



# Fisica Tecnica (Modulo 1)- LM4

## Fisica Tecnica – L23

A.A. 2021-2022





# Lezione n. 21

## Verifica di condensa interstiziale



In **regime invernale**: differenza tra **pressione parziale** del vapore **interna ed esterna**



**Trasferimento di vapore** presente nell'aria attraverso la parete **verso l'esterno**



**Rischio di condensa** all'interno della parete → **deterioramento** e peggioramento delle **prestazioni termiche dei materiali**.

Particolarmente a rischio i **materiali isolanti**: presenza di **acqua liquida** → peggioramento di **prestazioni termiche** e precoce **invecchiamento**.

In alcuni casi (**pareti delle celle frigorifere**) il vapore condensato può **solidificare** → **aumento di volume** → **danni irreversibili** (rottura della parete).

Verifica mediante **metodo grafico di Glaser**.

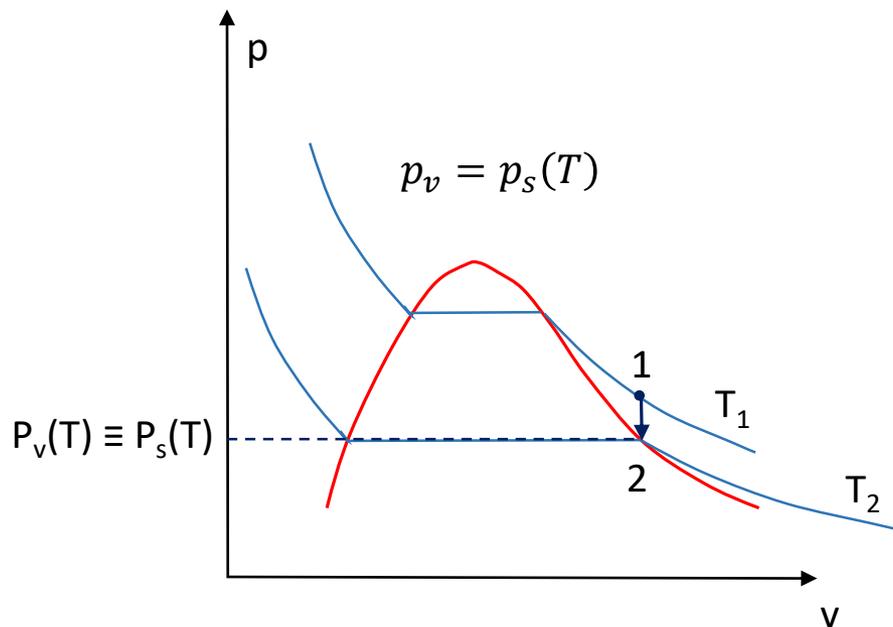
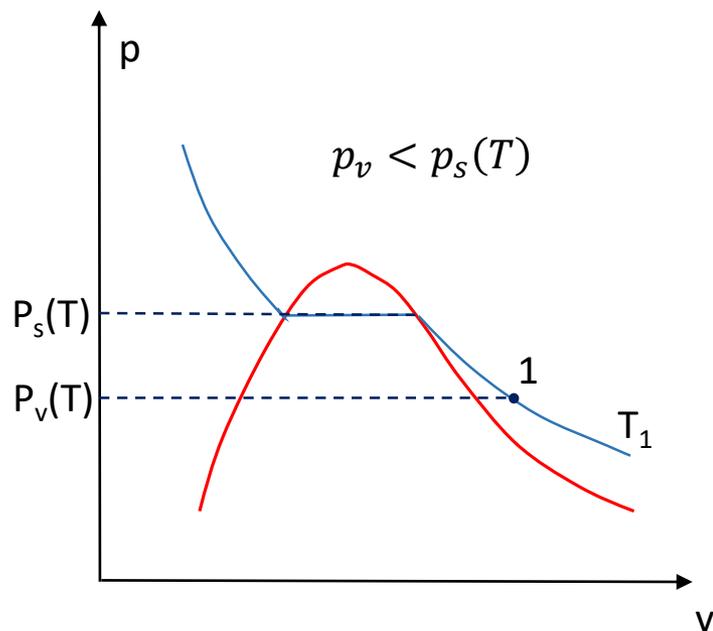
Si applica in **regime stazionario** nelle **condizioni climatiche più severe**.

