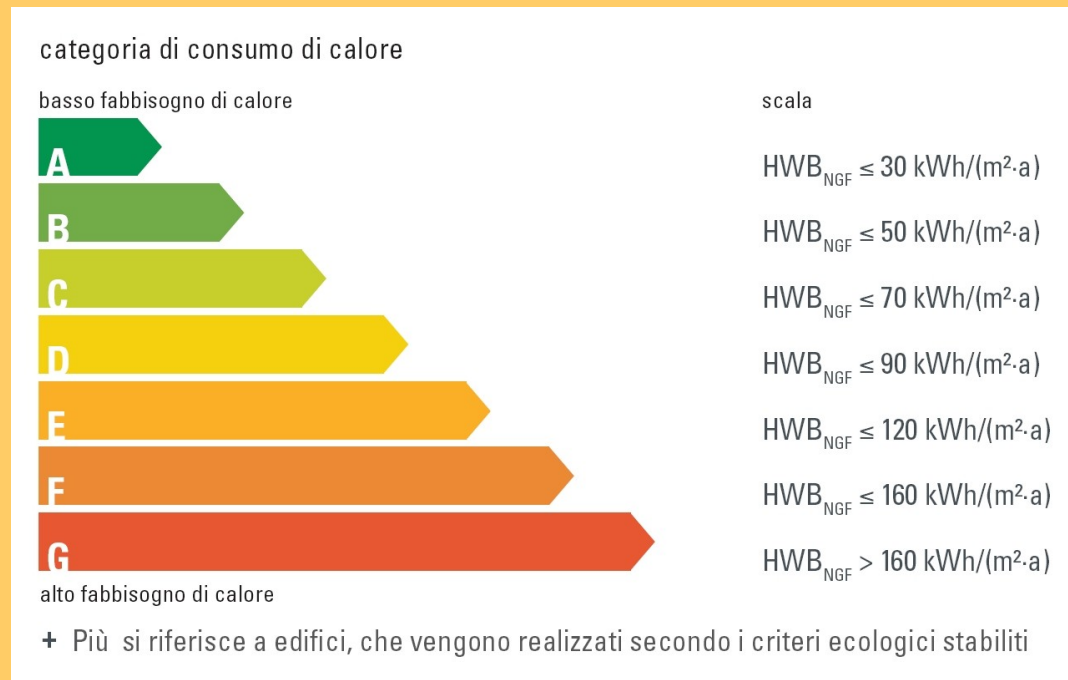


# Valutazione energetica dei fabbricati



## Calcolo della trasmittanza “U”

# Quanti sono i consumi energetici

L'innalzamento degli standard abitativi richiesti

ha per conseguenza l'aumento della richiesta energetica

Fonte PHI

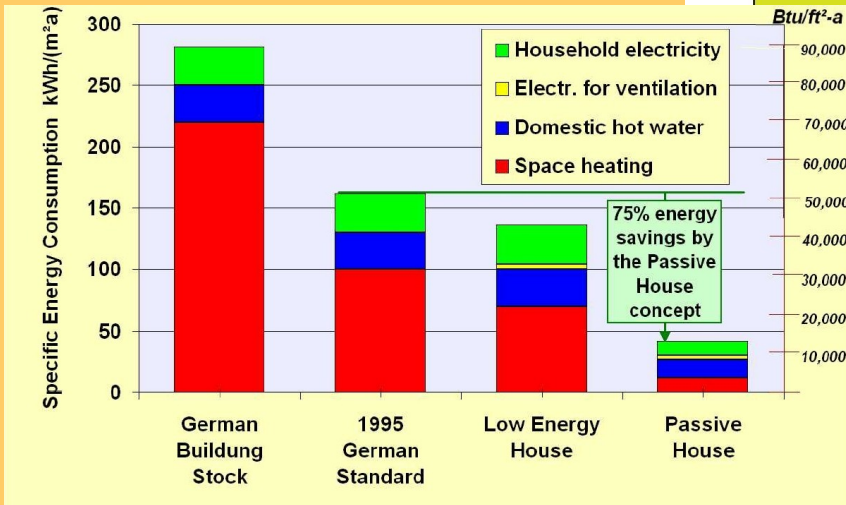
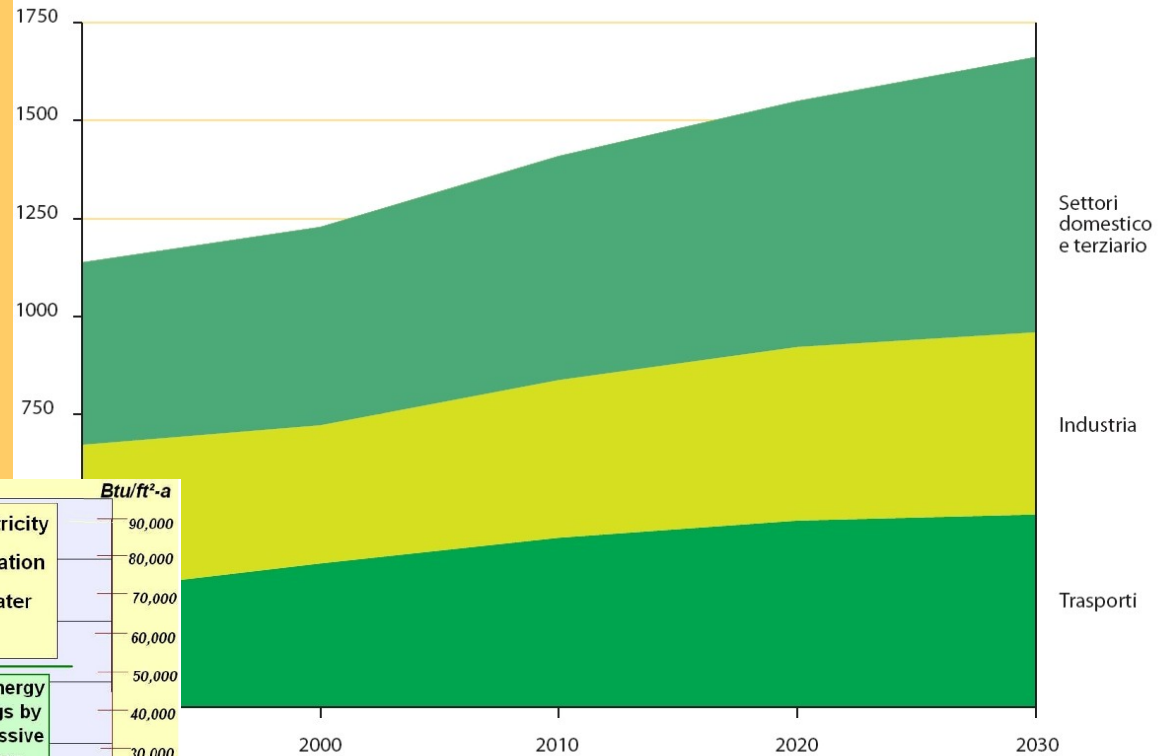


