

---

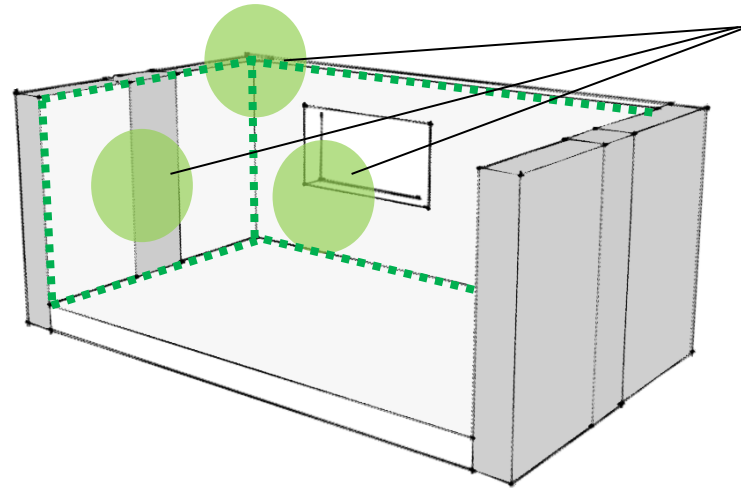
# Il rischio di formazione di muffa e condensa e il problema dell'umidità interna

Ing. Rossella Esposti

# VERIFICA DEL RISCHIO MUFFA

Analisi del rischio di muffa e condensa:

- Verifica legge 10 nazionale e regionale
- Casi di contenzioso
- Diagnostica e interventi sull'esistente



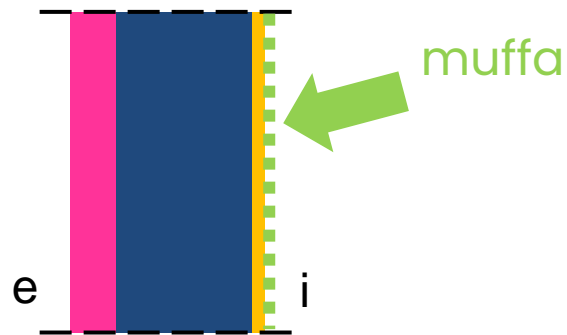
Punti  
critici per  
il rischio  
muffa

Valutazione della temperatura superficiale interna

## Verifiche igrotermiche

Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla verifica:

- dell'assenza di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- dell'assenza di condensazioni interstiziali



Rischio di muffa:  
controllo sulla  
superficie interna



Rischio di condensazione  
interstiziale: controllo lungo la  
sezione della stratigrafia

## Verifiche igrotermiche

Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla verifica:

- dell'assenza di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- dell'assenza di condensazioni interstiziali

### FAQ 2.24/2016

Ammissa anche l'analisi igrotermica dinamica secondo UNI EN 15026).

??!

Controllo rischio  
muffa sui ponti  
termici solo  
sugli edifici  
nuovi

### FAQ 3.11/2018

Si intende il rispetto della quantità massima ammissibile e nessun residuo alla fine di un ciclo annuale

## DM Requisiti minimi- Allegato 1 art. 2.3.2

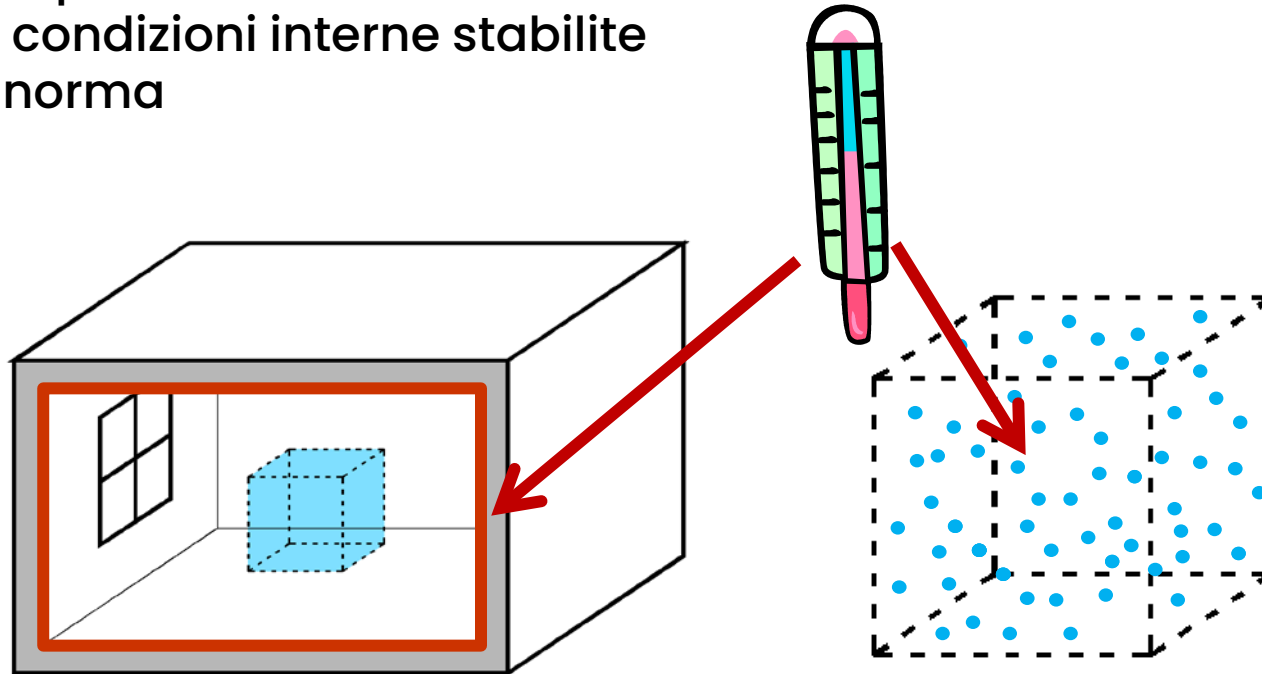
2. Nel caso di intervento che riguardi le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, si procede in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788), alla verifica dell'assenza:

- di rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- di condensazioni interstiziali.

