

# EFFICIENZA ENERGETICA DEGLI EDIFICI: INTERVENTI SULL'INVOLUCRO

## INDICE DELL'INTERVENTO

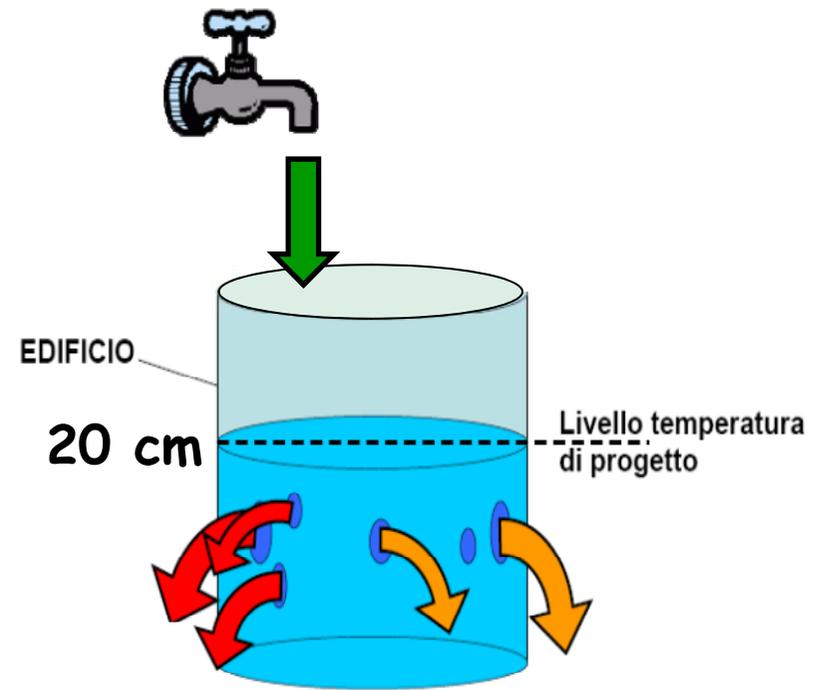
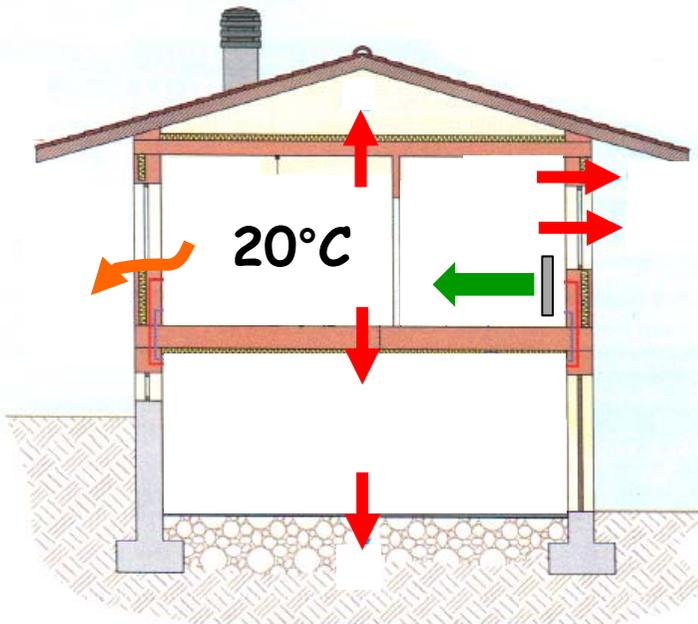
Analisi delle principali dispersioni di energia termica attraverso l'involucro di un edificio

Formazione di condensa all'interno delle pareti

Strumenti per effettuare indagini sull'involucro di un edificio

Ipotesi di intervento sull'involucro

# DISPERSIONI DI ENERGIA TERMICA DI UN EDIFICIO



## DISPERSIONI PER TRASMISSIONE

- Pareti opache
- Finestre
- Ponti termici

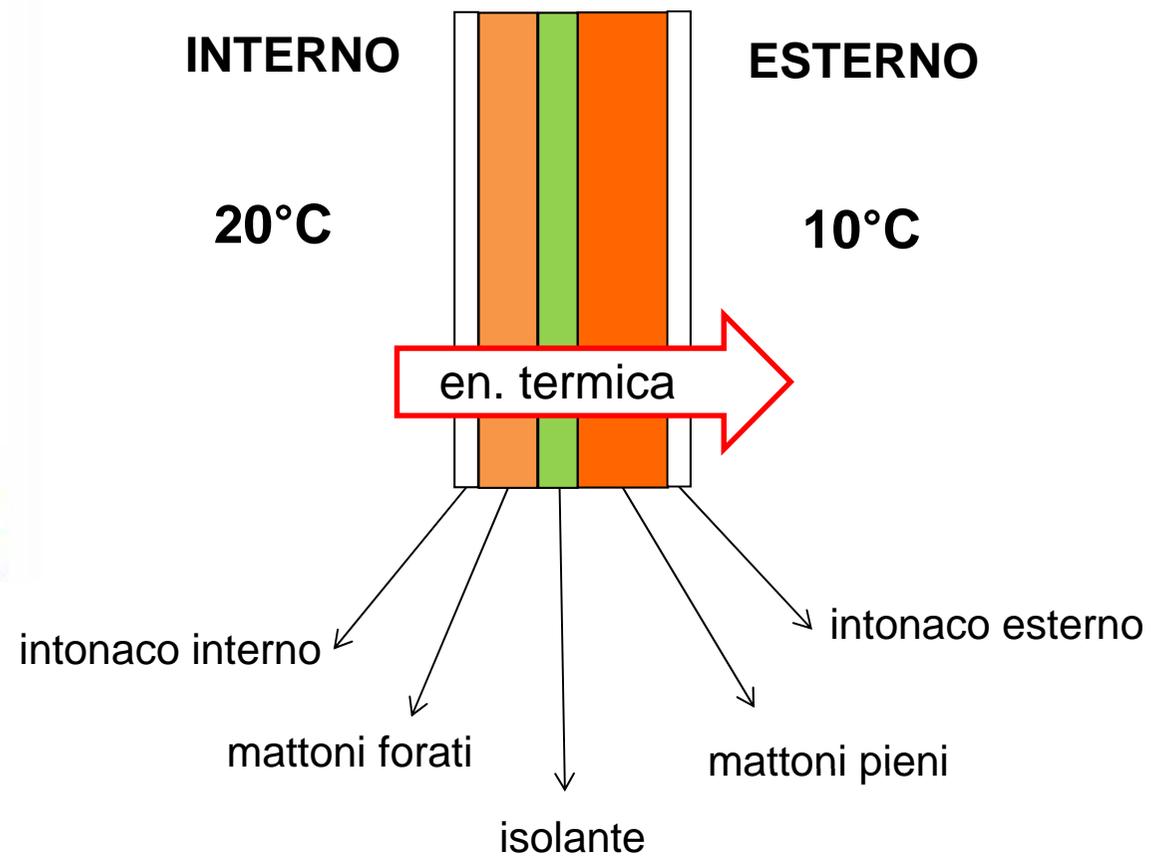
## DISPERSIONI PER VENTILAZIONE

# DISPERSIONE DI CALORE ATTRAVERSO LE PARETI OPACHE

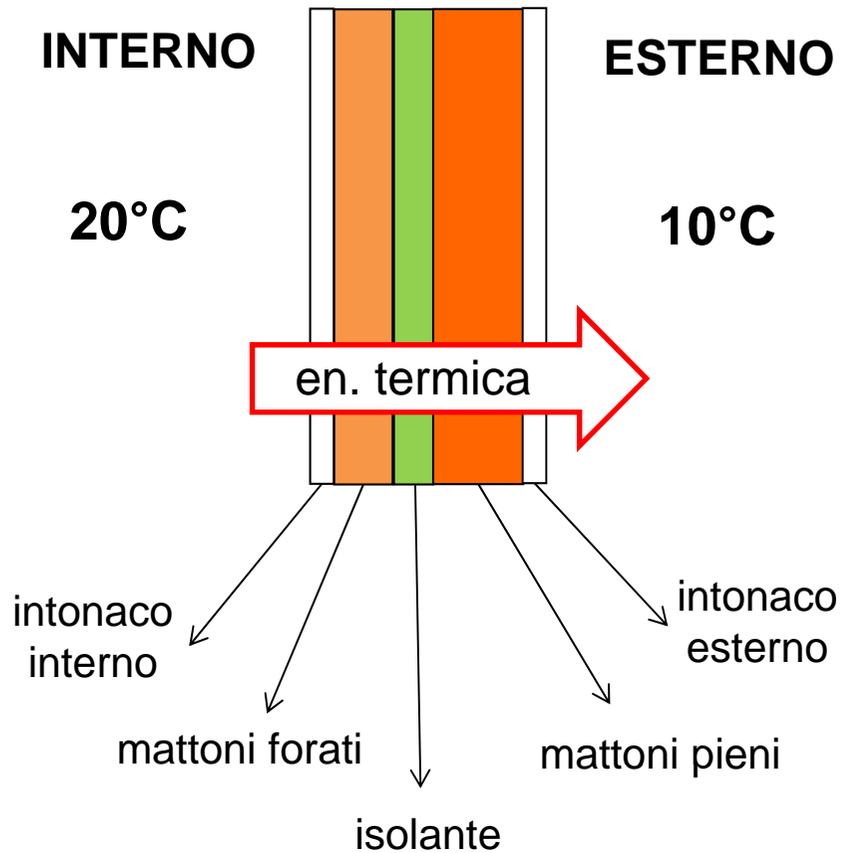
PARETE PERIMETRALE



STRATIGRAFIA DELLA PARETE



# DISPERSIONE DI CALORE ATTRAVERSO LE PARETI OPACHE



La composizione di una parete (tipo di materiali e il loro spessore) determina la sua capacità di trasmettere calore



TRAMITTANZA di una parete

$U$  [W/m<sup>2</sup>K]

# I MATERIALI ISOLANTI

Si tratta di materiali che presentano una bassa conducibilità termica

CONDUCIBILITA' TERMICA: capacità di un materiale di trasferire calore

**CONDUCIBILITA' TERMICA**  
**ACCIAIO**  
**30 – 100 W/mK**



**CONDUCIBILITA' TERMICA**  
**LEGNO**  
**0,1 – 0,3 W/mK**



# I MATERIALI ISOLANTI

MATERIALE	DENSITA' [kg/m <sup>3</sup> ]	CONDUCIBILITA' TERMICA [W/mK]
Intonaco di calce e gesso	1400	0,7
Mattone forato	600	0,25
Mattone forato	1400	0,5
Mattone forato	2000	0,9
Calcestruzzo	1800	1,15
Calcestruzzo	2400	2
Polistirene espanso	35	0,033
Pannelli legno compensato	90	0,043
Fibre di vetro (pann rigidi)	100	0,039
Sughero	90	0,04
Abete	450	0,12
Quercia	850	0,22
Vetro	2500	1
Piastrelle ceramica	2300	1,3
Piastrelle materiale sintetico	1000	0,2

# ALCUNI ESEMPI...

## Anni 60 - 70

STRUTTURA N° 17: DESCRIZIONE: Muratura in blocchi di cemento

Sezione struttura	Rif.	Materiali	Massa volumica (kg/m <sup>3</sup> )	Conduttività [W/(m × K)]
	1	Intonaco interno (a base di calce)	1 600 - 1 800	0,90
	2	Muro in laterizio spessore 8 cm	650 - 800	0,30
	3	Intercapedine d'aria o polistirolo	-	
	4	Muro in blocchi di cemento spessore 20 cm	1 400	0,50
	5	Intonaco esterno	1 800	0,90
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

$$U = 0,94 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## Anni 70 - 80

Spessori variabili da 39 cm a 45 cm (in funzione dello spessore dell'intercapedine).

## Anni 60 - 70

STRUTTURA N° 18: DESCRIZIONE: Muratura in laterizio

Sezione struttura	Rif.	Materiali
	1	Intonaco interno (a base di calce)
	2	Muro in laterizio spessore 8 cm
	3	Intercapedine d'aria o polistirolo
	4	Muro in mattoni forati spessore 25 cm
	5	Intonaco esterno
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	

$$U = 1,04 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Spessori variabili da 39 cm a 45 cm (in funzione dello spessore dell'intercapedine).

STRUTTURA N° 19: DESCRIZIONE: Muratura in laterizio "BIMATTONE"

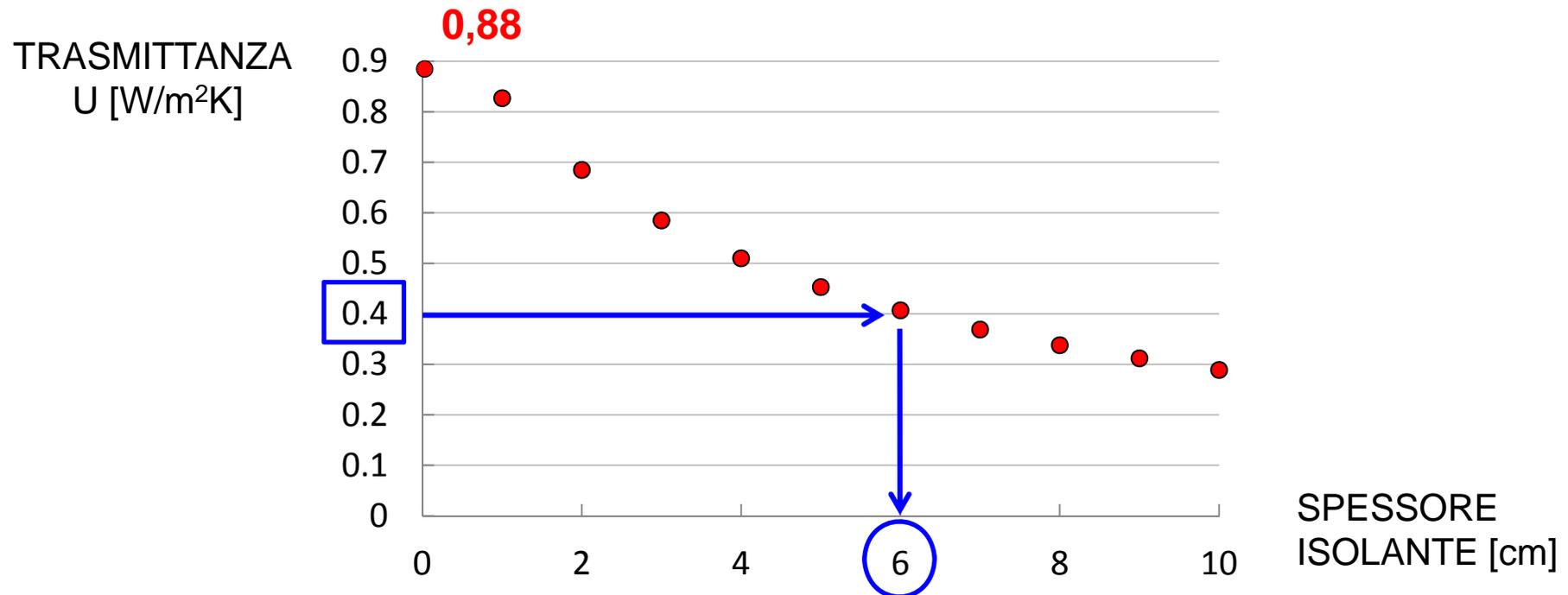
Sezione struttura	Rif.	Materiali	Massa volumica (kg/m <sup>3</sup> )	Conduttività [W/(m × K)]
	1	Intonaco interno (a base di calce)	1 600 - 1 800	0,90
	2	Muro in laterizio spessore 8 cm	650 - 800	0,30
	3	Intercapedine d'aria o polistirolo	-	
	4	Muro in laterizio "BIMATTONE" spessore 25 cm	2 200	0,50
	5	Intonaco esterno	1 800	0,90
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			

$$U = 0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Spessori variabili da 39 cm a 45 cm (in funzione dello spessore dell'intercapedine).

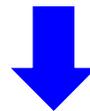
# INTRODUCIAMO L'ISOLANTE

Partiamo dalla parete con trasmittanza pari a 0,88 e aggiungiamo uno strato di materiale isolante



Aggiungendo 6 cm di isolante:

la trasmittanza passa da 0,88 W/m<sup>2</sup>K a un valore di 0,41 W/m<sup>2</sup>K



**si dimezza l'energia termica che si disperde attraverso una parete**

# DISPERSIONE ATTRAVERSO UNA PARETE

ENERGIA DISPERSA DA UNA PARETE (3 m x 4 m) IN 1 ORA

$$E = U \cdot A \cdot (\vartheta_{int} - \vartheta_{est}) \cdot t \quad [\text{Wh}]$$

Prima di introdurre l'isolante:

$$E = 0,88 \cdot 12 \cdot (20 - 10) \cdot 1 = 105,6 \text{ Wh}$$

Dopo aver introdotto 6 cm di isolante:

$$E = 0,41 \cdot 12 \cdot (20 - 10) \cdot 1 = 49,2 \text{ Wh}$$

# DISPERSIONE ATTRAVERSO UNA PARETE

**Esempio:** calcolo dell'energia dispersa verso l'esterno da una **parete** nel mese di gennaio

$$E_{\text{gennaio}} = U \cdot A \cdot (\vartheta_{\text{int}} - \vartheta_{\text{media,gennaio}}) \cdot t \quad [\text{Wh}]$$

$$\vartheta_{\text{media,gennaio}} = 3,5 \text{ °C (Udine)}$$

$$E_{\text{gennaio}} = 0,41 \cdot 12 \cdot (20 - 3,5) \cdot 24 \cdot 31 = 60398 \quad \text{Wh}$$

$$E_{\text{gennaio}} = 60,4 \quad \text{kWh}$$

# VINCOLI SULLA TRASMITTANZA

**DPR 59/09** Nei casi di ristrutturazioni totali o parziali e manutenzioni straordinarie dell'involucro è previsto, per quanto riguarda la trasmittanza delle pareti, il rispetto dei seguenti valori

**UDINE**

Zona climatica	Dal 1 gennaio 2010
A	0.62
B	0.48
C	0.40
D	0.36
E	0.34
F	0.33

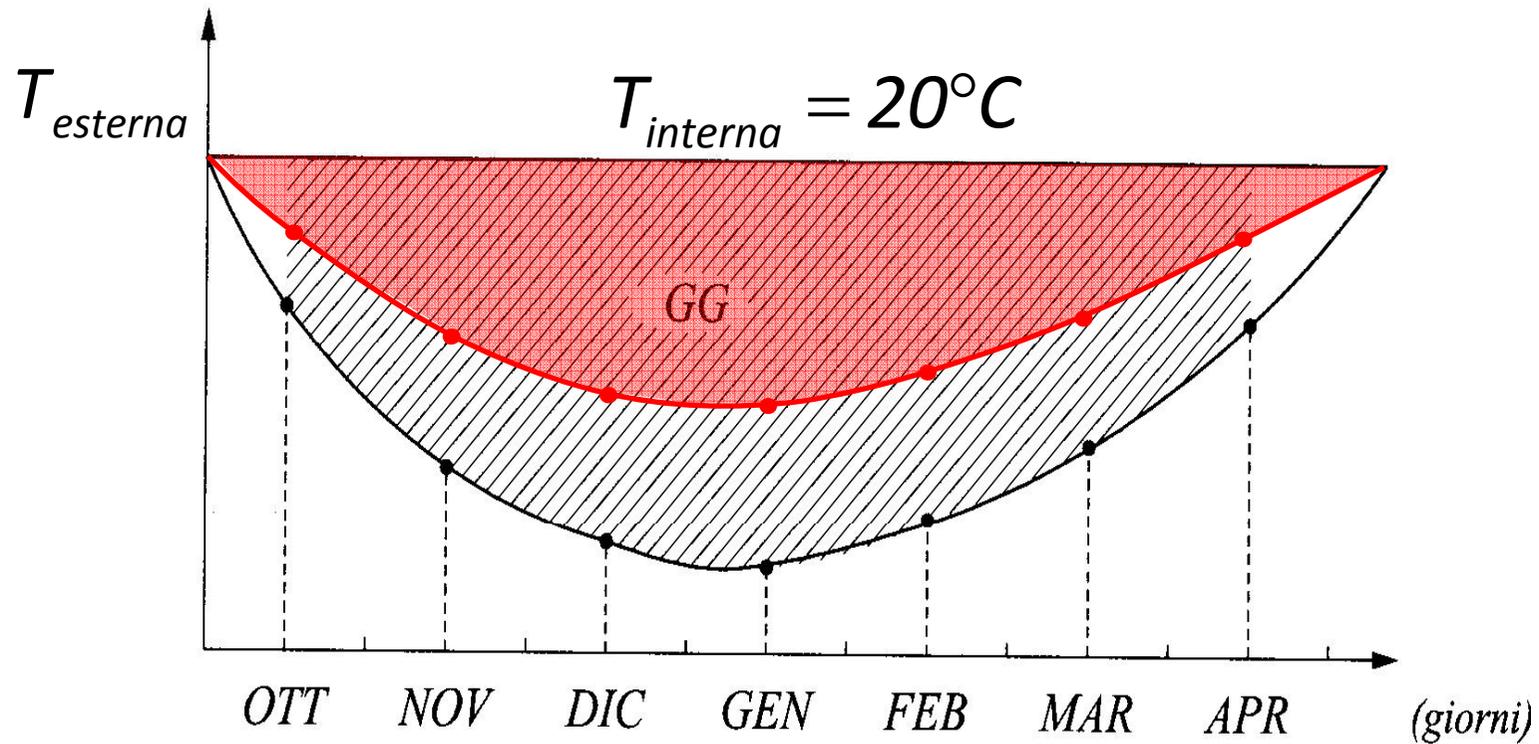
## **COPERTURE**

Zona climatica	Dal 1 gennaio 2010
A	0.38
B	0.38
C	0.38
D	0.32
E	0.30
F	0.29

## **PAVIMENTI VERSO AMBIENTI NON RISCALDATI**

Zona climatica	Dal 1 gennaio 2010
A	0.65
B	0.49
C	0.42
D	0.36
E	0.33
F	0.32

# GRADI GIORNO



Alcuni esempi:

GG (Udine) = 2323

GG (Pordenone) = 2459

GG (Trieste) = 2101

(Lampedusa) = 568 A

(Palermo) = 751 B

(Napoli) = 1034 C

(Roma) = 1415 D

(Bolzano) = 2791 E

(Belluno) = 3043 F

# ZONE CLIMATICHE

Fascia climatiche:

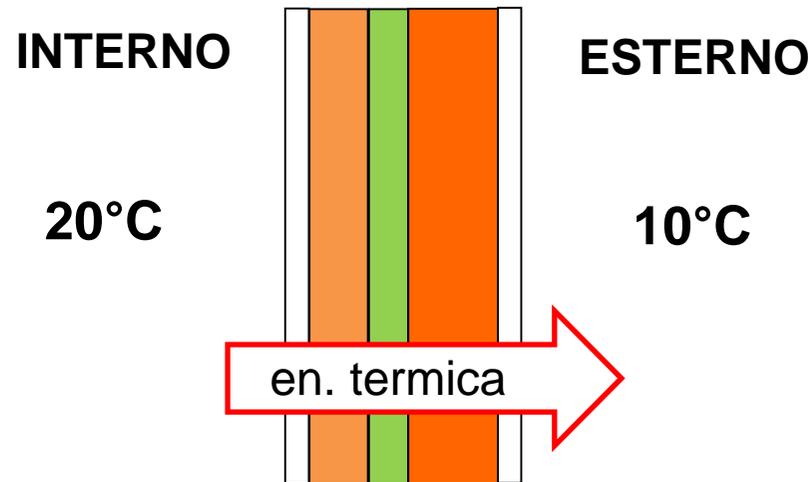
- A :  $GG \leq 600$
- B :  $601 \leq GG \leq 900$
- C :  $901 \leq GG \leq 1400$
- D :  $1401 \leq GG \leq 2100$
- E :  $2101 \leq GG \leq 3000$  (es. Udine 2323)
- F :  $GG > 3000$



Clima più rigido

# DOVE INSERIRE L'ISOLANTE

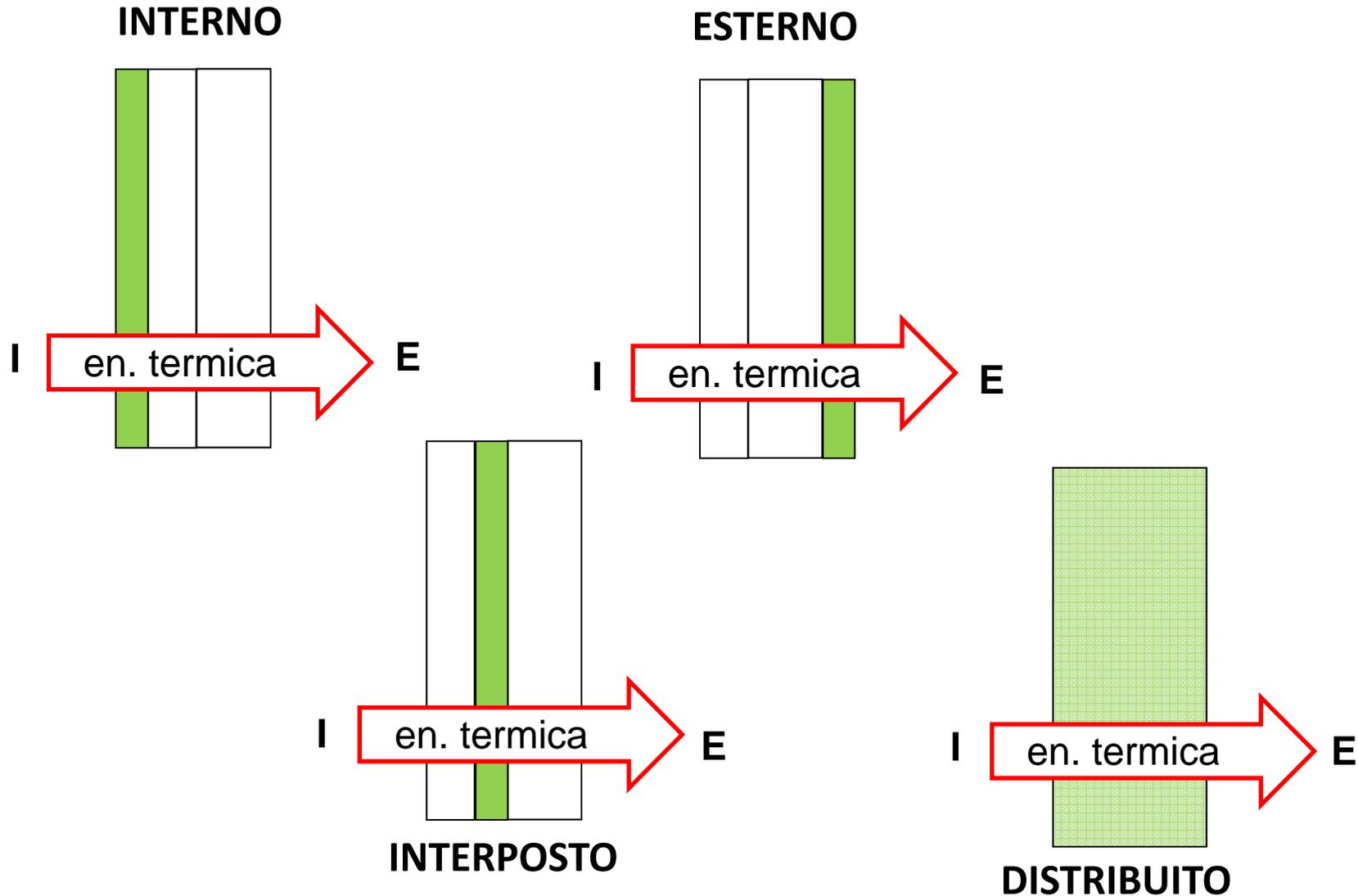
L'isolante può essere collocato in diverse posizioni rispetto alla stratigrafia di una parete



