

### CHIUSURE OPACHE – COMPORTAMENTO TERMO-IGROMETRICO

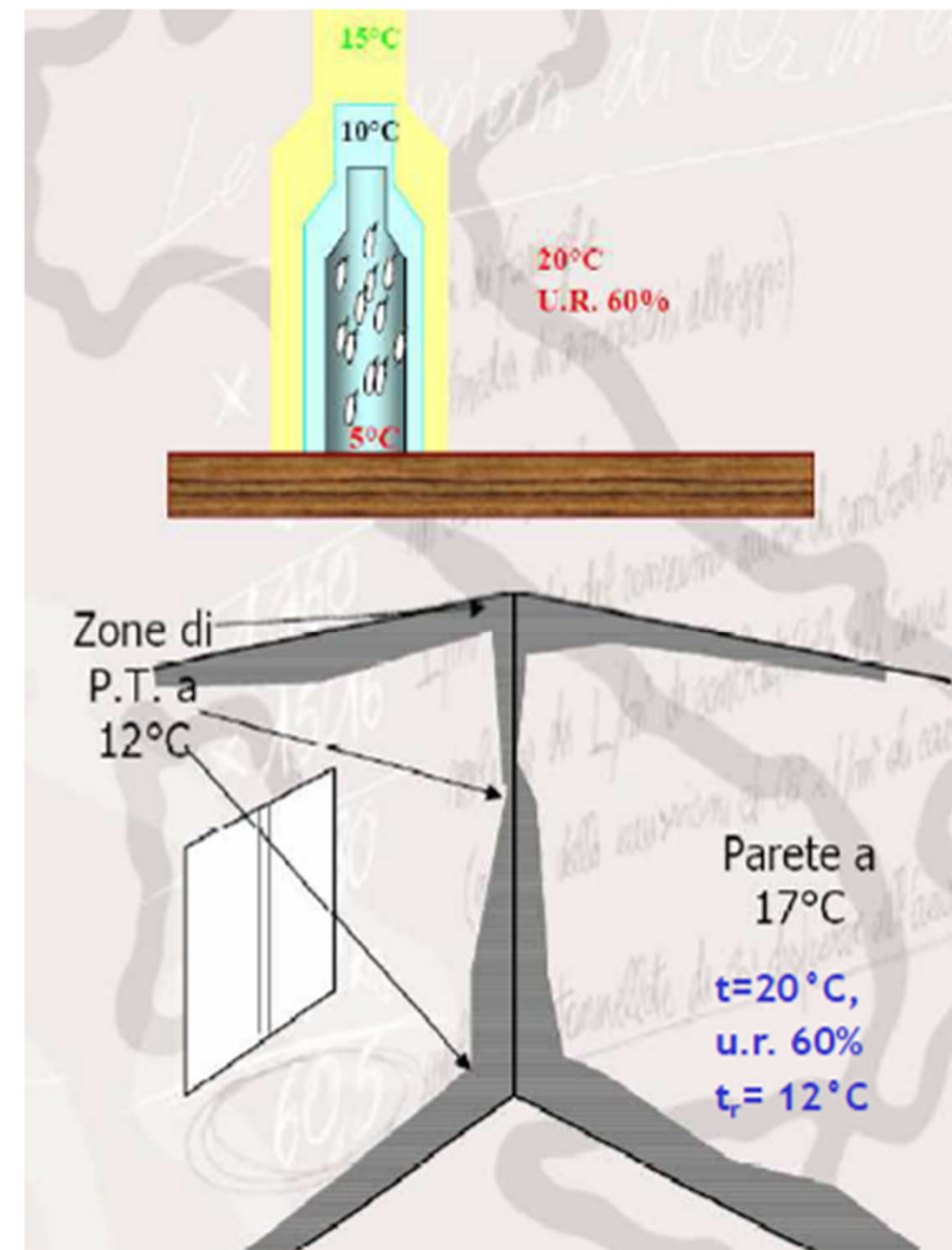
#### CONDENSA SUPERFICIALE

Gli ambienti devono essere ventilati, in maniera naturale o attraverso dispositivi di norma per ridurre la presenza di umidità nell'aria. Elevate concentrazioni di vapore d'acqua e presenza di punti freddi sull'involucro portano a formazione di condensa e quindi alla comparsa di efflorescenze e muffe.

Se la temperatura di una superficie dell'involucro è inferiore o uguale alla temperatura di rugiada dell'aria si ha la formazione di condensa superficiale.

#### Rimedi:

- Ventilazione meccanica controllata;
- Isolamento termico dell'involucro (soprattutto in corrispondenza dei ponti termici)



## CARATTERI TECNOLOGICI DI PROGETTAZIONE AMBIENTALE

### CHIUSURE OPACHE – COMPORTAMENTO TERMO-IGROMETRICO

#### RESISTENZA AL PASSAGGIO DI VAPORE

( $\mu$ ) indica quanto la resistenza al passaggio del vapore di un certo materiale è superiore a quella dell'aria a parità di spessore e di temperatura.

Il coefficiente  $\mu$  rappresenta una caratteristica dei materiali da costruzione e come tale va determinato mediante prove sperimentali di laboratorio.

Per l'aria, essendo un mezzo fisico di confronto,  $\mu = 1$   
Maggiore è il valore di  $\mu$ , più è traspirante il materiale e viceversa

#### COEFFICIENTE DI CONDUCIBILITÀ' DEL VAPORE O PERMEABILITÀ' ( $\delta$ )

misura la quantità di vapore (in Kg) che attraversa lo spessore di 1 metro di un certo materiale su una superficie di 1 m<sup>2</sup> e per una differenza unitaria di pressione di vapore