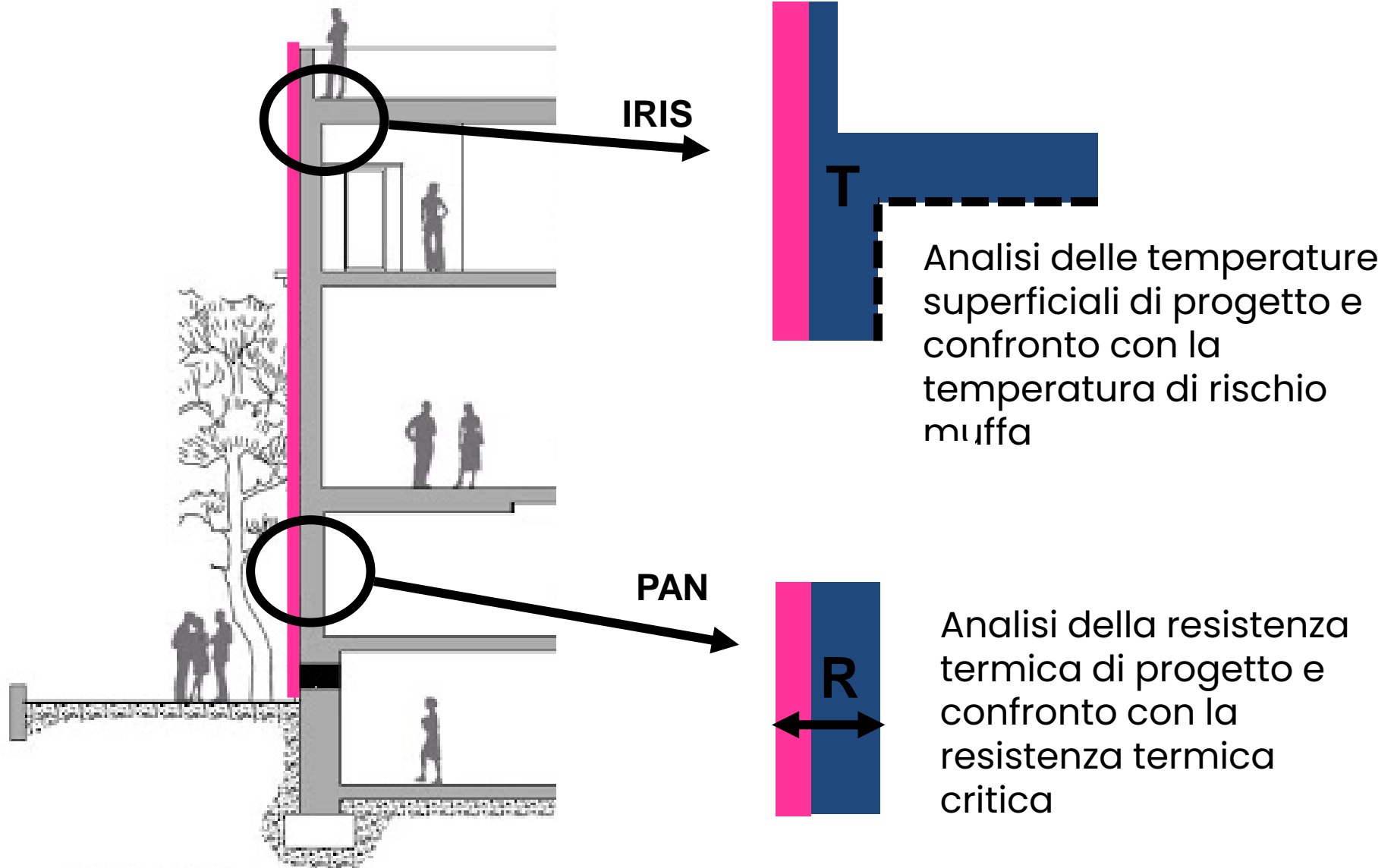
Le condizioni interne di utilizzazione sono quelle previste nell'appendice alla norma sopra citata, secondo il metodo delle classi di concentrazione. Le medesime verifiche possono essere effettuate con riferimento a condizioni diverse, qualora esista un sistema di controllo dell'umidità interna e se ne tenga conto nella determinazione dei fabbisogni di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento.

**Rischio di muffa:** assente

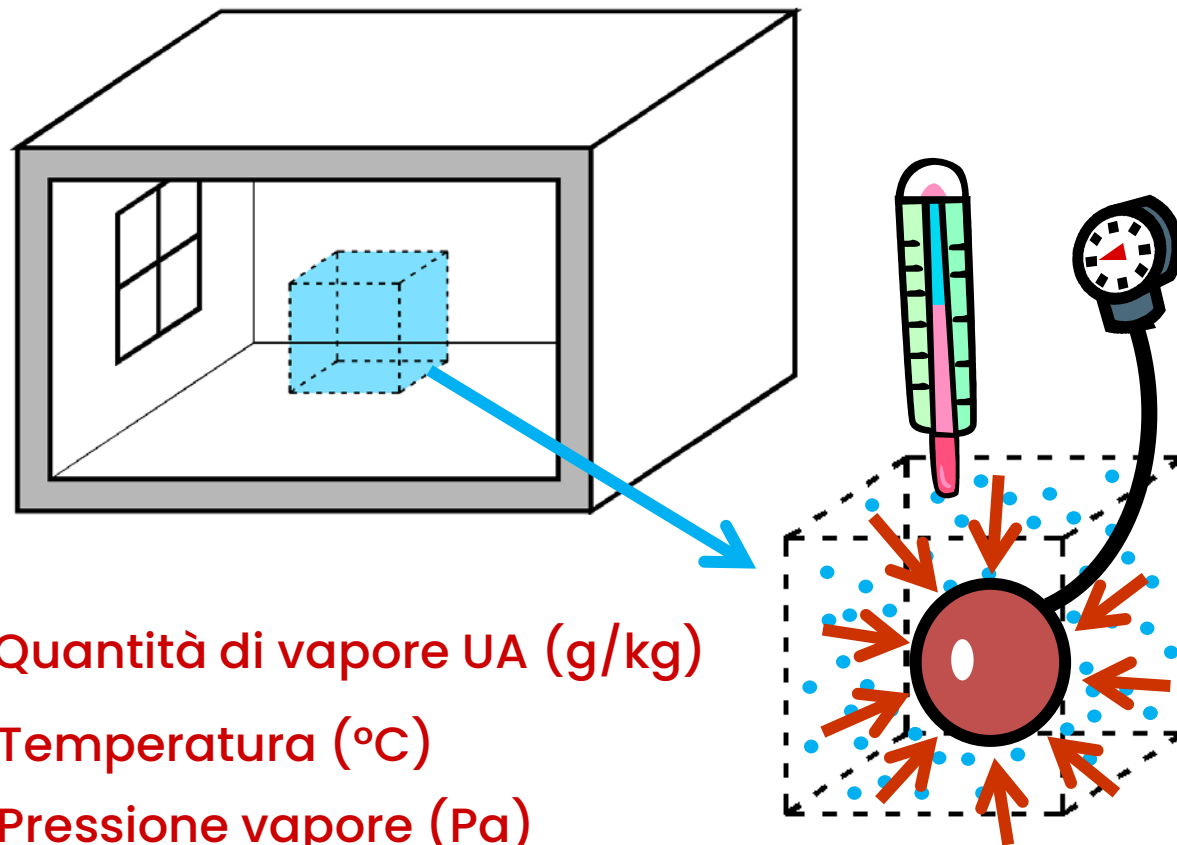
Significa evitare temperature inferiori alla temperatura di rischio muffa con le condizioni interne stabilite dalla norma



