

# Recupero energetico di edifici tradizionali

Strumenti e tecniche



dott. arch. Julia, Ratajczak M.Sc.

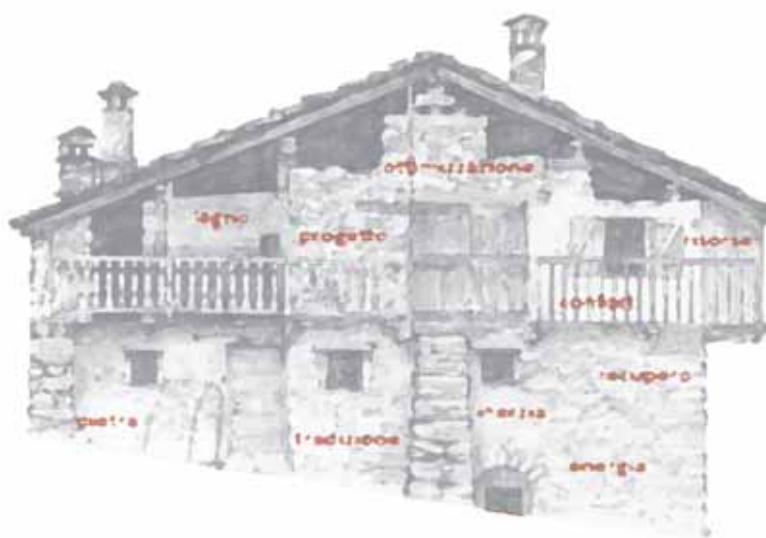
Salone polifunzionale "Grand Place", Pollein (AO), 5 novembre 2013



AlpHouse.eu  
tradition | competence | innovation



Il "Quaderno per il recupero energetico": le schede di analisi dei nodi costruttivi



AlpHouse.eu  
tradition | competence | innovation



In collaborazione con  
Fraunhofer Italia Research:



Con il patrocinio di Ordini e Collegi professionali  
della Regione Autonoma Valle d'Aosta:



### Le schede di analisi dei nodi costruttivi

#### Analisi stato di fatto

**N2a** Chiusure verticali opaca - Solai verso spazio non riscaldate

**Descrizione del componente**

Il nodo analizzato è quello di collegamento tra un pilastro di cemento armato e un solaio in calcestruzzo con un sistema di isolamento termico a cappotto in esterne e in interne. Il nodo è stato modellato in base al piano di lavoro della struttura, presentando una sezione di riferimento.

**Applicazione 3D**

**Legenda**

- 1 - CIRCUILO CENTRALE (CICLO 100)
- 2 - SOLAI VERSO SPAZIO NON RISCALDATE (CICLO 100)

PRODOTTORE	PRODOTTORE	PRODOTTORE	PRODOTTORE
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

**ANALISI STATO DI FATTO**

**N2a** Chiusure verticali opaca - Solai verso spazio non riscaldate

**Configurazione del nodo**

**Legenda**

- 1 - CIRCUILO CENTRALE (CICLO 100)
- 2 - SOLAI VERSO SPAZIO NON RISCALDATE (CICLO 100)

**Analisi termomeccanica - deformazione**

**Nota**

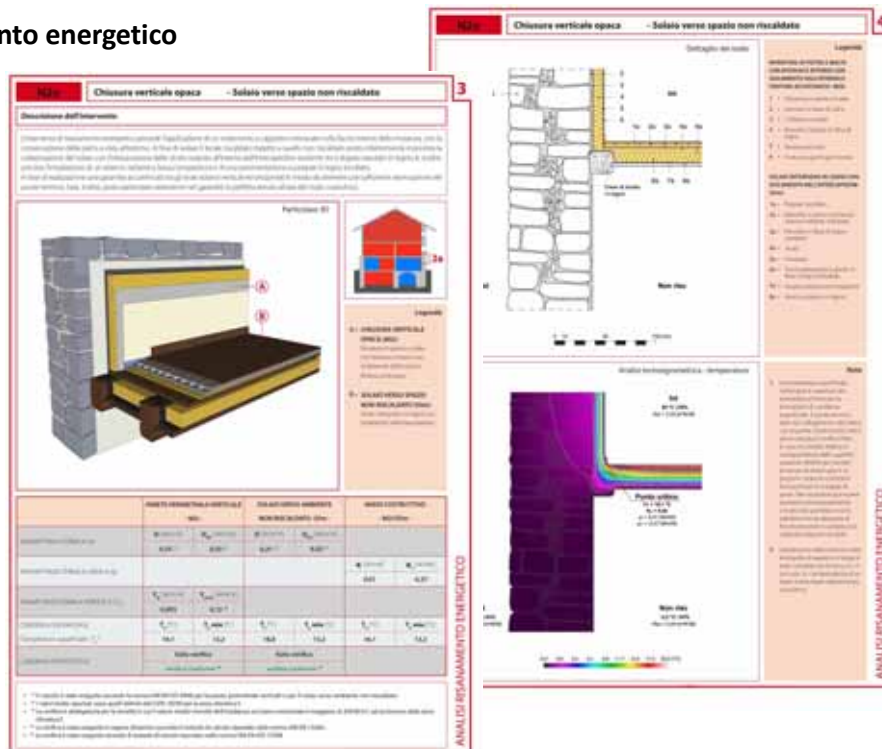
1. L'analisi termomeccanica è stata eseguita considerando il nodo in condizioni di stato di fatto.
2. L'analisi termomeccanica è stata eseguita considerando il nodo in condizioni di stato di fatto.
3. L'analisi termomeccanica è stata eseguita considerando il nodo in condizioni di stato di fatto.
4. L'analisi termomeccanica è stata eseguita considerando il nodo in condizioni di stato di fatto.