$S_d =$  Spessore dello strato (in metri) x  $\delta$

$S_d < 1$  materiale traspirante

$1 < S_d < 20$  freno vapore

$S_d > 20$  barriera al vapore

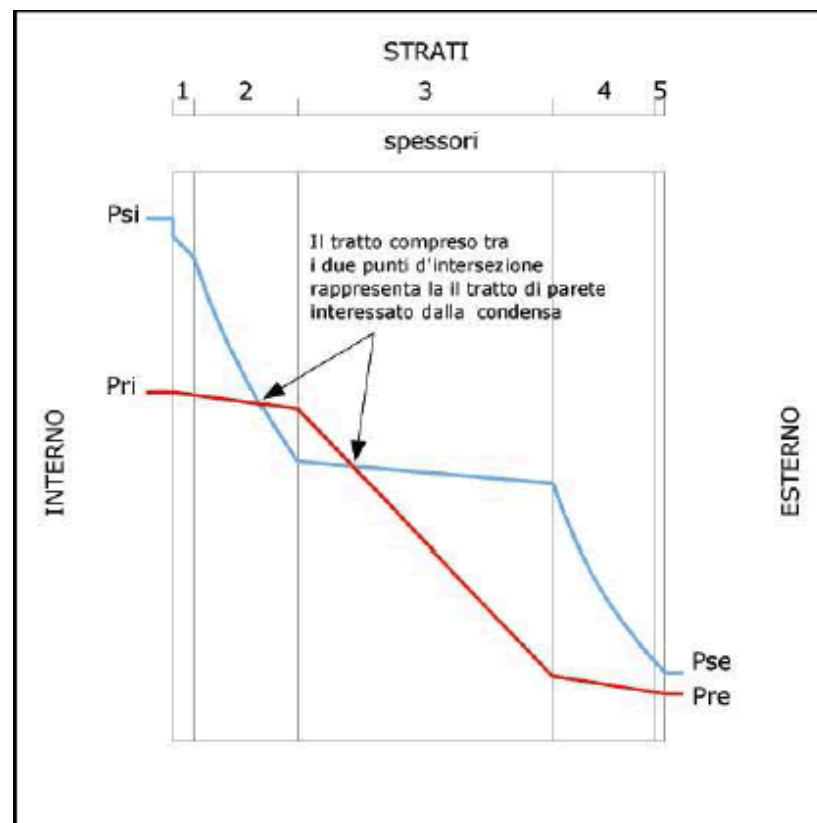
Materiale	Densità Kg/m <sup>3</sup>	Coefficiente di resistenza al passaggio del vapore
Intonaco di		
- Malta di calce e cemento	-	15
- Malta di cemento	-	19
- Malta di gesso e calce	-	11,5
- Gesso (rasatura)	-	6,2
Calcestruzzo		
- Pesante	-	80 + 100
- Di pomice o scorie o lapillo	400 + 800	7
- Cellulare	-	7
- Di argilla espansa (blocchi cavi)	-	7 + 10
Cemento amianto compresso	-	50
Cartone e gesso	-	6
Murature in:		
- Klinker	2050	384 + 469
- Mattoni pieni o forati	1360	6 + 6,8
	1530 + 1860	9,3 + 10
Fibre vegetali o minerali	-	1,2
Materiali schiumosi:		
Polistirolo	10	10 + 50
	20	40 + 100
	40	80 + 210
Poliuretano	-	50 + 100
Cartonfeltro bitumato.	500 g/m <sup>2</sup>	3640 + 18280
Foglio di cloruro di polivinile.	25 g/m <sup>2</sup>	50.000
Spalmatura di bitume.	-	80.000
Cartonfeltro bitumato ricoperto	1500 + 2000 g/m <sup>2</sup>	80.000
Foglio di polietilene	-	100.000
Foglio di alluminio	≥ 125 g/m <sup>2</sup>	praticamente infinito

## CHIUSURE OPACHE – COMPORTAMENTO TERMO-IGROMETRICO

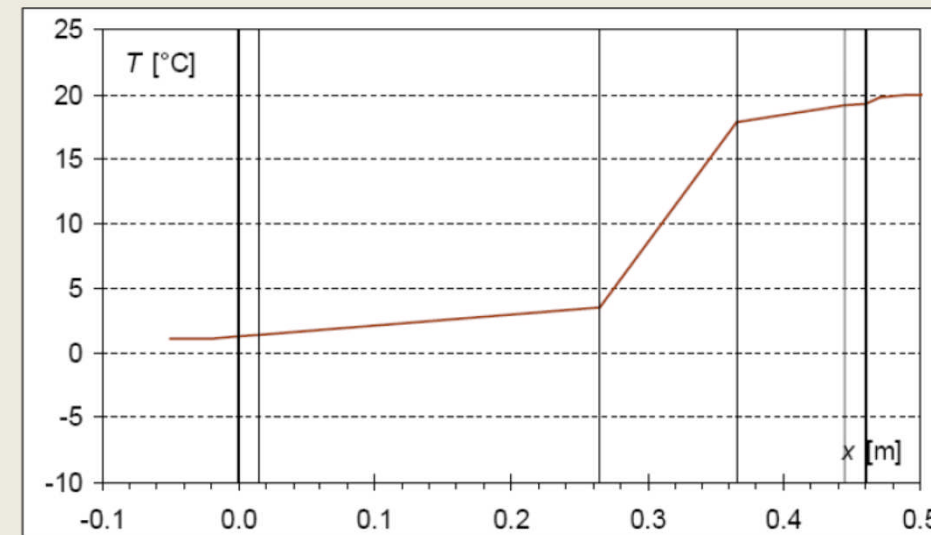
### DIAGRAMMA DI GLASER – condensa interstiziale

Il vapore acqueo presente in un ambiente, tende a muoversi da una zona in cui la pressione di vapore è più elevata ad un'altra in cui tale pressione è meno elevata;

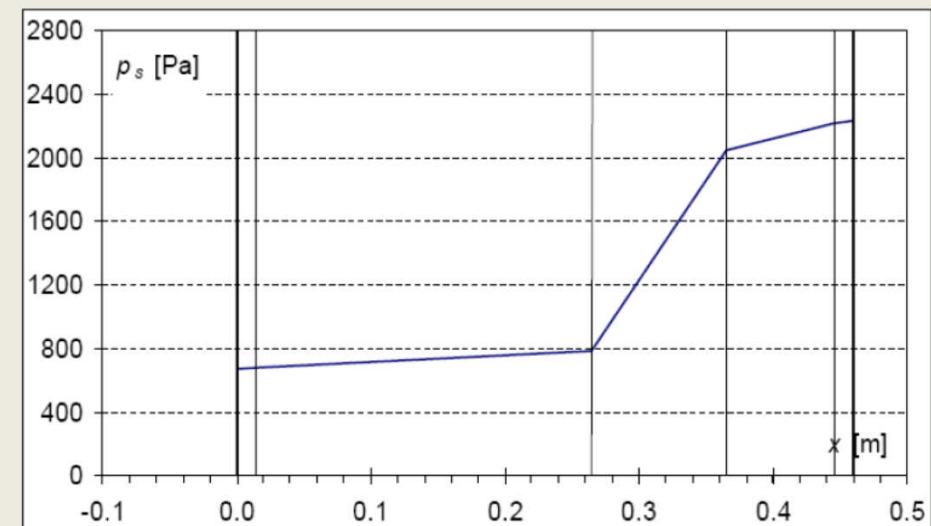
La condensazione del vapore d'acqua si verifica quando la pressione parziale dello stesso raggiunge la pressione di saturazione, quest'ultima funzione della temperatura (temperatura di rugiada)



