



**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

**ATTIVITÀ DI RICERCA NEL  
LABORATORIO DI TERMOTECNICA  
DIN E CIRI EDILIZIA E COSTRUZIONI**

**Ing. Cosimo Marinosci**

DIN - Dipartimento di Ingegneria Industriale - Scuola di Ingegneria e Architettura  
Università di Bologna  
ALMA MATER STUDIORUM  
Viale del Risorgimento 2, 40136 Bologna - <http://www.ingegneriaindustriale.unibo.it>

CIRI - Edilizia e Costruzioni  
Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale  
Via del Lazzaretto 15/5, 40131 Bologna  
phone: +39 051 2090566  
Fax: +39 051 2090544  
<http://www.edilizia-costruzioni.unibo.it>



# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## CHE COSA È IL CIRI E-C?

<http://www.edilizia-costruzioni.unibo.it/ricerca>



### CIRI EDILIZIA E COSTRUZIONI

Tu sei qui: Home » Ricerca

#### Ricerca

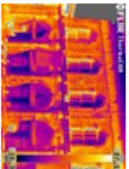
Il CIRI Edilizia e Costruzioni è strutturato per sviluppare attività di ricerca applicata di interesse industriale su specifiche tematiche. L'esperienza acquisita ad oggi copre un'ampia offerta dedicata alla ricerca industriale e all'innovazione per l'intero settore delle costruzioni.

#### Fluidodinamica per le applicazioni civili energetiche ed ambientali



Le attività svolte possono essere inquadrare in due principali settori della fluidodinamica applicata: ingegneria aerospaziale, infrastrutture idrauliche e gestione della risorsa idrica, energie rinnovabili.

#### Produzione e gestione del patrimonio edilizio: sostenibilità, sicurezza ed efficienza energetica



Le attività dell'unità operativa possono essere sintetizzate in tre diversi settori: termico, impiantistico, energetico ed acustico, strutturale e della produzione edilizia.

#### Le tecnologie innovative applicate al restauro, recupero e riqualificazione del patrimonio costruito - Formazione e restauro dei materiali



L'unità operativa si occupa dello sviluppo di protocolli operativi di intervento sul patrimonio architettonico, archeologico e storico-artistico e della messa a punto di metodologie per la valutazione prestazionale del costruito con specifica attenzione per la caratterizzazione tipologico-costruttiva, energetica e di sicurezza strutturale.



Efficienza energetica degli edifici

**Prestazione energetica**  
**Scambi di massa e di energia**  
**Illuminazione**  
**Comfort ambientale**



# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## SOMMARIO

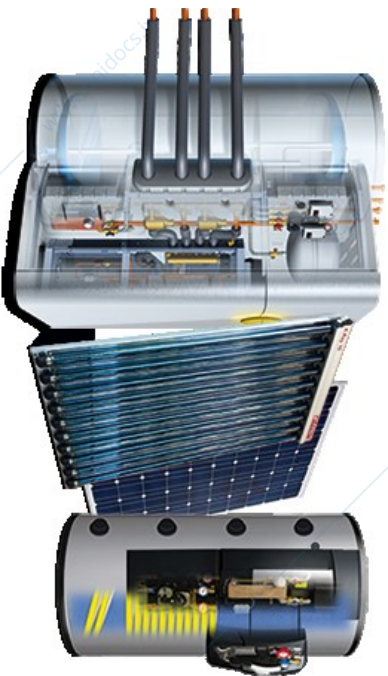
- **Sistema Edificio-Impianto**
- **Involucri speciali: la facciata ventilata**
- **Comfort degli ambienti interni**
- **Determinazione della conducibilità termica dei materiali da costruzione**



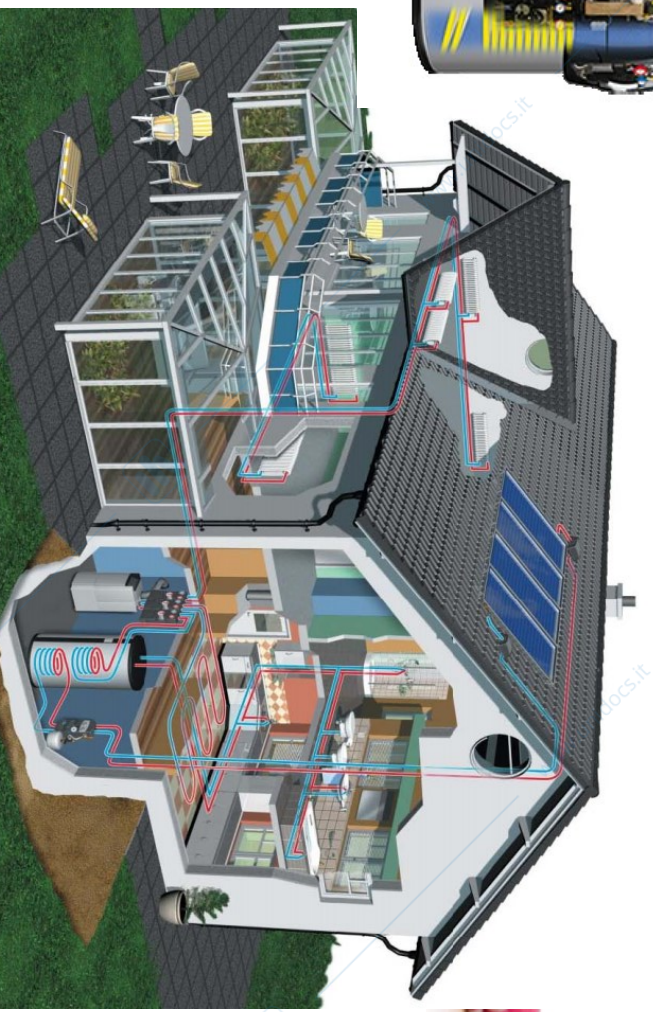
# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO



**Impianti**



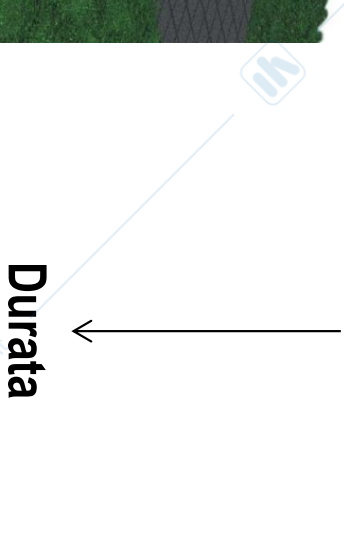
**Comfort**



**Limitare i consumi di energia**



**Involucro**



**Durata**





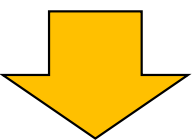
# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## CALCOLI ENERGETICI

Dati di Input:

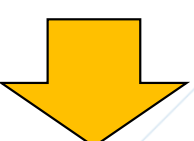
- condizioni climatiche esterne
- condizioni climatiche interne
- dati geometrici
- caratteristiche costruttive dell'involucro
- etc.



**Modelli Stazionari**

**Modelli Dinamici**

- dispersioni termiche invernali
- carichi termici estivi
- fabbisogno energetico dell'edificio
- condizioni di comfort
- etc.



Dati di Output

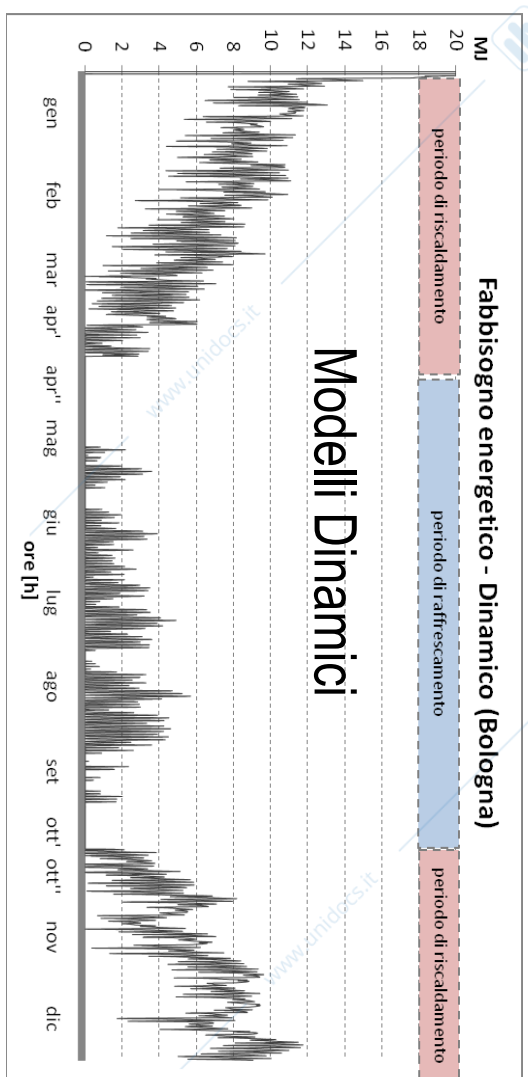
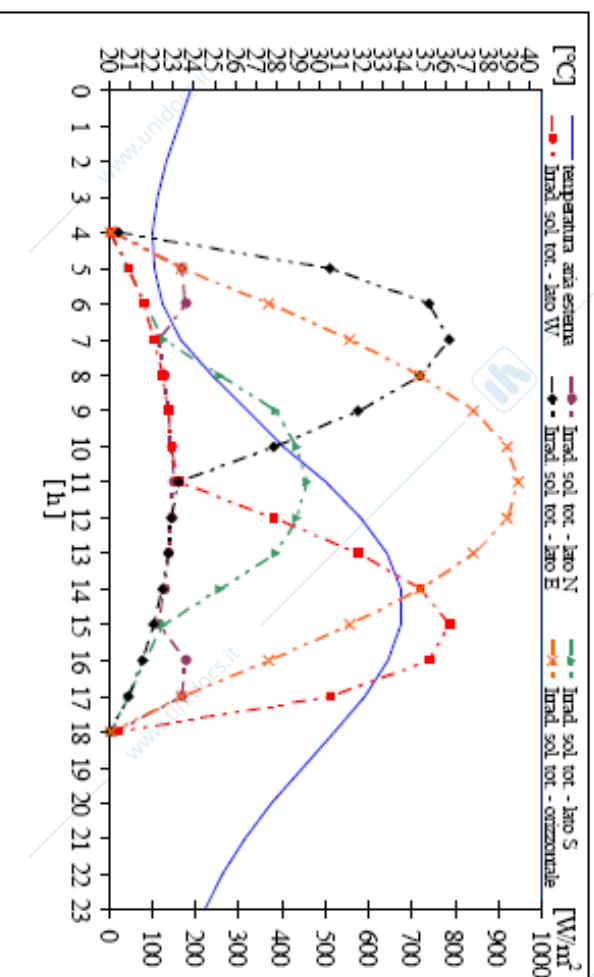
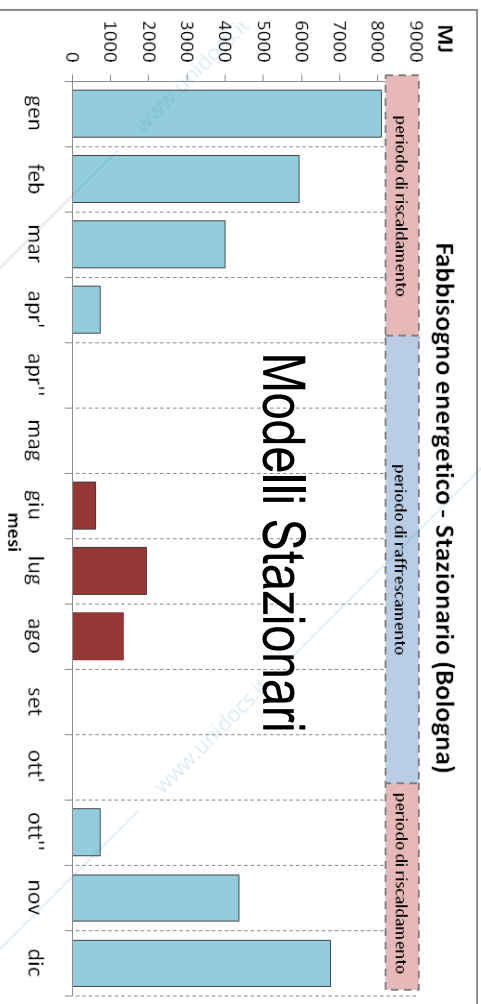


# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

## CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE

### UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## CALCOLI ENERGETICI - esempi





www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# FACCIAIA VENTILATA



# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari



A.T.E.R, Pistoia, IT, 2005, sda

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari  
Immobiliare margherita, Rimini, IT, 2006, fiber-cement cladding

ne laminate

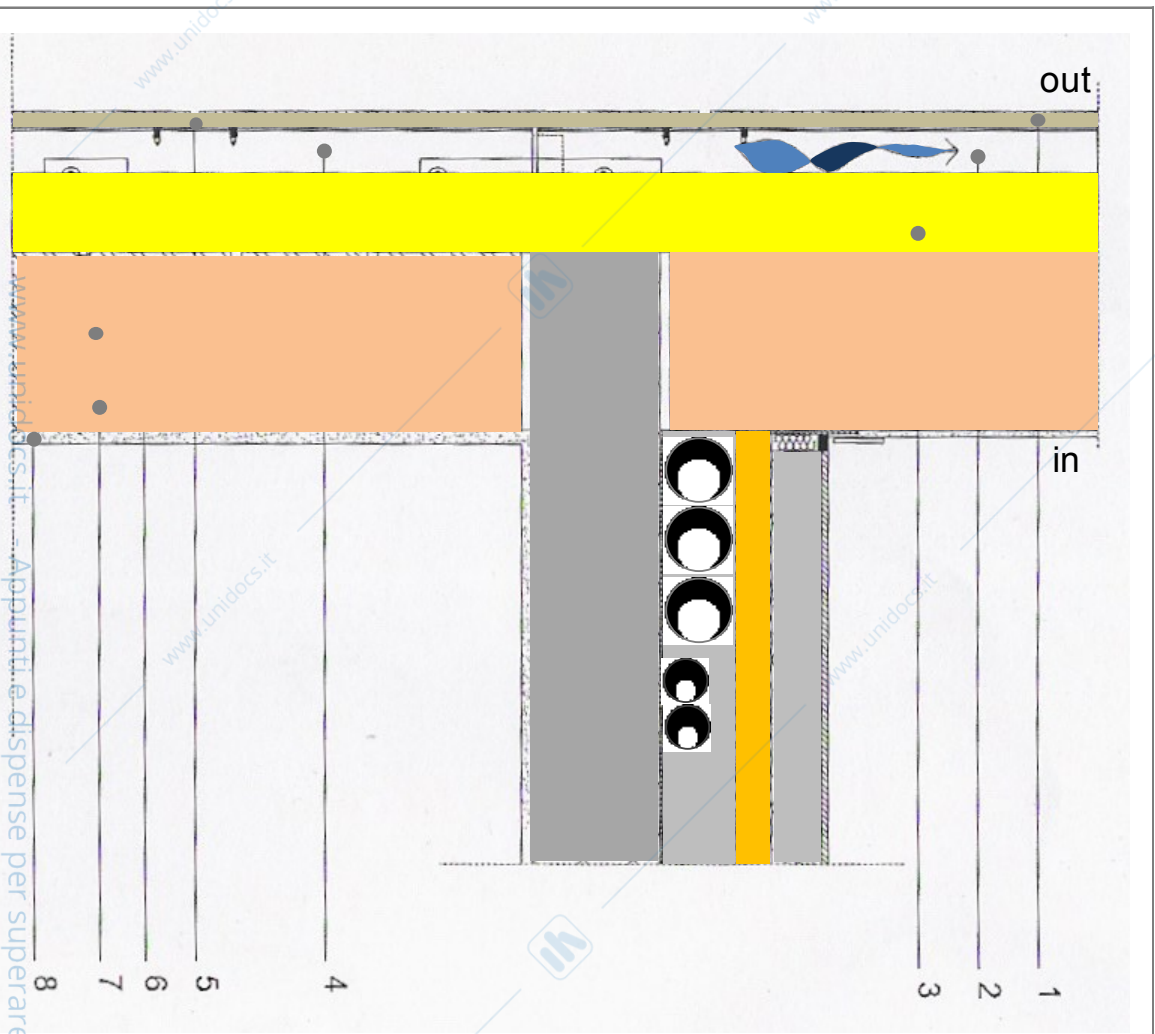


www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

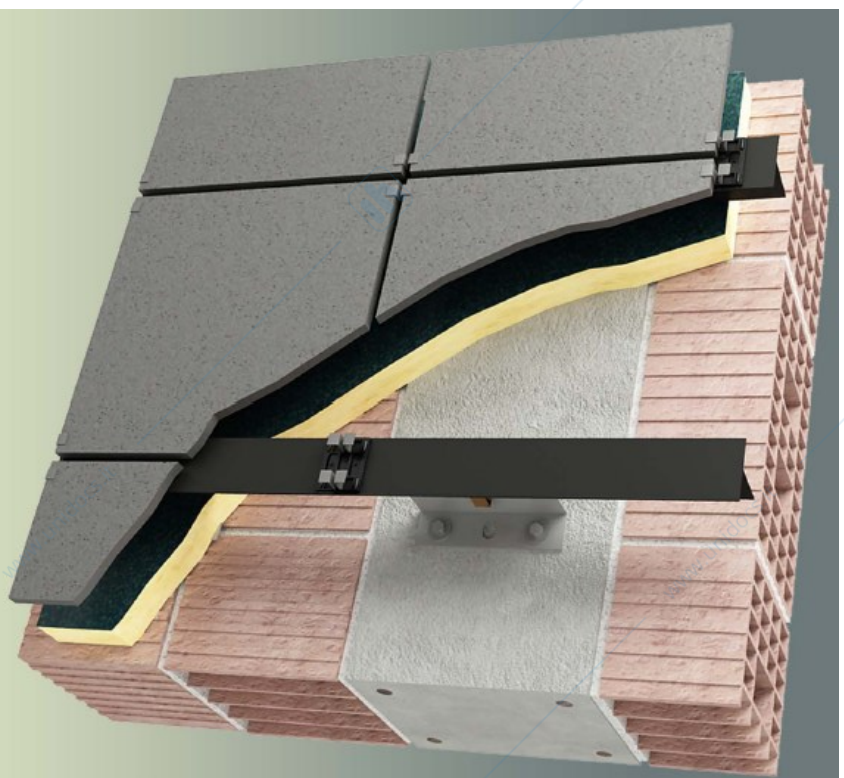
## FACCIATA VENTILATA



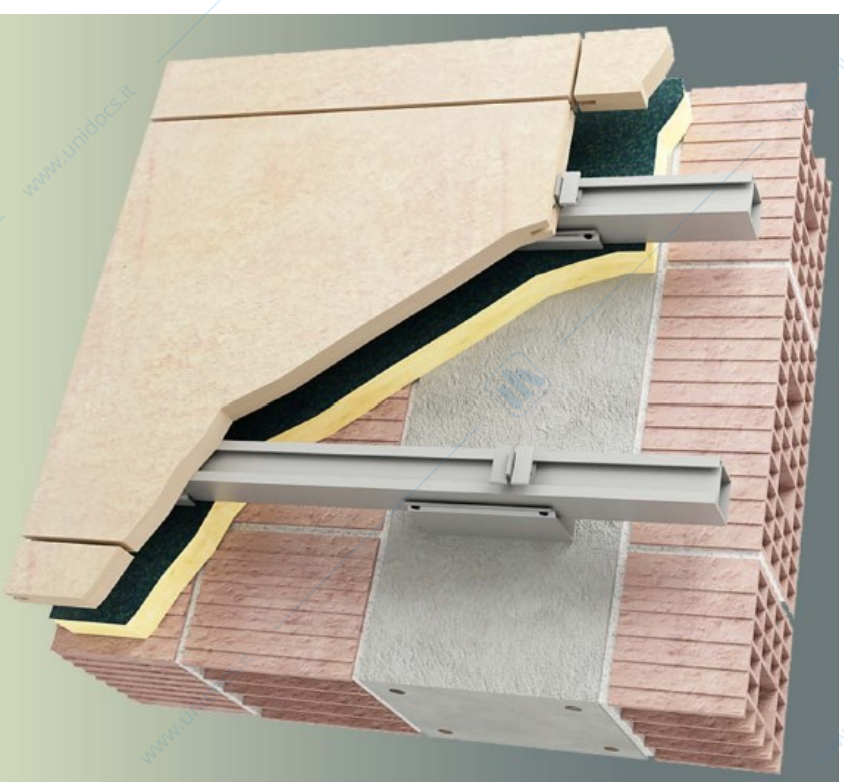
- 1) External coating (or simple rainscreen)
- 2) Air cavity
- 3) Thermal insulation
- 4) Vertical mullion
- 5) Joint plate
- 6) Bolt
- 7) Internal wall
- 8) internal coating (plaster or render)



## FACCIATA VENTILATA



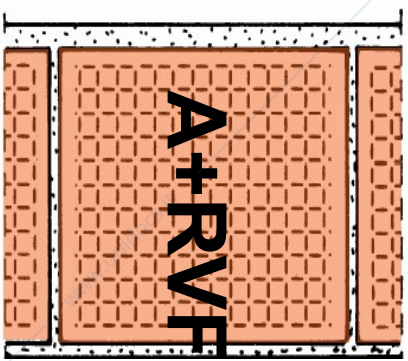
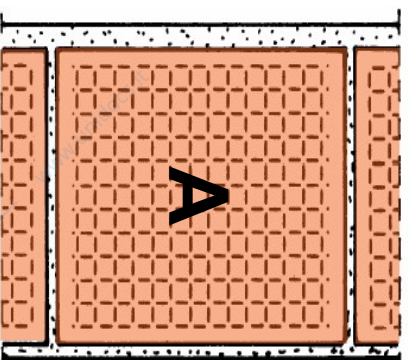
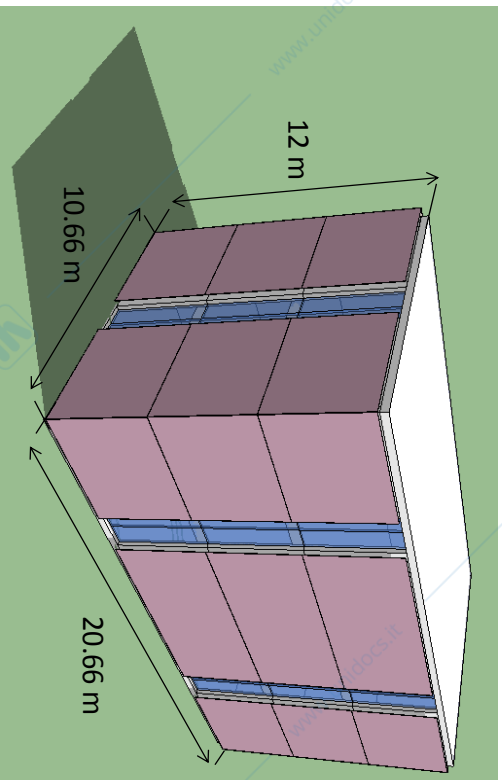
a) porcelain stoneware tiles



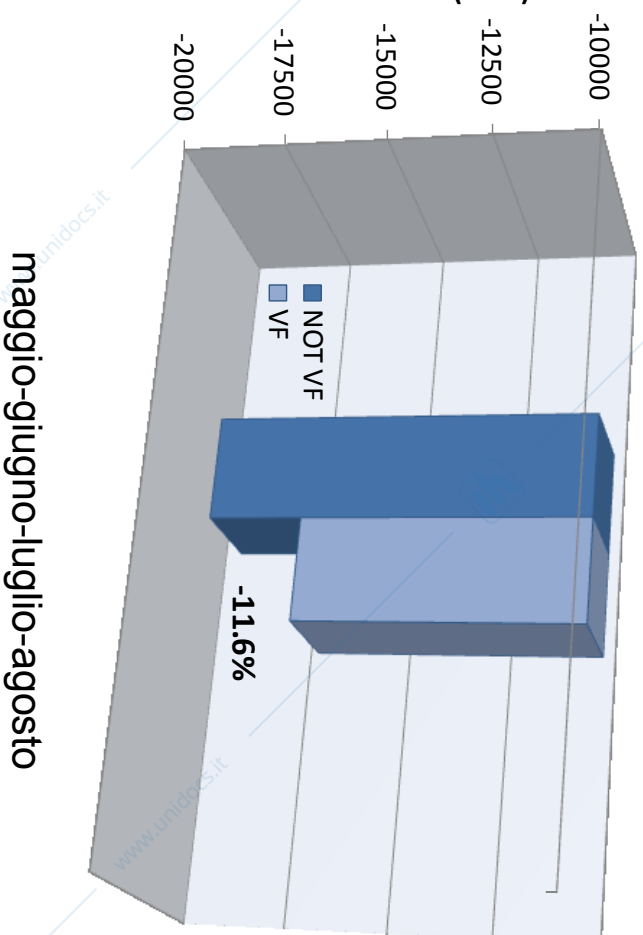
b) natural stone



## RISPARMIO ENERGETICO ESTIVO



Fabbisogno energetico per  
raffrescamento (kWh)





# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari



Test building con facciate ventilate (immagine gentilmente concessa da ALVA S.r.l.)