**ANALISI STATO DI FATTO**

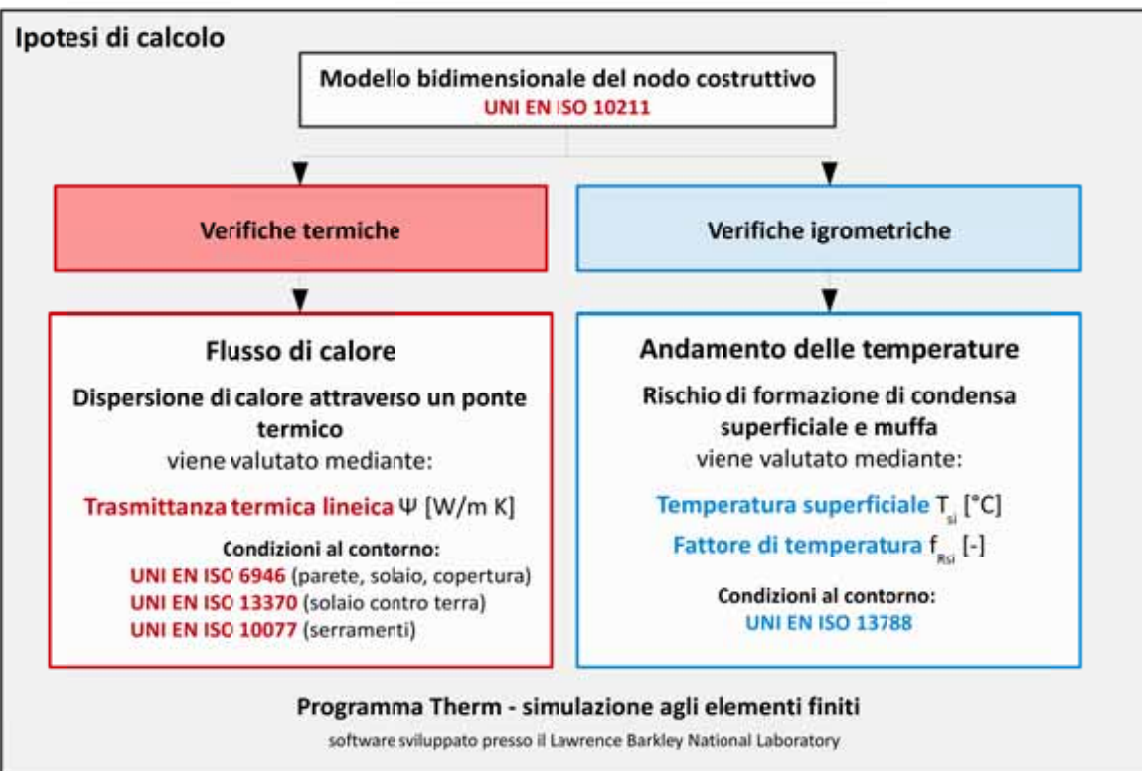


## Le schede di analisi dei nodi costruttivi

### Analisi risanamento energetico



## Le schede di analisi dei nodi costruttivi



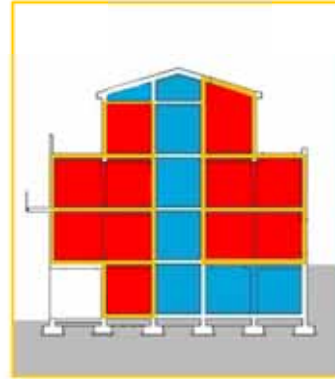
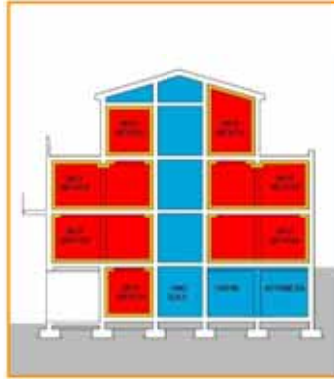
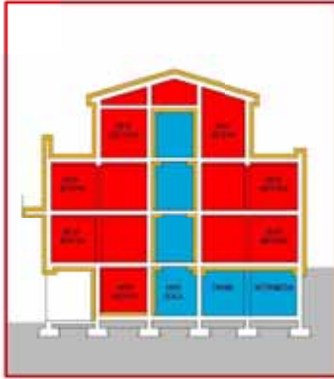
Tecniche di intervento

Isolamento termico

Isolamento esterno  
(sistema a cappotto)

Isolamento interno

Isolamento  
nell'intercapedine



Guida alla consultazione

Scheda 1 – Nodi costruttivi

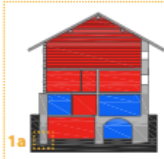
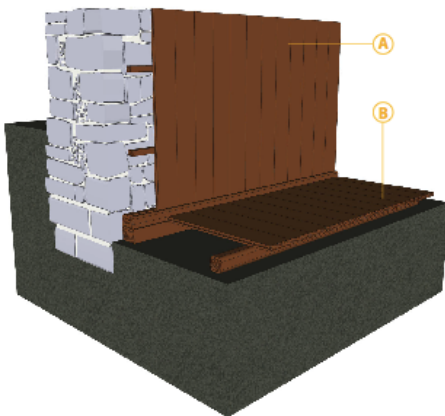
**N1a** Chiusura verticale opaca (M3) - Solaio contro terra (S7)

1

Descrizione del componente

Il nodo costruttivo analizzato, appartenente ad un edificio classificato di pregio, è collocato in corrispondenza di un attacco a terra e costituisce l'intersezione tra una muratura in pietra e malta con rivestimento interno a tavole verticali in legno ed un solaio contro terra con intercapedine e tavolato in legno. Le travi in legno appoggiate al suolo separano la pavimentazione in legno dal terreno, proteggendola dall'umidità.

Particolare 3D



Legenda

- A - CHIUSURA VERTICALE OPACA (M3)**  
Muratura in pietra e malta con rivestimento interno in legno
- B - SOLAIO CONTRO TERRA (S7)**  
Solaio contro terra con intercapedine e tavolato in legno



Analisi stato di fatto

Scheda 1 – Nodi costruttivi



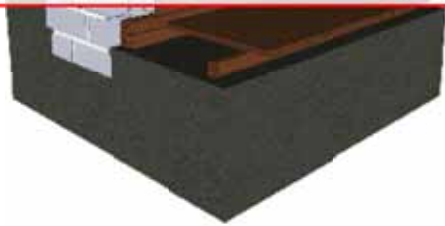
Analisi: stato di fatto

**N1a** Chiusura verticale opaca (M3) - Solaio contro terra (S7)

Descrizione del componente

**Codice della scheda**

- **N1a** Chiusura verticale opaca – Solaio contro terra
- **N2a** Chiusura verticale opaca – Solaio verso spazio non riscaldato
- **N2b** Chiusura verticale opaca – Solaio verso spazio non riscaldato
- **N3a** Chiusura verticale opaca – Serramento
- **N4a** Chiusura verticale opaca – Copertura
- **N4b** Chiusura verticale opaca – Copertura



OPACA (M3)  
Mancatura di pietra e malta con  
trasmissione interna in legno

S - SOLAIO CONTRO  
TERRA (S7)  
Solaio contro terra con  
infissi opacine e battenti in  
legno

Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

**N1a** Chiusura verticale opaca (M3) - Solaio contro terra (S7)

Descrizione del componente

**Nome del componente e numero della scheda**

Descrizione sintetica del nodo costruttivo con l'indicazione del codice che rimanda alle schede dell'elemento costruttivo:

- M chiusure verticali opache
- S divisori orizzontali
- T coperture



OPACA (M3)  
Mancatura di pietra e malta con  
trasmissione interna in legno

S - SOLAIO CONTRO  
TERRA (S7)  
Solaio contro terra con  
infissi opacine e battenti in  
legno

Scheda 1 – Nodi costruttivi

N1a **Chiusura verticale opaca (M3) - Solaio contro terra (S7)**

**Descrizione del componente**

Il nodo costruttivo analizzato, appartenente ad un edificio classificato di pregio, è collocato in corrispondenza di un attacco a terra e costituisce l'intersezione tra una muratura in pietra e malta con rivestimento interno a tavole verticali in legno ed un solaio contro terra con intercapedine e tavolato in legno. Le travi in legno appoggiate al suolo separano la pavimentazione in legno dal terreno, proteggendola dall'umidità.

**Descrizione del componente**

**Descrizione del nodo costruttivo con riferimenti a:**

- contestualizzazione storica del nodo
- materiali
- tecnica costruttiva



Particolare 3D

**Legenda**

**A - CHIUSURA VERTICALE OPACA (M3)**  
Muratura in pietra e malta con rivestimento interno in legno

**B - SOLAIO CONTRO TERRA (S7)**  
Solaio contro terra con intercapedine e tavolato in legno



Analisi stato di fatto

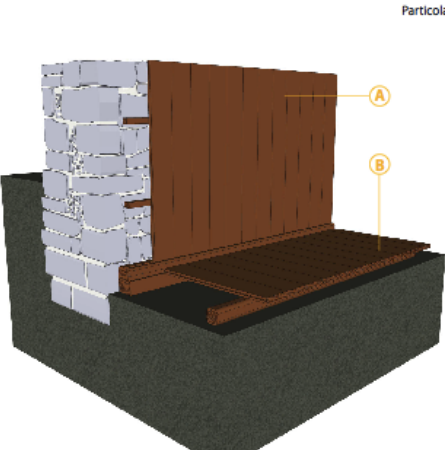
Scheda 1 – Nodi costruttivi

N1a **Chiusura verticale opaca (M3) - Solaio contro terra (S7)**

**Descrizione del componente**

Il nodo costruttivo analizzato, appartenente ad un edificio classificato di pregio, è collocato in corrispondenza di un attacco a terra e costituisce l'intersezione tra una muratura in pietra e malta con rivestimento interno a tavole verticali in legno ed un solaio contro terra con intercapedine e tavolato in legno. Le travi in legno appoggiate al suolo separano la pavimentazione in legno dal terreno, proteggendola dall'umidità.

