

CONDENSE

Ph.D. Ing. Paolo Cavalletti
Professore a contratto Scuola Politecnica Genova

Email: paolo.cavalletti@unige.it

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

INTONACI DETERIORATI PER CONDENSE

Indice dell'incontro:

- 1. CENNI DI ARIA UMIDA
- 2. CONDENSE
- 3. VERIFICA DI GLASER
- 4. MIGLIORAMENTI

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

CENNI DI ARIA UMIDA

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

CENNI DI PSICROMETRIA

L'**aria atmosferica** contiene aria secca, vapor d'acqua e un elevato numero di contaminanti presenti in fase solida, liquida e aeriforme (polveri, pollini, batteri,...).

È detta **aria umida** l'aria atmosferica priva di contaminanti. L'aria umida risulta quindi una *miscela di aria secca e vapor d'acqua*. In particolare, sebbene la quantità di acqua presente nell'aria atmosferica sia piccola, la maggiore o minore presenza di vapor d'acqua influenza in modo significativo le condizioni di benessere fisiologico dell'organismo umano.

La **psicrometria** è la disciplina che si occupa dello studio della termodinamica dell'aria umida.

L'**aria secca** è una miscela di ossigeno, azoto e piccoli quantitativi di altri gas, tra cui argon e anidride carbonica.

Composizione dell'aria secca in termini di frazioni molari e massiche dei singoli componenti:

Gas		ν [%]	π [%]
Azoto	N_2	78.084	75.511
Ossigeno	O_2	20.9476	23.1413
Argon	Ar	0.934	1.288
Anidride carbonica	CO_2	0.0314	0.0477
Neon	CH_4	0.001818	0.001007
Elio	Ne	0.000524	0.000365
Metano	He	0.00015	0.000021
Altri		0.00051	0.01065
Anidride solforosa, Idrogeno, Krypton, Xeno, Ozono			

La temperatura dell'aria nelle applicazioni relative al condizionamento ambientale varia tra circa -10 °C e 50 °C.
Essendo la temperatura critica dell'aria secca pari a -140.62 °C, ne consegue che l'aria secca è lontana dalle condizioni di condensazione e può dunque essere trattata con ottima approssimazione come un gas perfetto.

La costante particolare dell'aria secca risulta R_{1a} = 287.055 J/kgK.

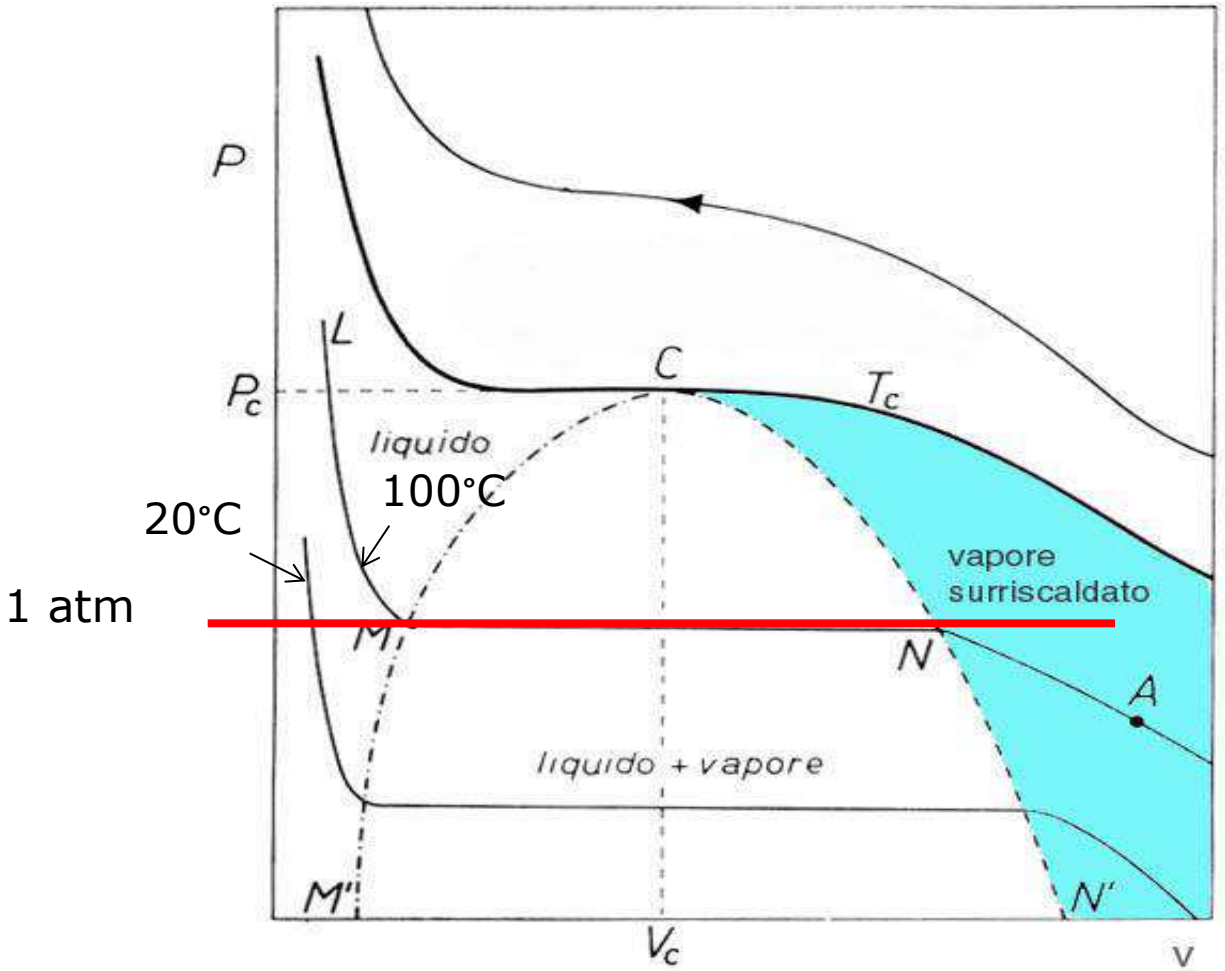
N.B. La frazione molare del componente i-esimo di una miscela di gas perfetti esprime la frazione volumetrica del componente stesso.

Legge di Dalton: $p_{tot}=p_{atm}=p_v+p_{as}$ legge delle pressioni parziali

OA.GE ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA
FOA.GE FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

Il **vapor d'acqua** presente nell'aria umida si trova nello stato di *vapore surriscaldato*, ovvero ad una pressione parziale p inferiore alla pressione di saturazione p_s alla stessa temperatura.

Il passaggio di fase liquido-vapore sul piano pressione-volume specifico



OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

Nozioni di TERMOIGROMETRIA (Aria Umida)

La temperatura e la pressione cui avviene un passaggio di fase sono dette *temperatura di saturazione Ts* e *pressione di saturazione ps*. in corrispondenza della pressione di 1.013 bar (pressione normale al livello del mare) la temperatura di saturazione dell'acqua, come tutti sanno è 100°C.

Ossia l'acqua bolle a 100 °C.

Cosa succede a 2000 m di quota. ?

La pressione, dalla legge di Stevino è

$p = p_{norm} - \rho g h$ ossia circa 0.8 bar.

A tale pressione la temperatura di ebollizione dell'acqua (cioè la temperatura di saturazione 0.8 bar) è 93,51 °C, cioè ben circa 7°C in meno.

t °C	p bar	p bar	t °C
0	0.006 017	0.006 02	0
0.01	0.006 112	0.006 11	0.01
2	0.007 055	0.010	6.98
4	0.008 129	0.020	17.51
6	0.009 345	0.030	24.10
8	0.010 720	0.040	28.98
10	0.012 270	0.050	32.90
12	0.014 014	0.060	36.18
14	0.015 973	0.070	39.03
15	0.017 139	0.080	41.54
16	0.018 168	0.090	43.79
18	0.020 624	0.10	45.83
20	0.023 366	0.15	54.00
25	0.031 660	0.20	60.09
30	0.042 415	0.25	64.99
35	0.056 216	0.30	69.13
40	0.073 750	0.35	72.71
45	0.095 820	0.40	75.89
50	0.123 35	0.45	78.74
55	0.157 41	0.50	81.35
60	0.199 20	0.60	85.95
65	0.250 09	0.70	89.96
70	0.311 62	0.80	93.51
75	0.385 49	0.90	96.71
80	0.473 60	1.00	99.63
85	0.578 03	1.013 25	100.00
90	0.701 09	1.20	104.81
95	0.845 26	1.40	109.32
100	1.013 25	1.60	113.32
105	1.208 0	1.80	116.93
110	1.432 7	2.00	120.23
115	1.690 6	2.50	127.43
120	1.985 4	3.00	133.54
125	2.321 0	3.50	138.88
130	2.701 3	4.00	143.63
135	3.130 8	4.50	147.92
140	3.613 8	5.00	151.85
145	4.155 2	6.00	158.84

TERMOIGROMETRIA (Aria Umida)

Nei casi correnti a noi interessa il campo di temperature tra – 40 e + 40 °C

Si può avere condensa anche sotto 0°C!

Anziché usare le tabelle si può usare la seguente formuletta (meno precisa)

$P_s(t)=1,35*(0,0001*t^3+0,013*t^2+0,3336*t+4,5111)$

- p [millibar]
- t [°C] valida tra –10 e + 40°C

t °C	p bar	p bar	t °C
-40	0.000129	0.006 02	0
-38	0.000161	0.006 11	0.01
-36	0.000201	0.010	6.98
-34	0.000250	0.020	17.51
-32	0.000309	0.030	24.10
-30	0.000381	0.040	28.98
-28	0.000469	0.050	32.90
-26	0.000574	0.060	36.18
-24	0.000701	0.070	39.03
-22	0.000853	0.080	41.54
-20	0.001035	0.090	43.79
-18	0.001252	0.10	45.83
-16	0.001510	0.15	54.00
-14	0.001815	0.20	60.09
-12	0.002176	0.25	64.99
-10	0.002602	0.30	69.13
-8	0.003102	0.35	72.71
-6	0.003689	0.40	75.89
-4	0.004375	0.45	78.74
-2	0.005176	0.50	81.35
0	0.006 017	0.60	85.95
0.01	0.006 112	0.70	89.96
2	0.007 055	0.80	93.51
4	0.008 129	0.90	96.71
6	0.009 345	1.00	99.63
8	0.010 720	1.013 25	100.00
10	0.012 270	1.20	104.81
12	0.014 014		
14	0.015 973		
15	0.017 139		
16	0.018 168		
18	0.020 624		
20	0.023 366		
25	0.031 660		
30	0.042 415		
35	0.056 216		
40	0.073 750		

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

Grandezze fondamentali

Umidità relativa (i)

È definita come il *rapporto tra la massa del vapore* m_v *e la massa del vapor saturo* m_s *alla stessa temperatura*:

$$\mathbf{i = m_v / m_s = p_v / p_s}$$

L'umidità relativa **i** potrà quindi variare nell'intervallo (**0 ÷ 1**)

Nella pratica l'umidità relativa **i** viene espressa in unità percentuali.

Umidità assoluta – grado igrometrico (y oppure w oppure x)

Si definisce umidità assoluta dell'aria umida **x** il *rapporto tra la massa del vapore* m_v *e la massa dell'aria secca* ρ_a:

$$\mathbf{y = m_v / m_a}$$

Questo rapporto (adimensionale) viene espresso in kg di vapore (kg_v) per kg di aria secca (kg_a) e cioè con le dimensioni [kg_v /kg_a].

Rappresenta il contenuto in massa di vapore presente nell'aria per ogni kg di aria secca.

Misura empirica dell'umidità

la condensazione avviene quando l'aria si raffredda bruscamente al contatto con una superficie più fredda delle altre (un vetro di una finestra, una parete esposta al nord, una trave o un pilastro in calcestruzzo)



Supponiamo di misurare T stanza=20°C e T condensa 16°C trovare i.

_____

_____

VERIFICA DI CONDENSA SUPERFICIALE (DI BASE)

Calcolo della pressione parziale del vapore p_v in un ambiente a temperatura T_a ed umidità relativa i%

In una stanza è presente aria a T_a=20°C ed i=60%. Determinare la pressione parziale del vapore nell'aria, e quella dello stesso vapore nell'aria in prossimità di una parete fredda (vetro della finestra) che si trovi alla temperatura di 10°C. Determinare anche la temperatura di rugiada dell'aria ambiente.

Dalle tabelle p_s(20°C)=0.023366bar $i=p_v/p_s=0.6$

$p_v=0.6*0.023366bar=0.0140bar$

Dalla stessa tabella la temperatura di saturazione a p_v=0.014014bar risulta 12°C (temperatura di rugiada).

Quindi sul vetro si forma condensa. Infatti la pressione di saturazione alla temperatura del vetro di 10°C risulta 0.012270bar<0.0140bar (pressione parziale del vapore nell'aria).

Se $p_s(T)<p_v$ (locale) si ha un fenomeno di condensazione.

A questo punto possiamo introdurre una relazione che leghi le grandezze prima definite:

$$y = 0.622 \frac{i \cdot p_s(T_a)}{p_t - i \cdot p_s(T_a)}$$

Le proprietà dell'aria vanno generalmente abbinate ad informazioni riguardanti l'Entalpia, che rappresenta lo stato energetico del sistema, è funzione di stato, è misurata in kJ (energia) o kJ/kg (se specifica) :

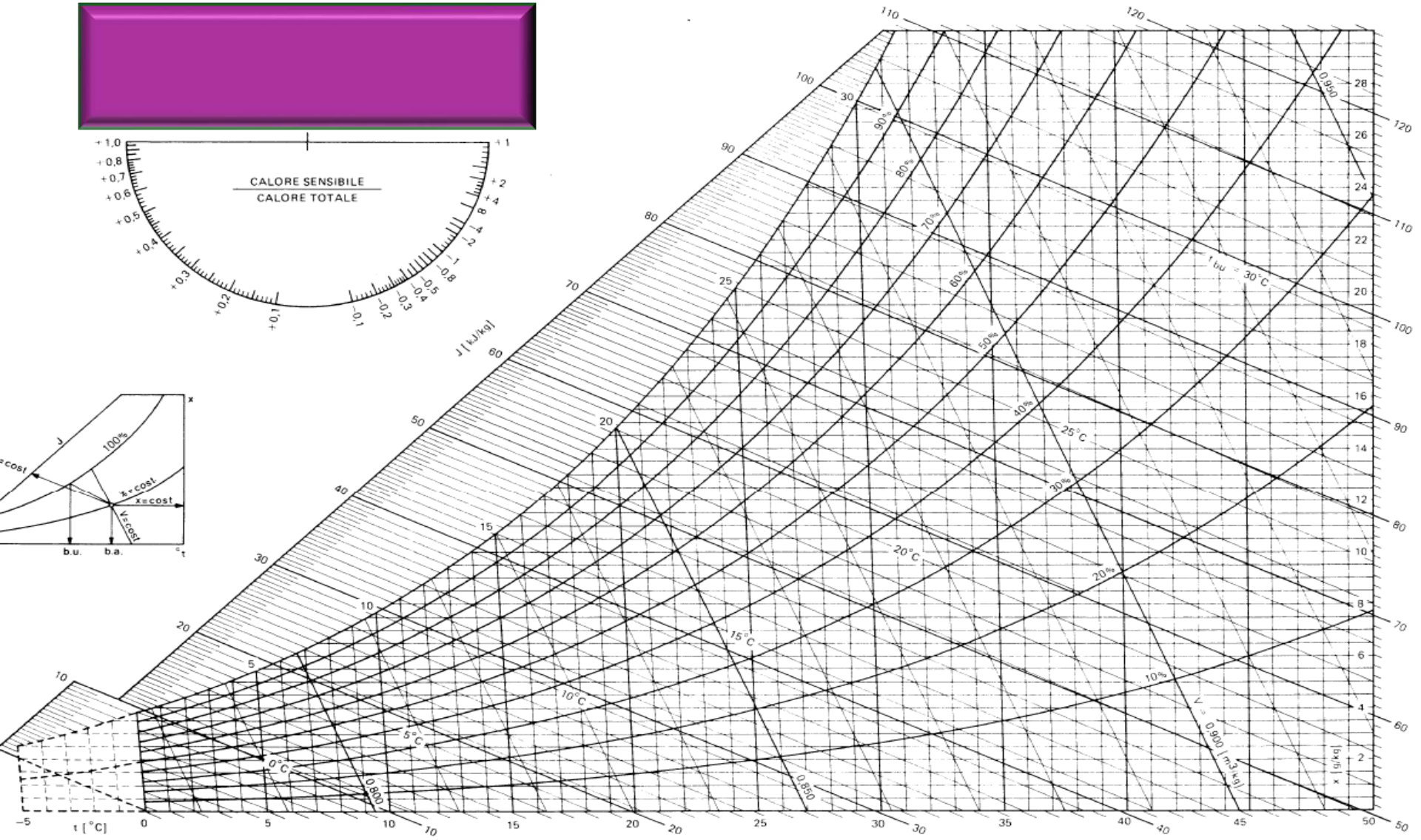
$$\mathbf{h' = 1.005t + y\,(2500 + 1.9t)\ [kJ/kgas]}$$

C’è produzione di vapore in casa?