## Il rischio di formazione di muffa



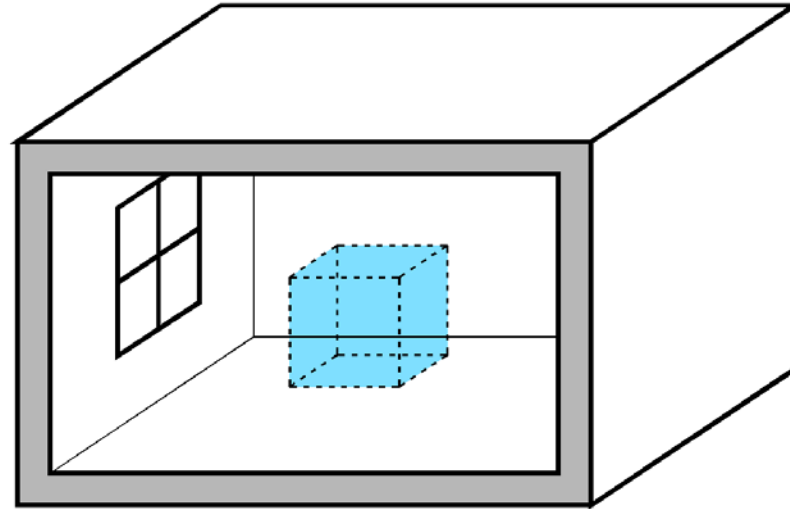




Quantità di vapore UA (g/kg)

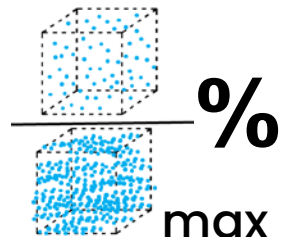
Temperatura (°C)

Pressione vapore (Pa)

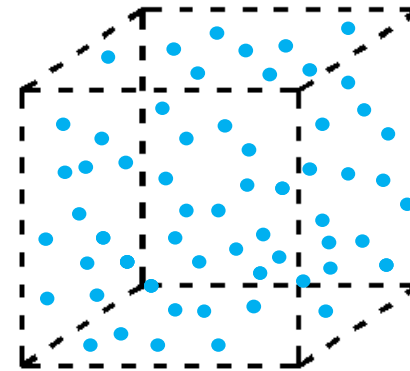


Quantità possibile di vapore  
UR (%)