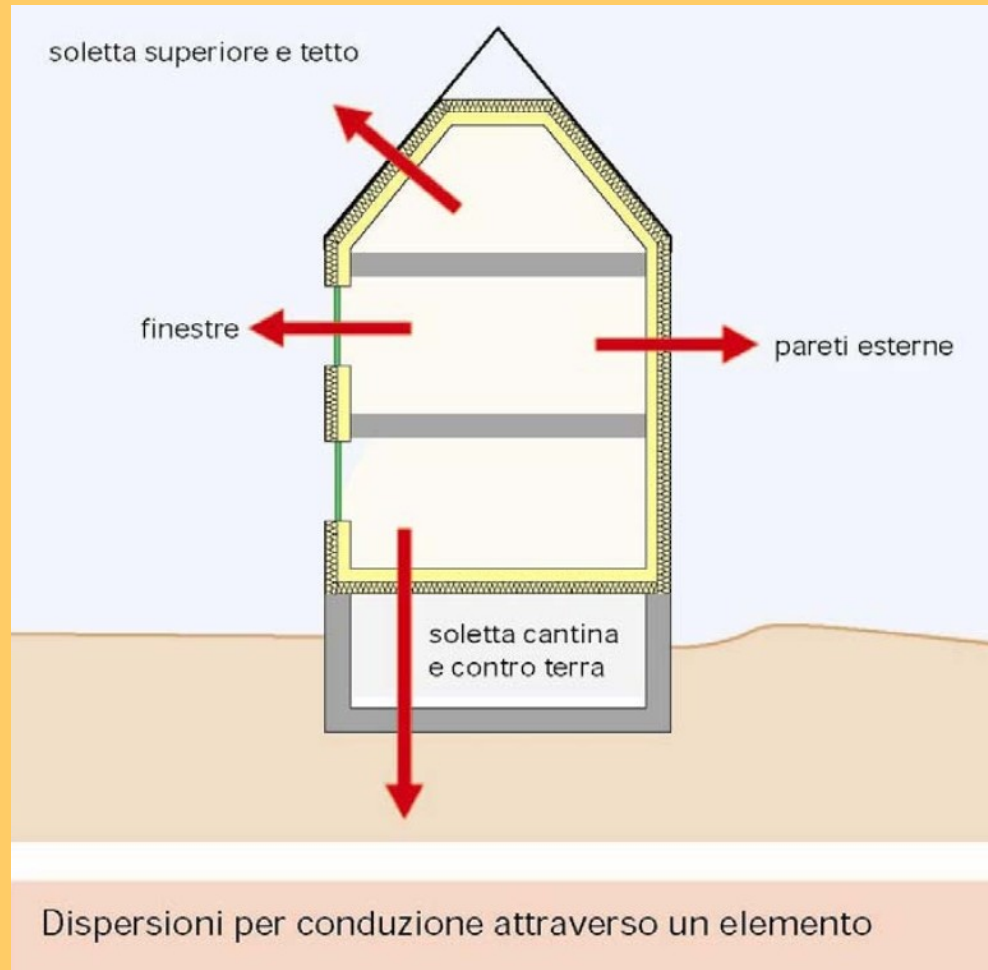
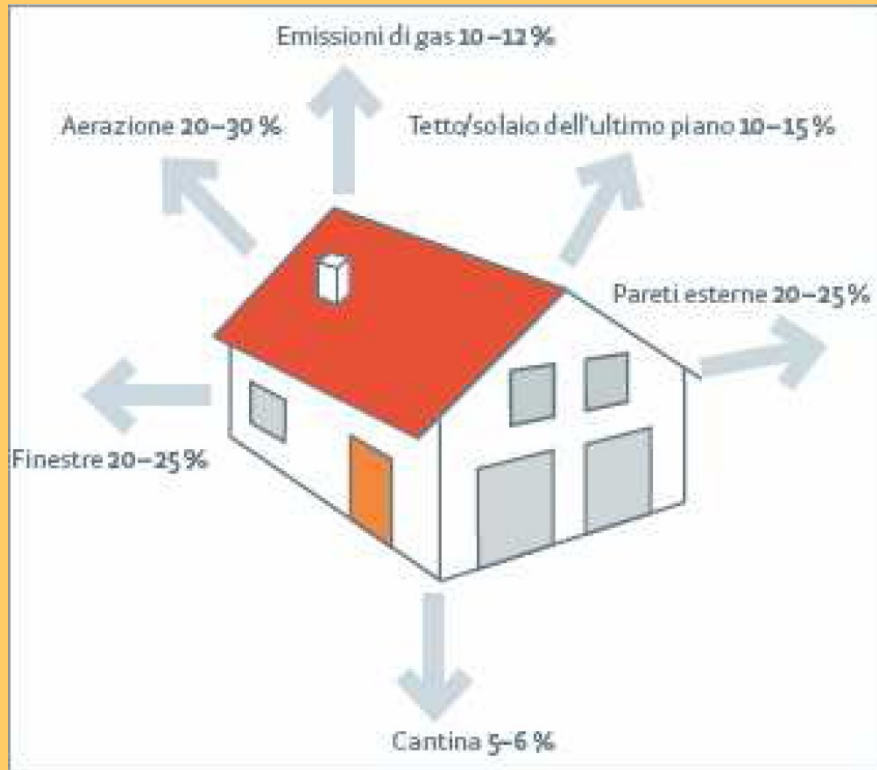
Figure 1: Comparison of specific energy consumption levels of dwellings