1. Calcolo delle temperature ad ogni interfaccia, sulla base della temperatura esterna (UNI 10349, valore medio mensile):



2. Calcolo (da formule o tabelle) delle pressioni di saturazione del vapor d'acqua corrispondenti alle temperature di interfaccia di cui al passo 1:





## Calcolo della pressione parziale di vapore in un ambiente

$$P_{v \text{ int}} = \Phi_{\text{int}} \times p_{\text{sat}} (T \text{ int})$$

$$P_{v \text{ est}} = \Phi_{\text{est}} \times p_{\text{sat}} (T \text{ est})$$

Esempio:

$$T \text{ int} = 20 \text{ °C} \quad \Phi_{\text{int}} = 50 \%$$

$$P_{\text{sat int}} = 2,338 \text{ kPa}$$

$$P_{v \text{ int}} = 0,5 \times 2,338 \text{ kPa} = 1,169 \text{ kPa}$$

$$T \text{ est} = 0 \text{ °C} \quad \Phi_{\text{est}} = 80 \%$$

$$P_{\text{sat est}} = 0,611 \text{ kPa}$$

$$P_{v \text{ est}} = 0,8 \times 0,611 \text{ kPa} = 0,488 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{sat int}} > P_{\text{sat est}}$$

Quindi il vapore si muove dall'ambiente interno a quello esterno

Laterificio Pugliese...

Prestazioni

La tabella 3 riporta i valori delle pressioni di saturazione del vapore acqueo  $P_s$  (kPa) in funzione della temperatura.

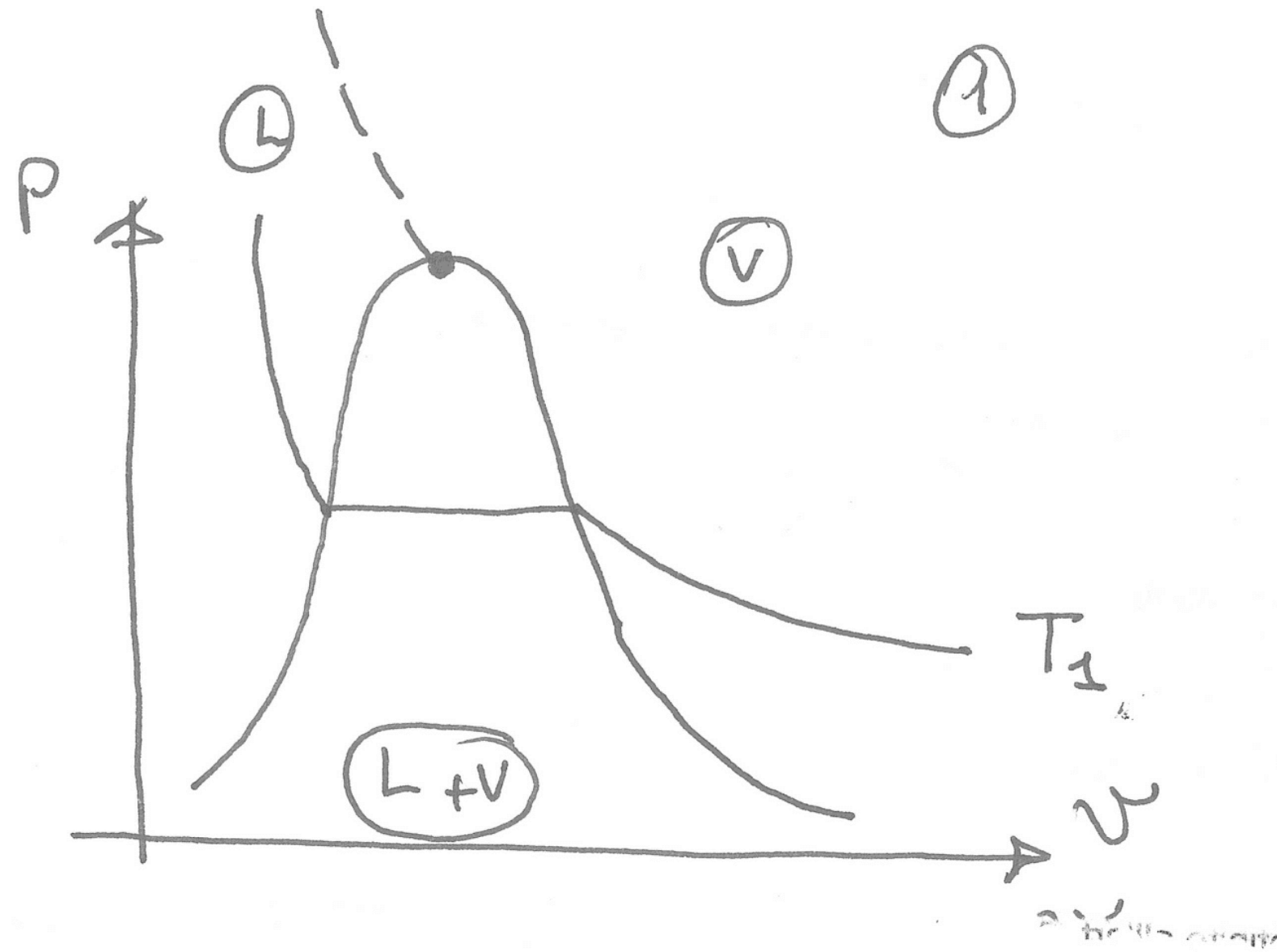
Tabella 62: pressione di saturazione del vapor d'acqua  $P_s$  (kPa) in funzione della temperatura