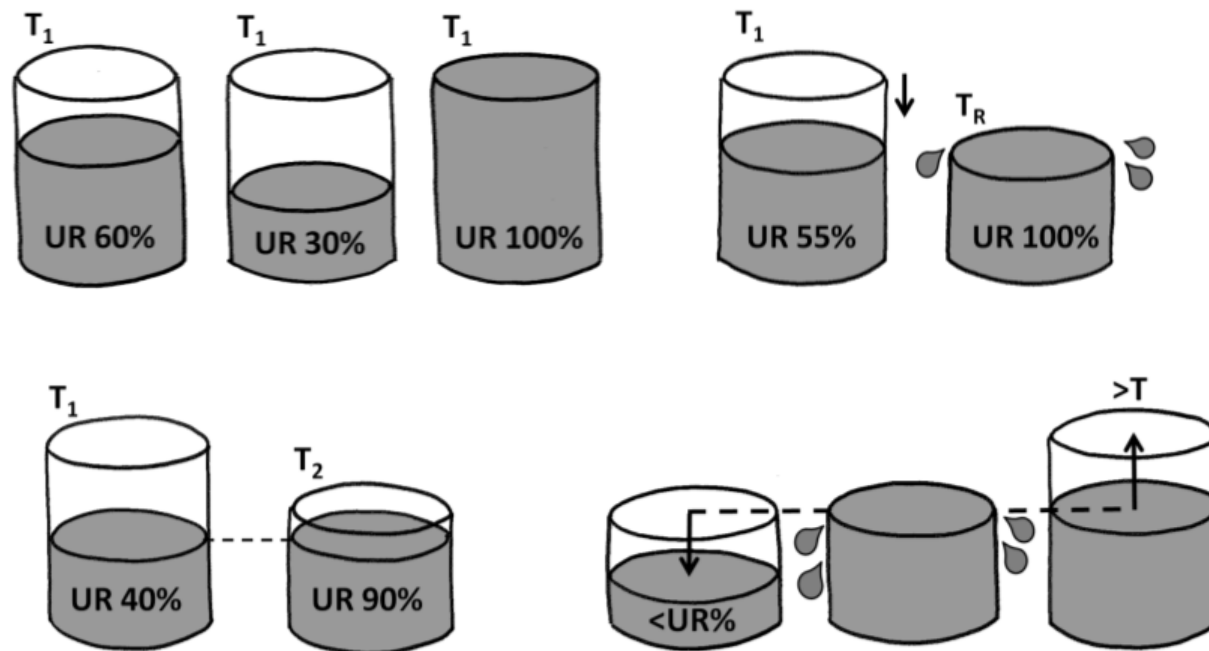
Pressione  
saturazione



max = saturazione



## Temperatura, umidità relativa e umidità assoluta



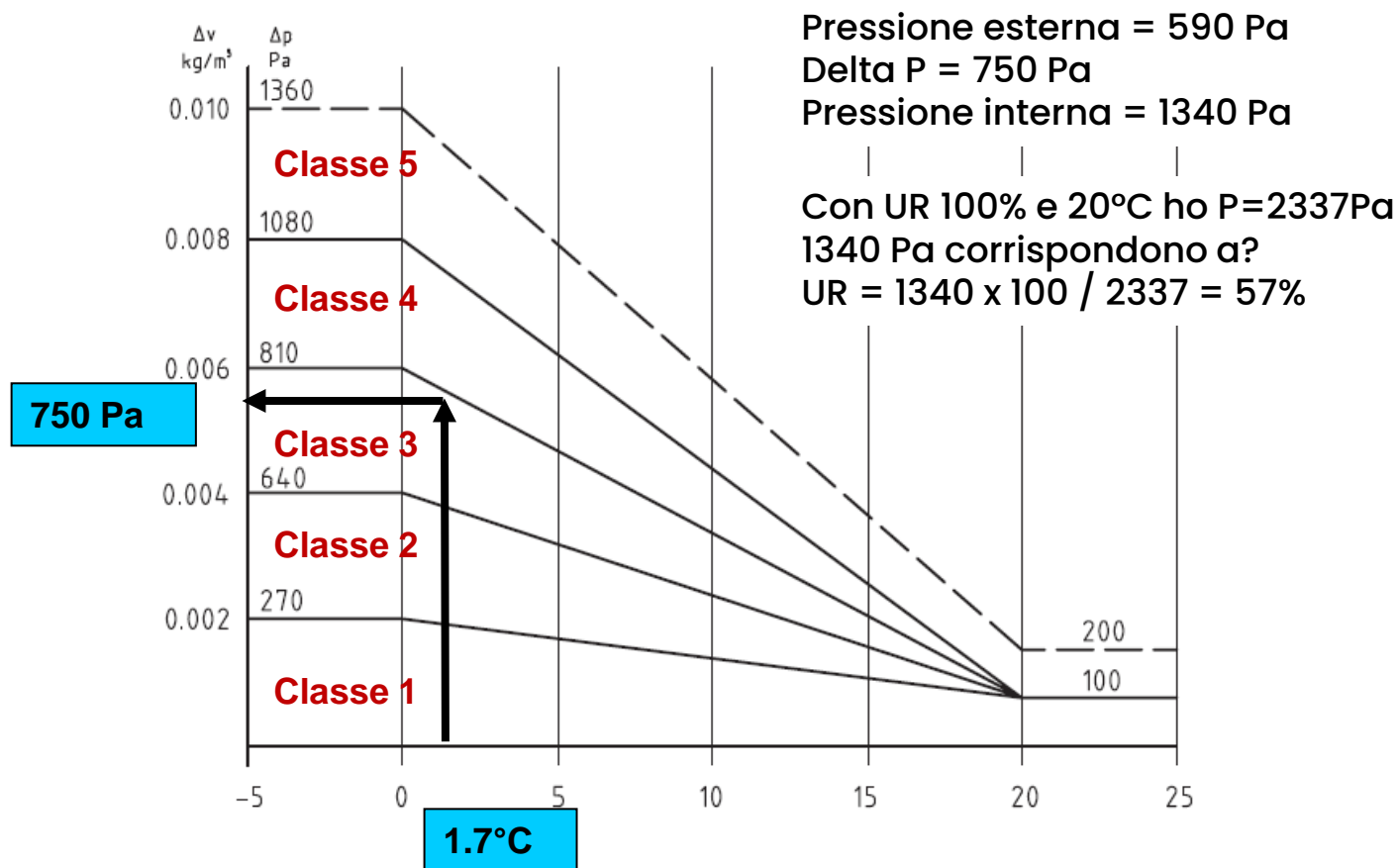
## Condizioni interne caratteristiche

### Il metodo delle classi di umidità interna

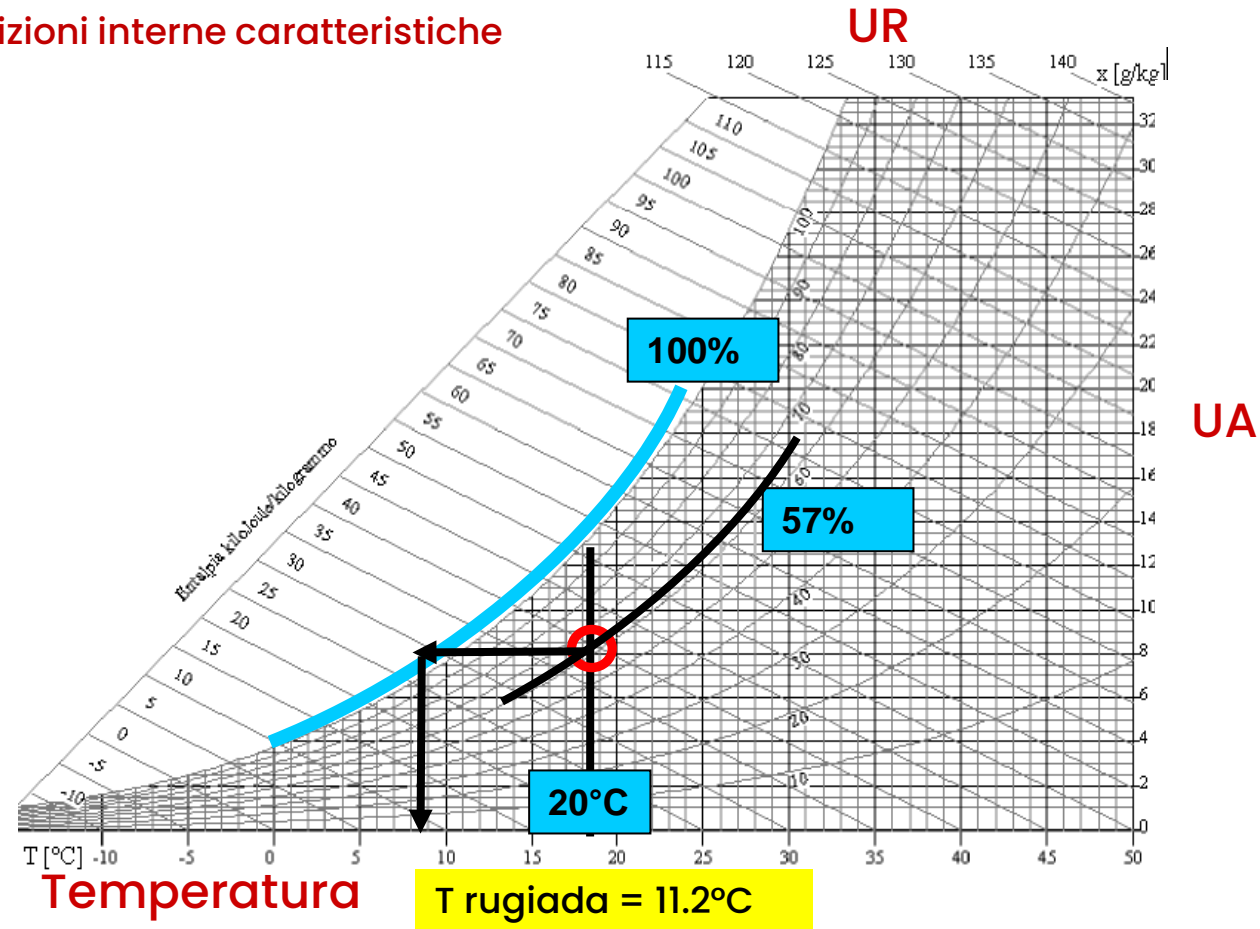
#### Classi di umidità interna<sup>\*\*\*\*\*</sup>)