EU-30 <sup>(5)</sup>: Consumi finali di energia (Mtep) <sup>(6)</sup>



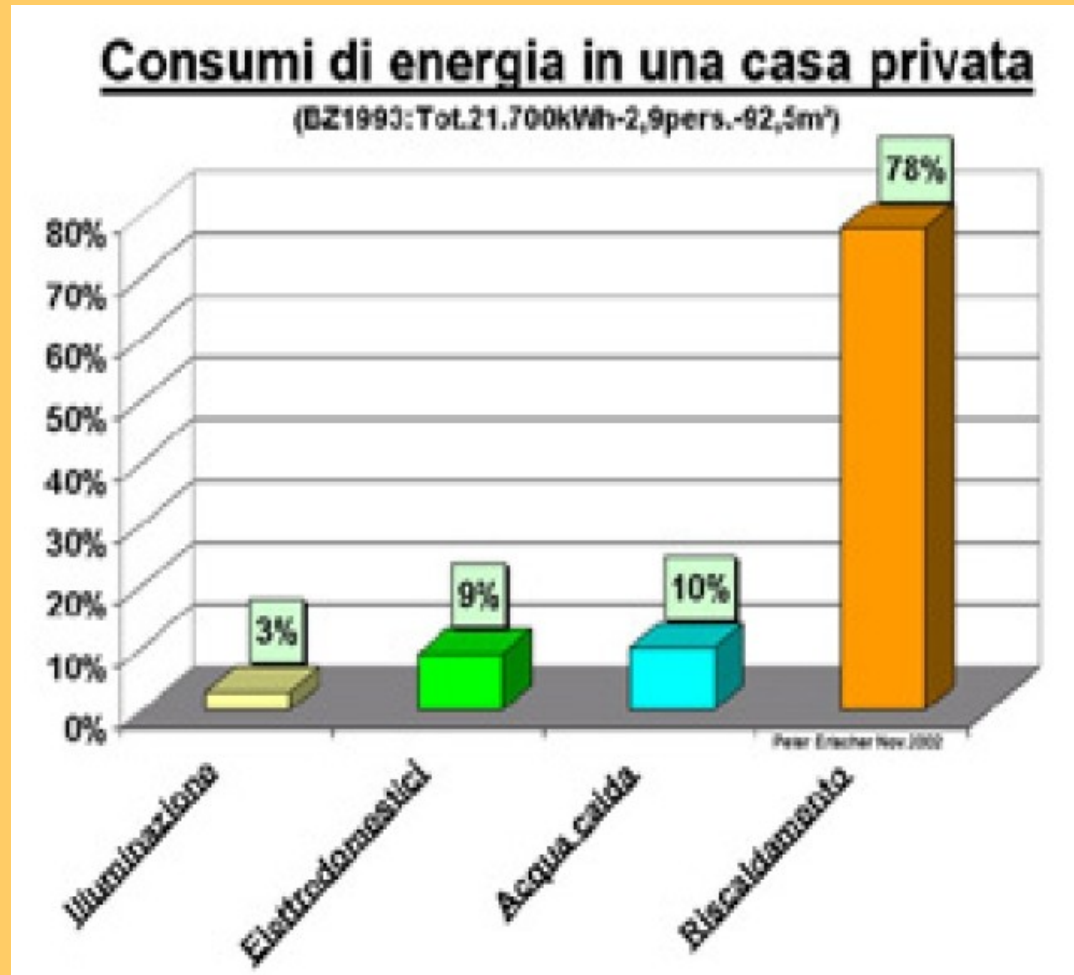
Fonte CE

# Dispersioni



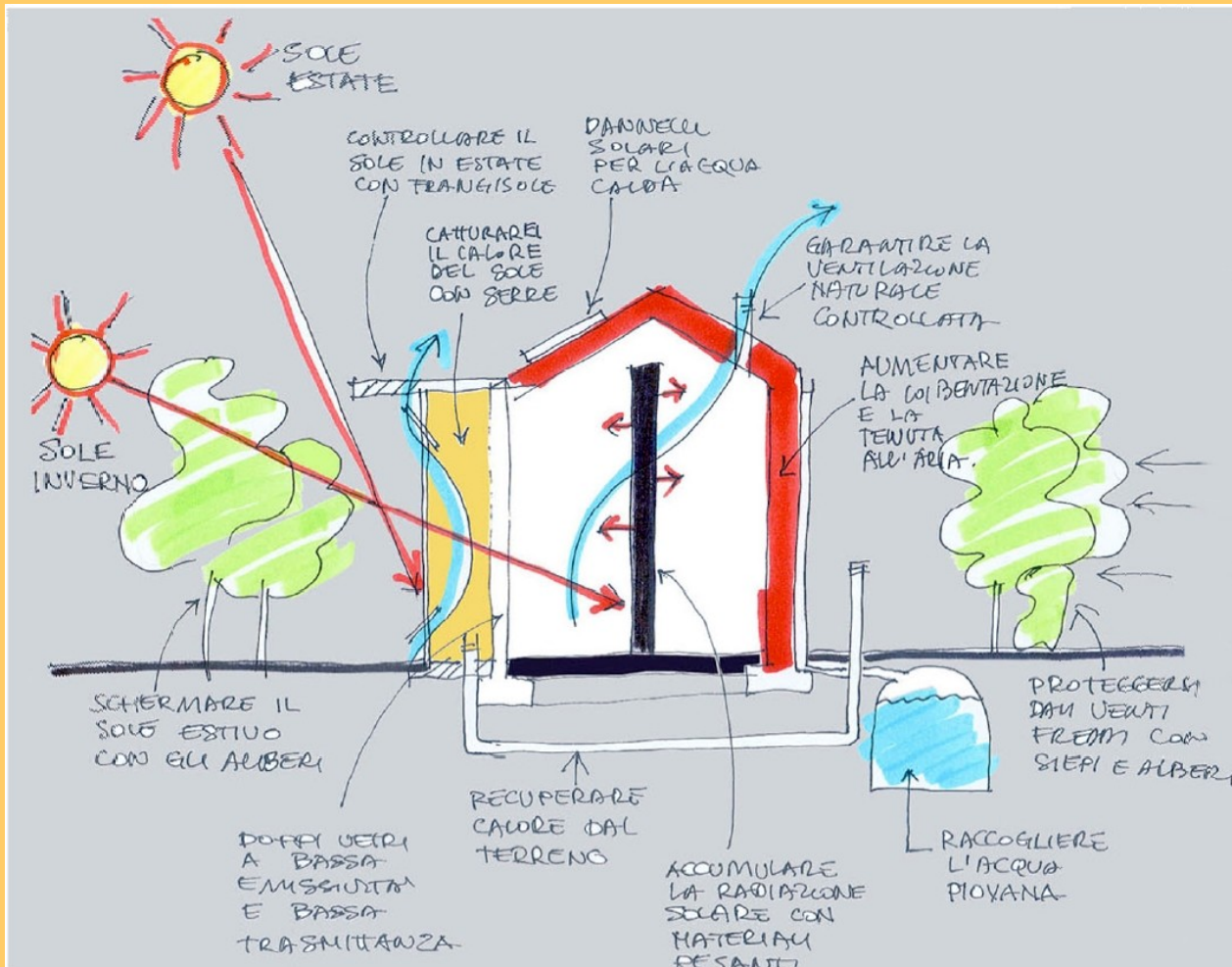
Lo sviluppo delle tecnologie per il risparmio energetico compensa la “decrescita” dovuta alla riduzione del fabbisogno è una opportunità per migliorare la distribuzione delle risorse e della qualità ambientale globale