°C	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
24,0	2,991	3,009	3,028	3,046	3,065	3,083	3,102	3,121	3,140	3,159
23,0	2,814	2,831	2,849	2,866	2,884	2,901	2,919	2,937	2,955	2,973
22,0	2,646	2,663	2,679	2,696	2,712	2,729	2,746	2,763	2,780	2,797
20,0	2,338	2,352	2,367	2,382	2,397	2,412	2,427	2,442	2,457	2,472
19,0	2,196	2,209	2,223	2,237	2,251	2,266	2,280	2,294	2,309	2,423
18,0	2,061	2,074	2,087	2,104	2,114	2,127	2,141	2,154	2,168	2,182
17,0	1,934	1,947	1,959	1,972	1,984	1,997	2,010	2,022	2,350	2,048
16,0	1,814	1,826	1,838	1,850	1,861	1,873	1,885	1,898	1,910	1,922
15,0	1,701	1,712	1,723	1,734	1,746	1,757	1,768	1,780	1,791	1,803
14,0	1,594	1,605	1,615	1,626	1,636	1,647	1,658	1,668	1,679	1,690
13,0	1,493	1,503	1,513	1,523	1,533	1,543	1,553	1,563	1,574	1,584
12,0	1,398	1,408	1,417	1,426	1,436	1,445	1,455	1,464	1,474	1,484
11,0	1,309	1,317	1,326	1,335	1,344	1,353	1,362	1,371	1,380	1,389
10,0	1,224	1,232	1,241	1,249	1,257	1,266	1,274	1,283	1,291	1,300
9,0	1,145	1,152	1,160	1,168	1,176	1,184	1,192	1,200	1,208	1,216
8,0	1,070	1,077	1,084	1,092	1,099	1,107	1,114	1,220	1,129	1,720
7,0	0,999	1,006	0,013	1,020	1,027	1,034	1,041	1,048	1,055	1,062
6,0	0,933	0,939	0,946	0,952	0,959	0,965	0,972	0,979	0,986	0,992
5,0	0,871	0,877	0,883	0,889	0,895	0,901	0,907	0,914	0,920	0,926
4,0	0,812	0,818	0,823	0,829	0,835	0,841	0,847	0,853	0,858	0,864
3,0	0,757	0,762	0,768	0,773	0,779	0,784	0,790	0,795	0,801	0,806
2,0	0,705	0,71	0,715	0,720	0,726	0,731	0,736	0,741	0,746	0,752
1,0	0,657	0,662	0,666	0,671	0,676	0,681	0,686	0,690	0,695	0,700
0,0	0,611	0,616	0,620	0,621	0,629	0,634	0,638	0,643	0,647	0,652
-1,0	0,563	0,568	0,572	0,577	0,582	0,587	0,592	0,596	0,601	0,606
-2,0	0,518	0,522	0,527	0,531	0,535	0,540	0,544	0,549	0,554	0,558
-3,0	0,476	0,480	0,484	0,488	0,492	0,497	0,501	0,505	0,509	0,514
-4,0	0,438	0,441	0,445	0,449	0,453	0,457	0,460	0,464	0,468	0,472
-5,0	0,402	0,405	0,409	0,412	0,416	0,419	0,423	0,427	0,430	0,434
-6,0	0,369	0,172	0,375	0,378	0,382	0,385	0,388	0,392	0,395	0,398
-7,0	0,338	0,141	0,344	0,347	0,350	0,353	0,356	0,359	0,363	0,388
-8,0	0,310	0,313	0,316	0,318	0,321	0,324	0,327	0,330	0,332	0,315
-9,0	0,284	0,286	0,289	0,292	0,294	0,297	0,299	0,302	0,305	0,307
-10,0	0,260	0,262	0,265	0,267	0,269	0,272	0,274	0,277	0,279	0,281