Tabella 65: Produzione medie di vapore all’interno di una abitazione

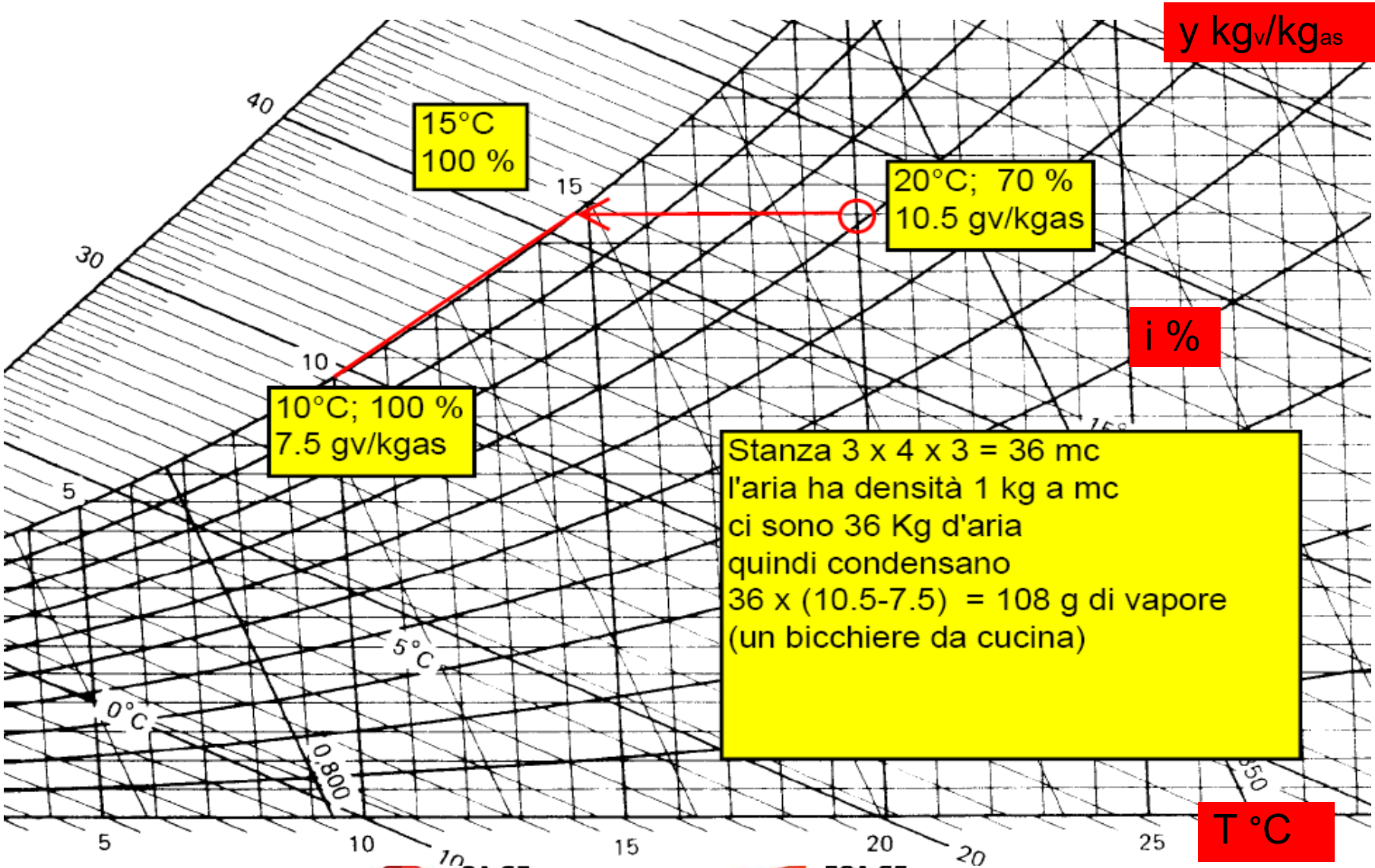
Singole sorgenti di produzione di vapore (produzione media oraria in kg/h)	Vapore prodotto (kg/h)
Persona a riposo	0,040
Persona in attività moderata	0,055
Cucina (fornello elettrico senza scarico all’esterno)	0,700
Cucina (fornello a gas senza scarico all’esterno)	1,000
Stufa a gas (senza scarico all’esterno)	0,130 per kW
Sorgenti in abitazioni (produzione media giornaliera espressa in kg/h)	Vapore prodotto (kg/h)
5 persone a riposo (per 8 ore)	0,066
2 persone (attività moderata per 16 ore)	0,71
Cucina	0,117
Lavaggio stoviglie	0,042
Lavaggio panni	0,187
Asciugamento indumenti	0,208
Igiene personale	0,021
Totale	0,712

E CONSERVATORI DI GENOVA



OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA



OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

RISCALDAMENTO ED UMIDIFICAZIONE

Stanza con i= 30% e T=10 °C riscaldata a T=20°C e i 50%

determinare il fabbisogno termico e igrometrico

Q= m Δh [kJ] y=0.622 *0.3*0.012270 /(1.013-0,3*0.012270)=**2.27** g_{vap}/kg_{as}

h= $c_{pas}t$ +y($c_{pv}t$+r) = 1.005 *10+2.27 *10^{-3} (1.9*10+2500) h(10 C, 30%) =**15.7** kJ/kg_{as}

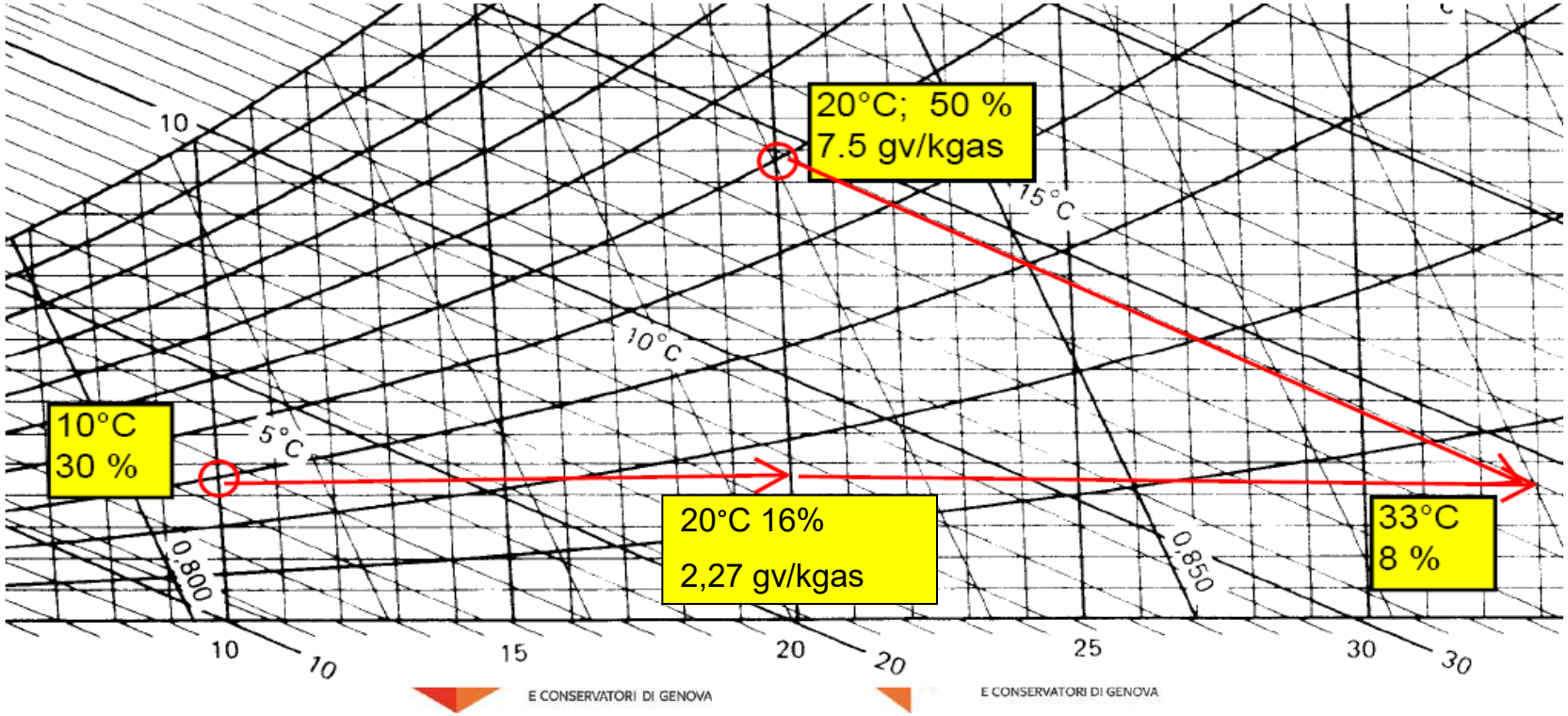
per confronto se aria secca h=c_p T = **10.05** kJ/kg_{as}

durante il risc. il contenuto igrometrico non cambia

h(y=2.27, 20C) = 25.9 kJ/kg_{as} Δh= 10.20 kJ/kg_{as} h_{fin}(20°C;50%)= **39.5** kJ/kg_{as}

$T_{fin\ ante\ umidificaz.}$= 33 °C **Δy= 7.5-2.3=5.2 g_v/kg_{as}** **Δh=23.8**

kJ/kg_{as} per confronto se fosse solo aria secca Δh=10 kJ/kg_{as}

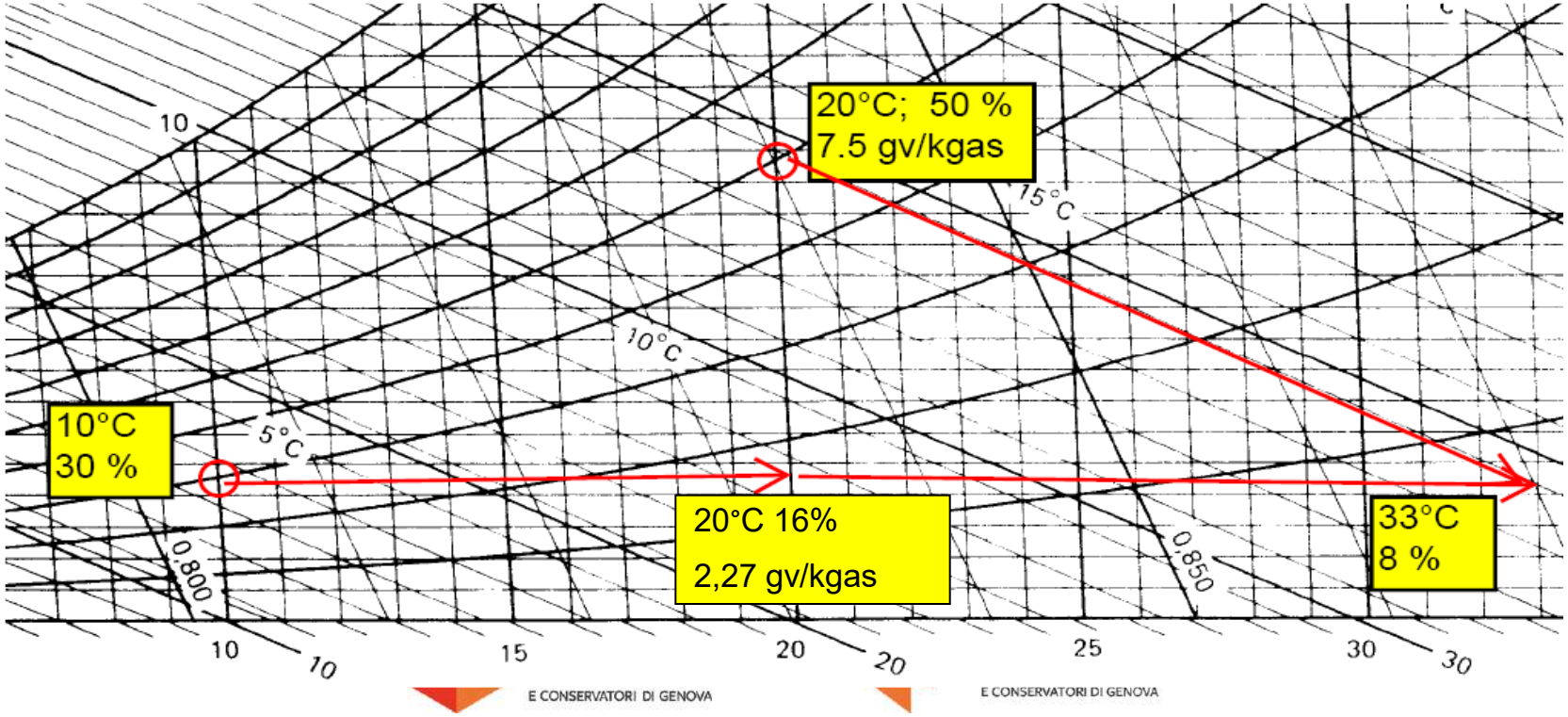


E CONSERVATORI DI GENOVA

RISCALDAMENTO ED UMIDIFICAZIONE

Nella stanza di prima :

Se consideriamo solo l'aria secca:
Q= 36*10 =**360 kJ**
Se considerimao l'aria umida (**+ 238%)**
Q= 36* 23,8= **860 kJ** (se calorifero da 500 W tempo risc 1720 s = 28 minuti)
Acqua da aggiungere = 36*5,2=187 g



E CONSERVATORI DI GENOVA

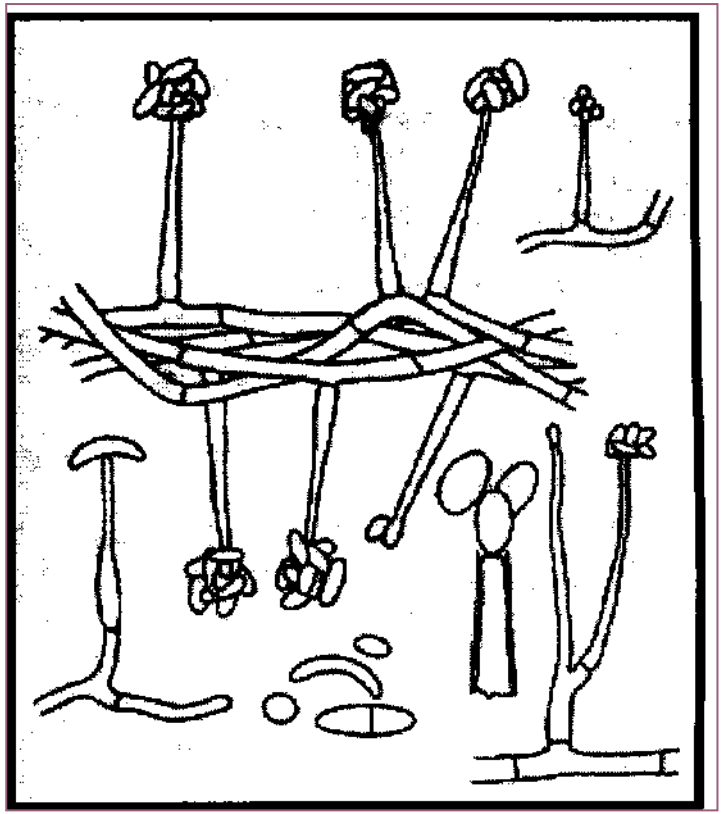
Muffe o infiltrazioni? Perchè si formano?





Sviluppo di muffe

- Crescono e si riproducono velocemente su residui di materiale organico.
- Le spore germinano in 12 ore su materiale bagnato e formano spore in 5-10 giorni.



Umidità e sviluppo microbico

Attività dell'acqua

- batteri Gram negativi: $a_w > 0.97$
- batteri Gram positivi: $a_w > 0.90$
- Muffe: $a_w > 0.80$

- No moltiplicazione batterica: UR <75%
- **No sviluppo microbico: UR<61%**

Ruolo della temperatura e della ventilazione



Rischio di germinazione di muffe in funzione della umidità e della ventilazione

Rischio di crescita di muffa		Grado di umidità (kg / giorno)						
		2	4	6	8	10	12	14
Grado di ventilazione (r / h)	0,2	n	n	p	y	y	y	y
	0,4	n	n	n	n	p	y	y
	0,6	n	n	n	n	n	p	y
	0,8	n	n	n	n	n	n	n
	1,0	n	n	n	n	n	n	n

Legenda: n = assenza di muffa; y = presenza di muffa tutto l'anno; p = rischio di crescita di muffa in alcuni periodi dell'anno

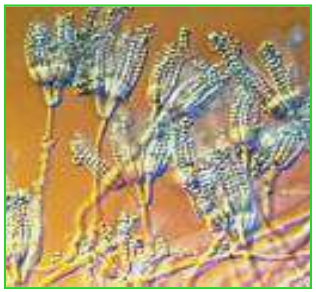
WHO, 2004

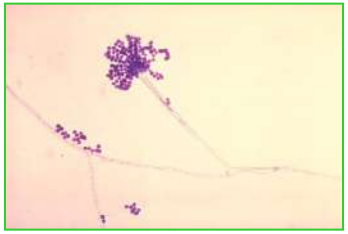
Fattori essenziali per lo sviluppo delle muffe negli edifici

- Temperatura di 5-38°
- Nutrienti:
  - Cellulosa: carta, legno, ed altri materiali di rivestimento.
  - suolo, sporcizia
  - tappeti
  - carta da parati, adesivi