# Quali sono i consumi energetici



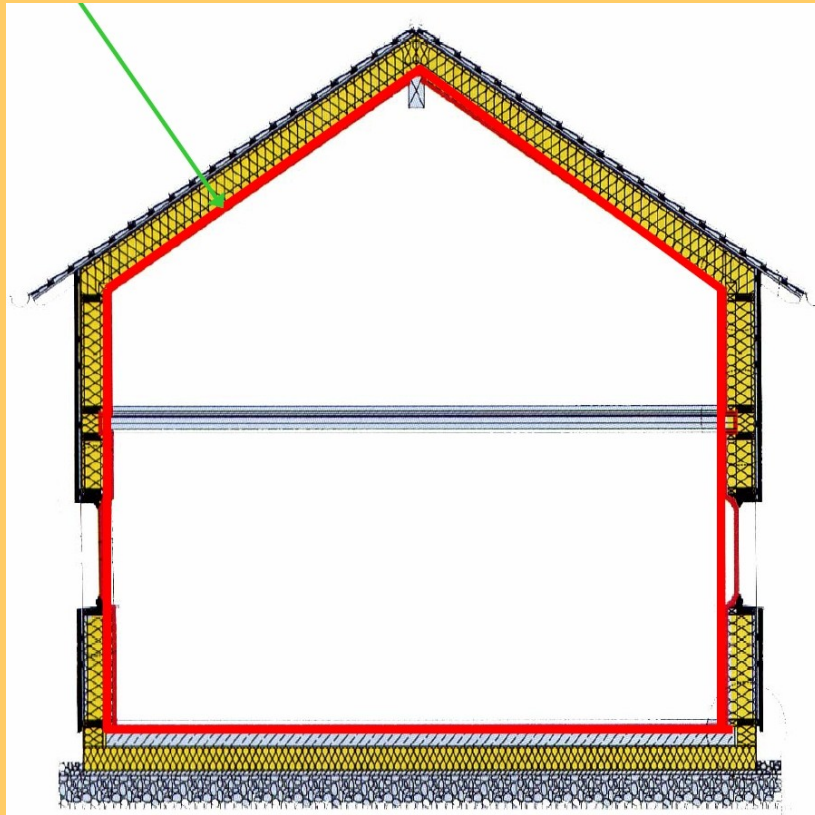
L'energia risparmiata è energia guadagnata

# Come possiamo risparmiare energia

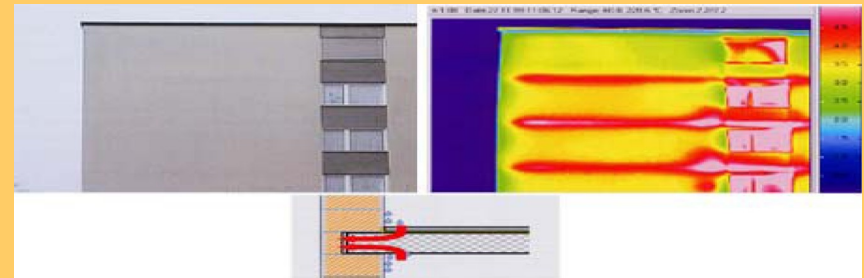


- Orientamento
- Soleggiamento
- Accumuli naturali
- Coibentazione
- Recuperi termici
- Razionalizzazione impiantistica
- Controllo della ventilazione
- Utilizzo di risorse rinnovabili

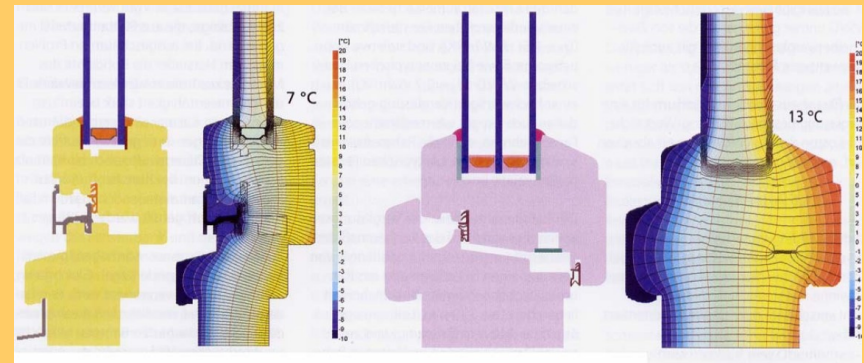
# Coibentare l'involucro edilizio



Lo strato isolante deve essere continuo



Evitare i ponti termici



Porre attenzione alla qualità ed alla posa degli infissi

# Il "metodo" CasaClima

categoria di consumo di calore

basso fabbisogno di calore



alto fabbisogno di calore

+ Più si riferisce a edifici, che vengono realizzati secondo i cr

Permette di calcolare in modo semplice ed efficace il fabbisogno calorico per il **riscaldamento invernale** di un fabbricato.

Definisce un indicatore intuitivo di **classificazione energetica**

scala

$$HWB_{NGF} \leq 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} \leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

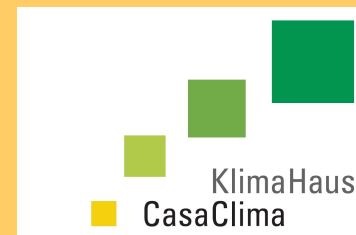
$$HWB_{NGF} \leq 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} \leq 90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} \leq 160 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} > 160 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$



Fabbisogno di calore e potenza per riscaldamento riferito a Bolzano		
fabbisogno di calore per riscaldamento nel periodo di riscaldamento $Q_h = (Q_r + Q_{v,i}) \cdot \eta \cdot (Q_r + Q_{v,i})$	$Q_h =$	5.089 kWh/a
potenza di riscaldamento dell'edificio $P_{tot} = (L_r + L_{v,i}) \cdot (\theta_i - \theta_{e,a})$	$P_{tot} =$	4,54 kW
potenza specifica di riscaldamento relativa alla superficie netta $P_1 = P_{tot} / NGF_0$	$P_1 =$	53,41 W/m <sup>2</sup>
fabbisogno di calore per riscaldamento specifico alla superficie netta $HWB_{NGF,verh} = Q_h / NGF_0$	$HWB_{NGF,verh} =$	59,87 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Categoria termica dell'edificio		
		C
		Drucken - Stampa

