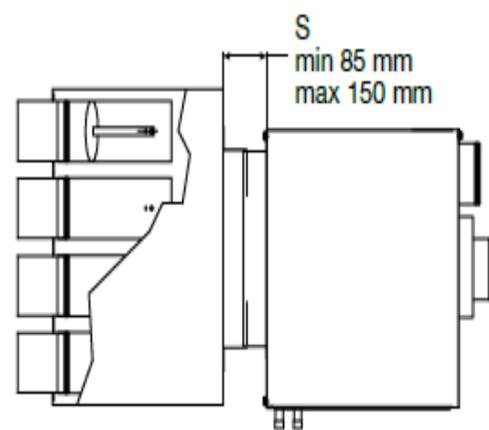
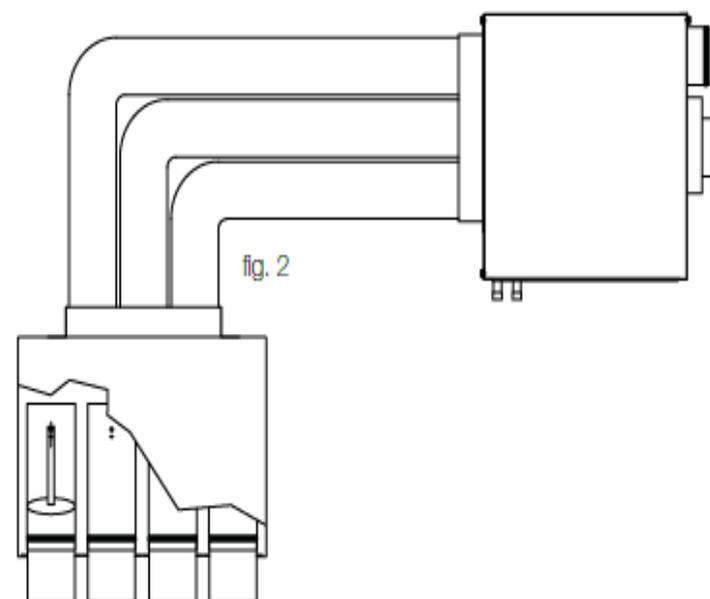
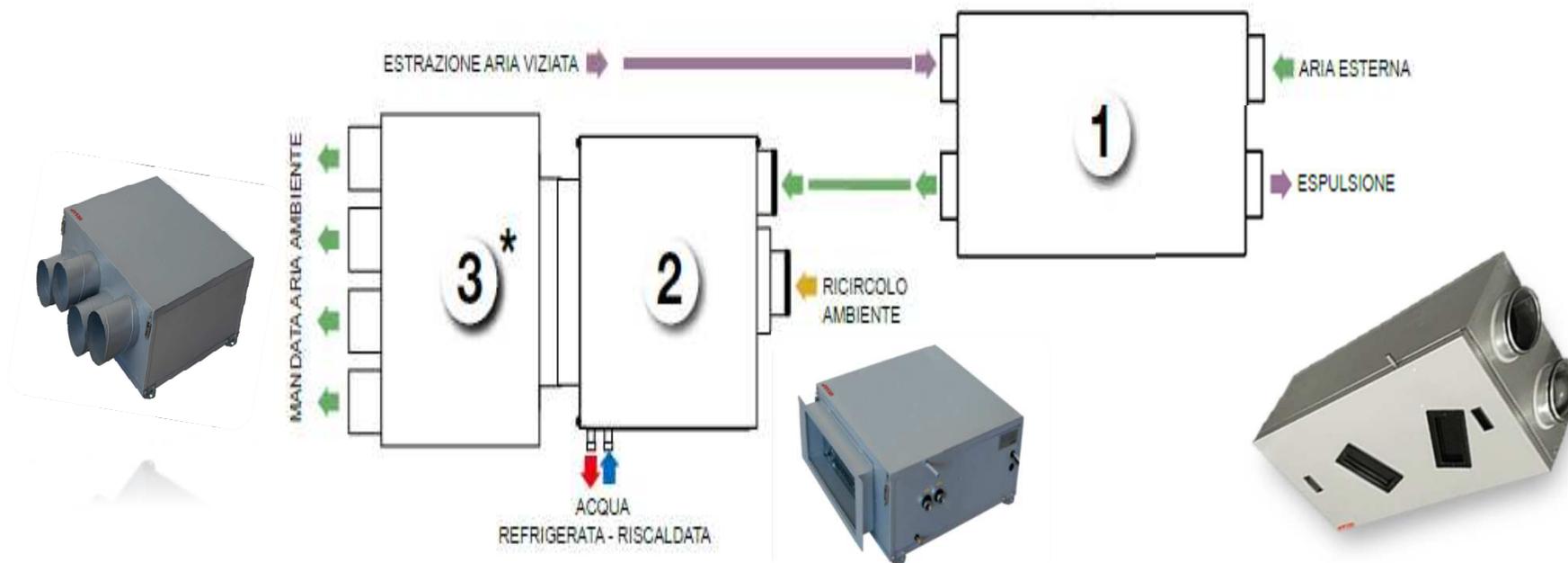