**Particolare 3D**



**Legenda**

**A - CHIUSURA VERTICALE OPACA (M3)**  
Muratura in pietra e malta con rivestimento interno in legno

**B - SOLAIO CONTRO TERRA (S7)**  
Solaio contro terra con intercapedine e tavolato in legno



Analisi stato di fatto

**Particolare 3D**

Posizione del nodo nello schema del modello edilizio

**Legenda** con l'indicazione degli elementi costruttivi

Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi stato di fatto

	PARETE PERIMETRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
	$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	$U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	$U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$\psi_i$ (W/m <sup>2</sup> K)	$\psi_e$ (W/m <sup>2</sup> K)
TRASMITTANZA TERMICA (U)	1,03 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,78 <sup>3)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>	0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA ( $\psi$ )						
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA ( $Y$ )	$Y_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Y_{lim,lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)				
	0,015	0,12 <sup>2)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - $T_s$ )	$T_s$ (°C)	$T_{s,min}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_{s,min}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_{s,min}$ (°C)
	17,0	13,2	17,1	13,2	15,6	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica		Esito verifica			
	verifica conforme <sup>2)</sup>		verifica conforme <sup>2)</sup>			

- <sup>1)</sup> Il calcolo è stato eseguito secondo la norma UNI EN ISO 6946 per la parete perimetrale verticale e secondo la norma UNI EN ISO 13370 per il solaio contro terra.
- <sup>2)</sup> I valori limite riportati sono quelli definiti dal D.P.R. 59/09 per la zona climatica F.
- <sup>3)</sup> La verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica F.
- <sup>4)</sup> La verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi stato di fatto

	PARETE PERIMETRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
	$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	$U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$U$ (W/m <sup>2</sup> K)	$U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$\psi_i$ (W/m <sup>2</sup> K)	$\psi_e$ (W/m <sup>2</sup> K)
TRASMITTANZA TERMICA (U)	1,03 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,78 <sup>3)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>	0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA ( $\psi$ )						
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA ( $Y$ )	$Y_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$Y_{lim,lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)				
	0,015	0,12 <sup>2)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - $T_s$ )	$T_s$ (°C)	$T_{s,min}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_{s,min}$ (°C)	$T_s$ (°C)	$T_{s,min}$ (°C)
	17,0	13,2	17,1	13,2	15,6	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica		Esito verifica			
	verifica conforme <sup>2)</sup>		verifica conforme <sup>2)</sup>			

Tabella verifiche termoisometriche

- <sup>1)</sup> Il calcolo è stato eseguito secondo la norma UNI EN ISO 6946 per la parete perimetrale verticale e secondo la norma UNI EN ISO 13370 per il solaio contro terra.
- <sup>2)</sup> I valori limite riportati sono quelli definiti dal D.P.R. 59/09 per la zona climatica F.
- <sup>3)</sup> La verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica F.
- <sup>4)</sup> La verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.

Note: con riferimenti legislativi e normativi



## Guida alla consultazione

### Scheda 1 – Nodi costruttivi

	PARETE PERIMETRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ψ <sub>i</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ψ <sub>e</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
TRASMITTANZA TERMICA (U)	1,03 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,28 <sup>1)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (ψ)					0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y)	Y <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Y <sub>lim,ref</sub> [W/m <sup>2</sup> K]				
	0,015	0,12 <sup>3)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]
	17,0	13,2	17,1	13,2	15,6	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica verifica conforme <sup>4)</sup>		Esito verifica verifica conforme <sup>4)</sup>			



Analisi stato di fatto

#### 1. Verifiche termoigrometriche sugli elementi costruttivi:

- Trasmittanza termica  $U$  [W/m<sup>2</sup> K]
- Trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$  [W/m<sup>2</sup> K]
- Condensa superficiale
- Condensa interstiziale

## Guida alla consultazione

### Scheda 1 – Nodi costruttivi

	PARETE PERIMETRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ψ <sub>i</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ψ <sub>e</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
TRASMITTANZA TERMICA (U)	1,03 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,28 <sup>1)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>		
TR <b>Trasmittanza termica U</b>					0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y)	Y <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Y <sub>lim,ref</sub> [W/m <sup>2</sup> K]				
	0,015	0,12 <sup>3)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]
	17,0	13,2	17,1	13,2	15,6	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica verifica conforme <sup>4)</sup>		Esito verifica verifica conforme <sup>4)</sup>			



Analisi stato di fatto

- <sup>1)</sup> Il calcolo è stato eseguito secondo la norma UNI EN ISO 6946 per la parete perimetrale verticale e secondo la norma UNI EN ISO 13370 per il solaio contro terra.
- <sup>2)</sup> I valori limite riportati sono quelli definiti dal D.P.R. 59/09 per la zona climatica F.
- <sup>3)</sup> La verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica F.
- <sup>4)</sup> La verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi stato di fatto

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE -M3-		SOLAIO CONTRO TERRA -S7-		NODO COSTRUTTIVO -M3/S7-
TRASMITTANZA TERMICA (U)	U [W/m²K]	U <sub>lim</sub> [W/m²K]	U [W/m²K]	U <sub>lim</sub> [W/m²K]	
	1,03 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,28 <sup>1)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>	

**Trasmittanza termica**  
Parete | Solaio | Copertura

**UNI EN ISO 6946**

$$U = 1 / (R_{si} + \sum R_i + R_{se})$$

Elemento costruttivo è **verificato** quando:

$$U \leq U_{lim}$$

U<sub>lim</sub> sono definiti da **D.P.R. 59/2009** per la zona climatica F

Zona climatica F	Pareti	Solai vs. locali non riscaldati	Coperture
U <sub>lim</sub> [W/m² K]	0,33	0,32	0,29



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi stato di fatto

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE -M3-		SOLAIO CONTRO TERRA -S7-		NODO COSTRUTTIVO -M3/S7-
TRASMITTANZA TERMICA (U)	U [W/m²K]	U <sub>lim</sub> [W/m²K]	U [W/m²K]	U <sub>lim</sub> [W/m²K]	
	1,03 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,28 <sup>1)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>	

**Trasmittanza termica**  
Serramento

**UNI EN ISO 10077-1**

$$U_w = 4,90$$

Il valore è riferito a una finestra di **1,23 m x 1,48 m** (L x H) con il valore di **U<sub>g</sub> = 5,70 W/m² K** e **U<sub>f</sub> = 3 W/m² K**

Elemento costruttivo è **verificato** quando:

$$U_w \leq U_{lim}$$

U<sub>lim</sub> sono definite da **D.P.R. 59/2009** per la zona climatica F

Zona climatica F	Serramenti U <sub>w</sub>	Vetro U <sub>g</sub>
U <sub>lim</sub> [W/m² K]	2,00	1,30



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

	PARETE PERIMETRALE VERTICALE -M3-		SOLAIO CONTRO TERRA -S7-		NODO COSTRUTTIVO -M3/S7-	
TRASMITTANZA TERMICA (U)	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]		
	1,03 <sup>(1)</sup>	0,33 <sup>(2)</sup>	0,28 <sup>(1)</sup>	0,32 <sup>(2)</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (ψ)					ψ <sub>l</sub> [W/mK]	ψ <sub>nl</sub> [W/mK]
					0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y <sub>ie</sub> )	Y <sub>ie</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Y <sub>ie,lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]			T <sub>o</sub> [°C]	T <sub>o,nin</sub> [°C]
	0,015	0,12 <sup>(3)</sup>			15,6	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica verifica conforme <sup>(4)</sup>		Esito verifica verifica conforme <sup>(4)</sup>			

**Trasmittanza termica**

Solaio non isolato a contatto con il terreno

**UNI EN ISO 13770**

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left( \frac{\pi B' + d_t}{d_t} + 1 \right) \quad [W/m^2 K]$$

λ conducibilità del terreno (nel calcolo considerata 2,0 W/m K)  
 B' larghezza caratteristica del solaio (nel calcolo considerata 1 m)  
 d<sub>t</sub> spessore equivalente

Elemento costruttivo è **verificato** quando:

$$U \leq U_{lim}$$

U<sub>lim</sub> sono definite da **D.P.R. 59/2009** per la zona climatica F

Zona climatica F	Solaio contro terra
U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	0,32



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

	PARETE PERIMETRALE VERTICALE -M3-		SOLAIO CONTRO TERRA -S7-		NODO COSTRUTTIVO -M3/S7-	
TRASMITTANZA TERMICA (U)	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]		
	1,03 <sup>(1)</sup>	0,33 <sup>(2)</sup>	0,28 <sup>(1)</sup>	0,32 <sup>(2)</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (ψ)					ψ <sub>l</sub> [W/mK]	ψ <sub>nl</sub> [W/mK]
					0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y <sub>ie</sub> )	Y <sub>ie</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Y <sub>ie,lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]			T <sub>o</sub> [°C]	T <sub>o,nin</sub> [°C]
	0,015	0,12 <sup>(3)</sup>			15,6	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica verifica conforme <sup>(4)</sup>		Esito verifica verifica conforme <sup>(4)</sup>			