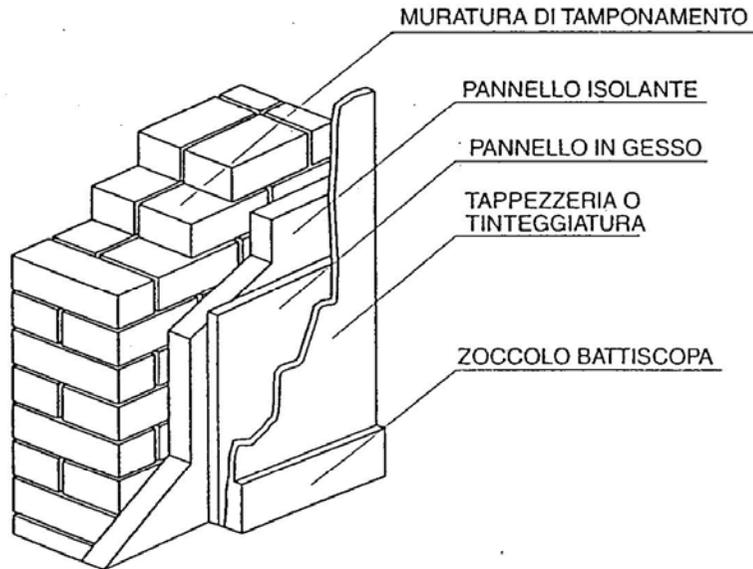
$$U = \frac{1}{0,13 + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{S_3}{\lambda_3} + \frac{S_4}{\lambda_4} + \frac{S_5}{\lambda_5} + 0,04}$$

# DOVE INSERIRE L'ISOLANTE

L'isolante può essere collocato in diverse posizioni rispetto alla stratigrafia di una parete



# ISOLANTE SUL LATO INTERNO

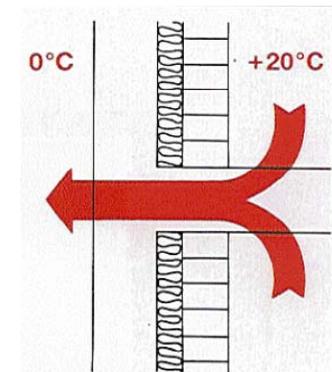


## VANTAGGI

- È il tipo di intervento meno costoso e più facilmente eseguibile
- Consente di lasciare inalterata la facciata esterna

## SVANTAGGI

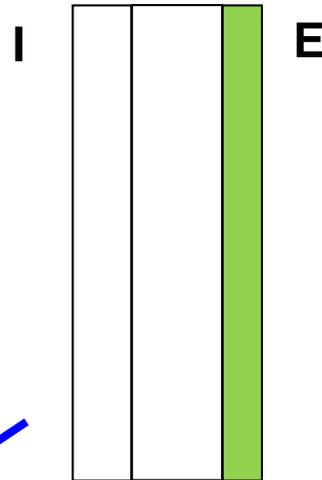
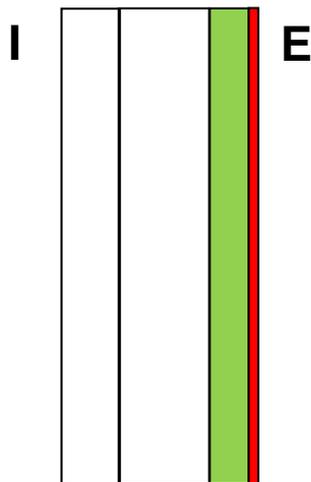
- Riduce i volumi abitabili
- Non consente di sfruttare l'inerzia termica delle pareti
- Non elimina alcun ponte termico
- Non aiuta per evitare la formazione di condensa all'interno delle pareti



# ISOLANTE SUL LATO ESTERNO

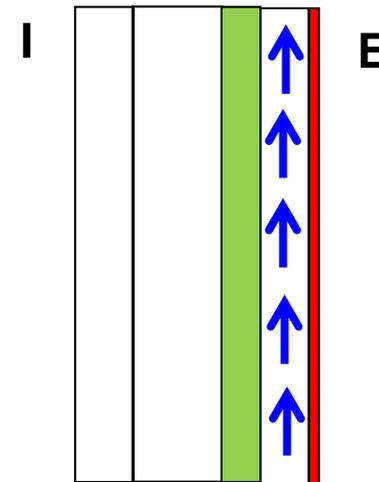
## A CAPPOTTO

Gli intonaci sono posti direttamente sull'isolante

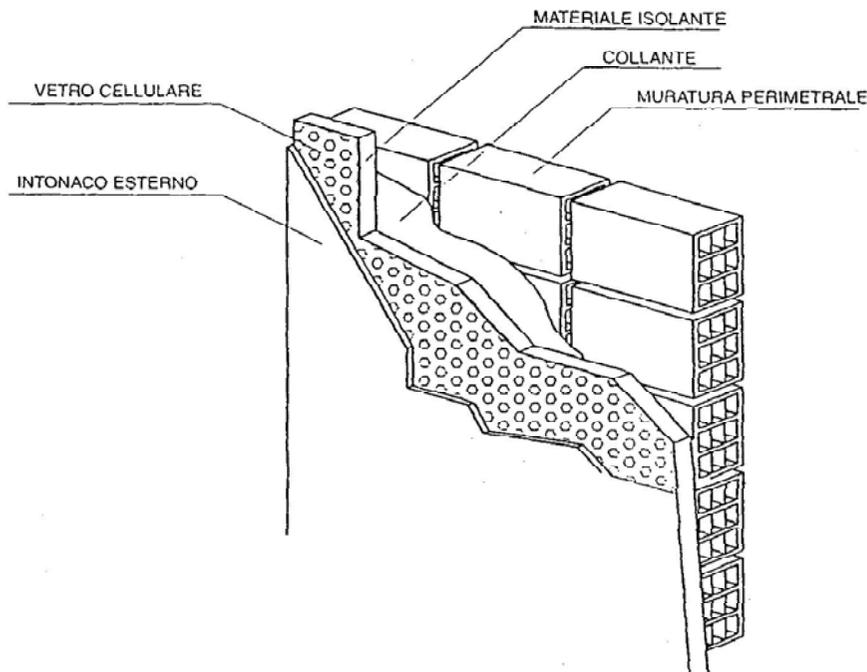


## A FACCIATA VENTILATA

Il rivestimento esterno è distanziato dalla parete, sulla quale è posto l'isolante termico, così da creare un'intercapedine nella quale si genera un moto di aria

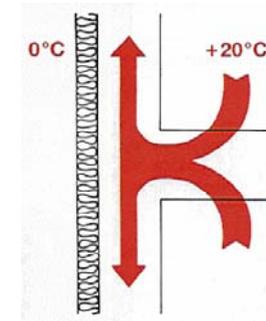


# ISOLANTE SUL LATO ESTERNO (a cappotto)



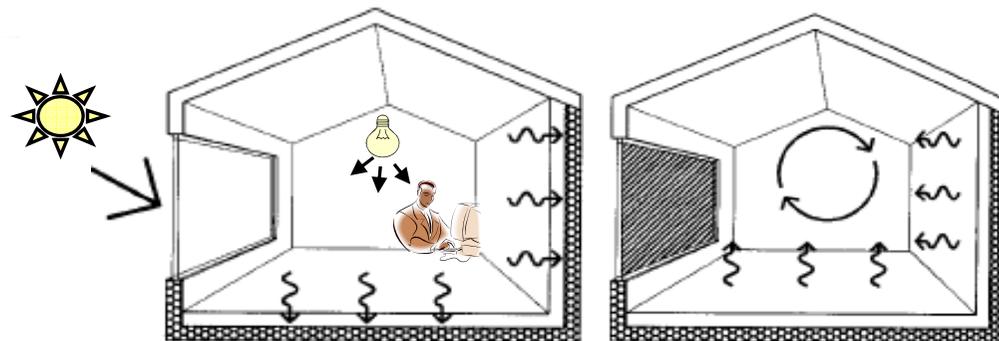
## VANTAGGI

- Elimina alcuni ponti termici
- Riduce il rischio di formazione della condensa all'interno della parete
- Migliora l'inerzia termica della parete

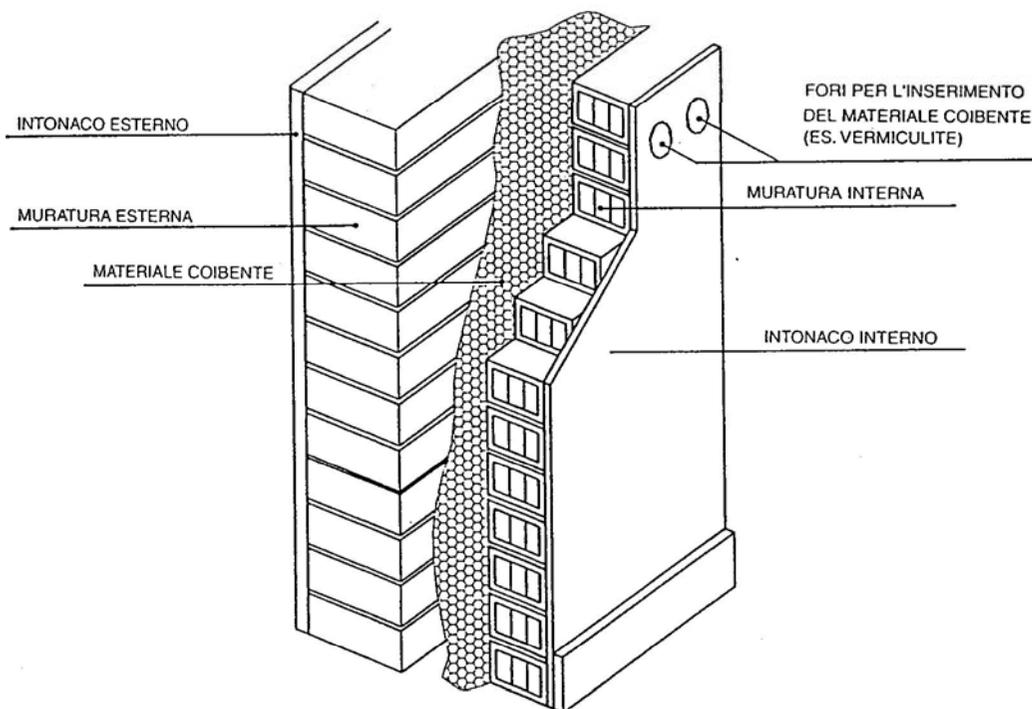


## SVANTAGGI

- Più costoso
- Modifica la facciata dell'edificio
- Facciata dell'edificio è più "delicata"



# ISOLANTE SUL LATO ESTERNO (a facciata ventilata)



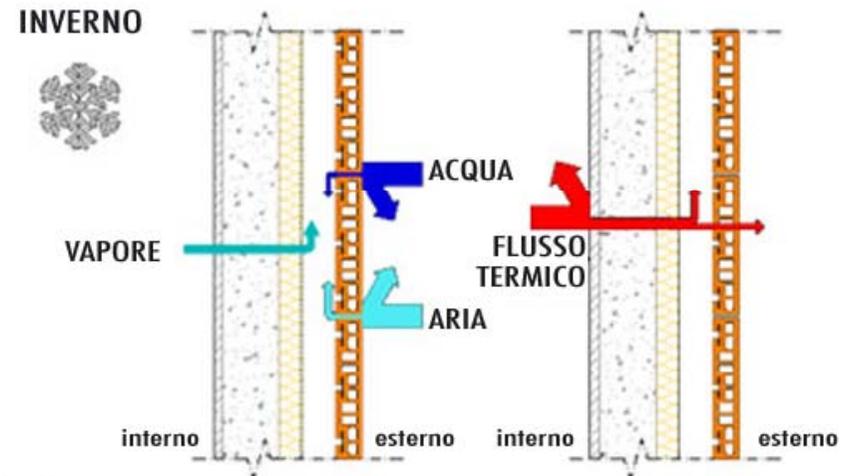
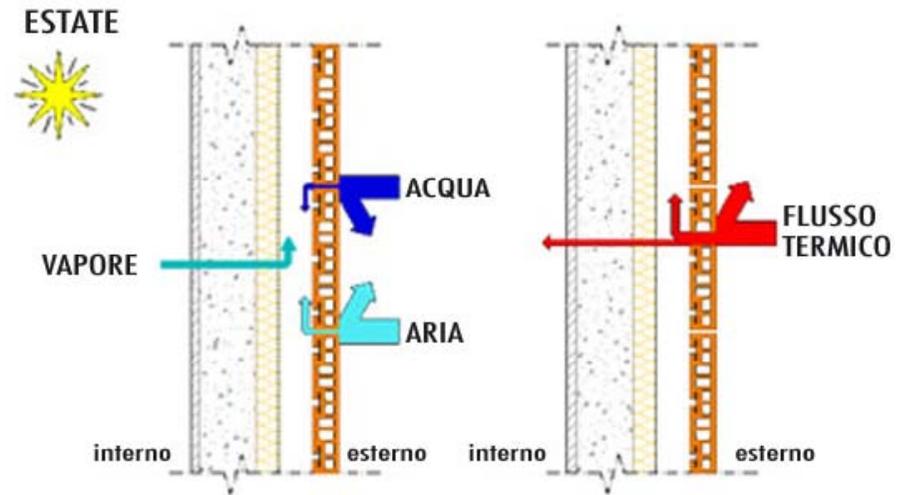
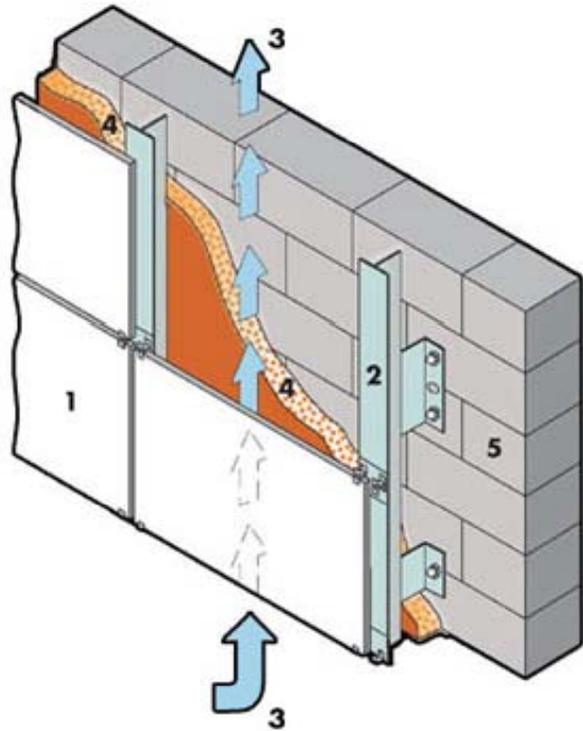
## SVANTAGGI

- Costo
- Modifica la facciata dell'edificio
- Criticità legate al sistema di “aggancio” della struttura alla parete

## VANTAGGI

- Presenta i vantaggi del cappotto e inoltre:
- asportazione del vapore proveniente dall'interno e della pioggia assorbita dalla parte esterna
- migliori prestazioni acustiche (favorisce la riflessione delle onde sonore provenienti dall'esterno)
- riduce riscaldamento estivo della parete

# ISOLANTE SUL LATO ESTERNO (a facciata ventilata)



L'aria fluisce attraverso due aperture posizionate una in alto e l'altra in basso della struttura.

Lo spessore minimo dell'intercapedine per garantire buona circolazione dell'aria è di 3cm

# ISOLANTE DISTRIBUITO

## PARETE PORTANTE IN MATERIALE ISOLANTE

Calcestruzzo leggero con argilla espansa (blocco LECA)

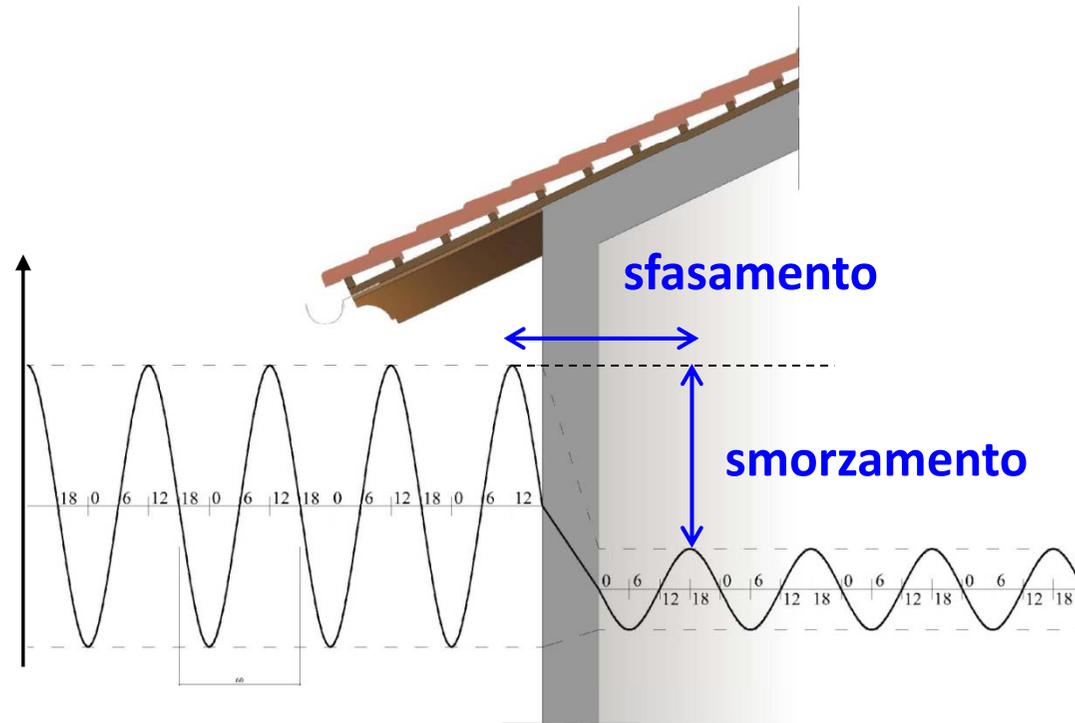
Leca: (resistenza fino a  $25 \text{ N/mm}^2$ )  
può arrivare a una conduttività pari a  $0,09 \text{ W/mK}$

Leca strutturale (resistenza fino a  $50 \text{ N/mm}^2$ )  
può arrivare a una conduttività pari a  $0,12 \text{ W/mK}$

Calcestruzzo cellulare (cemento che contiene aria introdotta sotto forma di schiuma)

Densità kg./mc.	Conducibilità Termica $\lambda$
300	0,065
350	0,075
400	0,085
450	0,090
500	0,095
550	0,11
600	0,12
700	0,135
800	0,155
900	0,17
1.000	0,21
1.100	0,235
1.200	0,265
1.300	0,300
1.400	0,35
1.500	0,38
1.600	0,42

# INERZIA TERMICA



L'inerzia termica determina la capacità dei materiali di **smorzare** e **ritardare** l'ingresso in ambiente dell'onda termica dovuta alla radiazione solare e all'aumento della temperatura esterna incidente sull'involucro edilizio

**VANTAGGIO** se la massima punta termica esterna estiva si farà sentire all'interno dell'abitazione quando la temperatura ambientale sarà scesa a valori più moderati, essa sarà sopportata molto più agevolmente. Lo stesso discorso vale per le punte minime delle notti invernali.

# INERZIA TERMICA

Volendo prendere due “edifici” estremi per quanto riguarda la loro inerzia termica, possiamo considerare:

## CAVERNA



Ha la massa delle pareti elevatissima ed è in grado di mantenere al suo interno delle condizioni di temperatura che quasi non risentono delle condizioni esterne



Smorzamento  $\cong 0$

## ROULOTTE



Ha la massa delle pareti molto bassa e quindi al suo interno si ripercuotono le condizioni esterne con la stessa intensità e nello stesso momento

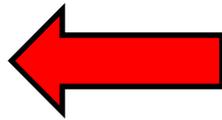
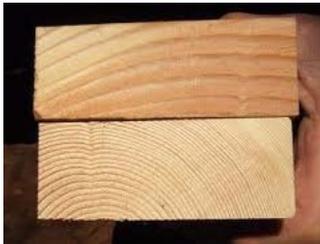


Sfasamento  $\cong 0$

# INERZIA TERMICA CAPACITA' TERMICA

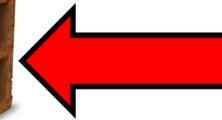
La capacità termica di un materiale ci dice quanto calore deve ricevere quella quantità di materiale perchè la sua temperatura aumenti di 1°C.  
Ogni materiale è caratterizzato da una capacità termica diversa.

1 m<sup>3</sup> di legno  
(densità 600 Kg/m<sup>3</sup>)



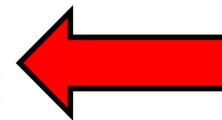
capacità  
termica  
= 726 kJ/°C

1 m<sup>3</sup> di mattoni  
(densità 1700 Kg/m<sup>3</sup>)



capacità  
termica  
= 1360 kJ/°C

1 m<sup>3</sup> di cemento  
(densità 2100 Kg/m<sup>3</sup>)



capacità  
termica  
= 1760 kJ/°C

# INERZIA TERMICA

Conoscendo la stratigrafia di una parete è possibile calcolare la sua capacità termica.

DPR 59 prevede che (tranne zona F) per località in cui il valor medio dell'irradianza solare sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione è  $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$   
(tutti edifici tranne industriali e adibiti ad attività sportive; edifici nuovi, ristrutturazioni totali o parziali e manutenzioni straordinarie, ampliamento  $V > 20\%$ )



per pareti verticali opache  
(tranne quadrante N-O e N-E):

$$M_s \geq 230 \text{ kg/m}^2 \text{ oppure } Y_{ie} < 0,12 \text{ W/Km}^2$$



per pareti orizzontali  
o inclinate opache:

$$Y_{ie} < 0,20 \text{ W/Km}^2$$

MASSA SUPERFICIALE (All. A Dlgs 192): è la massa per unità di superficie della parete opaca compresa la malta dei giunti esclusi gli intonaci [ $\text{kg/m}^2$ ]

# INERZIA TERMICA

## LINEE GUIDA PER LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA

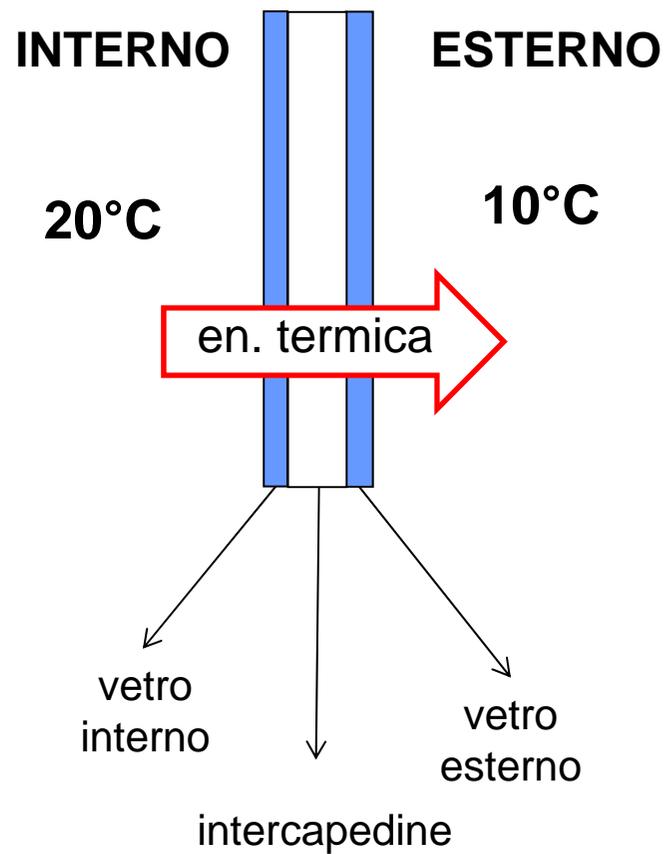
metodo basato sulla determinazione di parametri qualitativi per la determinazione delle caratteristiche dell'involucro edilizio volte a contenere il fabbisogno per la climatizzazione estiva.