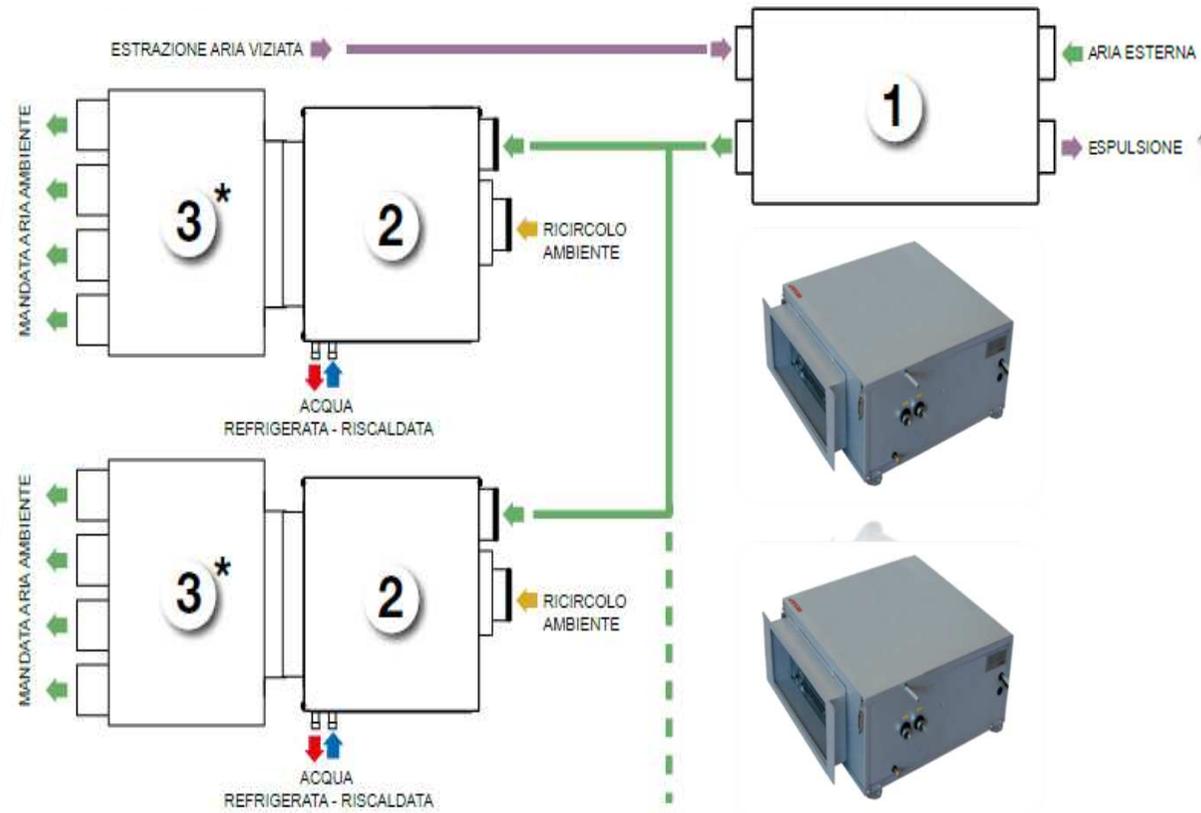
fig. 1



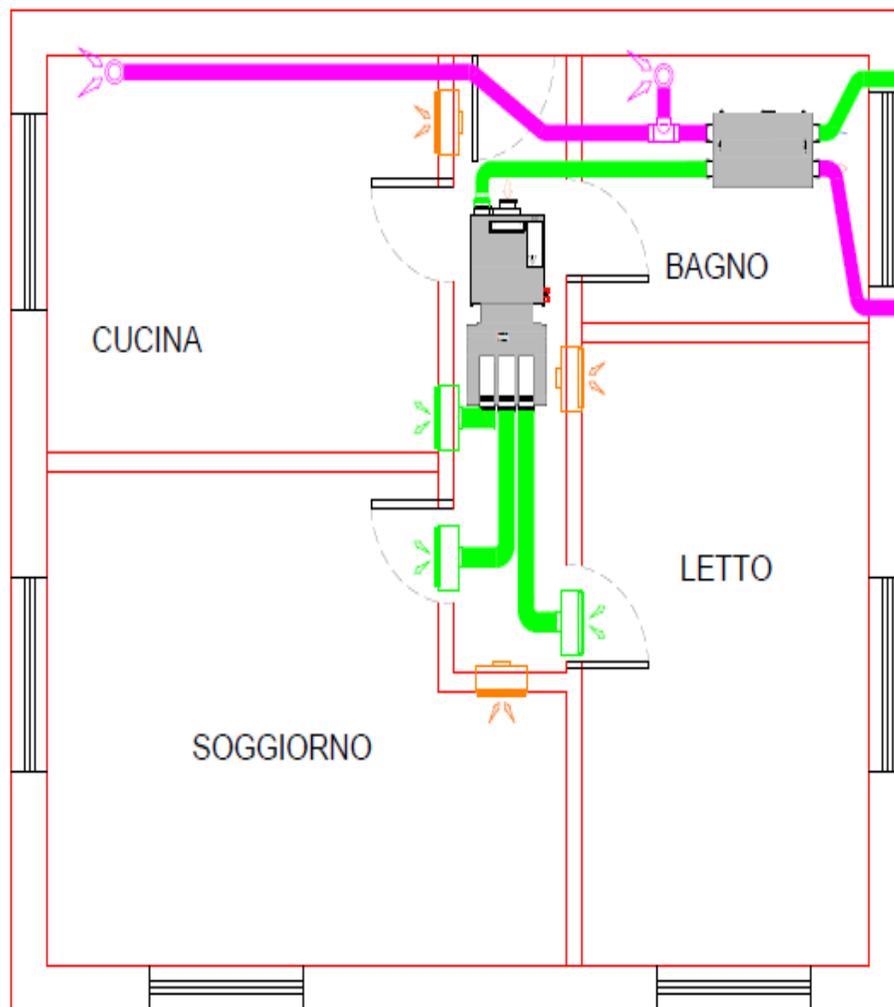
# Soluzioni



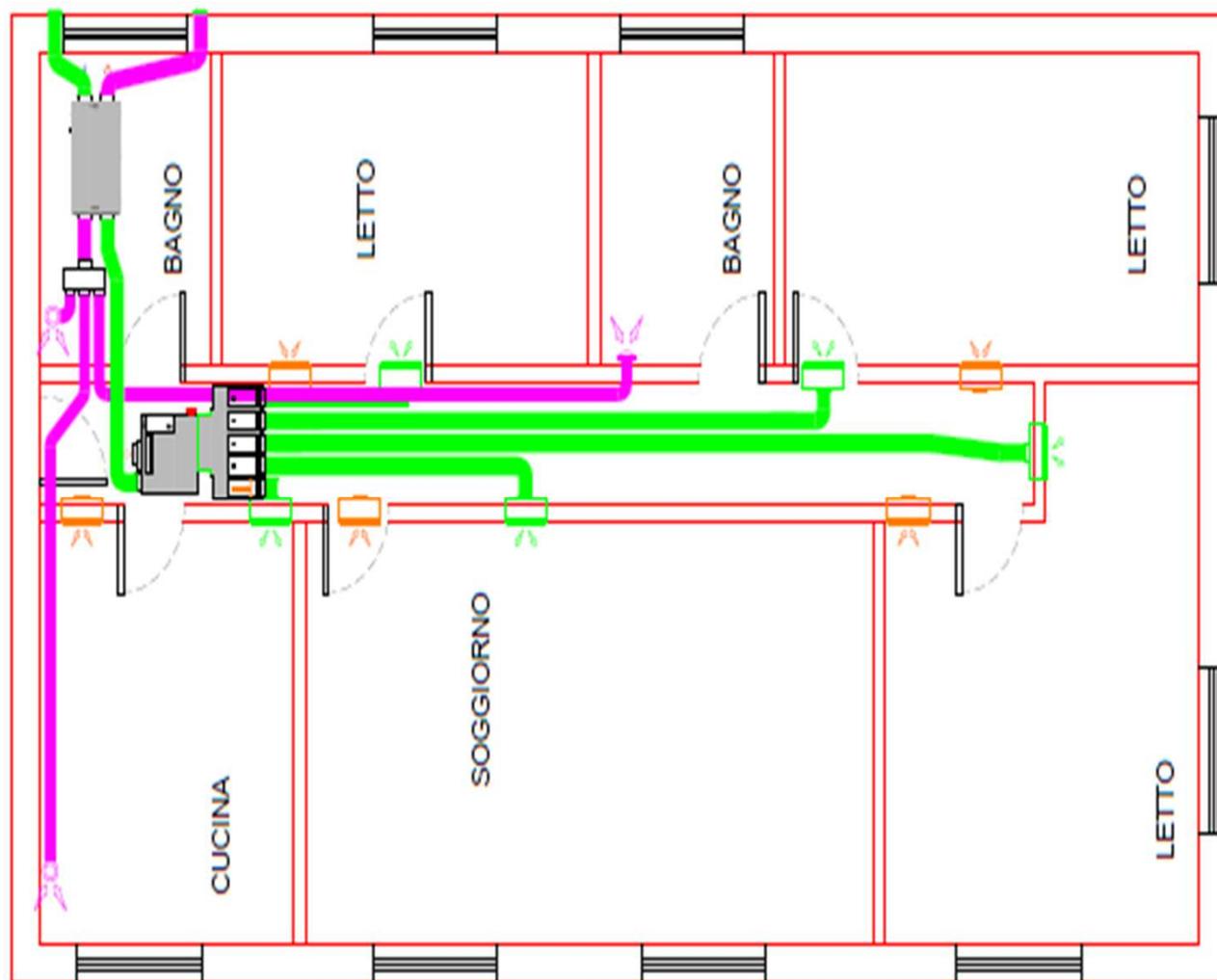