Presenza di vapore in **quantità incerte** all'interno dei **vari strati** (diversa **permeabilità** dei materiali) → **Non è nota** esattamente la **quantità di vapore** che attraversa **ogni strato**.



Si procede esaminando la **pressione parziale del vapore**.

Per avere condensa devono verificarsi **condizioni di saturazione** → **pressione parziale pari alla pressione di saturazione** alla stessa temperatura.



## Vapore inizialmente in condizioni 1

Attraversando la parete:

- **Diminuzione della pressione** del vapore (permeabilità dei materiali)
- **Diminuzione della temperatura** del vapore (raffreddamento lungo la parete)
- Condizione di **saturazione**:  $p_v = p_s(T)$

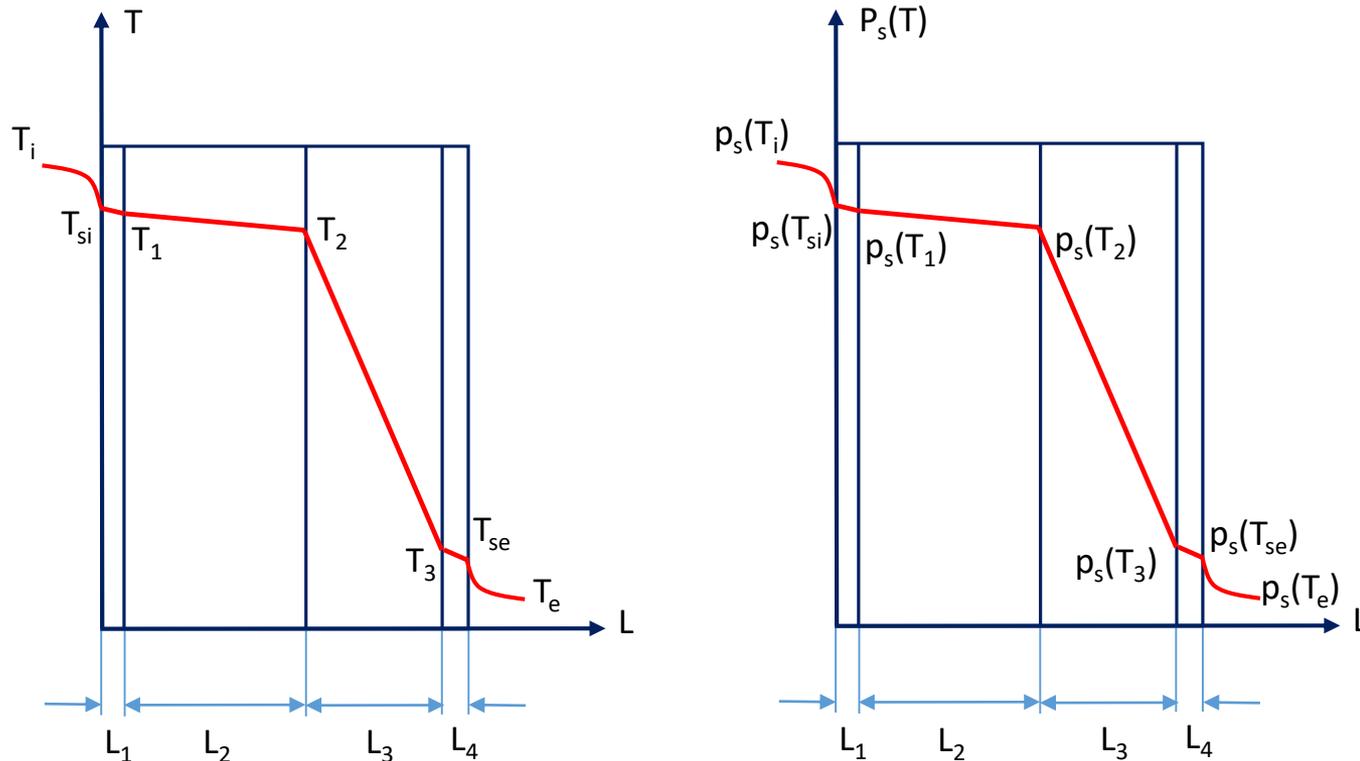
Metodo di Glaser basato sul **confronto tra gli andamenti di pressione parziale e pressione di saturazione**