# Caratteristiche termiche

- Trasmittanza Termica “U”
  - $U=1/Rt$
- Resistenza Termica
  - $R=d/\lambda$  (d=spessore dello strato)
- Conduttività o Conducibilità Termica “ $\lambda$ ”
  - $\lambda=W/(m*K)$



# Trasmissione del Calore

La trasmissione del calore avviene attraverso un corpo quando esso è sottoposto ad una differenza di temperatura. L'energia si trasferisce dal punto a temperatura maggiore al punto a temperatura minore. La schematizzazione che si applica alla trasmissione di calore si basa su tre meccanismi fondamentali:

- *Conduzione*
- *Convezione*
- *Irraggiamento*

L'analisi rigorosa di questo fenomeno si basa su basi teoriche molto complesse, e quindi per rendere più agevole lo sviluppo dei calcoli si ipotizzano le seguenti condizioni:

- *regime stazionario (flusso di calore costante nel tempo)*
- *parete piana di estensione infinita*
- *materiale componente perfettamente omogeneo ed isotropo*
- *le due facce esterne della parete sono considerate come superfici isoterme*

# Conducibilità termica

La "conducibilità" o "conduttività termica", indicata con " $\lambda$ ", è la quantità di calore trasferito in una direzione perpendicolare ad una superficie di area unitaria, a causa di un gradiente di temperatura, nell'unità di tempo e in condizioni stabili. Il trasferimento è dovuto esclusivamente al gradiente di temperatura. In termini semplici, è l'attitudine di una sostanza a trasmettere il calore.

$$\text{conducibilità termica} = \text{flusso di calore} / (\text{distanza} \times \text{gradiente di temperatura})$$

## Unità di misura

Nelle unità del Sistema internazionale, la conducibilità termica è misurata in

$$\text{watt} / (\text{metri} \times \text{kelvin})$$

cioè watt per metro-kelvin,  $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  o  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

dove:

- watt è l'unità di potenza
- metro è l'unità di distanza
- kelvin è l'unità di temperatura

# Conducibilità termica esempi

In genere, la conducibilità termica va di pari passo con la conducibilità elettrica, i metalli hanno valori elevati di entrambe. Una notevole eccezione è costituita dal diamante, che ha un'elevata conducibilità termica, ma una scarsa conducibilità elettrica.

## Conducibilità termica di alcune sostanze comuni $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

diamante	1000 - 2600
argento	430
rame	390
oro	320
alluminio	236
ottone	111
platino	70
quarzo	8
vetro	1
acqua distillata	0,6
lana	0,05
vermiculite	0,046
polistirolo espanso	0,03
aria secca (a 300 K, 100 kPa)	0,026

# Resistenza termica

La resistenza termica  $R$  è definita come il rapporto tra lo spessore  $d$  dello strato considerato e la sua conducibilità termica  $\lambda$ :

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

con:

- $d$  spessore dello strato di materiale nel componente;
- $\lambda$  conduttività termica utile calcolata secondo ISO/DIS 10456.2 oppure ricavata da valori tabulati.

Per il calcolo della trasmittanza dei componenti edilizi finestrati si fa riferimento alla UNI EN ISO 10077-1.

# Resistenza termica superficiale

Le **resistenze superficiali** (liminari) tengono conto degli scambi di calore per convezione e per irraggiamento che avvengono tra la superficie e l'aria interna ( $R_{sj}$ ) e la superficie e l'aria esterna ( $R_{se}$ ). Esse vengono a dipendere essenzialmente dal grado di esposizione e dalla qualità delle superfici.

Questi valori sono normati nella UNI EN ISO 6946 a seconda della direzione del flusso di calore: per le coperture si hanno tipicamente i seguenti valori:  $R_{sj} = 0.10 \text{ m}^2\text{K/W}$  ed  $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ , rappresentativi di superfici con emissività pari a 0.9.

Ciascuna cavità o intercapedine contribuisce con una propria resistenza. All'interno dell'intercapedine avvengono scambi di tipo convettivo e radiativo. Le intercapedini presenti in edilizia nei solai di copertura hanno, tipicamente, una resistenza termica pari a  $0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

La resistenza termica relativa a strati d'aria risulta essere fortemente influenzata dalla velocità dell'aria stessa. In generale, si può dire che, laddove l'aria è ferma, essa presenta il massimo valore di resistenza: la componente convettiva della resistenza termica dell'intercapedine diminuisce all'aumentare della velocità dell'aria.

La resistenza termica totale di un componente per edilizia, contenente un'intercapedine d'aria fortemente ventilata, si ottiene trascurando la resistenza termica dell'intercapedine d'aria e di tutti gli altri strati che separano detta intercapedine dall'ambiente esterno. L'aria in un'intercapedine fortemente ventilata si trova, infatti, alla stessa temperatura dell'aria esterna.

Il calcolo si completa includendo una resistenza termica superficiale esterna corrispondente all'aria immobile, ovvero uguale alla resistenza termica superficiale interna del medesimo componente, poiché il rivestimento costituisce un riparo dal vento.

Spessori di intercapedine d'aria superiori a 15-25 mm non comportano apprezzabili incrementi della resistenza termica, in quanto i moti convettivi naturali che si instaurano oltre questo spessore vanificano l'effetto di resistenza termica per conduzione dovuto allo strato d'aria.

Inoltre, se l'intercapedine fosse delimitata da superfici aventi bassi valori di emissività emisferiche, si avrebbe una riduzione dello scambio radiativo, e quindi un corrispondente incremento della resistenza di intercapedine (dell'ordine di 2-3 volte).

# Resistenza termica superficiale

## RESISTENZA TERMICA SUPERFICIALE $R_{si}$ / $R_{se}$

Unità di misura:  $m^2K/W$

Le resistenze termiche superficiali  $R_{si}$  (per interni) e  $R_{se}$  (per esterni) indicano i passaggi termici dall'aria ambientale alla superficie interna dell'elemento edile, nonché dalla superficie esterna dell'elemento edile all'aria esterna a seconda della direzione del flusso termico (ascendente, orizzontale o discendente).

I parametri delle resistenze termiche superficiali per il calcolo delle perdite d'energia (es. secondo EnEV) sono elencate nella norma DIN ISO 6946.