<b>Sfasamento (ore)</b>	<b>Attenuazione</b>	<b>Prestazioni</b>	<b>Qualità prestazionale</b>
$S > 12$	$Fa < 0,15$	ottime	I
$12 \geq S > 10$	$0,15 \leq fa < 0,30$	buone	II
$10 \geq S > 8$	$0,30 \leq fa < 0,40$	medie	III
$8 \geq S > 6$	$0,40 \leq fa < 0,60$	sufficienti	IV
$6 \geq S$	$0,60 \leq fa$	mediocri	V

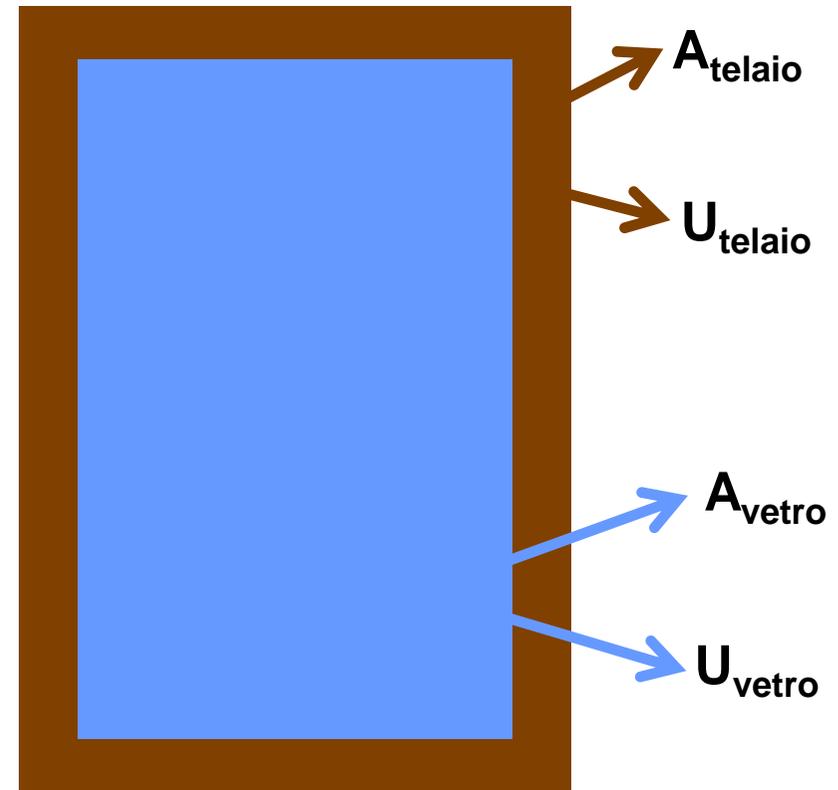
valida per tutte le destinazioni d'uso

# DISPERSIONE DI CALORE ATTRAVERSO I SERRAMENTI

ELEMENTO FINESTRATO



STRATIGRAFIA DELLA PARETE



# TRASMITTANZA DI UN SERRAMENTO

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + l_g \Psi_g}{A_g + A_f}$$

$A_g$  : area del vetro, m<sup>2</sup>

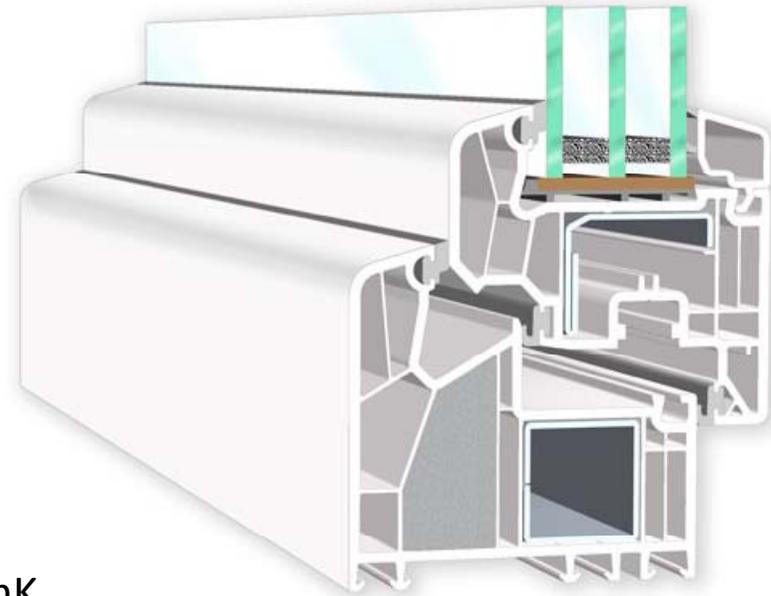
$A_f$  : area del telaio, m<sup>2</sup>

$U_g$  : trasmittanza del vetro, W/m<sup>2</sup>K

$U_f$  : trasmittanza del telaio, W/m<sup>2</sup>K

$l_g$  : perimetro totale del vetro, m

$\Psi_g$  : trasmittanza lineare, che tiene conto dell'abbinamento vetro-distanziatore-telaio W/mK



(UNI EN ISO 10077)

# ALCUNI ESEMPI

FINESTRA DA 140X80



VETRO  
DOPPIO  
TELAIO IN  
LEGNO  
 $U = 2,9$



VETRO  
SINGOLO  
TELAIO IN  
LEGNO  
 $U = 4,8$



VETRO  
SINGOLO  
TELAIO  
METALLO  
 $U = 5,8$

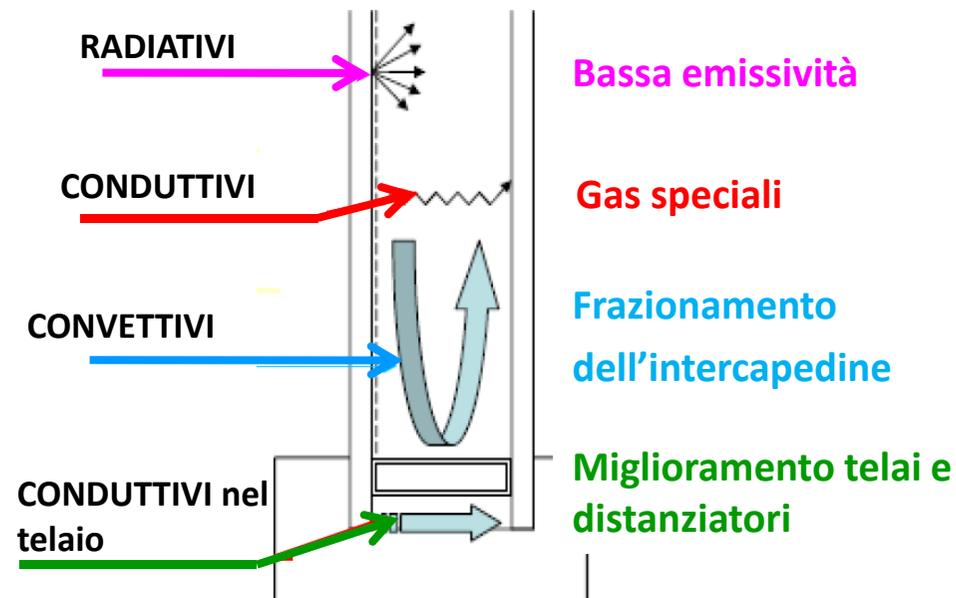


VETRO  
DOPPIO  
TELAIO  
METALLO  
 $U = 4$

# L' ELEMENTO VETRATO

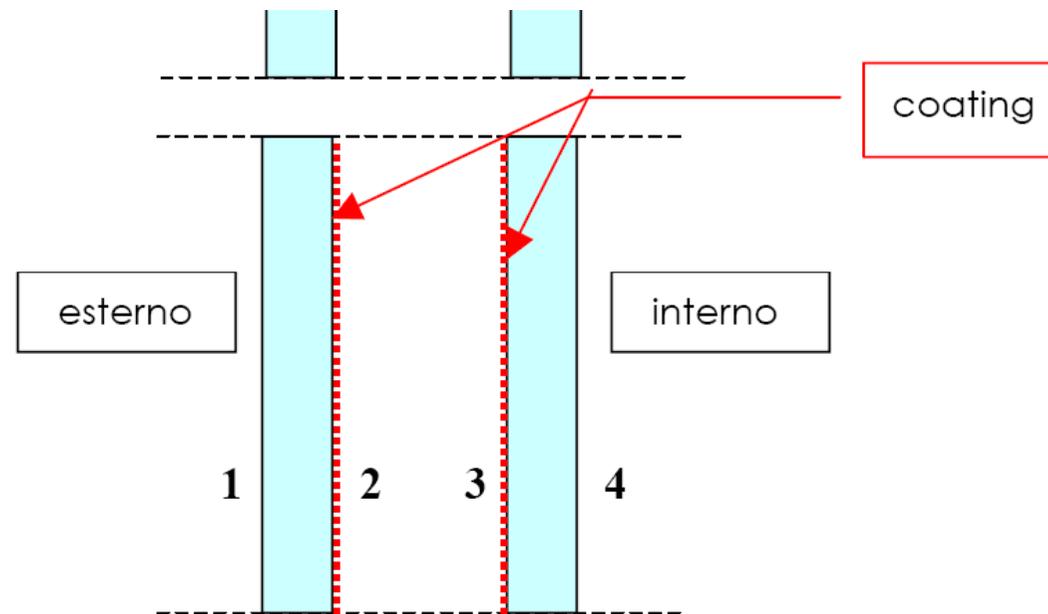
## INTERCAPEDINE TRA I VETRI:

- riveste ruolo più rilevante nel determinare la resistenza termica dell'elemento vetrato
- dipende da diversi meccanismi di scambio termici
- interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche dei componenti finestrati sono volti essenzialmente a ridurre lo scambio termico nell'intercapedine



# INTERVENTI SULL'ELEMENTO VETRATO

E' possibile ridurre gli scambi radiativi riducendo il valore delle emissività dei due vetri. Il valore tipico di emissività di un vetro non trattato è pari a circa 0,837 mentre i vetri basso-emissivi raggiungono valori fino a 10 volte inferiori a quelli del vetro comune.



Generalmente il trattamento viene fatto in su entrambe le facce rivolte verso l'intercapedine e consiste nel depositare uno o più strati di metalli, ossidi, fluoruri o altri composti caratterizzati da bassa emissività sul supporto costituito dal vetro di base

# INTERVENTI SULL'ELEMENTO VETRATO

Aumentando troppo lo spessore di aria si ha l'insorgenza di moti dell'aria all'interno dell'intercapedine e questo aumenta la trasmittanza del vetro



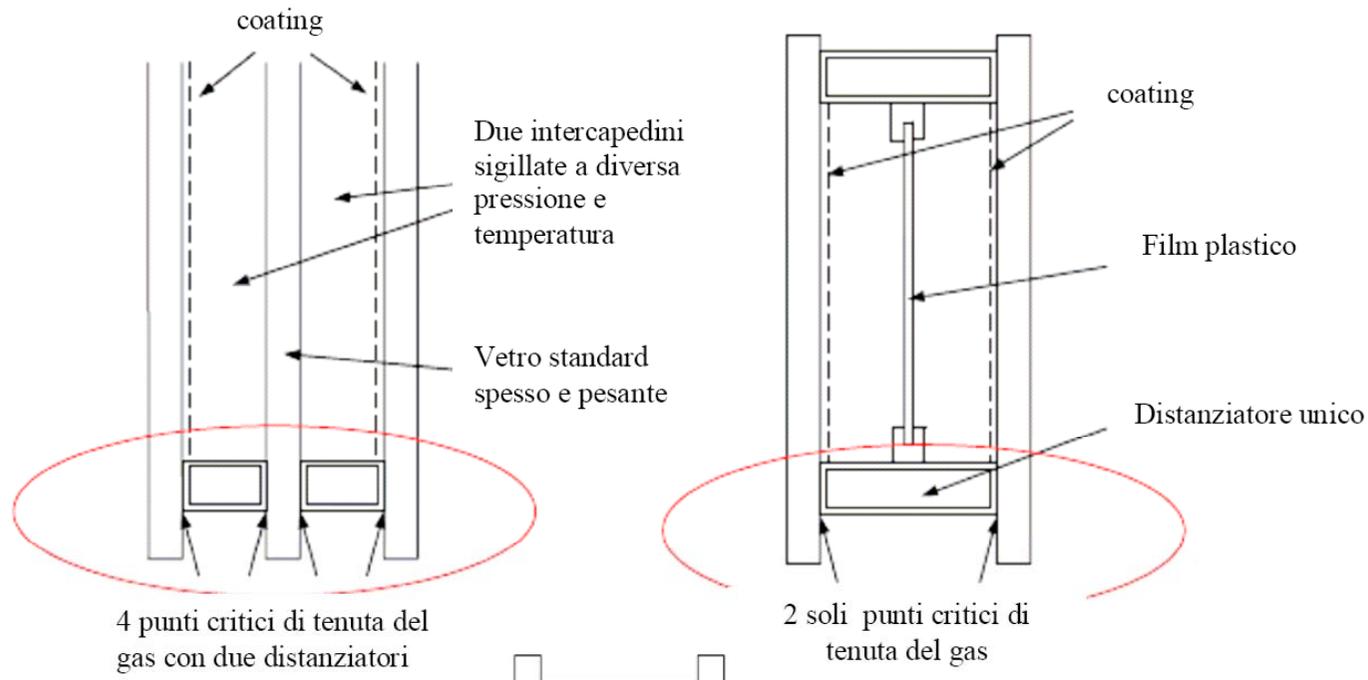
gas diversi dall'aria

Trasmittanza termica  $U_g$  di vetrate doppie e triple riempite con differenti gas

Vetrata				Tipo di gas nell'intercapedine (concentrazione del gas $\geq 90\%$ )			
Tipo	Vetro	Emissività normale	Dimensioni in mm	Aria	Argon	Krypton	SF6
	Vetri senza trattamento superficiale (vetro normale)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0
			4-9-4	3,0	2,8	2,6	3,1
			4-12-4	2,9	2,7	2,6	3,1
			4-15-4	2,7	2,6	2,6	3,1
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1
	Una lastra con trattamento superficiale	$\leq 0,4$	4-6-4	2,9	2,6	2,2	2,6
			4-9-4	2,6	2,3	2,0	2,7
			4-12-4	2,4	2,1	2,0	2,7
			4-15-4	2,2	2,0	2,0	2,7
			4-20-4	2,2	2,0	2,0	2,7

# INTERVENTI SULL'ELEMENTO VETRATO

La ricerca ha portato alla produzione di film plastici (Teflon) di frazioni di millimetro e di peso trascurabile, che possono anch'essi avere proprietà basso-emissive, e che sono stati inseriti nelle intercapedini vetrate al fine di frazionarle aumentandone così la resistenza termica complessiva



# IL TELAIO

Si possono trovare:

- telai in legno
- telai in materie plastiche
- telai in materiali metallici (=alluminio)

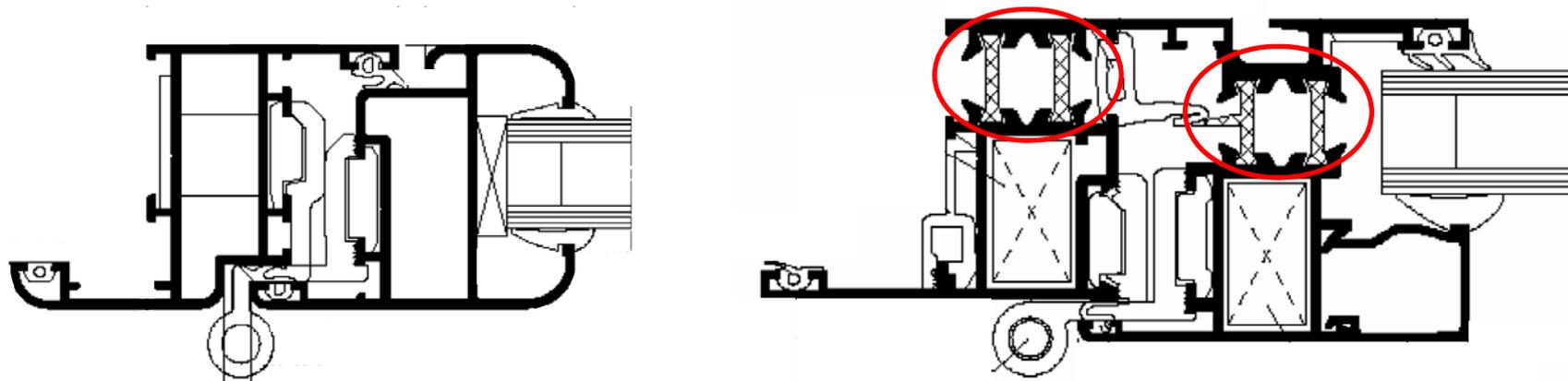
## TELAII METALLICI

La trasmittanza termica di un telaio in alluminio è pari a circa  $6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

# TELAI METALLICI - TAGLIO TERMICO

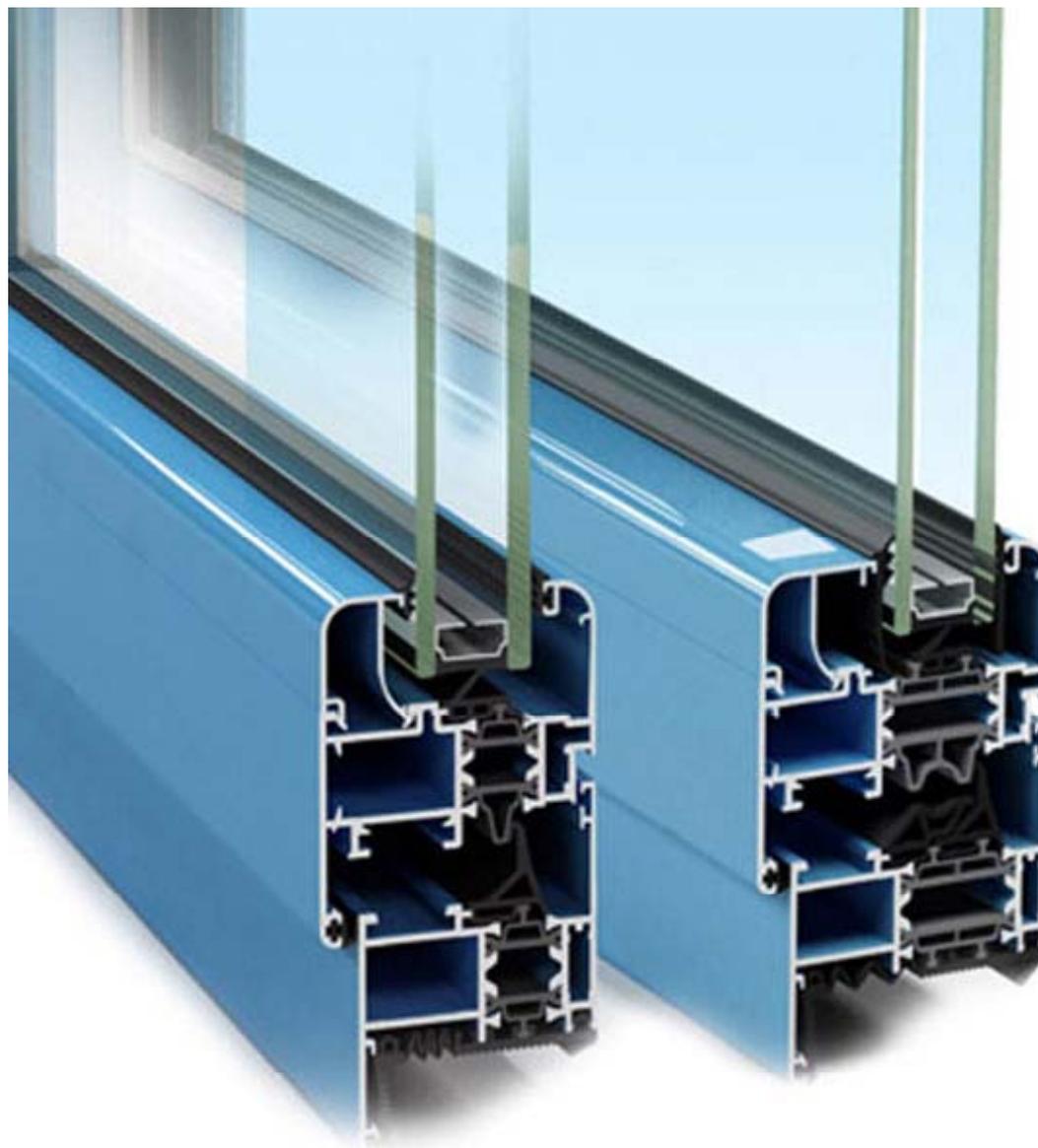
Il taglio termico ha lo scopo di separare completamente le sezioni del profilo metallico del lato freddo dalle sezioni del lato caldo.

Si realizza con l'inserimento nel telaio di materiale plastico a bassa conduttività termica (ad esempio listelli di poliammide rinforzati con fibra di vetro).



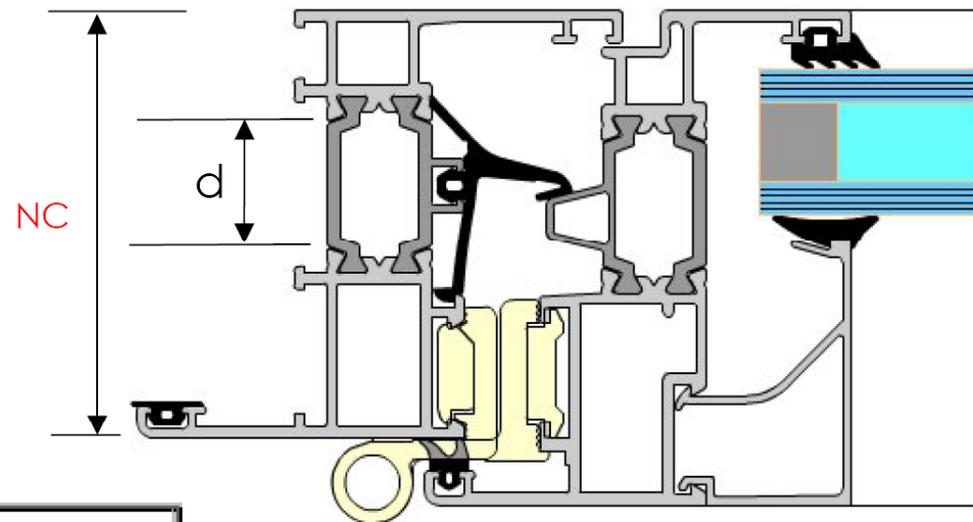
La presenza di taglio termico in un telaio in alluminio può ridurre la trasmittanza da un valore di  $6 \text{ W/m}^2\text{K}$  a  $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

# TELAJ METALLICI - TAGLIO TERMICO



# TELAI METALLICI

Si riportano a titolo di esempio alcuni valori tipici per un telai in alluminio con taglio termico

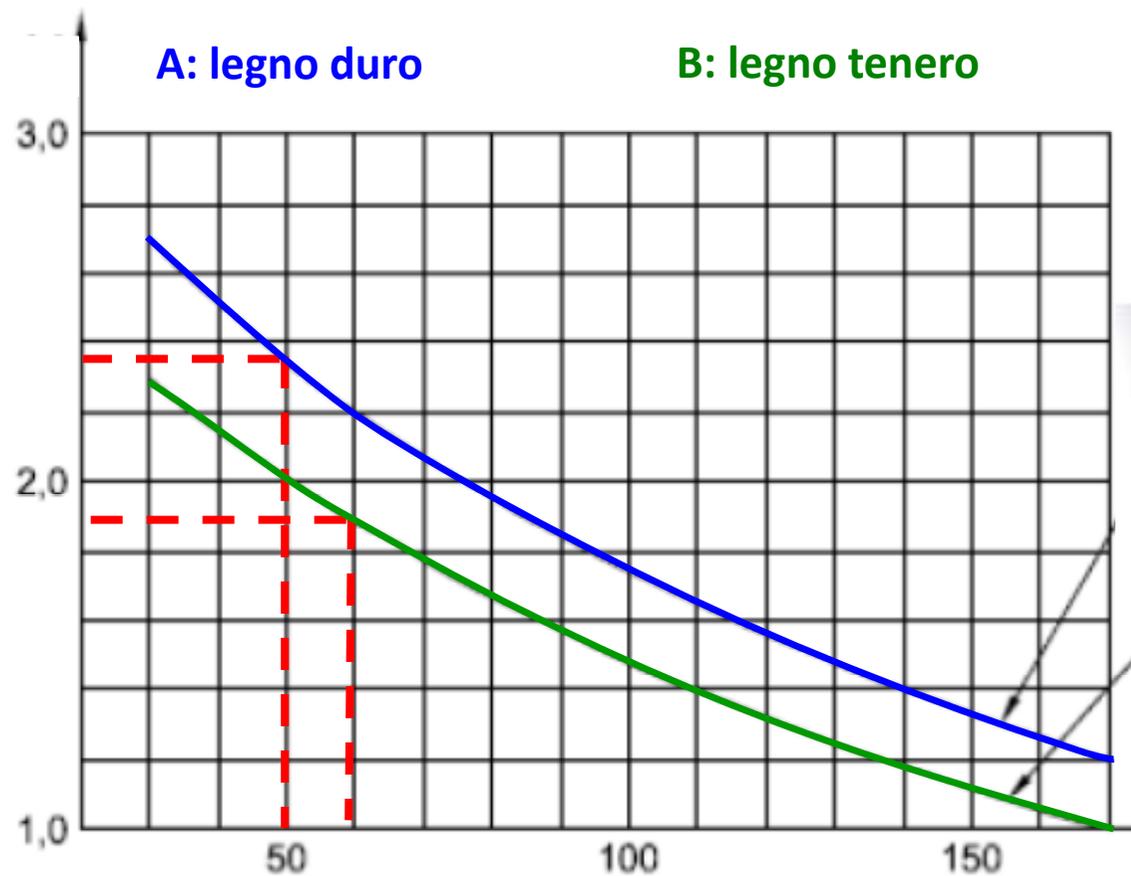


Profili in alluminio	Valore $U_f$ (W/m <sup>2</sup> K)
NC 72.1 STH	2,1 - 2,4
NC 72 STH	2,3 - 2,8
NC 65 STH	2,4 - 3,3
NC 50 STH	2,8 - 3,7
NC 68 STH	2,6 - 3,5
NC 45 STH	3,2 - 4,2

# TELAI IN LEGNO

In genere i telai in legno hanno spessori di 50 - 60 mm  
quindi  $U_f = 1,9 - 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U_f \text{ [W/m}^2\text{K]}$



$X = \text{spessore telaio [mm]}$

# TELAII PLASTICI

Per telai in materie plastiche la UNI 10077 da un valore della trasmittanza  $U_f$  che varia tra 2,0 (PVC con profilo vuoto) e 2,8 W/m<sup>2</sup>K (poliuretano con anima di metallo) e quindi è simile a quella del legno.