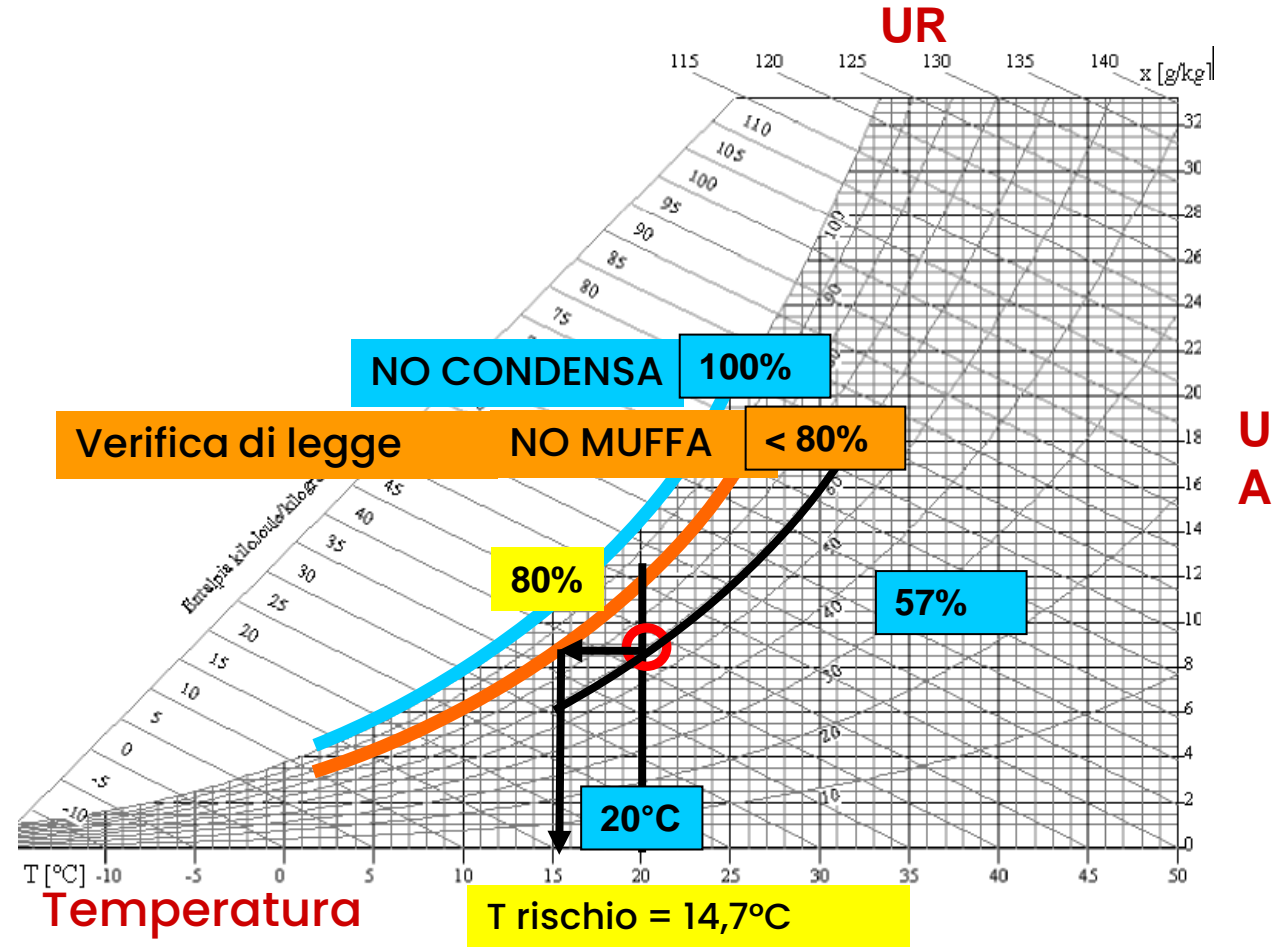
Classe di umidità	Edificio
1	Edifici non occupati, magazzini per stoccaggio di materiale secco
2	Uffici, alloggi con indice normale di affollamento e ventilazione
3	Edifici con indice di affollamento non noto
4	Palestre, cucine, mense
5	Edifici particolari, per esempio lavanderie, distillerie, piscine

## Condizioni interne caratteristiche



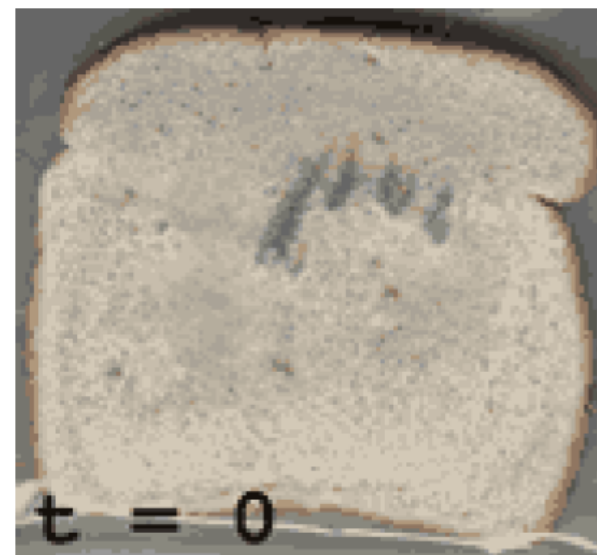
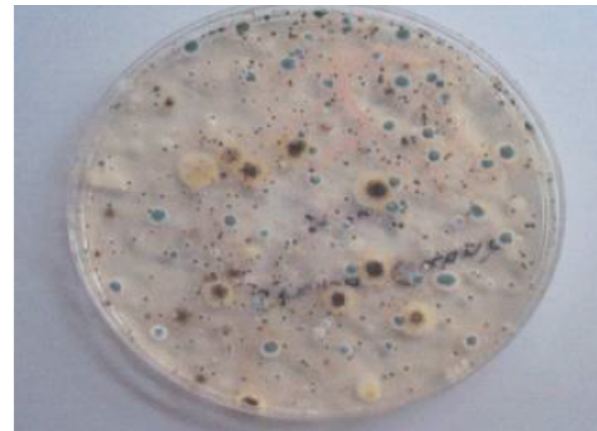
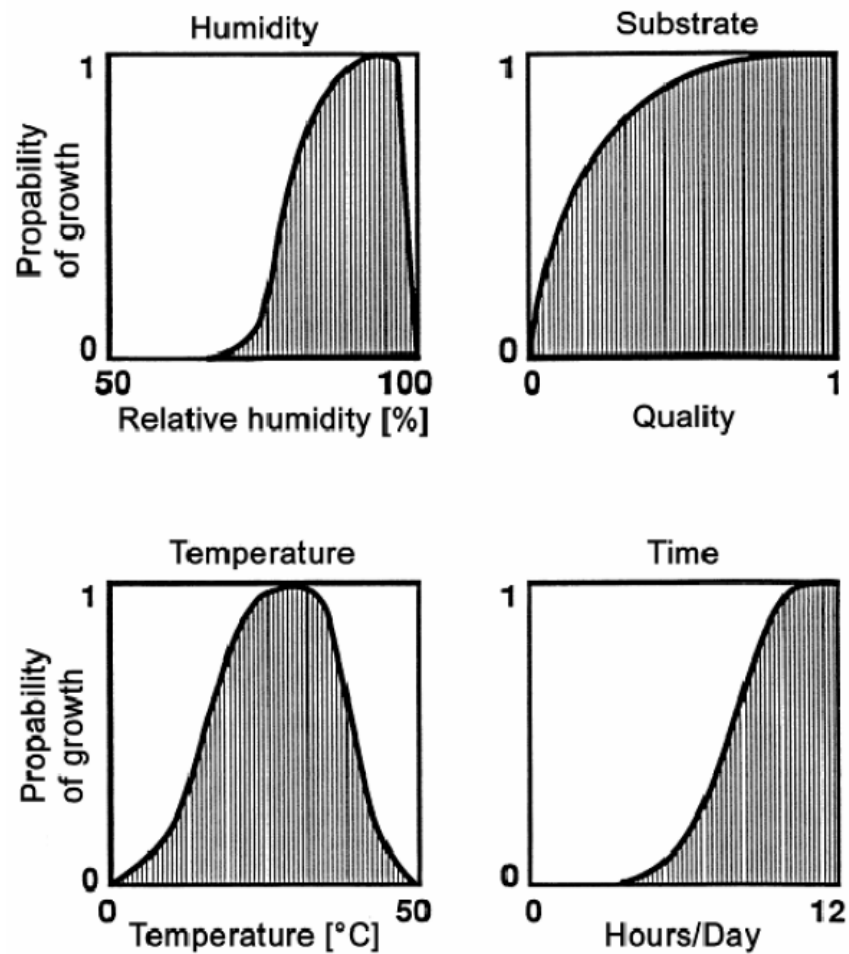
Condizioni interne caratteristiche