# Soluzioni



# Soluzioni

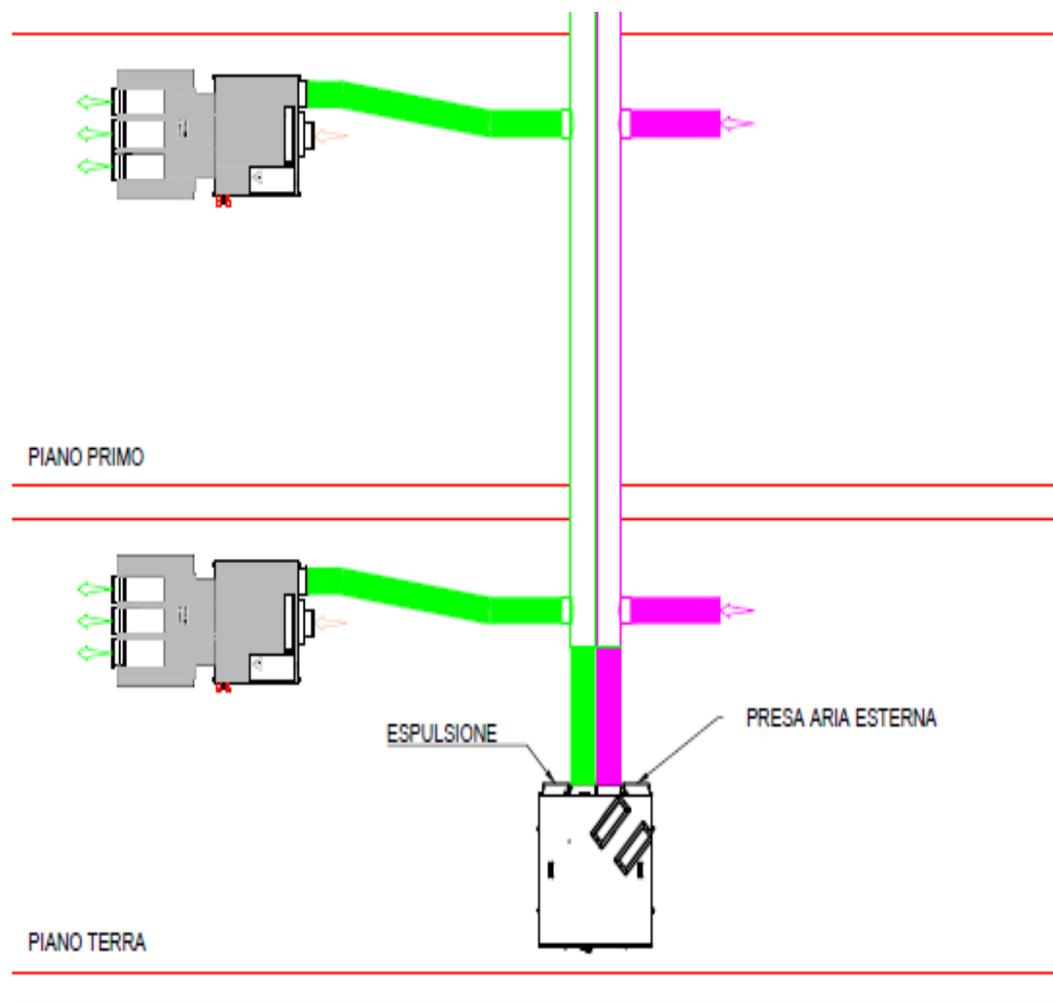


# Soluzioni





# Soluzioni



## Integrazione invernale

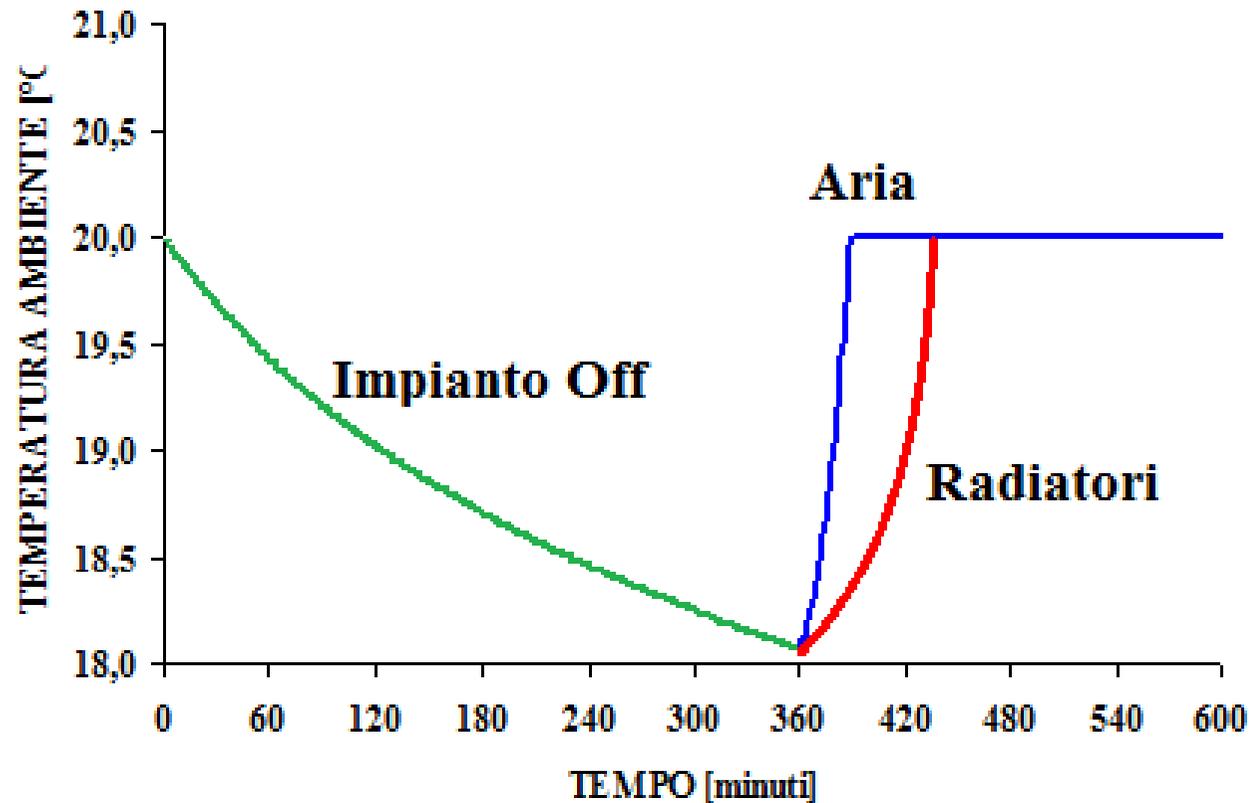