**Luogo:** San Mauro Pascoli, Forlì-Cesena (Italy)

(Lat. 44.11° N Lon. 12.43° E)

**Data di costruzione:** December 2009

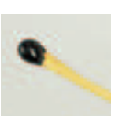
**Dimensioni:** 3.6 x 3.6 x 8.0 m

**Principali strutture:** travi e pilastri in acciaio

**Isolamento termico:** pannello sandwich (4 cm) +  
lana di vetro (6 cm)

## Strumenti di misura:

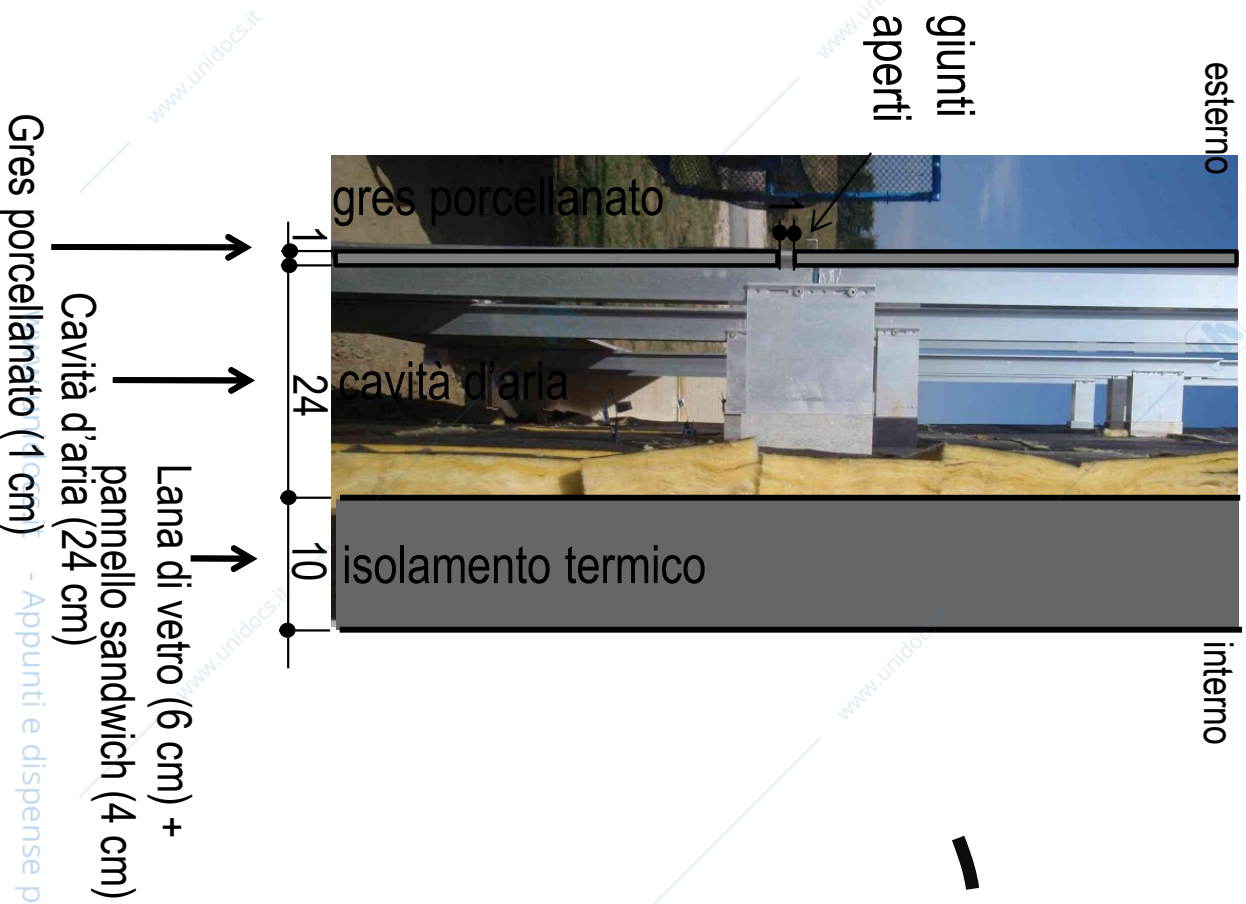
- 72 termocoppie
- 2 anemometri
- 1 piranometro
- 1 stazione climatica





# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

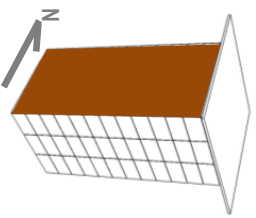




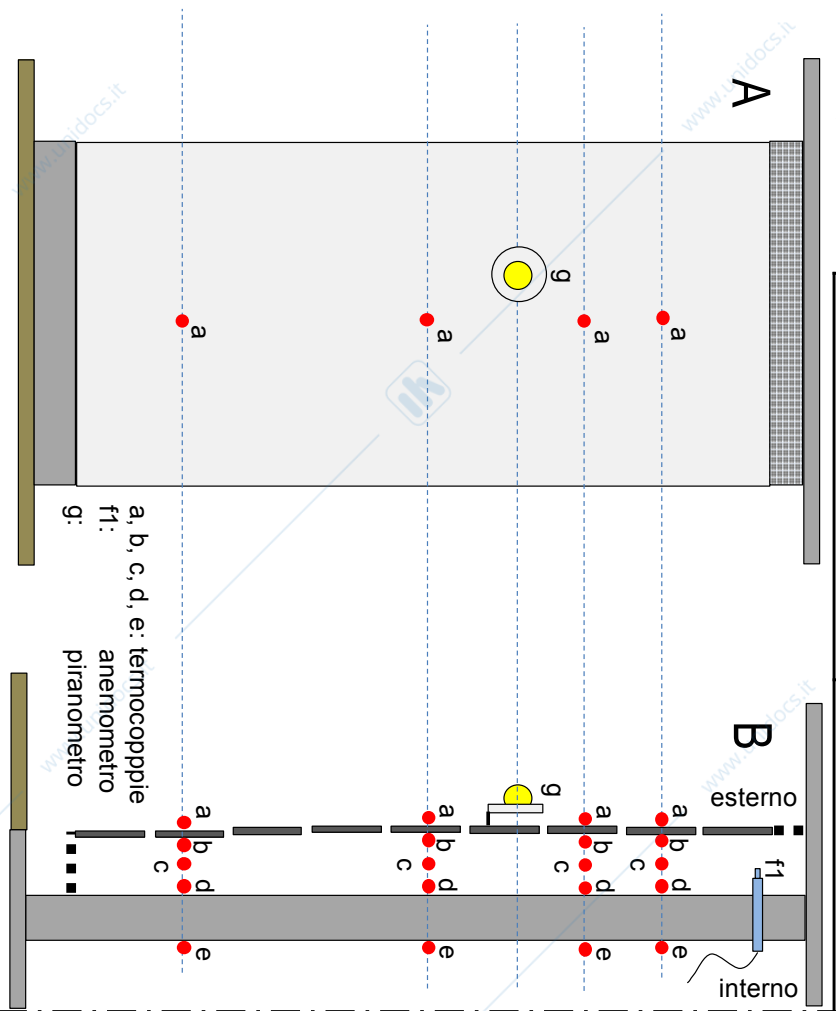
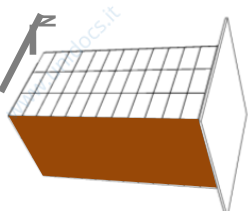
# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

## CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE

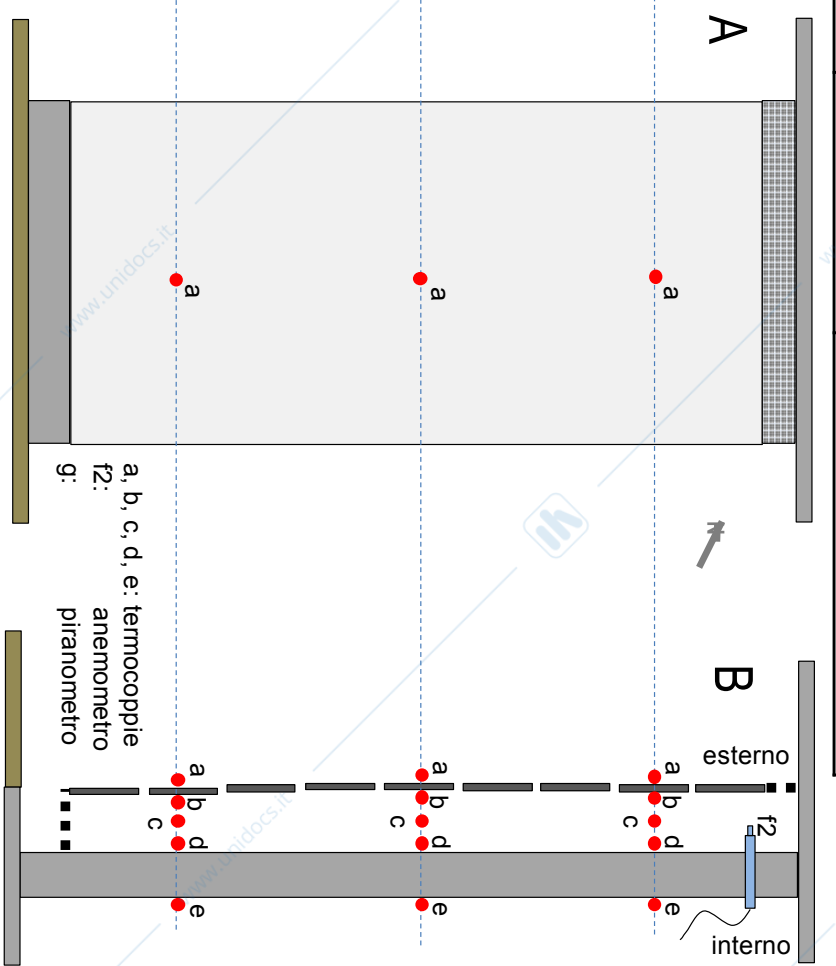
### UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



Sensore	Tipo	Range	Accuratezza
Termocoppie	T	-270÷400 °C	± 0.5 °C
Anemometro a filo caldo	HD2903TC	0.05÷1 m s <sup>-1</sup> (0.05÷20 m s <sup>-1</sup> )	± 0.04 m/s +2% della lettura (± 0.2 m/s +3% della lettura)
Piranometro	Seconda Classe LP PYRA 03	0÷2000 Wm <sup>-2</sup>	± 2%



Schema dei sensori di misura: (A) vista frontale, (B) sezione (facciata ovest)



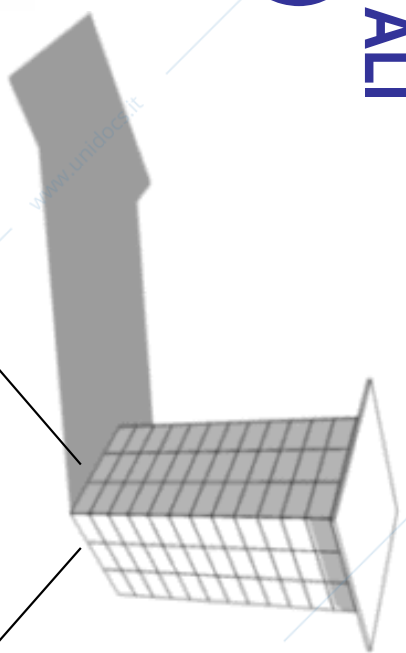
Schema dei sensori di misura: (A) vista frontale, (B) sezione (facciata sud)



# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

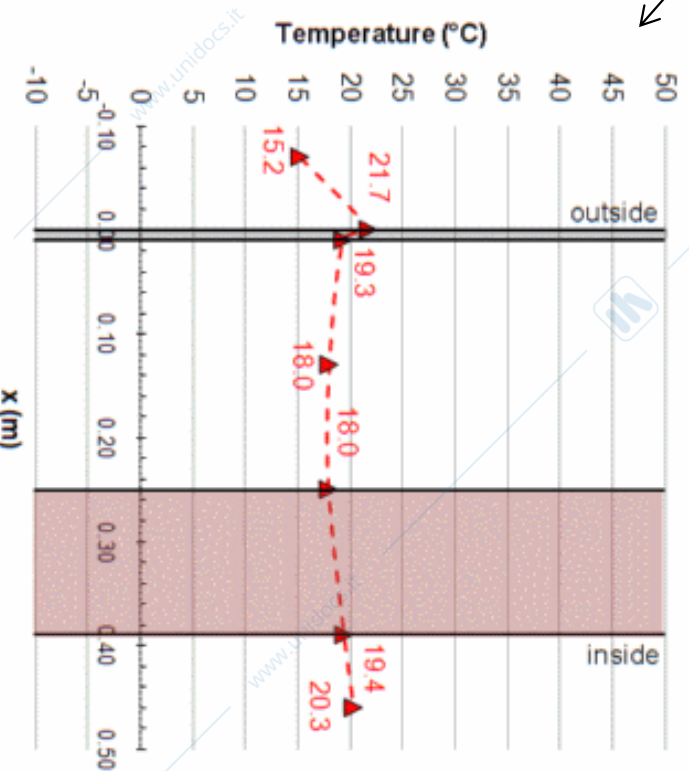
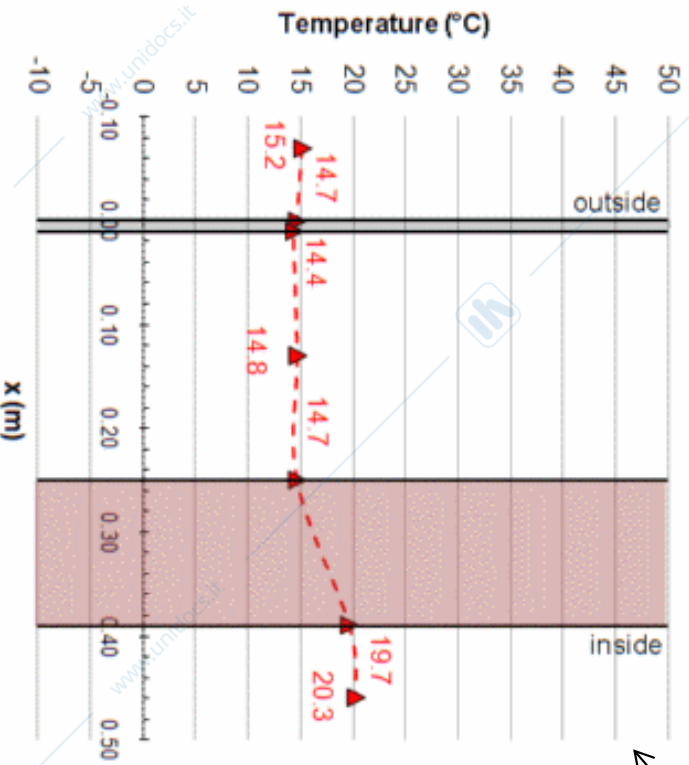
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## MISURE SPERIMENTALI (periodo primaverile)



Facciata ovest

Facciata sud



9:30



28 Marzo 2010



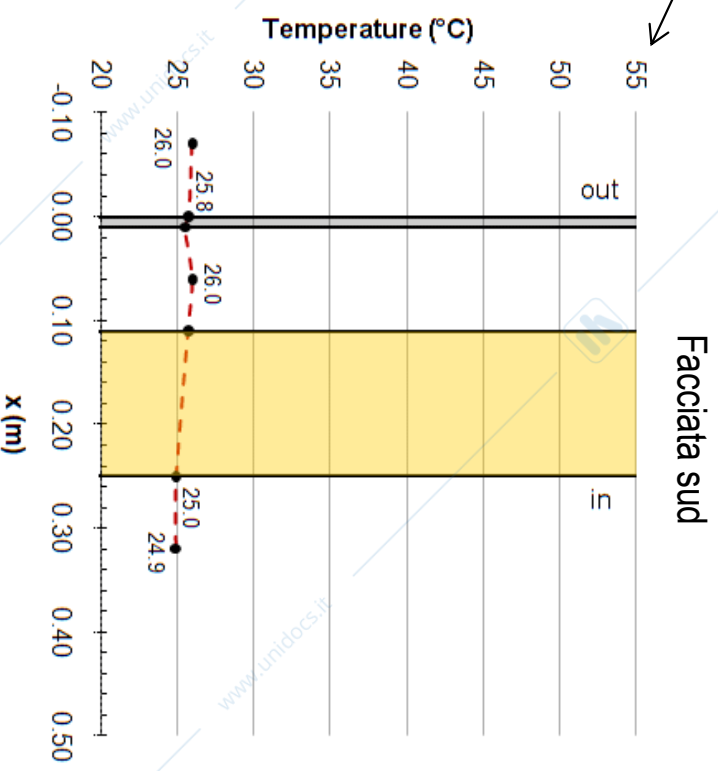
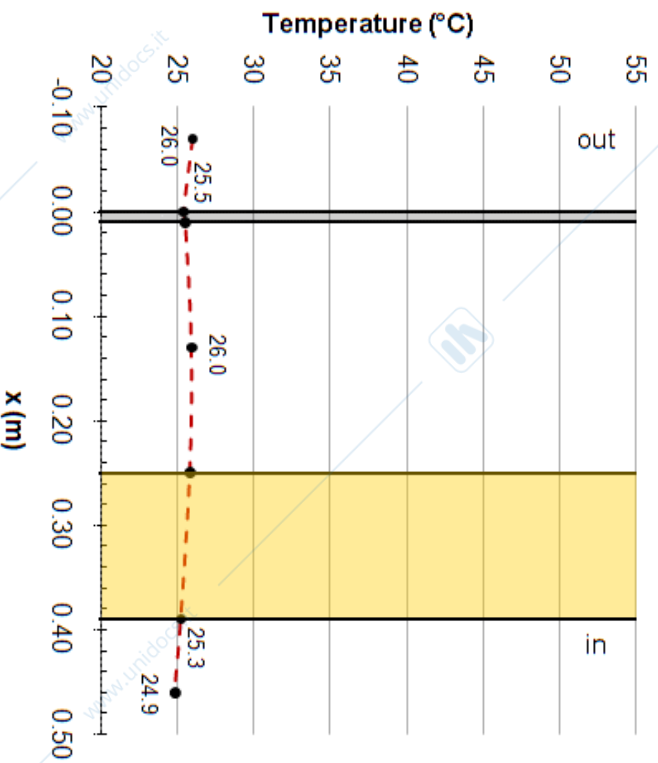
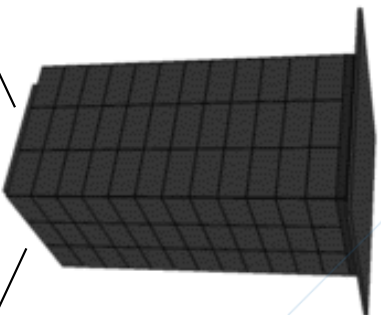
# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

13 Luglio 2010

## MISURE SPERIMENTALI (periodo estivo)





www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# MONITORAGGIO AMBIENTALE DEGLI AMBIENTI INTERNI

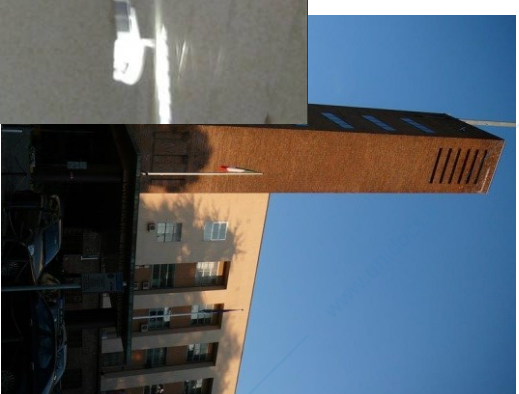


www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

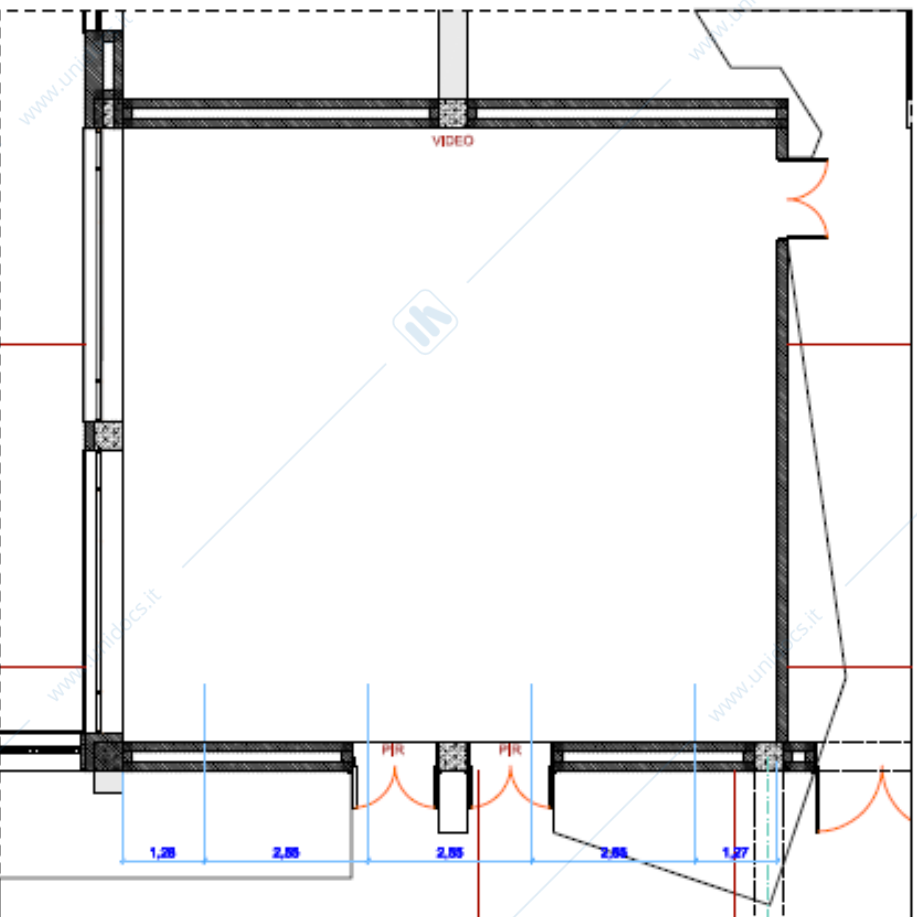
## Aula 2.8 della Facoltà di Ingegneria di Bologna