# Le condizioni per la proliferazione di muffa

Le probabilità di crescita



Fonte: Fraunhofer IBP



## Il rischio di formazione di muffa



Spigoli e pilastri



Cassonetti



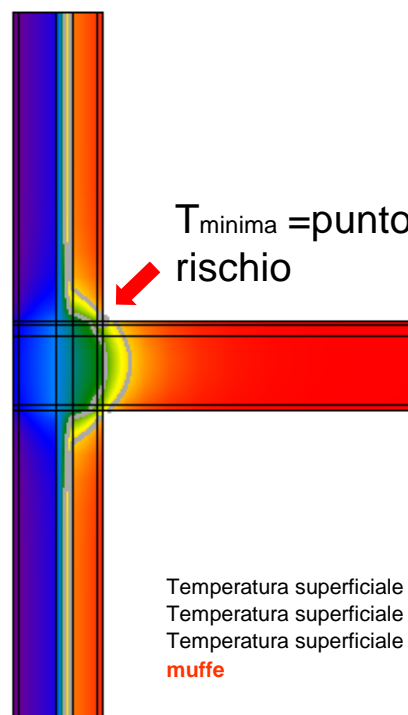
Pareti non  
isolate



Serramenti

Fonte: TEP srl

## Verifica del rischio di muffa sui ponti termici



Analisi agli elementi finiti



Definizione del campo delle temperature



Verifica del rischio di muffa

Temperatura superficiale minima di progetto	12,7°C	
Temperatura superficiale minima per non avere condensa	11,3°C	Verificato
Temperatura superficiale minima <b>per non avere formazione di muffe</b>	14,7°C	Non verificato

# **VERIFICA DEL RISCHIO DI CONDENSAZIONE INTERSTIZIALE**

## ARIA UMIDA E VAPORE

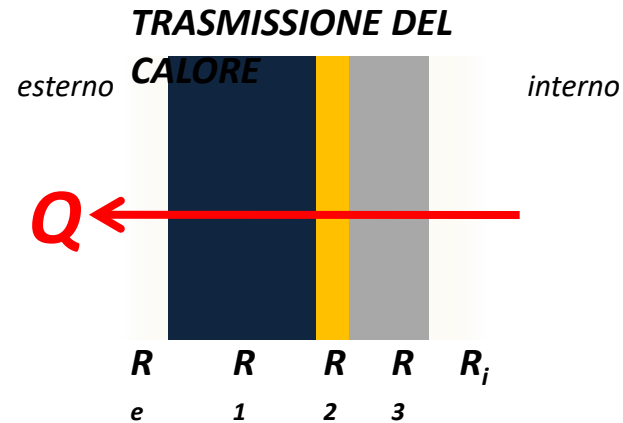
L'aria è una miscela di due gas: l'aria secca e il vapore

Nell'aria di un ambiente è presente vapor d'acqua in misura variabile

Nella stagione invernale, esiste di norma un flusso di vapore che, analogamente al flusso di calore, ha direzione dall'interno verso l'esterno dell'edificio



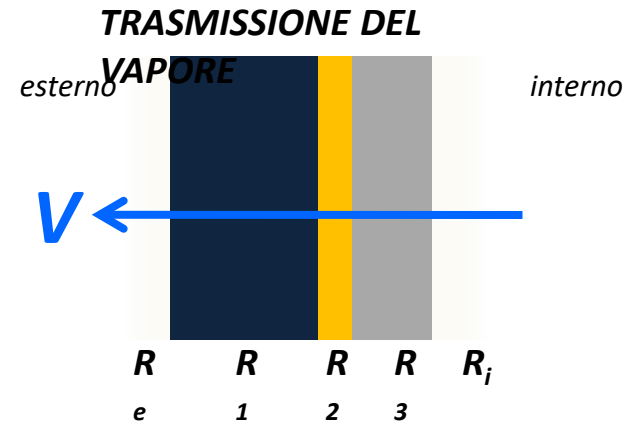
*Se, nell'attraversare la parete, il vapore si viene a trovare in una "zona fredda" può **condensare***



$$Q = U \cdot A \cdot (\Delta T)$$

**Trasmittanza**  $U = 1 / \Sigma R$   
**Resistenza al passaggio di CALORE**

*R superficiali*  
*R di materiali eterogenei*  
*R di materiali omogenei =  $s / \lambda$*



$$V = \Pi \cdot A \cdot (\Delta P)$$

**Permeanza**  $\Pi = 1 / \Sigma R$   
**Resistenza al passaggio di VAPORE**

*R al vapore =  $s / \delta$*

$$R = \frac{d}{\delta}$$

Resistenza al vapore di uno strato

Spessore dello strato lungo la direzione del flusso di vapore

Permeabilità al vapore

- Valori secondo norma (UNI EN ISO 10456 e UNI 10351)
- Valori dichiarati

### Qualche definizione

Permeabilità al vapore ( $\delta$ )

Attitudine di un materiale a trasmettere per diffusione il vapor d'acqua presente nell'aria.  
Si misura in kg/msPa

Fattore di resistenza al vapore ( $\mu$ )

Parametro adimensionale definito dal rapporto tra la permeabilità dell'aria e quella del materiale

$$\mu = \delta_{\text{aria}} / \delta_{\text{materiale}} \quad (\delta_{\text{aria}} = 187.52 \cdot 10^{-12} \text{ kg/msPa})$$

Spessore equivalente d'aria ( $S_D$ )

Spessore di uno strato d'aria in quiete avente la stessa resistenza al vapore dello strato di materiale.