Uno dei vantaggi dei sistemi integrati è quello di poter integrare in inverno un impianto a radiatori.

Un impianto ad aria ha due vantaggi:

- È molto più rapido a portare l'ambiente a regime
- Lavora meglio con generatori a bassa temperatura, come le PdC

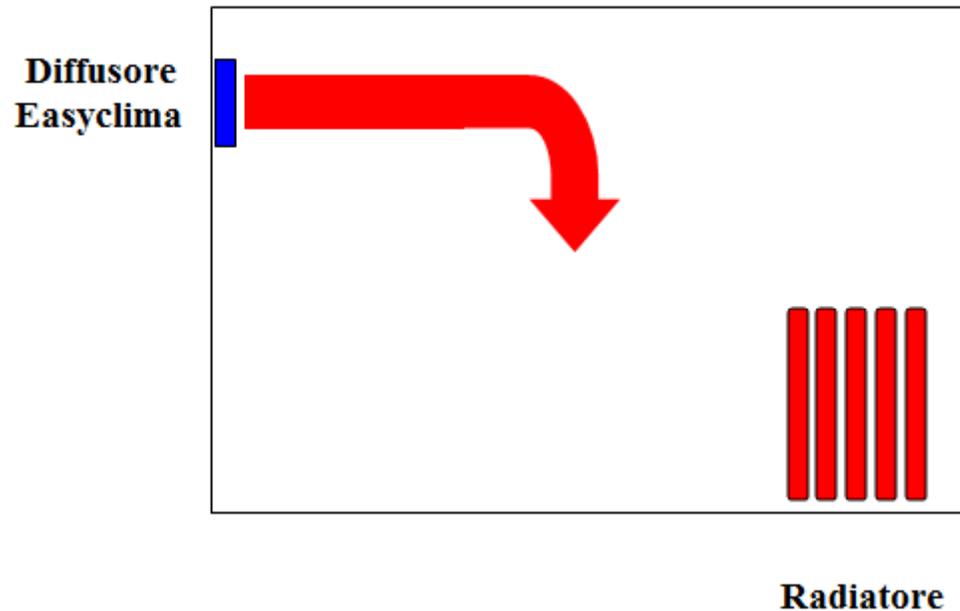
Malgrado questo, potrebbe essere affiancato da un impianto statico, se si volesse limitare la portata d'aria al solo rinnovo, soprattutto di notte.