**Trasmittanza termica periodica Y<sub>ie</sub>**

- <sup>(1)</sup> Il calcolo è stato eseguito secondo la norma UNI EN ISO 6946 per la parete perimetrale verticale e secondo la norma UNI EN ISO 13370 per il solaio contro terra.
- <sup>(2)</sup> I valori limite riportati sono quelli definiti dal D.P.R. 59/09 per la zona climatica F.
- <sup>(3)</sup> La verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica F.
- <sup>(4)</sup> La verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE - M3 -	SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -	NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -						
<b>Trasmittanza termica periodica</b>									
$Y_{ie}$ [W/m <sup>2</sup> K]									
è il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore calcolata secondo <b>UNI EN ISO 13786</b> Elemento costruttivo è <b>verificato</b> quando:									
$Y_{ie} \leq Y_{ie\ lim}$									
$Y_{ie\ lim}$ sono definite da <b>D.P.R. 59/2009</b> per la zona climatica F									
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Zona climatica F</th> <th>Pareti (escluse quelle N-O e N-E)</th> <th>Copertura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>Y_{ie\ lim}</math> [W/m<sup>2</sup> K]</td> <td>0,12</td> <td>1,30</td> </tr> </tbody> </table>				Zona climatica F	Pareti (escluse quelle N-O e N-E)	Copertura	$Y_{ie\ lim}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,12	1,30
Zona climatica F	Pareti (escluse quelle N-O e N-E)	Copertura							
$Y_{ie\ lim}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,12	1,30							
La verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione è $I_{m,s} \geq 290$ W/m <sup>2</sup> ; ad esclusione della zona climatica F									



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
TRASMITTANZA TERMICA (U)	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]		
	1,03 <sup>(1)</sup>	0,33 <sup>(2)</sup>	0,28 <sup>(1)</sup>	0,32 <sup>(2)</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (ψ)					ψ <sub>1</sub> [W/mK]	ψ <sub>2</sub> [W/mK]
					0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y)	Y <sub>e</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Y <sub>e,lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]				
	0,015	0,12 <sup>(2)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s, min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s, min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s, min</sub> [°C]
	17,0	13,2	17,1	13,2	15,6	13,2
<b>Condensa superficiale T<sub>si</sub></b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li><sup>(1)</sup> Il calcolo è stato eseguito secondo la norma UNI EN ISO 6946 per la parete perimetrale verticale e secondo la norma UNI EN ISO 13370 per il solaio contro terra.</li> <li><sup>(2)</sup> I valori limite riportati sono quelli definiti dal D.P.R. 59/09 per la zona climatica F.</li> <li><sup>(3)</sup> La verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica F.</li> <li><sup>(4)</sup> La verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.</li> </ul>						



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

PARETE PERIMETRALE VERTICALE	SOLAIO CONTRO TERRA	NODO COSTRUTTIVO
-M3-	-S7-	-M3/S7-
<p><b>Condensa superficiale</b></p> <p><math>T_{si}</math> [°C]</p> <p>Attraverso la temperatura superficiale dell'elemento costruttivo viene verificato il rischio di formazione della condensa e della muffa</p> <p>Metodo di verifica di <math>T_{si}</math> è descritto nella <b>UNI EN ISO 13788</b></p> <p>Elemento costruttivo è <b>verificato</b> quando:</p> $T_{si} \geq T_{si \text{ min}}$ <p><math>T_{si \text{ min}}</math> dipende dalle condizioni di temperatura e umidità interne ed esterne</p> <p><math>T_{si \text{ min}}</math> di progetto è pari a <b>13,2 °C</b>, con <math>T_i = 20</math> °C e U.R. = 65%</p> <p><b>D.P.R. 59/2009</b> prescrive l'<b>assenza</b> di condensa superficiale</p>		



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

PARETE PERIMETRALE VERTICALE	SOLAIO CONTRO TERRA	NODO COSTRUTTIVO
-M3-	-S7-	-M3/S7-
<p><b>Condensa superficiale</b></p> <p><math>T_{si \text{ min}}</math> [°C]</p> <p>Temperatura superficiale minima di progetto dipende dalle condizioni interne di temperatura e di umidità relativa.</p> <p>Condizioni standard di verifica sono prescritte dal <b>D.P.R. 59/2009</b>.</p> <p><math>T_{si \text{ min}}</math> è calcolata utilizzando il <b>diagramma psicrometrico</b></p>		

- <sup>(1)</sup> Il calcolo è stato eseguito secondo la norma UNI EN ISO 6946 per la parete perimetrale verticale e secondo la norma UNI EN ISO 13370 per il solaio contro terra.
- <sup>(2)</sup> I valori limite riportati sono quelli definiti dal D.P.R. 59/09 per la zona climatica F.
- <sup>(3)</sup> La verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica F.
- <sup>(4)</sup> La verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

**Diagramma psicrometrico**

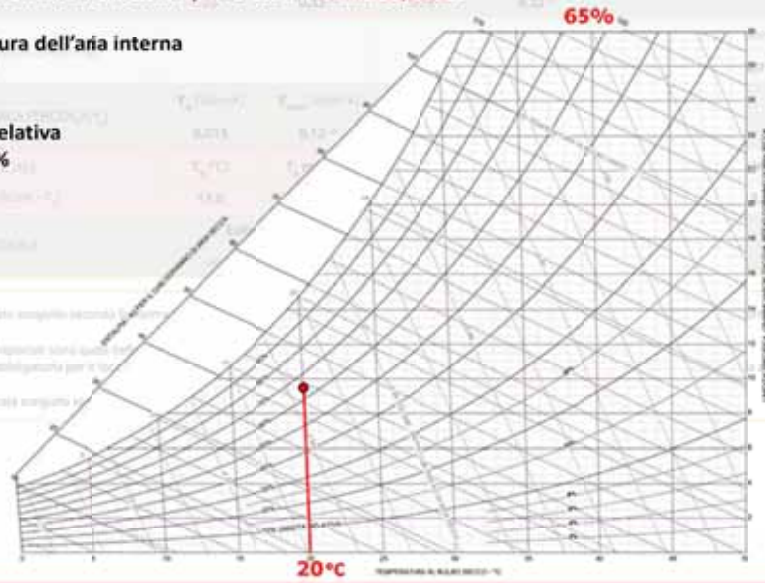
Condizioni standard di verifica prescritte dal D.P.R. 59/2009:

Temperatura dell'aria interna

$T_{si} = 20^{\circ}\text{C}$

Umidità relativa

U.R. = 65%



- \* La verifica è stata eseguita secondo la norma EN15251
- \* I valori limite riportati sono quelli per la verifica e progettazione per il caso domestico.
- \* La verifica è stata eseguita in
- \* La verifica è stata eseguita in



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

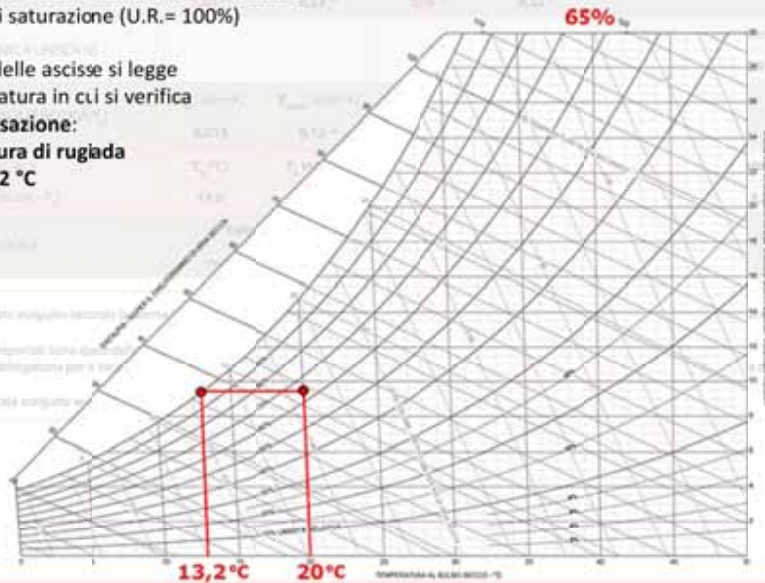
**Diagramma psicrometrico**

Spostandosi verso sinistra fino a incrociare la curva di saturazione (U.R.= 100%)

Sull'asse delle ascisse si legge la temperatura in cui si verifica la condensazione:

temperatura di rugiada

$T_{simin} = 13,2^{\circ}\text{C}$



- \* La verifica è stata eseguita secondo la norma EN15251
- \* I valori limite riportati sono quelli per la verifica e progettazione per il caso domestico.
- \* La verifica è stata eseguita in
- \* La verifica è stata eseguita in



Scheda 1 – Nodi costruttivi

**Effetti negativi della condensa superficiale**

La condensazione superficiale può provocare danni come:

**degrado dei materiali**



Fonte: [www.heritage-house.org](http://www.heritage-house.org)

**formazione di muffa**



Fonte: [www.premier-heritage.co.uk](http://www.premier-heritage.co.uk)

**UNI EN ISO 13788:** è sufficiente un periodo di alcuni giorni con l'umidità relativa in corrispondenza delle superfici maggiore dell'80% per avere il rischio di **formazione di muffa**.