Effetti di muffe ed allergeni indoor



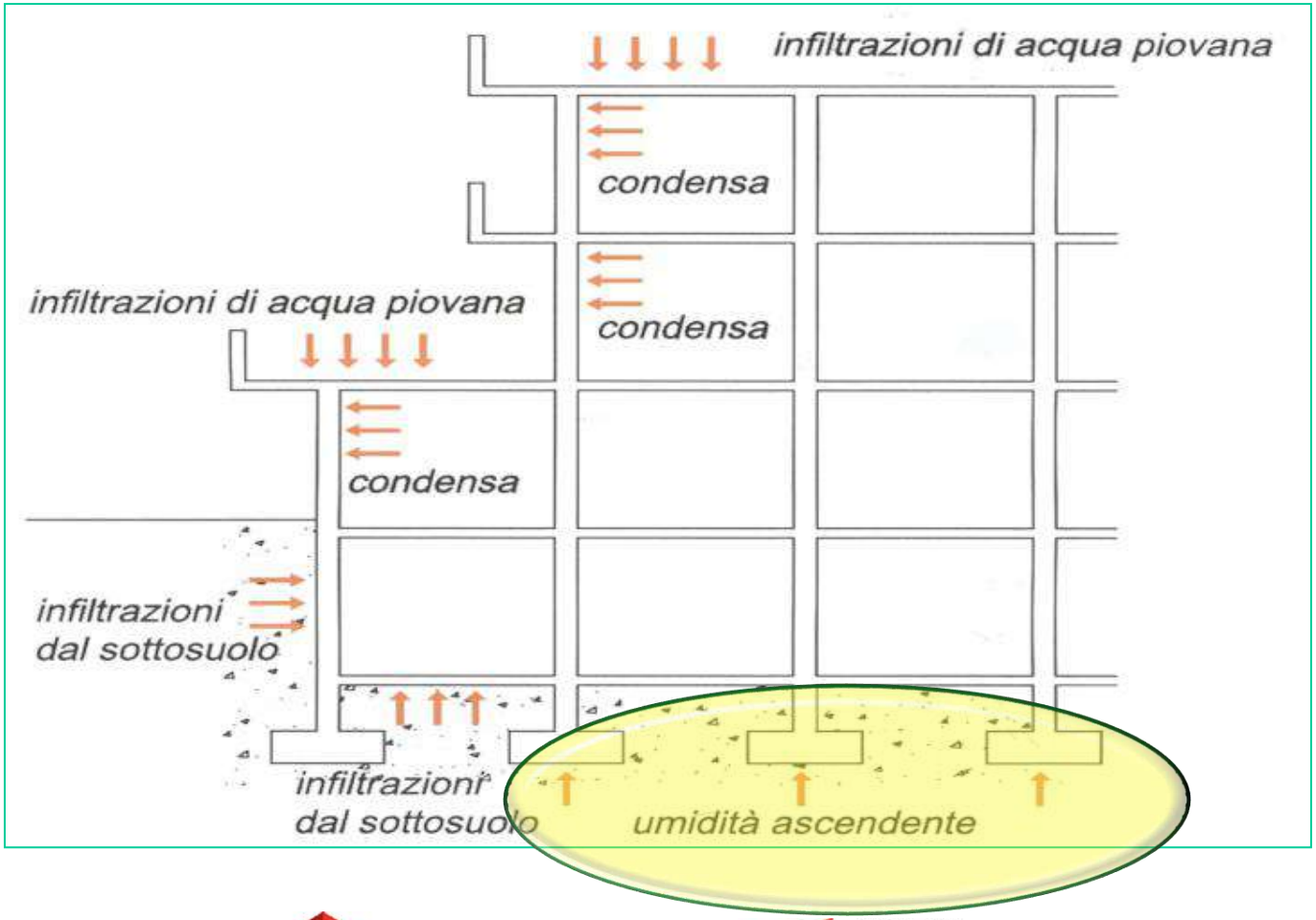




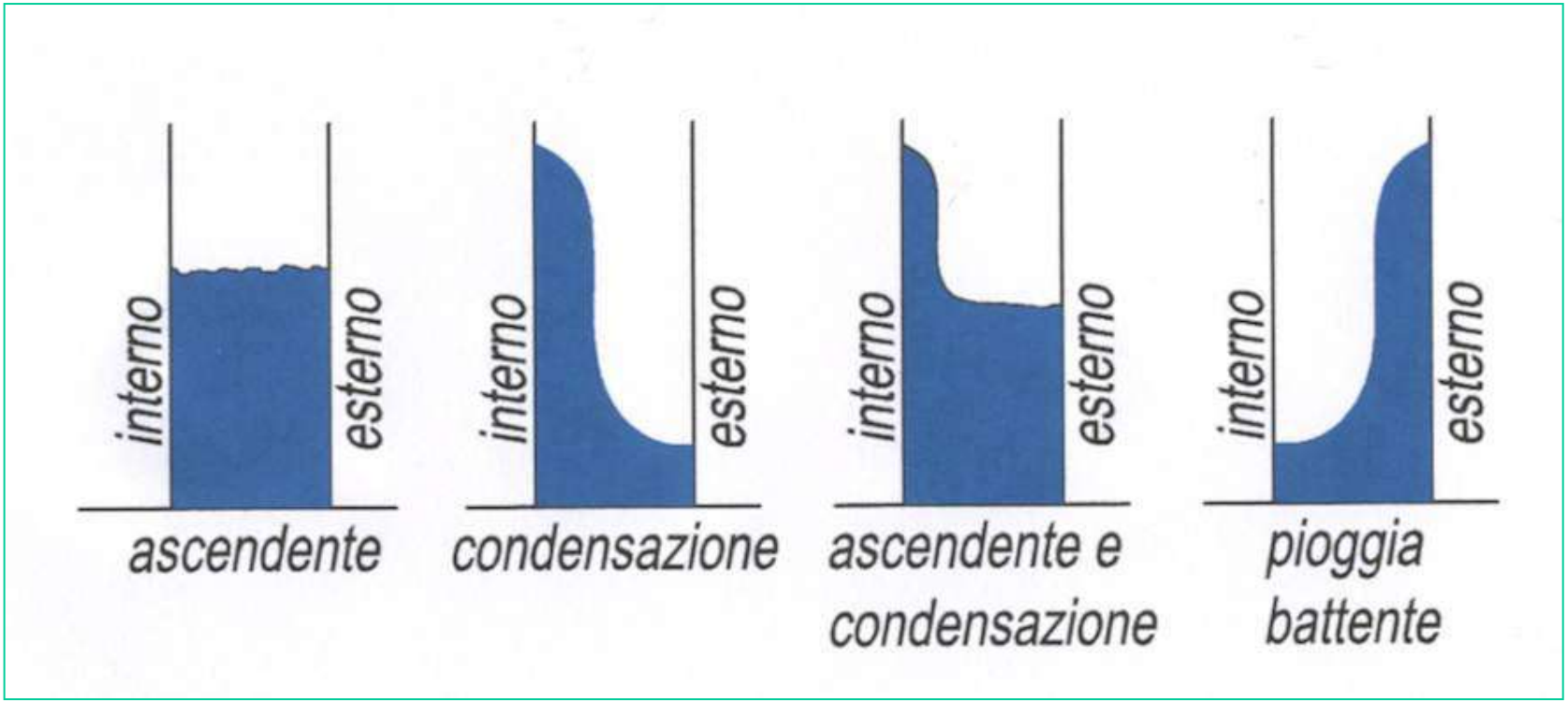
- Sintomi irritativi
- Infezioni espiratorie ricorrenti
- Sintomi neurologici
- Sintomi di malessere generale aspecifico
- Aumentato rischio di asma
- Malattia reumatica
- Allergie

Nevelaian, 2002

principali cause di umidità nelle murature



manifestazioni tipiche sulle murature

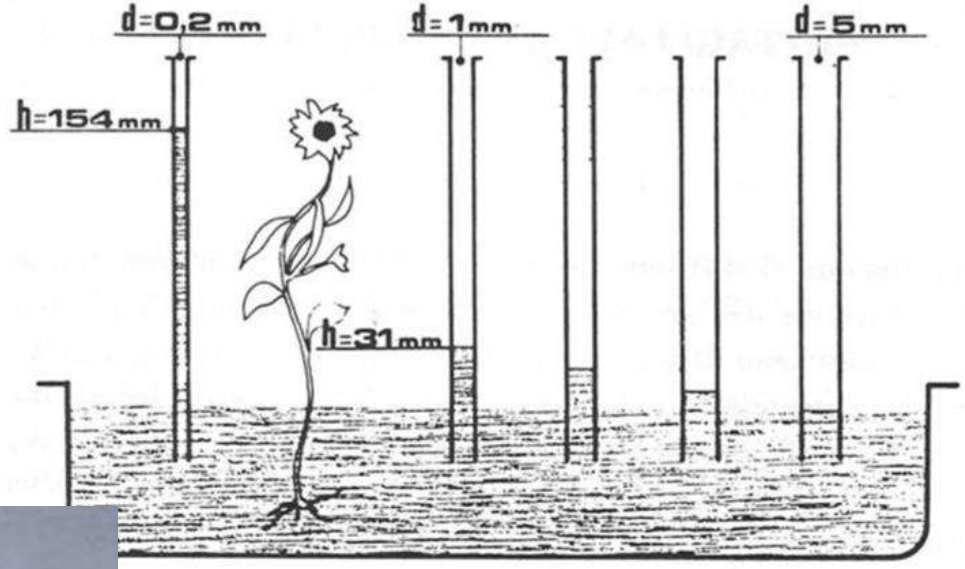


UMIDITA‘ DI RISALITA

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

COSA E’ LA CAPILLARITA’?





ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

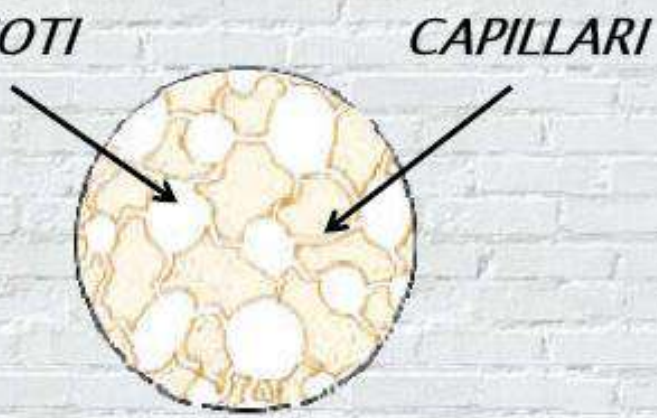
FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

COSA E' LA CAPILLARITA'?

Le leggi fisiche della capillarità

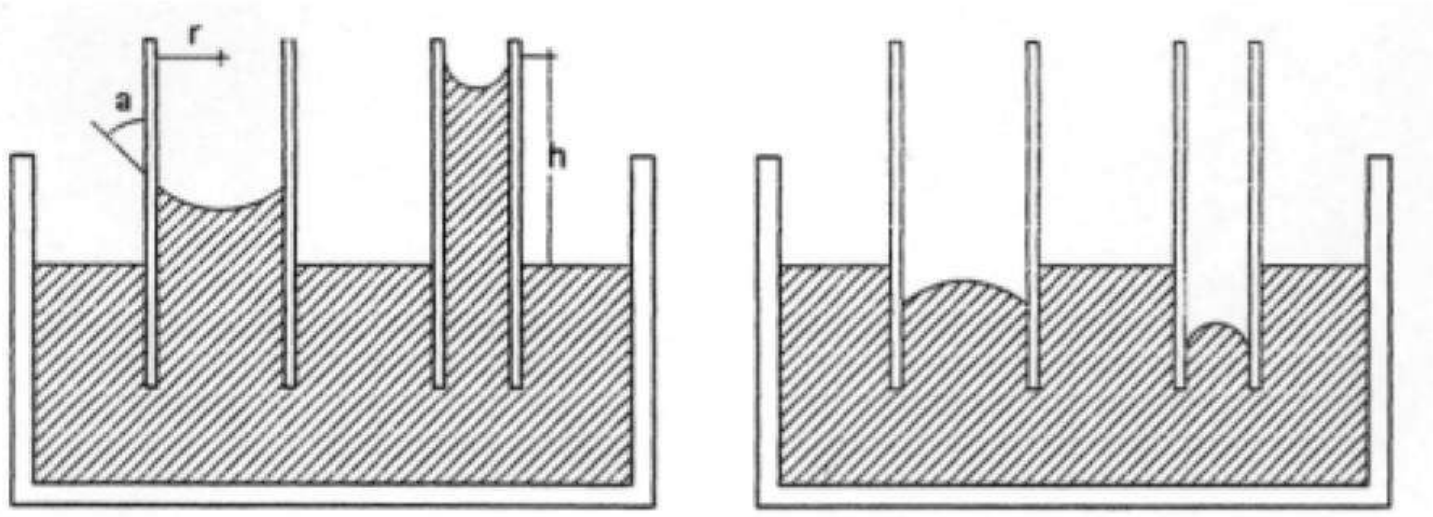
POROSITÀ

Tutti i materiali da costruzione hanno nella loro massa piccoli vuoti sotto forma di pori chiusi o di piccoli canali (capillari)



La porosità varia largamente da un materiale all'altro: si avvicina allo 0 % per i graniti le rocce quarzose e può raggiungere il 45 % per i calcari teneri.

PRINCIPIO DELLA FORZA CAPILLARE
IN FUNZIONE A LIQUIDI IDROFILI - IDROFOBI

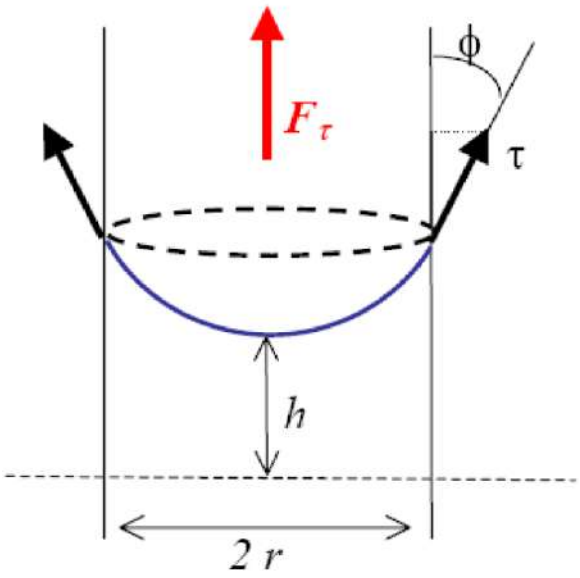


1) comportamento di un liquido idrofilo come l'acqua all'interno di capillari aventi raggio diverso. Aumento dell'altezza al diminuire del raggio. $\alpha < 90°$ (Menisco concavo)

2) comportamento di un liquido idrofobo come il mercurio all'interno di capillari aventi raggio diverso. Maggior abbassamento del liquido al diminuire del raggio. $\alpha > 90°$ (Menisco convesso)

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA



Dall'equilibrio delle forze dirette verso l'alto ed il peso di colonna liquida si ottiene l'altezza nel capillare h (Laplace – Jurin)

determinata dalla legge (di Jurin) :

$$h = \frac{2\tau \cdot \cos\phi}{\rho g r}$$

diametro del capillare (mm)	altezza dell'acqua (mm)
2.5	25
1.5	38
1.0	52
0.5	66

In vetro

dove h = altezza della colonna d'acqua.
τ = tensione superficiale del liquido
r = raggio del capillare.
m = massa volumetrica H^2O
g = forza gravitazionale.
ϕ = angolo di contatto tra capillare e liquido

E CONSERVATORI DI GENOVA

FENOMENO DI CAPILLARITA' (penetrazione e trasporto di massa)

La relazione di Laplace fornisce il valore della pressione P nel liquido diretta verso la fase aeriforme:

$\Delta p = -\tau * (1/R_1+1/R_2)$

σ tensione superficiale del liquido

R_1 ed R_2 i raggi di curvatura della superficie in due piani ortogonali.

Se il capillare è di piccole dimensioni si ha

$$R_1 = R_2 = R/\cos\phi \text{ e } \Delta p = -2\tau\cos\phi/r$$

L'altezza max di risalita nel capillare si ottiene equilibrando il Δp con il peso della colonna di liquido.

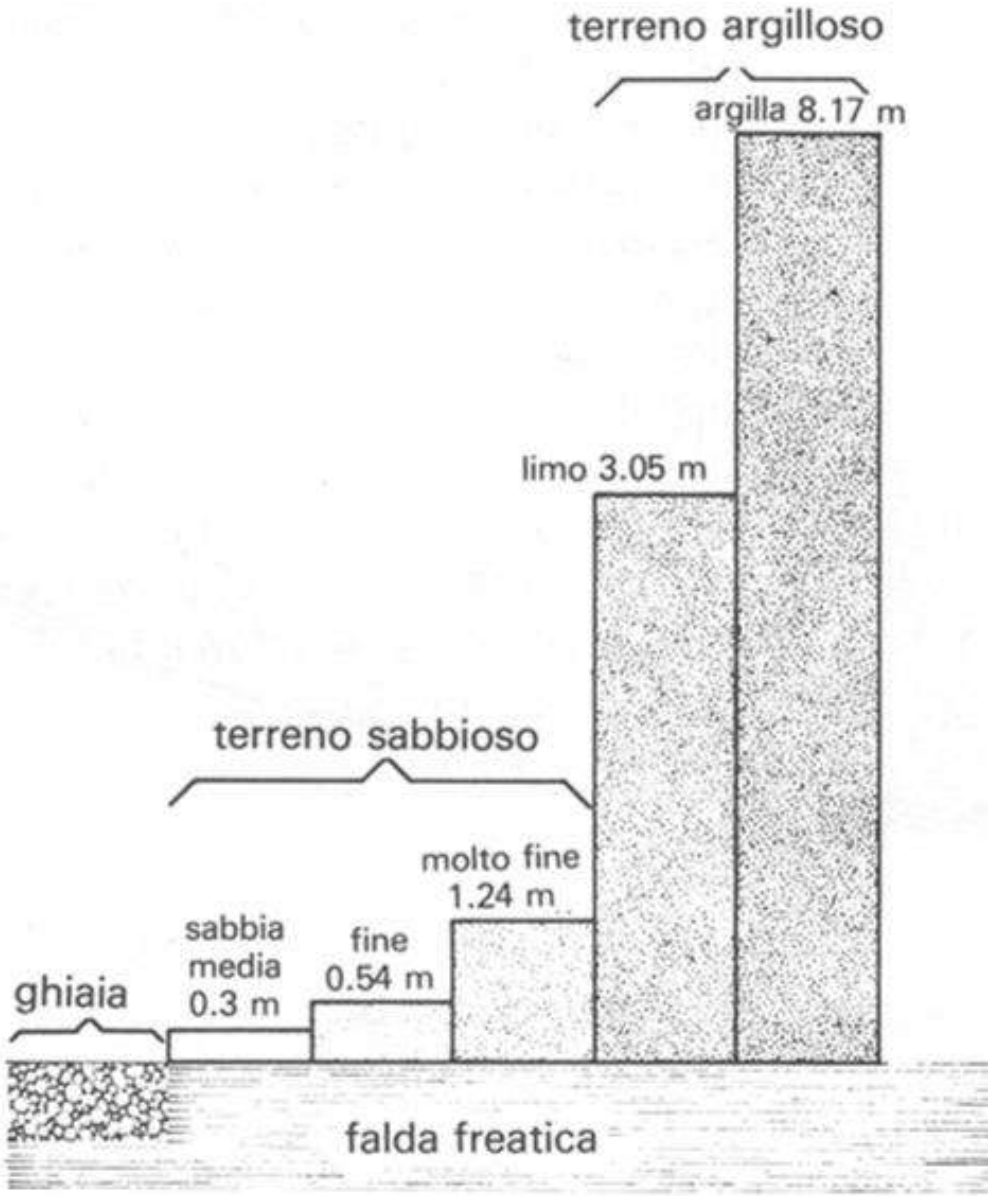
Se $\phi = 0$ il liquido bagna la parete; $\cos\phi = 1$ $\Delta p = \rho gh$ da cui

$$h = 2\tau/\rho gr$$

Esempio: calcolare l'altezza massima di una sequoia i cui capillari hanno raggio $7.5\ 10^{-7}$ m

Per l'acqua $\tau/\rho g = 14.8 * 10^{-6}\ m^2$

$h_{max} = 2 * 14.8\ 10^{-6} / 7.5\ 10^{-7} \cong 40$ m



OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

CAUSE DI POROSITA' NELLE MURATURE

Un materiale da costruzione ha acqua :

•in fase di preconfezionamento

•in cantiere nella fase di edificazione, viene impastato con acqua;

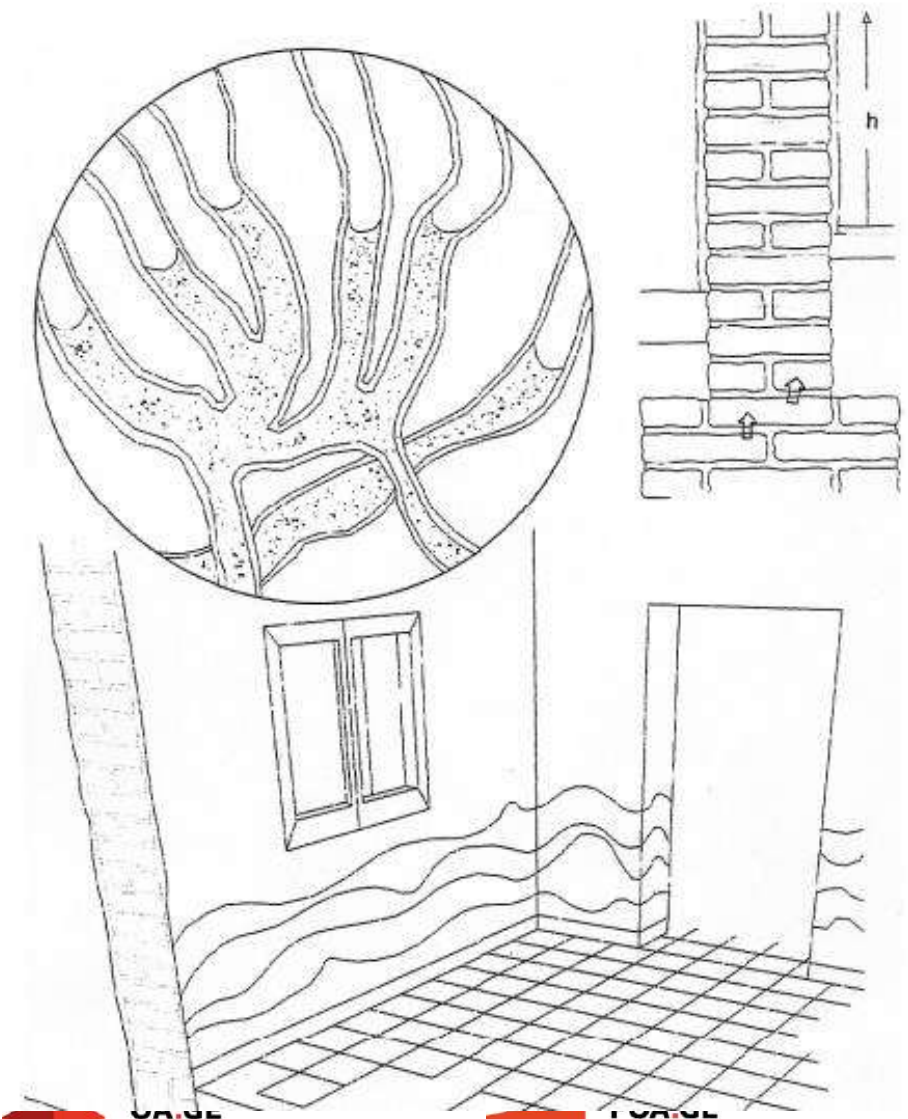
Durante l'idratazione una parte dell'acqua d'impasto **evapora** formando all'interno ed in superficie del materiale stesso, una serie **infinitesimale di microscopici canalicoli** denominati massa capillare (porosità), **più o meno numerosi a seconda se si tratta di un laterizio o di una malta.**

Per il calcestruzzo i valori di permeabilità (dipendenti principalmente dalla porosità) sono sensibilmente differenti a seconda del mix design scelto e sostanzialmente :

- dalla percentuale di composizione degli inerti - cd. fuso granulometrico
- dal rapporto acqua cemento - l'acqua di impasto evapora lasciando pori o veri e propri fori
- dalla eventuale segregazione di getto.