Telaio in PVC



Telaio in PVC-Al

# VINCOLI SULLA TRASMITTANZA

**DPR 59/09** Nei casi di ristrutturazioni totali o parziali e manutenzioni straordinarie dell'involucro è previsto, per quanto riguarda la trasmittanza degli elementi vetrati, il rispetto dei seguenti valori (esclusi E.8)

## SERRAMENTI

Zona climatica	Dal 1 gennaio 2010
A	4.6
B	3.0
C	2.6
D	2.4
E	2.2
F	2.0

## VETRI

Zona climatica	Dal 1 gennaio 2011
A	3.7
B	2.7
C	2.1
D	1.9
E	1.7
F	1.3

# VINCOLI SULLA TRASMITTANZA

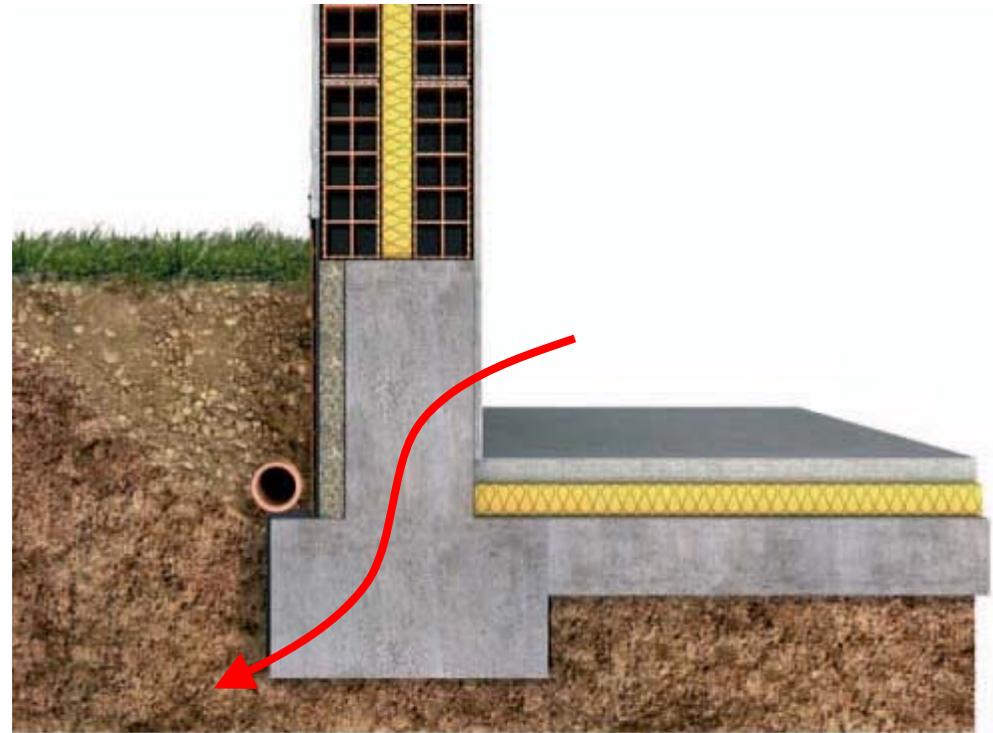
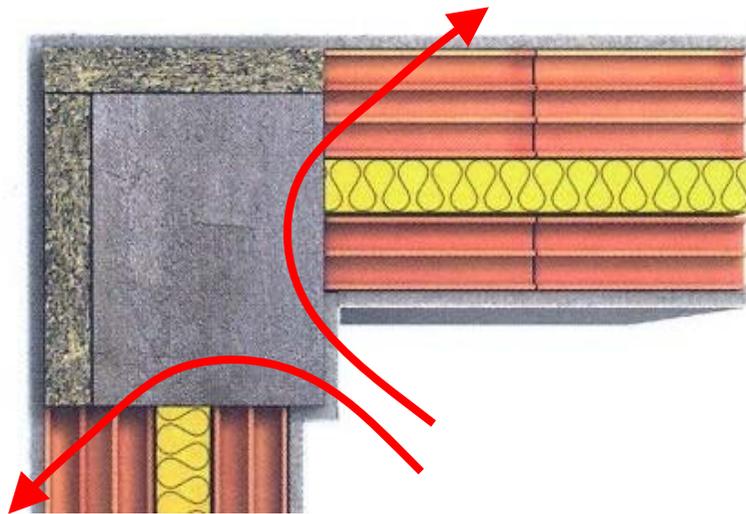
Tipo di vetrata	$U_g$ W/(m <sup>2</sup> ·K)	$U_f$ W/(m <sup>2</sup> ·K) Area di telaio 30%								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Singola	5,7	4,3	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1
Doppia	3,3	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	4,4
	3,1	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	4,3
	2,9	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	4,1
	2,7	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2	4,0
	2,5	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,9
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,8
	2,1	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,6
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	3,5
	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9	

# PONTE TERMICO

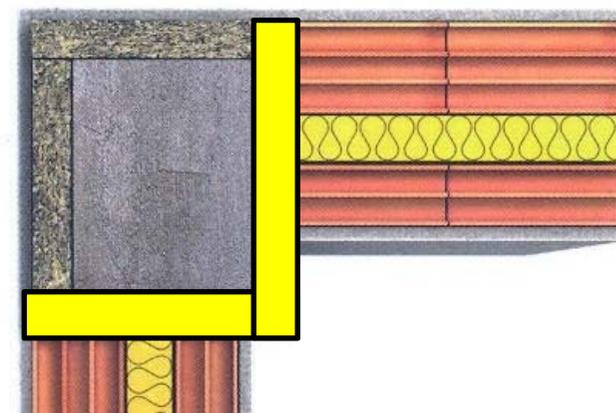
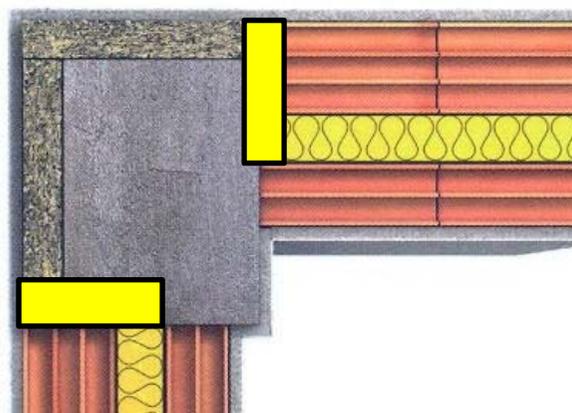
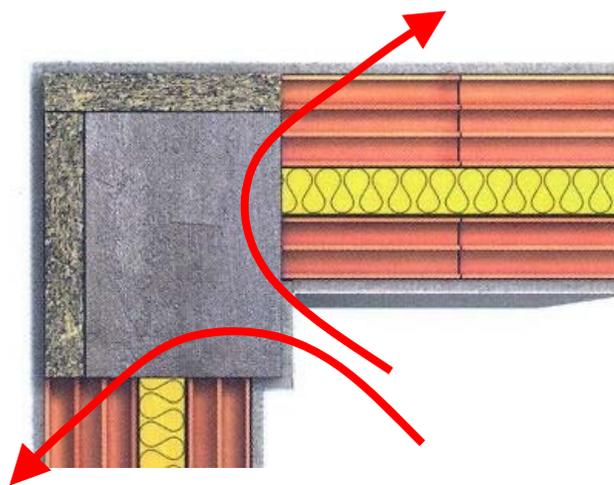
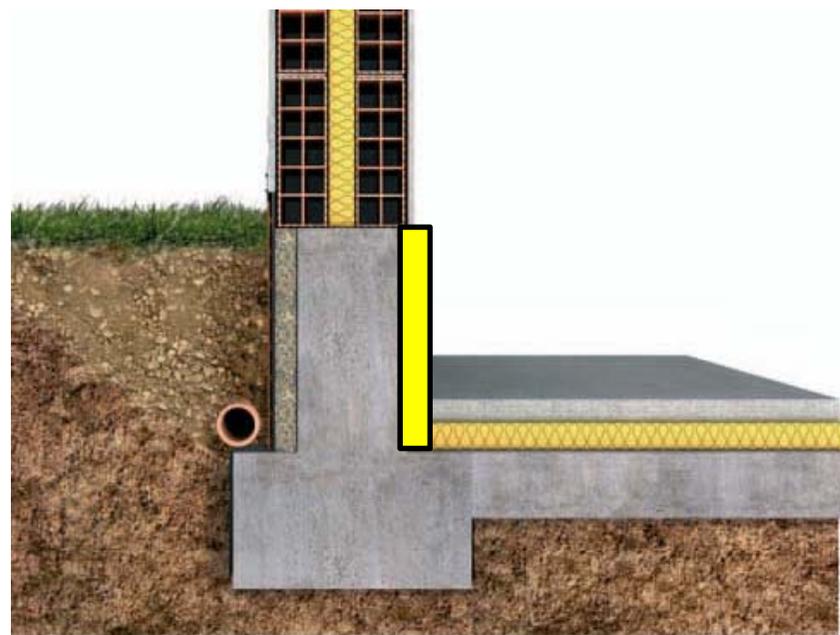
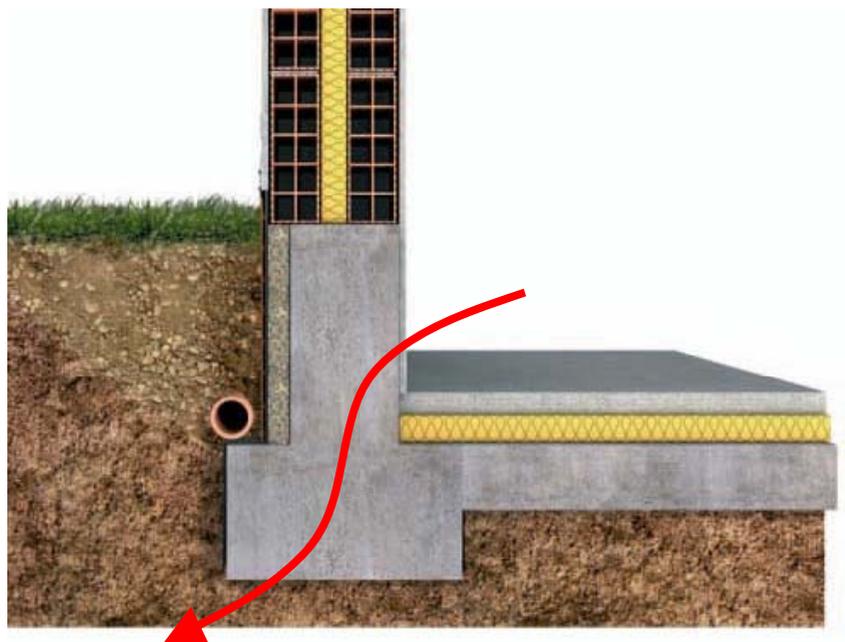
**Ponte termico**: si parla di ponte termico perché si tratta di una “via di fuga” preferenziale per il calore; si ha quando si è in presenza di:

**disomogeneità di carattere geometrico** (l'unione tra due pareti ad angolo)

**disomogeneità termica del materiale** (in corrispondenza di un pilastro in c.a. in una parete, il telaio della finestra e la parete)



# I PONTI TERMICI

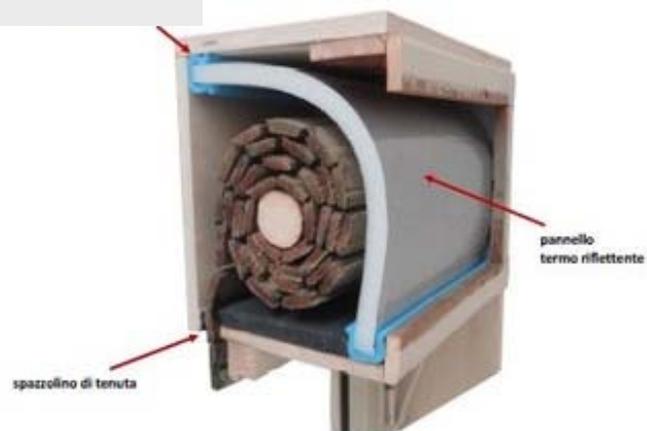
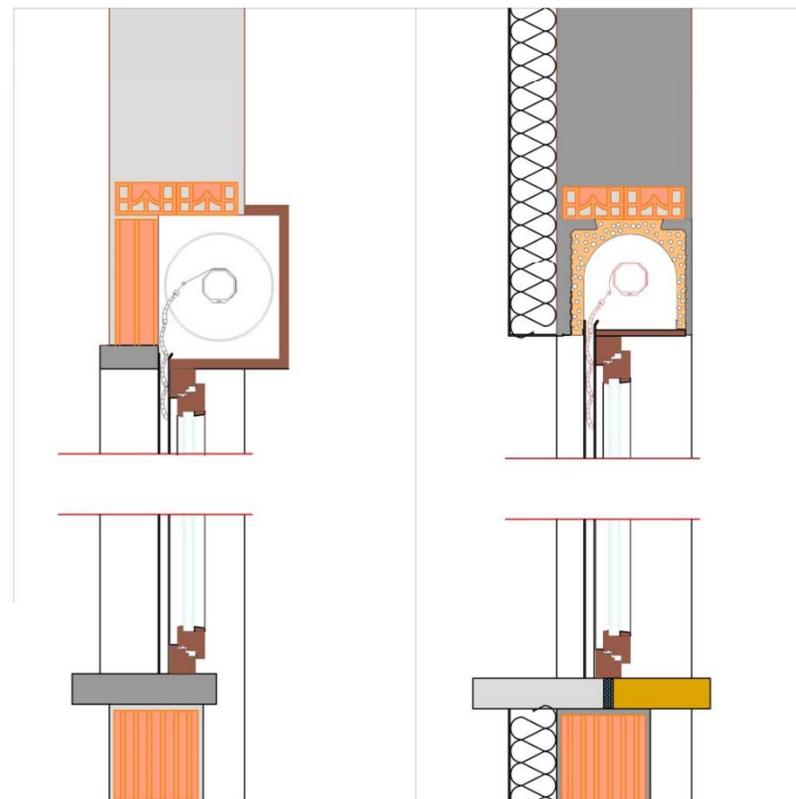


# I CASSONETTI



ESISTENTE

PROGETTO



# I BALCONI

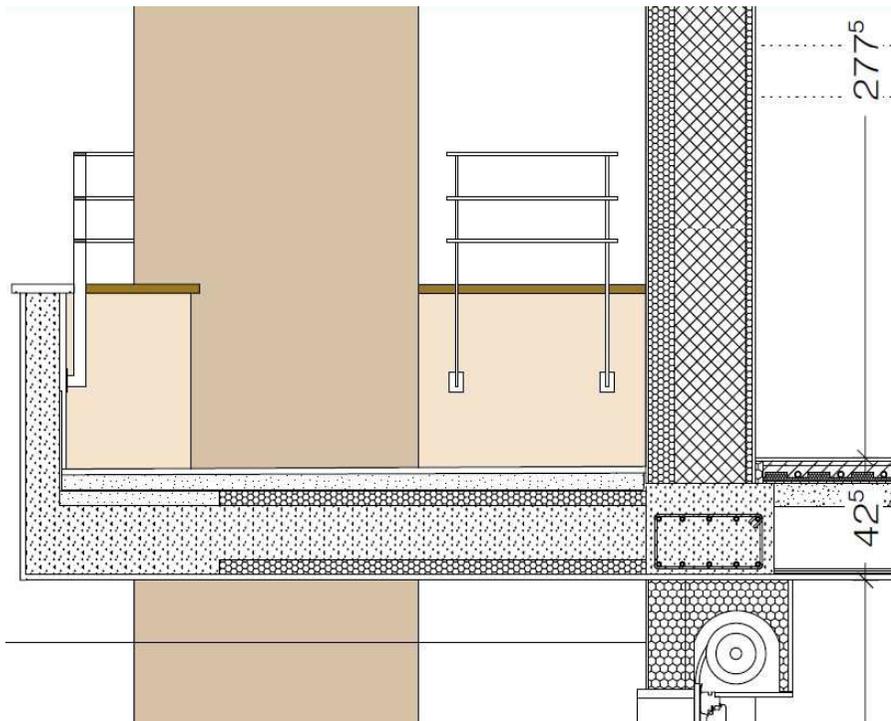
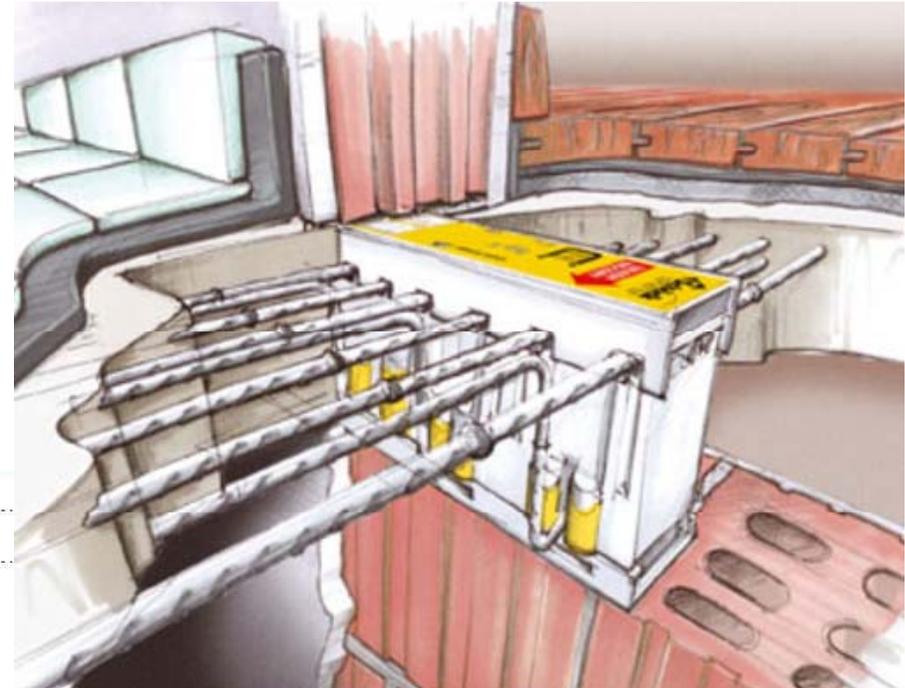
In questo caso la soletta del balcone non è una continuazione della soletta interna, infatti esso è dotato di una struttura portante esterna realizzata in acciaio. Le due strutture sono collegate solo in alcuni punti (P.T. puntuale).



Un'altra soluzione è rappresentata dall'utilizzo di mensole che consentono di trasformare il P.T. del balcone da lineare a puntuale.

# I BALCONI

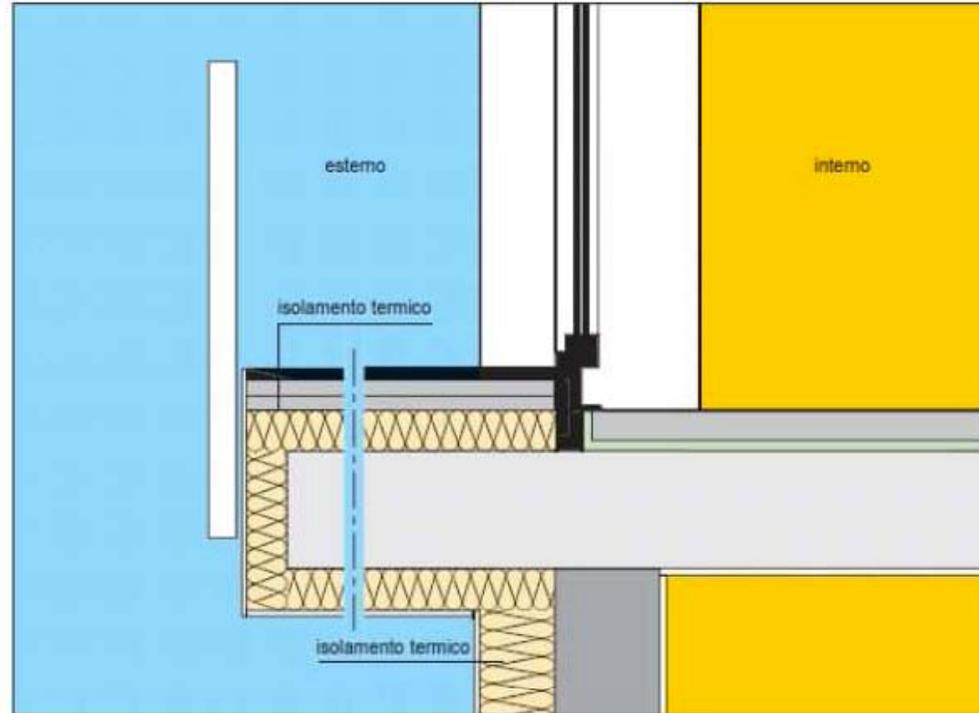
In alcuni casi la soluzione proposta è di interporre al momento del getto della soletta un modulo in materiale isolante ma dotato di ferri d'armatura che di fatto interrompe la continuità del getto di calcestruzzo pur consentendo la realizzazione di una soletta a sbalzo



Un'altra soluzione rappresentata in questa figura consiste nel isolare il balcone sia all'intradosso che all'estradosso in modo da "costringere" il flusso ad attraversare lo strato di calcestruzzo per una distanza tale da attenuare il più possibile la dispersione termica.

# I BALCONI

Un'ultima soluzione è rappresentata dall'isolamento completo del balcone in modo tale da garantire la totale continuità dell'isolante con quello della parete perimetrale.



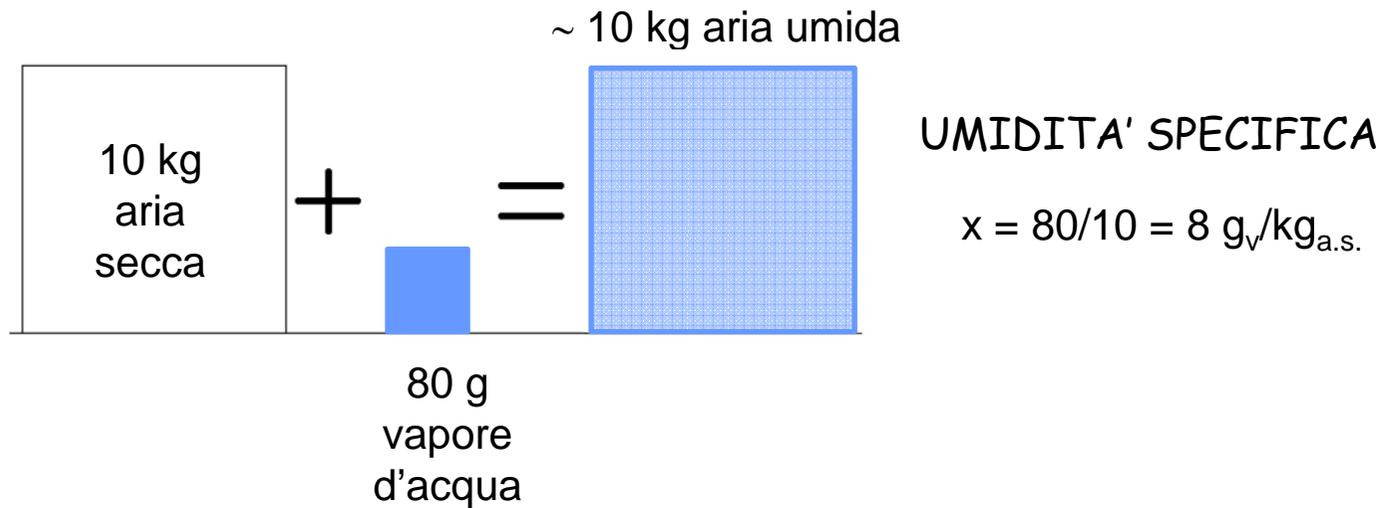
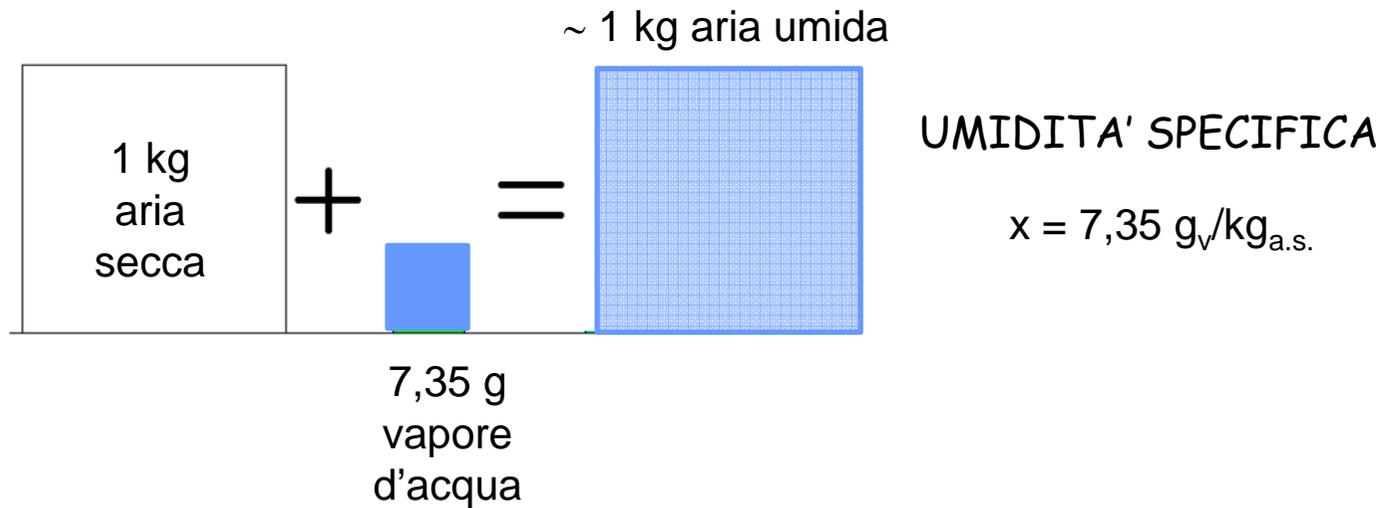
# PROBLEMI DI UMIDITA' NELLE PARETI