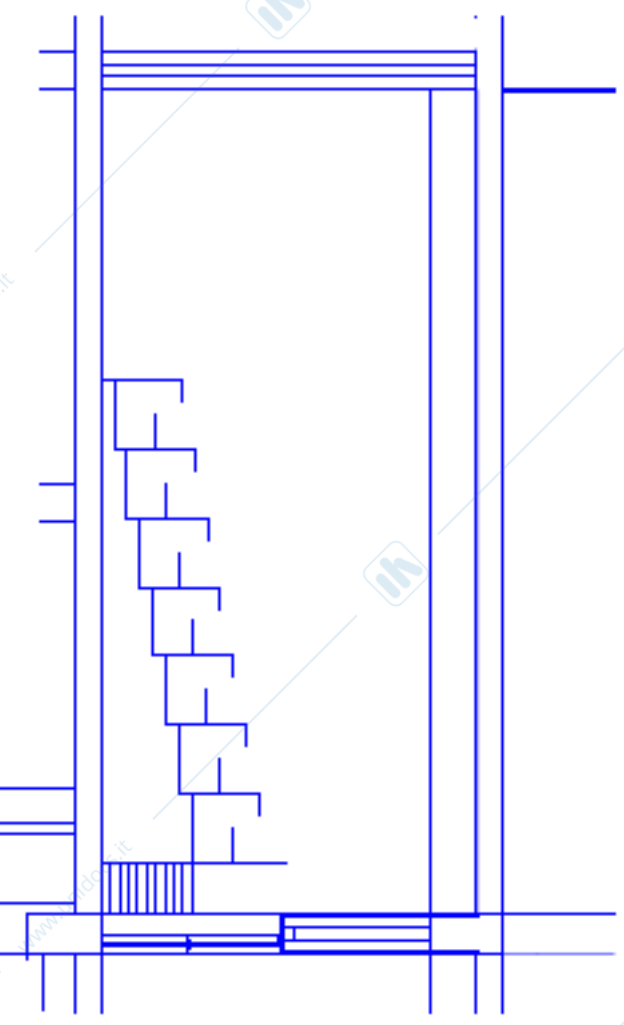


**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## Aula 2.8 della Facoltà di Ingegneria di Bologna



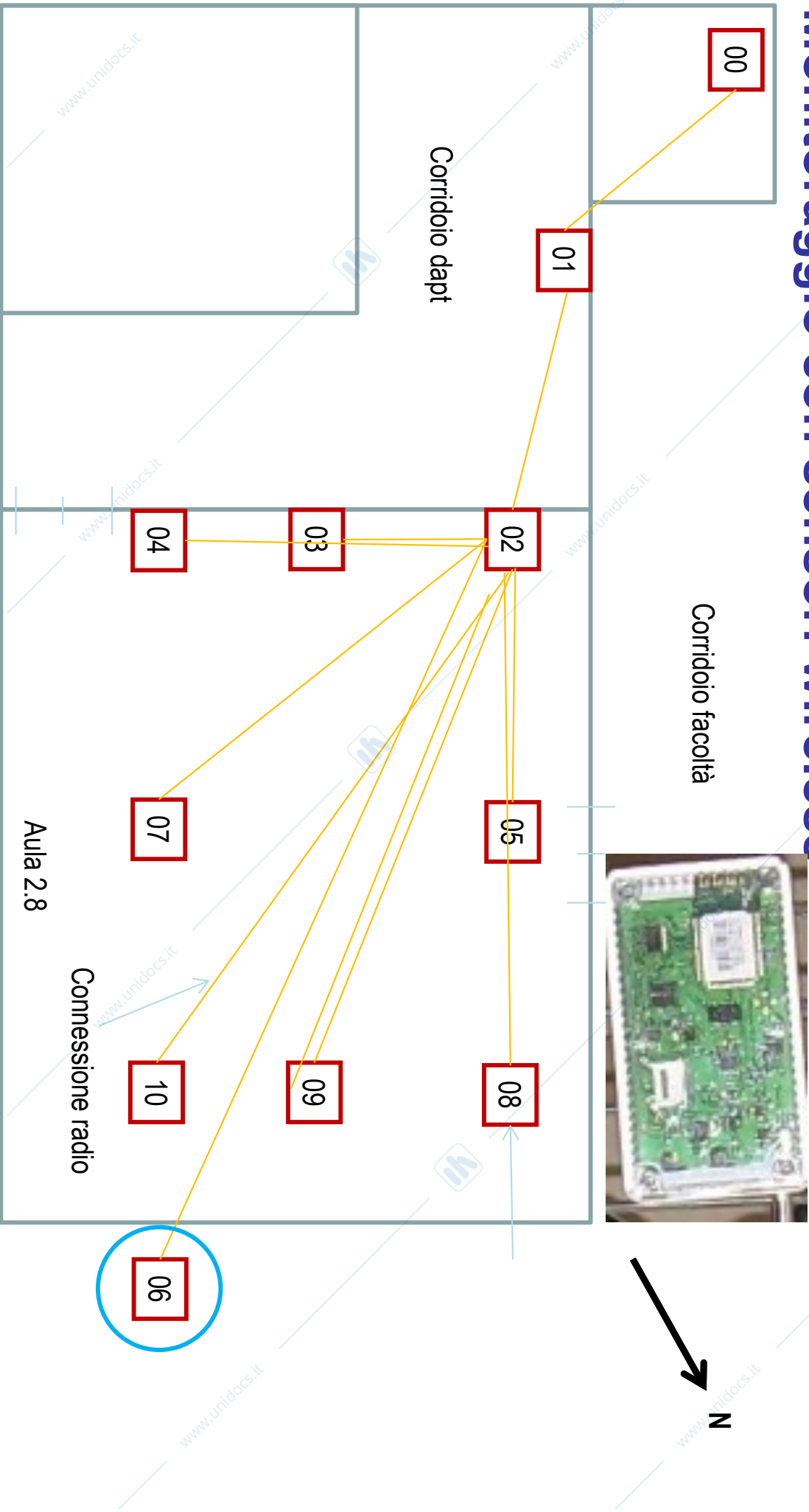
**Pianta**



**Sezione trasversale**



## Monitoraggio con sensori wireless



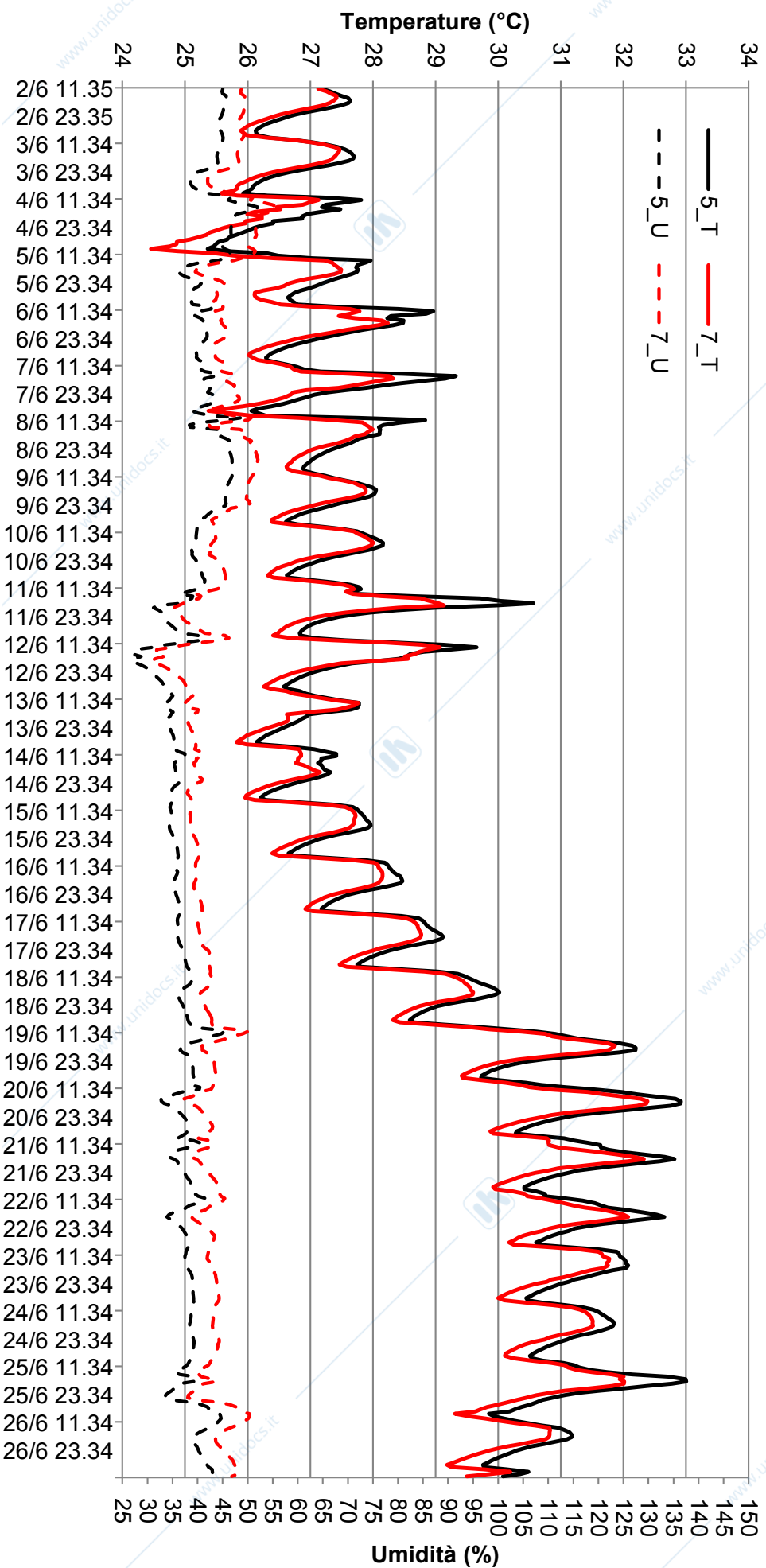


# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## TEMPERATURA e UMIDITÀ dei SENSORI 5 e 7

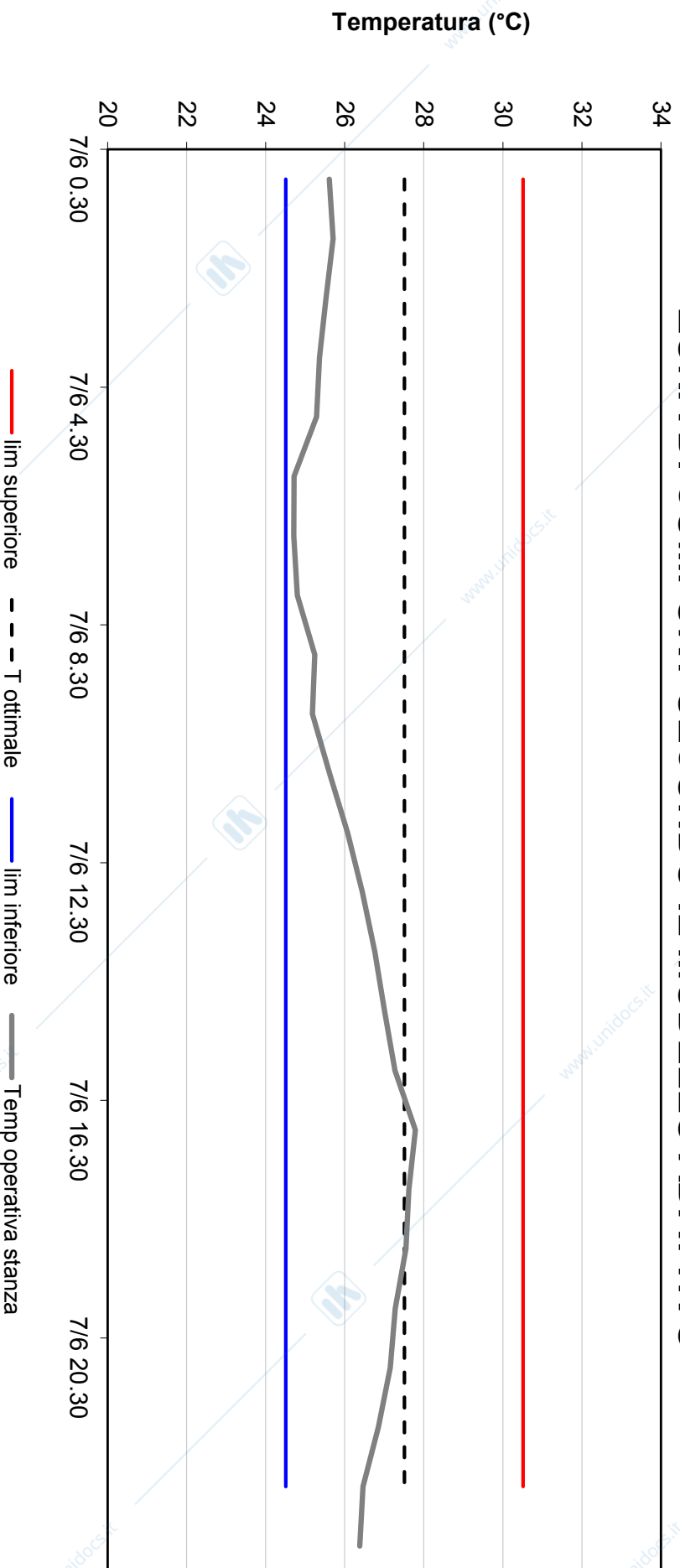
Dal 2 al 26 giugno 2012





7 giugno 2012

### ZONA DI COMFORT SECONDO IL MODELLO ADATTIVO



www.unidocs.it

**Surriscaldamento**

**ORE**

**0**

**%**

**0**

**Discomfort accettabile ≤ 10 %**

www.unidocs.it

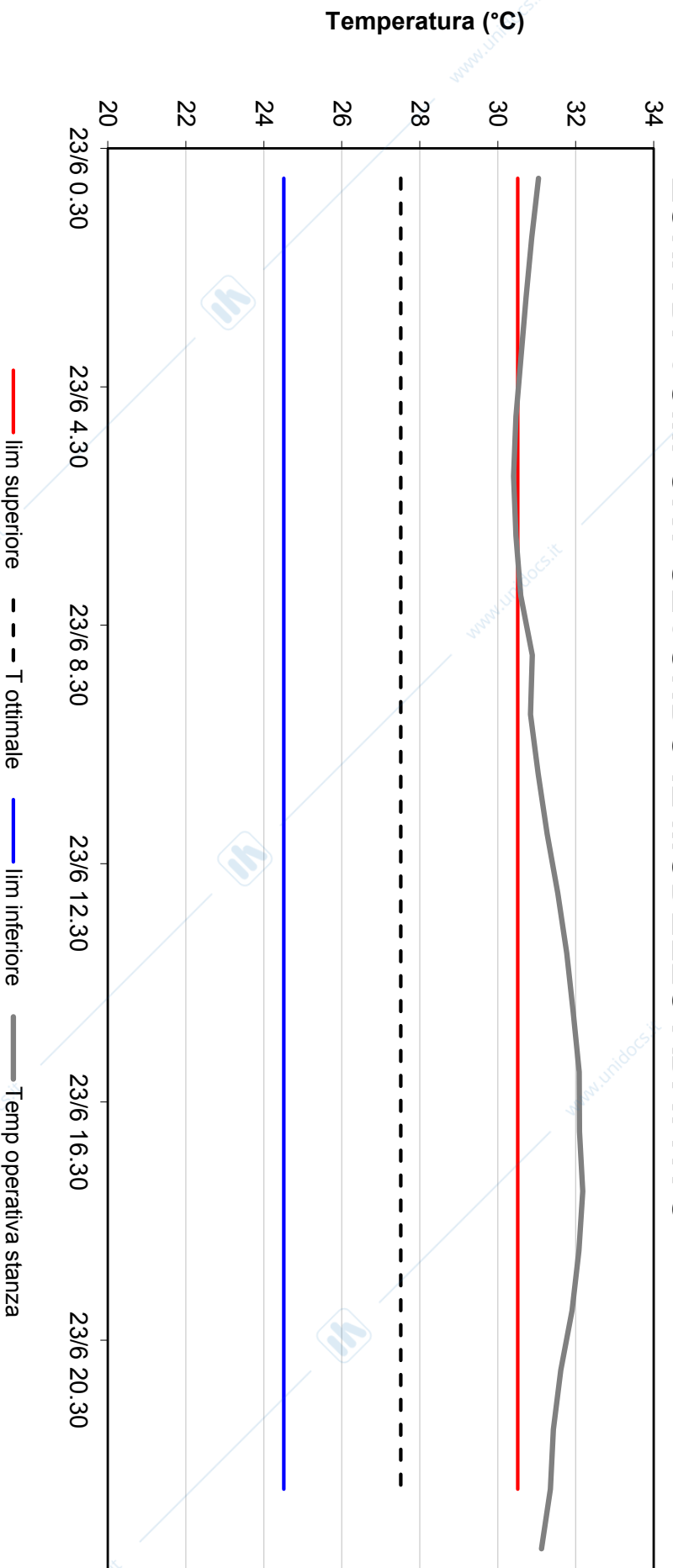
www.unidocs.it

www.unidocs.it



23 giugno 2012

## ZONA DI COMFORT SECONDO IL MODELLO ADATTIVO



**Surriscaldamento**

**ORE**

**20**

**%**

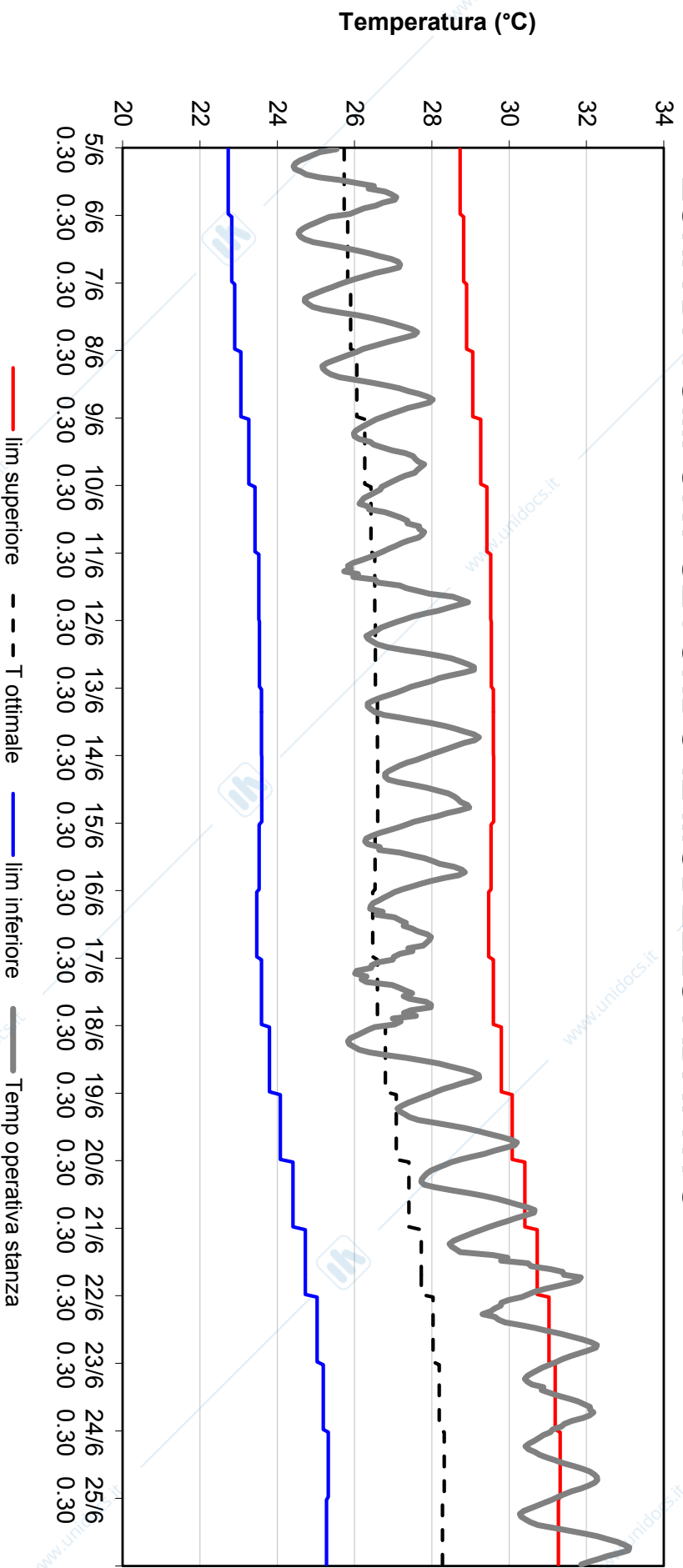
**87**

**Discomfort accettabile ≤ 10 %**



Dal 5 al 25 giugno 2012

## ZONA DI COMFORT SECONDO IL MODELLO ADATTIVO



www.unidocs.it

ORE

Surriscaldamento

61

12%

Discomfort accettabile  $\leq 10\%$

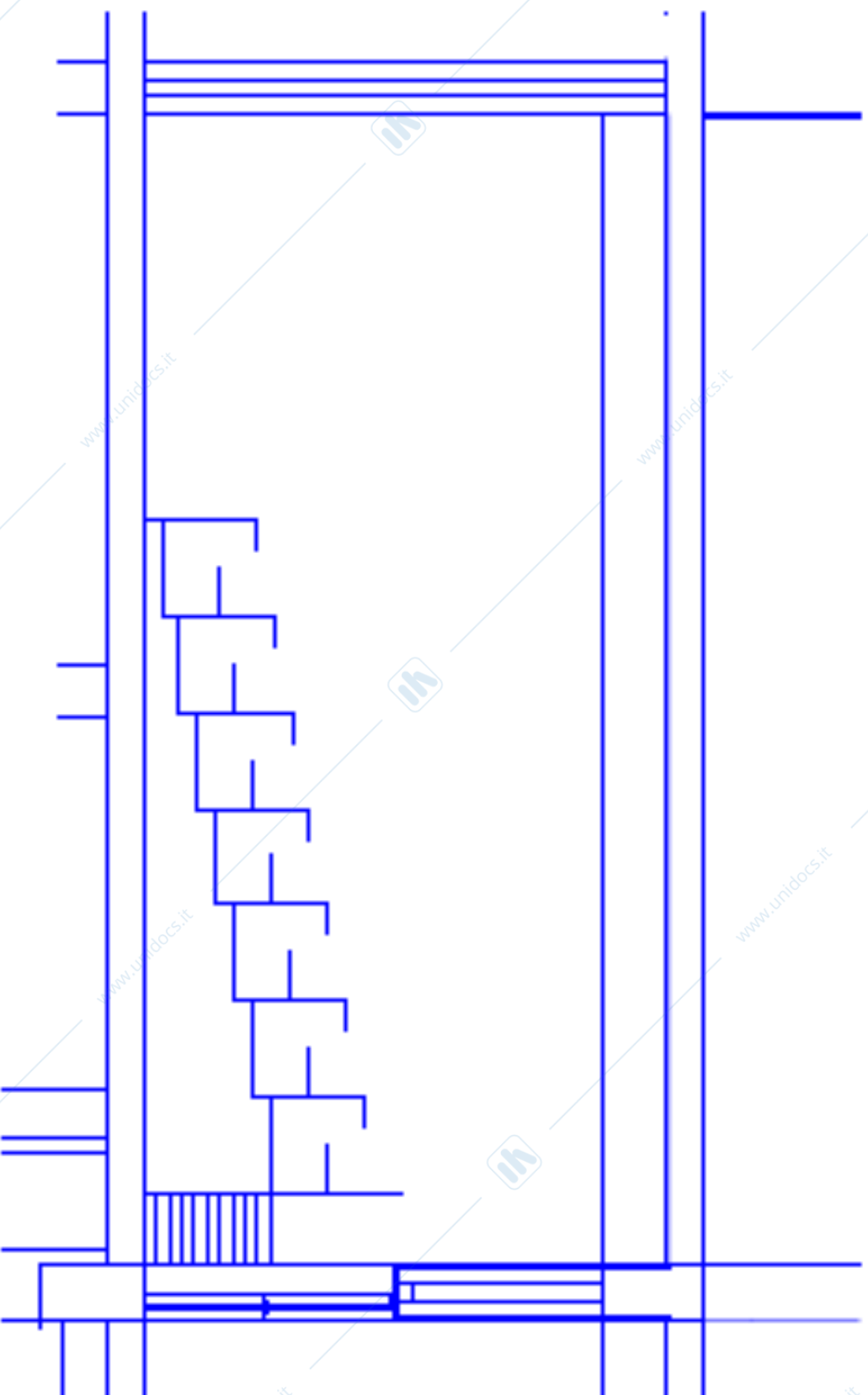
www.unidocs.it

- Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari



**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

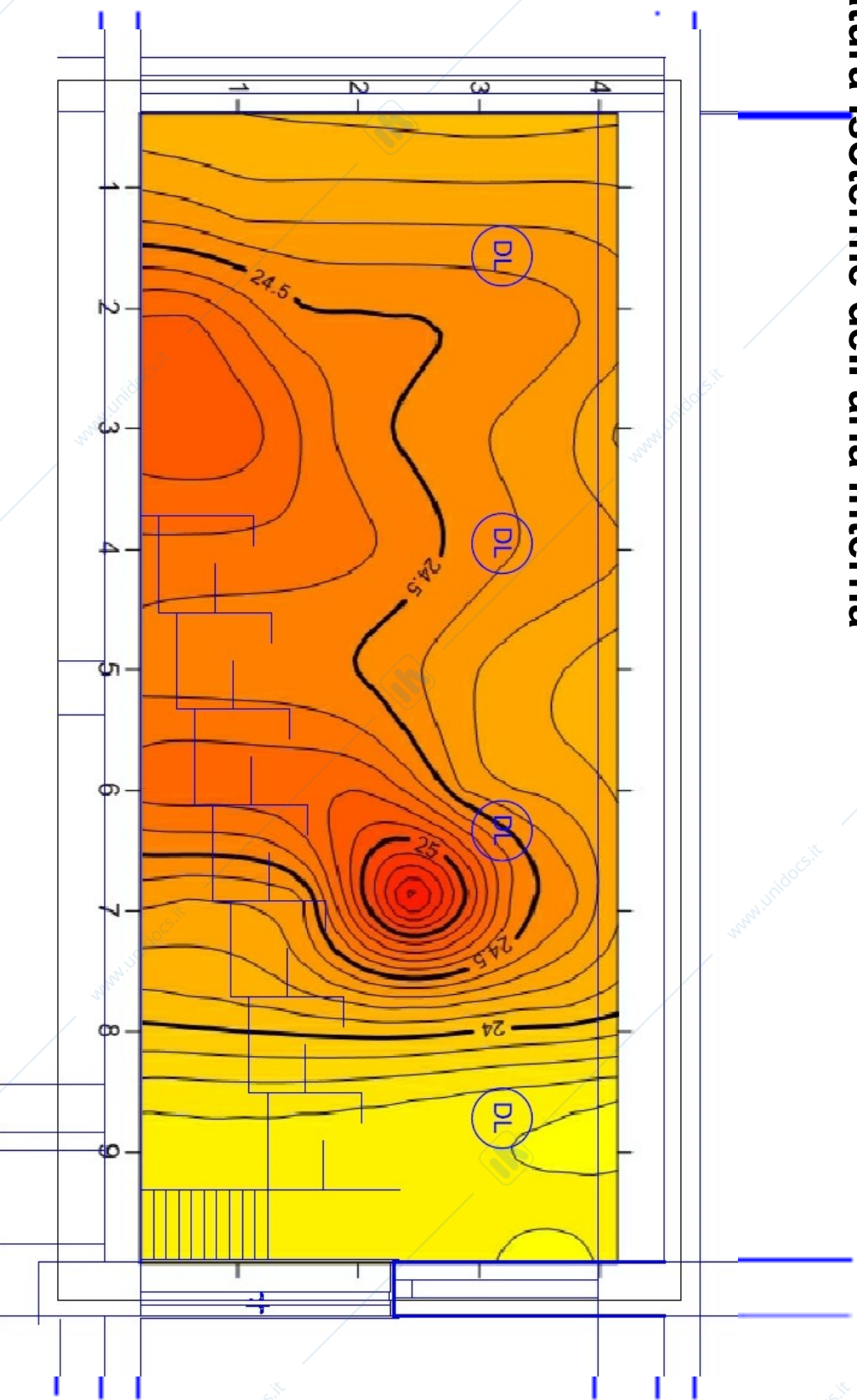
## **SIMULAZIONE DINAMICA CFD CON ESP-R**





## **SIMULAZIONE DINAMICA CFD CON ESP-R**

### **Temperatura isoterme dell'aria interna**





www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# PROPRIETÀ TERMICHE DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE



## CALCOLI ENERGETICI

Dati di Input:

- condizioni climatiche esterne
- condizioni climatiche interne
- dati geometrici
- caratteristiche costruttive dell'involucro
- etc.



**Modelli Stazionari**  
**Modelli Dinamici**

- dispersioni termiche invernali
- carichi termici estivi
- fabbisogno energetico dell'edificio
- condizioni di comfort
- etc.