**Maggiore è la resistenza termica superficiale, minore è la massa calorica che viene scambiata tra parte edile e l'aria!**

### 2.1.2 Resistenze superficiali $R_{si}$ , $R_{se}$

Per le resistenze termiche superficiali  $R_s$  devono essere utilizzati, in assenza di specifiche informazioni sulle condizioni limite, i valori del prospetto seguente:

[( $m^2 K$ )/W]	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

Per pareti verticali, andranno utilizzate le resistenze riportate nella colonna centrale. Un flusso termico ascendente è considerato tale su soffitti disperdenti; un flusso termico è discendente sotto pavimenti disperdenti.

E' considerato orizzontale anche un flusso termico inclinato fino a  $\pm 30^\circ$  sul piano orizzontale.

# Calcolo della Trasmittanza

La trasmittanza  $U$  (UNI EN ISO 6946) si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad  $1^\circ\text{C}$  ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

con:

- $R_{si}$  resistenza superficiale interna;
- $R_1; R_2; \dots R_n$  resistenze termiche utili di ciascuno strato;
- $R_{se}$  resistenza superficiale esterna;

# Calcolo della Trasmittanza

## Il calcolo della trasmittanza

Il reciproco del valore di trasmittanza corrisponde alla sommatoria dei vari contributi di resistenza termica che concorrono al calcolo.

$$U = \frac{I}{R} = \frac{I}{\left( R_{si} + \frac{S_l}{\lambda_l} + \frac{S_n}{\lambda_n} + R_n + R_a + R_{se} \right)} \quad \text{in [W/m}^2\text{K]}$$

dove:

- $R_{si}$  è la resistenza liminare della superficie interna della struttura misurata in  $[m^2K/W]$ ;
- $S/\lambda$  è la resistenza termica di uno o più strati di materiale omogeneo misurata in  $[m^2K/W]$ ;
- $R_n = 1/C$  è la resistenza termica di strati di materiale non omogeneo misurato in  $[m^2K/W]$ ;
- $R_a$  è la resistenza termica di eventuali intercapedini in  $[m^2K/W]$ ;
- $R_{se}$  è la resistenza liminare della superficie esterna della struttura misurata in  $[m^2K/W]$ .



# Classi di prestazione termica

categoria di consumo di calore

basso fabbisogno di calore



alto fabbisogno di calore

scala

$$HWB_{NGF} \leq 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} \leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} \leq 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} \leq 90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

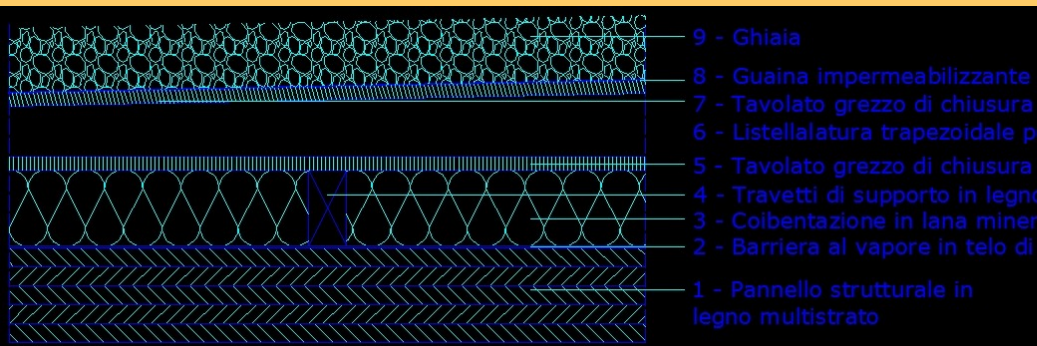
$$HWB_{NGF} \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} \leq 160 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

$$HWB_{NGF} > 160 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

+ Più si riferisce a edifici, che vengono realizzati secondo i criteri ecologici stabiliti

# CONFRONTI: tetto piano tipo A



Soluzione A: Tetto non calpestabile

elemento strutturale 5		solaio esterno	
trasmissione U secondo perizia in W/(m²K)			
trasmissione U secondo stratigrafia in W/(m²K)			
Nr.	materiale	$\lambda$ W/(mK)	
1	ghiaia	0,600	
2	tavolato	0,440	
3	travetti	0,130	
4	lana minerale	0,040	
5	pannello strutturale in legno a lamelle incrociate	0,220	
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

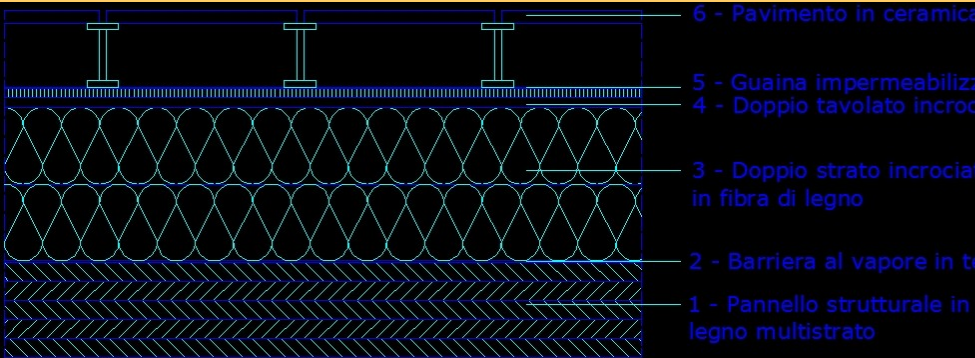
Aufbau der Schichten

sezione dell'elemento strutturale (definizione della stratigrafia mediante il nr. identificativo del materiale)

		strato parallelo alla superficie dell'elemento strutturale														
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\varepsilon$	$\zeta$	$\eta$	$\theta$	$\iota$	$\kappa$	$\lambda$	$\mu$	parte [%]		
a	außen	1	2	2	4	5									90	
(optionale) b		1	2	2	3	5									10	
(optionale) c																
(optionale) d																
rispettivo spessore d dello strato [cm]		10,00	2,00	2,00	12,00	15,00									100	
												$R_{si} + R_{se}$	non ventilato verso l'alto	$\frac{\Delta}{\Delta}$	0,14	
errore valutato= 2%																
$U = 1 / (R_{si} + R_t + R_{se})$												<b>U =</b>		<b>0,28</b>	<b>W/(m²K)</b>	



# CONFRONTI: tetto piano tipo C



Soluzione C: Tetto praticabile

elemento strutturale 5		solaio esterno	
trasmissione U secondo perizia in W/(m²K)			
trasmissione U secondo stratigrafia in W/(m²K)			
Nr.	materiale	$\lambda$ W/(mK)	
1	tavolato	0,440	
2	fibra di legno	0,045	
3	pannello strutturale in legno a lamelle incrociate	0,220	
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			