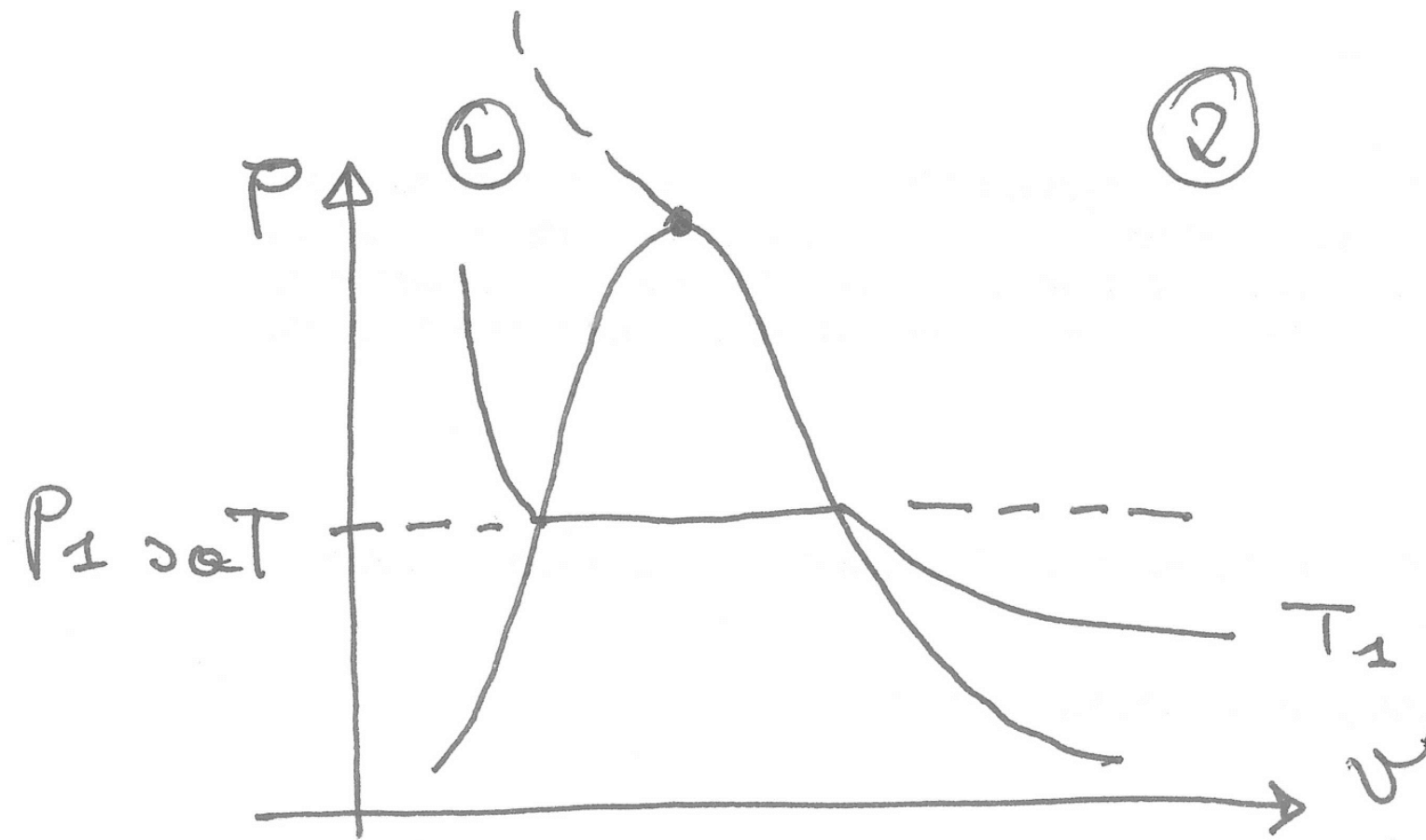
Diagramma di Glaser

1. Si calcola la trasmittanza  $U$  di una parete
2. Si calcola il profilo di temperatura (vedi esercizio svolto a lezione) e quindi si calcola il valore della temperatura all'interfaccia dei vari strati solidi
3. Si ricava il valore di  $P_{sat}$  in corrispondenza della interfaccia di ogni strato solido (vedi Tabella precedente)
4. Si calcola  $P_{v\ est}$  in funzione di  $\Phi_{est}$  e  $T_{est}$
5. Si calcola  $P_{v\ int}$  in funzione di  $\Phi_{int}$  e  $T_{int}$
6. Si calcola il profilo di  $p_v$  all'interno della parete e in corrispondenza dell'interfaccia di ogni strato solido
7. Se in un qualunque punto della parete  $p_v > p_{sat}$  si ha formazione di condensa
8. Se  $p_v < p_{sat}$  non si ha formazione di condensa

Modello fisico di riferimento

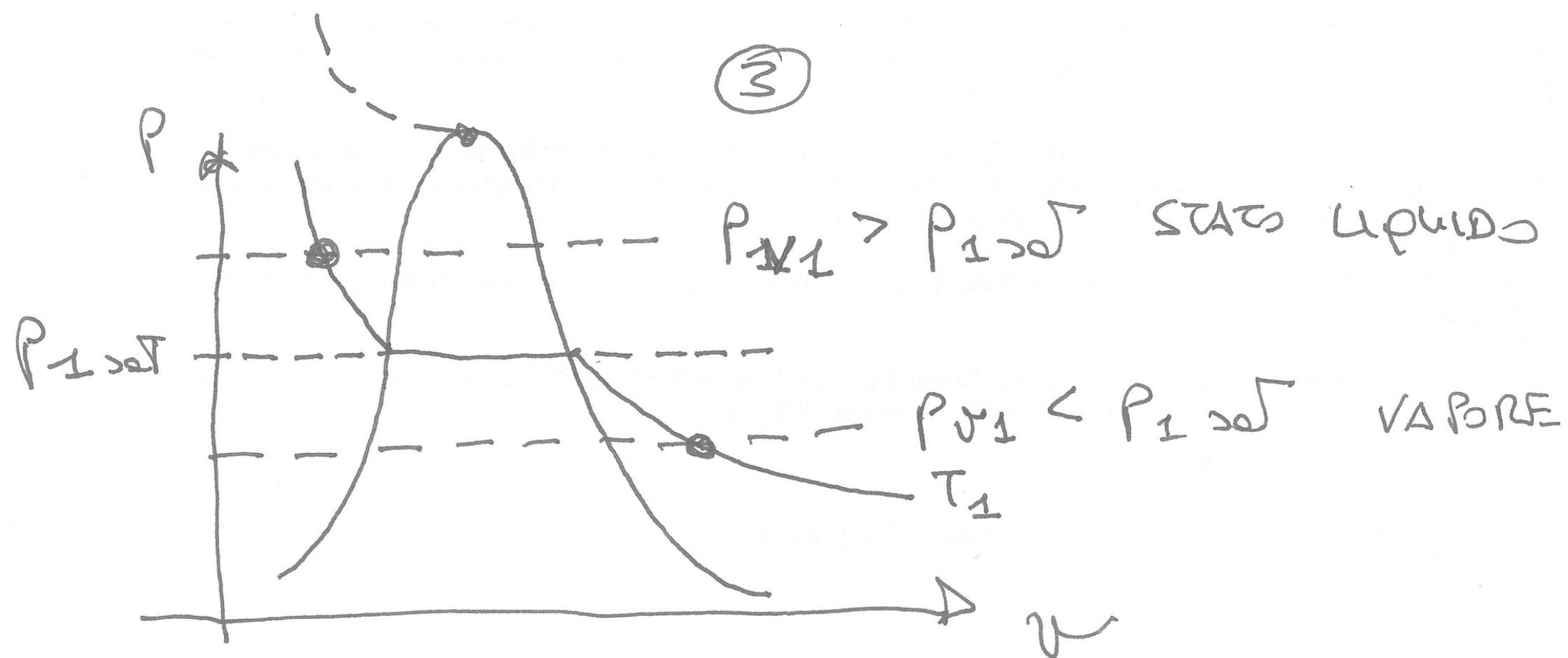


Modello fisico di riferimento





Modello fisico di riferimento

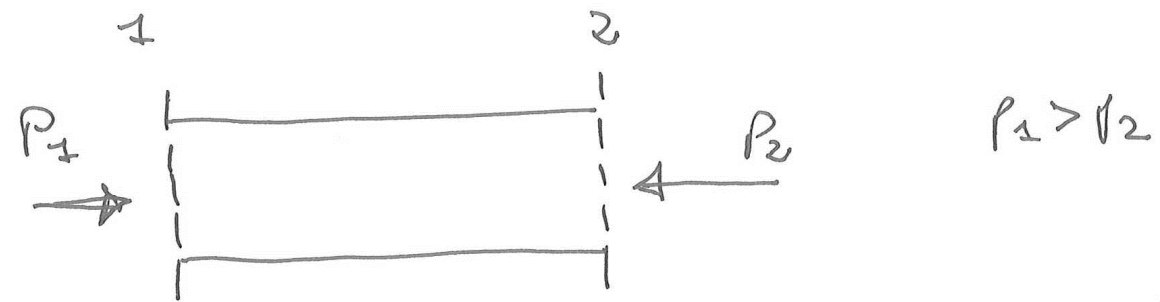




### Modalità di controllo dei fenomeni di formazione di condensa

1. Aumentare il profilo di  $p_{sat}$  all'interno dei vari strati (isolamento a cappotto)
2. Diminuire il profilo di  $p_v$  all'interno dei vari strati (barriera al vapore)
3. In ogni caso deve risultare in tutti i punti della parete  $p_v < p_{sat}$