Dati di Output





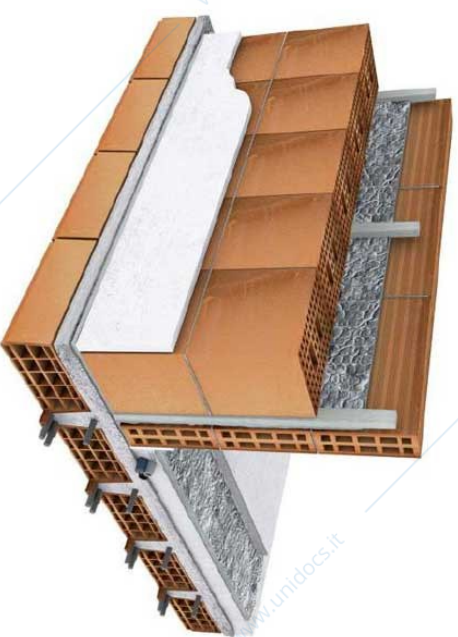
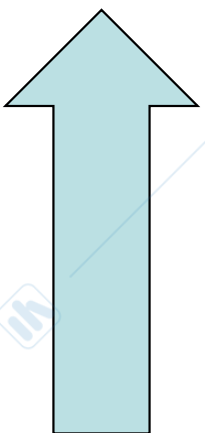
# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## CERTIFICATI

Conducibilità termica dei materiali da costruzione

$\lambda$



Edificio: materiali

50 x600x1250 9

size: (mm)

n° pannelli m<sup>2</sup>/giacco

2500x600x50

m<sup>2</sup> - 12

**CE**  
EUROCLASSE E Classe 1 D.M.  
R<sub>0</sub> = 1,50 m<sup>2</sup>KW -  $\lambda_0$  = 0,033 W/mK  
XPS-EN13164-T1-OSI(T1)-OSI(T1)-D-LIT2K-CQZ11-650

**8**  
Euroclasse E  
 $\lambda_0 = 0,034$  W/mK  
R<sub>D</sub> = 1,45 m<sup>2</sup>KW  
2280104AF 211\_04  
GEM3-250A050D  
UNI EN ISO 9001:2000

SPESORE (mm)	1200 x 600	FORMATO (mm)	1200 x 600	CONTENUTO	MQ 14,40	PEZZI (n)	20
Resistenza Termica	R <sub>0</sub> = 0,60 m <sup>2</sup> KW	Resistenza Termica	R <sub>0</sub> = 0,60 m <sup>2</sup> KW	Conduttività Termica	$\lambda_0 = 0,033$ W/mK	Assorbimento d'acqua a lungo termine per immersione totale	1,5 % in vol.
Resistenza a Compressione al 10% di deformazione	315 Kpa	Resistenza Termica	R <sub>0</sub> = 0,60 m <sup>2</sup> KW	Conduttività Termica	$\lambda_0 = 0,033$ W/mK	Assorbimento d'acqua a breve termine per immersione parziale	0,03 Kg/m <sup>2</sup>
Azienda con Sistema di Qualità Certificato UNI EN ISO 9001:2000	A.B. ISOLANTI S.P.A. Via S. Pietro, 3 - 24030 BARZANA (BG) - ITALIA XPS-EN 13164-2001 XPS-EN 13164-T1-OSI(T1)V300-W(L)T1.5	EN 12087	EN 12087	EN 12087	EN 12087	EN 12087	EN 12087
04	N° E60403-LNE	04	EN 13051-1 / ISO 11925-2	Euroclasse	F	EN 13051-1 / ISO 11925-2	EN 13051-1 / ISO 11925-2



## Conduttività termica equivalente: esempi



CARATTERISTICHE DEL BLOCCO		
	MONOS	MONOS UN
Dimensioni di coordinamento l, w, h/cm.	50-30-20	50-30-20
Massa volumica netta	1.500	1.000
Resistenza a compr. norm.	24,0	23,0
Permeabilità al vapore	5/15	5/15

CARATTERISTICHE DELLA PARETE		
Massa muratura	240	230
Massa superficiale	240	180
Consumo di malta	40	40
Numero blocchi di m <sup>2</sup>	10	10
Trasmittanza termica * "U"	0,33	0,27
Resistenza termica *	2,83	3,54
Sfasamento inerzia termica *	18,09	19,69
Altezza inerzia termica *	0,06	0,05
Trasmitt. termica periodica * "Ye"	0,02	0,01
Fondamentazione (STC)	45,1	49,7

VALORI TERMICI (UNI EN ISO 6946)			
	MONOS	MONOS UN	
Trasmittenza ad umido della parete "U"	W/m <sup>2</sup> K	0,33	0,27
Resistenza ad umido della parete "R"	m <sup>2</sup> K/W	2,86	3,54
1. calcestruzzo y 1500 (23 °C, 80% UR)	W/mK	0,57 (0,62*)	
2. calcestruzzo y 1000 (23 °C, 80% UR)	W/mK	0,31 (0,33*)	
2. isocoria y 20	W/mK	0,040	
2. tappeto interconnessione y 30	W/mK	0,042	
2. malta y 1800	W/mK	0,90	
2. intonaco y 1400	W/mK	0,70	

\* per i primi 10 cm. esterni

I blocchi sono dotati di certificazione di prestazione energetica come richiesto dall'art. 32 legge 10/91. Tale certificazione è stata rilasciata da ICMAQ secondo lo schema Energetico Blocchi "MCA 02/04/98" - 6946/2008 - 1745/2005 (condizionati ad umido)





# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

## CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE

### UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Conductività termica equivalente dell'elemento:  $\lambda_{\text{equ}} = 0.135$  W/m K

Conductività termica equivalente della parete:  $\lambda_{\text{equ}} = 0.146$  W/m K

Conduttanza termica della parete:  $C = 0.486$  W/m<sup>2</sup>K

Resistenza termica della parete:  $R = 2.057$  m<sup>2</sup>K/W

Trasmittanza termica della parete:  $U = 0.449$  W/m<sup>2</sup>K

Trasmittanza termica della parete con intonaco:  $U = 0.440$  W/m<sup>2</sup>K

(1,5 cm intonaco interno di conduttività 0,54 W/m K + 1,5 cm intonaco esterno di conduttività 0,93 W/m K)

Parete: Spessore parete:  $s = 0.300$  m

Area di riferimento:  $A = 0.057$  m<sup>2</sup>

Coefficiente liminare interno:  $\alpha_i = 7.7$  W/m<sup>2</sup>K

Coefficiente liminare esterno:  $\alpha_e = 25.0$  W/m<sup>2</sup>K

Malta: Spessore dei giunti di malta:  $s = 0.012$  m

Peso specifico:  $\rho =$  kg/m<sup>3</sup>

Conducibilità:  $\lambda = 0.90$  W/mK

Tipo di giunto di malta:  $\text{tg} =$  continuo

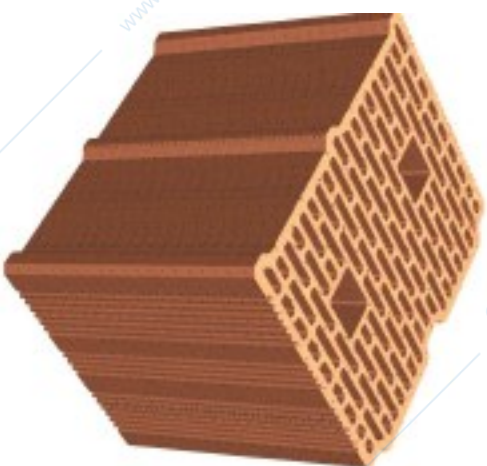
Conducibilità equivalente della parete:  $\lambda_{\text{equ}} = 0.199$  W/mK

Conduttanza termica della parete:  $C = 0.663$  W/m<sup>2</sup>K

Resistenza termica della parete:  $R = 1.508$  m<sup>2</sup>K/W

Trasmittanza della parete:  $U = 0.596$  W/m<sup>2</sup>K

Trasmittanza della parete intonacata:  $U = 0.586$  W/m<sup>2</sup>K





www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# CONDUZIONE DI CALORE



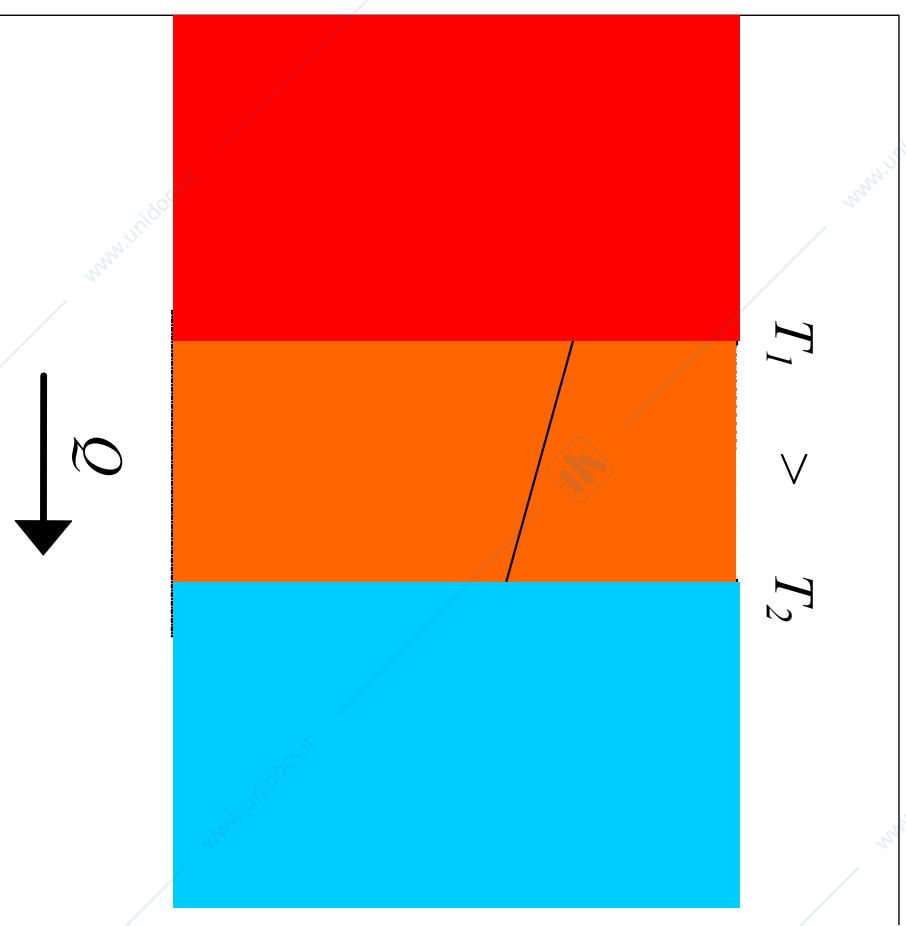
## Conduzione termica – strato piano

Siano  $s$  lo spessore costante dello strato,  $T_1$  e  $T_2$  le temperature delle due facce limite che supporremo assegnate e costanti

$$q = \frac{Q}{A} = -\lambda \frac{dT}{dx} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{s}$$

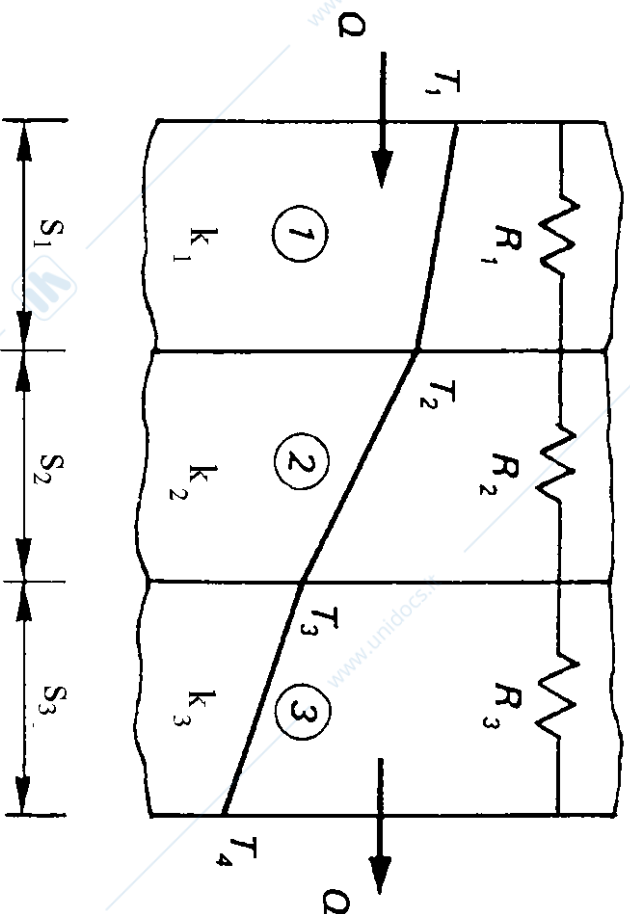
$$Q = A \cdot \lambda \frac{T_1 - T_2}{s}$$

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_T} \quad R_T = \frac{s}{\lambda \cdot A}$$





## Conduzione termica – strato piano



Conduttanza

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i}}$$

$$q = C \cdot \Delta T$$

Resistenza termica:

$$R_T = \frac{s}{\lambda A}$$

$$R_T = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i}$$

Resistenza termica unitaria

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

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i}$$

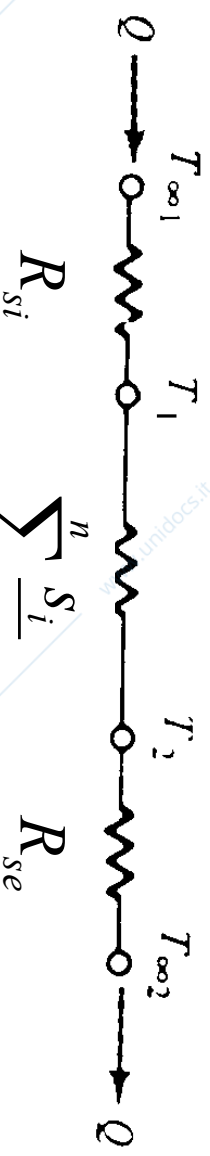
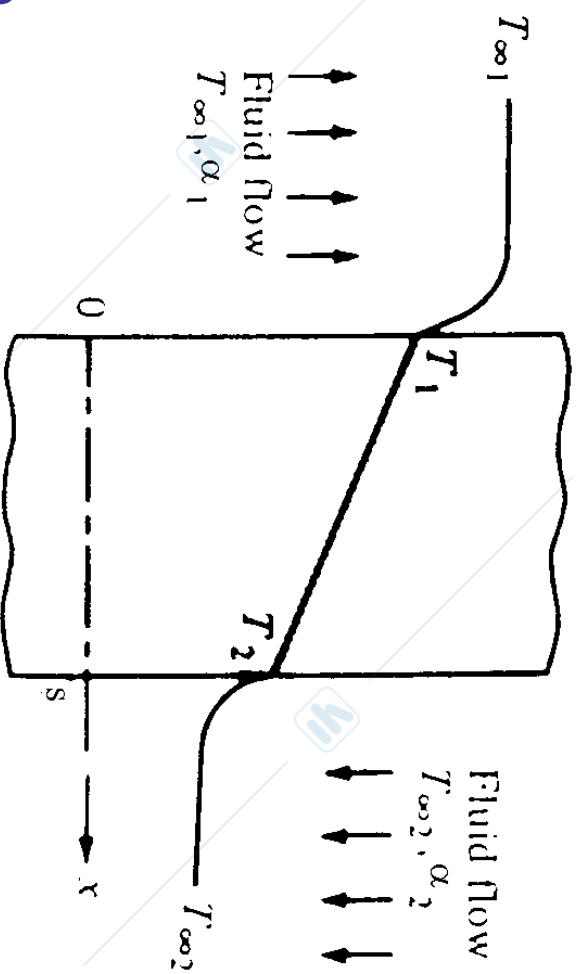


## COEFFICIENTE GLOBALE DI SCAMBIO TERMICO

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Coefficiente globale di scambio termico

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$





## TRASMITTANZA TERMICA: SUPERFICI OPACHE

UNI EN ISO 6946

$$U = \frac{1}{R_T} \qquad U = \frac{1}{R_{si} + \sum_i \frac{s_i}{\lambda_i} + \sum_j R_j + R_{se}} \qquad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

$R_{si}$ ,  $R_{se}$  : resistenza termica superficiale [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ] (UNI EN ISO 6946/08);

$s_j$  : spessore dello strato omogeneo della parete [m];

$\lambda_j$  : conduttività termica dello strato di materiale omogeneo [ $\text{W/mK}$ ] (UNI 10351/94);

$R_j$  : resistenza termica unitaria dello strato omogeneo di materiale [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ] (UNI 10355/94).



Resistenza termica totale specifica della parete ( $R_t$ )

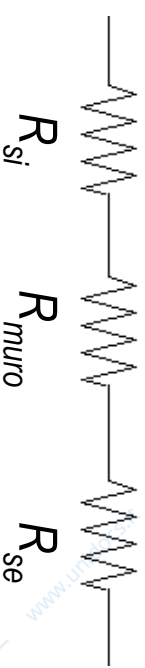
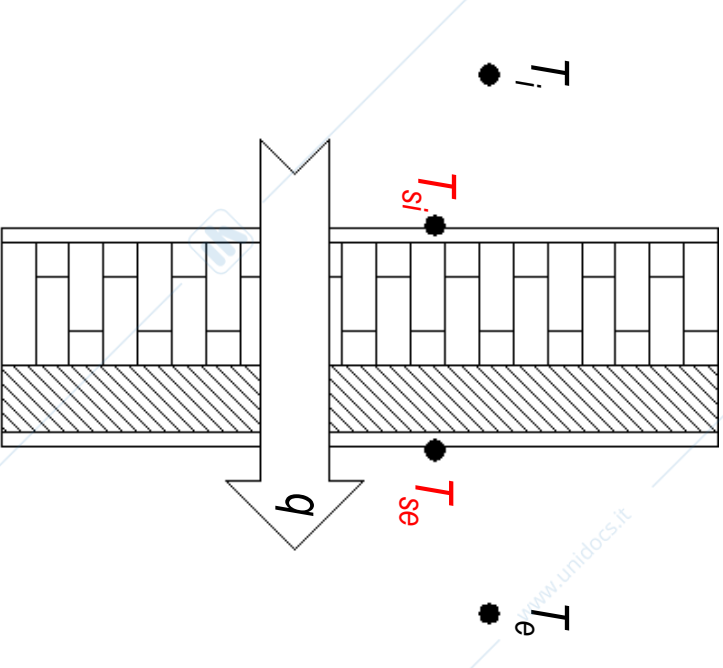
$$R_t = \frac{T_i - T_e}{q} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

Trasmittanza termica ( $U$ )

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{se} + R_{muro} + R_{si}} = \frac{q}{T_i - T_e} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Conduttanza termica ( $C$ )

$$C = \frac{1}{R_{muro}} = \frac{q}{T_{si} - T_{se}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$





## CONDUCIBILITÀ TERMICA

$$R_{muro} = \frac{S_{muro}}{\lambda_{muro}}$$

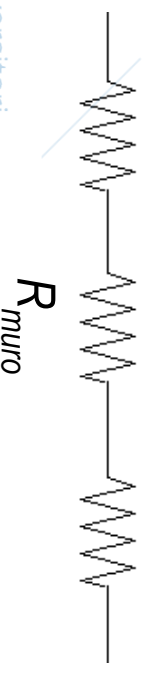
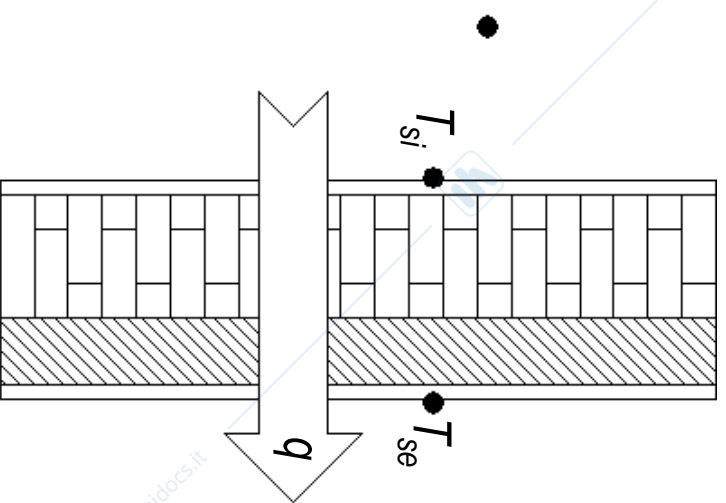
Resistenza termica

Conoscendo la resistenza termica del materiale è possibile ottenere:

$$\lambda_{muro} = \frac{S_{muro}}{R_{muro}}$$

Conducibilità termica (equivalente)

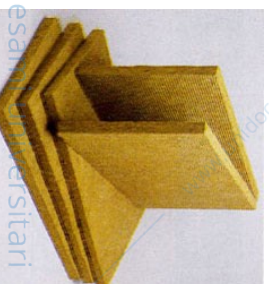
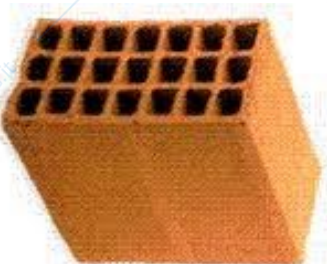
$$R_{muro} = \frac{T_{si} - T_{se}}{q}$$





## CONDUCIBILITÀ TERMICA di alcuni materiali da costruzione

Materiale	Conducibilità termica (W/mK)
Rame	390
Marmo	3.50
Cemento armato	2.30
Malta di cemento	1.40
Vetro	1.00
Intonaco in calce	0.80
Mattone laterizio pieno	0.72
Intonaco in gesso	0.70
Mattone laterizio forato	0.43
Cartongesso	0.21
Legno	0.13
Lana di roccia	0.04
Polistirolo espanso	0.03





**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI TERMICI

$$R_{muro} = \frac{T_{si} - T_{se}}{q}$$

### Misure Sperimentali

ISO 9869 - 1994

Thermal insulation - Building elements -  
In-situ measurement of thermal  
resistance and thermal transmittance

### Calcolo Numerico

UNI EN 1745 - 2012

Masonry and masonry products  
Methods for determining thermal  
properties



**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

# Misure Sperimentali

## ISO 9869 - 1994



## METODO DEL TERMOFUSSIMETRO

ISO 9869/94

- Data logger AMR – ALMEMO 2390-8 con 5 canali (4 termocoppie + termoflussimetro);

- Quattro sonde di temperatura (termocoppie T)

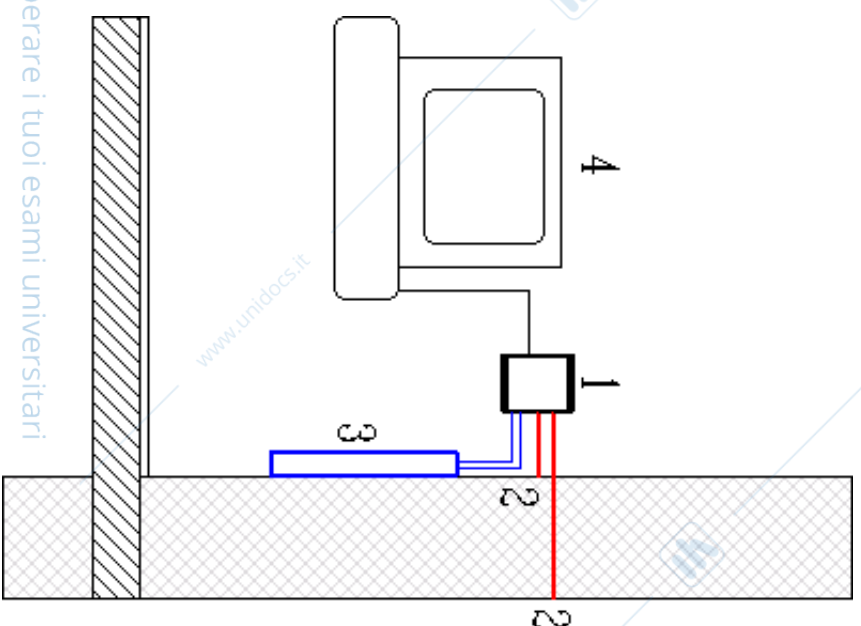
- Termoflussimetro (HFT 25x25 cm)

Resistenza termica:  $0.05 \div 0.075 \text{ m}^2\text{K/W}$

Segnale:  $50 \text{ mV/m}^2\text{W}$ .

Tempo di risposta:  $< 5 \text{ min}$

$$C = \frac{1}{R_{muro}} = \frac{q}{T_{si} - T_{se}}$$



- 1 Data logger
- 2 termocoppie
- 3 termoflussimetro
- 4 PC



## METODO DEL TERMOFUSSIMETRO

$$C(t) = \frac{\int_0^t q(t) \cdot dt}{\int_0^t [T_{si}(t) - T_{se}(t)] \cdot dt}$$

- Per ottenere un valore univoco della resistenza termica della parete si integra la differenza di temperatura tra le facce e il flusso termico registrato (**metodo delle medie progressive**).
- Tale metodo fornisce risultati accurati solo se la variazione dell'energia accumulata nella parete durante la prova è trascurabile rispetto all'energia termica che nell'unità di tempo attraversa la parete per conduzione (**tale condizione non è mai verificata nelle prime 12-24 h di prova**);
- **Tempo di campionamento**: inferiore alla metà del tempo di risposta del termoflussimetro secondo ISO 9869.
- **La durata della misura viene fissata secondo multipli di 24 h**: le norme ISO 9869 e prEN12494 fissano la durata minima della prova in 72 ore per **capacità termica areica inferiore a 20 kJ/m²K**. Ciò comporta una mole di dati da registrare per una singola prova (metodi per la riduzione dei campioni eseguendo "medie parziali").