CAUSE DI POROSITA' NELLE MURATURE



umidità ascendente

è dovuta al fenomeno fisico della capillarità ed è la causa più frequente di umidità nei piani cantinati e nelle vecchie murature

l'altezza di risalita AUMENTA CON

A) Il diminuire del diametro dei pori pertanto è diversa per i diversi materiali

B) L'abbassarsi della temperatura (cambia la densita')

C) La presenza di Sali

D) Lo spessore del muro

E) la mancata traspirazione del muro



MECCANISMO DI RISALITA DEI SALI

I Sali: sono SEMPRE veicolati dall'acqua
- **non sono visibili** se superficie è **umida**,
- **lo diventano** quando AVVIENE l'evaporazione

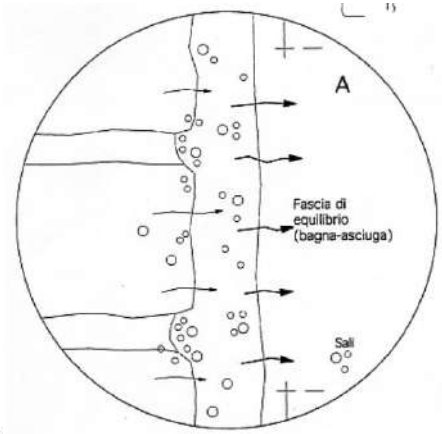
Evaporato il contenuto acquoso i **Sali cristallizzano aumentando di volume**, **occludendo i capillari**.
Formazione di **croste !**

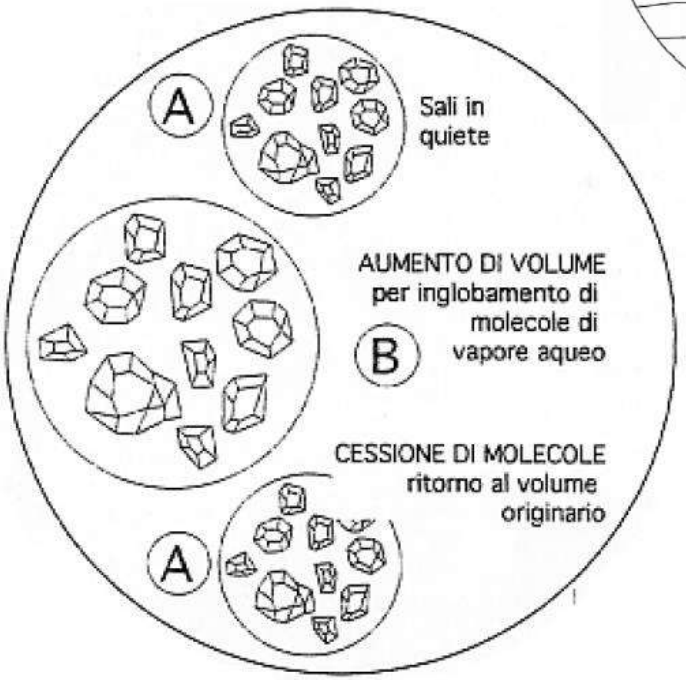


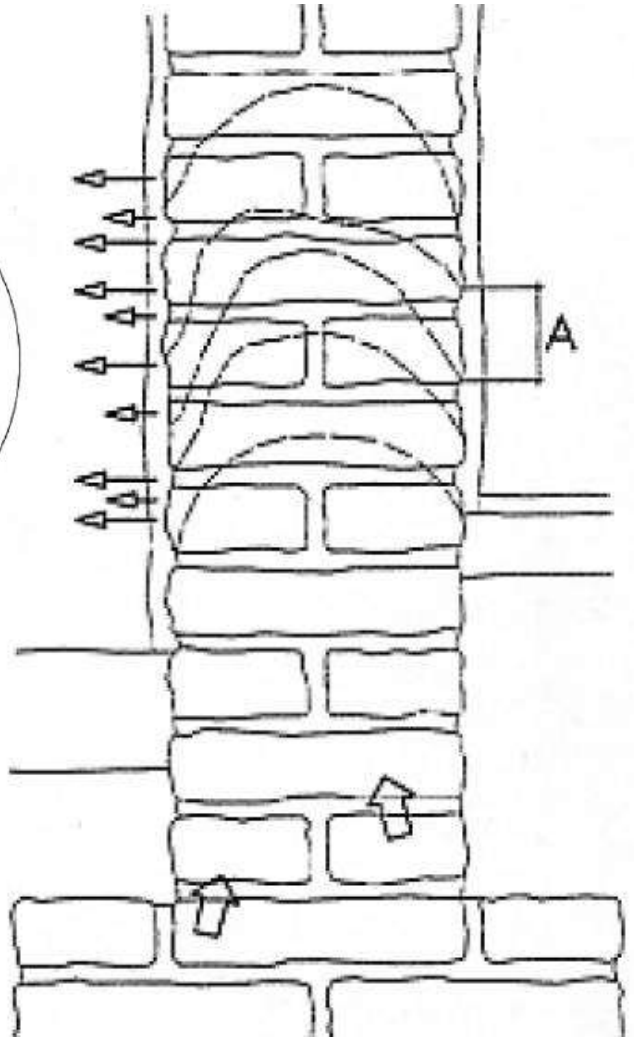
Il successivo apporto di **umidità** dal **sottosuolo** o **dall'ambiente** (**igroscopicità** dei Sali) è **impedito all'evaporazione**,
QUINDI l'umidità è costretta a **risalire** fino al **raggiungimento** di **capillari liberi**,
conquistando nuove quote di murature asciutte.

A ridosso di queste croste si formano cristalli sempre più voluminosi, causa di **grandi pressioni** e distacchi di porzioni di intonaco (subflorescenze).

RISALITA CAPILLARE
E SALI IDROSOLUBILI
FASE DI EVAPORAZIONE









OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

umidità ascendente

è dovuta al fenomeno fisico della capillarità ed è la causa più frequente di umidità nei piani cantinati e nelle vecchie murature

l'altezza di risalita AUMENTA CON

A) Il diminuire del diametro dei pori pertanto è diversa per i diversi materiali

B) L'abbassarsi della temperatura

C) La presenza di Sali

D) Lo spessore del muro

E) la mancata traspirazione del muro



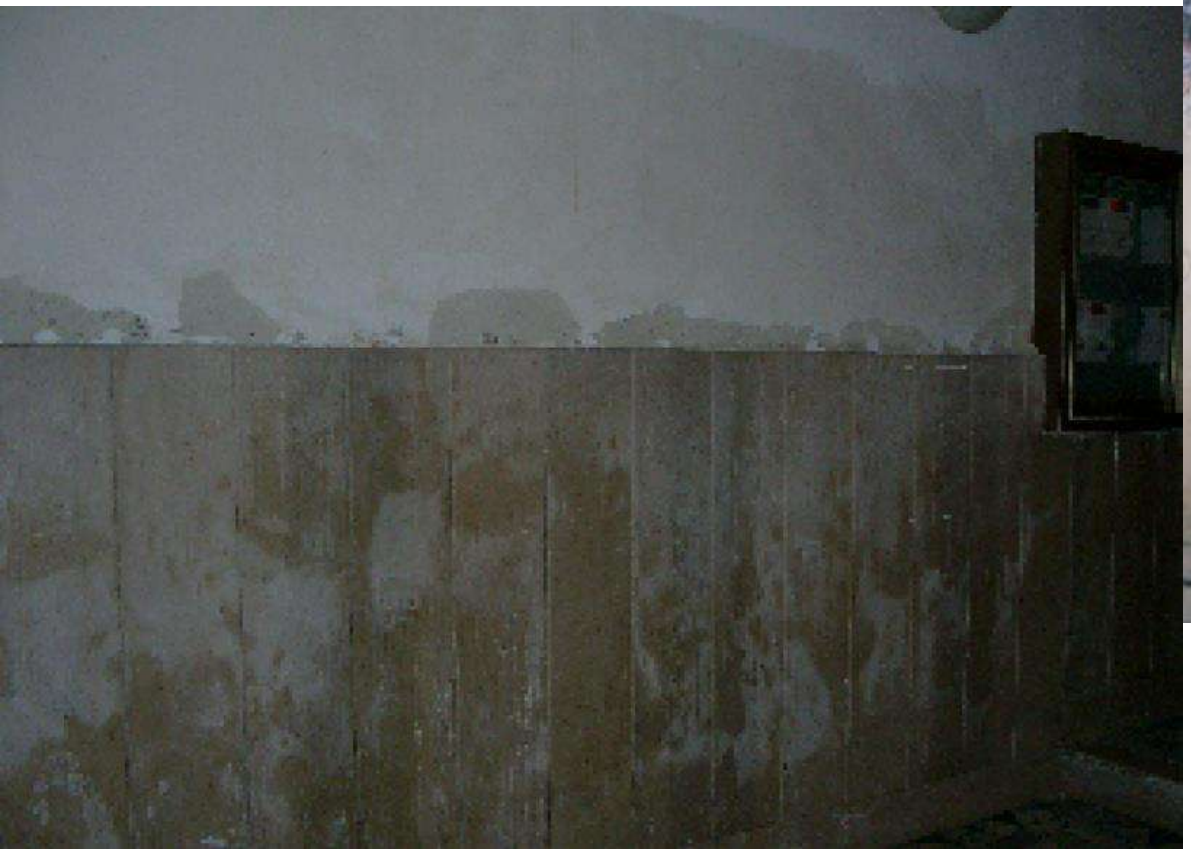
umidità ascendente







umidità ascendente





Il limite della macchia umida si stabilizza a circa un metro di altezza dal livello aerato da entrambi i lati

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

Le piastrelle, sono **ben ancorate** al supporto e **impediscono** la naturale traspirazione delle murature. L'umidità risalente, si diffonde ai piani superiori.
L'aumento in volume dei Sali esercita una **forte azione espansiva**. La conseguenza è il cedimento del rivestimento con pericolo l'incolumità





umidità ascendente



macchie alla base delle costruzioni

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

umidità ascendente



distruzione degli intonaci e della malta di connessione

umidità ascendente





distacco dell'intonaco per cristallizzazione dei sali

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

umidità ascendente





il rivestimento impermeabile aggrava il problema

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

umidità ascendente





il rivestimento impermeabile aggrava il problema

Differenze fra umidità ascendente e condensazione

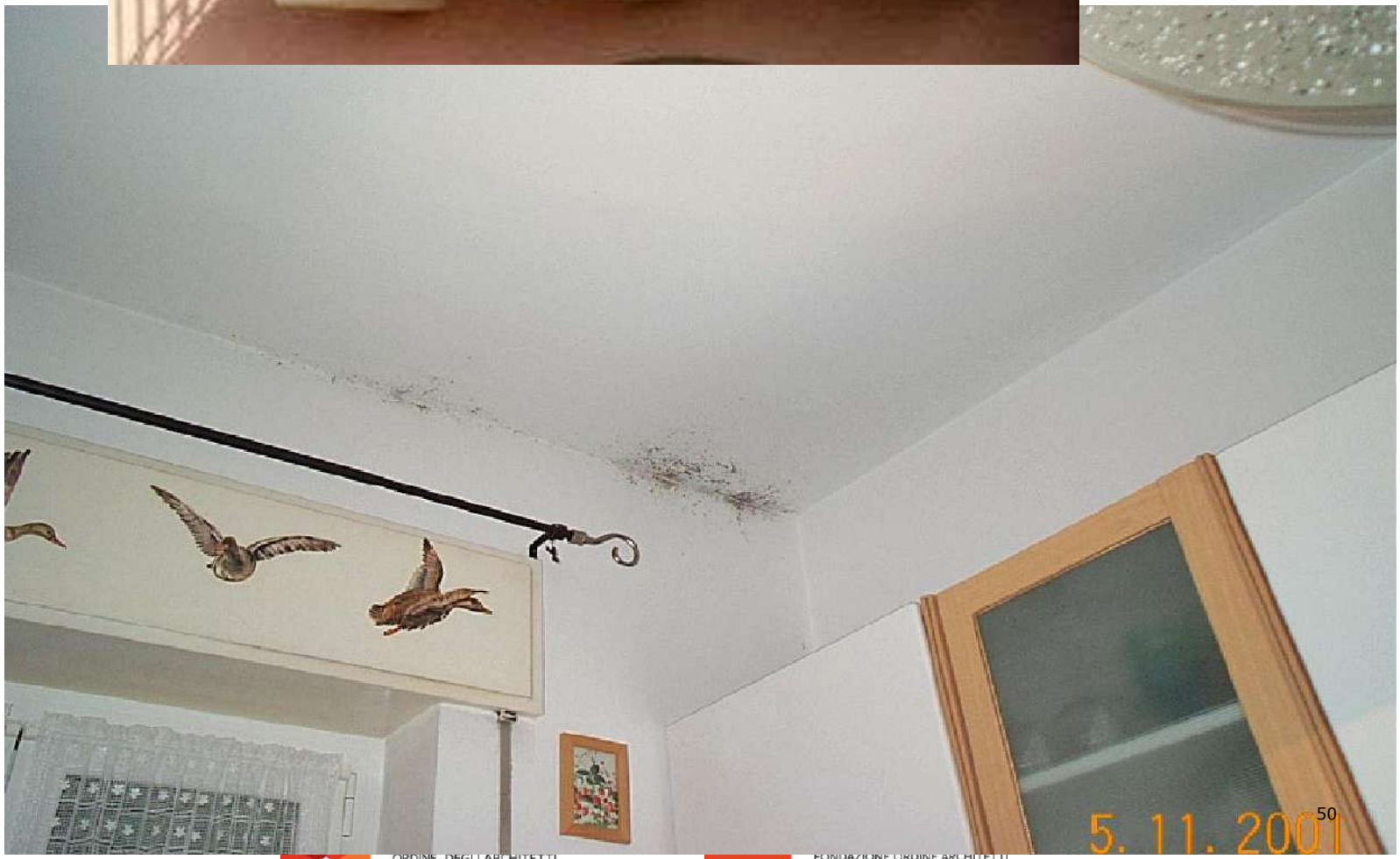
Le cinque caratteristiche dell'umidità se viene *dal terreno* (Capillare ascendente)	Le cinque caratteristiche dell'umidità se viene *dall'aria* (Condensazione di vapor d'acqua)
I. È *indipendente* dalla stagione.	I. Ogni anno si ripresenta alla *stessa stagione*.
II. *Sale poco* sul muro: 2-3 metri	II. È a *qualunque altezza* dell'edificio
III. Impregna *tutto lo spessore* del muro da una parte all'altra.	III. Bagna *in superficie la parete*, con acqua liquida che si combina subito con lo smog.
IV. Prende l'acqua dal terreno: o *superficiale perduta* da fogne e tubi o *profonda* della falda freatica.	IV. Prende l'acqua dall'aria per *raffreddamento del vapore contenuto*.
V. Si elimina *in qualche anno* dopo allacciate tutte le acque superficiali, oppure dopo tagliato il muro alla base se le acque vengono dal profondo. Non si ripete.	V. Si elimina *all'improvviso* con il calore e la ventilazione, ma naturalmente poi si ripete. È capricciosa al massimo.

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA
FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

CONDENSE SUPERFICIALI






5. 11. 2001


5. 11. 2001




Condensa fenomeno dei ponti termici
- segno dei travetti
- segno delle volterrane


Condensa fenomeno dei ponti termici
- segno dei travetti
- segno delle volterrane



OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

Condense




Condensa sui serramenti
13. 12. 1999


panni stesi ad asciugare
13. 12. 1999





Come mai quelle macchie ?

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA














11. 11. 1999









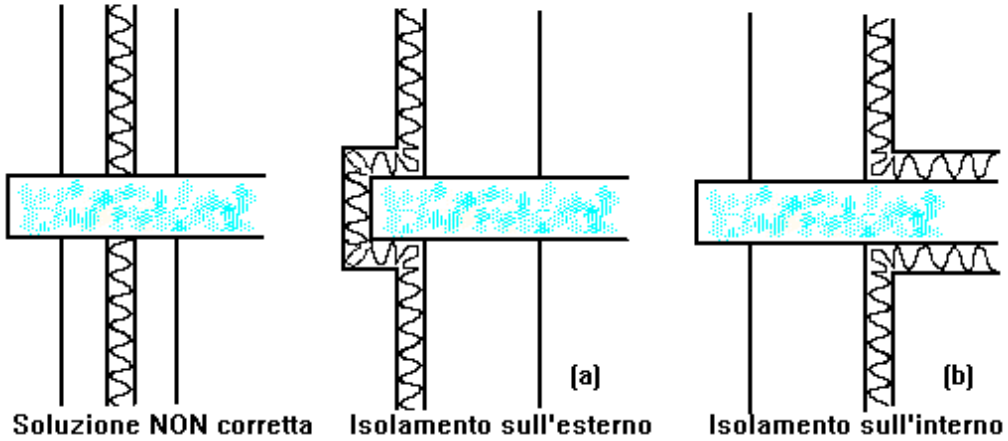


OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA



Mensola sporgente



Soluzione NON corretta

Isolamento sull'esterno

Isolamento sull'interno





Non sono finestre!!!

Cappotto!