Modalità di controllo dei fenomeni di formazione di condensa



Flusso di un fluido reale in regime stazionario

$$\begin{cases} \frac{P_2 - P_1}{\rho} + f (z_2 - z_1) + \frac{1}{2} (w_2^2 - w_1^2) + E_d = 0 \\ w = \rho w S \end{cases}$$

da cui

$$P_2 = P_1 - E_d$$

↳ energia di riposta per fenomeni di attrito

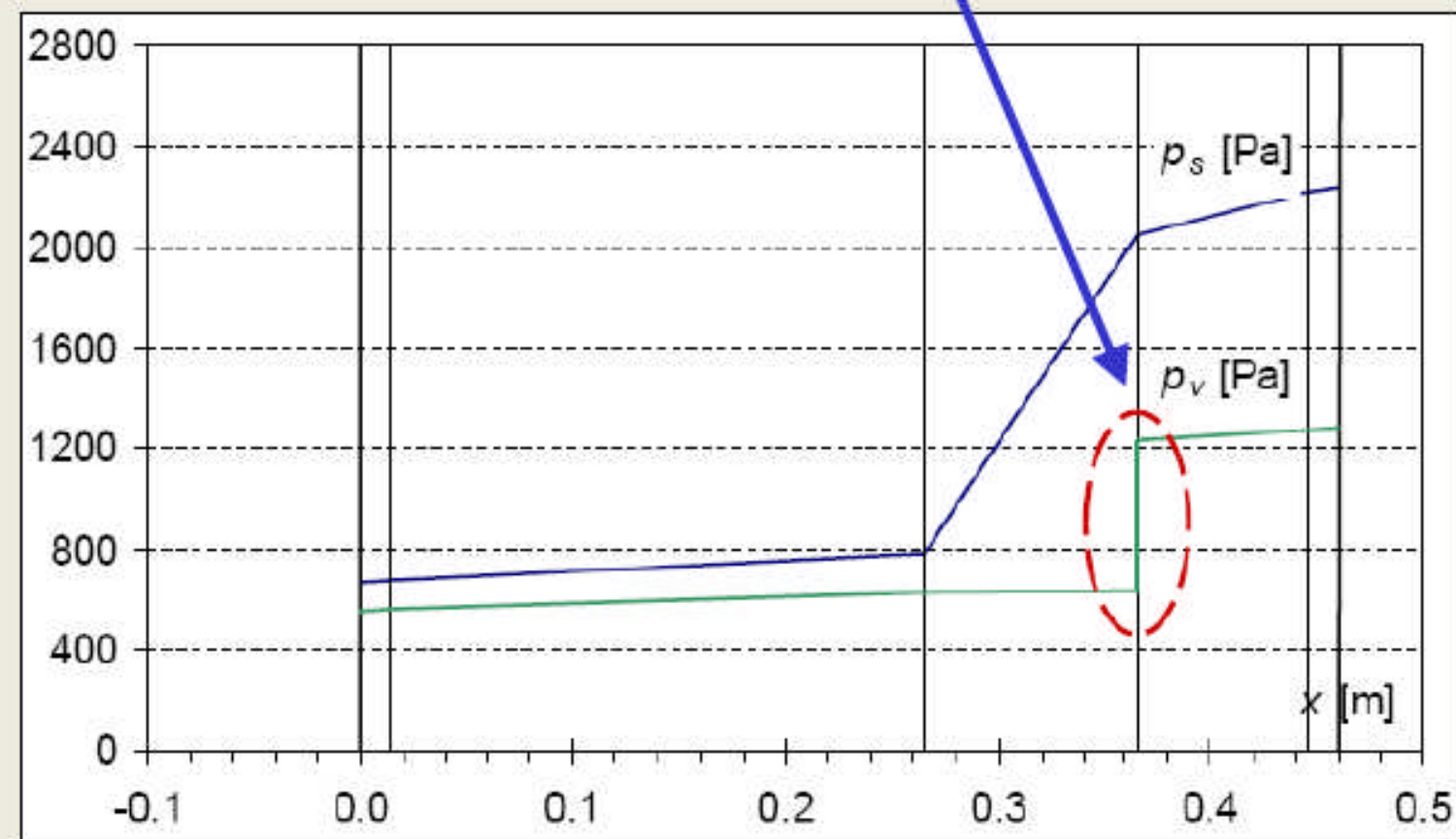
$E_d \propto \frac{1}{fu} \Rightarrow$  aumentando la permeabilità diminuisce  $E_d$  e quindi aumenta  $P_2$

## CHIUSURE OPACHE

### DIAGRAMMA DI GLASER – condensa interstiziale

Intervento 1 – Disposizione verso il lato interno, degli strati a maggiore resistenza al passaggio del vapore  
(barriera al vapore polietilene  $s=0,3\text{mm}$   $\mu=40000$ )

Caso di studio 1/B: introduzione di barriera al vapore in polietilene [ $d=0.3\text{ mm}$ ,  $\mu=40\cdot 10^3$ ]