## Aufbau der Schichten

sezione dell'elemento strutturale (definizione della stratigrafia mediante il nr. identificativo del materiale)

		strato parallelo alla superficie dell'elemento strutturale													
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\varepsilon$	$\zeta$	$\eta$	$\theta$	$\iota$	$\kappa$	$\lambda$	$\mu$	parte [%]	
a		1	2	3										100	
(optionale)	b														
(optionale)	c														
(optionale)	d														
rispettivo spessore d dello strato [cm]		4,00	24,00	15,00										100	

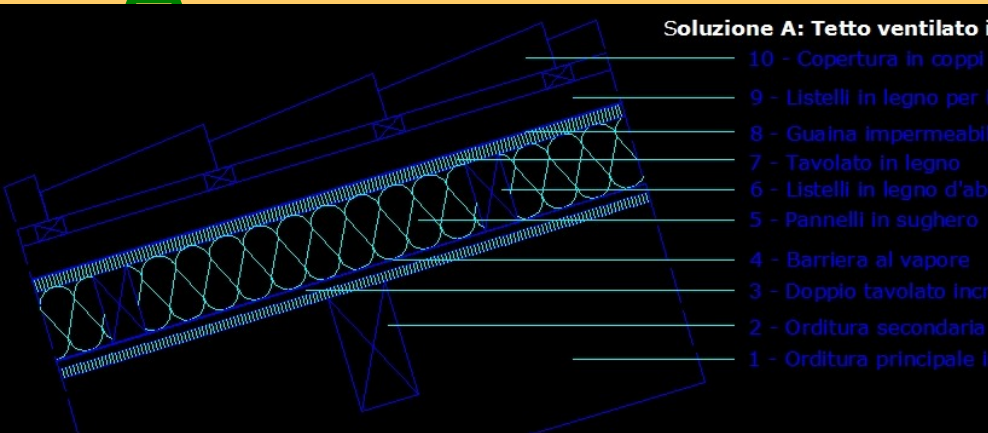
$R_{si} + R_{se}$  non ventilato verso l'alto  $\pm$  0,14

$$U = 1 / (R_{si} + R_t + R_{se})$$

**U = 0,16 W/(m²K)**

# CONFRONTI: tetto a falde tipo

Δ



elemento strutturale 6		teetto a falda
trasmissione U secondo perizia in W/(m²K)		
trasmissione U secondo stratigrafia in W/(m²K)		
Nr.	materiale	$\lambda$ W/(mK)
1	tavolato	0,440
2	pannelli di sughero	0,045
3	travetti	0,130
4	tavolato	0,440
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		

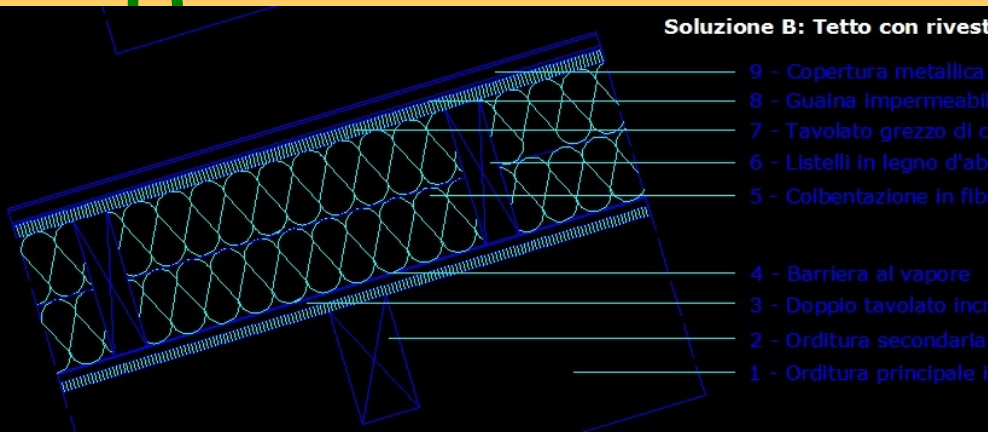
Stratigrafia dell'elemento

sezione dell'elemento strutturale (definizione della stratigrafia mediante il nr. identificativo del materiale)

		strato parallelo alla superficie dell'elemento strutturale												
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\varepsilon$	$\zeta$	$\eta$	$\theta$	$\iota$	$\kappa$	$\lambda$	$\mu$	parte [%]
a		1	2	4										90
(opzionale) b	außen	1	3	4										10
(opzionale) c														
(opzionale) d														
rispettivo spessore d dello strato [cm]		2,00	12,00	4,00										
														$R_{si} + R_{se}$
														ventilata
														0,20
errore valutato= 1%														
$U = 1 / (R_{si} + R_t + R_{se})$												<b>U =</b>	<b>0,38</b>	<b>W/(m²K)</b>

# CONFRONTI: tetto a falde tipo

## B



Soluzione B: Tetto con rivestimento

- 9 - Copertura metallica
- 8 - Guaina impermeabile
- 7 - Tavolato grezzo di pino
- 6 - Listelli in legno d'abete
- 5 - Colbentazione in fibra
- 4 - Barriera al vapore
- 3 - Doppio tavolato incrociato
- 2 - Orditura secondaria
- 1 - Orditura principale

elemento strutturale 6		tetto a falda
trasmittanza U secondo perizia in W/(m²K)		
trasmittanza U secondo stratigrafia in W/(m²K)		
Nr.	materiale	$\lambda$ W/(mK)
1	tavolato	0,440
2	fibra di lino	0,040
3	travetti	0,130
4	tavolato	0,440
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		

Stratigrafia dell'elemento

sezione dell'elemento strutturale (definizione della stratigrafia mediante il nr. identificativo del materiale)