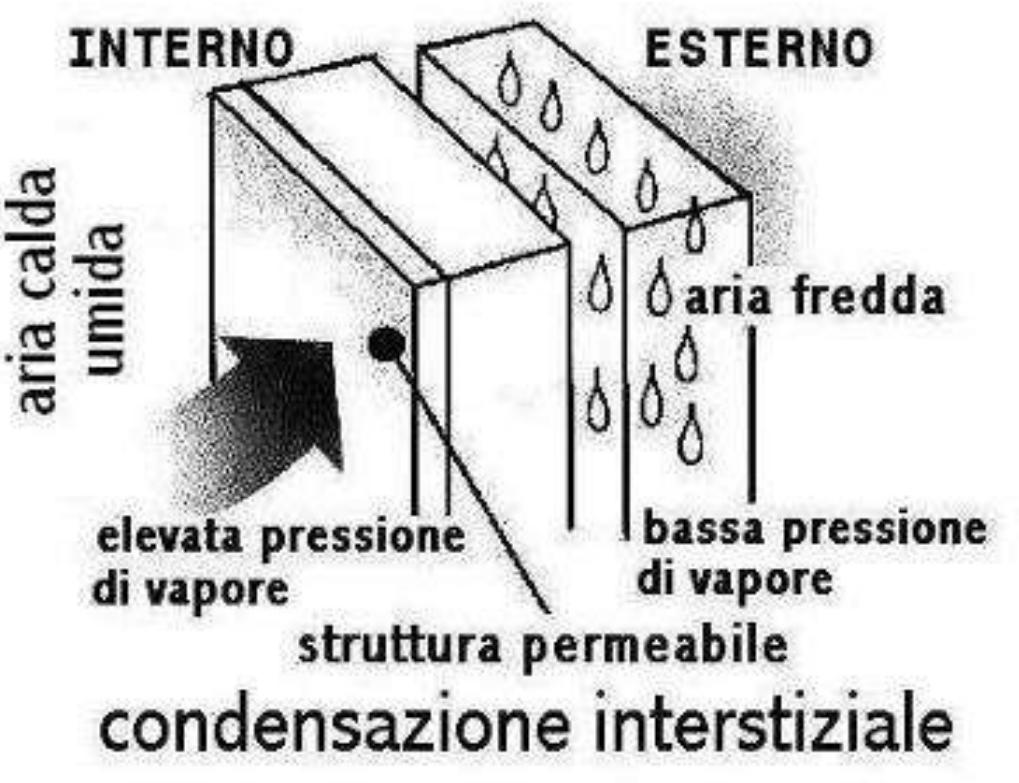


OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

Condense interstiziali

formazione Sali (come per umidità ascendente e danni ai materiali



Condense interstiziali

formazione Sali (come per umidità ascendente e danni ai materiali



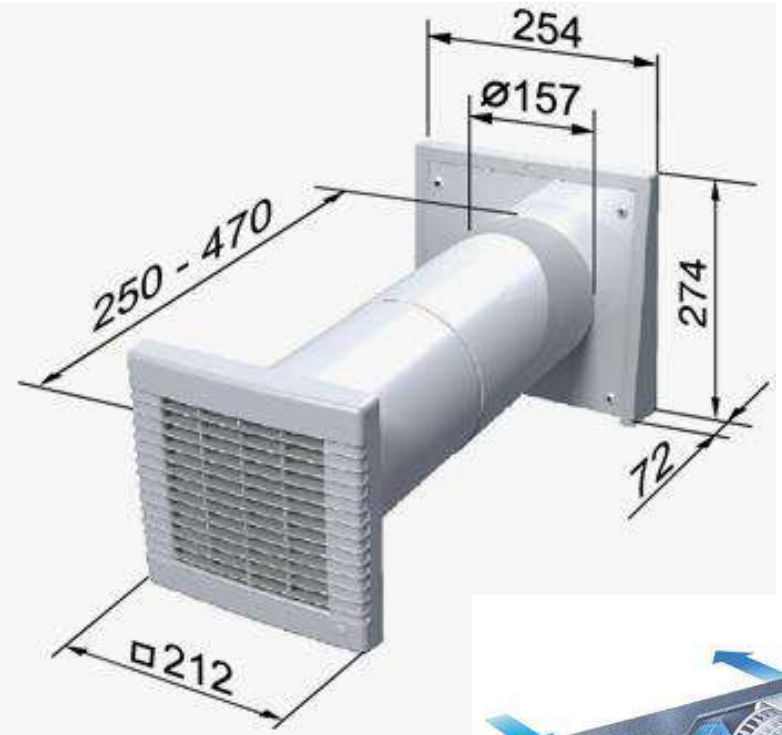


LE CAUSE

1) PANNI STESI AD ASCIUGARE IN CASA (GIA VISTO)
2) SERRAMENTI NUOVI….
3) MAGGIORE PRODUZIONE DI VAPORE IN CASA
4) PONTI TERMICI
5) PERSONE, ANIMALI, PIANTE

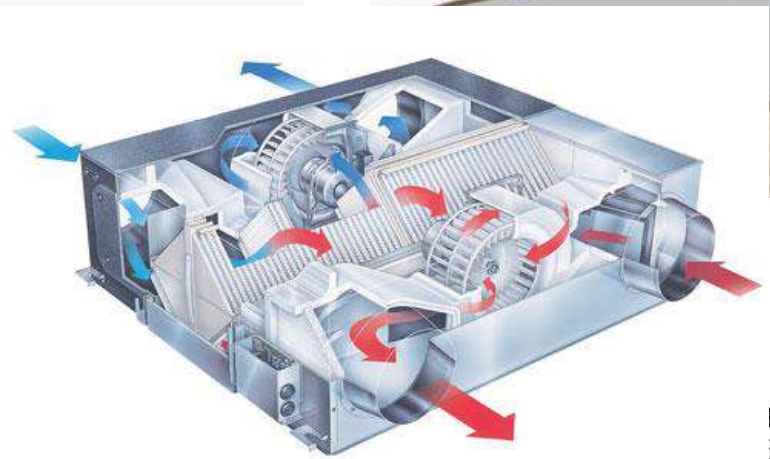
IN SOSTANZA O TEMPERATURA TROPPO BASSA O UMIDITA' TROPPO ALTA
Adeguata ventilazione ma senza esagerare….

I RIMEDI
VMC





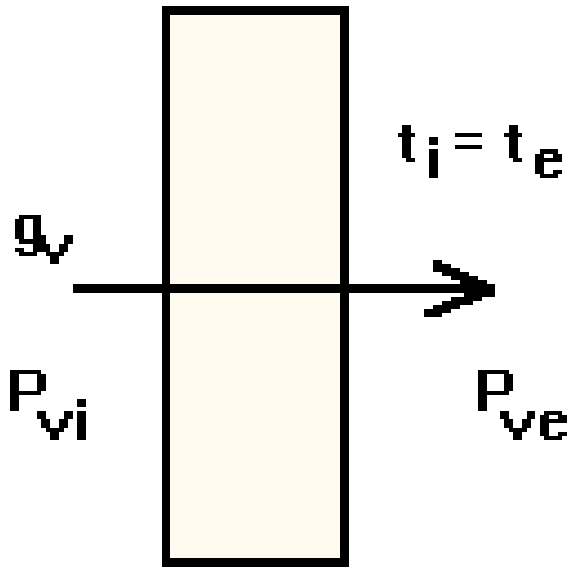




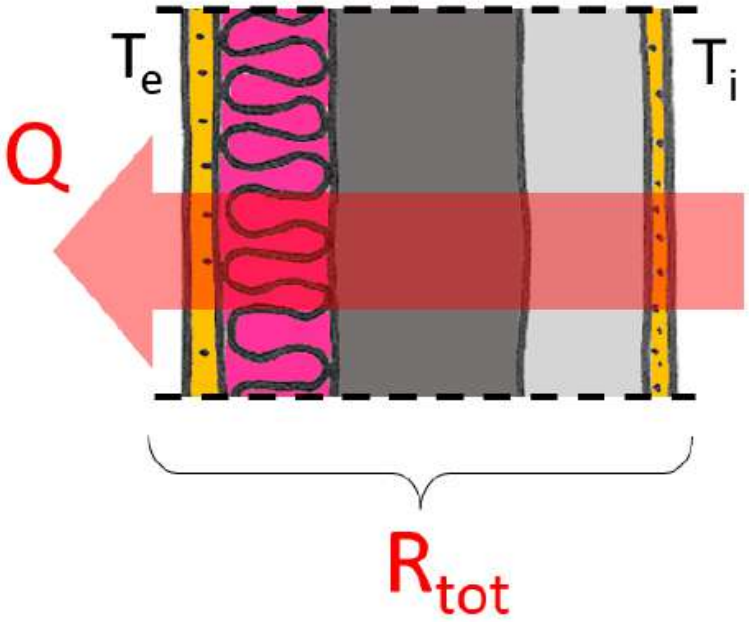
Trasmissione del vapore attraverso uno strato permeabile.

Legge di Fick.

$P_{vi} > P_{ve}$.



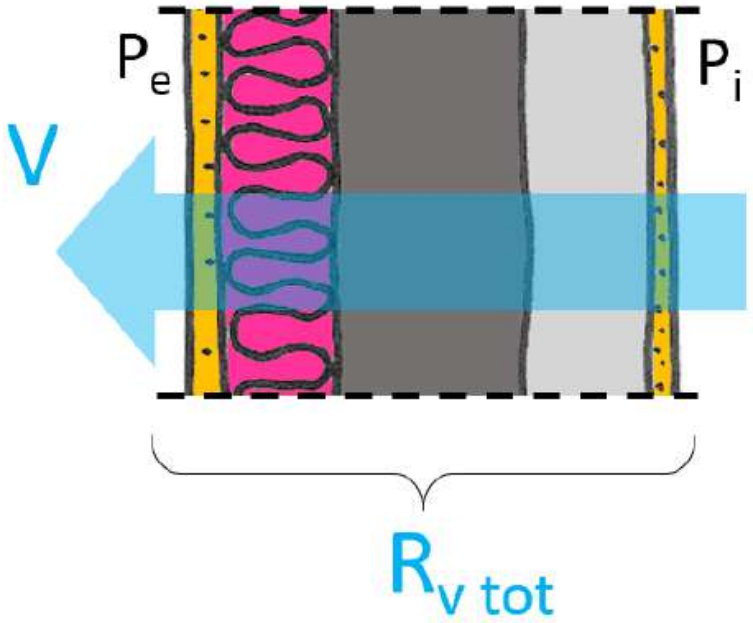
Trasmissione del calore (Q)



$Q = (1/R_{tot}) \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$

R di materiali omogenei = d/λ

Trasmissione del vapore (V)



$V = (1/R_{v\ tot}) \cdot A \cdot \Delta p \cdot t$

$R_v = d/\delta$

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

Trasmissione del vapore	Trasmissione del calore
$P_{vi} > P_{ve}$	$t_i > t_e$
$g'_v = (P_{vi} - P_{ve}) / z'_{vt}$ [kg/m^{2}s]	$\phi' = (t_i - t_e) / R'_t$ [W/m^2]

z'_{vt} = *resistenza specifica totale alla trasmissione del vapore* attraverso lo strato piano di spessore **L.**

$$T_n = T_{int} - U(T_{int} - T_{est})\left(R_{si} + \sum_{j=1}^{n} R_j\right) \qquad \text{con } R_j = \frac{s_j}{\lambda_j}$$

$$p_n = p_{int} - \Pi(p_{int} - p_{est})\left(\sum_{j=1}^{n} \frac{s_j}{\pi_j}\right)$$

con π = permeabilità del materiale (a volte nota come μ - $\mu\pi$=0.09 g/hmmmHg)

$p_{vap\ int} = p_{sat\ int} \bullet i_{int}$

$p_{vap\ est} = p_{sat\ est} \bullet i_{est}$

Π= permeanza = $1/\ \Sigma(s_i / \pi_i)$

Nota 1: oggi anche U=K (trasmittanza) λ= k (conduttività)

Nota 2: μ= metri di aria eq. **Quindi la res al vapore diventa z=μ* s**

OA.GE ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA
FOA.GE FONDAZIONE ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

Tabella 64: Valori del coefficiente di resistenza al passaggio del vapore μ per alcuni materiali da costruzione.

Materiale	Densità Kg/m^3	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

Materiale	Densità Kg/m^3	Coefficiente di resistenza al passaggio del vapore
Materiali schiumosi:		
Polistirolo	10	10 ÷ 50
	20	40 ÷ 100
	40	80 ÷ 210
Poliuretano	–	50 ÷ 100
Cartonfeltro bitumato.	500 g/m^2	3640 ÷ 18280
Foglio di cloruro di polivinile.	25 g/m^2	50.000
Spalmatura di bitume.	-	80.000
Cartonfeltro bitumato ricoperto	1500 ÷ 2000 g/m^2	80.000
Foglio di politilene	–	100.000
Foglio di alluminio	≥ 125 g/m^2	praticamente infinito

Materiale	Foratura (%)	Massa volumica ρ (kg/m^3)	Resistenza μ –	Permeabilità δ $(kg/msPa) \cdot 10^{-12}$
Muratura in elementi pieni di laterizio	10	1600	8	23,44
Muratura in elementi semipieni di laterizio	45	1000	6	31,25
Muratura in elementi in elementi forati di laterizio	65	600	5	37,25
Setti in c. a.	–	2400	100	1,88
Blocchi cavi (cls di argilla espansa	–	700	7	26,79

A[1)]	B	C[2)]
Quantità secondo la presente norma europea	Fattore di conversione	Quantità secondo la ISO 9346
Velocità di trasmissione del vapore acqueo g [mg/(m^2 · h)]	2,778 · 10^{-10}	Densità della velocità di flusso dell'umidità g [kg/(m^2 · s)]
Permeanza al vapore acqueo W [mg/(m^2 · h · Pa)]	2,778 · 10^{-10}	Permeanza all'umidità W_p [kg/(m^2 · s · Pa)]
Resistenza al vapore acqueo Z [m^2 · h · Pa/mg]	3,60 · 10^9	Resistenza all'umidità Z_{p_2} [m^2 · s · Pa/kg]
Permeabilità al vapore acqueo δ [mg/(m · h · Pa)]	2,778 · 10^{-10}	Permeabilità all'umidità δ_p [kg/(m · s · Pa)]
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo μ [-]	-	Fattore di resistenza all'umidità μ [-]
Spessore dello strato di aria equivalente alla diffusione del vapore acqueo s_d [m]	-	- - -
Variazione di massa per unità di tempo G [mg/h]	2,778 · 10^{-10}	Velocità di flusso dell'umidità G [kg/s]
1) A = B × C. 2) C = A/B.		

UNI 12086 – DIVERSI CRITERI DI MISURA DELLA PERMEABILITA'

UNI 12086 – DIVERSI CRITERI DI MISURA DELLA PERMEABILITA'

In genere si usa μ che è il rapporto tra la resistenza alla diffusione del vapore del materiale considerato e quella di uno strato d'aria di uguale spessore, avente fattore di resistenza alla diffusione del vapore pari a 1. Esso è quindi un indice di quante volte è più grande la resistenza di un determinato strato di materiale rispetto a uno strato d'aria dello stesso spessore.

Traspirabilità dai muri e ricambi d'aria dalle finestre

Quale relazione tra il controllo igrotermico e il concetto di traspirabilità?

- Il **controllo igrotermico** riguarda la **verifica del rischio di condensazione interstiziale e il rischio formazione di muffa** sulla superficie interna di una struttura. Tali verifiche sono affrontate attraverso procedure di calcolo codificate da norme UNI e sono obbligatorie per tutti gli interventi sull'involucro edilizio richiamati dal DM 26/6/2015.
- Il **concetto di traspirabilità** riguarda invece la **capacità di una struttura** opaca a **favorire il passaggio di vapore** corrispondente a una bassa resistenza Rv.

Non è legato a vincoli legislativi o normativi (nel senso che non è richiamato dalla legge) e riguarda una libera scelta progettuale

Confronto tra passaggio di vapore vs muri o da finestra aperta?

PARETE

Ad esempio camera d'angolo 3x4,8 h 3 m netti

- superficie disperdente verso l'esterno = 7,8m x 3 m =23.4 m^2
- ambiente interno: T=20°C; i_i= 62%; P_{vi}=1450 Pa
- ambiente esterno: T=4.2°C; i_e= 80%; P_{ve}=660 Pa

	s [m]	δ [kg/msPa]	R_v [Pa 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 $\cdot 10^{12}$

il flusso di vapore si calcola quindi in analogia con il flusso di calore

$g_v = A \cdot \Delta p / R_{v\,tot} = 23{,}4*(1450-660) / 0{,}014767*10^{12} = 1{,}25*10^{-6}$ Kg/s

Ossia moltiplicando per 3600 s/h si ha un flusso **g_v =4,5 g/h**

Se invece di lana roccia ci fosse stata aria ($\delta = 190* 10^{-9}\,\mathrm{kg/(m\ s\ Pa)}$) **il flusso sarrebbe stato 4,58 g/h**

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

FINESTRA APERTA

Ad esempio camera d'angolo 3x4,8 h 3 m netti Volume = 43,2 m^3

- ricambio d'aria pari n=0.3 vol/ora
- densità dell'aria è assunta a 1.3 kg/m^3

– ambiente interno: T=20°C; i_i= 62%; P_{vi}=1450 Pa

– ambiente esterno: T=4.2°C; i_e= 80%; P_{ve}=660 Pa

G_{aria}= $nV\rho$ = 0,3*43,2*1,13 = **14,64 kg/h**

Calcoliamo il contenuto igrometrico dell'aria che esce ed entra dalla finestra alle rispettive temperature e umidità relative

Dal diagramma psicrometrico si ricava che:

– y_{iu}= 9 g_v/kg_{as}

– y_{ui}= 4 g_v/kg_{as}

Da cui ne consegue che:

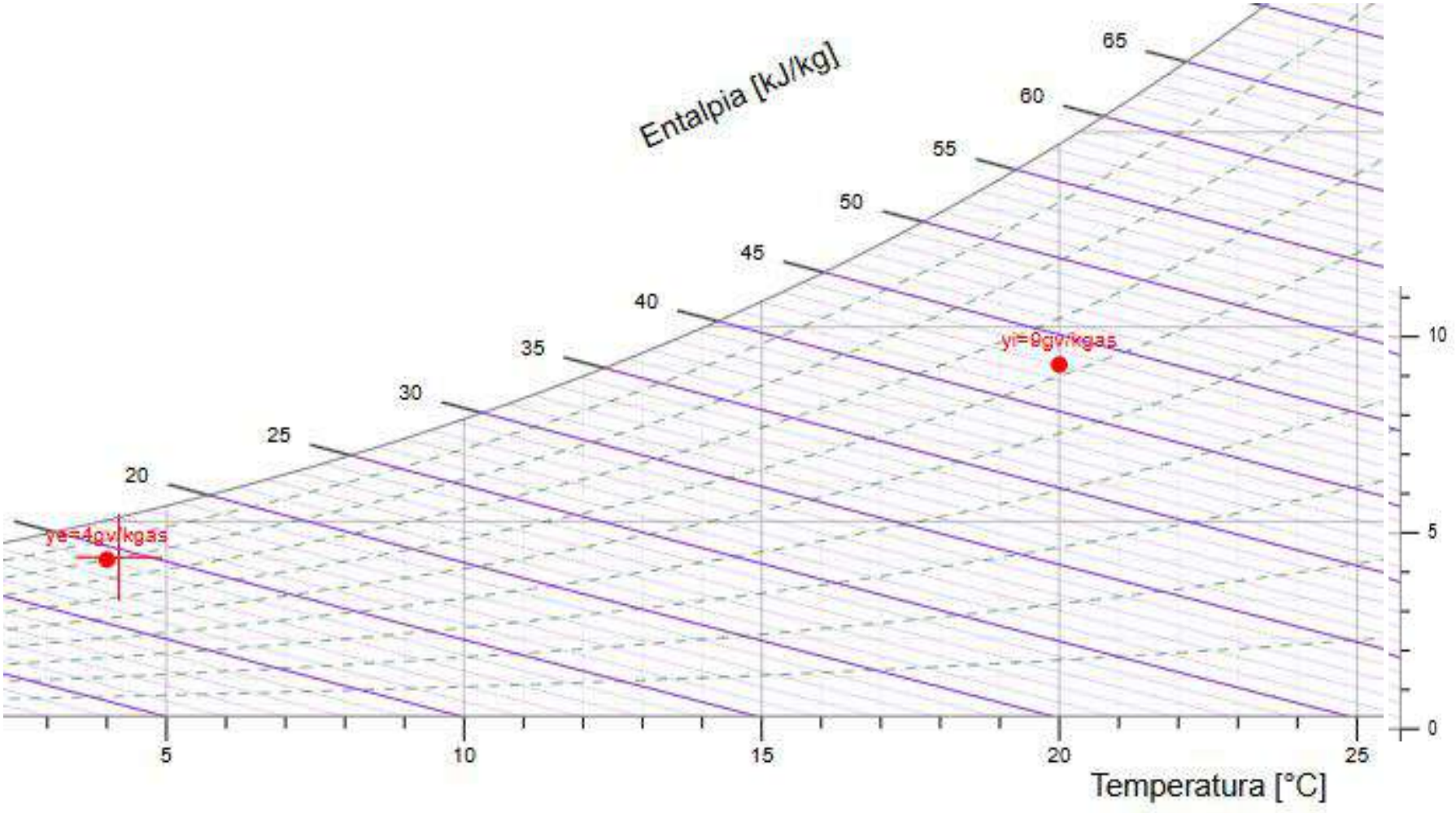
– con l'aria in entrata si immettono: 4 g_v/kg_{as} *14,64 kg $_{as}$/h = 58,57 g_v/h di vapore

– con l'aria in uscita si eliminano: 9 g_v/kg_{as}*14,64 kg $_{as}$ /h = 131,8 g_v/h di vapore

Con un risultato complessivo di umidità smaltita pari a: (131,8 – 58,57) g_v/h = **73,23 g_v/h**

Cioè 16 volte quello che traspira dai muri !