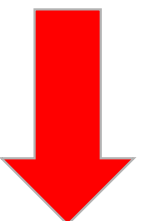
## METODO DEL TERMOFUSSIMETRO

$$\frac{UC}{C} = \sqrt{\left(\frac{U\Delta T}{\Delta T}\right)^2 + \left(\frac{Uq}{q}\right)^2}$$

Sensore	Incertezza
Termocoppia Cu-CuNi (T)	± 0,05 K ± 0,05 % del valore misurato
Termoflussimetro	± 5 % del valore misurato
Data-logger	± 0,03 % del valore misurato ± 2 digits

L'incertezza UC/C è pari a:

- **5.4%** per un DT di **24° C**
- **7%** per un DT di **10° C**
- **41%** per un DT di **1.5° C**



**Necessità di un sistema di riscaldamento "localizzato" per buona parte dell'anno**



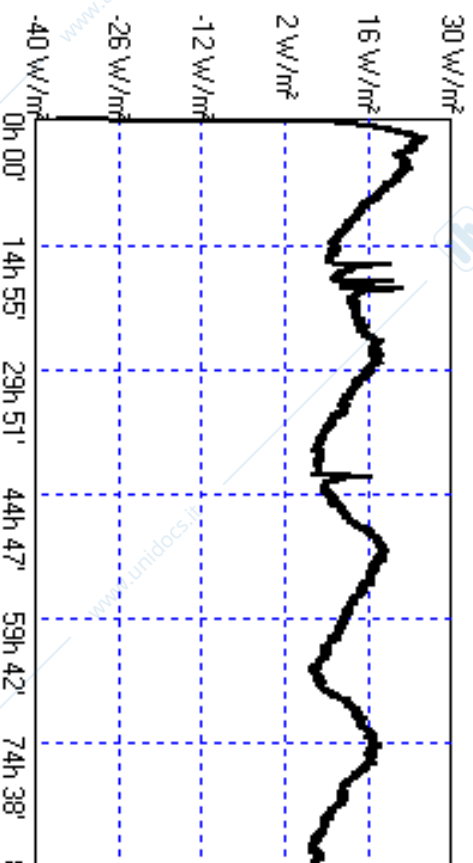
# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

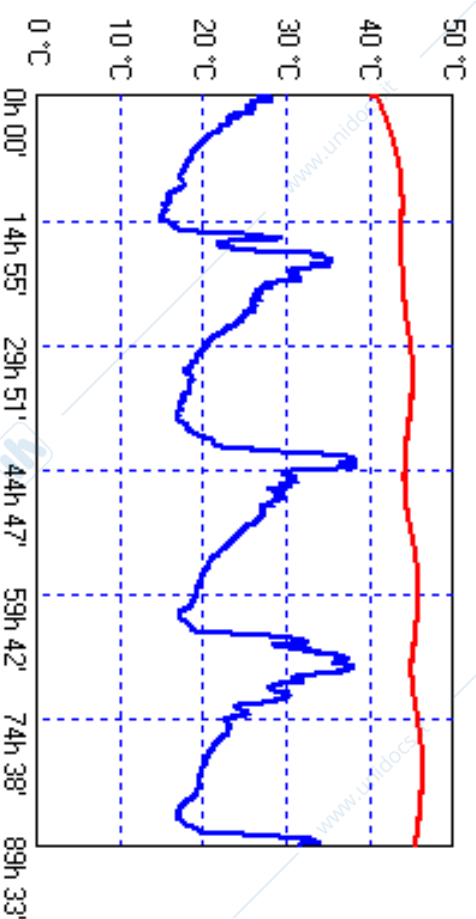
## DATI

Inizio misura	Giorno: 12.05.08, ora: 15:33:24
Termine misura	Giorno: 16.05.08, ora: 09:06:24
Nr. misurazioni	5375
Passo temporale	1'

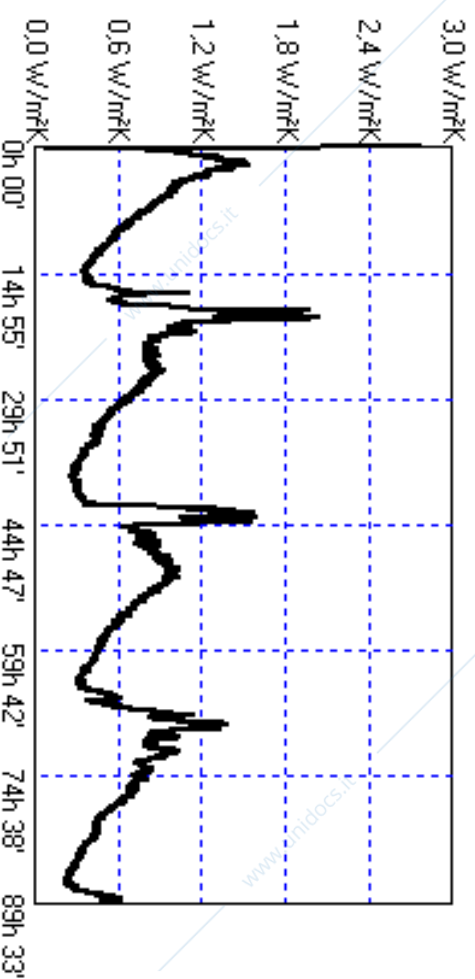
Flusso misurato



Temperature misurate



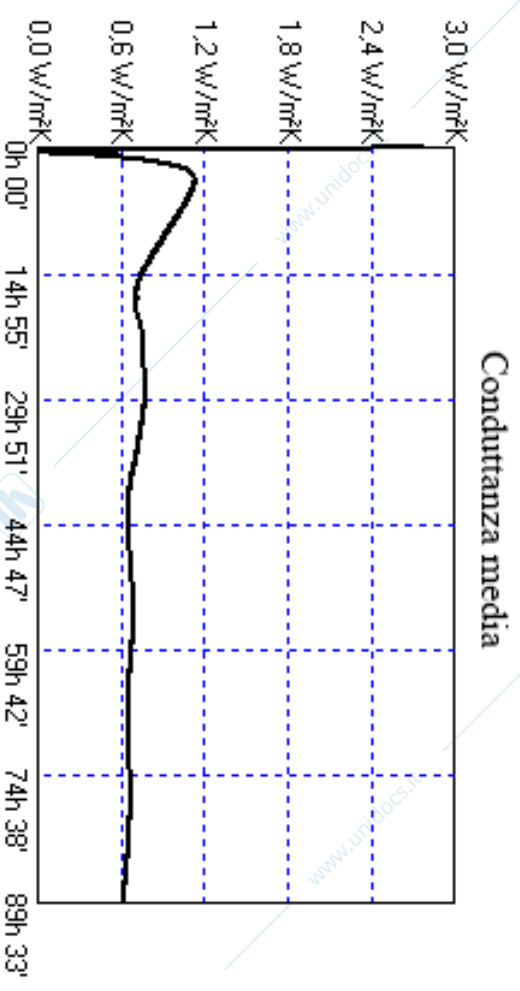
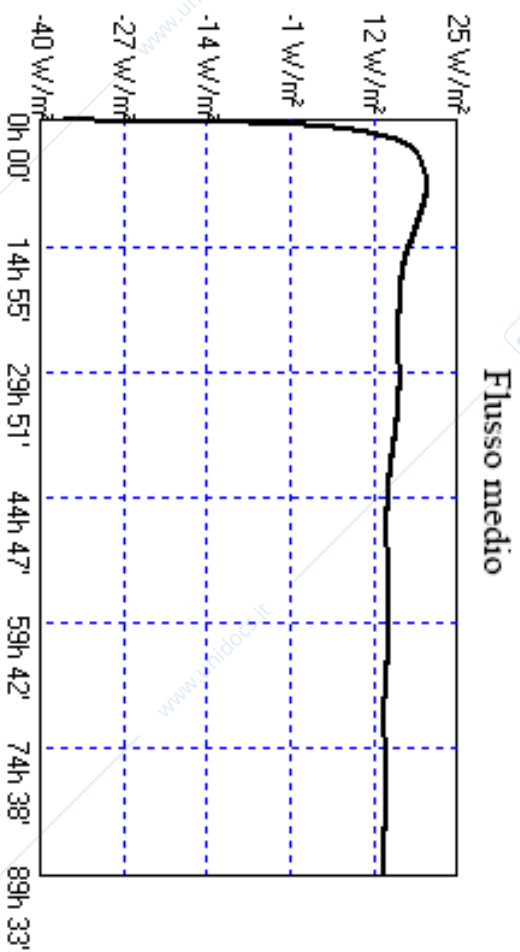
Conducibilità istantanea



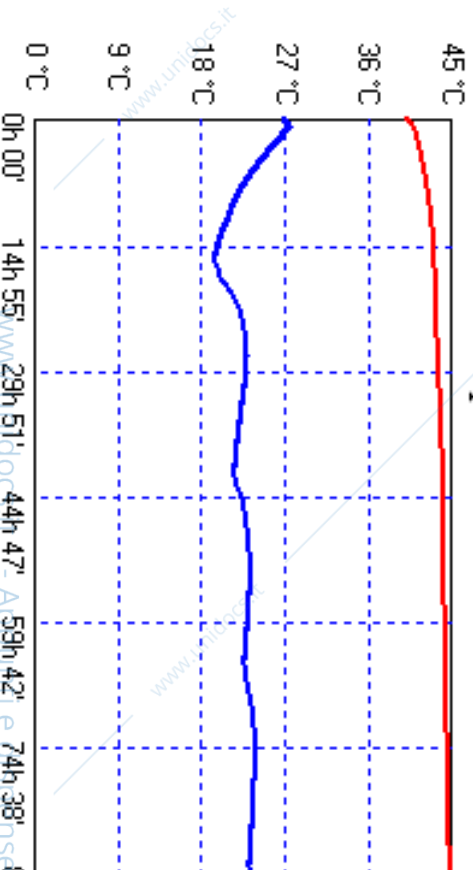


# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

## METODO MEDIE PROGRESSIVE



Temperature medie



Valori finali		
Flusso	13,0808	W/m²
Temperatura interna	44,5643	°C
Temperatura esterna	23,0855	°C
Conduttanza	0,6090	W/m²K



www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

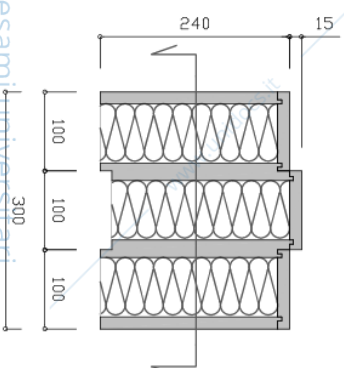
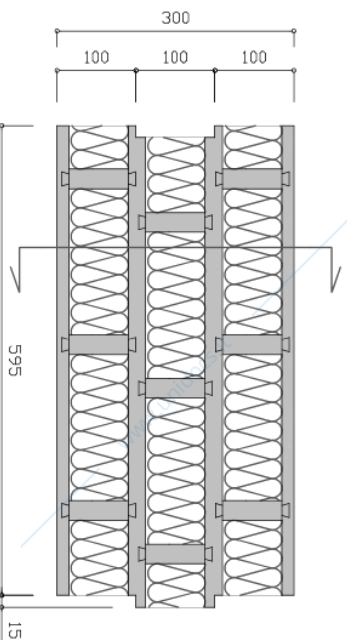
# **CALCOLO NUMERICO**

## **UNI EN 1745 - 2012**



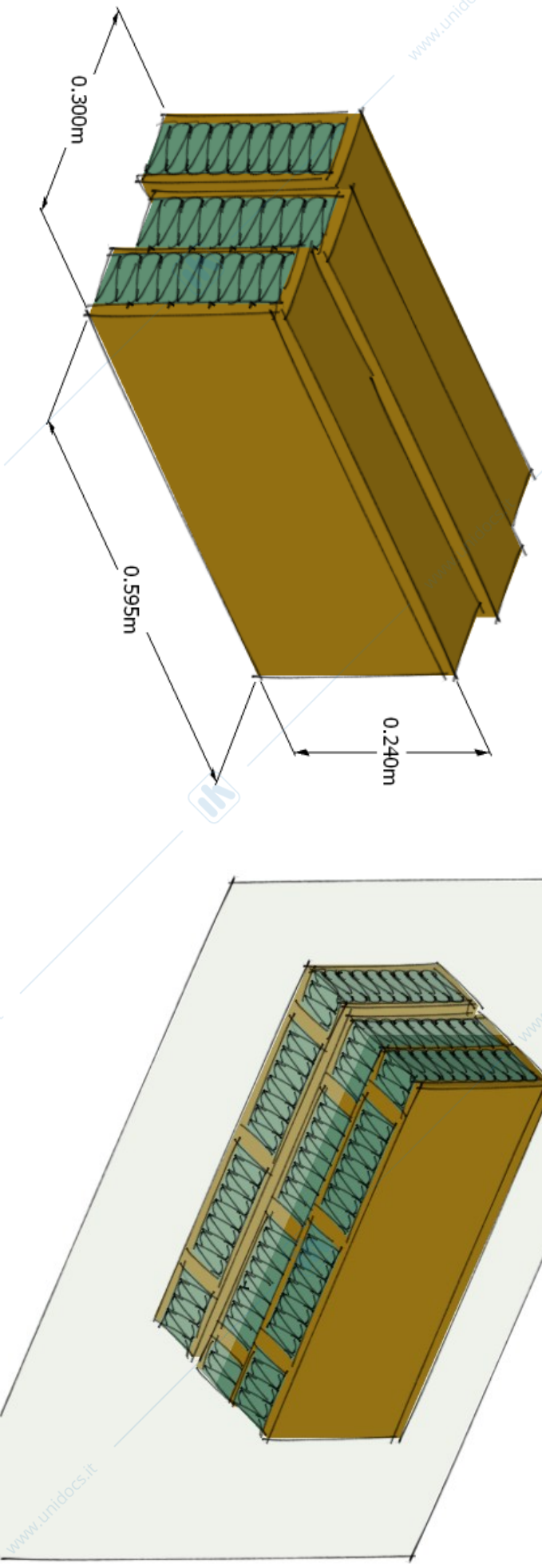
## BLOCCO DI LEGNO

**Determinazione del valore di conduttività termica equivalente di una parete realizzata in blocco di legno e lana di roccia**





## BLOCCO DI LEGNO



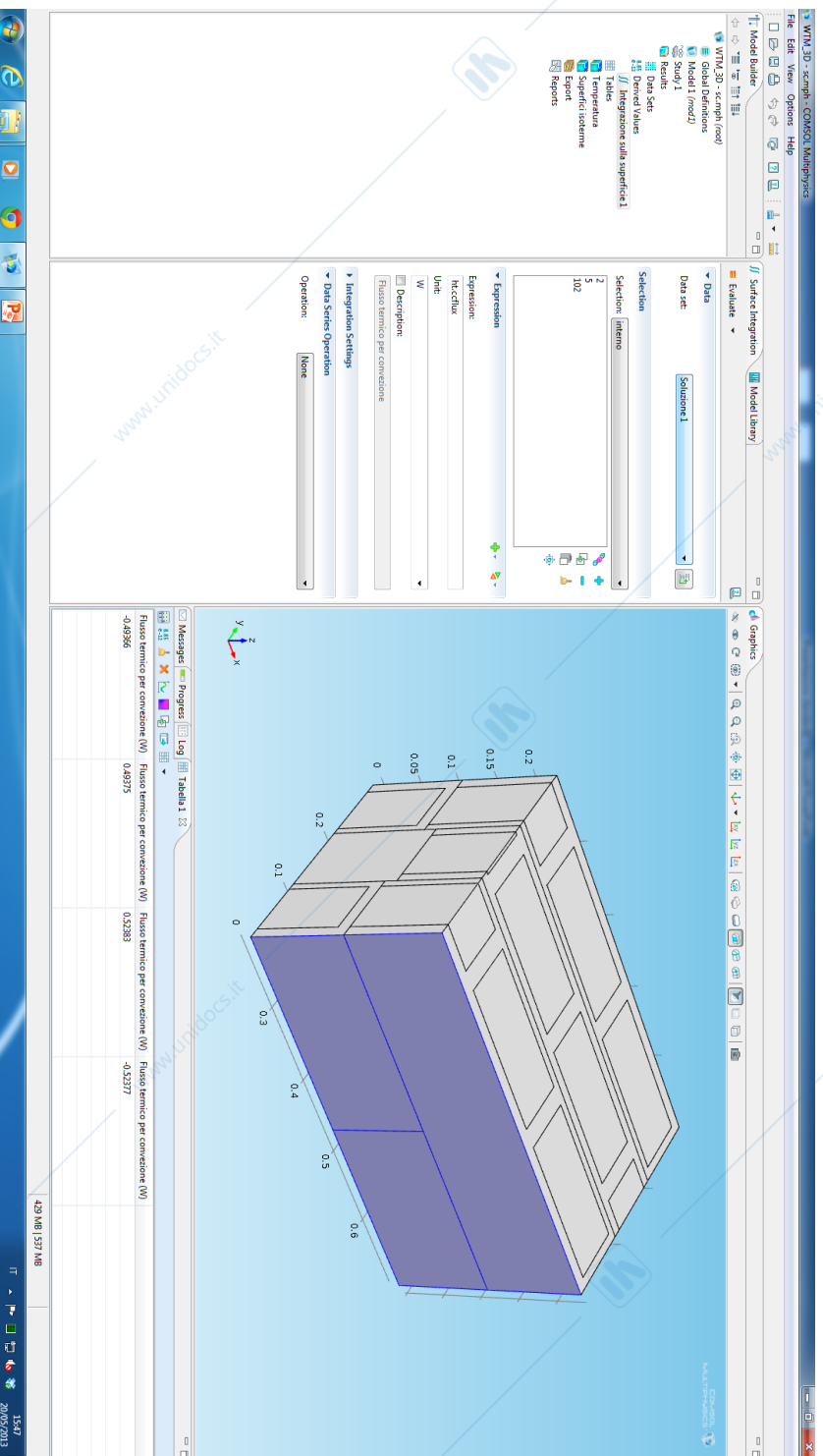
Il blocco è un elemento composito risultante dall'assemblaggio di due materiali:

- pannello a base di legno;
- lana di roccia.



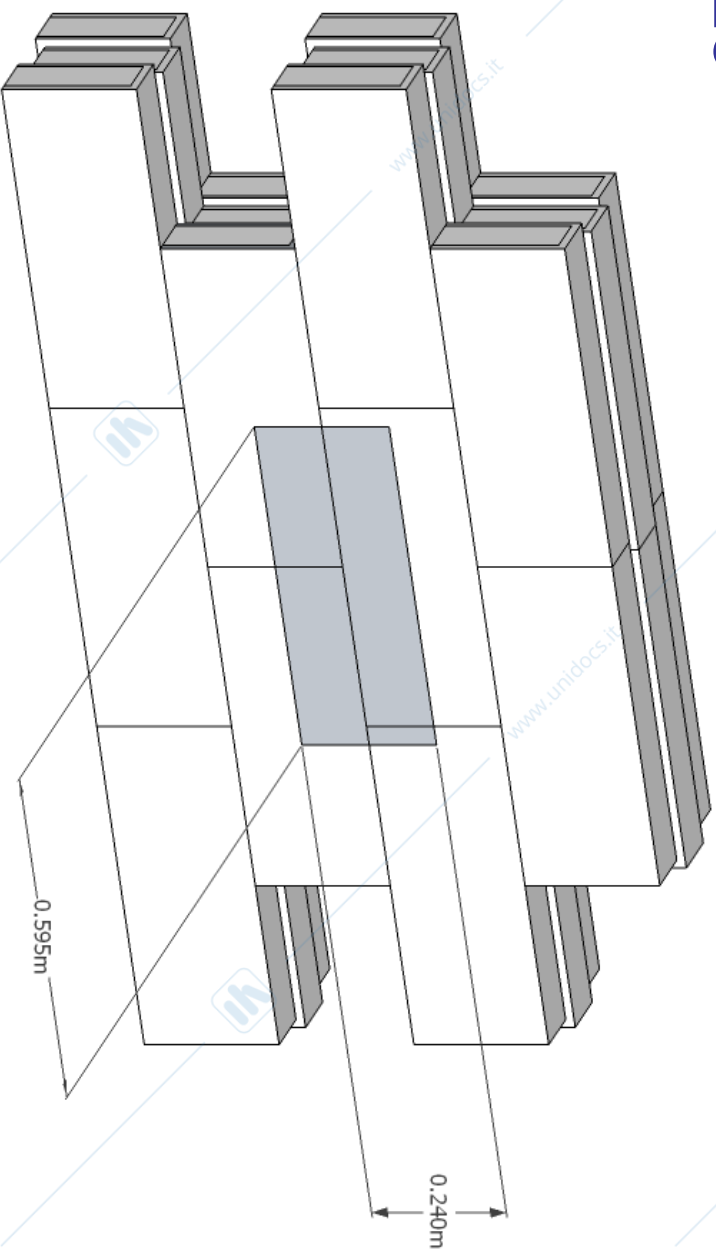
## STRUMENTO DI CALCOLO

La determinazione dei valori termici è stata svolta con procedimento di calcolo numerico previsto dalla UNI EN 1745:2012 al p.to 5.2, utilizzando il programma COMSOL Multiphysics – Heat Transfer Module (versione 4.3a). Il programma è conforme ai requisiti di accuratezza indicati nell'Appendice D della norma sopra citata.

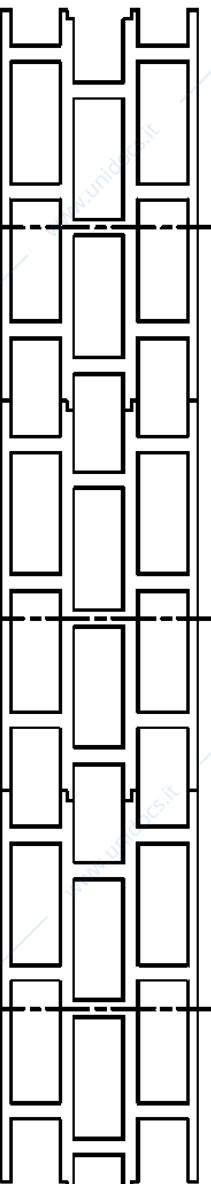




## MODELLO DI CALCOLO

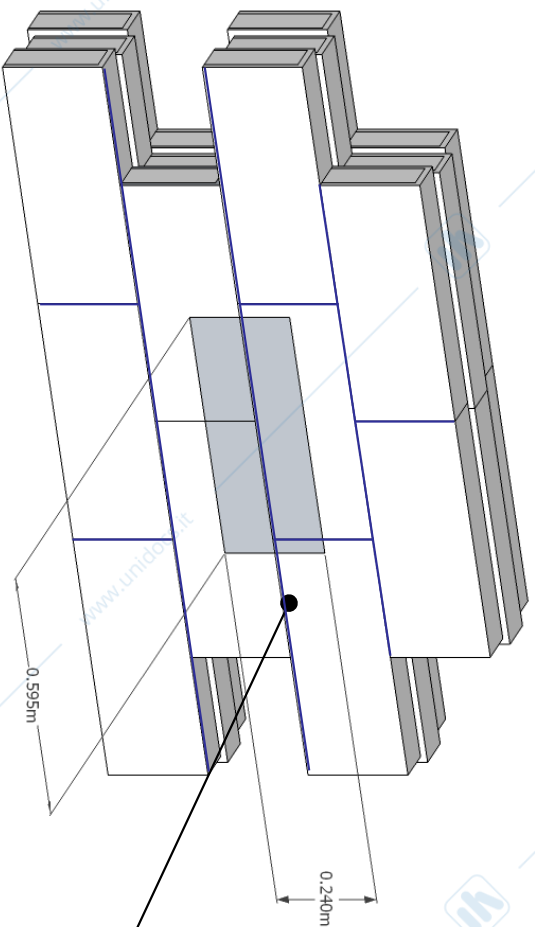


Il modello è stato scelto in modo da avere una certa continuità geometrica.