Determinazione della **pressione di saturazione** in funzione della **temperatura** in apposite **tabelle** o mediante la:

$$P_s(T) = e^{\left(65,81 - \frac{7066,27}{T} - 5,976 \cdot \ln T\right)} \quad (\text{Temperature espresse in K})$$

Pressione di saturazione **interna**:  $P_s(T_i) = e^{\left(65,81 - \frac{7066,27}{T_i} - 5,976 \cdot \ln T_i\right)}$

Pressione di saturazione **esterna**:  $P_s(T_e) = e^{\left(65,81 - \frac{7066,27}{T_e} - 5,976 \cdot \ln T_e\right)}$



## Determinazione della **pressione parziale del vapore**

Noti i **dati climatici interni**  $T_i$  e  $\phi_i$  e quelli **esterni**  $T_e$  e  $\phi_e$

**Pressione parziale** del vapore **interna**:

$$\phi_i = \frac{p_{vi}}{p_s(T_i)} \Rightarrow p_{vi} = \phi_i \cdot p_s(T_i)$$

**Pressione parziale** del vapore **esterna**:

$$\phi_e = \frac{p_{ve}}{p_s(T_e)} \Rightarrow p_{ve} = \phi_e \cdot p_s(T_e)$$

Calcolo dell'andamento delle pressioni parziali del vapore **all'interno della parete**:

**Metodo dell'analogia elettrica**: corrispondenza tra **fenomeno igrometrico (flusso di vapore)** e **fenomeno elettrico** in un circuito con **resistenze elettriche collegate in serie**

Perfetta analogia tra:

differenza di **potenziale elettrico** e differenza di **pressione parziale del vapore**

**corrente elettrica** e **flusso di vapore**

**resistenza elettrica** e **resistenza al vapore**

**Flusso di vapore** all'interno della parete:

$$G = \Pi \cdot A \cdot (p_{vi} - p_{ve})$$

G: flusso di vapore (kg/s);

$\Pi$ : **permeanza** al vapore della parete multistrato (kg/s m<sup>2</sup> Pa)

A: **area** della sezione perpendicolare al flusso di vapore (m<sup>2</sup>)

$p_{v,i}$ : **pressione parziale** del vapore nell'ambiente **interno** (Pa)

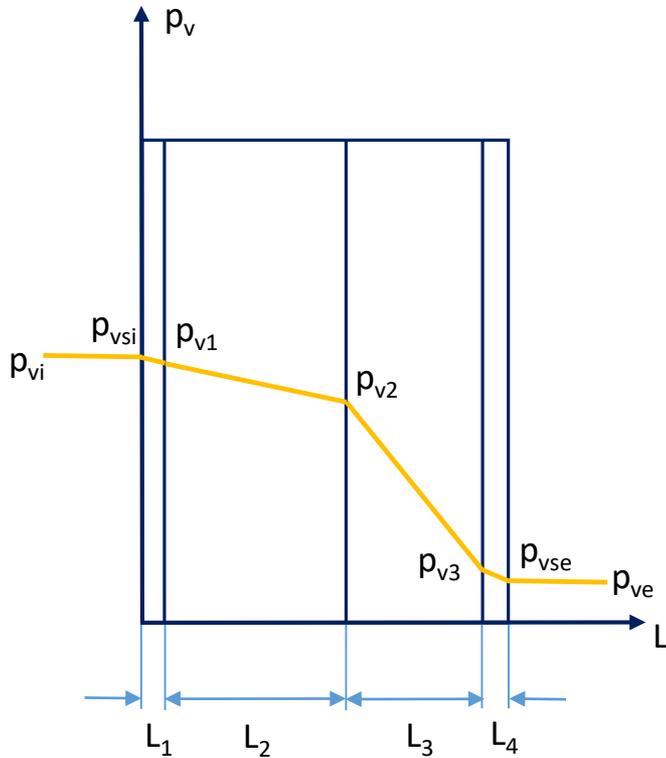
$p_{v,e}$ : **pressione parziale** del vapore nell'ambiente **esterno** (Pa)

$$\Pi = \frac{1}{R_v}$$

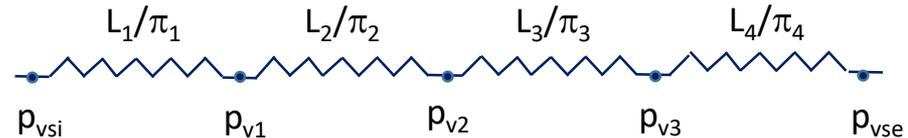
**Permeanza** della parete: **inverso della resistenza unitaria totale** al flusso di vapore  $R_v$

$R_v$ : **somma delle resistenze unitarie** dei singoli strati.