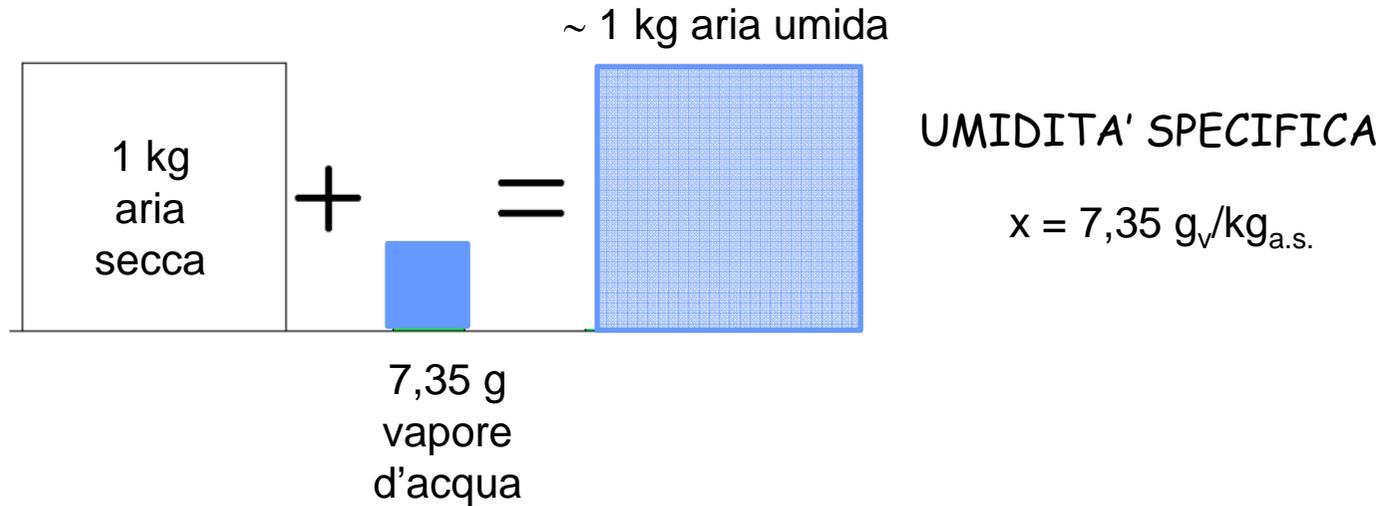
Il problema della presenza di umidità nelle pareti può essere dovuto a infiltrazioni o alla formazione di condensa sulla superficie o all'interno delle pareti



# UMIDITA' SPECIFICA



# UMIDITA' SPECIFICA

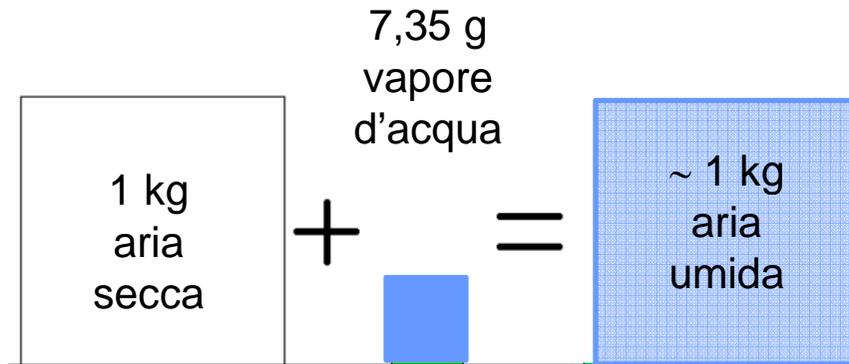


Esiste un **limite** al contenuto di vapore di una massa d'aria, in corrispondenza al quale l'aria è satura di vapore; si parla di condizioni di saturazione

Ad esempio:

1 kg di aria a 20°C **può contenere al massimo 14,7 g** di vapore per ogni kg di aria

# UMIDITA' RELATIVA



Contiene al massimo 14,7 g di vapore



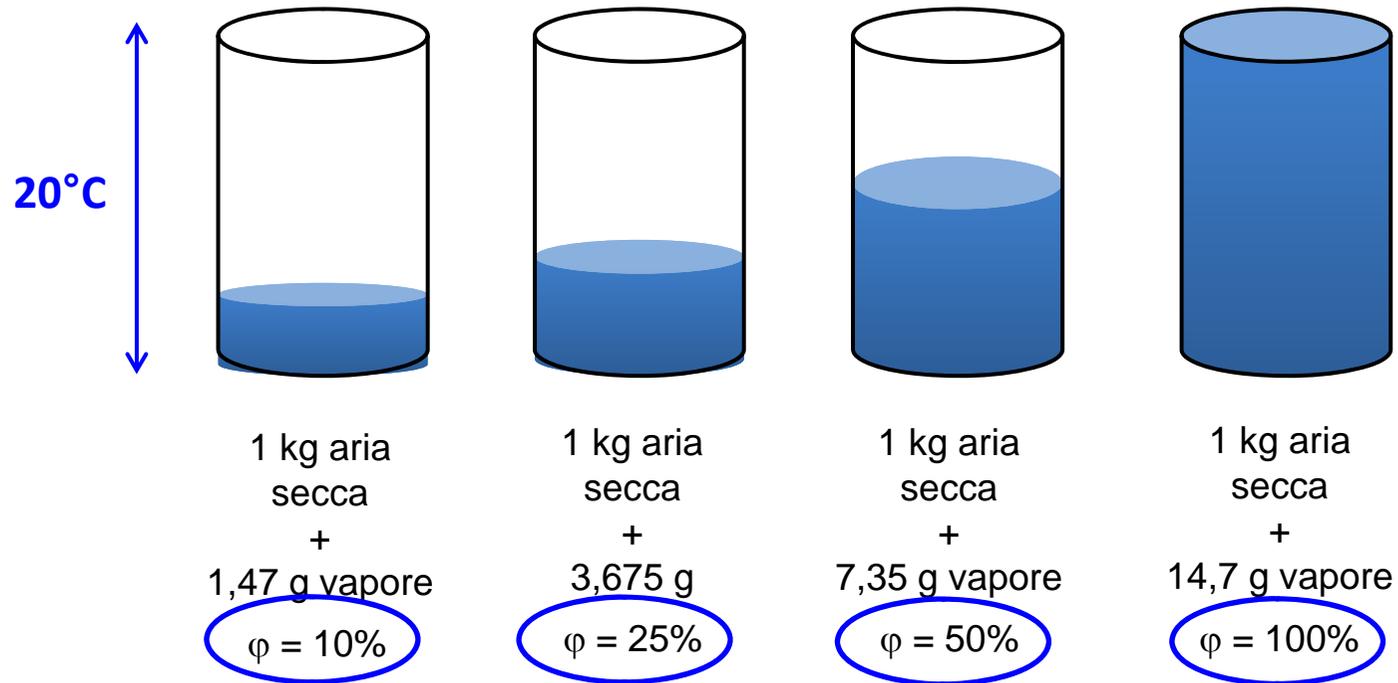
Introduco 7,35 g vapore d'acqua

$$\text{UMIDITA' RELATIVA} = \frac{\text{vapore contenuto}}{\text{vapore massimo contenibile}}$$

$$\text{UMIDITA' RELATIVA} = \frac{7,35 \text{ g}}{14,7 \text{ g}} = 0,5 = 50\%$$

# Contenuto di vapore nell'aria

Consideriamo dell'aria a 20°C



Capacità dell'aria di 'contenere' vapore (altezza del contenitore) dipende dalla temperatura; più alta è la temperatura è maggiore è la capacità di contenere vapore dell'aria

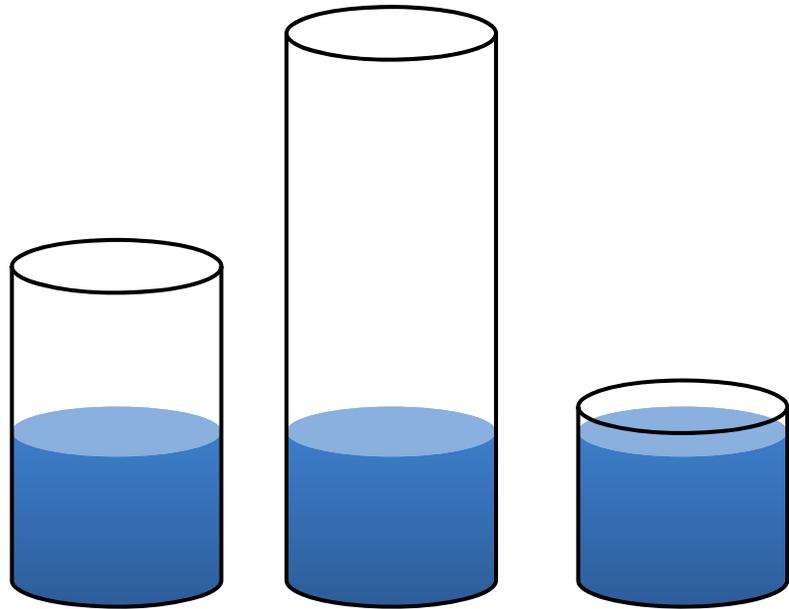
# Contenuto di vapore nell'aria

T = 20 °C

T = 30 °C

T = 10 °C

La stessa quantità di liquido in recipienti di capacità diverse



7,35 g vapore

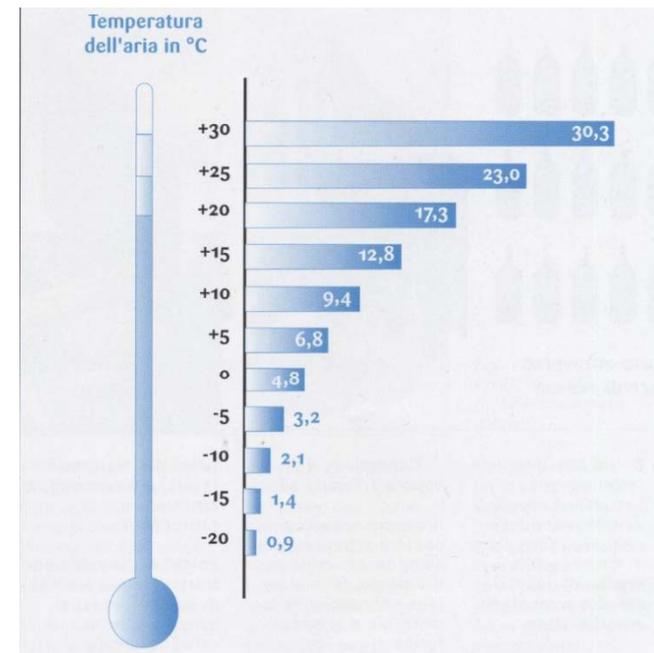
7,35 g vapore

7,35 g vapore

UR = 50%

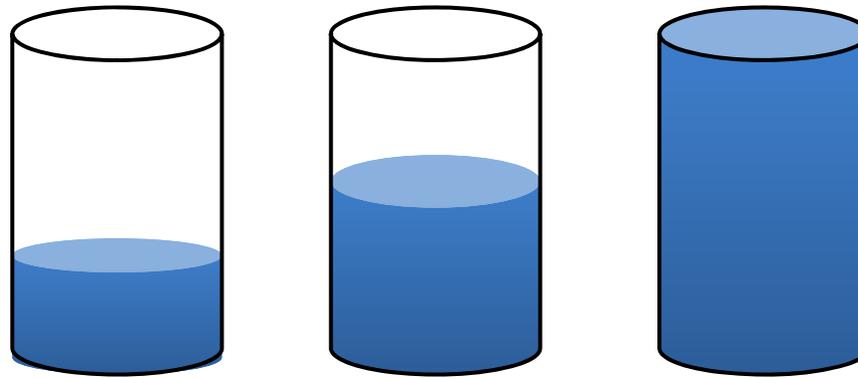
UR = 28,5%

UR = 92%

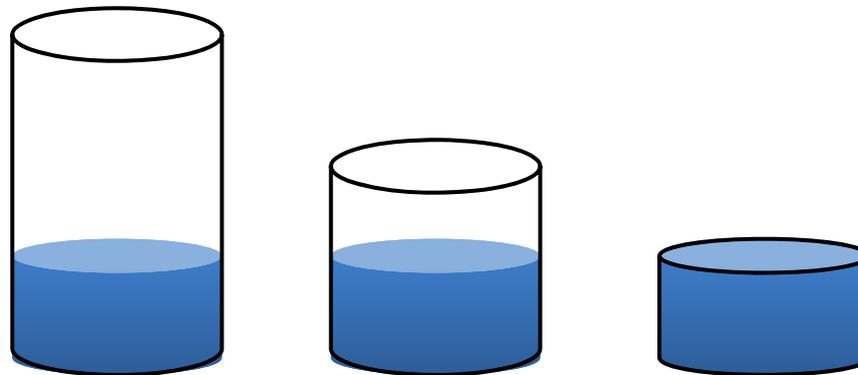


# La formazione di condensa si ha quando:

aumenta il contenuto di umidità all'interno dell'ambiente, a causa della presenza di persone, della cottura dei cibi, delle attività di pulizia, ecc...



si riduce la capacità dell'aria di contenere vapore, cioè si riduce la temperatura



# Dove si forma la condensa ?

La formazione di condensa dal vapore acqueo contenuto nell'aria ambiente si può manifestare:

- sulle superfici della struttura (condensa superficiale)
- all'interno delle struttura (condensa interstiziale)

La condensazione del vapor d'acqua comporta problemi di:

- conservazione delle struttura (disgregazione degli intonaci, formazione di ghiaccio, corrosione, degrado delle proprietà isolanti, ecc.)
- salubrità degli ambienti (muffe, ecc.)

# RIFERIMENTI NORMATIVI

## DPR 59/2009

Verificare l'assenza di condensazioni superficiali e che le condensazioni interstiziali delle pareti opache siano limitate alla quantità rievaporabile secondo la normativa vigente (UNI EN 13788).

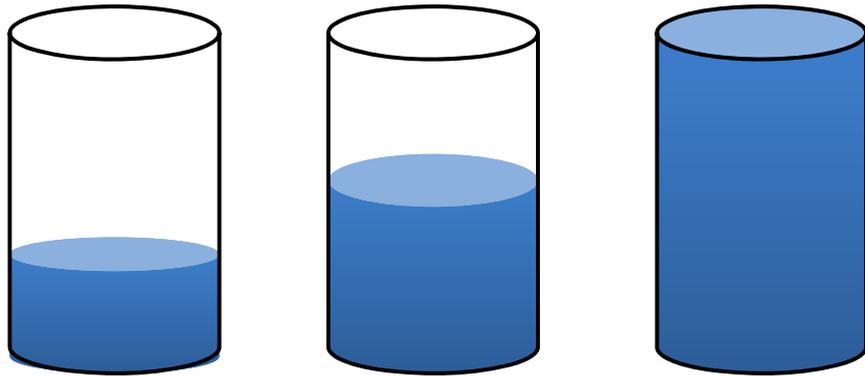
In assenza di un sistema di climatizzazione che controlli l'umidità relativa, la verifica deve essere effettuata per:

- condizioni interne: 20°C, 65% UR
- condizioni esterne: dati climatici (temperatura e pressione di vapore della località)

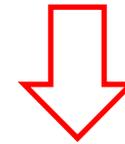
Per tutte le categorie di edifici tranne E8

Edifici nuovi, ristrutturazioni totali o parziali dell'involucro, ampliamenti con volume > 20%

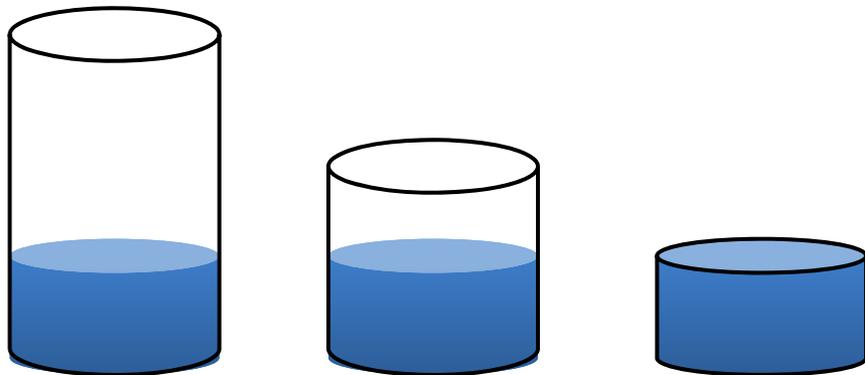
# Interventi per evitare la condensa



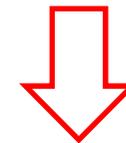
Ridurre il contenuto di umidità



**VENTILAZIONE DEGLI AMBIENTI**



Aumentare la temperatura



**ISOLAMENTO TERMICO**

# La ventilazione degli ambienti

La ventilazione è necessaria per rendere igienico l'ambiente in cui viviamo

Ad esempio se in una stanza vivono per 4 ore due persone esse producono 880 gr di vapore e 196 litri di CO<sub>2</sub>.

Per rendere igienico l'ambiente bisogna dunque ventilarlo, introducendo aria esterna che d'inverno è più secca in modo da diluire l'aria interna.

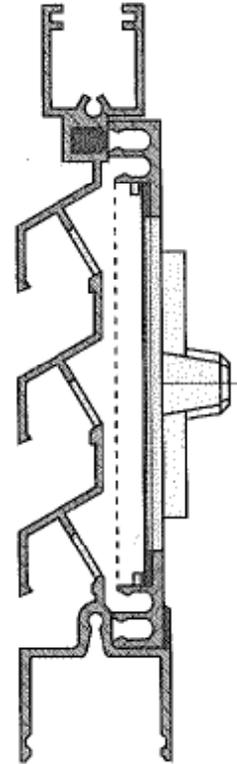
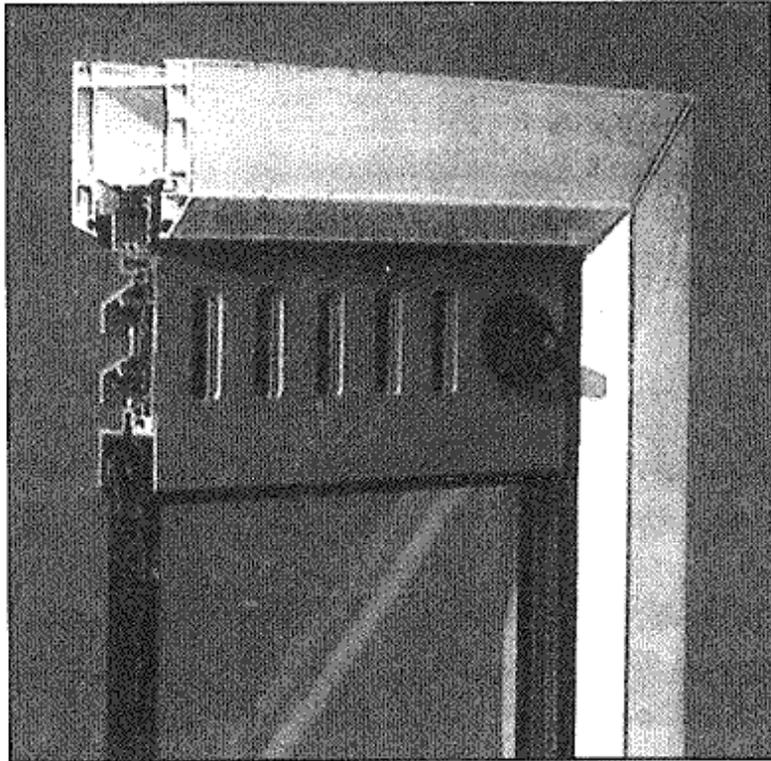
Sistemi per la ventilazione all'interno dell'ambiente sono la cappa della cucina collegata ad una canna di esalazione. L'aria nuova entra da apposite bocchette che possono essere installate in camera o in soggiorno, sui serramenti o sui cassonetti.

Gli spifferi dei serramenti non servono per una buona ventilazione degli ambienti e non è neppure sufficiente l'apertura periodica delle finestre.

# La ventilazione degli ambienti

Senza introdurre impianto di ventilazione è possibile installare griglie di aerazione:

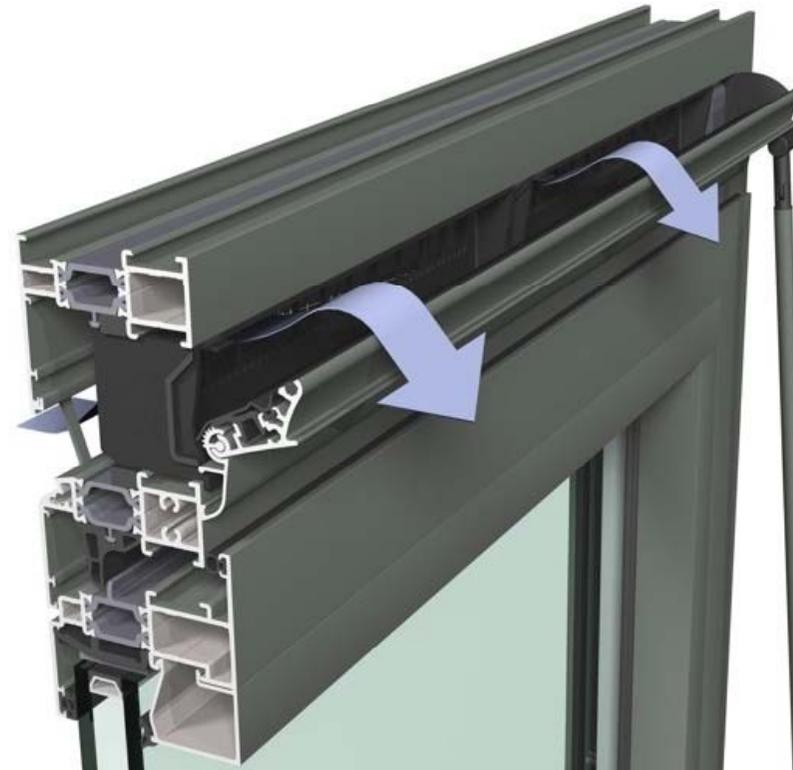
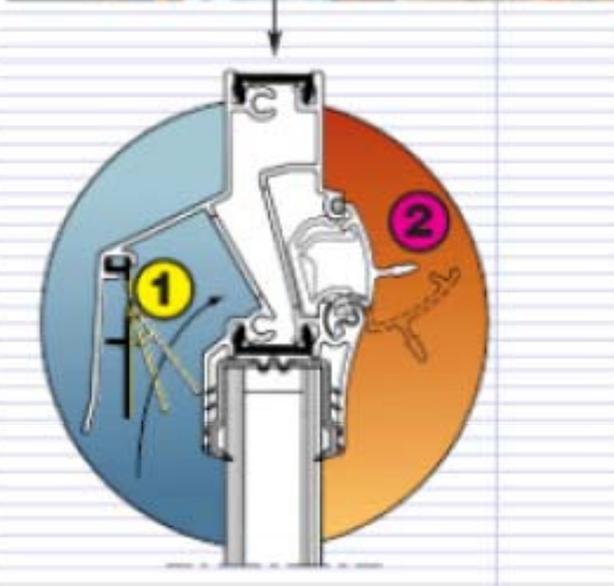
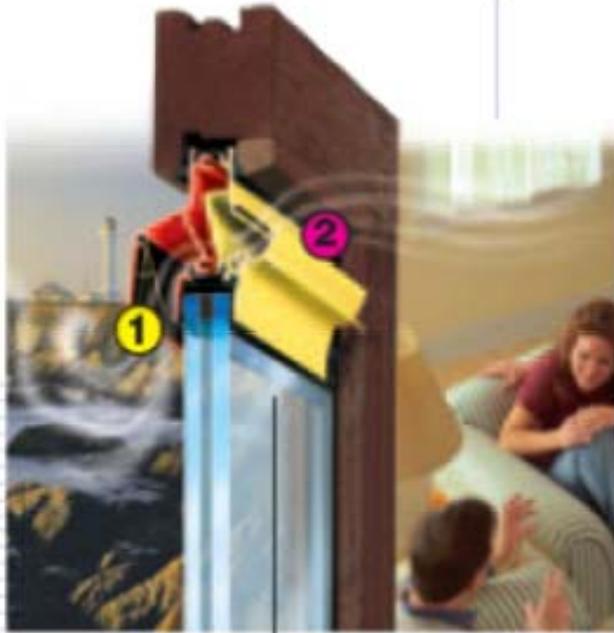
- griglie attive (dotate di ventilatori)
- griglie passive: semplici; autoregolabili; igroregolabili