## Messa a regime



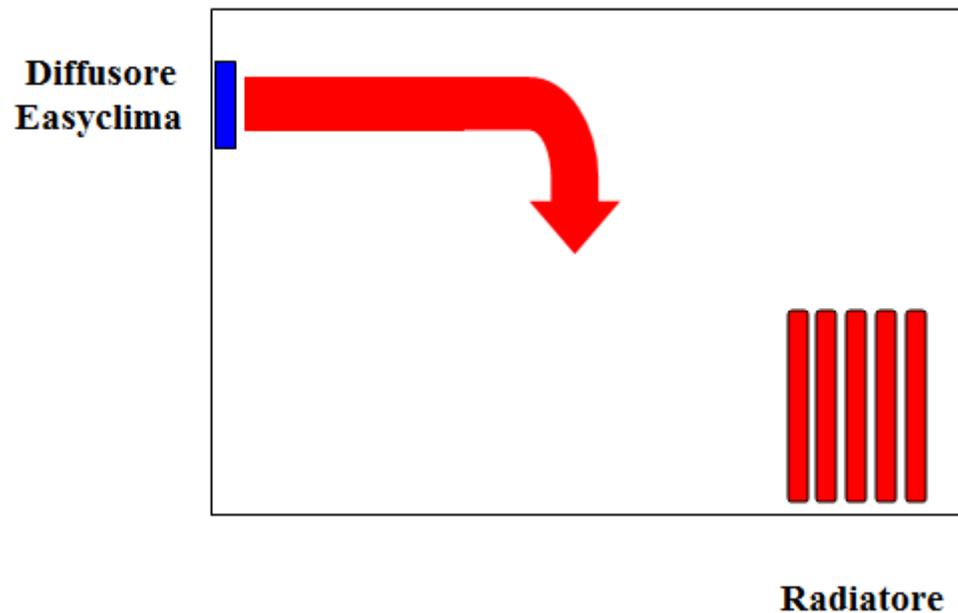
La messa a regime è molto più rapida, soprattutto se si usa un generatore a bassa temperatura come una pompa di calore. Il sistema radiante è ancora più lento a mettersi a regime.

## Messa a regime



Il sistema ad aria contemporaneamente al radiatore nelle fasi di messa a regime dell'ambiente. Si sfrutta la velocità dell'impianto ad aria per portare l'ambiente ad una temperatura prossima ai 20°C, dopodiché si spegne l'impianto ad aria, lo si lascia in sola modalità VMC e si usa il radiatore, più silenzioso e confortevole

## Funzionamento a supporto nei giorni più freddi



Si può usare il sistema anche nei giorni più freddi dell'anno, qualora il radiatore non abbia la potenza necessaria per soddisfare le esigenze dell'ambiente. Ciò permette di dimensionare i radiatori più piccoli, soprattutto con pompe di calore, senza per questo ottenere peggiori risultati in termine di prestazioni



**FINE LAVORI**  
**GRAZIE DELLA GENTILE**  
**ATTENZIONE**