Trascurabili la **resistenza al flusso di vapore** tra l'ambiente **interno** e la superficie interna della parete e tra la superficie esterna della parete e l'ambiente **esterno** (**resistenza al vapore dell'aria** tre ordini di grandezza **inferiore** a quella dei **materiali da costruzione**).



$$p_{vi} = p_{vsi} \quad p_{ve} = p_{vse}$$



$$R_v = \frac{L_1}{\pi_1} + \frac{L_2}{\pi_2} + \frac{L_3}{\pi_3} + \frac{L_4}{\pi_4}$$

Generalizzando (**parete ad n strati**):  $R_v = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\pi_i} \quad \left[ \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{kg} \right]$

$\pi_i$ : permeabilità al vapore dello strato  $i$ -esimo (kg/s m Pa)

$L_i$ : spessore dello strato  $i$ -esimo (m)

La **pressione parziale** del vapore in corrispondenza dello **strato iesimo** sarà data, in **perfetta analogia con il fenomeno termico**, dal valore della **pressione parziale interna** meno un termine dato dal **flusso di vapore per unità di superficie** per la **resistenza** incontrata **fino allo strato in questione**.

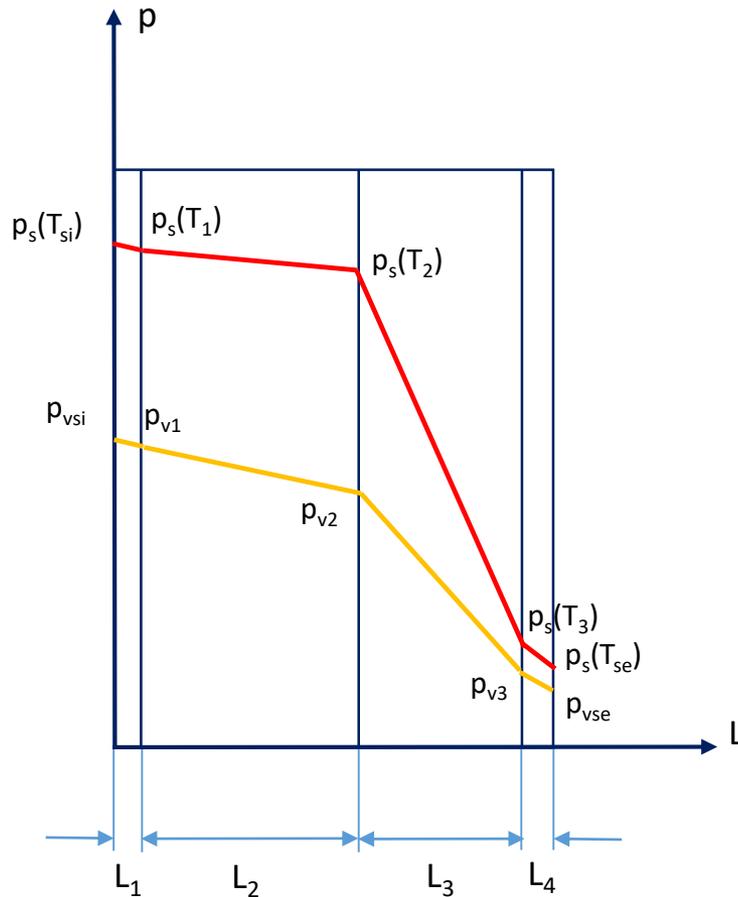
$$p_{v,1} = p_{v,i} - \Pi \cdot (p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \left( \frac{L_1}{\pi_1} \right)$$

$$p_{v,2} = p_{v,i} - \Pi \cdot (p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \left( \frac{L_1}{\pi_1} + \frac{L_2}{\pi_2} \right)$$

$$p_{v,3} = p_{v,i} - \Pi \cdot (p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \left( \frac{L_1}{\pi_1} + \frac{L_2}{\pi_2} + \frac{L_3}{\pi_3} \right)$$