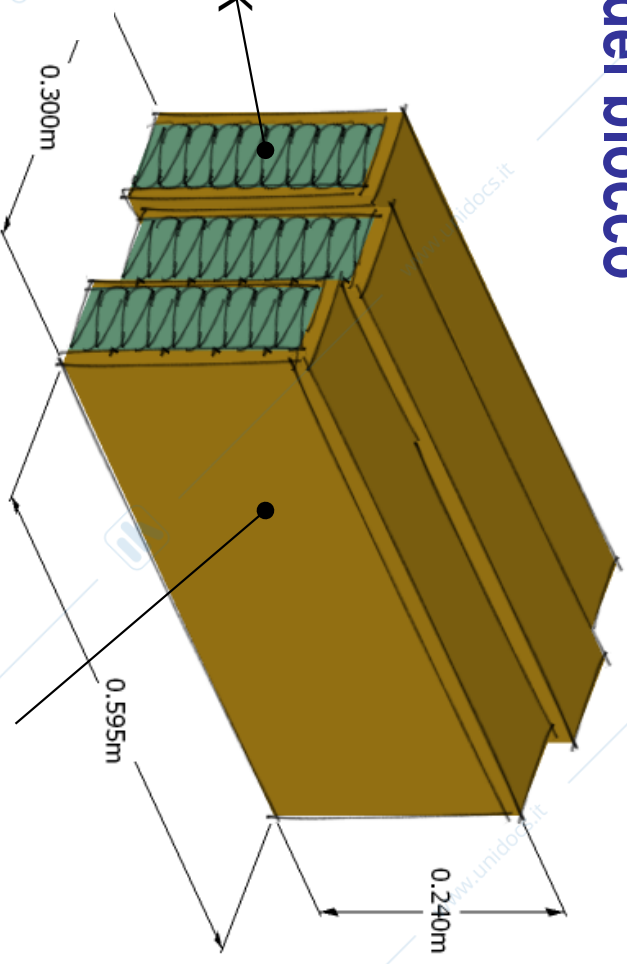




## PROPRIETÀ TERMICHE dei materiali del blocco



Lana di roccia  
 $\lambda_D = 0.034 \text{ W/mK}$



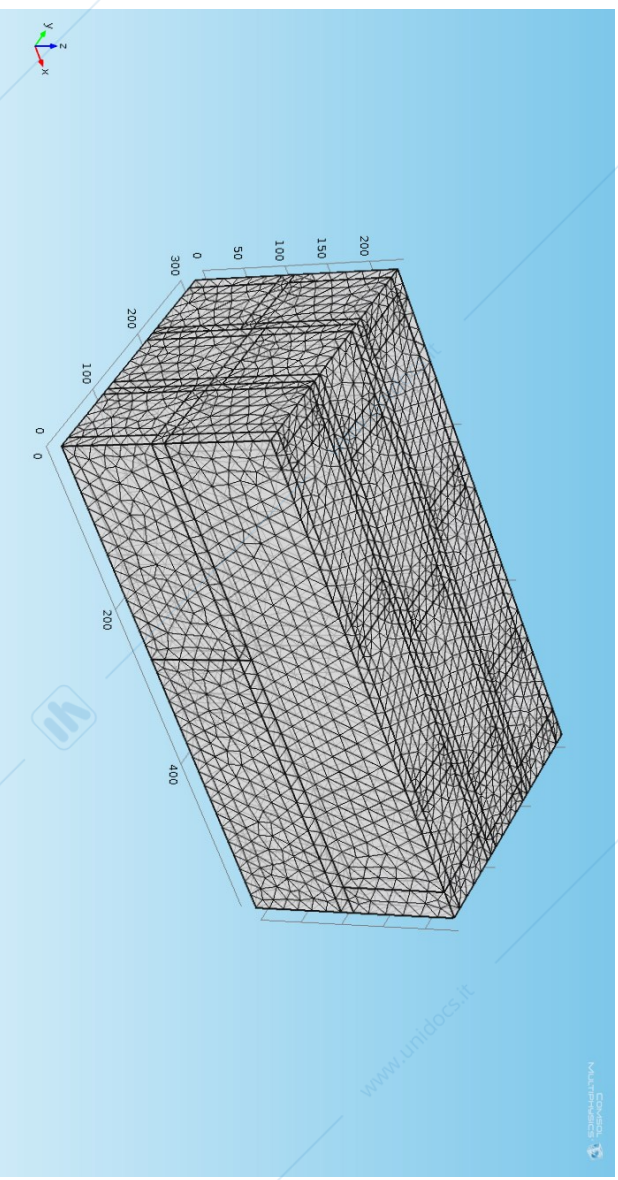
Pannello di legno  
 $\lambda_D = 0.130 \text{ W/mK}$

Resina sintetica  
 $\lambda_D = 0.400 \text{ W/mK}$

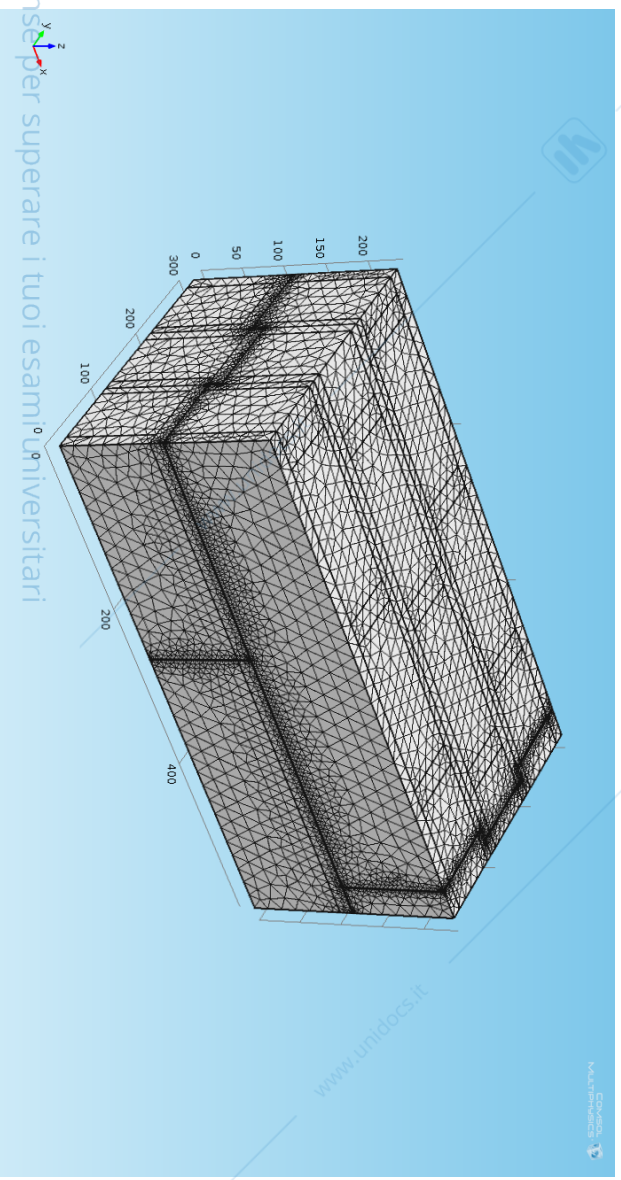


## MESH DEL MODELLO

Senza materiale interposto tra i  
vari blocchi (resina sintetica)



Con il materiale interposto tra i  
vari blocchi (resina sintetica)

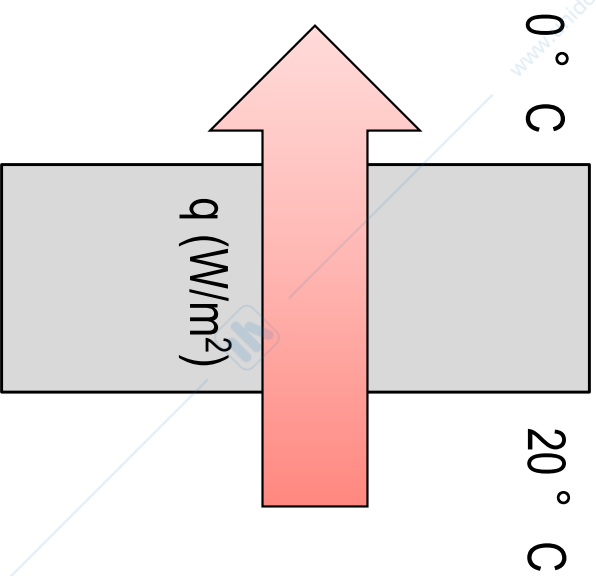




## SIMULAZIONE

Condizioni al contorno:

Le due superfici del componente sono soggette ad una temperatura costante e uniformemente distribuita. In questo caso, il componente è sottoposto ad una differenza di temperatura di 20 K.



Quando il regime diventa stazionario, la potenza dispersa dal componente è rappresentata da  $q\text{ (W/m}^2\text{)}$ .

La resistenza termica può essere calcolata da:  $R_{muro} = \frac{T_{si} - T_{se}}{q}$

e di conseguenza, la conduttività termica (equivalente) può essere ottenuta da:  $\lambda_{muro} = \frac{S_{muro}}{R_{muro}}$

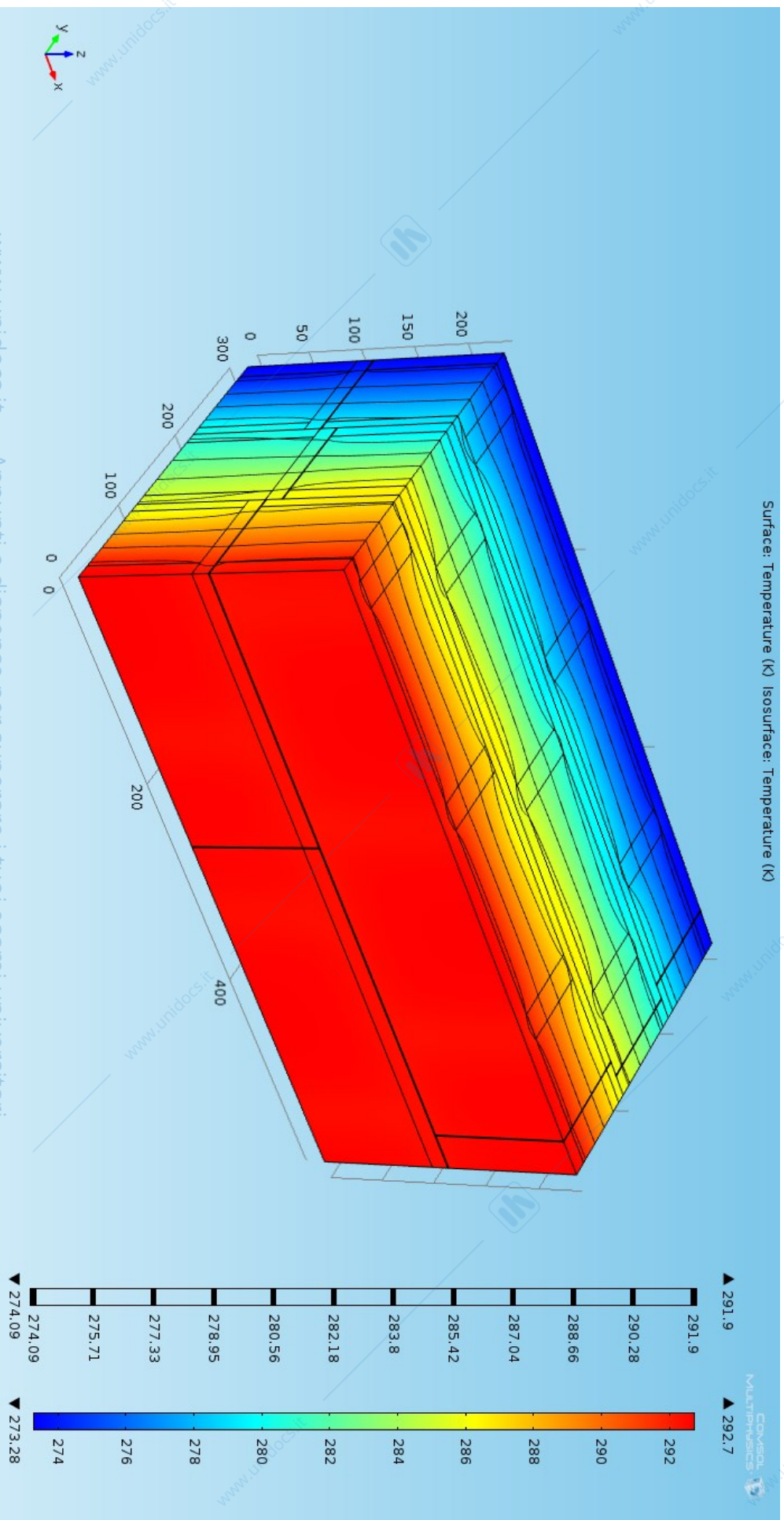


# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## SIMULAZIONE

Temperature isoterme del modello di calcolo.

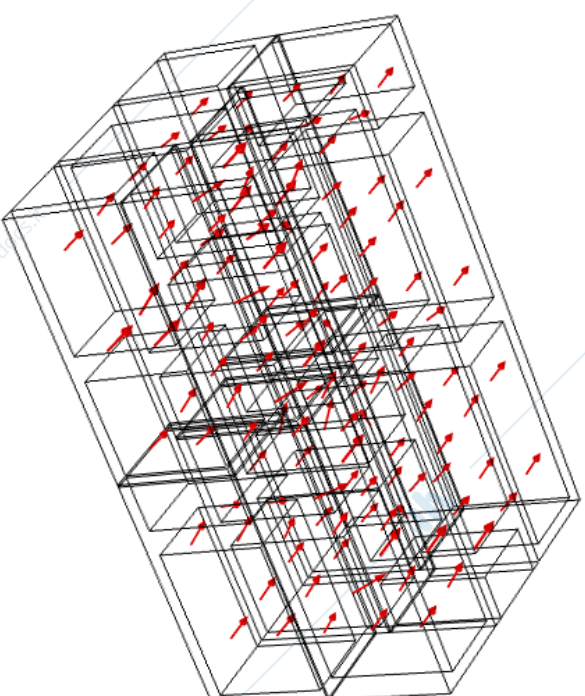
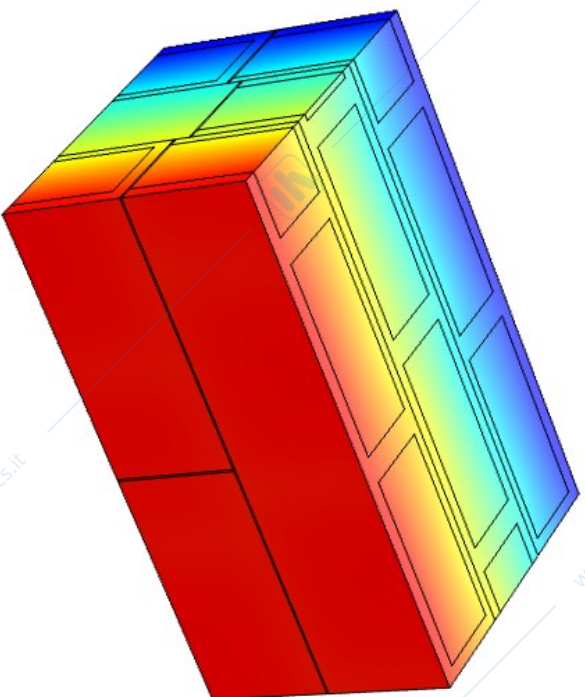




**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## **SIMULAZIONE**

Temperatura e flusso termico.



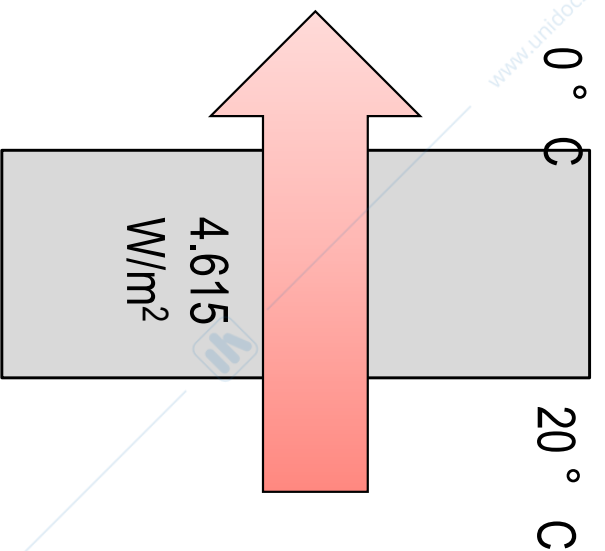
Andamento della temperatura nel blocco

Andamento della flusso termico nel blocco



## SIMULAZIONE: risultati

In queste condizioni, a regime viene dispersa una potenza termica pari a  $q = 4.615 \text{ W/m}^2$



La resistenza termica del blocco considerato diventa:

$$R_{muro} = \frac{T_{si} - T_{se}}{q} = \frac{20 - 0}{4.615} = 4.334 \text{ m}^2\text{K/W}$$

e di conseguenza si ottiene la conduttività termica (equivalente):

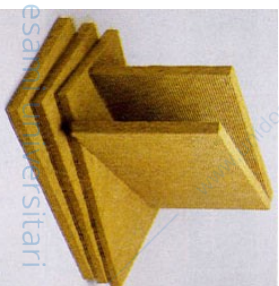
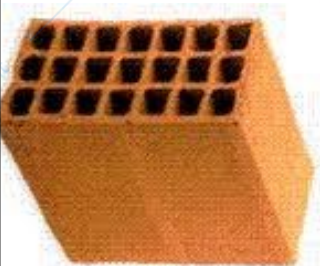
$$\lambda_{muro} = \frac{S_{muro}}{R_{muro}} = \frac{0.30}{4.334} = 0.069 \text{ W/mK} \longrightarrow \mathbf{0.070 \text{ W/mK}}$$

appr. per eccesso (UNI EN 1745-2012)



## CONDUCIBILITÀ TERMICA di alcuni materiali da costruzione

Materiale	Conducibilità termica (W/mK)
Rame	390
Marmo	3.50
Cemento armato	2.30
Malta di cemento	1.40
Vetro	1.00
Intonaco in calce	0.80
Mattone laterizio pieno	0.72
Intonaco in gesso	0.70
Mattone laterizio forato	0.43
Cartongesso	0.21
Legno	0.13
Lana di roccia	0.04
Polistirolo espanso	0.03

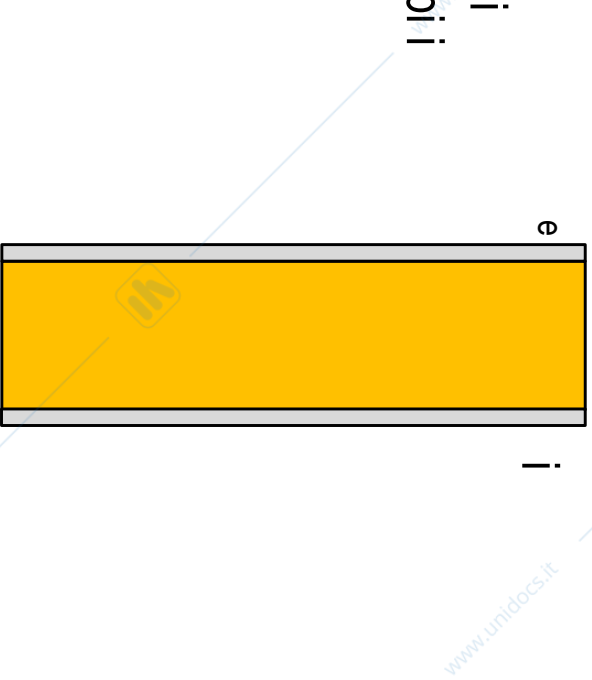




## A COSA SERVE?

Ipotizziamo di voler calcolare il valore della trasmittanza termica di una parete formata da questi blocchi di legno intonaca su entrambi i lati (intonaco: spessore= 2 cm,  $\lambda=0.9$  W/mK).

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{se} + R_{muro} + R_{si}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$



Resistenza superficiale esterna,  $R_{se}=0.04$  m<sup>2</sup>K/W (UNI EN ISO 6946 – 2008)

Resistenza muro= Resistenza intonaco esterno+Resistenza blocco di legno+Resistenza intonaco interno

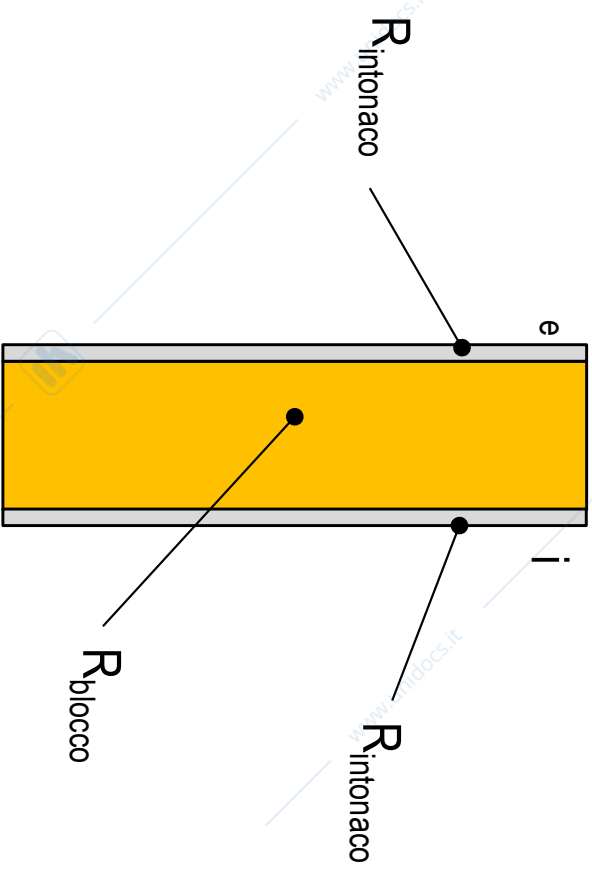
Resistenza superficiale interna,  $R_{si}=0.13$  m<sup>2</sup>K/W (UNI EN ISO 6946 – 2008)



## Resistenza termica del muro

$$R_i = \frac{S_i}{\lambda_i}$$

Resistenza termica di ogni strato



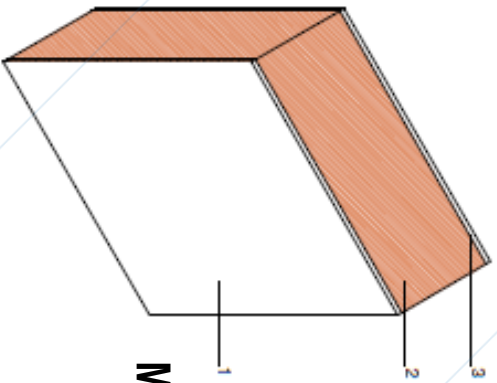
$$R_{muro} = \frac{S_{intonaco,est}}{\lambda_{intonaco,est}} + \frac{S_{blocco}}{\lambda_{blocco}} + \frac{S_{intonaco,int}}{\lambda_{intonaco,int}} = \frac{0.02}{0.90} + \frac{0.30}{0.070} + \frac{0.02}{0.90}$$

$$R_{muro} = 0.022 + 4.29 + 0.022 = 4.33 \quad \text{m}^2\text{K/W}$$

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{se} + R_{muro} + R_{si}} = \frac{1}{0.04 + 4.33 + 0.13} = 0.22 \quad \text{[W/m}^2\text{K]}$$

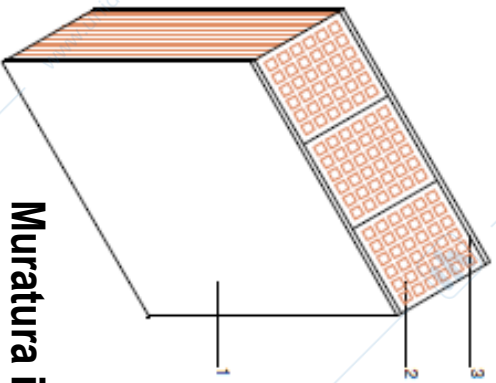


## Confronti con altri soluzioni di muratura



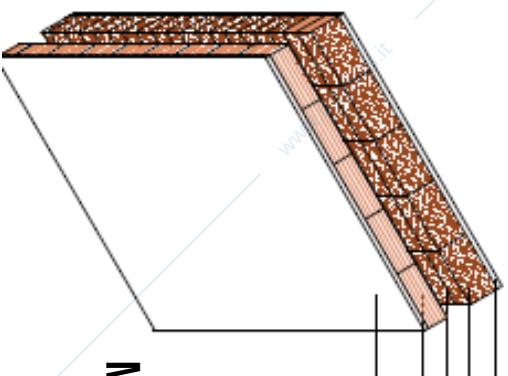
$$U = 2.58 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

**Muratura in mattoni pieni**



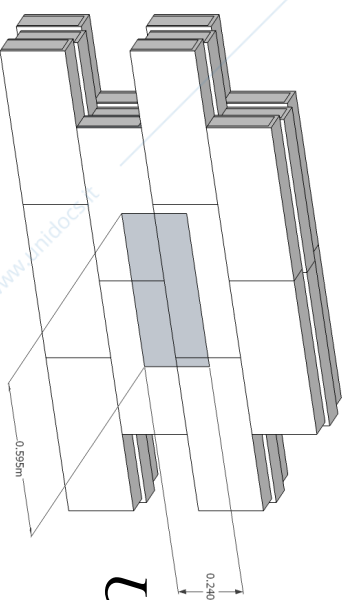
$$U = 0.90 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

**Muratura in blocchi forati**



$$U = 0.54 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

**Muratura con isolante termico**



$$U = 0.22 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

**Muratura in blocchi di legno isolati**



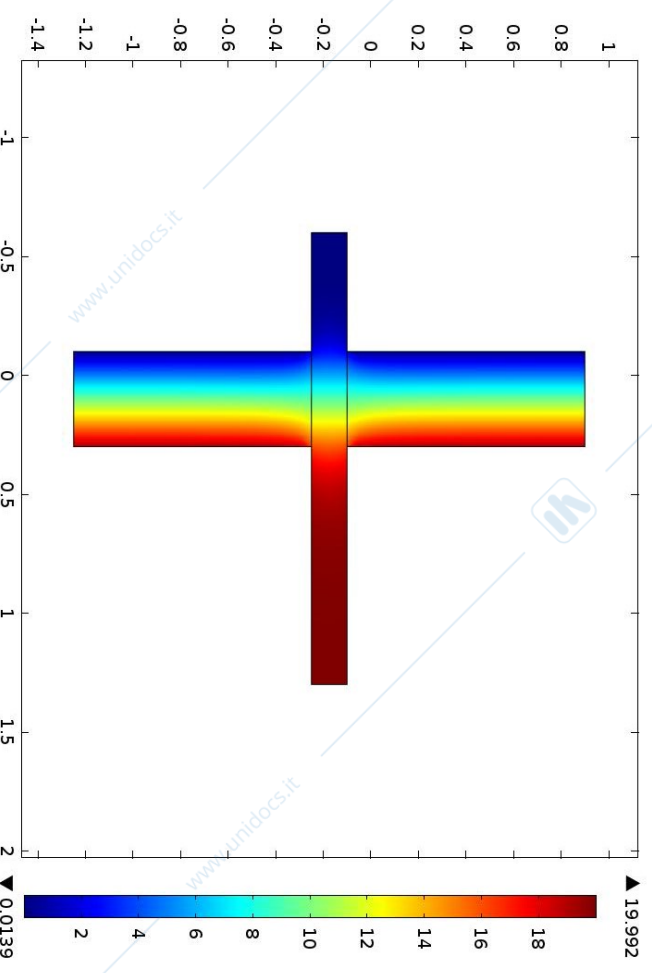
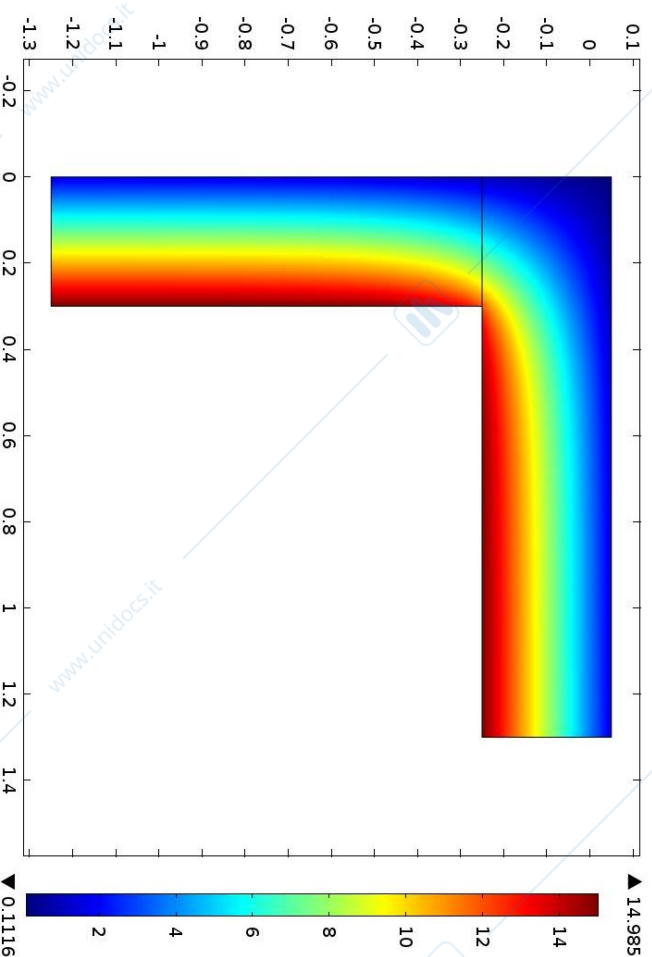
**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# PONTI TERMICI



## PONTI TERMICI: definizione

La causa del ponte termico può essere dovuta o ad una discontinuità geometrica (elemento costruttivo che differisce dalla forma piana) o ad una discontinuità del materiale (elemento costruttivo con elevata conducibilità termica).