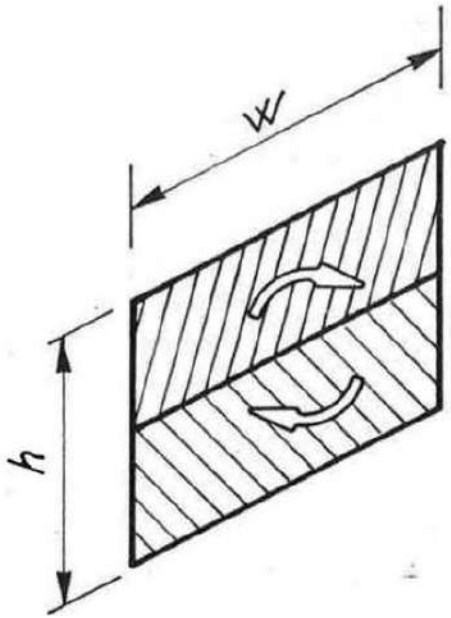
Stralcio diagramma psicrometrico alla pressione di 1013 mbar

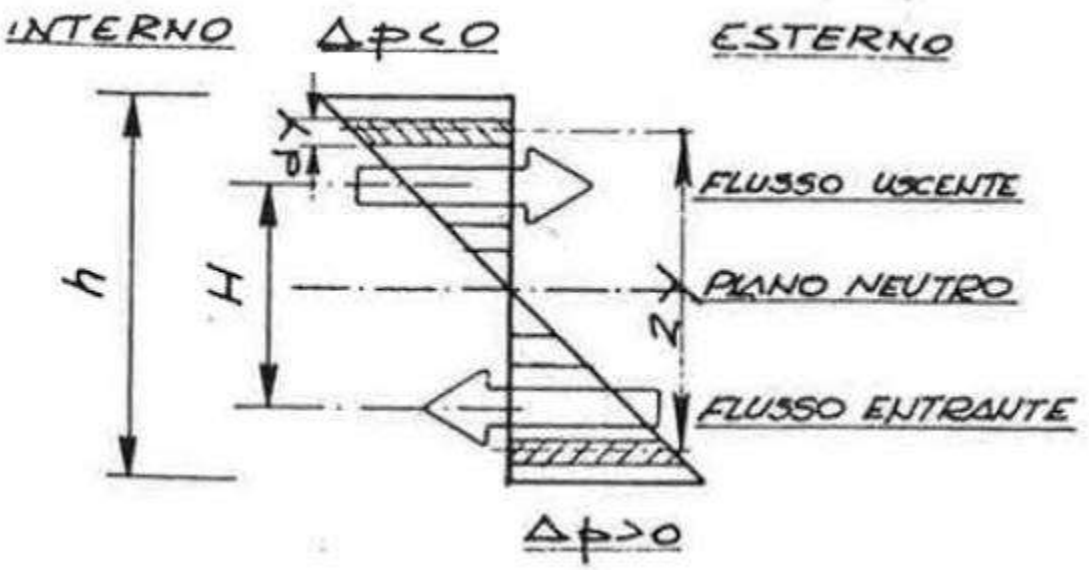


OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

Quanta aria passa da una finestra aperta?





UNI EN 16798-7:18

Trascurando sovrapressioni , schermi e ostacoli

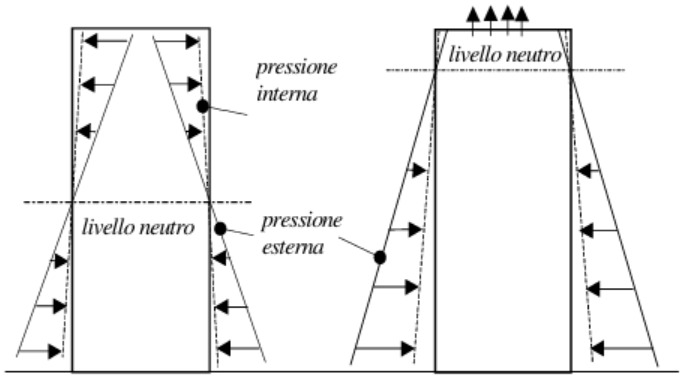


Table 11 — Constants and physical data

Name	Symbol	Unit	Value
Specific heat of the air at constant pressure	c_a	kWh/(kg K)	0,000 279
Coefficient taking into account stack effect in airing calculations	C_{st}	(m/s)/ (m·K)	0,0035
Coefficient taking into account wind speed in airing calculations	C_{wnd}	1/(m/s)	0,001
Acceleration of gravity	g	m/s²	9,81
Standard atmospheric pressure	p_{atm}	Pa	101325
Temperature at 0°C	$T_{0;abs}$	K	+273,15
External reference temperature	$T_{e;ref}$	K	293,15
Reference pressure for the envelope airtightness index	$\Delta p_{lea;ref}$	Pa	50
Air density at sea level, 293 K and dry air	$\rho_{a;ref}$	kg/m³	1,204[a]

[a] The air density can be adjusted for altitude h_{alt} above sea level as follows: $\rho_a = \rho_{a;ref}\left(1 - \frac{0,00651 \cdot h_{alt}}{293}\right)^{4,255}$

$$A_{w,i} = R_{w;arg,i} \cdot A_{w;max,i}$$

The total windows area is given by:

$$A_{w;tot} = \sum_{i=1}^{N_w} A_{w,i}$$

$$q_{V;arg;out} = -3600 \times \frac{\rho_{a;ref}}{\rho_{a;z}} \cdot \frac{A_{w;tot}}{2} \cdot \max\left(C_{wnd} \cdot u^2_{10;site}; C_{st} \cdot h_{w;st} \cdot abs\left(T_z - T_e\right)\right)^{0,5}$$

$$h_{w;st} = \max_{i=1 \text{ to } N_w}\left(h_{w;path,i} + \frac{h_{w;fa,i}}{2}\right) - \min_{i=1 \text{ to } N_w}\left(h_{w;path,i} - \frac{h_{w;fa,i}}{2}\right)$$

Arg = airing = arieggiamento; A_w = area della finestra; R_W =apertura finestra (0-1);
$h_{w,path}$=metà altezza finestra dal pavimento; $h_{w,fa}$ =altezza fin; $u_{10,site}$ = vel vento a 10 m dal suolo
Effetto stack = effetto camino

ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

punto 6.4.3.5	Ventilazione dovuta ad apertura finestre			UNI EN 16798:18
Ti	293	K		
pe	1,013	bar		
Te	277,3	K		
Tref	293	K		
Ro air ref	1,204	Kg/m3	tab 11	
quota slm	0			
Ro air ref quota	1,204	Kg/m3	at 283 K	
% apertura finestra	100	0-100%		
Volume stanza	43,2	m3		
Hwindow	1,6	m		
Lwindow	1,4	m		
H sottofinestra	0	m		
u wind	0	m/s	vel vento a 10 m	

ro air ext	1,272	kg/m3			
ro air zone	1,204	kg/m3			
Aw	2,24	m2		punto norma	
farg	1,8			B,3,3,8	
Cwnd	0,001	s/m			
Cst	0,0035	m/s/(mK)			
Hpath	0,8	m			
hw stack	1,6	m			
qv arg in	1131,62814	m3/h	0,4	Kg/s	
qv arg out	-1195,54069	m3/h	-0,4	Kg/s	
qv (aria espulsa)	1195,54069	m3/h	0,332095	m3/s	
tempo di rinnovo	130	s			

Ossia **bastano** circa **2 minuti** per il rinnovo totale del volume **!**

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

Condizioni da mantenere

DPR 74/2013 **per la temperatura prevede**

Art. 3. Valori massimi della temperatura ambiente

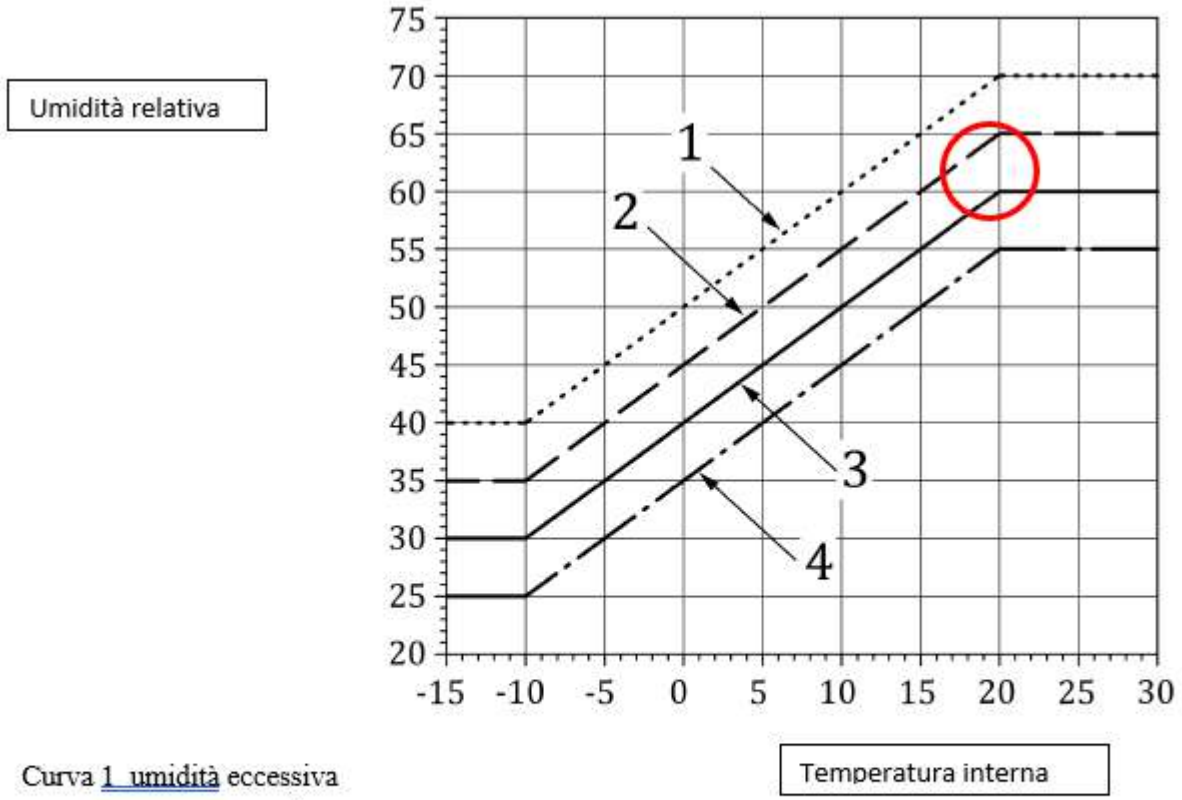
1.Durante il funzionamento dell'impianto di climatizzazione invernale, la media ponderata delle temperature dell'aria, misurate nei singoli ambienti riscaldati di ciascuna unità immobiliare, non deve superare:

a)18°C + 2°C di tolleranza per gli edifici adibiti ad attività industriali, artigianali e assimilabili;

b) 20°C + 2°C di tolleranza per tutti gli altri edifici.

Condizioni da mantenere

Per l'umidità un' umidità relativa pari tra il 58 e il 62% (Uni 15026-23 app D) per valori di temperatura attorno a 19 °C come visibile dal grafico sottostante



Curva 1 umidità eccessiva

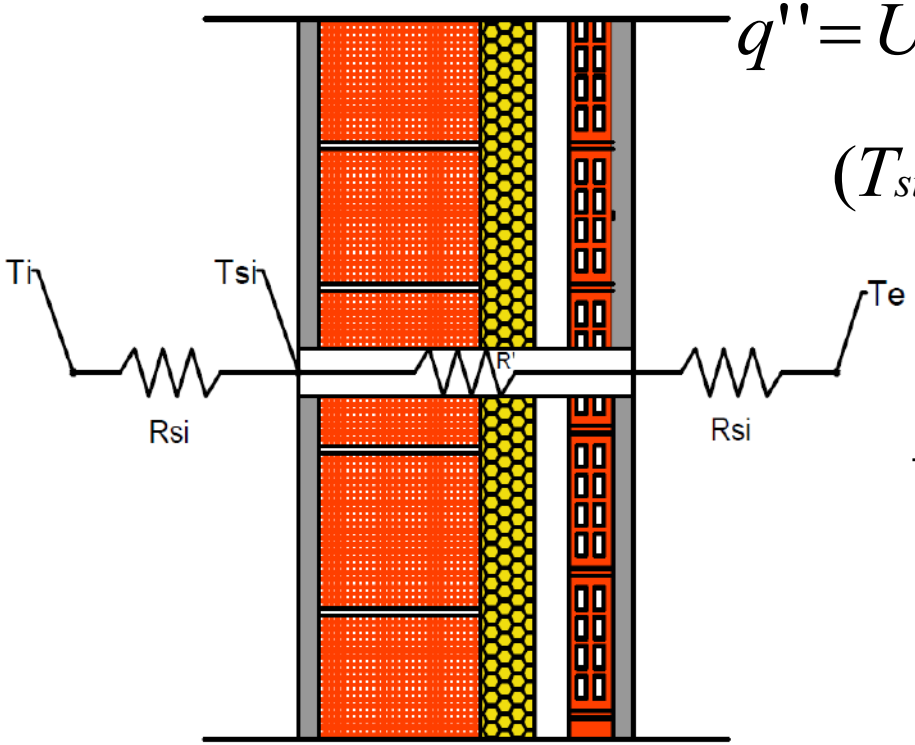
Curva 2 standard + 5%

Curva 3 Standard

Curva 4 bassa umidità relativa

Condense superficiali

PER L'ASSENZA DI RISCHIO FORMAZIONE MUFFE
CALCOLO DI f_{Rsi} = FATTORE DI TEMPERATURA



$$q'' = U(Ti - Te) \quad q'' = (T_{si} - Te)/(R_T - R_{si})$$

$$(T_{si} - Te)/(R_T - R_{si}) = U(T_{si} - Te)$$

$$\frac{T_{si} - Te}{Ti - Te} = f_{Rsi} = \frac{U}{R_T - R_{si}} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T}$$

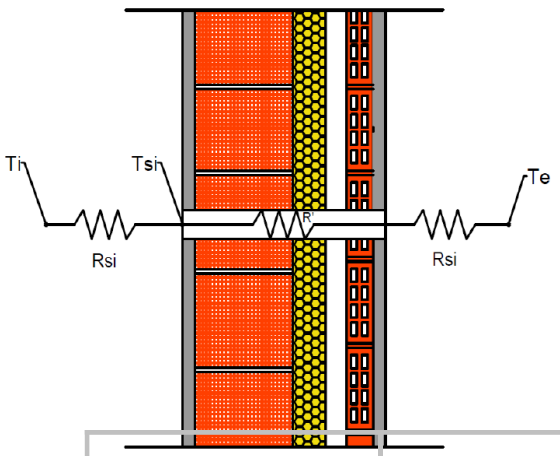
$$f_{Rsi} = 1 - UR_{si}$$

SIGNIFICATO f_{Rsi}: rapporto di resistenza tra sup-esterno e l'intera parete

f_{Rsi} varia tra 1 e 0 : se è vicino a 1 significa che Tsi≈ Ti quindi per evitare il rischio condense fRsi **deve essere il più alto possibile**

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA
FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

Procedura di calcolo : premesse



U	f Rsi
0.3	0.925
1	0.75
2	0.5

f_{Rsi} è influenzato da U e da Rsi

$$f_{Rsi} = 1 - UR_{si}$$

R_{si} vale ai fini del rischio di formazioni di muffe, per tenere conto di ponti termici, mobilio o tendaggi

Punto 4.4.1 della norma può valere anche

R_{si} =0.25 m²K/W

Contro i tradizionali

Direzione del flusso	R_{si} m²K/W
Verso alto	0,10
Orizzontale	0,13
Verso il basso	0,17

T_{simin} per controllo condensa/muffa/comfort	Rsi	Rse
2.1 superficie vetrata	0,13	0,04
2.2 metà superiore della stanza	0,25	0,04
2.3 metà inferiore della stanza	0,35	0,04
2.4 dietro mobili liberi staccati dalla parete	0,40	0,04
2.5 angoli poco ventilati, …	0,50	0,04
2.6 dietro mobili fissati sulla parete	1,00	0,04
2.5 contro terreno (profondità 3 m)	0,35	0,04

Su 20- (-5) UR_{si} rappresenta la percentuale di caduta di temperatura

Se U =2 W/m²K => Rsi = 0,25 significa T di parete 7,5 °C ! Muro in pietra

Se U = 1 W/m²K T di parete 13,8 °C

Se U =0,3 W/m²K T di parete 18,1°C

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE DEGLI ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

DATI NECESSARI PER IL CALCOLO f_{Rsi}.