$$S_D = \mu \cdot \text{spessore (in metri) del materiale}$$

## Qualche valore di riferimento

MATERIALE	$\delta$ [kg/smPa]	$\mu$ [-]
Fibre di vetro	$187,52 * 10^{-12}$	1
Laterizi (densità 600 kg/m <sup>3</sup> )	$37,5 * 10^{-12}$	5
Laterizi (densità 200 kg/m <sup>3</sup> )	$18,75 * 10^{-12}$	10
Intonaco tradizionale	$18,75 * 10^{-12}$	10
Intonaco plastico	$1,25 * 10^{-12}$	150
Calcestruzzo (densità 1600 kg/m <sup>3</sup> )	$9,38 * 10^{-12}$	20
Calcestruzzo (densità 2400 kg/m <sup>3</sup> )	$1,88 * 10^{-12}$	100
Polistirene espanso (densità 30 kg/m <sup>3</sup> )	$3,13 * 10^{-12}$	60
Polistirene estruso con pelle (densità 30 kg/m <sup>3</sup> )	$1,042 * 10^{-12}$	180
Bitume	$9,38 * 10^{-15}$	20000
Foglio di alluminio	$268 * 10^{-18}$	700000

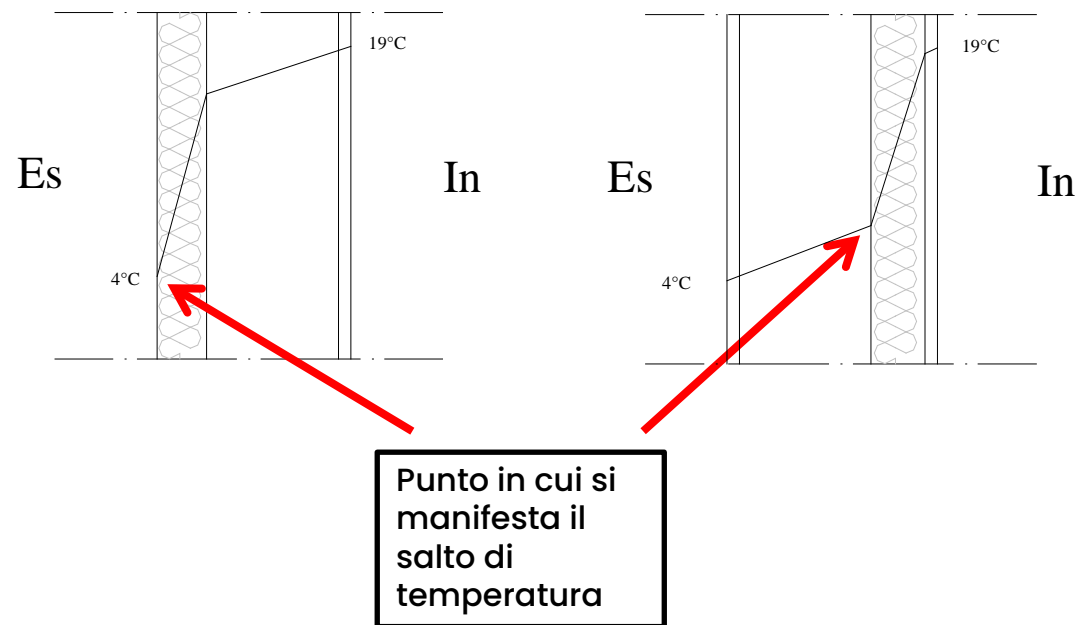
*Tabella 1: permeabilità al vapore e resistenza al passaggio di vapore di alcuni materiali*

## Ottimizzazione della struttura per evitare la condensazione interstiziale

- Disposizione verso il lato esterno degli strati a maggiore resistenza termica
- Disposizione verso il lato interno degli strati a maggiore resistenza al passaggio del vapore



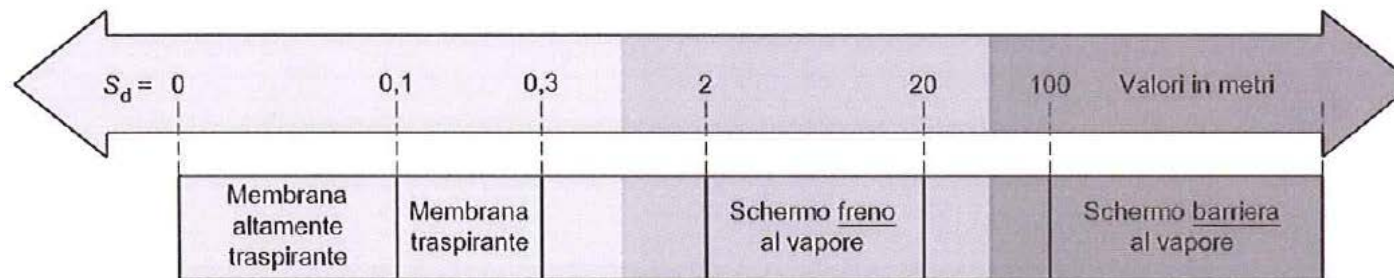
## Comportamento della struttura in base al posizionamento e il tipo di materiale isolante



## Barriera e freno vapore:

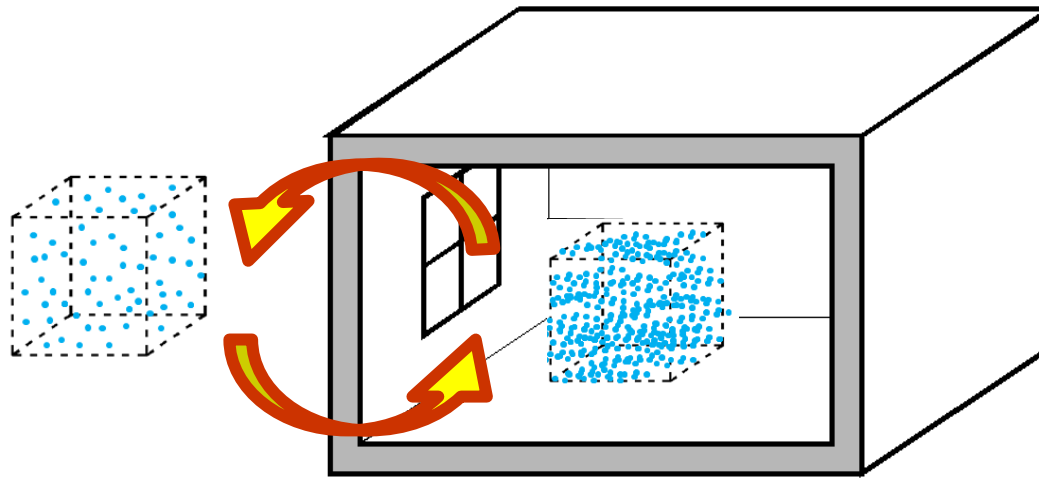
**UNI 11470:2013** Schermi e membrane traspiranti sintetiche. Definizioni, campi di applicazione e posa in opera

**schermo e membrana traspirante (SMT):** Schermo e membrana traspirante di tipo sintetico in conformità alla UNI EN 13984, UNI EN 13859-1 e UNI EN 13859-2.