Griglia passiva semplice:  
sezione di passaggio regolata  
manualmente

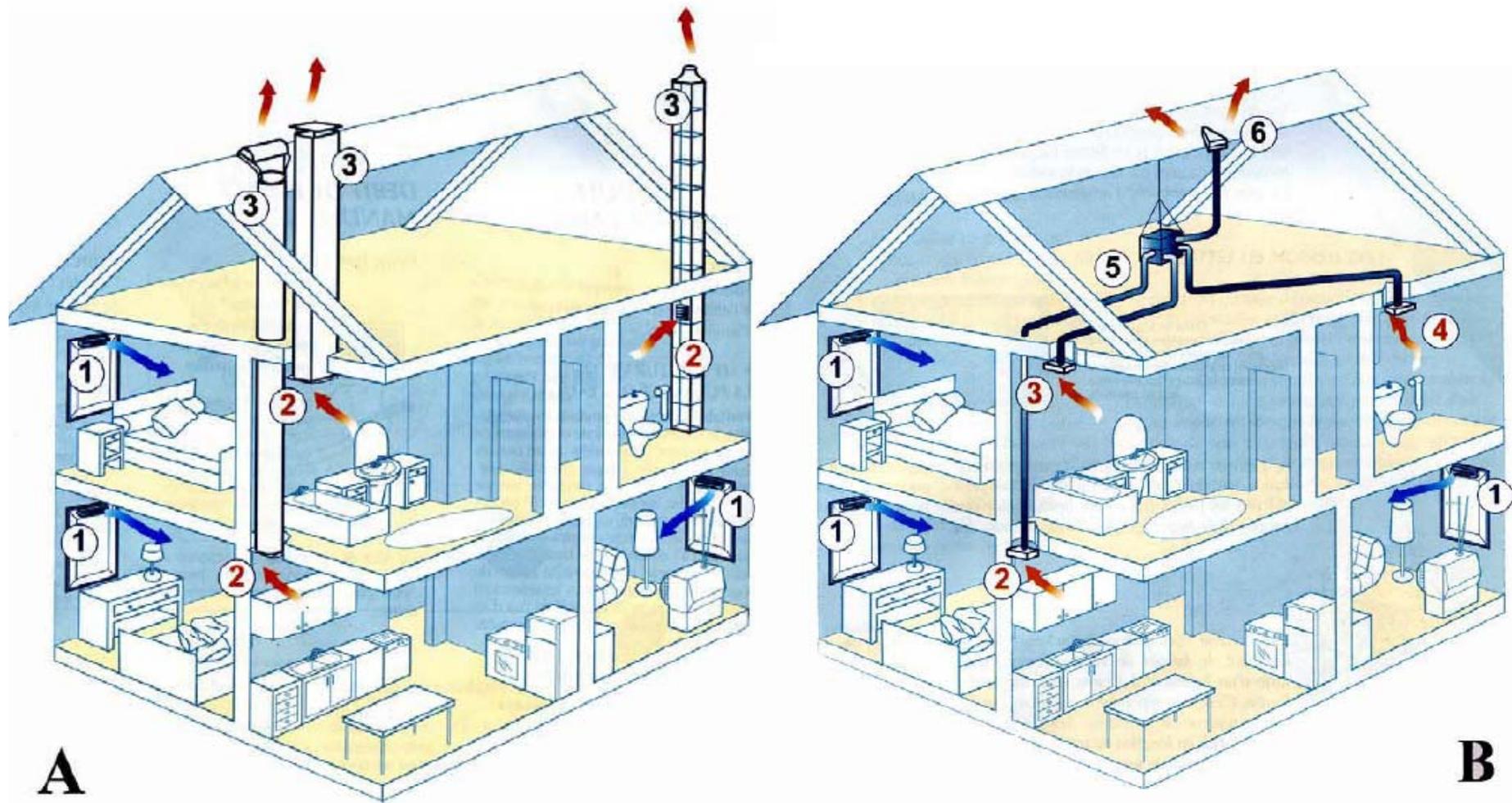
# La ventilazione degli ambienti

Griglia passiva autoregolabile

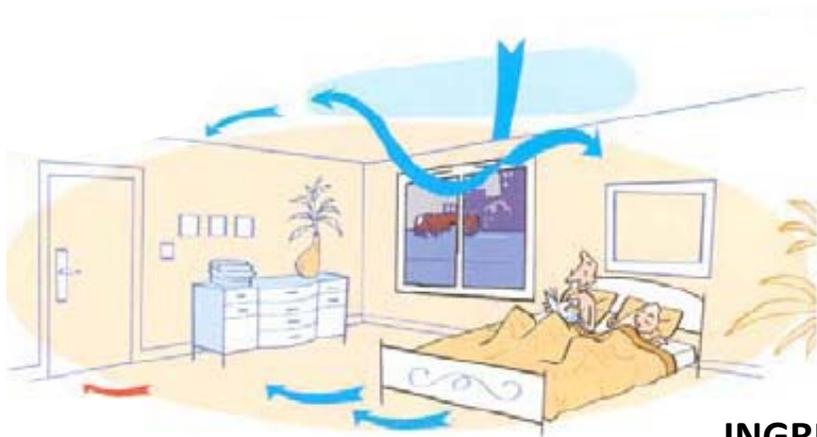


Griglia passiva igroregolabile: sezione di passaggio aumenta all'aumentare dell'umidità relativa interna

# La ventilazione degli ambienti

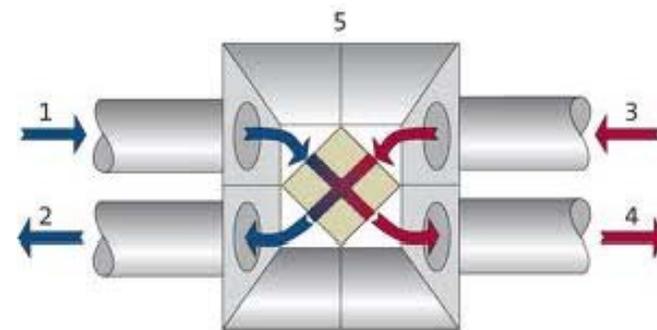
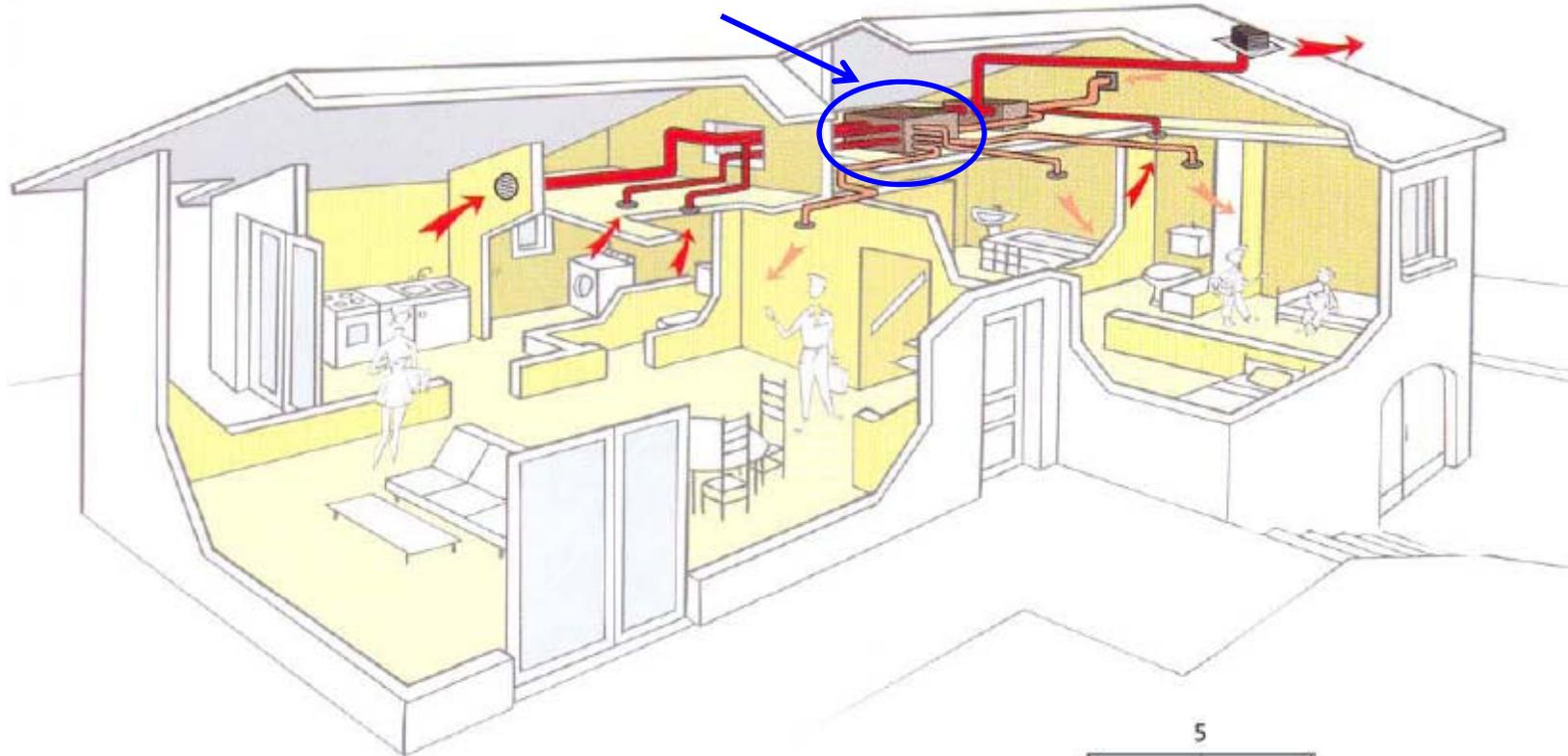


# La ventilazione degli ambienti



# La ventilazione degli ambienti

RECUPERATORE DI CALORE



# Altre fonti di umidità

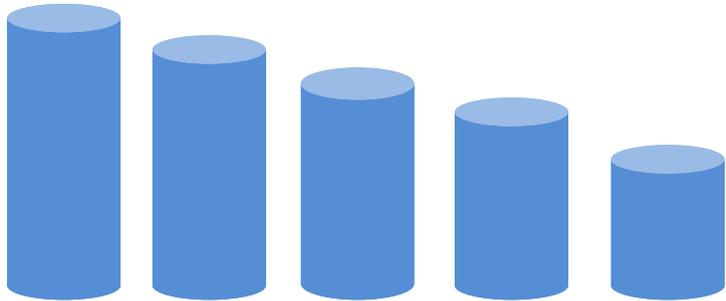
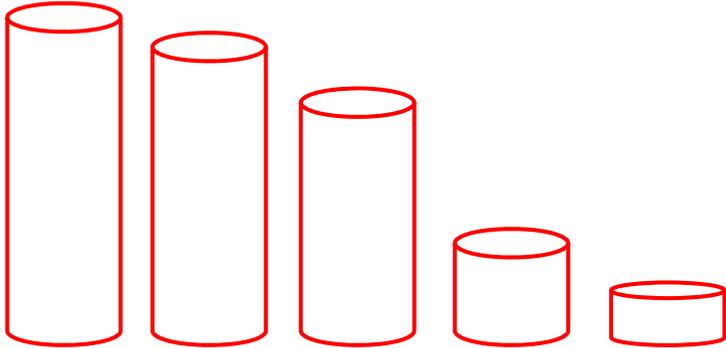
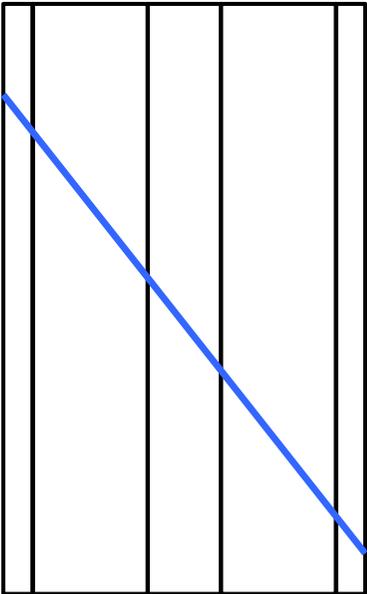
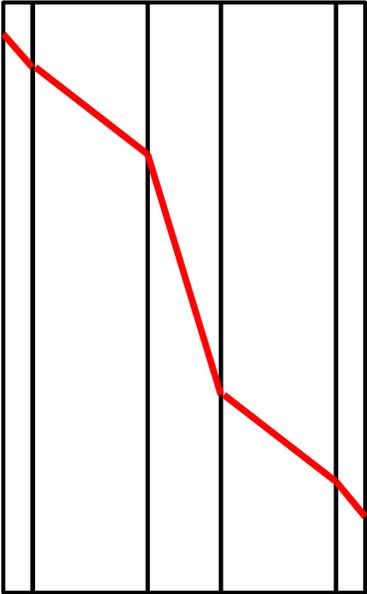
La condensa non è la sola causa dell'accumulo dell'umidità nei muri: l'umidità può provenire dalle fondazioni per risalita o nelle cantine poco impermeabilizzate o per infiltrazione dai tetti o da pareti se gli intonaci non sono adeguati.

## Interventi:

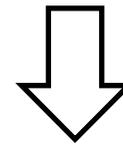
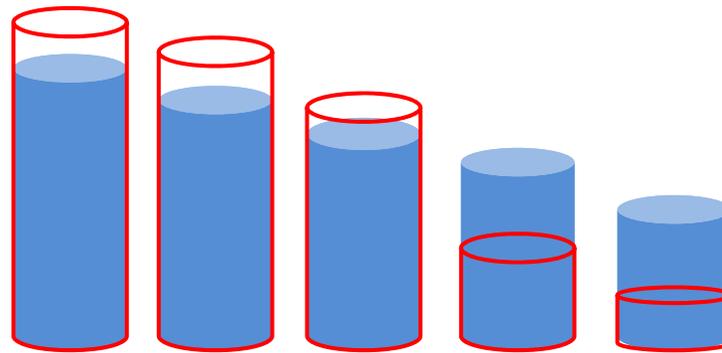
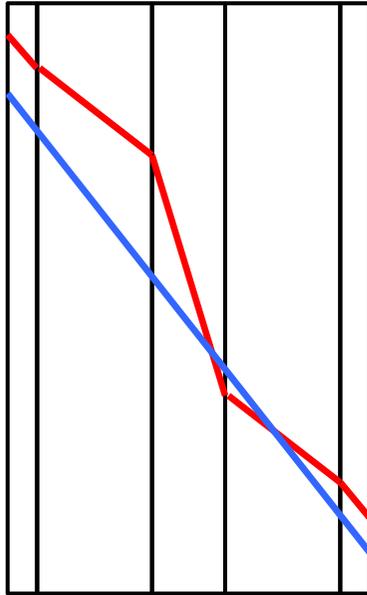
Nel caso si tratti di risalita dell'umidità è necessario applicare sulle pareti un intonaco macroporoso e impermeabilizzare il percorso di risalita.

Se invece l'umidità è dovuta ad un fenomeno di infiltrazione (ad esempio da terrazze) occorre utilizzare sistemi impermeabilizzanti come guaine o malte impermeabilizzanti, che si possono applicare anche su terrazze già piastrelate.

# L'isolamento termico

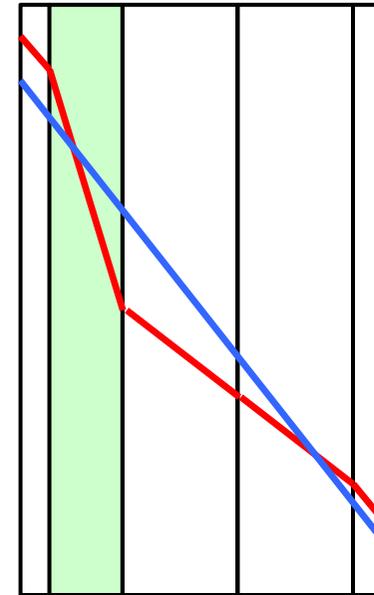
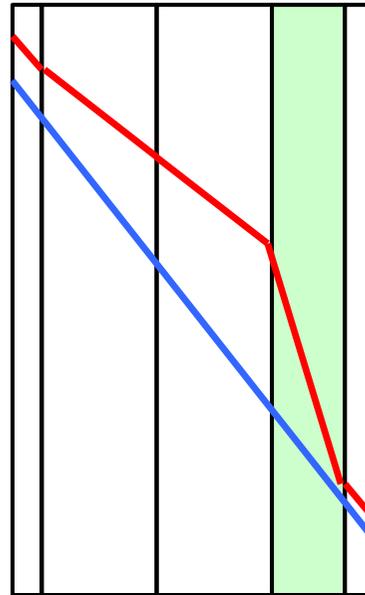
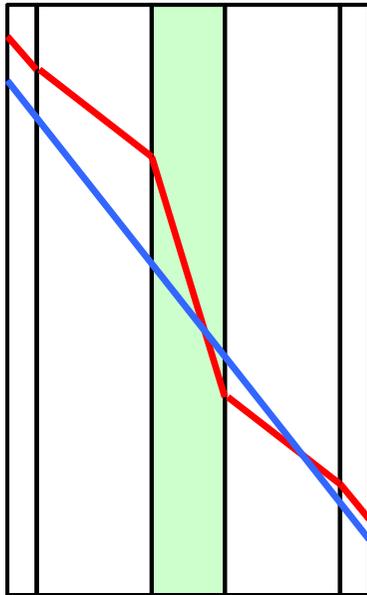


# L'isolamento termico



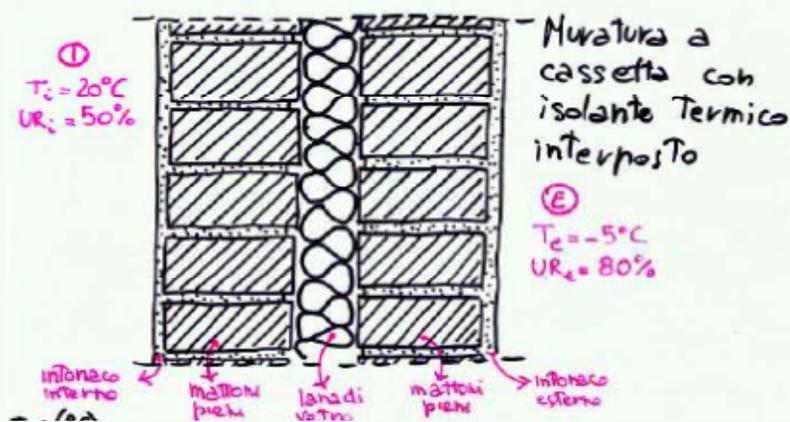
FORMAZIONE DI  
CONDENSA  
INTERSTIZIALE

# Posizione dell'isolante termico

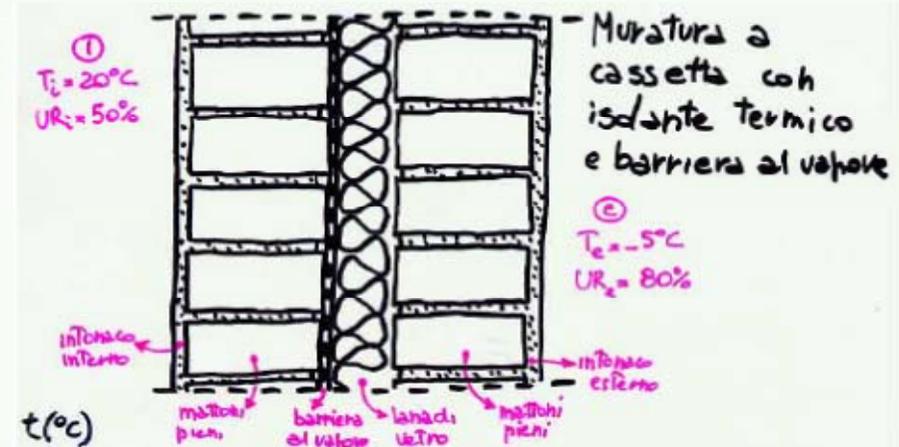


# Influenza del posizionamento dell'isolante

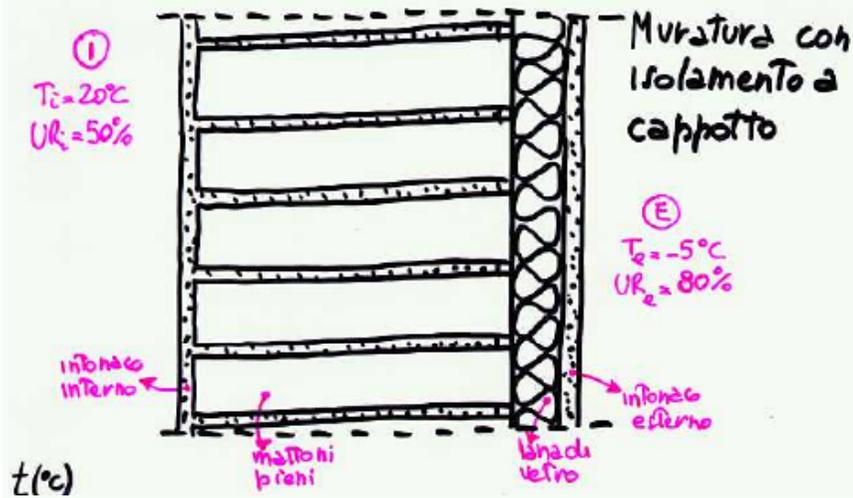
Caso 0



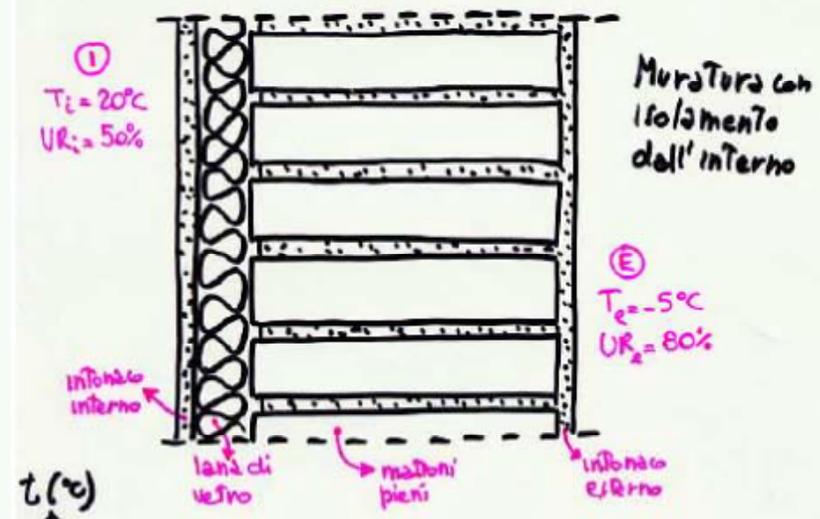
Caso 1



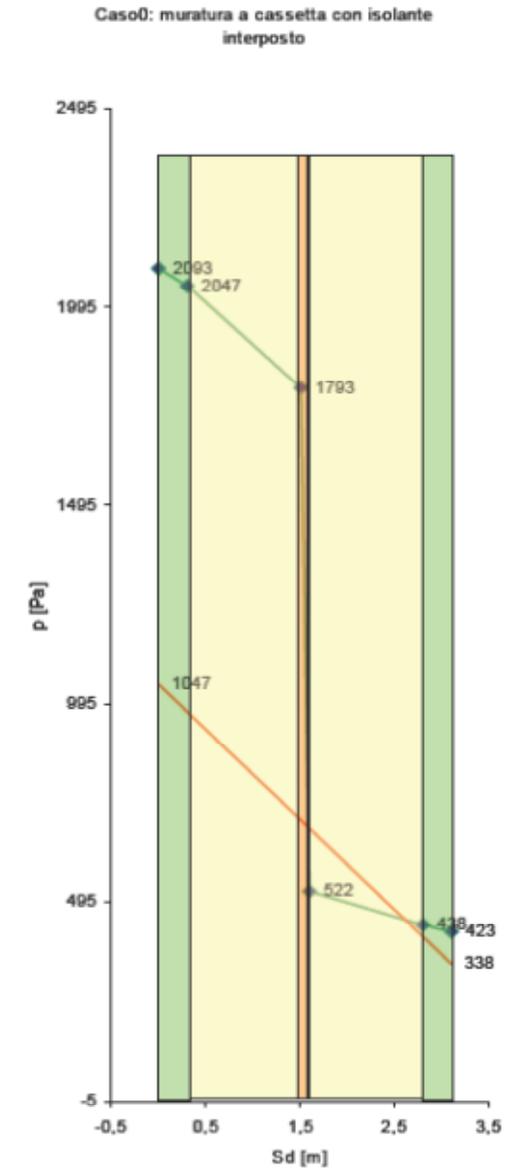
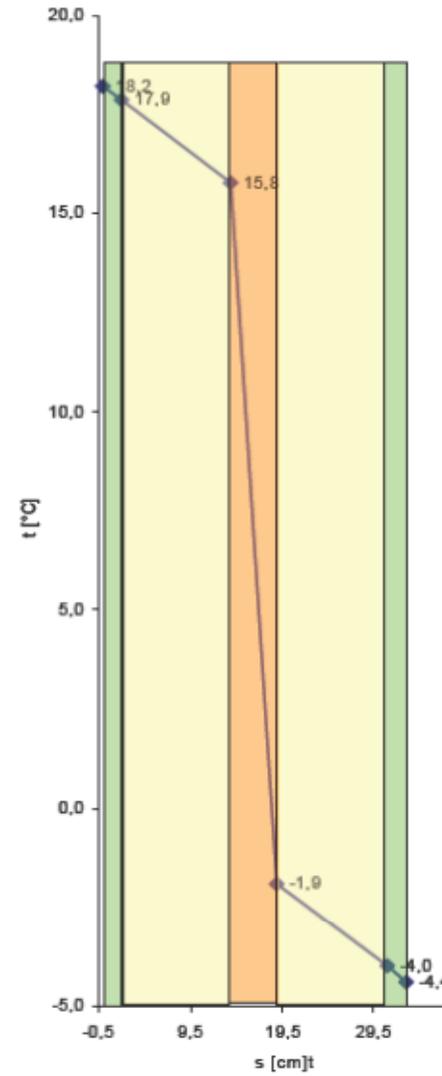
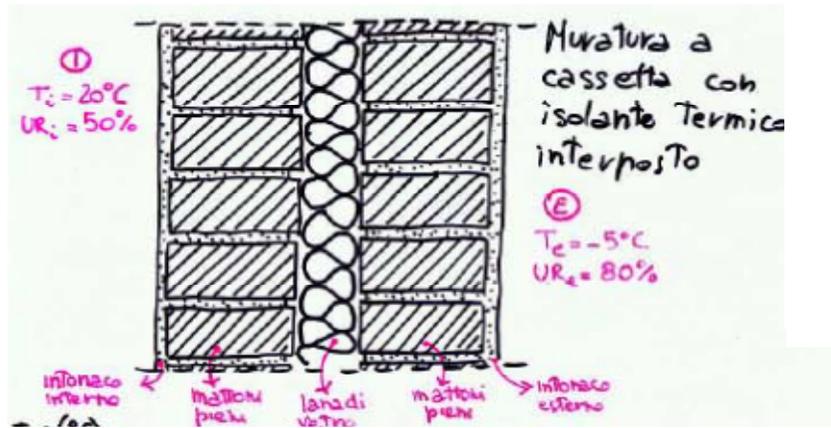
Caso 2