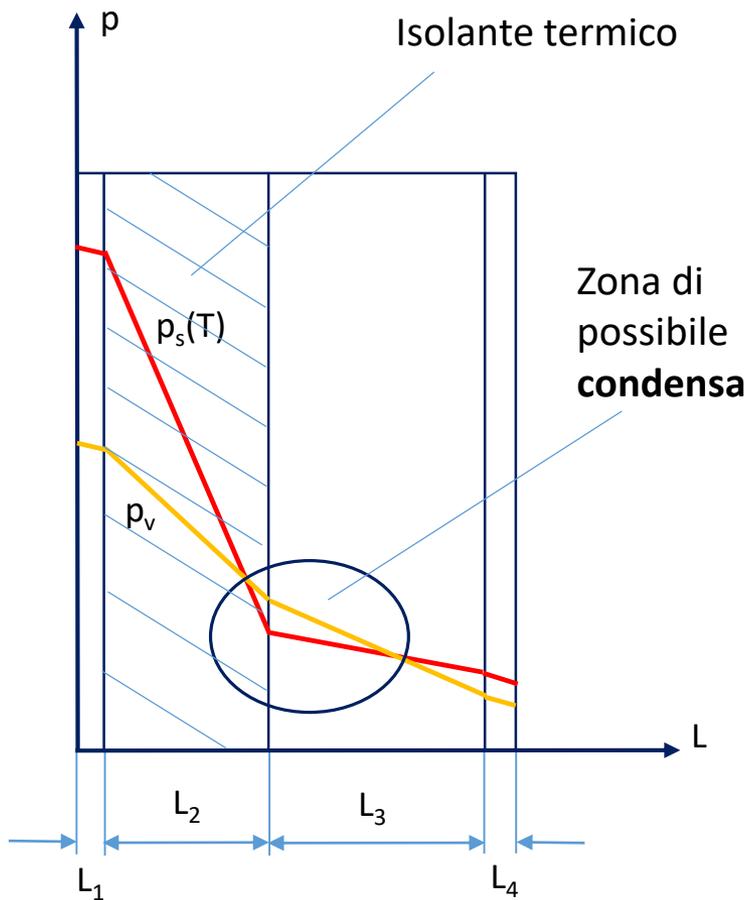
$$p_{v,s,e} = p_{v,i} - \Pi \cdot (p_{v,i} - p_{v,e}) \cdot \left( \frac{L_1}{\pi_1} + \frac{L_2}{\pi_2} + \frac{L_3}{\pi_3} + \frac{L_4}{\pi_4} \right)$$

## Confronto tra le pressioni parziali del vapore e quelle di saturazione nella parete multistrato



**Assenza del fenomeno della condensa**

Fenomeno della condensa interstiziale scongiurato poiché **per ogni sezione la pressione parziale del vapore risulta inferiore a quella di saturazione.**



**Sovrapposizione** tra le due spezzate in un **punto singolo** o in una **zona** della parete → concreta possibilità di **condensa interstiziale**

**Saturazione** in tutta l'area in cui le **pressioni parziali** (andamento teorico) **superano** quelle di saturazione

La spezzata delle **pressioni di saturazione** non viene **modificata** dal fenomeno della **condensa**, quella delle **pressioni parziali** non è più **rappresentativa dell'andamento reale** in tutta la zona di possibile condensa, dove **non è più nota la reale quantità di vapore** presente.