Analisi: stato di fatto



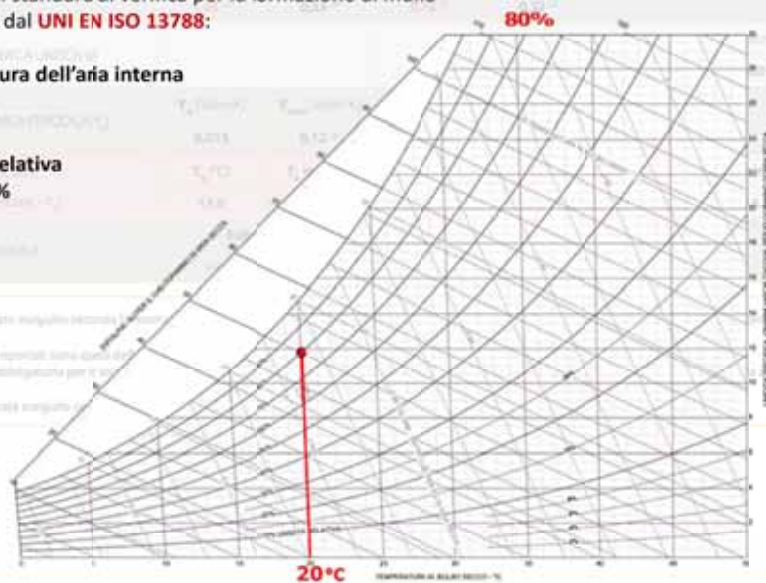
Scheda 1 – Nodi costruttivi

**Diagramma psicrometrico**

Condizioni standard di verifica per la formazione di muffa prescritte dal **UNI EN ISO 13788:**

**Temperatura dell'aria interna**  
**T<sub>a</sub> = 20°C**

**Umidità relativa**  
**U.R. = 80%**



Analisi: stato di fatto



Scheda 1 – Nodi costruttivi



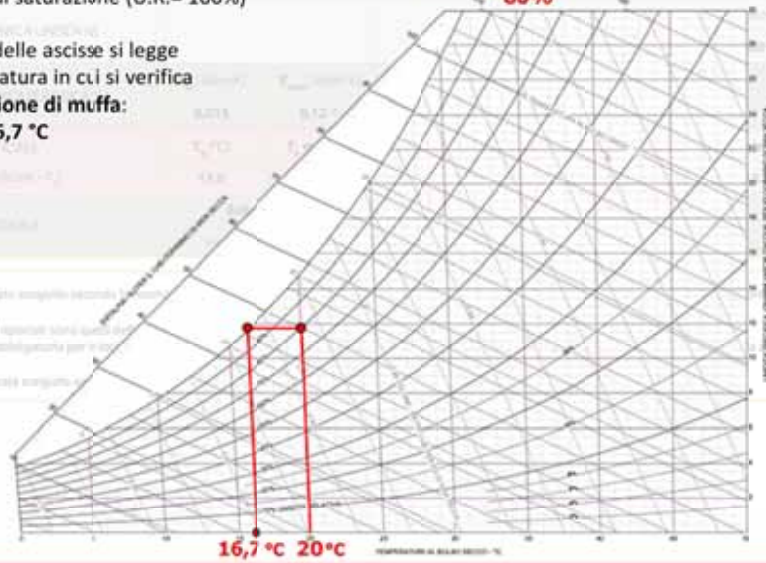
Analisi stato di fatto

**Diagramma psicrometrico**

Spostandosi verso sinistra fino a incrociare la curva di saturazione (U.R.= 100%)

Sull'asse delle ascisse si legge la temperatura in cui si verifica la formazione di muffa:

$T_{\text{muffa}} = 16,7 \text{ } ^\circ\text{C}$



16,7 °C 20 °C



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi stato di fatto

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>min</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>min</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ψ <sub>1</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ψ <sub>2</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
TRASMITTANZA TERMICA (U)	1,03 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,28 <sup>1)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>	0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (λ)						
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y)	Y <sub>max</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Y <sub>min</sub> [W/m <sup>2</sup> K]				
	0,015	0,12 <sup>2)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s, min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s, min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s, min</sub> [°C]
	17,0	13,2	17,1	13,2	15,6	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica verifica conforme <sup>3)</sup>		Esito verifica verifica conforme <sup>3)</sup>			

**Condensa interstiziale**

EN ISO 13370 per il solaio contro

- i valori limite riportati sono quelli definiti dall'UNI EN 12566 per la zona climatica I.
- <sup>1)</sup> la verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica I.
- <sup>2)</sup> la verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi stato di fatto

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
<b>Quantità di condensa interstiziale</b>						
$Q \text{ [g/m}^2\text{]}$						
è calcolata in regime stazionario secondo <b>UNI EN ISO 13788</b>						
Elemento costruttivo è <b>verificato</b> quando:						
$Q \leq Q_{amm}$						
Secondo <b>D.P.R. 59/2009</b> le condensazioni interstiziali delle pareti devono essere limitate alla quantità rievaporabile, indicate nella normativa <b>UNI EN ISO 13788</b> .						
Le quantità ammissibili variano in funzione del materiale:						
Materiale	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]		$Q_{amm}$ [g/m <sup>2</sup> ]			
Laterizi	500 - 2000		≤ 500			
Calcestruzzi	400 - 2400		≤ 500			
Legnami e derivati	500 - 800		≤ 30 ρ d			
Intonaci e malte	500 - 2000		≤ 30 ρ d			
Fibre di natura organica: (a) con collanti resistenti all'acqua; (b) con collanti non resistenti all'acqua	(a)(b) 300 - 700		(a) ≤ 20 ρ d (b) ≤ 5 ρ d			
Fibre minerali	10 - 150		≤ 5000 ρ d [λ / (1 - 1,7 λ)]			



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Analisi stato di fatto

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
TRASMITTANZA TERMICA (U)	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>int</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>int</sub> [W/m <sup>2</sup> K]		
	1,03 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,28 <sup>1)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (Ψ)					ψ <sub>1</sub> [W/mK]	ψ <sub>2</sub> [W/mK]
					0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y)	Y <sub>int</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Y <sub>ext</sub> [W/m <sup>2</sup> K]				
	0,015	0,12 <sup>2)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s, min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s, min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s, min</sub> [°C]
	17,0	13,2	17,1	13,2	15,6	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica verifica conforme <sup>2)</sup>		Esito verifica verifica conforme <sup>2)</sup>			

- 2. Verifiche termoigrometriche sui nodi costruttivi:**
- Trasmittanza termica lineica  $\Psi$  [W/m<sup>2</sup>·K]
  - Condensa superficiale





## Guida alla consultazione

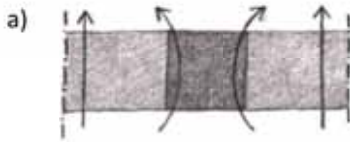
### Ponti termici bidimensionali

#### Cos'è un ponte termico?

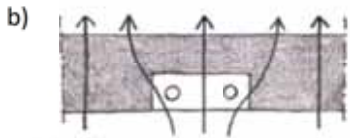
Sono giunzioni tra elementi di forma e di materiale diversi e rappresentano discontinuità di geometria e/o di materiale dell'involucro edilizio in cui si verificano variazioni del comportamento termico.