.....l'isolamento  
impedisce al muro di  
«respirare»?

Esempio: calcolo dell'effetto della ventilazione



Esterno

$T = 3^{\circ}\text{C}$

$UR = 80\%$

$UA = 3.74 \text{ g/kg}$

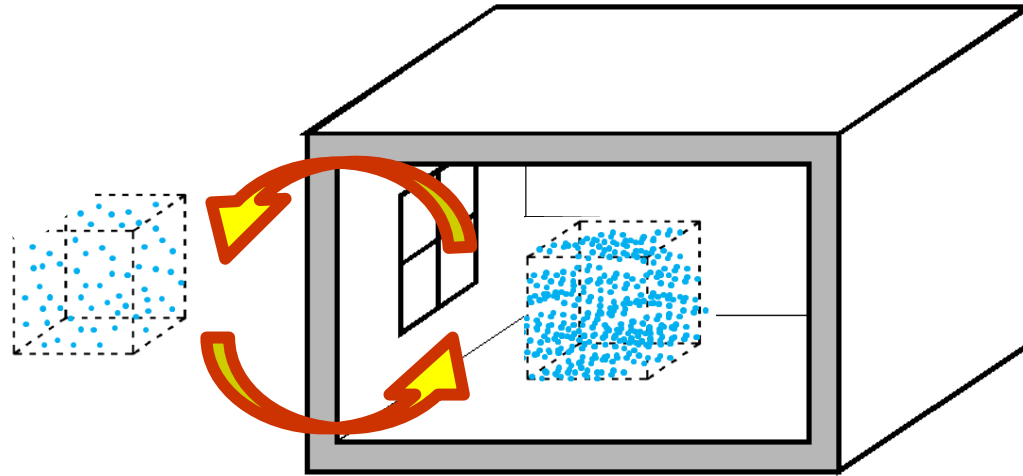
Interno

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

$UR = 55\%$

$UA = 7.99 \text{ g/kg}$

Esempio: calcolo dell'effetto della ventilazione



*Volume  $90 \text{ m}^3$*

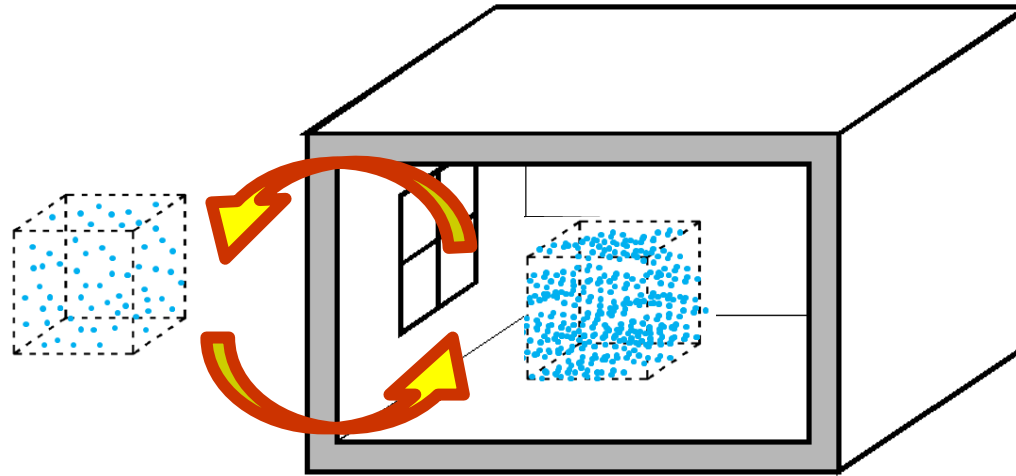
*Ricambi =  $0.5 \text{ ric/h} = 45 \text{ m}^3/\text{h}$*

*Densità aria =  $1.3 \text{ kg/m}^3$*



*$58.5 \text{ kg/h}$*

Esempio: calcolo dell'effetto della ventilazione



$$58.5 \text{ kg/h} \times 3.74 \text{ g/kg} \\ 218 \text{ g/h}$$

$$58.5 \text{ kg/h} \times 7.99 \text{ g/kg} \\ 467 \text{ g/h}$$

*Con la ventilazione smaltisco: 249 g/h*

## Esempio: calcolo del vapore smaltito con la parete

### La resistenza al passaggio di vapore della parete

Supponiamo di voler valutare il flusso di vapore passante attraverso una parete composta da un doppio tavolato in mattoni forati con interposto un materiale isolante tipo lana di vetro. La resistenza al passaggio di vapore  $R_v$  di ogni strato si calcola dal rapporto  $s/\delta$ :

	$s(m)$	$\delta (kg/msPa)$	$R_v (Pa \cdot m^2s/kg)$
Intonaco	0,015	$5.00 \cdot 10^{-12}$	$0.003000 \cdot 10^{-12}$
Forato 12cm	0,12	$18.75 \cdot 10^{-12}$	$0.006400 \cdot 10^{-12}$
Lana di vetro	0,04	$150.00 \cdot 10^{-12}$	$0.000267 \cdot 10^{-12}$
Forato da 8cm	0,08	$18.75 \cdot 10^{-12}$	$0.004267 \cdot 10^{-12}$
Intonaco	0,015	$18.00 \cdot 10^{-12}$	$0.000833 \cdot 10^{-12}$
totale =			$0.014767 \cdot 10^{-12}$

$$R_{v \text{ totale}} = 0.014767 \cdot 10^{-12} \text{ Pa m}^2\text{s/kg}$$

## Esempio: calcolo del vapore smaltito con la parete

Ipotizziamo le seguenti condizioni al contorno:

- superficie disperdente verso l'esterno =  $18 \text{ m}^2$
- ambiente interno:  $T=20^\circ\text{C}$ ;  $UR= 55\%$ ;  $P_{vi}=1285\text{Pa}$
- ambiente esterno:  $T=3^\circ\text{C}$ ;  $UR= 80\%$ ;  $P_{ve}=606\text{Pa}$

A questo punto possiamo calcolare il flusso di vapore attraverso la struttura:

$$\Delta P / R_{v \text{ totale}} = (1285-606) / 0.014767 \cdot 10^{-12} = 4.60 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s m}^2$$

Moltiplichiamo per la superficie disperdente:

$$V = 4.60 \cdot 10^{-8} \cdot 18 = 82.8 \cdot 10^{-8} \text{ kg/s}$$

Calcoliamo ora il flusso di vapore in un'ora:

$$g'_{orario} = 82.8 \cdot 10^{-8} \cdot 3600 = 0,00298 \text{ kg/h} \quad \text{cioè circa } 3 \text{ g/h}$$

***Attraverso la parete smaltisco: 3 g/h***

## PROGETTARE LA VENTILAZIONE!!!!





**Grazie per l'attenzione**