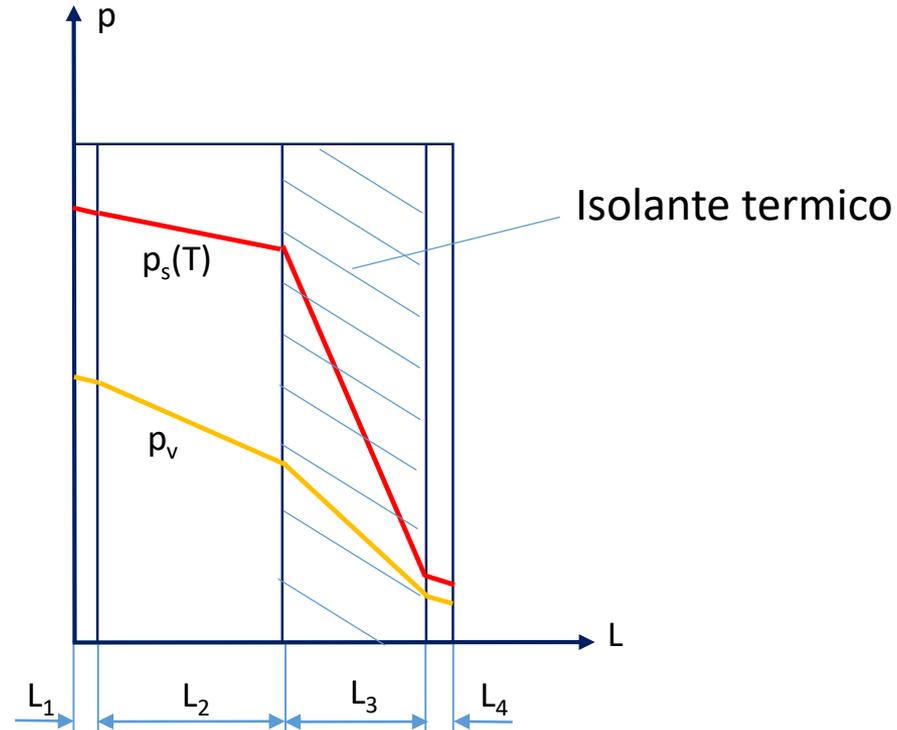
**Punto di inizio condensa:** sezione di **massima la probabilità** del fenomeno → in tale sezione, le due spezzate si toccano, assumendo lo **stesso valore**.

**A destra** di tale sezione la curva delle **pressioni parziali** assume **valori inferiori** o, al massimo risulta essere **tangente** a quella delle **pressioni di saturazione**, essendo in atto il **fenomeno della condensa**, che **fa diminuire la quantità di vapore** presente.

**Successione degli strati determinante** → **Maggior rischio** di condensa all'interno o subito dopo lo strato di isolante (più repentina caduta di temperatura e di **pressione di saturazione**) → **pericoloso posizionare l'isolante all'interno** della parete vicino alla superficie interna (pressioni parziali più elevate)

Preferibile disporre il **più possibile all'esterno** della parete il **materiale isolante**.

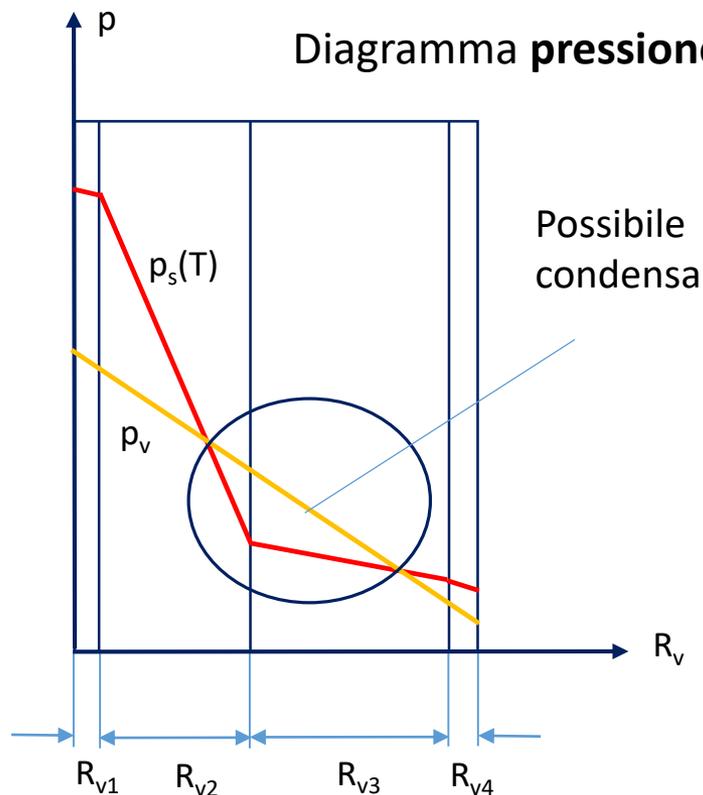
**Possibile soluzione** del problema: **isolamento a cappotto** (posizionamento dello strato isolante all'esterno della parete) per **innalzare la spezzata delle temperature** e conseguentemente delle **pressioni di saturazione** scongiurando l'intersezione con quella delle pressioni parziali.