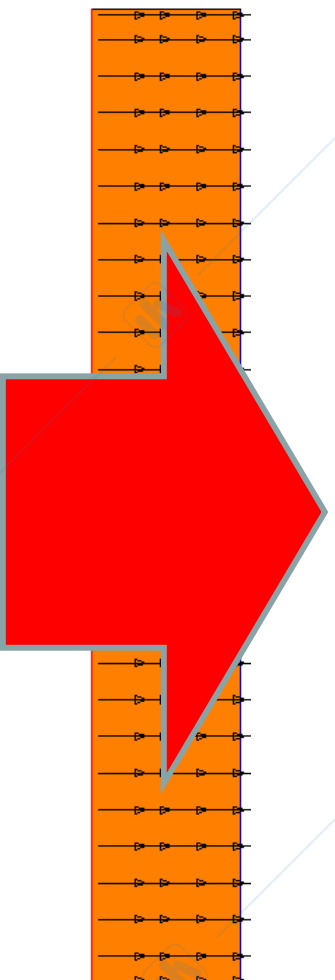
## PONTI TERMICI: definizione

1	0.9
2	3.3
3	5.6
4	8.0
5	10.4
6	12.7
7	15.1
8	17.5
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	

$0.7^{\circ}\text{C}$

$$U = 0.90 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$17.7^{\circ}\text{C}$



$$\dot{Q} = 36.2 \text{ W}$$



# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

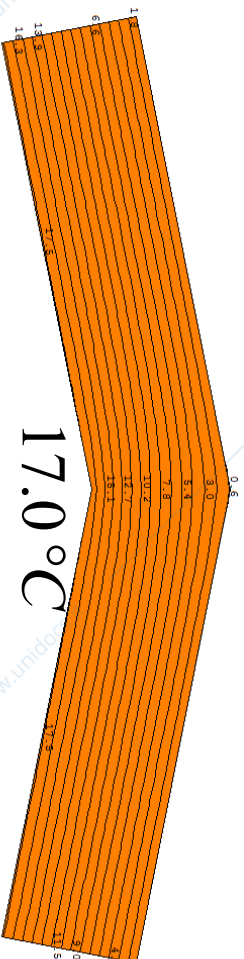
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

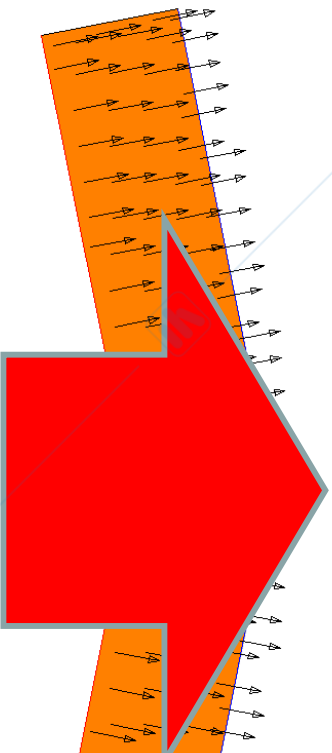


## PONTI TERMICI: definizione

0.4 °C



17.0 °C

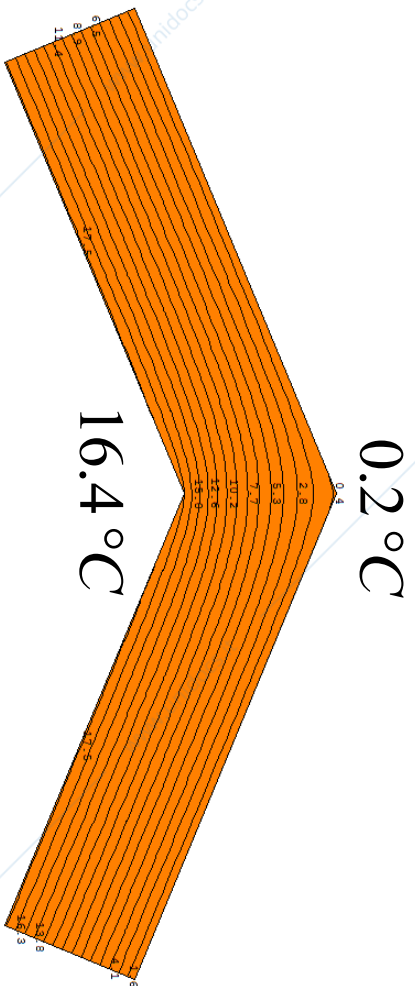


$\dot{Q} = 36.9 \text{ W}$

+2 %



## PONTI TERMICI: definizione

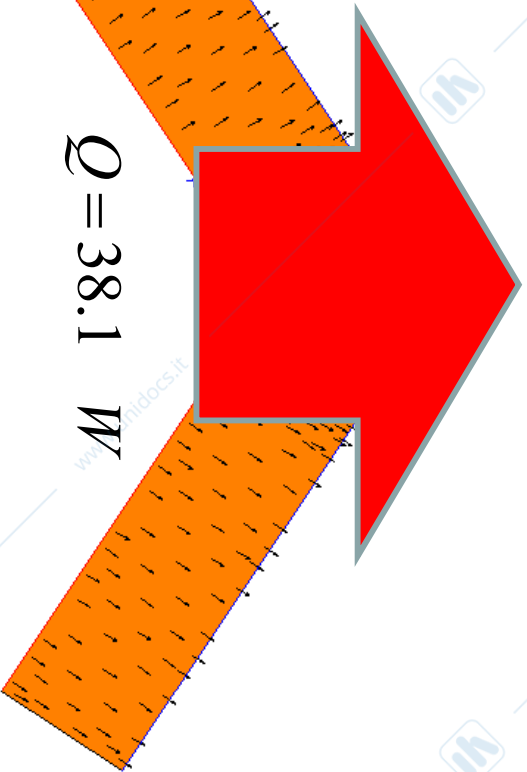
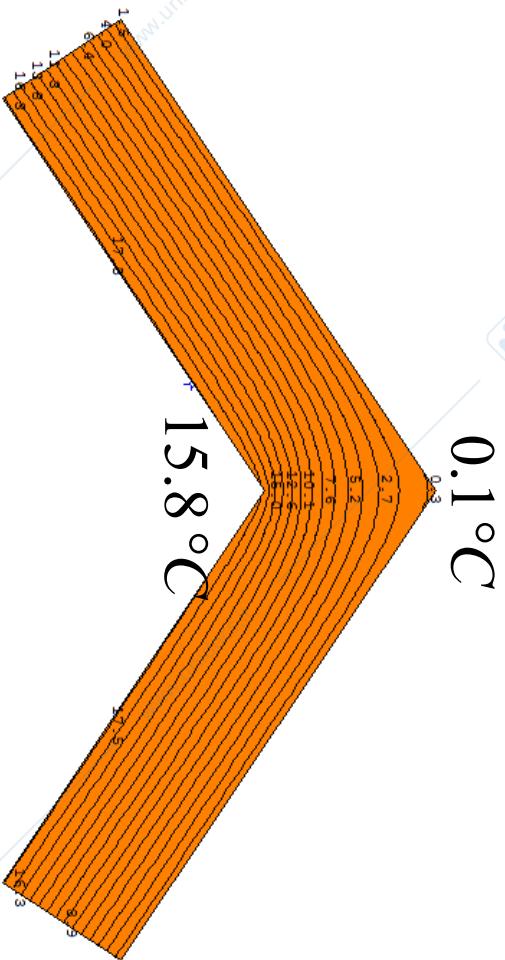




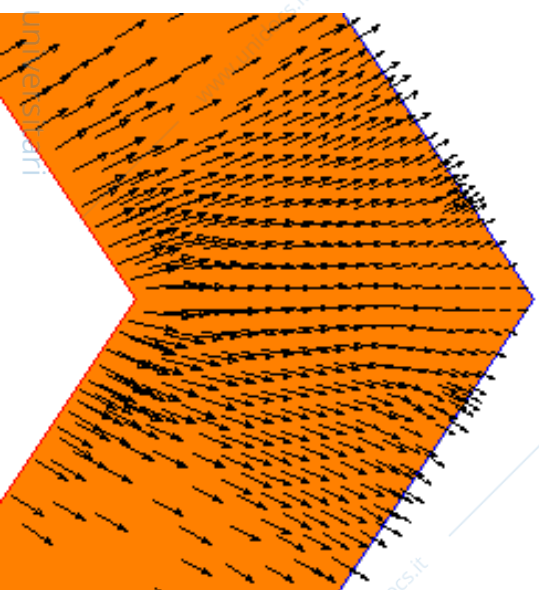
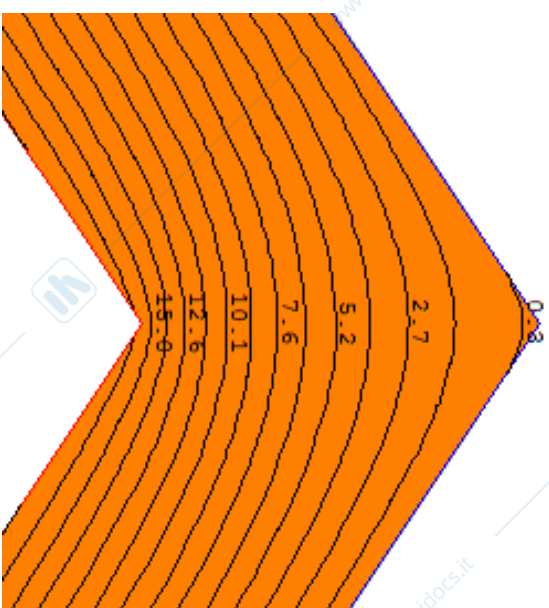
# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari



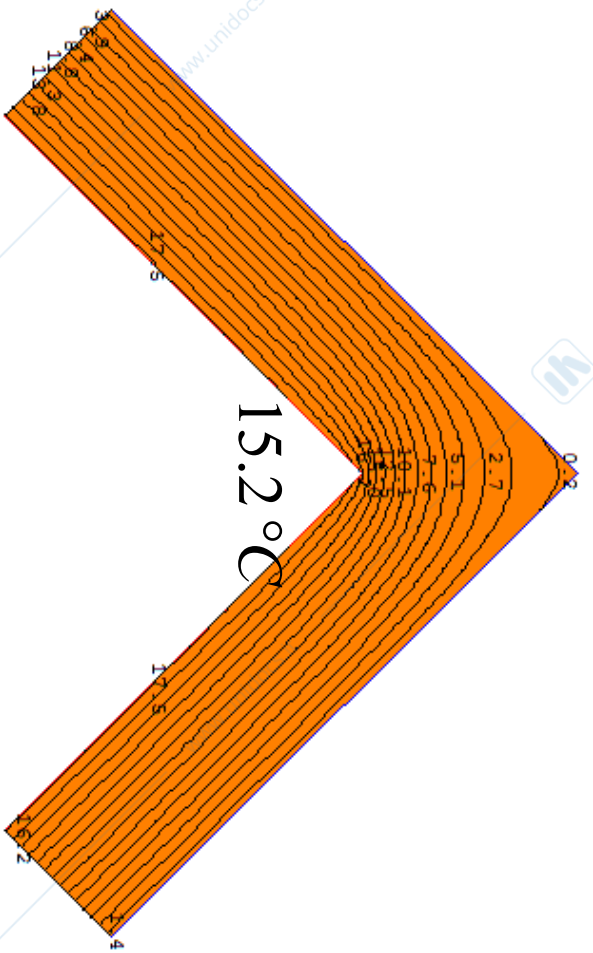
+5%



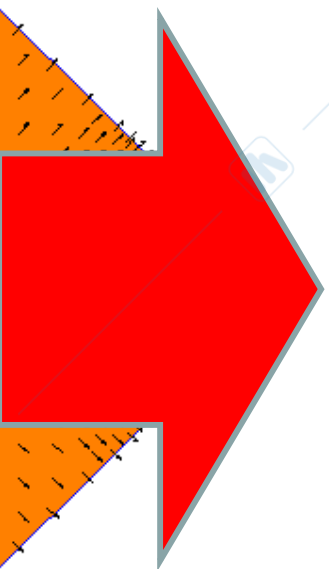
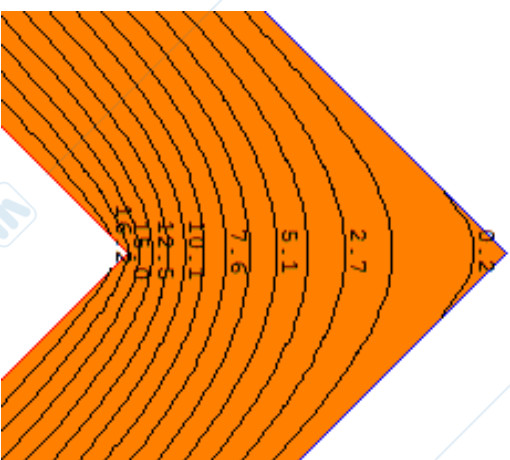


CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

0.0 °C

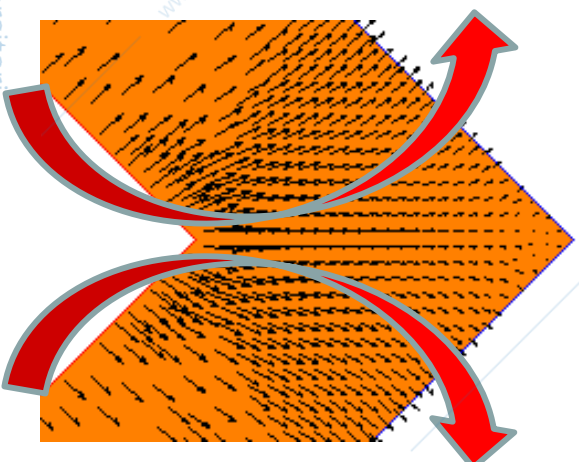


15.2 °C



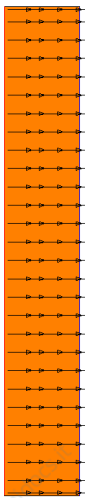
$\dot{Q} = 38.6 \text{ W}$

+7 %

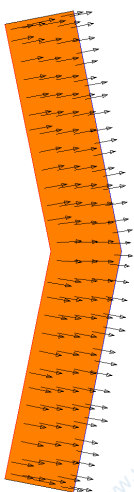




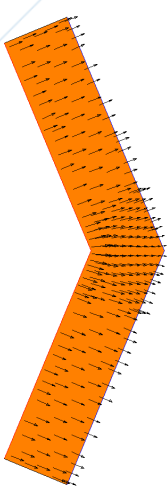
## PONTI TERMICI: definizione



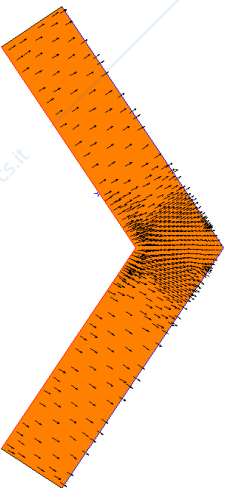
$$\dot{Q} = 36.2 \quad W$$



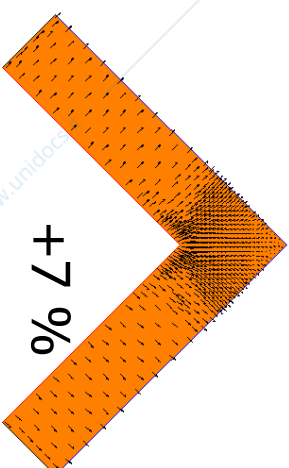
$$\dot{Q} = 36.9 \quad W$$



$$\dot{Q} = 37.6 \quad W$$



$$\dot{Q} = 38.1 \quad W$$

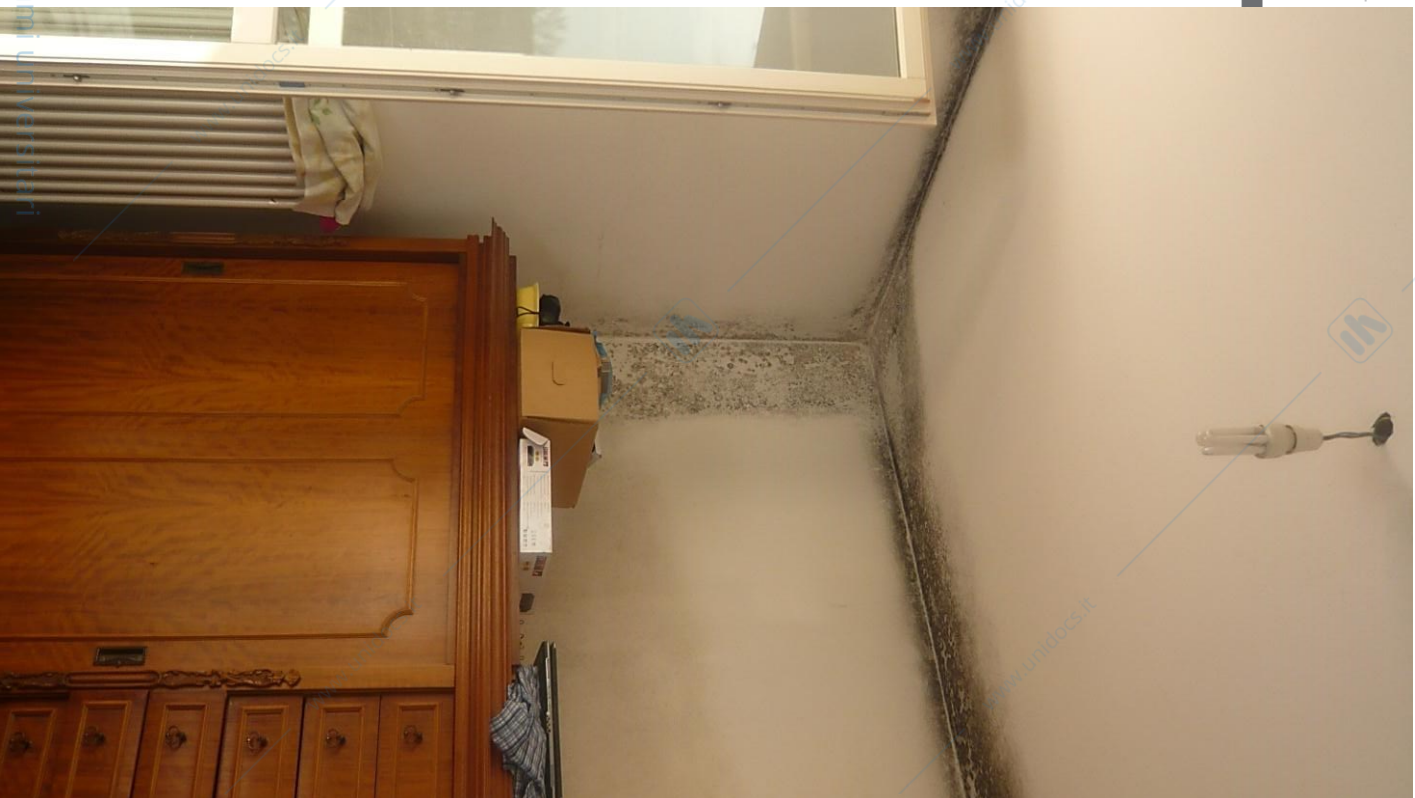
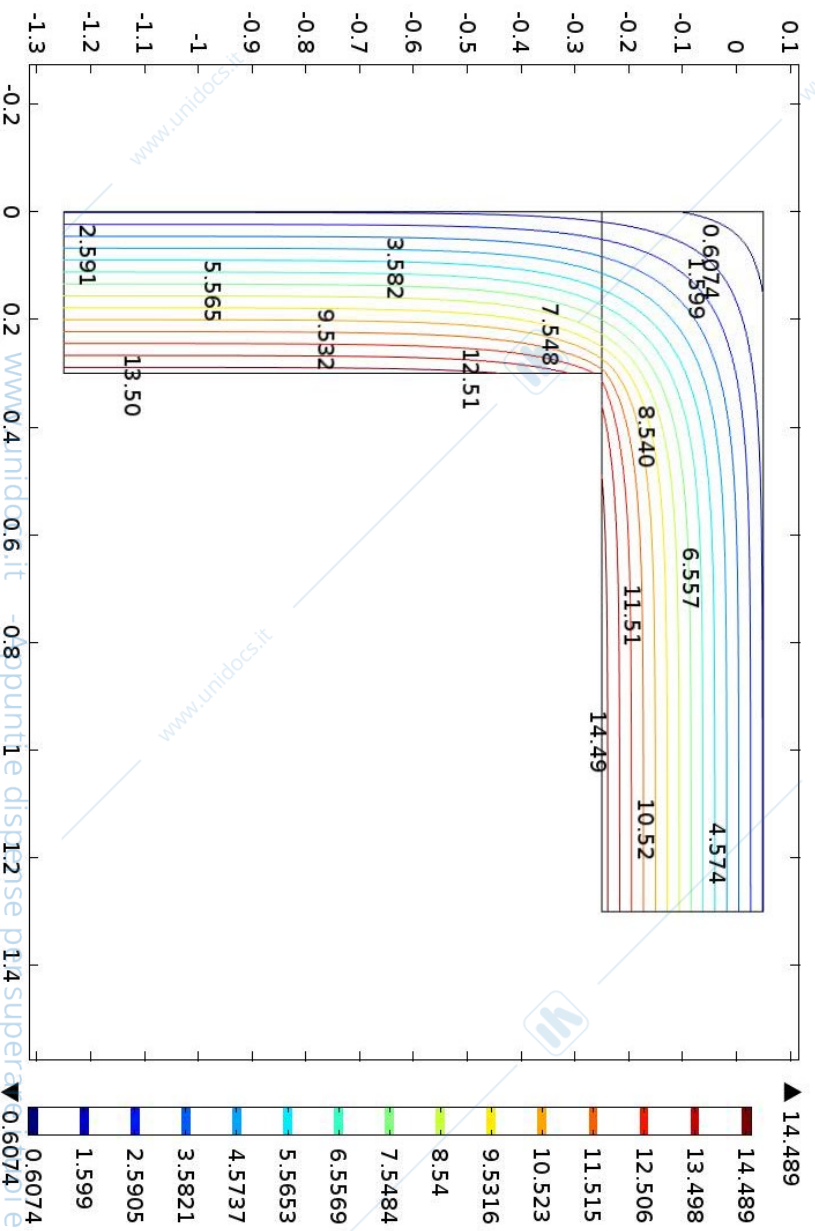


$$\dot{Q} = 38.6 \quad W$$



## PONTI TERMICI: conseguenze

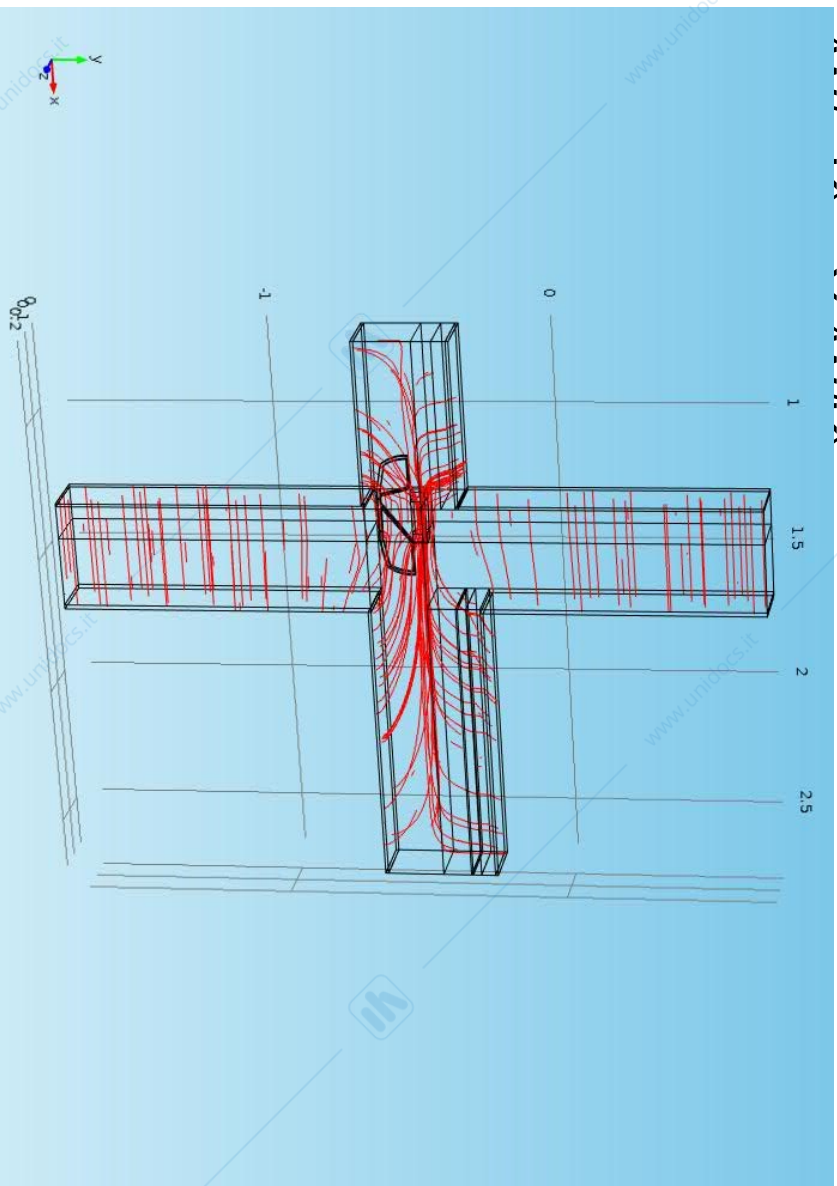
I principali effetti dei ponti termici sono rappresentati da un calo delle temperature superficiali in prossimità del ponte termico e da una riduzione dell'isolamento termico della chiusura edilizia. In molti casi, entrambi gli effetti portano alla formazione di muffe e fenomeni di condensazione superficiale sull'involucro edilizio.