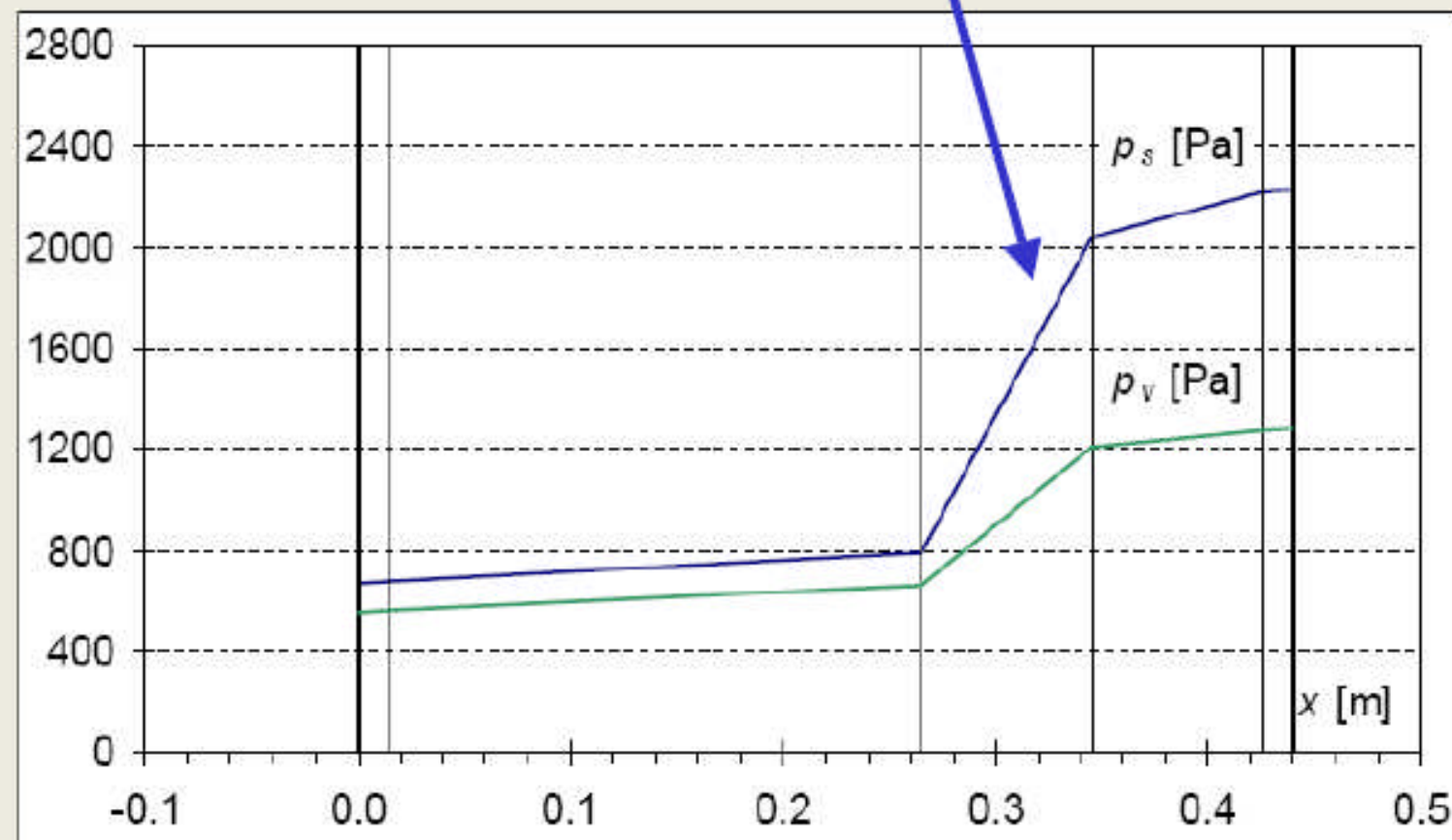


CHIUSURE OPACHE

DIAGRAMMA DI GLASER – condensa interstiziale

Intervento 2 – Cambiamento del materiale isolante con uno a minore permeabilità  
(poliuretano  $\delta=2 \cdot 10^{-12}$  kg/m s Pa)

Caso di studio 1/C: sostituzione strato termoisolante con poliuretano [ $d=8$  cm,  $\pi_s=1+2 \cdot 10^{-12}$  kg/(m·s·Pa),  $\lambda=0.032$  W/(m·K)]