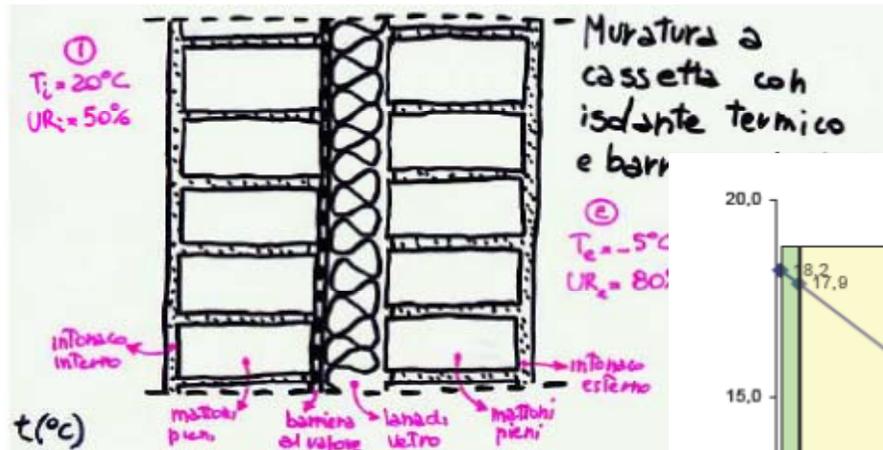
Caso 3



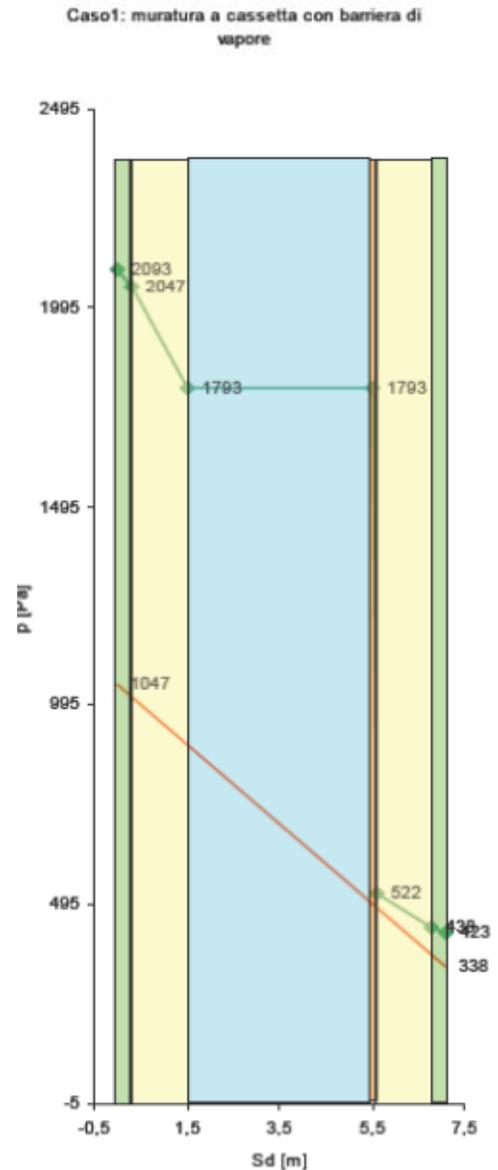
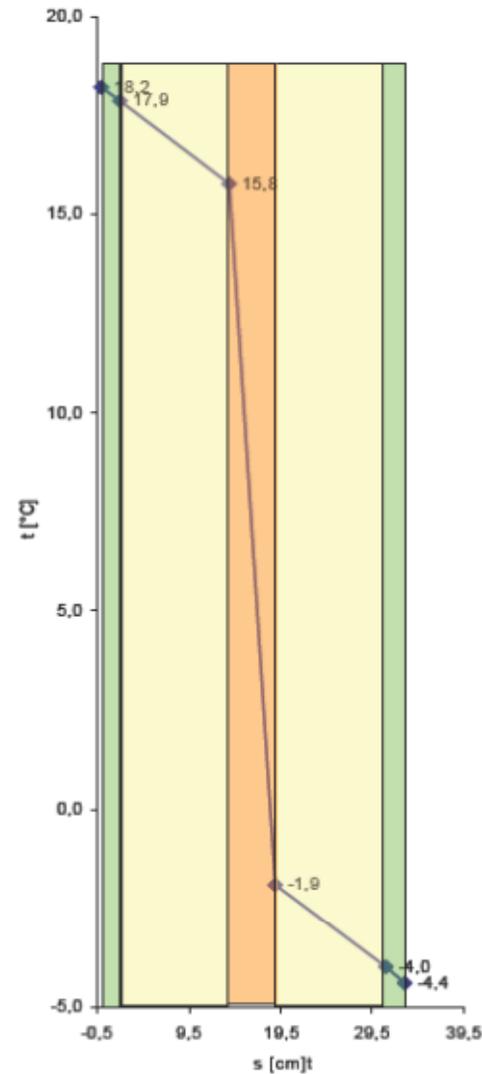
# Isolamento intermedio



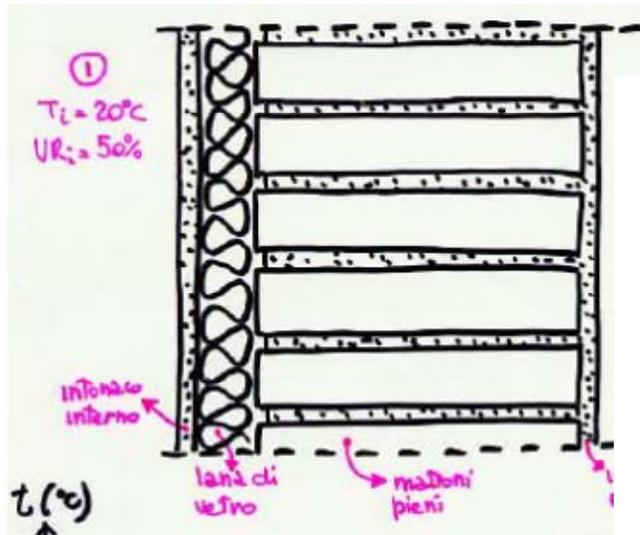
# Presenza di barriera al vapore



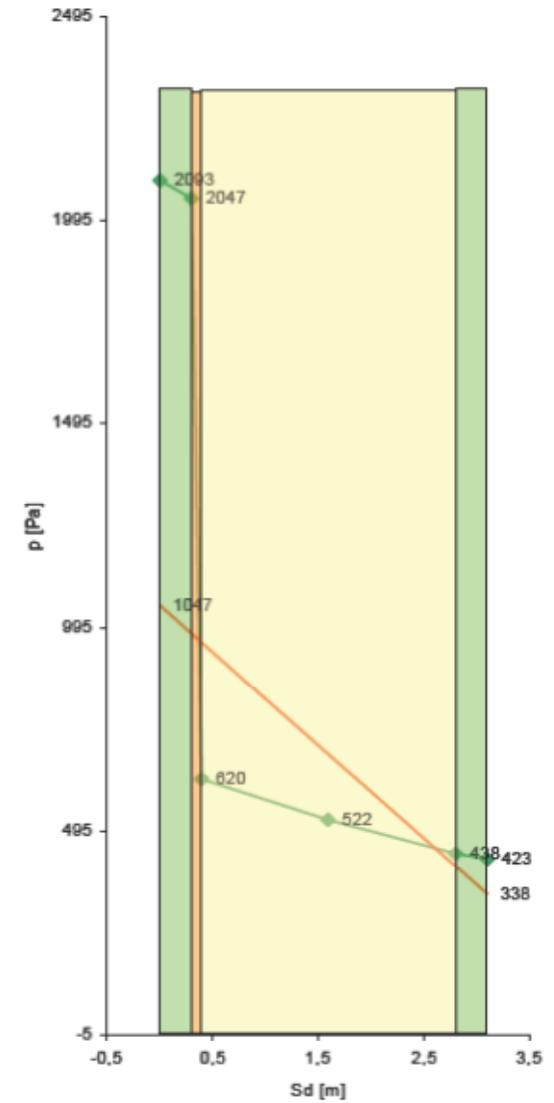
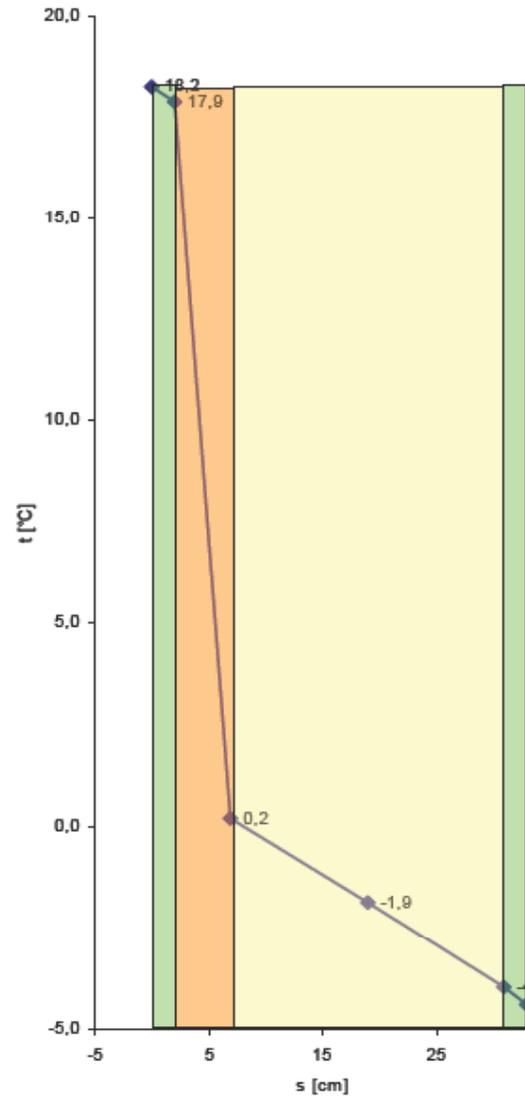
Polietilene:  
 $s = 0,1 \text{ mm}$   
 $S_d = 4 \text{ m}$



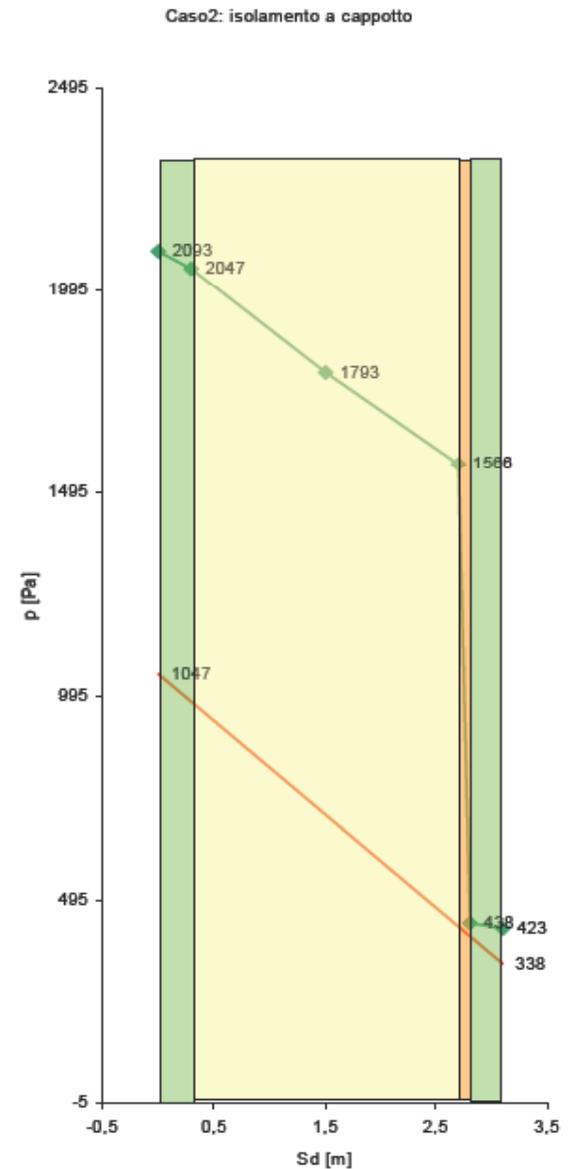
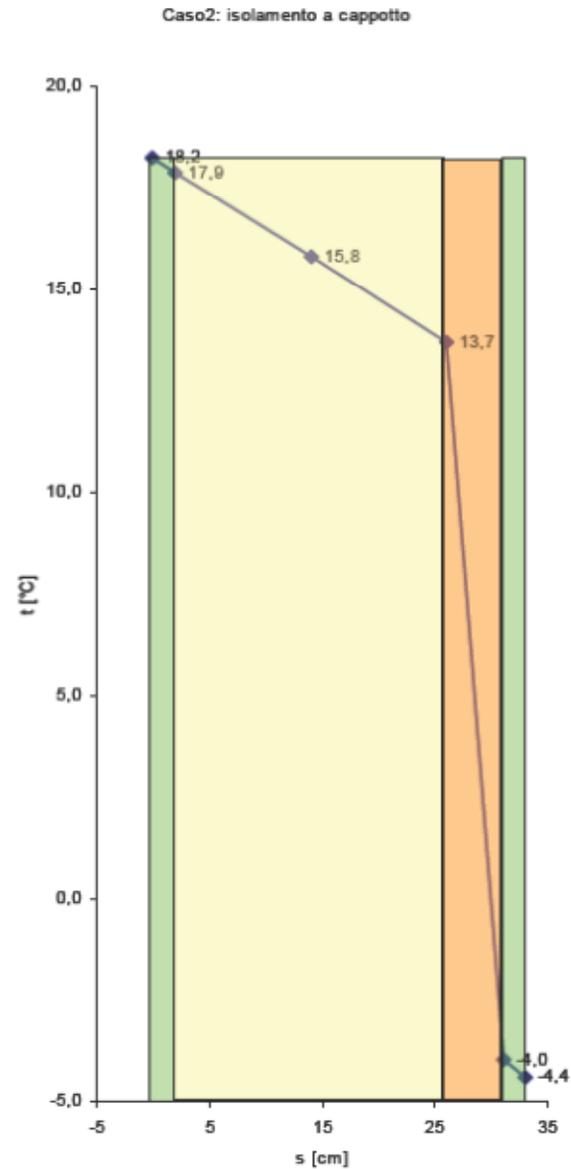
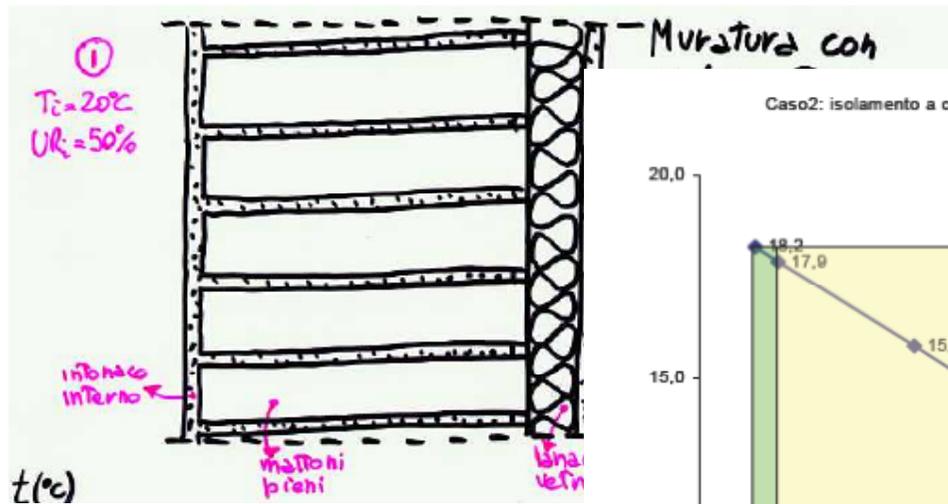
# Isolamento sul lato interno



Caso4: isolamento lato interno



# Isolamento a cappotto



Materiale	$D_v \cdot 10^9$ (kg/m h Pa)	$\mu$
<b>Aria</b>	670	1
<b>Calcestruzzo</b>		
Magro, di sabbia e ghiaia	7	100
Armato, di sabbia e ghiaia	14	50
Di argilla espansa ( $\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$ )	65	10
<b>Intonaco</b>		
Plastico, per esterno	45	15
Gesso	85	8
Cemento e sabbia	22	30
<b>Muratura</b>		
Mattoni pieni	65	10
Blocchi cementizi	75	9
Laterizio forato	85	8
Pietra naturale ( $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$ )	25	28
<b>Pannelli lignei</b>		
Legno duro, compatto	14	50
Legno compensato	3,5	200
Truciolare collato	14	50
Truciolare fortemente collato	7	100
<b>Fibre minerali</b>		
Fibra di vetro ( $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ )	330	2
Fibra di coppa di altoforno ( $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$ ) <small>(LANA DI ROCCIA)</small>	135	5
<b>Materie plastiche</b>		
Polistirolo espanso ( $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$ )	7	100
Poliuretano espanso ( $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ )	11	60
<b>Barriere al vapore</b>		
Polietilene ( $s = 0,1 \text{ mm}$ )	0,017	$40 \times 10^3$
Polietilene ( $s = 0,3 \text{ mm}$ )	0,005	$120 \times 10^3$
Alluminio ( $s = 0,025 \text{ mm}$ )	$0,190 \times 10^{-6}$	$3,5 \times 10^9$
Bitume	0,011	$60 \times 10^3$

coefficiente di  
resistenza al vapore

12 cm mattoni pieni  
=  $12 \cdot 10 = 120 \text{ cm}$  di aria

10 cm polistirolo espanso  
=  $10 \cdot 100 = 1000 \text{ cm}$  di aria

0,1 mm polietilene  
=  $0,1 \cdot 40000 = 4 \text{ m}$  di aria

# INDICAZIONI GENERALI

Qualora la struttura in esame non risulti idonea secondo i criteri presentati, è necessario adottare una o più delle seguenti linee d'intervento sulla struttura. In generale un migliore comportamento igrometrico della struttura può essere ottenuto intervenendo sulla disposizione degli strati secondo i seguenti criteri:

- disposizione sul lato **interno** degli strati caratterizzati da maggiore **resistenza alla diffusione**;
- disposizione, sul lato **esterno**, degli strati caratterizzati da maggiore **resistenza termica**.

# INCONVENIENTI DELLA BARRIERA AL VAPORE

L'inserimento di una barriera al vapore può causare inconvenienti, tra i quali ad esempio:

- una riduzione dell'asciugamento estivo;
- nelle coperture piane l'eventuale umidità presente all'atto della costruzione (getti in opera) non ha più la possibilità di essere smaltita;
- la barriera può perdere con il tempo le sue caratteristiche.

In genere se la quantità di condensa formatasi risulta ammissibile, è preferibile non porre in opera la barriera al vapore.

# DPR 59/2009

Verificare **l'assenza di condensazioni superficiali** e che le **condensazioni interstiziali delle pareti opache siano limitate alla quantità rievaporabile** secondo la normativa vigente (UNI EN 13788).

In assenza di un sistema di climatizzazione che controlli l'umidità relativa, la verifica deve essere effettuata per:

- condizioni interne: 20°C, 65% UR
- condizioni esterne: dati climatici (temperatura e pressione di vapore della località)

Per tutte le categorie di edifici tranne E8

Edifici nuovi, ristrutturazioni totali o parziali dell'involucro, ampliamenti con volume > 20%

# INDAGINI SULL'INVOLUCRO

**Informazioni sull'involucro si possono ricavare da:**

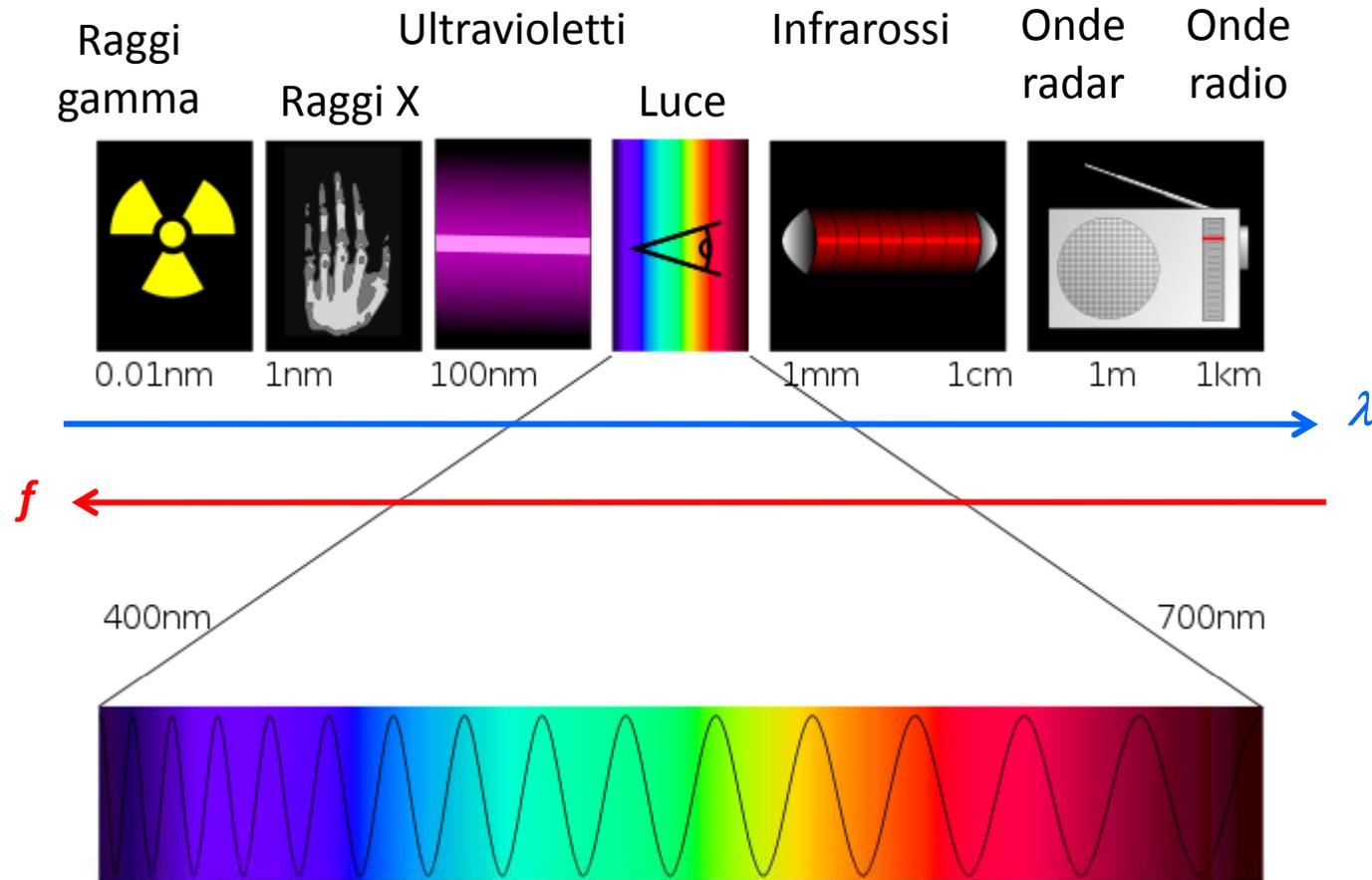
- rilievo
- analisi documenti e certificazioni dei materiali

**In aggiunta, mediante utilizzo di apposita strumentazione, si possono eseguire:**

- Rilievi termografici
- Endoscopia
- Carotaggio
- Misure della trasmittanza
- Misure della tenuta all'aria dell'involucro

# TERMOGRAFIA

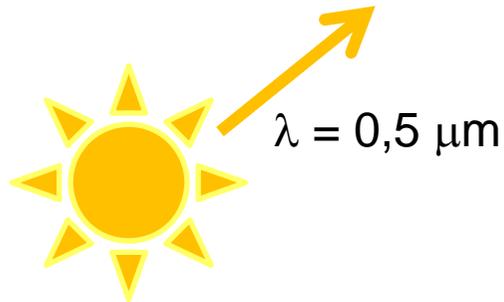
Radiazioni elettromagnetiche: sono caratterizzate da una lunghezza d'onda  $\lambda$  [ $\mu\text{m}$ ] e da una frequenza  $f$  [Hz]



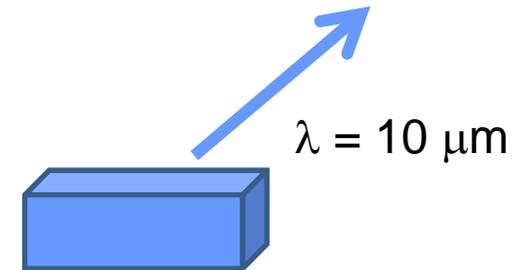
# TERMOGRAFIA INFRAROSSA

Qualunque corpo che si trovi a una temperatura superiore a  $-273.15^{\circ}\text{C}$  emette delle radiazioni; la lunghezza d'onda e la frequenza delle radiazioni dipendono dalla temperatura superficiale dell'oggetto che emette le radiazioni

$T \cong 5800 \text{ K}$



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



Termocamera: strumento che rileva a distanza l'energia emessa dagli oggetti, sotto forma di radiazioni nelle frequenze dell'infrarosso, la converte in un segnale elettrico.

La "visone dell'energia" rilevata dalla termocamera, viene rappresentata da un'immagine, ottenuta abbinando una scala di temperature a una scala di colori. L'immagine ottenuta non è altro che la mappatura termica superficiale dell'oggetto.