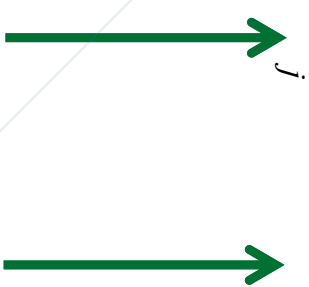


## PONTI TERMICI: trasmissioni lineiche e puntuali

Gli effetti dei ponti termici possono essere rappresentate, in maniera qualitativa dalle linee di flusso termico ed in maniera quantitativa dalle trasmissioni termiche  $\psi$



$$H_D = \sum_i U_i \cdot A_i + \sum_j \psi_j \cdot l_j + \sum_k \chi_k$$



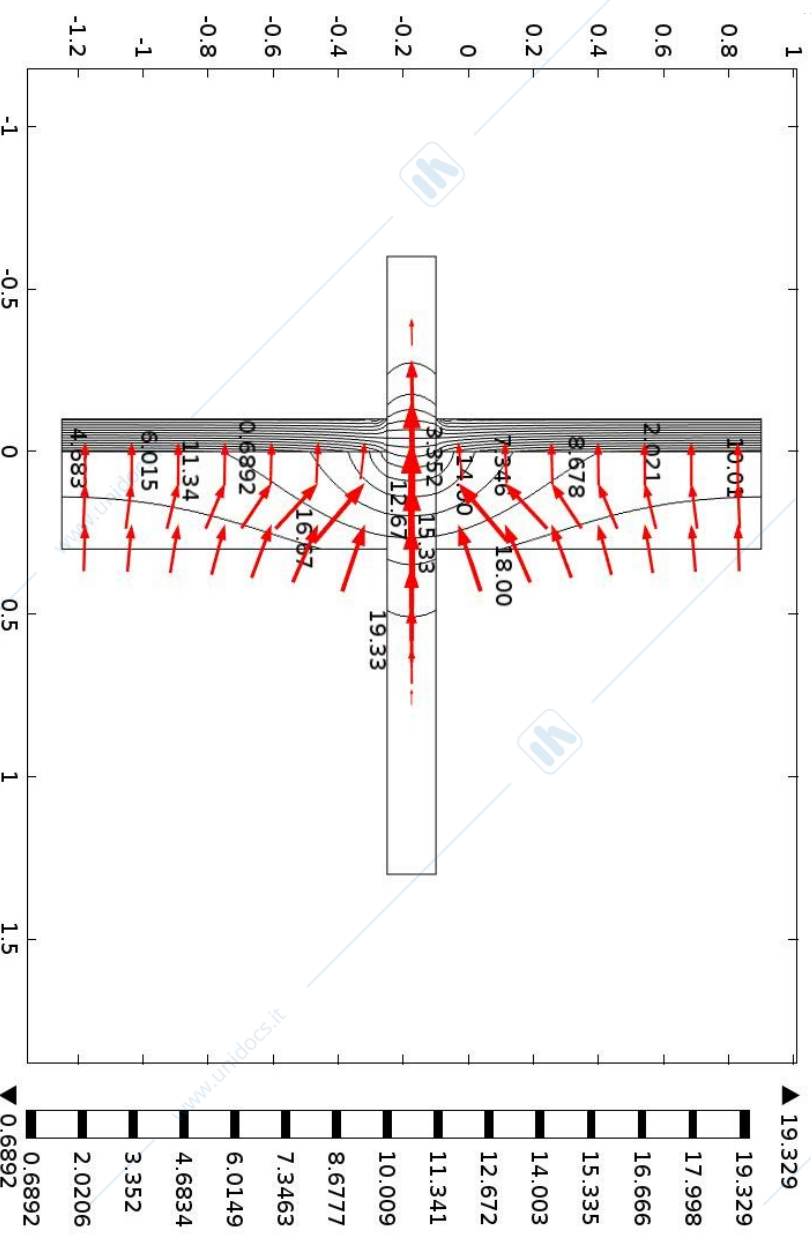
La trasmittanza termica lineica  $\psi$  (W/mK) rappresenta la perdita aggiuntiva di calore per metro lineare. La trasmittanza termica puntuale  $\chi$  (W/K) rappresenta la perdita aggiuntiva di calore puntuale.



## PONTI TERMICI: metodo di calcolo analitico

Il calcolo teorico di questi parametri può essere eseguito solo attraverso l'ausilio di un'analisi agli elementi finiti. Il metodo e le condizioni al contorno, nonché le regole per la geometria del ponte termico, sono riportate nella norma UNI EN ISO 10211

Il calcolo agli elementi finiti fornisce sia i parametri quantitativi sia la distribuzione delle linee di flusso termico e la distribuzione della temperatura dell'elemento analizzato.



Attraverso le linee di flusso è possibile individuare le vie con maggiore perdita di calore e di conseguenza i punti più deboli sotto il profilo termico di una chiusura, ossia i ponti termici.

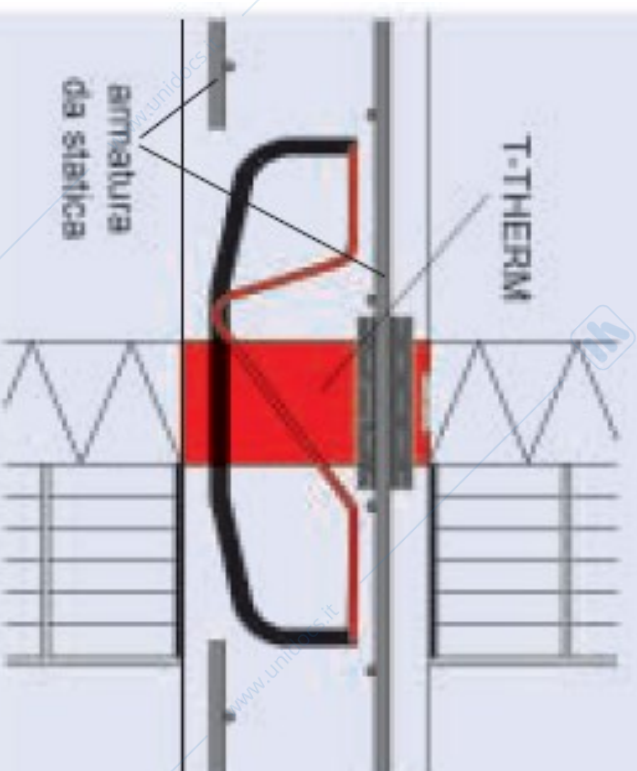


**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## PONTI TERMICI: come evitare un ponte termico



**SBALZO**

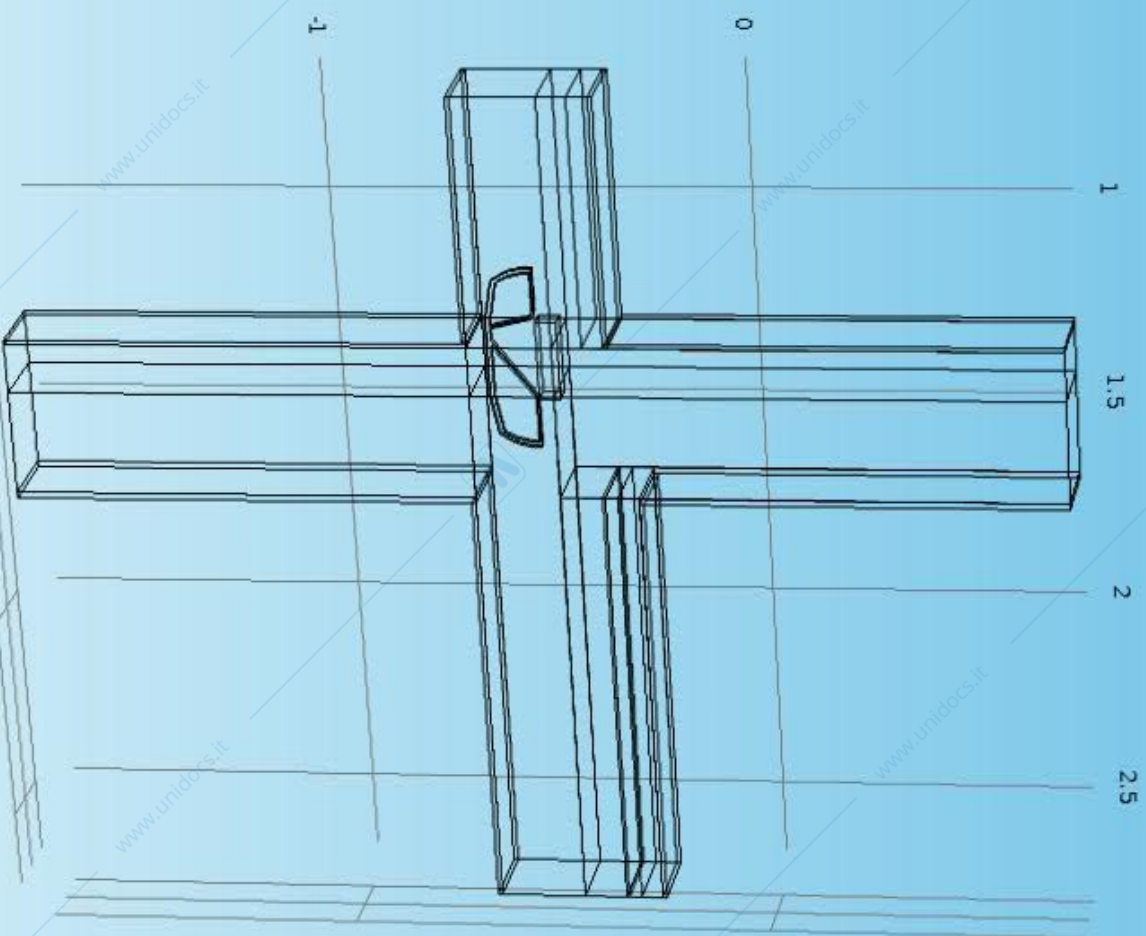




# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE

**PONTI TERMICI: come evitare un ponte termico**

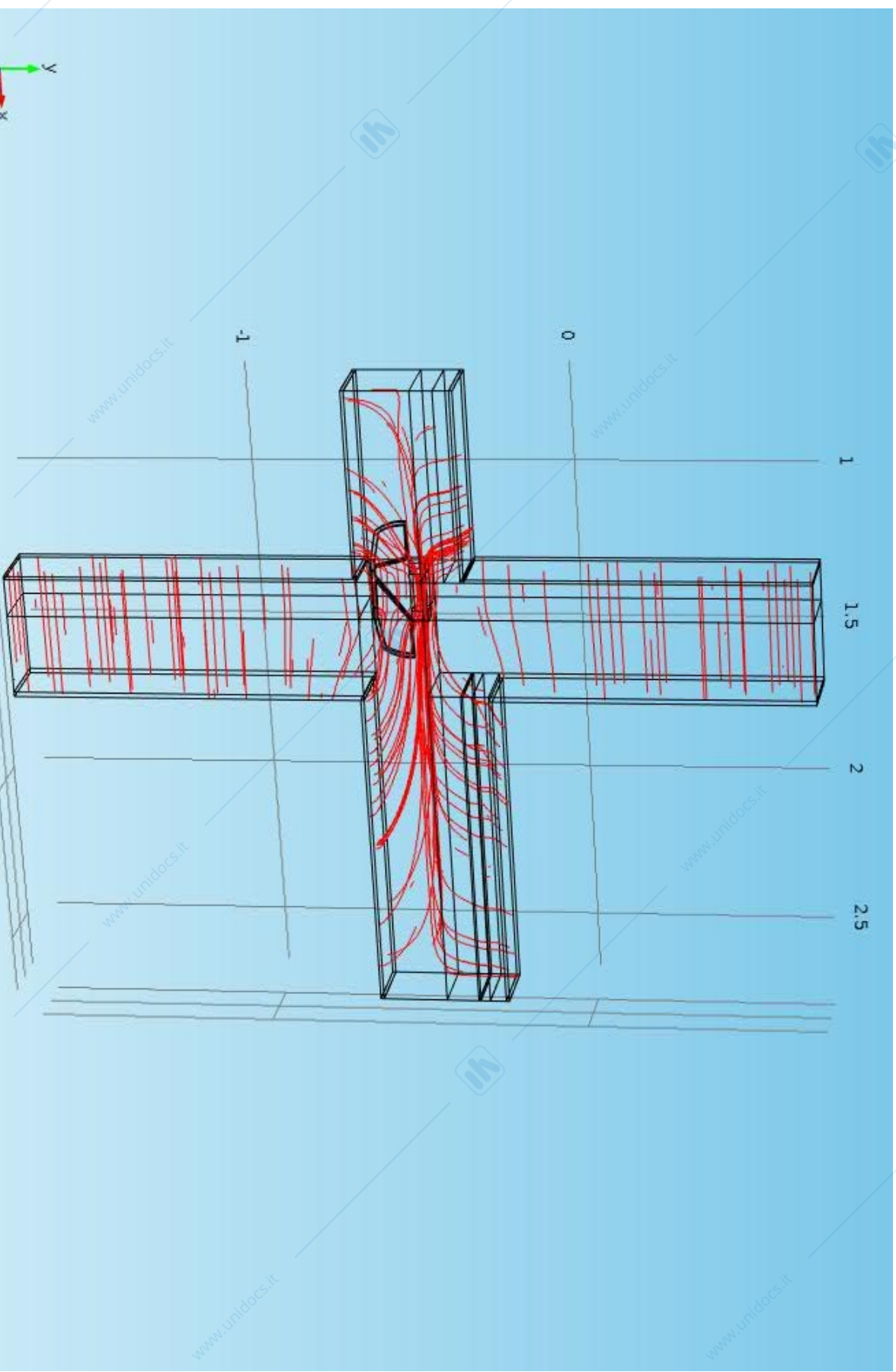




# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

## CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE

### **PONTI TERMICI: come evitare un ponte termico**

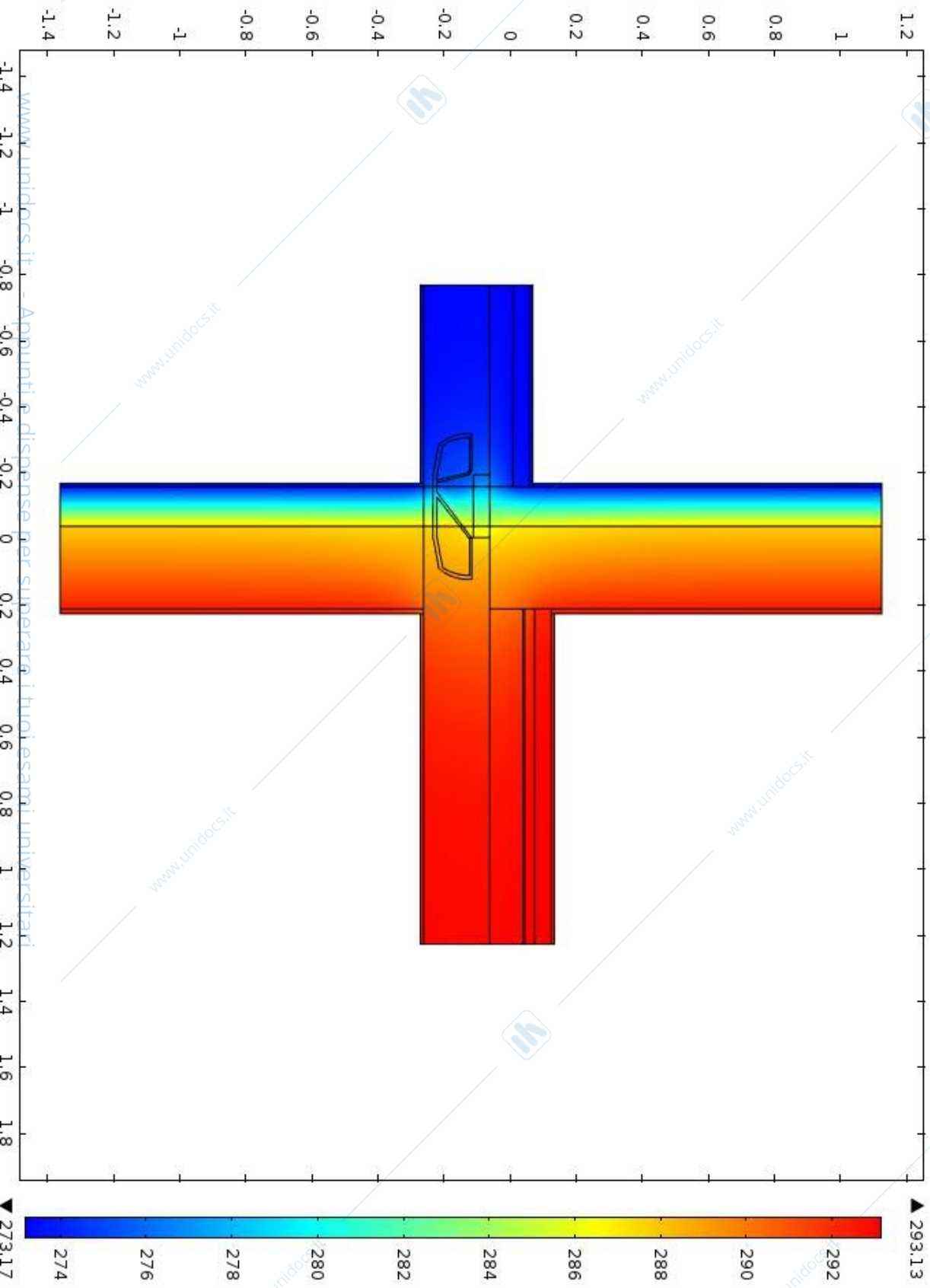




# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE

## PONTI TERMICI: come evitare un ponte termico





**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

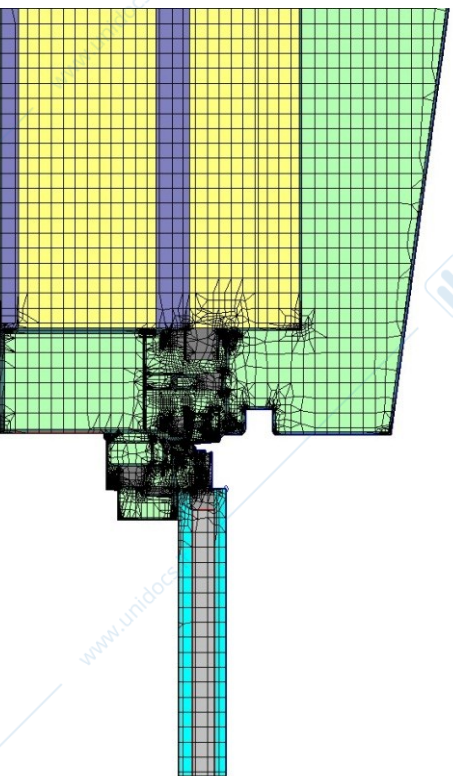
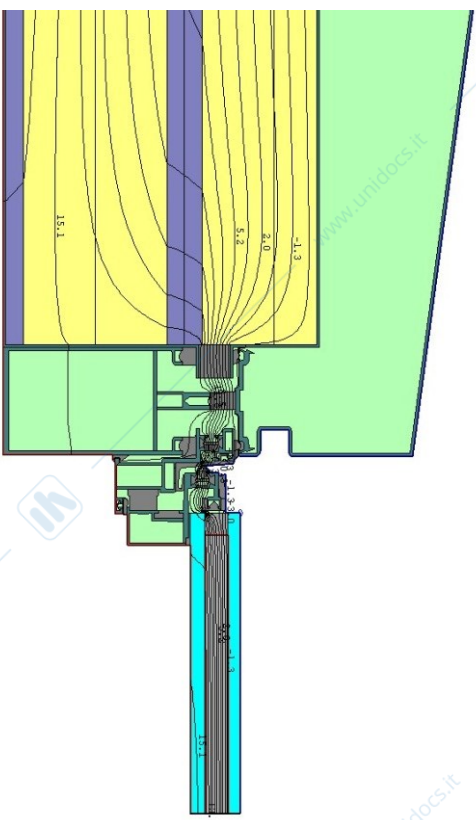
# INFISSI



# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

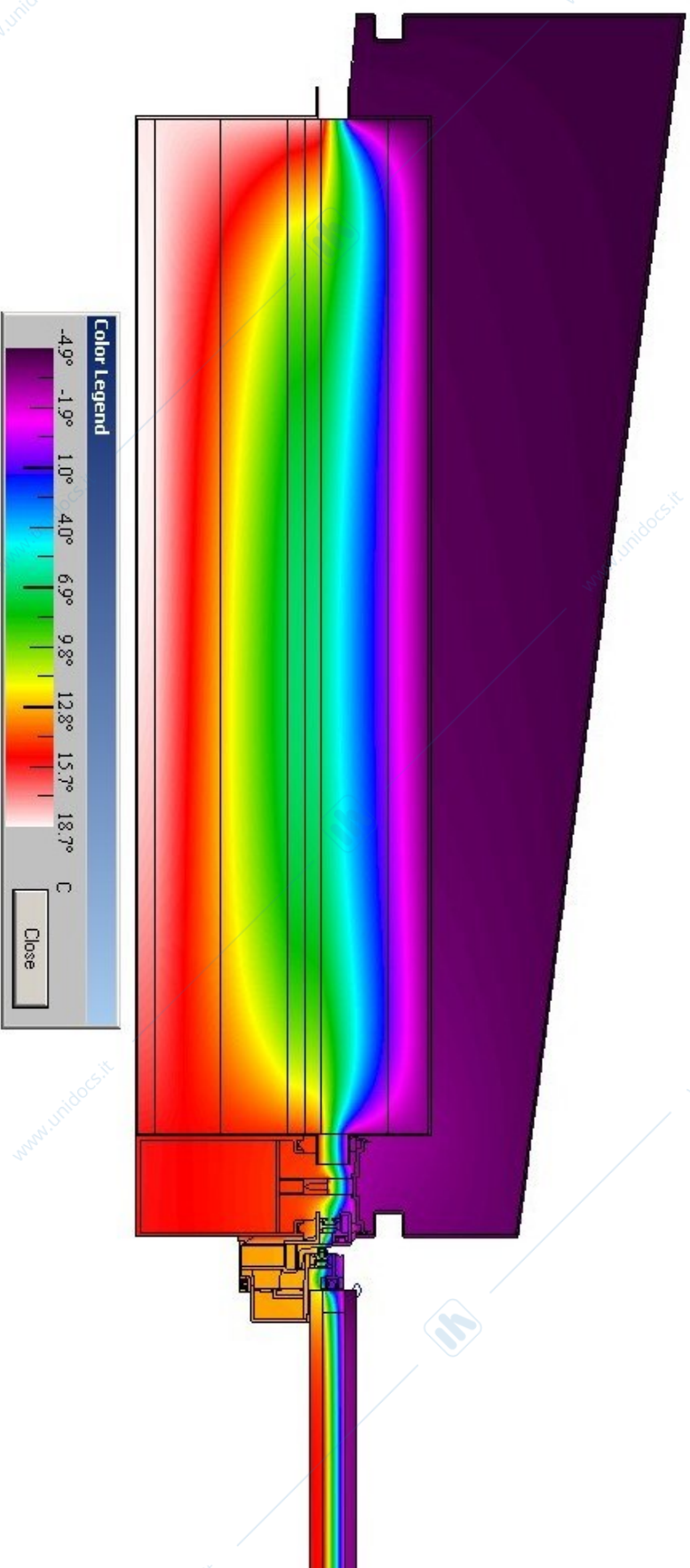




# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari





**CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI**  
CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## Riferimenti normativi

- UNI EN 1745:2012 “Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare i valori termici”
- UNI EN ISO 10456:2008 “Materiali e prodotti per edilizia – Proprietà igrometriche – Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto”
- UNI EN ISO 6946:2008 “Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo”
- UNI EN ISO 10211/2008 (Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati)



# CIRI • EDILIZIA E COSTRUZIONI

CENTRO INTERDIPARTIMENTALE PER LA RICERCA INDUSTRIALE  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

## Laboratorio di Termotecnica **exDIENCA**:

Direttore : Prof. Ing. Gian Luca Morini

## Laboratorio di **Acustica**:

Direttore: Prof. Massimo Garai

Via Terracini 34, 40128 Bologna (Italy)



Ing. Cosimo Marinosci, Ph.D

[cosimo.marinosci@unibo.it](mailto:cosimo.marinosci@unibo.it)

Ricercatore a tempo determinato

<http://www.unibo.it/docenti/cosimo.marinosci>

DIN - Dipartimento di Ingegneria Industriale - Scuola di Ingegneria e Architettura  
Università di Bologna  
ALMA MATER STUDIORUM

Viale del Risorgimento 2, 40136 Bologna - <http://www.ingegneriaindustriale.unibo.it>

CIRI - Edilizia e Costruzioni

phone: +39 051 2090566

Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale

Fax: +39 051 2090544

Via del Lazzaretto 15/5, 40131 Bologna

<http://www.edilizia-costruzioni.unibo.it>