#### Dove si presentano i ponti termici?

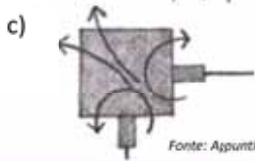
Sono presenti nelle porzioni di involucro edilizio in cui la resistenza termica, altrove uniforme, cambia in modo significativo per effetto di:



discontinuità di materiali con conduttività termica diversa nella struttura – **ponte termico strutturale**



variazione dello spessore della costruzione – **ponte termico geometrico**



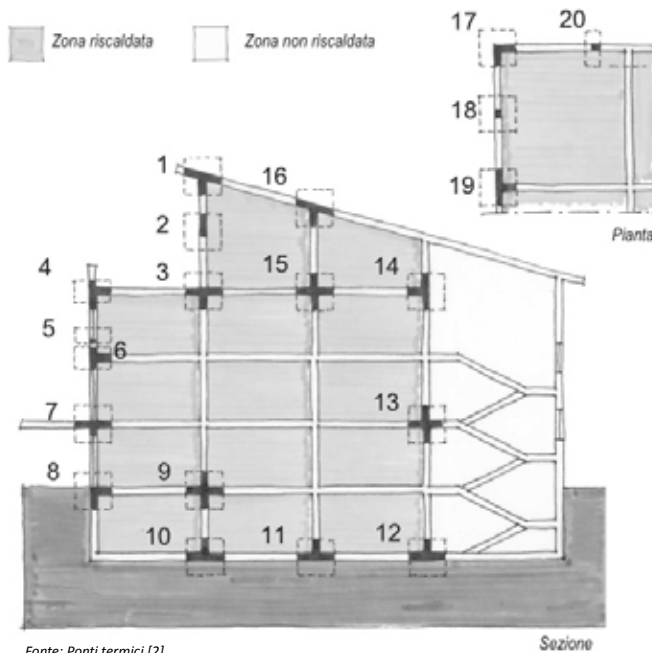
differenza tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e quella del lato esterno – **ponte termico geometrico**

Fonte: *Aspetti di fisica tecnica [1]*

## Guida alla consultazione

### E in pratica ...

I ponti termici caratterizzano le zone dell'edificio in cui le dispersioni termiche sono maggiori.



Fonte: *Ponti termici [2]*

## Guida alla consultazione

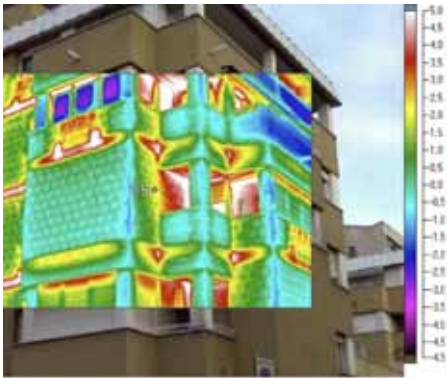
### Conseguenze dei ponti termici

La presenza di ponti termici determina due effetti sull'edificio:

- **aumento di dispersione termica**
- **abbassamento di temperatura superficiale interna**

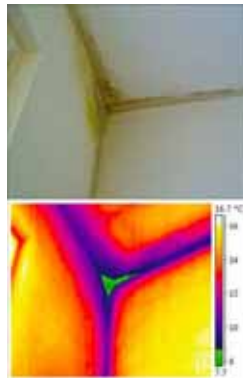
..in conseguenza  
si verificano...

#### Inefficienza energetica



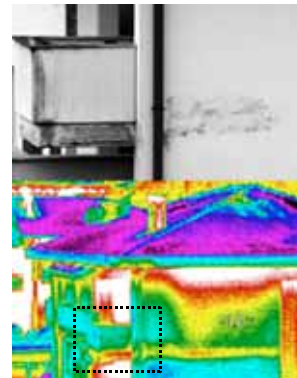
Fonte: Ponti termici [2]

#### Formazione di muffa



Fonte: www.ideegreen.it

#### Degradhi strutturali ed estetici



Fonte: Ponti termici [2]

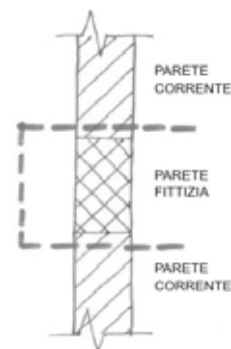
## Guida alla consultazione

### Verifiche dei ponti termici

Normativa **D.L. 19 agosto 2005, n. 192** introduce il concetto di “**ponte termico corretto**”. Il ponte termico corretto si definisce quando la trasmittanza termica della parete fittizia **non supera del 15%** la trasmittanza termica della parete corrente senza ponte termico.

$$U_{\text{parete fittizia}} < U_{\text{parete corrente}} + 15\%$$

Se un ponte termico corretto non viene verificato, è necessario calcolare la **trasmittanza termica media pesata** tra la parte fittizia e la parete corrente.



Fonte: Ponti termici [2]

### Parametri per il calcolo dei ponti termici

La valutazione delle dispersioni termiche attraverso i ponti termici, si calcola con seguenti parametri:

- **trasmittanza termica lineica**  $\Psi$  [W/m K] **UNI EN ISO 14683**
- **temperatura superficiale interna**  $T_{si}$  [°C] **UNI EN ISO 13788**
- **fattore di temperatura**  $f_{Rsi}$  **UNI EN ISO 13788**

Scheda 1 – Nodi costruttivi

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
	U (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>int</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	U (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>int</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	ψ <sub>i</sub> (W/mK)	ψ <sub>e</sub> (W/mK)
TRASMITTANZA TERMICA (U)	1,03 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,78 <sup>1)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (ψ)					0,44	-0,05
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y)	Y <sub>int</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	Y <sub>ext</sub> (W/m <sup>2</sup> K)				
	0,015	0,12 <sup>3)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>s, min</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>s, min</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>s, min</sub> (°C)
	17,0	13,2	17,1	13,2	15,6	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica verifica conforme <sup>4)</sup>		Esito verifica verifica conforme <sup>4)</sup>			



Analisi: stato di fatto

**Trasmittanza termica lineica ψ**

coefficiente di trasmissione termica lineica e secondo la norma UNI EN ISO 13370 per il solaio contro

- i valori limite riportati sono quelli definiti dal D.M. 5/29/09 per la zona climatica F.
- <sup>1)</sup> la verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradiazione sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica F.
- <sup>2)</sup> la verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.



Scheda 1 – Nodi costruttivi

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE - M3 -		SOLAIO CONTRO TERRA - S7 -		NODO COSTRUTTIVO - M3/S7 -	
	U (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>int</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	U (W/m <sup>2</sup> K)	U <sub>int</sub> (W/m <sup>2</sup> K)	ψ <sub>i</sub> (W/mK)	ψ <sub>e</sub> (W/mK)
<b>Trasmittanza termica lineica</b>						
Modello bidimensionale						
quantifica le dispersioni di energia termica attraverso i ponti termici lineari						
<b>UNI EN ISO 14683</b>						
$\Psi = L_{2D} \cdot \sum U_j$						
[W/m K]						
L <sub>2D</sub>	coefficiente di accoppiamento termico tra i due ambienti in esame					
U <sub>j</sub>	trasmittanza termica stazionaria del componente monodimensionale j che separa due ambienti [W/m <sup>2</sup> K]					
l <sub>j</sub>	lunghezza del modello geometrico bidimensionale					



Analisi: stato di fatto

**ψ interno ed esterno...**

**ψ<sub>i</sub>** si basa sulle dimensioni nette interne

utilizzato nei calcoli energetici che fanno riferimento al **volume netto**

**ψ<sub>e</sub>** si basa sulle dimensioni esterne

utilizzato nei calcoli energetici che fanno riferimento al **volume lordo**, quindi nel **calcolo stazionario**



Scheda 1 – Nodi costruttivi



Trasmittanza termica lineica

Modello bidimensionale

Esempio

- Trasmittanza termica lineica sul lato interno (1)

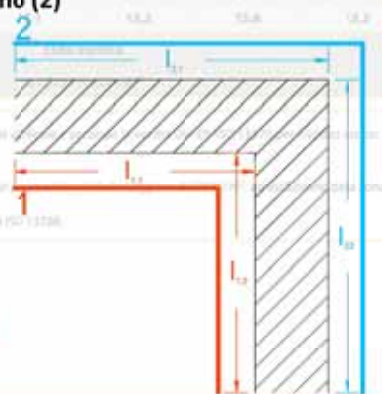
$$\Psi_i = L_{2D} - (U_{1,1,2,1} \times l_{1,1} + U_{1,2,2,2} \times l_{1,2})$$

- Trasmittanza termica lineica sul lato esterno (2)

$$\Psi_e = L_{2D} - (U_{1,1,2,1} \times l_{2,1} + U_{1,2,2,2} \times l_{2,2})$$

$L_{2D}$  viene determinato mediante un calcolo numerico, utilizzando il software di simulazione agli elementi finiti

I modelli geometrici bidimensionali che schematizzano il ponte termico vengono costruiti secondo la normativa vigente **UNI EN ISO 10211**