1) Proprietà dei materiali e dei prodotti:

- Conducibilità termica (λ) EN 12524 10351:2015
- Resistenza termica (*R*) ISO 10456 o 6946

2) Condizioni climatiche:

- Dati climatici della località
  o con Norma UNI 10349 oppure se non noti

(riscaldamento raffrescamento)

(θ_e,p_e,h) (t, p del vapore esterni medi mens. altitudine)

Nota Bene: oggi condensa anche per raffrescamento

Prospetto 5 - Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna riferita alle stazioni di rilevazione dei dati climatici e valori del gradiente verticale di temperatura.

n	Sigla	GEN [°C]	FEB [°C]	MAR [°C]	APR [°C]	MAG [°C]	GIU [°C]	LUG [°C]	AGO [°C]	SET [°C]	OTT [°C]	NOV [°C]	DIC [°C]	MEDIA ANNUA [°C]	d [°C/m]
39	GE	10,2	10,3	10,9	15,1	18,5	22,2	24,4	23,4	22,0	18,0	13,1	9,8	16,5	1/200

Prospetto 7 - Valori medi mensili della pressione di vapore media giornaliera dell'aria esterna riferita alle stazioni di rilevazione dei dati climatici.

n.	Sigla	GEN [Pa]	FEB [Pa]	MAR [Pa]	APR [Pa]	MAG [Pa]	GIU [Pa]	LUG [Pa]	AGO [Pa]	SET [Pa]	OTT [Pa]	NOVA [Pa]	DIC [Pa]
39	GE	918	782	812	1109	1333	1804	2033	1806	1691	1276	1021	808

3) determinazione di p_i (**SE È NOTA LA PRODUZIONE "G" DI VAPORE**)

La pressione parziale del vapore interna p_{vi} dipende dal vapore all'estern e dal grado di occupazione e di ventilazione dell'edificio. La differenza tra le pressioni parziali del vapore all'interno ed all'esterno, Δ_{pv}, riportate nell'appendice E.2 della ISO 13788 si calcola:

$$\Delta p_v = \Delta v R_v \frac{T_i + T_e}{2} = \frac{G}{n V} R_v \frac{T_i + T_e}{2}$$

in cui

Δv = apporto specifico di vapore $[kg / m^3]$

R_v = cos tan te dei gas per il vapore acqueo = $462\,Pa\,m^3 / K\,kg$

T_i = temperatura int erna assoluta [K]

T_e = temperatura esterna assoluta [K]

G = produzione di vapore all'int erno deg li ambienti [kg / h]

n = rinnovo d'aria medio giornaliero in volumi all'ora $\left[h^{-1}\right]$

V = volume int erno netto $[m^3]$

Calcolata $\Delta_{pv,}$ si ricava la p_{vi} dall'equazione

$$p_{vi} = \bar{p}_{ve} + \Delta p_v$$

Causa	Quantità (kg/s * 10^{-6})
Cottura cibi:	
pentola in ebollizione, scoperta, diametro 20 cm	250
pentola in ebollizione, coperta, diametro 20 cm	97
Doccia calda	555
Bagno caldo in vasca	83
Panni stesi ad asciugare (kg 5)	55
Cibi caldi in tavola, per persona	4
Persona:	
in riposo	14
in attività leggera	28
in lavoro leggero	55
in lavoro pesante o ginnastica	111

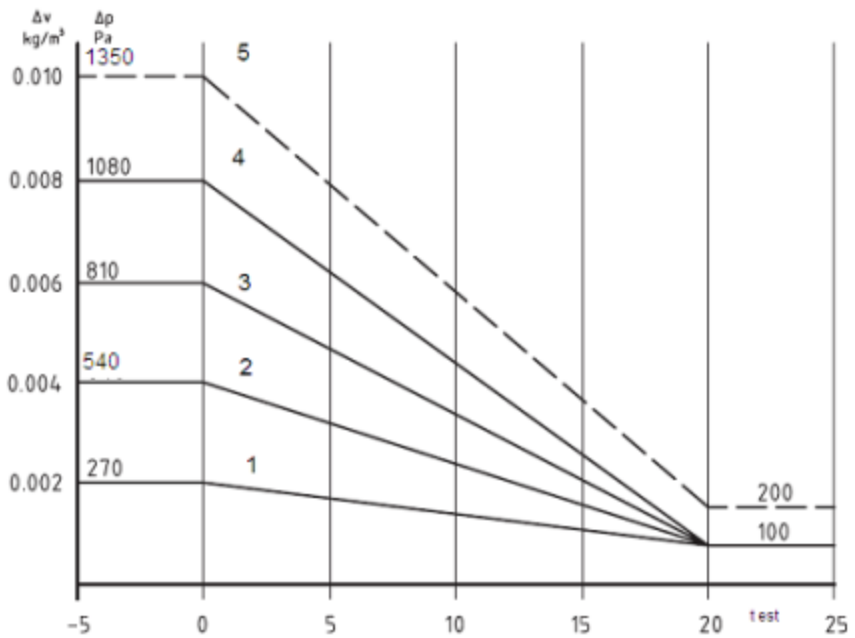
Calcolo di n

- *Assunto costante e pari a 0.5 h^{-1}*
- $n = 0.2 + 0.04\,T_e\ [h^{-1}]$ *Come da ISO 13788*
- $n = 0.2 + 0.04\,T_e\ [h^{-1}]$ per $T_e \geq 0°C$
  $n = 0.2\ [h^{-1}]$ per $T_e < 0°C$ *Come da UNI 10350*

4) determinazione di p_i (**SE NON È NOTA LA PRODUZIONE DI VAPORE**)

$p_i = p_e + \Delta p$ (il sottoscritto propone di usare $p_i = p_e + 1.05\ \Delta p$ per avere un piccolo margine del 5% in più a favore di sicurezza)

Classi di umidità	Edificio
1	Magazzini per stoccaggio di materiale secco, edifici non occupati
2	Uffici, negozi, alloggi con ventilazione meccanica controllata
3	Alloggi senza ventilazione meccanica controllata, edifici con occupazione non definita
4	Palestre, cucine, cantine.
5	Edifici speciali, per esempio lavanderie, distillerie, piscine



Esempio: calcolo del Δp relativo alla Classe 4.

$$\Delta p \begin{cases} 1080\ \text{Pa} & \text{se } -5°C < t_e < 0°C \\ 1080 - 980 * t_e/20\ \text{Pa} & \text{se } 0°C < t_e < 20°C \\ 100\ \text{Pa} & \text{se } t_e > 20°C \end{cases}$$

Residenziali generici classe 3

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

5) **CONDIZIONI TERMOIGROMETRICHE INTERNE**

13788 standard nazionali: UNI 10350: temperatura interna in funzione dell'uso specifico dell'edificio. Per applicazioni residenziali non climatizzati si pone:

- T_i= 20°C durante i mesi in cui è in funzione l'impianto di riscaldamento
- T_i=18°C durante i mesi in cui il valore della Te < 18°C
- T_i=T_e durante i mesi in cui il valore della temperatura esterna è ≥ a 18°C Per edifici destinati ad altri utilizzi la temperatura interna deve essere valutata caso per caso

6) **RISCHIO DI FORMAZIONE DI MUFFE** (PUNTO 5.1)

C'è rischio di crescita delle muffe quando l'umidità relativa media mensile della superficie è superiore da un valore critico $\varphi_{si\ cr}$=0.8 (80%)

Quindi il minimo valore accettabile di pressione di saturazione sulla parete sarà

$$p_{sat}(t_{si}) = \frac{p_i}{\varphi_{sicr}} = \frac{p_i}{0{,}8} = 1{,}25\, p_i$$

da cui si ricava t_{si}= minima al di sotto del quale NON si deve scendere

$$\theta = \frac{237{,}3 \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610{,}5}\right)}{17{,}269 - \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610{,}5}\right)} \quad \text{for } p_{sat} \geq 610{,}5 \text{ Pa}$$

$$\theta = \frac{265{,}5 \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610{,}5}\right)}{21{,}875 - \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610{,}5}\right)} \quad \text{for } p_{sat} < 610{,}5 \text{ Pa}$$

7) SI CALCOLA IL FATTORE DI TEMPERATURA f_{Rsi}
Poiché ogni mese cambia t_e e cambia anche p_i

a) $\forall$ mese $t_{si\ min}$ ⇒ ossia la minima temperatura al di sotto della quale non bisogna scendere per il rischio muffe

b) si calcola cosi $\forall$ mese $f_{Rsi\ min}$

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

c) il ns f_{Rsi} ($f_{Rsi} = 1 - UR_{si}$)
dovrà essere sempre maggiore dell' $f_{Rsi\ min}$

$$f_{Rsi} > \max_j (f_{Rsi\ min}) \quad j=1\ldots12 \text{ mesi dell'anno}$$

ESEMPIO : GENOVA CLASSE 3 ABITAZIONE

Genova		uni 10349								
		te	pve	te corretta		pvi	p sat(tsi)	t si min	**f Rsi min**	
		°C	Pa		∆p	Pa	pvi/0.8	°C	risc	no risc
1	GEN	7.9	718	7.9	530	1248	1560	13.6	0.471	
2	FEB	8.9	894	8.9	494	1388	1735	15.3	0.577	
3	MAR	11.6	883	11.6	398	1281	1601.25	14	0.286	
4	APR	14.7	1042	14.7	288	1330	1662.5	14.6	non signif	non signif
5	MAG	17.8	1446	17.8	178	1624	2030	17.7		non signif
6	GIU	21.9	1630	21.9	100	1730	2162.5	18.8		non signif
7	LUG	24.5	2065	24.5	100	2165	2706.25	22.4		non signif
8	AGO	24.6	1991	24.6	100	2091	2613.75	21.8		non signif
9	SET	22.3	1930	22.3	100	2030	2537.5	21.3		non signif
10	OTT	17.1	1369	17.1	203	1572	1965	17.2		0.111
11	NOV	12.9	915	12.9	352	1267	1583.75	13.9	0.141	
12	DIC	9.3	853	9.3	480	1333	1666.25	14.6	0.495	

VERIFICA			
U	fRsi	max (fRsi min)	verifica
W/m2k			
0.3	0.925	0.577	SI
1	0.75	0.577	SI
2	0.5	0.577	NO

max (fRsi min)	**0.577**	
mese critico	**FEB**	
U minima per verifica	**1.692**	**W/m2K**

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

ESEMPIO : Torriglia CLASSE 3 ABITAZIONE

Torriglia		uni 10349								
		te	pve	te corretta		pvi	p sat(tsi)	t si min	**f Rsi min**	
		°C	Pa		Δp	Pa	pvi/0.8	°C	risc	no risc
1	GEN	7.9	718	3.995	668	1386	1732.5	15.3	0.706	
2	FEB	8.9	894	4.995	633	1527	1908.75	16.8	0.787	
3	MAR	11.6	883	7.695	537	1420	1775	15.6	0.642	
4	APR	14.7	1042	10.795	427	1469	1836.25	16.2	0.587	0.75
5	MAG	17.8	1446	13.895	317	1763	2203.75	19.1		non signif
6	GIU	21.9	1630	17.995	171	1801	2251.25	19.4		non signif
7	LUG	24.5	2065	20.595	100	2165	2706.25	22.4		non signif
8	AGO	24.6	1991	20.695	100	2091	2613.75	21.8		non signif
9	SET	22.3	1930	18.395	157	2087	2608.75	21.8		non signif
10	OTT	17.1	1369	13.195	342	1711	2138.75	18.6		non signif
11	NOV	12.9	915	8.995	491	1406	1757.5	15.5	0.591	
12	DIC	9.3	853	5.395	618	1471	1838.75	16.2	0.74	

VERIFICA			
U	fRsi	max (fRsi min)	verifica
W/m2k			
0.3	0.925	0.787	SI
1	0.75	0.787	NO
2	0.5	0.787	NO

max (fRsi min)	**0.787**	
mese critico	**FEB**	
U minima per verifica	**0.852**	**W/m2K**



OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA



FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

ESEMPIO TORRIGLIA: CUCINE CLASSE UMIDITA 4

Genova		uni 10349								
		te	pve	te corretta		pvi	p sat(tsi)	t si min	f Rsi min	
		°C	Pa		△p	Pa	pvi/0.8	°C	risc	no risc
1	GEN	7.9	718	3.995	884	1602	2002.5	17.5	0.844	
2	FEB	8.9	894	4.995	835	1729	2161.25	18.7	0.913	
3	MAR	11.6	883	7.695	703	1586	1982.5	17.4	0.789	
4	APR	14.7	1042	10.795	551	1593	1991.25	17.4	0.718	0.917
5	MAG	17.8	1446	13.895	399	1845	2306.25	19.8		non signif
6	GIU	21.9	1630	17.995	198	1828	2285	19.6		non signif
7	LUG	24.5	2065	20.595	100	2165	2706.25	22.4		non signif
8	AGO	24.6	1991	20.695	100	2091	2613.75	21.8		non signif
9	SET	22.3	1930	18.395	179	2109	2636.25	22		non signif
10	OTT	17.1	1369	13.195	433	1802	2252.5	19.4		non signif
11	NOV	12.9	915	8.995	639	1554	1942.5	17	0.727	
12	DIC	9.3	853	5.395	816	1669	2086.25	18.2	0.877	

VERIFICA			
U	fRsi	max (fRsi min)	verifica
W/m2k			
0.3	0.925	0.917	SI
1	0.75	0.917	NO
2	0.5	0.917	NO

max (fRsi min)	**0.917**	
mese critico	**APR**	
U minima per verifica	**0.332**	**W/m2K**

Cfr U lim 2019 circa 0.32 W/m²K o minore

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

ESEMPIO ALESSANDRIA CLASSE UMIDITA 3 ABITAZIONE

Alessandria		uni 10349		Classe di umidità		3				
		te	pve	te corretta		pvi	p sat(tsi)	t si min	**f Rsi min**	
		°C	Pa		∆p	Pa	pvi/0.8	°C	risc	no risc
1	GEN	0.9	509	0.9	778	1287	1608.75	14.1	0.691	
2	FEB	3.3	594	3.3	693	1287	1608.75	14.1	0.647	
3	MAR	8.4	792	8.4	512	1304	1630	14.3	0.509	
4	APR	13.1	1091	13.1	345	1436	1795	15.8	0.391	0.551
5	MAG	17.4	1402	17.4	192	1594	1992.5	17.4		0
6	GIU	21.8	1862	21.8	100	1962	2452.5	20.8		non signif
7	LUG	24.3	2023	24.3	100	2123	2653.75	22.1		non signif
8	AGO	23.3	1964	23.3	100	2064	2580	21.6		non signif
9	SET	19.2	1737	19.2	128	1865	2331.25	20		non signif
10	OTT	12.9	1205	12.9	352	1557	1946.25	17.1	0.592	0.824
11	NOV	7.1	863	7.1	558	1421	1776.25	15.6	0.659	
12	DIC	2.4	600	2.4	725	1325	1656.25	14.6	0.693	

VERIFICA			
U	fRsi	max (fRsi min)	verifica
W/m2k			
0.3	0.925	0.824	SI
1	0.75	0.824	NO
2	0.5	0.824	NO

max (fRsi min)	**0.824**	
mese critico	**OTT**	
U minima per verifica	**0.704**	**W/m2K**

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

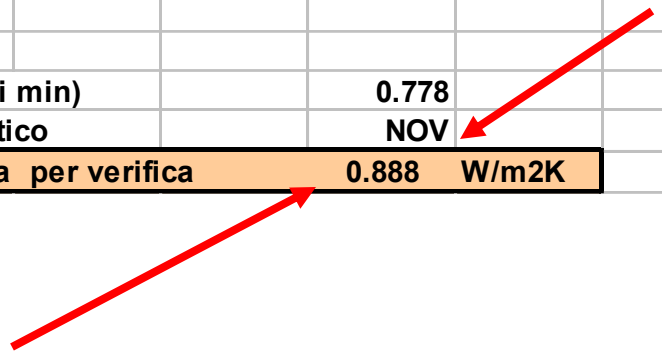
FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

ESEMPIO Savona CLASSE 3

SAVONA		uni 10349		Classe di umidità		3				
		te	pve	te corretta		pvi	p sat(tsi)	t si min	**f Rsi min**	
		°C	Pa		∆p	Pa	pvi/0.8	°C	risc	no risc
1	GEN	6.5	941	6.5	579	1520	1900	16.7	0.756	
2	FEB	8.5	975	8.5	508	1483	1853.75	16.3	0.678	
3	MAR	11.4	1017	11.4	405	1422	1777.5	15.7	0.5	
4	APR	14.6	1192	14.6	292	1484	1855	16.3	0.315	0.5
5	MAG	18.1	1490	18.1	167	1657	2071.25	18.1		non signif
6	GIU	22.2	1740	22.2	100	1840	2300	19.7		non signif
7	LUG	24.9	2040	24.9	100	2140	2675	22.2		non signif
8	AGO	24.6	2008	24.6	100	2108	2635	22		non signif
9	SET	21.9	1903	21.9	100	2003	2503.75	21.1		non signif
10	OTT	16.9	1607	16.9	210	1817	2271.25	19.5		non signif
11	NOV	11.9	1288	11.9	388	1676	2095	18.2	0.778	
12	DIC	8.2	1044	8.2	519	1563	1953.75	17.1	0.754	

VERIFICA			
U	fRsi	max (fRsi min)	verifica
W/m2k			
0.3	0.925	0.778	SI
1	0.75	0.778	NO
2	0.5	0.778	NO

max (fRsi min)	**0.778**	
mese critico	**NOV**	
U minima per verifica	**0.888**	**W/m2K**



OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

ESEMPIO Imperia CLASSE 3

Imperia		uni 10349		Classe di umidità		3				
		te	pve	te corretta		pvi	p sat(tsi)	t si min	f Rsi min	
		°C	Pa		△p	Pa	pvi/0.8	°C	risc	no risc
1	GEN	8.6	651	8.65	503	1154	1442.5	12.4	0.33	
2	FEB	9.4	703	9.4	476	1179	1473.75	12.8	0.321	
3	MAR	11.6	767	11.65	396	1163	1453.75	12.6	0.114	
4	APR	14.7	939	14.75	286	1225	1531.25	13.3	non signif	non signif
5	MAG	17.9	1360	17.95	173	1533	1916.25	16.8		non signif
6	GIU	21.7	1480	21.75	100	1580	1975	17.3		non signif
7	LUG	24.5	1873	24.55	100	1973	2466.25	20.9		non signif
8	AGO	24.1	2123	24.15	100	2223	2778.75	22.8		non signif
9	SET	21.8	1696	21.85	100	1796	2245	19.4		non signif
10	OTT	17.4	1306	17.45	191	1497	1871.25	16.5		non signif
11	NOV	12.7	1046	12.75	357	1403	1753.75	15.4	0.366	
12	DIC	9.5	733	9.55	471	1204	1505	13.1	0.34	

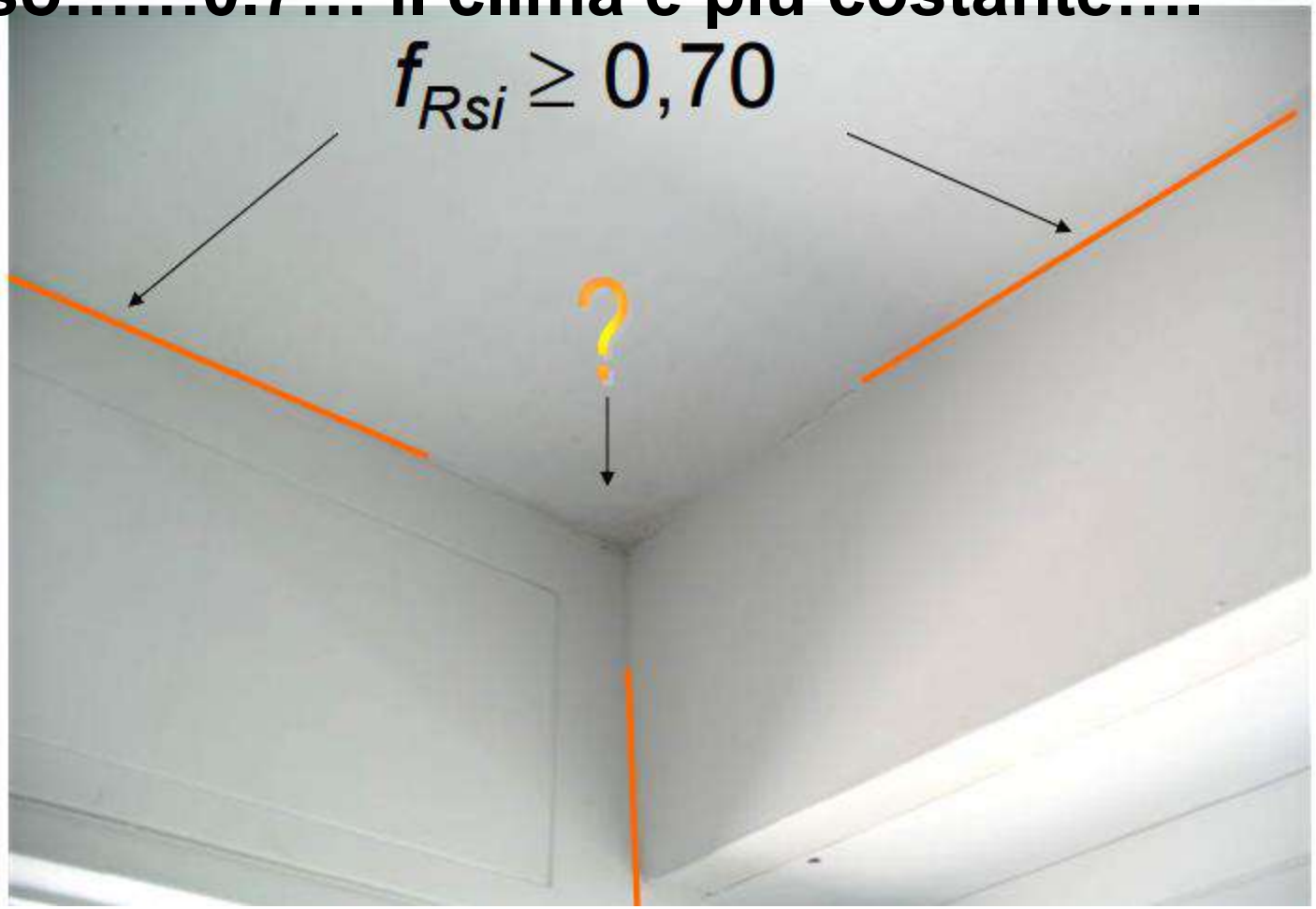
VERIFICA			
U	fRsi	max (fRsi min)	verifica
W/m2k			
0.3	0.925	0.366	SI
1	0.75	0.366	SI
2	0.5	0.366	SI

max (fRsi min)	**0.366**	
mese critico	**NOV**	
U minima per verifica	**2.536**	**W/m2K**

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

In Austria la din 4108 pone un valore fisso……0.7… il clima è più costante….