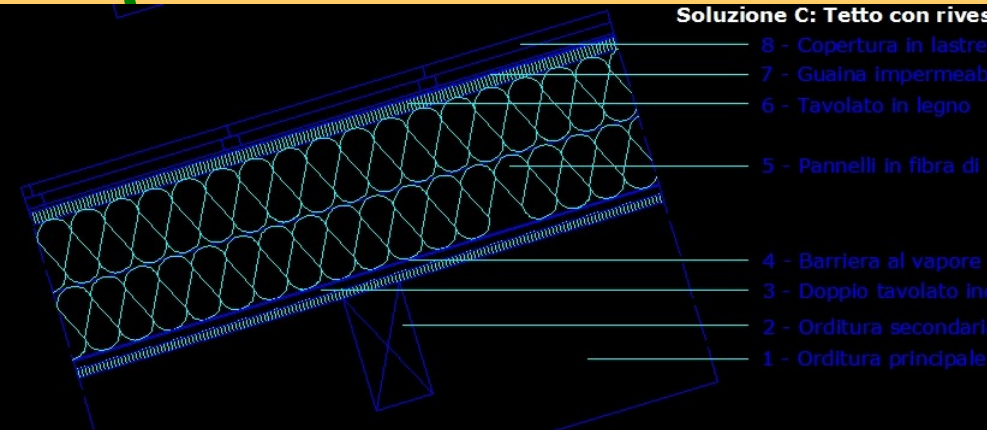
		strato parallelo alla superficie dell'elemento strutturale												
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\epsilon$	$\zeta$	$\eta$	$\theta$	$\iota$	$\kappa$	$\lambda$	$\mu$	parte [%]
a	ausßen	1	2	4										90
(optionale) b		1	3	4										10
(optionale) c														
(optionale) d														
rispettivo spessore d dello strato [cm]		2,00	12,00	4,00										100

$R_{si} + R_{se}$  non ventilata  $\Delta$  0,14

errore valutato= 1%

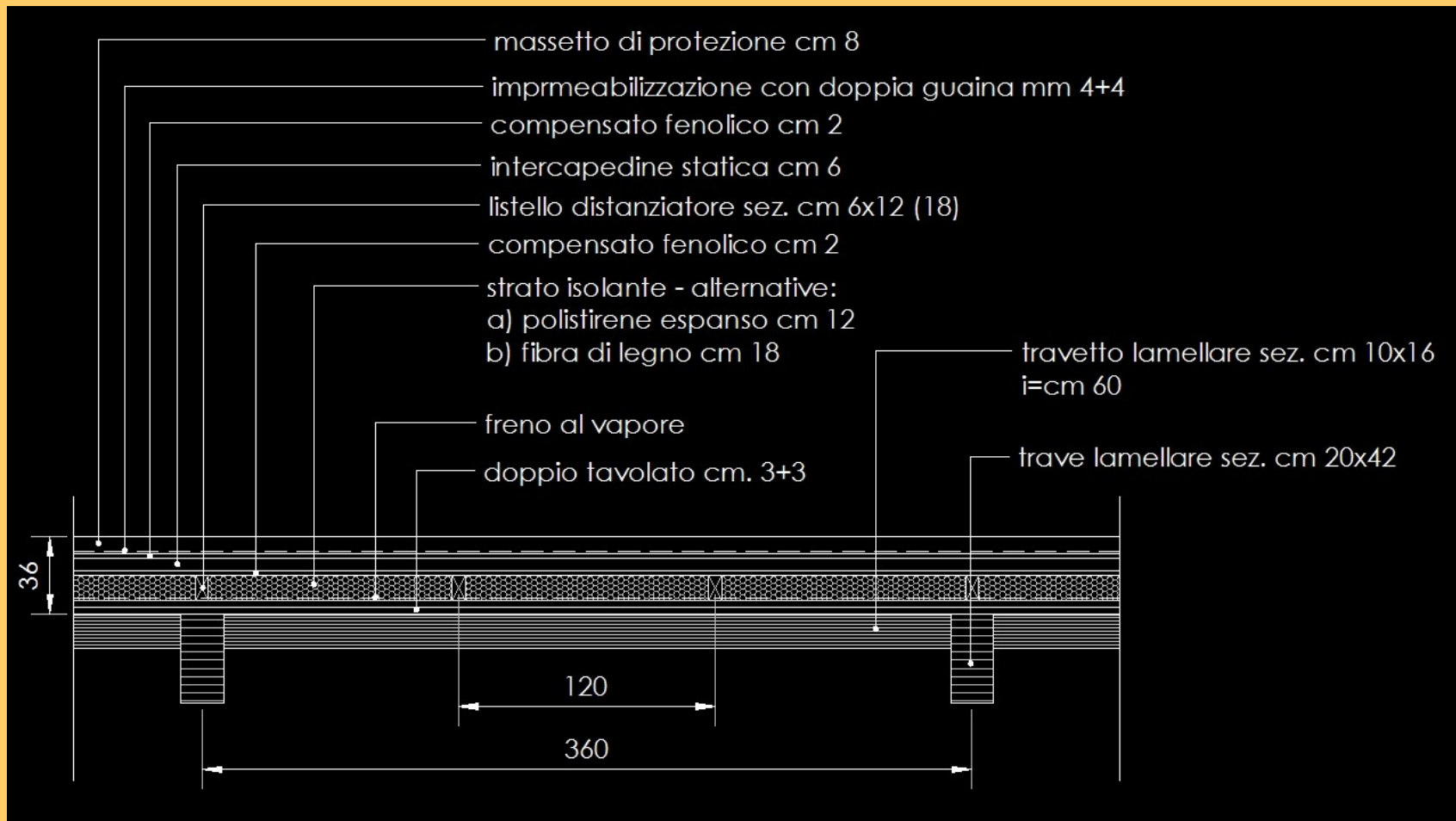
$U = 1 / (R_{si} + R_t + R_{se})$  **U = 0,36 W/(m²K)**

# CONFRONTI: tetto a falde tipo



elemento strutturale 6		tetto a falda											
trasmissione U secondo perizia in W/(m²K)													
trasmissione U secondo stratigrafia in W/(m²K)													
Nr.	materiale	$\lambda$ W/(mK)											
1	tavolato	0,440											
2	fibra di legno	0,045											
3	tavolato	0,440											
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
Stratigrafia dell'elemento													
sezione dell'elemento strutturale (definizione della stratigrafia mediante il nr. identificativo del materiale)													
strato parallelo alla superficie dell'elemento strutturale													
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\epsilon$	$\zeta$	$\eta$	$\theta$	$\iota$	$\kappa$	$\lambda$	$\mu$	parte [%]
a	1	2	3										100
(optionale) b													
(optionale) c													
(optionale) d													
rispettivo spessore d dello strato [cm]	2,00	24,00	4,00										100
												$R_{si} + R_{se}$ non ventilata $\downarrow$ 0,14	
$U = 1 / (R_{si} + R_t + R_{se})$												<b>U = 0,18 W/(m²K)</b>	

# ESERCIZIO



**CALCOLARE IL VALORE DI TRASMITTANZA "U" DEL PACCHETTO DI COPERTURA PROPOSTO IN DUE ALTERNATIVE ISOLAMENTO PER UNA SUPERFICIE CAMPIONE DI m<sup>2</sup> 1,00**