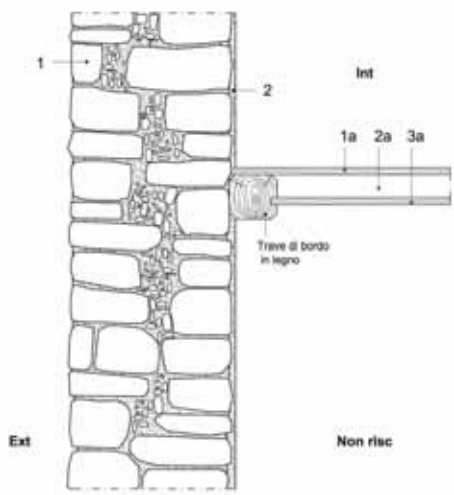


Scheda 2 – Nodi costruttivi



N2a Chiusura verticale opaca - Solaio verso spazio non riscaldato

Dettaglio del nodo



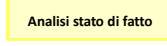
Legenda

MURATURA IN PIETRA E MALTA CON INTONACO INTERNO (M2)

- 1 - Muratura in pietra e malta
- 2 - Intonaco a base di calce

SOLAIO INTERPIANO IN LEGNO CON DOPPIO TAVOLATO (S5)

- 1a - Assito di calpestio in legno
- 2a - Intercapedine d'aria
- 3a - Assito a pialone in legno



Scheda 2 – Nodi costruttivi

**N2a**

**Chiusura verticale opaca - Solaio verso spazio non riscaldato**

**2**

Dettaglio del nodo

Legenda

**MURATURA IN PIETRA E MALTA CON INTONACO INTERNO (M2)**

1 • Muratura in pietra e malta

2 • Intonaco a base di calce

**Dettagli del nodo**

(MURATURA (M2))

**Condizioni al contorno:**

- **Ext:** ambiente esterno con  $T_e = -2,2 \text{ °C}$  e U.R. = 83%, media mensile del mese più freddo (UNI EN ISO 13788);
- **Int:** ambiente interno con  $T_i = 20 \text{ °C}$  e U.R. = 65%, come definito da D.P.R. 59/2009;
- **Non risc:** ambiente interno non riscaldato, considerato come Ext;
- **Terreno:**  $T_t = 8,5 \text{ °C}$  (valore medio annuale della temperatura dell'aria esterna del luogo di riferimento); U.R. = 100% (UNI EN ISO 13788).

Analisi: stato di fatto



Scheda 2 – Nodi costruttivi

Analisi termoisometrica - temperature

Note

1. La temperatura superficiale nell'angolo è inferiore alla temperatura limite per la formazione di condensa superficiale. Il ponte termico, dato dal collegamento del solaio con la parete, risulta critico per la formazione di condensa superficiale e la crescita di muffa.
2. Condannamento delle isoterme nelle stratigrafie di parete e di solaio è stato calcolato alle distanze alla distanza di 1 m.

**Analisi termoisometrica**

Analisi è stata effettuato con il software per la simulazione agli elementi finiti.

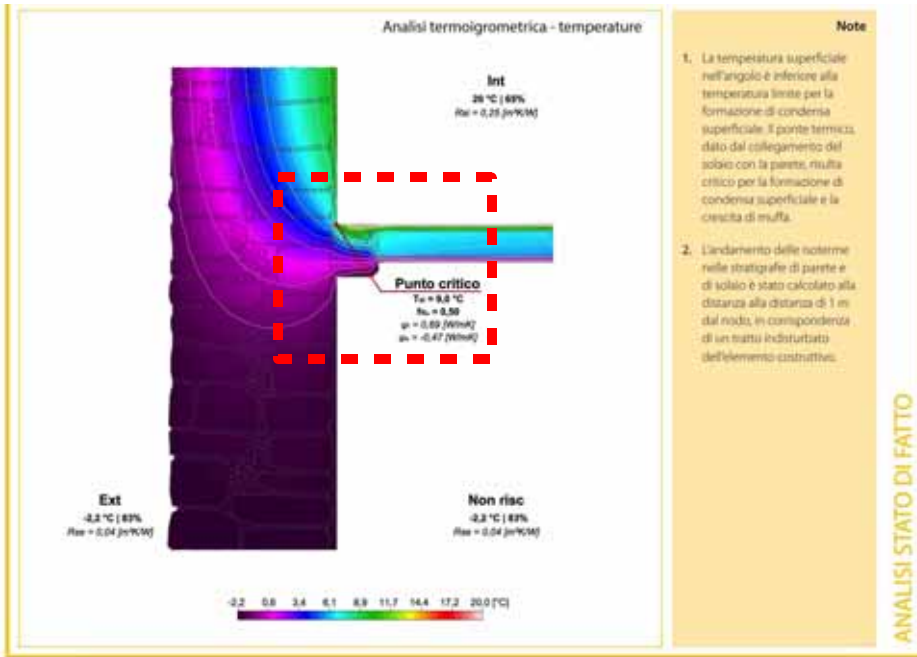
**Note**

specificano le criticità presenti nel nodo costruttivo per la crescita di muffa e la formazione di condensa superficiale

Analisi: stato di fatto



Scheda 2 – Nodi costruttivi



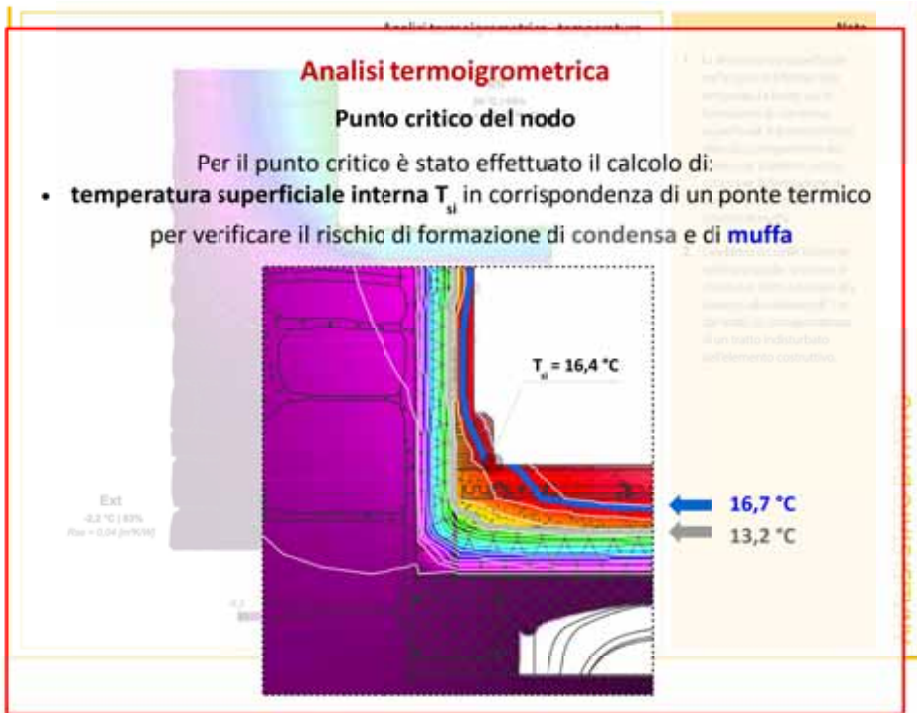
Analisi stato di fatto

**Note**

1. La temperatura superficiale nell'angolo è inferiore alla temperatura limite per la formazione di condensa superficiale. Il ponte termico dato dal collegamento del soletto con la parete, risulta critico per la formazione di condensa superficiale e la crescita di muffa.
2. L'andamento delle isoterme nelle stratigrafie di parete e di soletto è stato calcolato alla distanza alla distanza di 1 m dal nodo, in corrispondenza di un matto indisturbato dell'elemento costruttivo.