Condense interstiziali

Metodo di Glaser

Metodologia di valutazione dei fenomeni interstiziali

Ipotesi

- il trasporto di umidità unidimensionale è in fase vapore;
- non si considera l'effetto provocato dai gradienti termici esistenti nella struttura;
- non si considera il trasporto di umidità che può essere associato a moti convettivi di aria umida;
- si considerano condizioni di regime stazionario;
- l'acqua condensata all'interno della parete non si muove dalle zone di condensa verso le più secche zone limitrofe.

Metodo di Glaser costruzione di un diagramma

(detto diagramma di diffusione della parete)

in **ordinate**: le pressioni parziali del vapore $\mathbf{P_v}$

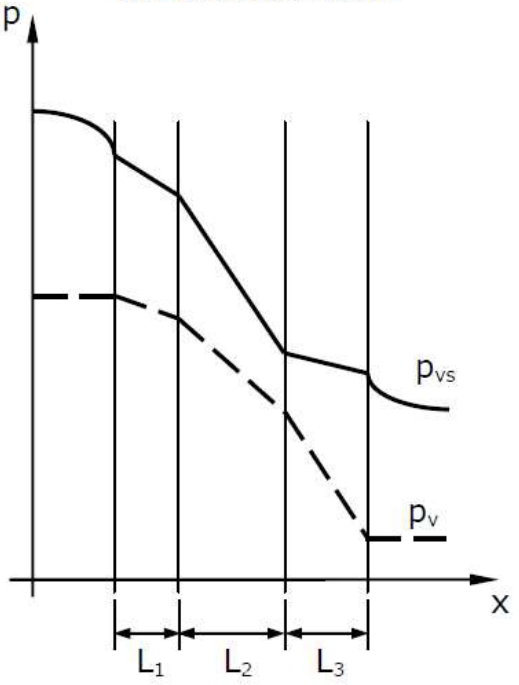
le pressioni di saturazione del vapore $\mathbf{P_s}$ (T)

in **ascisse** i vari strati della struttura.

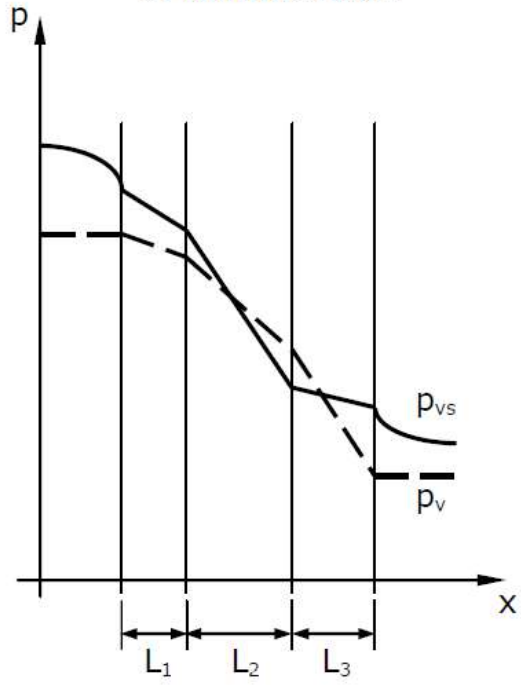
$\Rightarrow$ confronto tra i due andamenti i = pv/ps

se pv> ps $\Rightarrow$ condensa

NO condensazione



SI condensazione



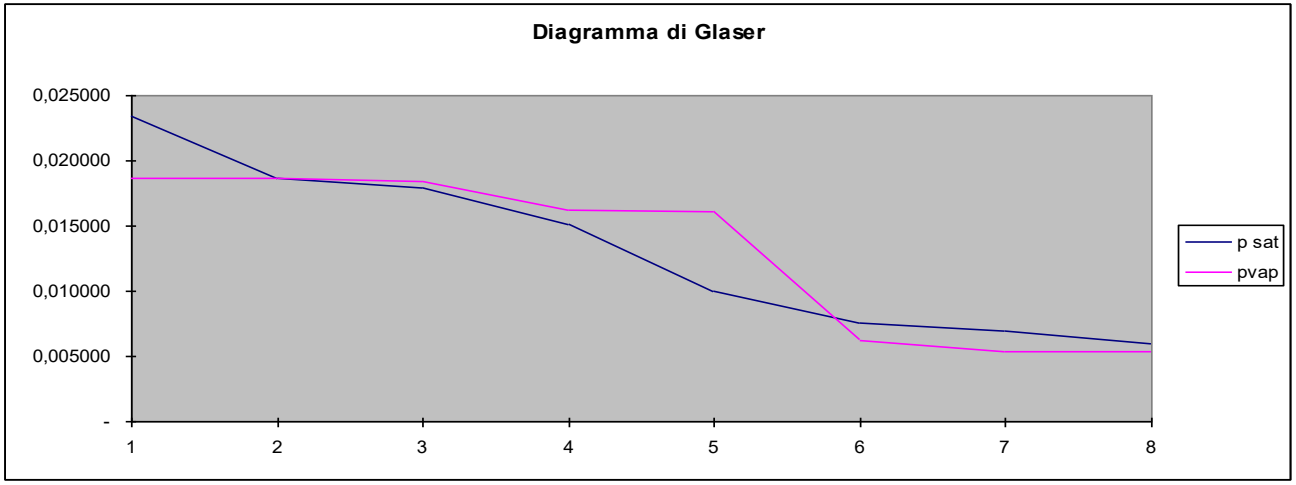
ORDINE DEGLI ARCHITETTI PIANIFICATORI PAESAGGISTI E CONSERVATORI DI GENOVA

FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI PAESAGGISTI PIANIFICATORI E CONSERVATORI DI GENOVA

verifica in condizioni di max deltat

materiale	spessore	k (W/mK)	res (s/k)	mu	smu	somma parz res	
aria int		8	0,12500			0,125	
intonaco interno	0,02	0,8	0,02500	8	0,16	0,150	0,160
mattoni interni	0,08	0,9	0,08889	20	1,60	0,239	1,760
aria	0,11	0,5	0,22000	1	0,11	0,459	1,870
mattoni esterni	0,14	1	0,14000	50	7,00	0,599	8,870
Int. Est	0,05	1,5	0,03333	12	0,60	0,632	9,470
aria est			0,06667			0,699	9,470
totale	0,4		0,69889		9,470		
K= trasmittanza = 1/Rtot			1,4308	permeanza	0,1056	(/100)	

distribuzione di	temp.	p sat	p vap			
int	20	0,023366	0,0186928	17,530	14,024	0,8 i int
1	16,42	0,018687	0,0186928	14,020	14,024	0,9 I est
2	15,71	0,017867	0,01847	13,405	13,856	
3	13,16	0,015154	0,01623	11,369	12,173	
4	6,87	0,009942	0,01607	7,459	12,057	
5	2,86	0,007518	0,00626	5,640	4,694	
6	1,91	0,007007	0,00542	5,257	4,063	
est	0,00	0,006017	0,00542	0,00	controllo	



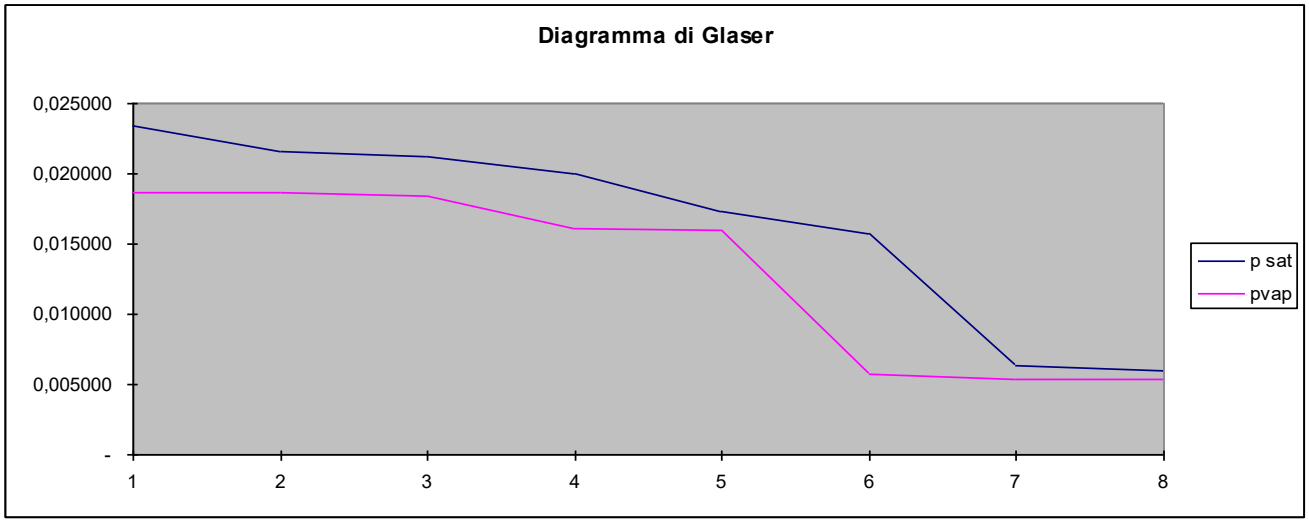
OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

verifica in condizioni di max deltat

materiale	spessore	k (W/mK)	res (s/k)	mu	smu	somma parz res	
aria int		8	0,12500			0,125	
intonaco interno	0,02	0,8	0,02500	8	0,16	0,150	0,160
mattoni interni	0,08	0,9	0,08889	20	1,60	0,239	1,760
aria	0,11	0,5	0,22000	1	0,11	0,459	1,870
mattoni esterni	0,14	1	0,14000	50	7,00	0,599	8,870
Int. Est termico	0,05	0,04	1,25000	3,8	0,19	1,849	9,060
aria est			0,06667			1,916	9,060
totale	0,4		1,91556		9,060		
K= trasmittanza = 1/Rtot			0,5220	permeanza	0,1104	(/100)	

distribuzione di	temp.	p sat	p vap			
int	20	0,023366	0,0186928	17,530	14,024	0,8 i int
1	18,69	0,021577	0,0186928	16,188	14,024	0,9 l est
2	18,43	0,021219	0,01846	15,919	13,848	
3	17,51	0,020017	0,01611	15,018	12,089	
4	15,21	0,017354	0,01595	13,020	11,968	
5	13,75	0,015725	0,00569	11,798	4,272	
6	0,70	0,006378	0,00542	4,785	4,063	
est	0,00	0,006017	0,00542	0,00	controllo	

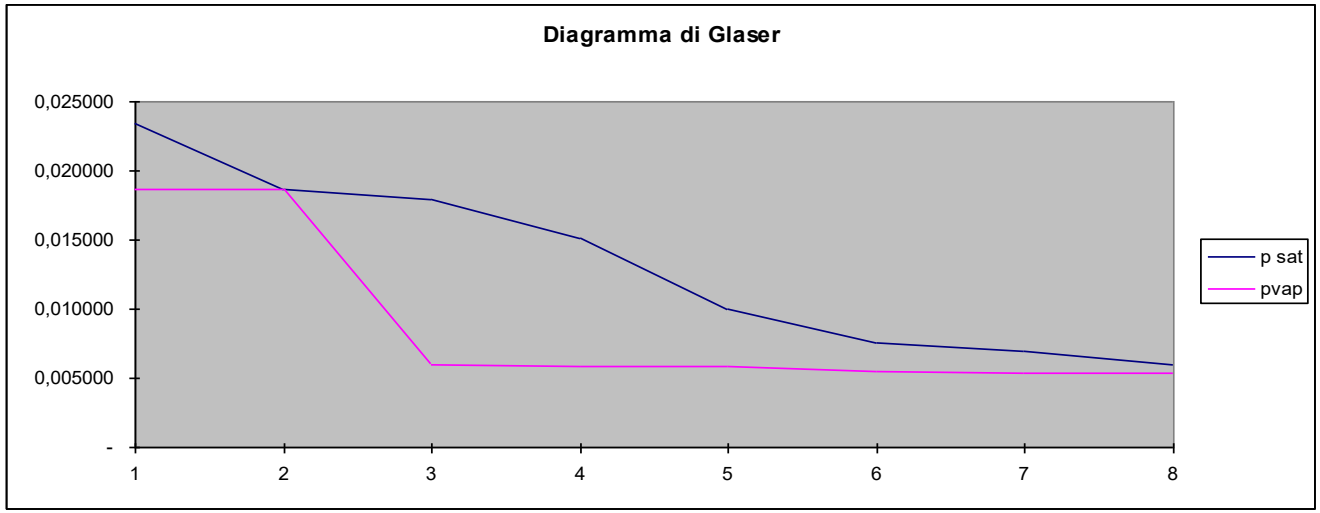


RIVESTIMENTO A CAPPOTTO

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

materiale	spessore	k (W/mK)	res (s/k)	mu	smu	somma parz res	
aria int		8	0,12500			0,125	
intonaco int c barr vap	0,02	0,8	0,02500		200,00	0,150	200,000
mattoni interni	0,08	0,9	0,08889	20	1,60	0,239	201,600
aria	0,11	0,5	0,22000	1	0,11	0,459	201,710
mattoni esterni	0,14	1	0,14000	50	7,00	0,599	208,710
Int. Est termico	0,05	1,5	0,03333	12	0,60	0,632	209,310
aria est			0,06667			0,699	209,310
totale	0,4		0,69889		209,310		
K= trasmittanza = 1/Rtot			1,4308	permeanza	0,0048	(/100)	

distribuzione di	temp.	p sat	p vap			
int	20	0,023366	0,0186928	17,530	14,024	0,8 i int
1	16,42	0,018687	0,0186928	14,020	14,024	0,9 l est
2	15,71	0,017867	0,00601	13,405	4,506	
3	13,16	0,015154	0,00590	11,369	4,430	
4	6,87	0,009942	0,00590	7,459	4,425	
5	2,86	0,007518	0,00545	5,640	4,091	
6	1,91	0,007007	0,00542	5,257	4,063	
est	0,00	0,006017	0,00542	0,00	controllo	



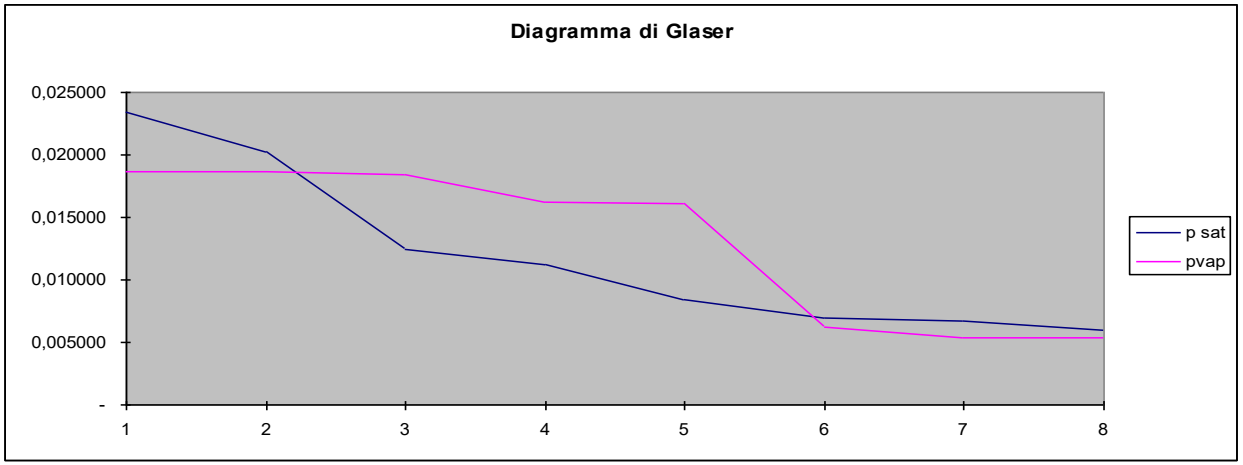
BARRIERA AL VAPORE

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA

materiale	spessore	k (W/mK)	res (s/k)	mu	smu	somma parz res	
aria int		8	0,12500			0,125	
intonaco interno con sughero	0,02	0,05	0,40000	8	0,16	0,525	0,160
mattoni interni	0,08	0,9	0,08889	20	1,60	0,614	1,760
aria	0,11	0,5	0,22000	1	0,11	0,834	1,870
mattoni esterni	0,14	1	0,14000	50	7,00	0,974	8,870
Int. Est	0,05	1,5	0,03333	12	0,60	1,007	9,470
aria est			0,06667			1,074	9,470
totale	0,4		1,07389		9,470		
K= trasmittanza = 1/Rtot			0,9312	permeanza	0,1056		

distribuzione di	temp.	p sat	p vap			
int	20	0,023366	0,0186928	17,530	14,024	0,8 i int
1	17,67	0,020221	0,0186928	15,171	14,024	0,9 l est
2	10,22	0,012464	0,01847	9,351	13,856	
3	8,57	0,011159	0,01623	8,372	12,173	
4	4,47	0,008415	0,01607	6,313	12,057	
5	1,86	0,006984	0,00626	5,239	4,694	
6	1,24	0,006661	0,00542	4,998	4,063	
est	0,00	0,006017	0,00542	0,00	controllo	



Soluzione **errata (?):** coibentazione interna

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA



Prof. Ing. Paolo Cavalletti
(a contratto)
paolo.cavalletti@unige.it

OA.GE
ORDINE DEGLI ARCHITETTI
PIANIFICATORI PAESAGGISTI
E CONSERVATORI DI GENOVA

FOA.GE
FONDAZIONE ORDINE ARCHITETTI
PAESAGGISTI PIANIFICATORI
E CONSERVATORI DI GENOVA