Altra **possibile soluzione**: applicazione di **barriera al vapore** il più possibile **vicino alla superficie interna** della parete

Strato di **materiale a bassissima permeabilità** al vapore (alluminio, polietilene, PVC o cartone bitumato – **spessore da alcuni centesimi di millimetro a qualche millimetro**) → elevata **caduta della pressione parziale**.

Spessore molto piccolo → **resistenza termica trascurabile** → **stesso andamento** delle temperature e delle **pressioni di saturazione**.



Andamento lineare delle **pressioni parziali (retta)**

$$p_{vx} = p_{vi} - \Pi \cdot (p_{vi} - p_{ve}) \cdot R_{vx} = p_{vi} - \phi_v \cdot R_{vx}$$

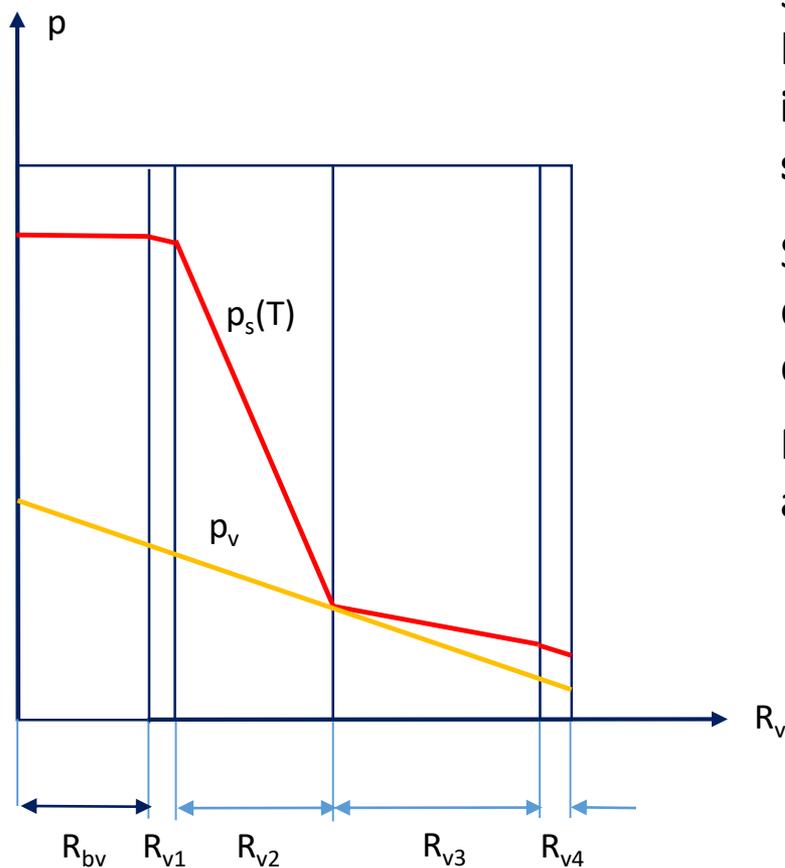
**Coefficiente angolare: flusso** di vapore per unità di superficie.

**Pendenza della retta tanto più accentuata** quanto **maggiore** è il valore del **flusso**.

## Determinazione dello spessore minimo della barriera al vapore

**Pressioni parziali interna ed esterna non modificati** dall'aggiunta della **barriera al vapore** (dipendono da pressioni di saturazione ed umidità relative).

Determinazione della **minima resistenza al vapore necessaria** → **spessore minimo** della barriera al vapore.



Si traccia un **segmento di retta** con **punti estremi** le **pressioni parziali interna ed esterna** che **tocchi in un solo punto** la spezzata delle **pressioni di saturazione**.

Sull'asse delle **ascisse** si legge il **valore minimo** della **resistenza al vapore aggiuntiva**  $R_{bv}$  in grado di **evitare la condensa**.

Nota  $R_{bv}$  si determina lo spessore della barriera al vapore  $L_{bv}$  :

$$R_{bv} = \frac{L_{bv}}{\pi_{bv}} \Rightarrow L_{bv} = R_{bv} \cdot \pi_{bv}$$

$R_{bv}$ : resistenza al vapore della barriera al vapore  $\left[ \frac{m^2 \cdot s \cdot Pa}{Kg} \right]$

$L_{bv}$ : spessore della barriera al vapore  $[m]$

$\pi_{bv}$ : permeabilità della barriera al vapore  $\left[ \frac{kg}{s \cdot m \cdot Pa} \right]$