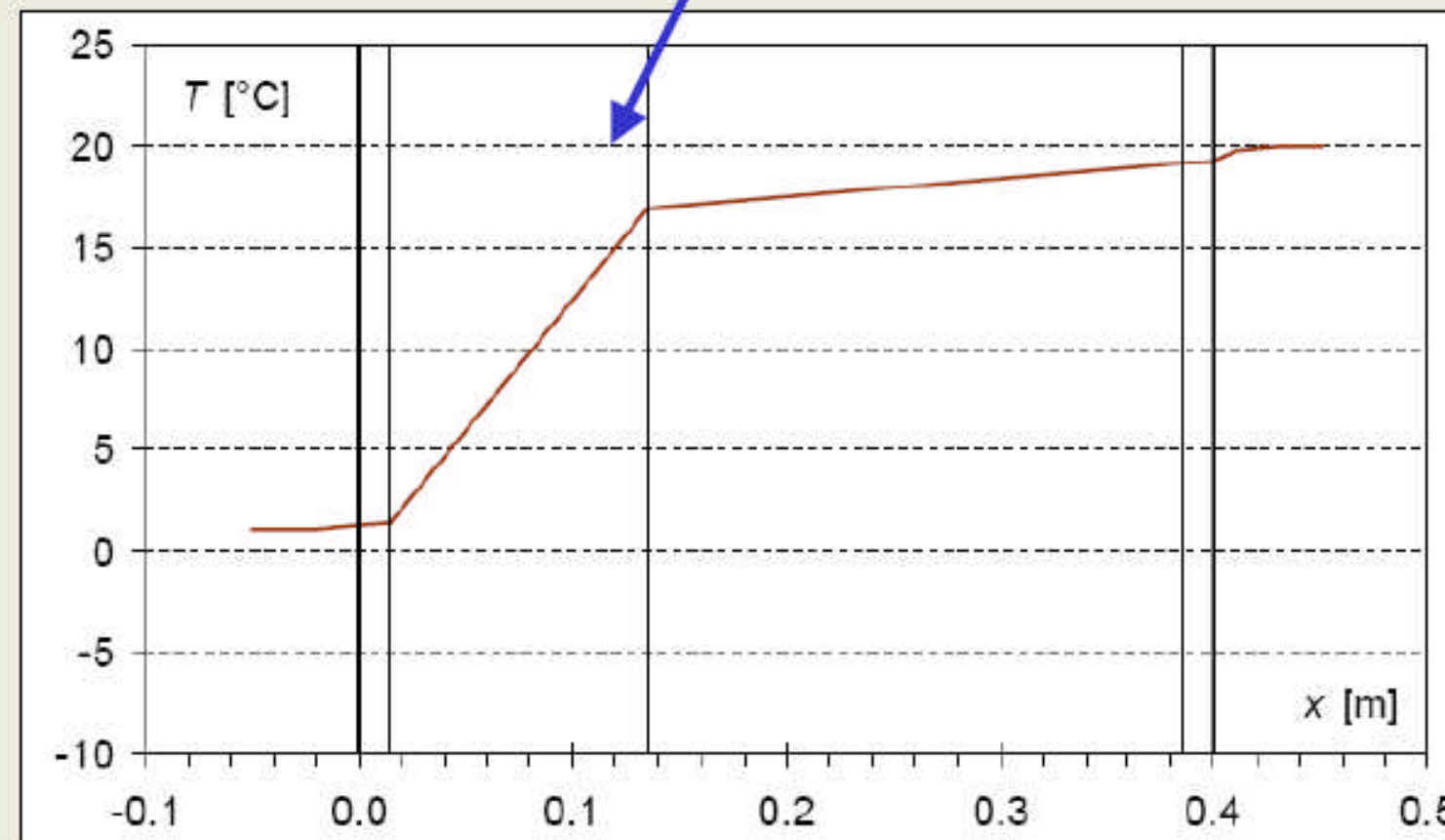


## CHIUSURE OPACHE

### DIAGRAMMA DI GLASER – condensa interstiziale

Intervento 3 – Cambiamento stratigrafia con isolante verso l'esterno – isolamento a cappotto

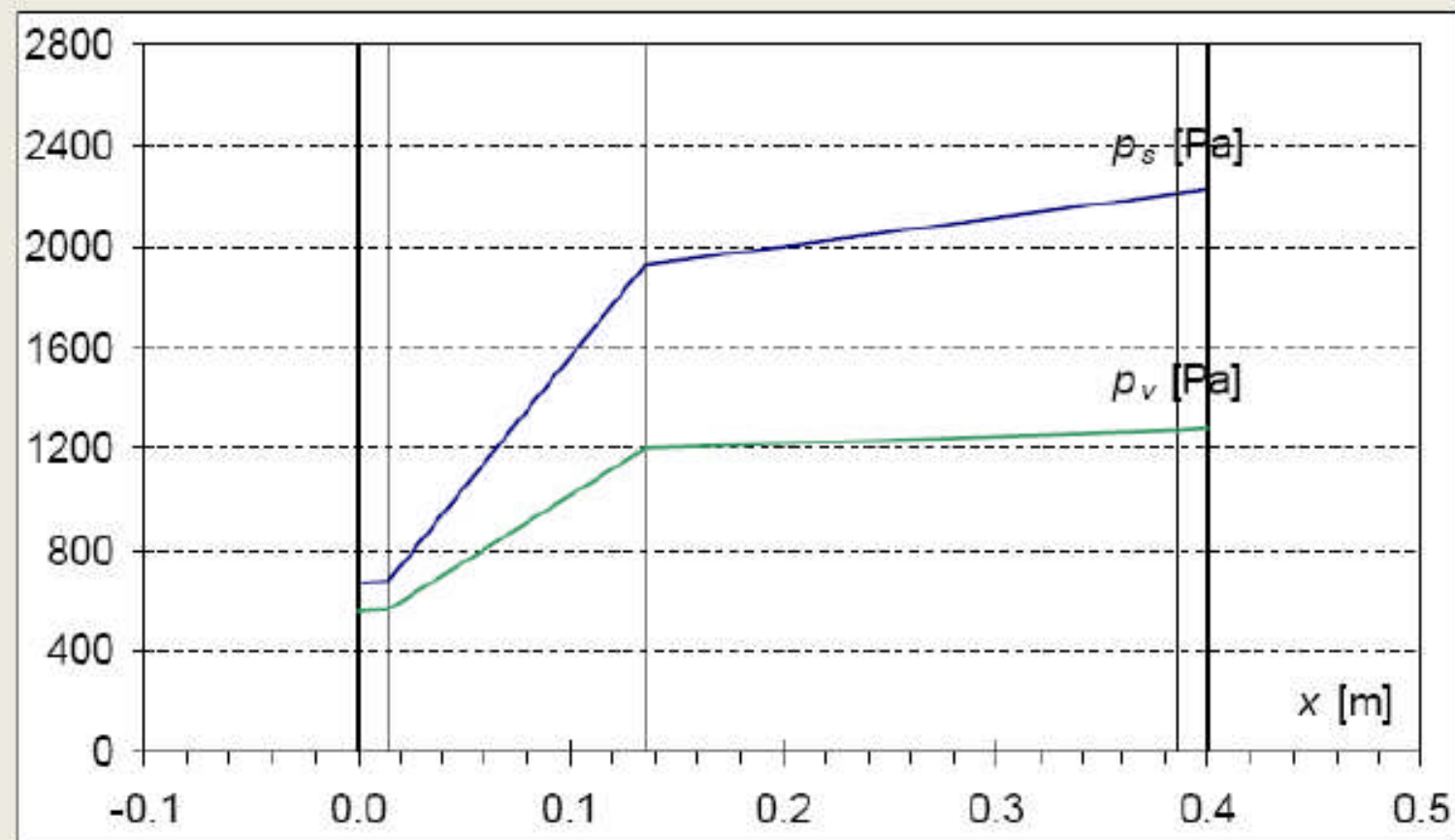
Caso di studio 2/A: gennaio, parete verticale con semipieno 25 cm, cappotto esterno in pannelli ( $d=12$  cm,  $\pi_s=150 \cdot 10^{-12}$  kg/(m·s·Pa),  $\lambda=0.046$  W/(m·K)) – profilo della temperatura



CHIUSURE OPACHE

DIAGRAMMA DI GLASER – condensa interstiziale

Caso di studio 2/A: gennaio, parete verticale con semipieno 25 cm, cappotto esterno in pannelli ( $d=12$  cm,  $\pi_a=150 \cdot 10^{-12}$  kg/(m·s·Pa),  $\lambda=0.046$  W/(m·K)) - profilo delle pressioni di vapore







## CARATTERI TECNOLOGICI DI PROGETTAZIONE AMBIENTALE