# TERMOGRAFIA INFRAROSSA

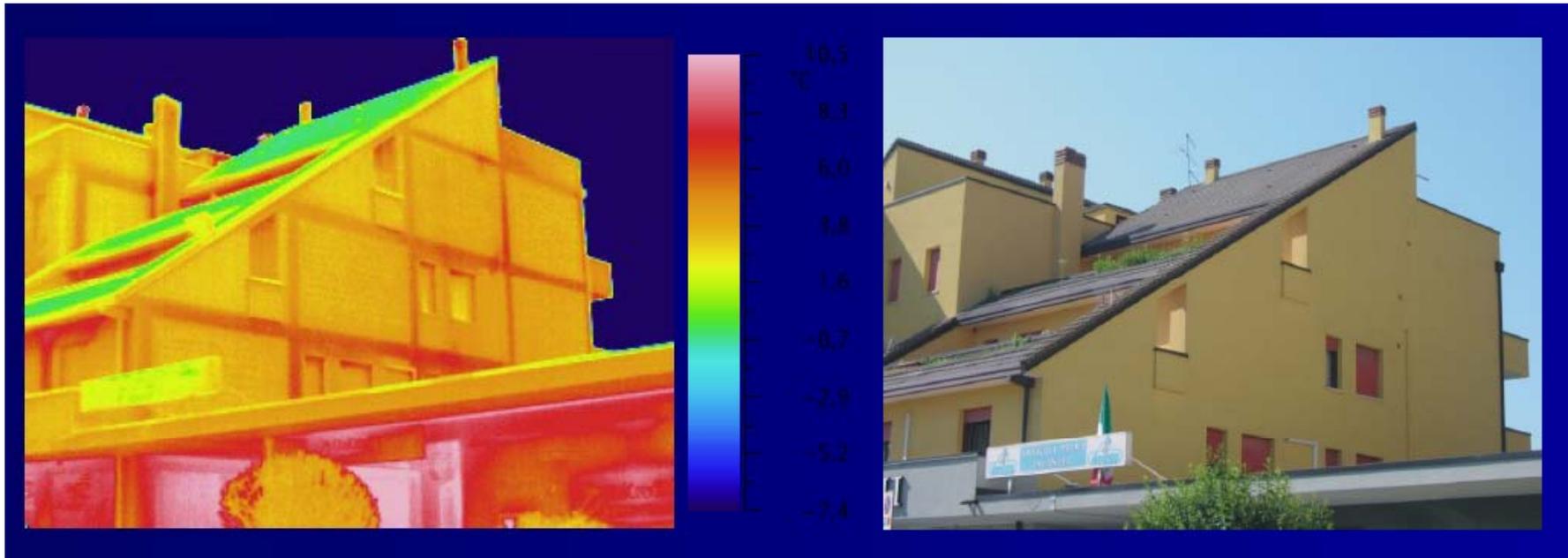
L'impiego della termografia infrarossa in **edilizia** può essere finalizzato al rilievo:

- di irregolarità termiche dell'involucro
- di irregolarità di tenuta all'aria
- infiltrazioni d'acqua
- percorso tubazioni

## Condizioni di prova:

- elevato  $\Delta T$  fra interno ed esterno ( $>15K$ )
- temperatura interna mantenuta ad un valore costante per circa 48h precedenti alla misurazione
- no radiazione solare (cielo coperto), assenza ventilazione

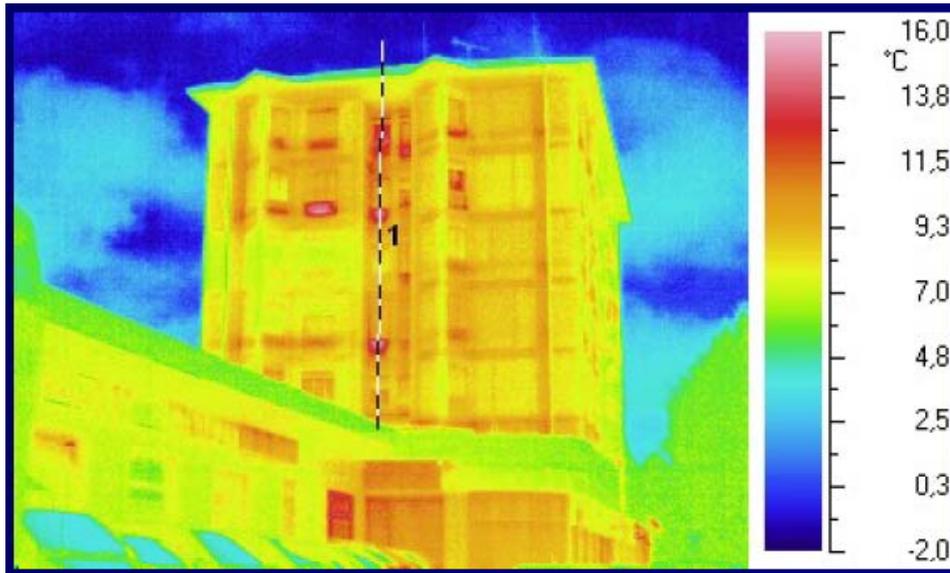
# TERMOGRAFIA INFRAROSSA



Ponte termico causato dalla struttura portante

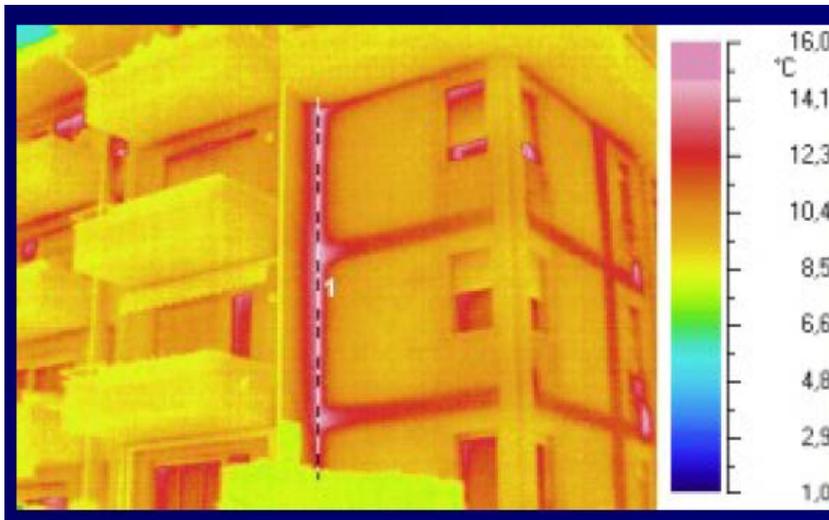
Edificio condominiale. Cornuda.

# TERMOGRAFIA INFRAROSSA

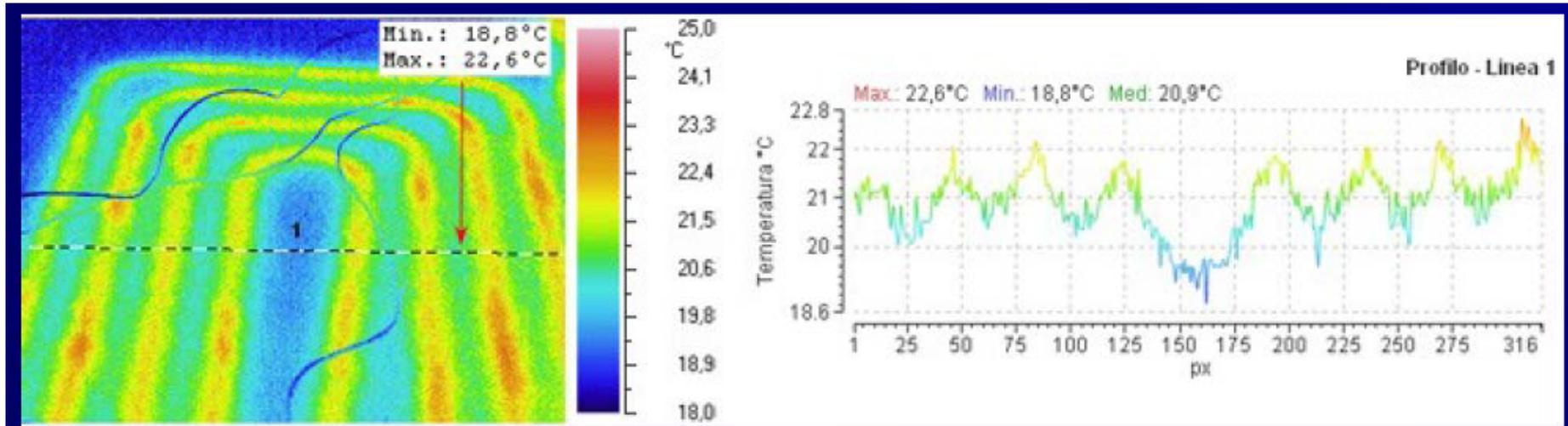


Si notano i ponti termici delle strutture sia verticali che orizzontali.

I corpi scaldanti sotto le finestre e le relative tubazioni di alimentazione non sono correttamente protetti.



# TERMOGRAFIA INFRAROSSA

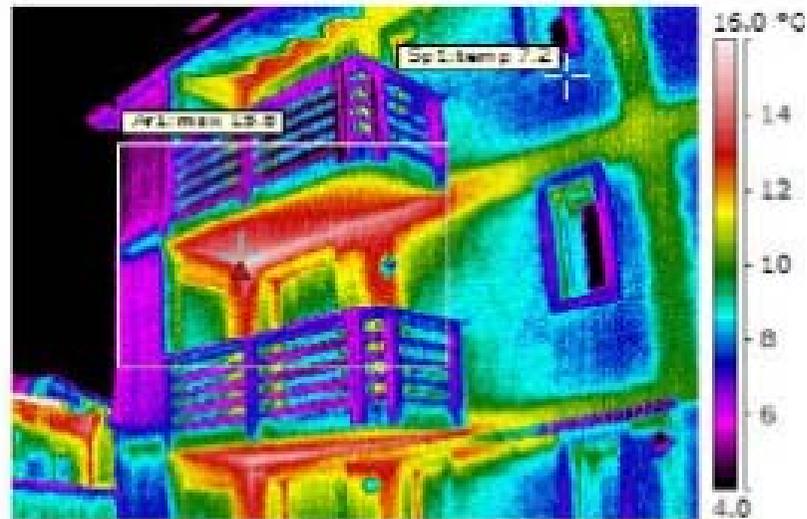


Dall'analisi termografica risulta che il circuito di riscaldamento non presenta difetti significativi; il percorso e le temperature sono ben definiti.

Le leggere differenze evidenziate possono dipendere dalla variazione della trasmittanza dei materiali della pavimentazione.

L'immagine in oggetto costituisce una valida mappatura dei tracciati, utile nell'individuare in modo veloce e circoscritto eventuali malfunzionamenti, permettendo quindi un intervento localizzato e con costi contenuti.

# TERMOGRAFIA INFRAROSSA



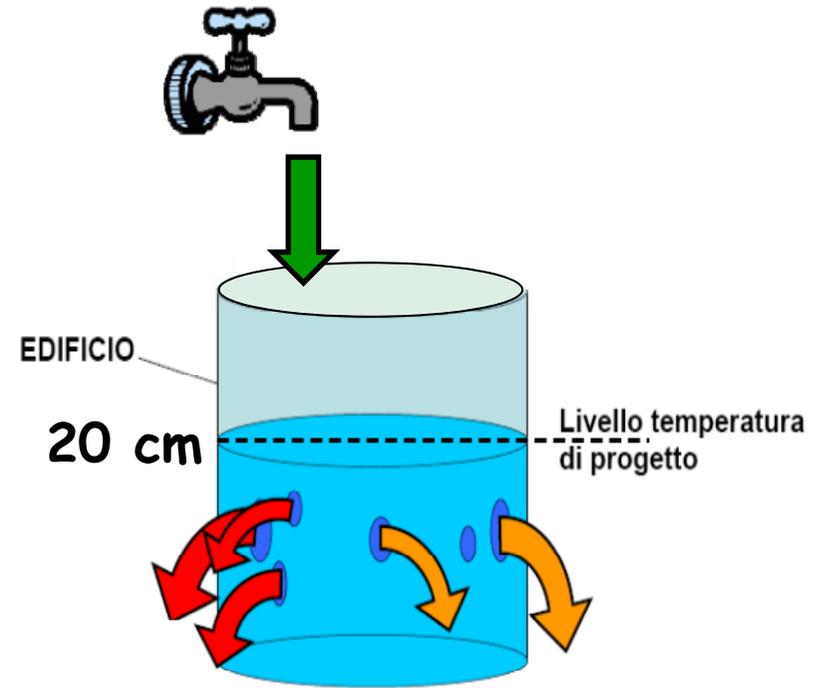
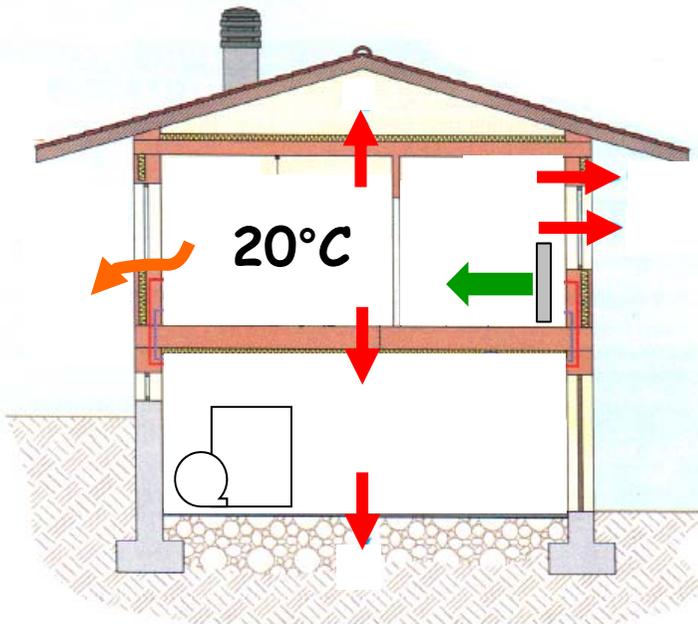
Isolamento in intercapedine

# IPOSTESI DI INTERVENTI SULL'INVOLUCRO

SOSTITUZIONE DI SERRAMENTI

AGGIUNTA DI ISOLAMENTO A CAPPOTTO

# DISPERSIONI DI ENERGIA TERMICA DI UN EDIFICIO

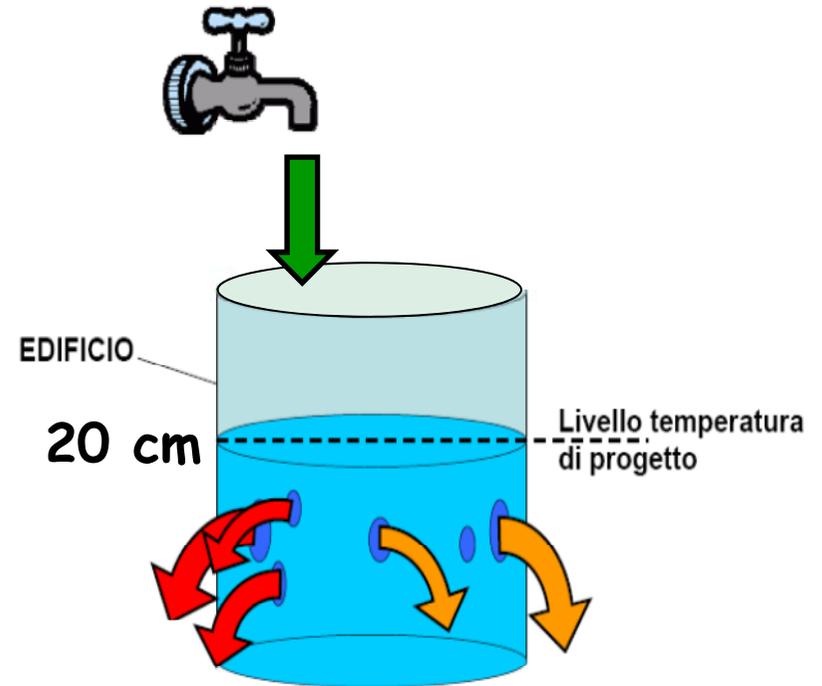
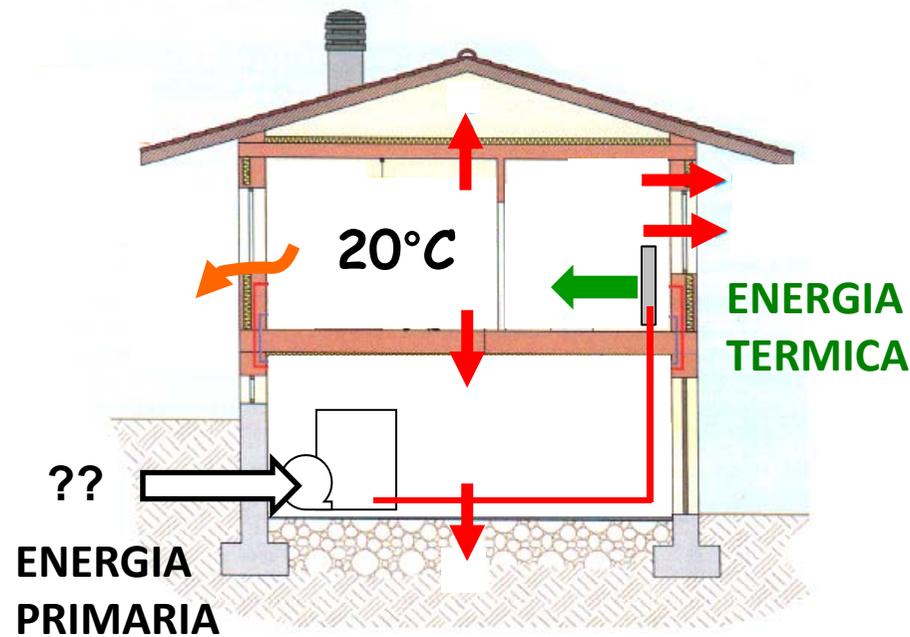


## DISPERSIONI PER TRASMISSIONE

- Pareti
- Finestre
- Ponti termici

## DISPERSIONI PER VENTILAZIONE

# DISPERSIONI DI ENERGIA TERMICA DI UN EDIFICIO



# IPOTESI DI SOSTITUZIONE DI SERRAMENTI

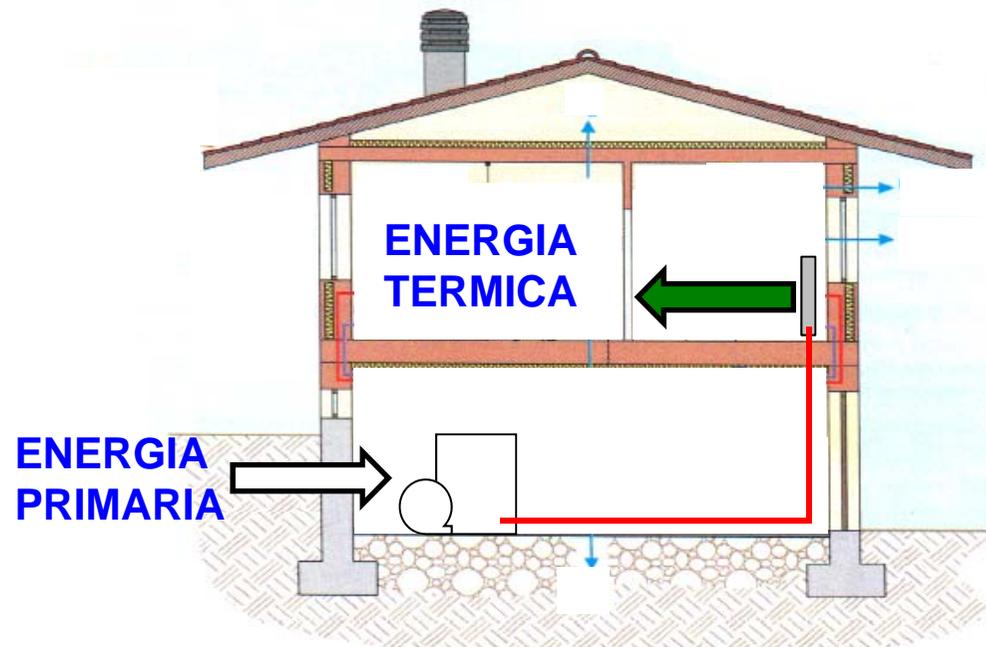
Si consideri un edificio con 10 finestre da 1,4 x 1

$$U_{\text{esistente}} = 4,9 \text{ W/m}^2\text{K} \quad \longrightarrow \quad U_{\text{nuovo}} = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**ENERGIA  
TERMICA  
RISPARMIATA**

$$\frac{GG \cdot 24 \cdot 0,9 \cdot (U_{\text{esistente}} - U_{\text{nuova}}) \cdot S}{1000} = 1897 \text{ kWh}$$

Si consideri, in mancanza di dati, un rendimento complessivo dell'impianto compreso tra 0,65 e 0,80



# IPOSTESI DI SOSTITUZIONE DI SERRAMENTI

**ENERGIA PRIMARIA RISPARMIATA**  $\frac{1897}{0,65} = 2918$  **ENERGIA PRIMARIA RISPARMIATA = 2918 kWh**

**QUANTO METANO CONSUMEREI PER PRODURRE 2918 kWh ???**

Potere calorifico del metano = 9,6 kWh/m<sup>3</sup>

**RISPARMIO DI METANO**  $\frac{2918}{9,6} = 304 \text{ m}^3$

Ipotizzando un costo del metano pari a 1 €/m<sup>3</sup>

**RISPARMIO ECONOMICO**  $304 \cdot 1 = 304 \text{ €}$

# IPOSTESI DI SOSTITUZIONE DI SERRAMENTI

## QUANTO COSTA UN SERRAMENTO NUOVO ?

Costo totale intervento =  $10 \cdot 800 = 8000 \text{ €}$

### IPOSTIZZANDO UNA DETRAZIONE DEL 55%

Costo da recuperare =  
 $0,55 \cdot 8000 = 3600 \text{ €}$

### SENZA ALCUNA DETRAZIONE

Costo da recuperare =  
 $8000 \text{ €}$

## TEMPO DI RIENTRO DELLA SPESA SOSTENUTA

$$\frac{3600}{304} \cong 12 \text{ anni}$$

$$\frac{8000}{304} \cong 26 \text{ anni}$$

# IPOSTESI DI SOSTITUZIONE DI SERRAMENTI

## CONSIDERAZIONI:

Costo totale intervento

Costo del combustibile

Rendimento globale dell'impianto (232 € contro 304 € nell'ipotesi di caldaia recente)

Presenza di forme di incentivazione

Se i serramenti sono piuttosto vecchi con la loro sostituzione si riducono anche le perdite di ventilazione

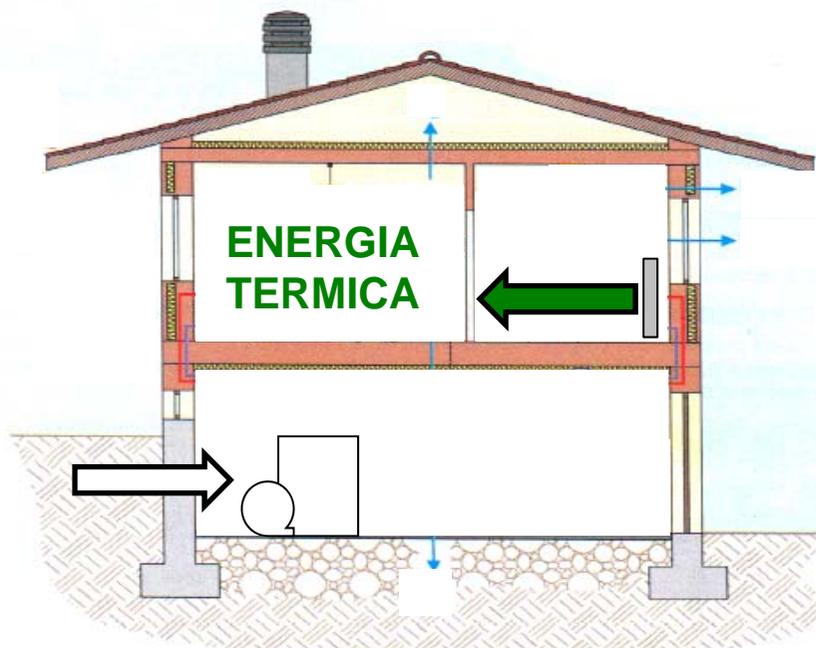
# IPOTESI DI REALIZZAZIONE DEL CAPPOTTO

Si consideri un edificio con superficie laterale pari a 120 m<sup>2</sup>

$U_{\text{esistente}} = 0,88 \text{ W/m}^2\text{K}$	$\longrightarrow$	$U_{\text{nuovo}} = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$	<b>8 cm</b>
	$\searrow$	$U_{\text{nuovo}} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$	<b>10 cm</b>

**ENERGIA PRIMARIA  
RISPARMIATA  
(8cm) = 5000 kWh**

**ENERGIA PRIMARIA  
RISPARMIATA  
(10cm) = 5558 kWh**



**ENERGIA TERMICA  
RISPARMIATA  
(8 cm) = 3251 kWh**

**ENERGIA TERMICA  
RISPARMIATA  
(10 cm) = 3613 kWh**

# IPOTESI DI REALIZZAZIONE DEL CAPPOTTO

QUANTO METANO RISPAMIO ?

**8 cm**

RISPARMIO DI METANO = 521 m<sup>3</sup>

**10 cm**

RISPARMIO DI METANO = 579 m<sup>3</sup>

Ipotizzando un costo del metano pari a 1 €/m<sup>3</sup>

RISPARMIO ECONOMICO = 521 €

RISPARMIO ECONOMICO = 579 €

QUANTO COSTA UN ISOLAMENTO A CAPPOTTO ?

COSTO = 50 €/m<sup>2</sup>

COSTO TOTALE = 6000 €

COSTO = 60 €/m<sup>2</sup>

COSTO TOTALE = 7200 €

# IPOSTESI DI REALIZZAZIONE DEL CAPPOTTO

8 cm

10 cm

TEMPO DI RIENTRO DELLA SPESA SOSTENUTA

$$6000 / 521 = 11,5 \text{ anni}$$

$$7200 / 579 = 12,4 \text{ anni}$$

NELL'IPOTESI DI INCENTIVO DEL 55%

$$2700 / 521 \cong 5 \text{ anni}$$

$$7200 / 579 \cong 5,5 \text{ anni}$$

# IPOTESI DI REALIZZAZIONE DEL CAPPOTTO

## CONSIDERAZIONI:

Costo totale intervento

Costo del combustibile

Rendimento globale dell'impianto

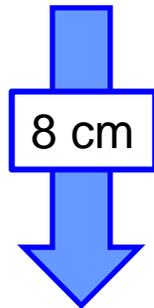
Presenza di forme di incentivazione

La realizzazione dell'isolamento a cappotto elimina anche le dispersioni dovute ad alcuni ponti termici

# IPOSTESI DI REALIZZAZIONE DEL CAPPOTTO

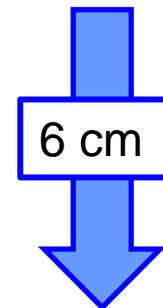
## ULTERIORI CONSIDERAZIONI SUL COSTO DELL'ISOLANTE:

ISOLANTE CON  
CONDUTTIVITA' TERMICA  
= 0,04 W/mK



RESISTENZA  
TERMICA  
= 2 m<sup>2</sup>K/W

ISOLANTE CON  
CONDUTTIVITA' TERMICA  
= 0,03 W/mK



RESISTENZA  
TERMICA  
= 2 m<sup>2</sup>K/W



# CATEGORIE DI EDIFICI

- E. 1 (1) EDIFICI RESIDENZIALI con occupazione continuativa
- E. 1 (2) EDIFICI RESIDENZIALI con occupazione saltuaria
- E. 1 (3) EDIFICI ADIBITI ad ALBERGO, PENSIONE ed attività simili
- E. 2 EDIFICI per UFFICI e assimilabili
- E. 3 OSPEDALI, CASE di CURA, e CLINICHE
- E. 4 EDIFICI adibiti ad attività RICREATIVE, associative o di culto e assimilabili
- E. 5 EDIFICI adibiti ad attività COMMERCIALI
- E. 6 EDIFICI adibiti ad attività SPORTIVE
- E. 7 EDIFICI adibiti ad attività SCOLASTICHE
- E. 8 EDIFICI INDUSTRIALI E ARTIGIANALI riscaldati per il comfort degli occupanti