ANALISI STATO DI FATTO

Scheda 2 – Nodi costruttivi



Analisi stato di fatto

**Analisi termoigrometrica**

**Punto critico del nodo**

Per il punto critico è stato effettuato il calcolo di:

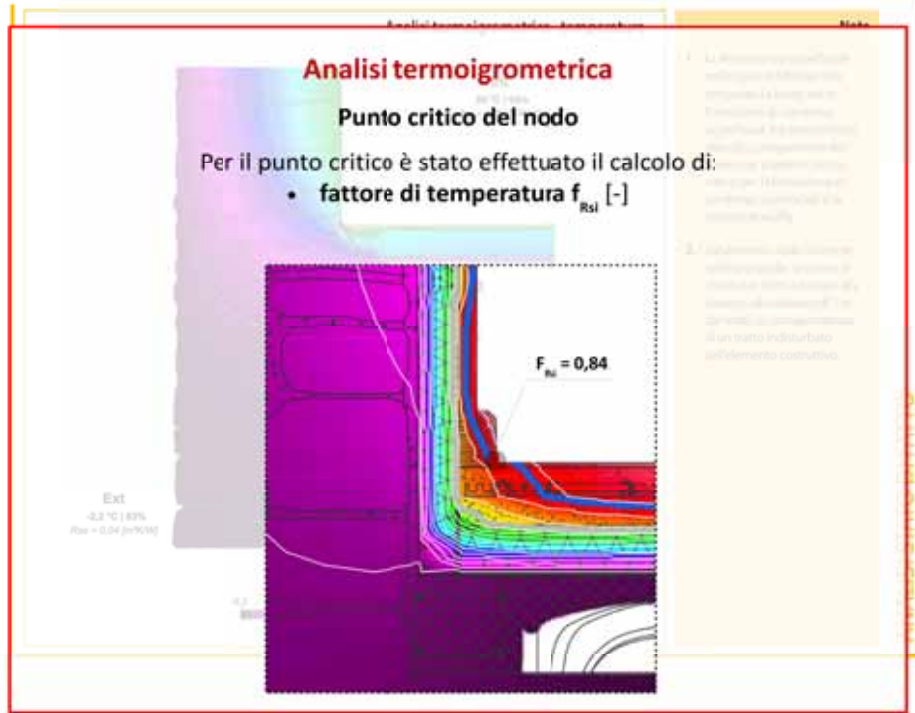
- temperatura superficiale interna  $T_{s,i}$  in corrispondenza di un ponte termico per verificare il rischio di formazione di condensa e di muffa

1. La temperatura superficiale nell'angolo è inferiore alla temperatura limite per la formazione di condensa superficiale. Il ponte termico dato dal collegamento del soletto con la parete, risulta critico per la formazione di condensa superficiale e la crescita di muffa.

2. L'andamento delle isoterme nelle stratigrafie di parete e di soletto è stato calcolato alla distanza alla distanza di 1 m dal nodo, in corrispondenza di un matto indisturbato dell'elemento costruttivo.

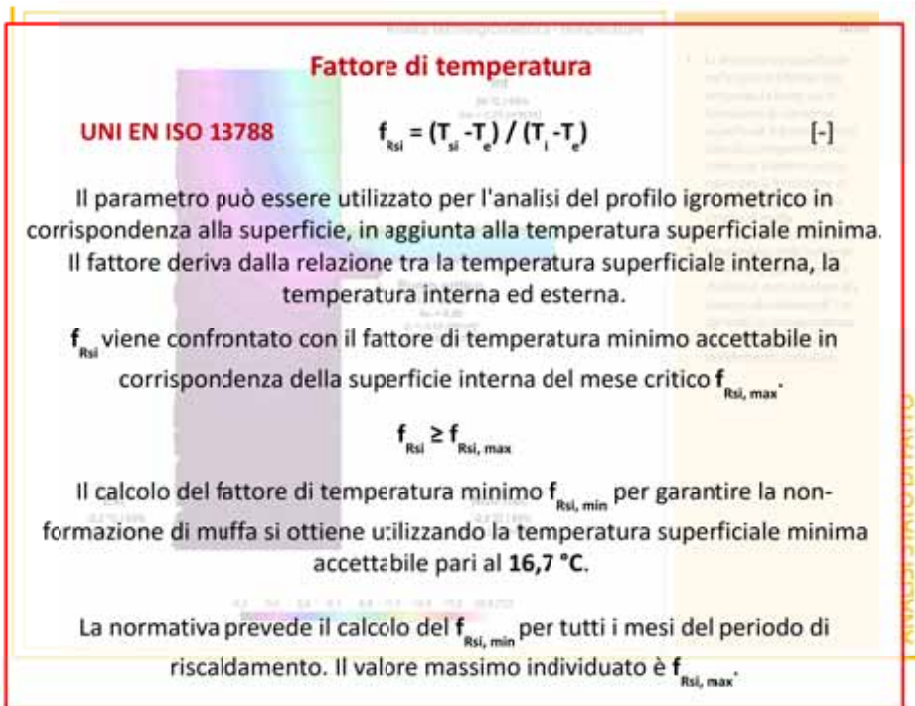
ANALISI STATO DI FATTO

Scheda 2 – Nodi costruttivi



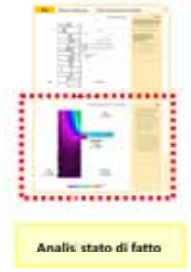
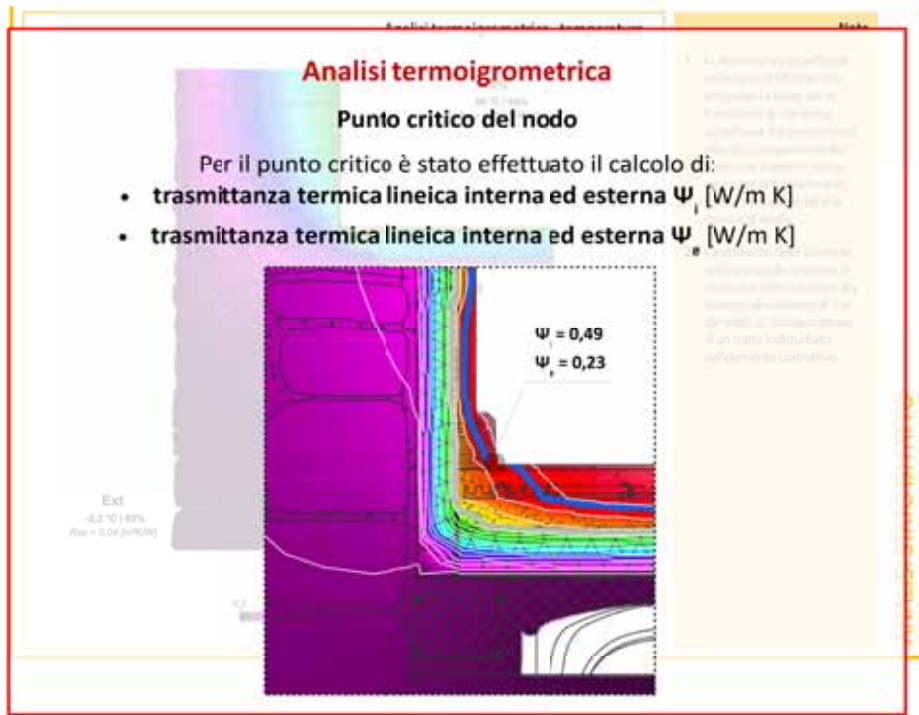
Analisi: stato di fatto

Scheda 2 – Nodi costruttivi



Analisi: stato di fatto

Scheda 2 – Nodi costruttivi



Scheda 3 – Nodi costruttivi

**N1a** Chiusura verticale opaca (M3m) - Solaio contro terra (S7I) 3

**Descrizione dell'intervento**

L'intervento di risanamento energetico prevede l'applicazione di un isolamento nell'intercapedine d'aria presente tra la muratura in pietra ed il rivestimento a tavole in legno recuperato, con la conservazione della pietra a vista all'esterno. I materiali coibenti utilizzati sono la fibra di legno e, per la porzione di pannello a contatto con il terreno, il polistirene estruso, in modo da evitare fenomeni di risalita di umidità e la conseguente marcescenza del materiale. Per quanto riguarda il solaio contro terra, invece, è prevista la realizzazione di un vespaio con cassette a perdere, strato isolante, riscaldamento a pannelli radianti a bassa temperatura e pavimentazione in piastrelle. In fase di realizzazione sarà garantita la continuità tra gli strati isolanti verticali ed orizzontali in modo da ottenere una sufficiente attenuazione del ponte termico. Sarà, inoltre, posta particolare attenzione nel garantire la perfetta tenuta all'aria del nodo costruttivo. All'esterno, nelle porzioni di muratura contro terra verrà realizzata un'intercapedine verticale con granulato sfuso di vetro cellulare, con funzione di isolamento e di difesa della parete dall'umidità del terreno. Tale intercapedine sarà opportunamente impermeabilizzata e dotata di un tubo drenante. Sulla superficie della muratura verso l'intercapedine verrà applicata una guaina bugnata che consente alla parete di traspirare e rilasciare l'eventuale umidità accumulata, riparando allo stesso tempo la superficie da eventuali infiltrazioni d'acqua.

**Particolare 3D**

**1a**

**Legenda**

**A - CHIUSURA VERTICALE OPACA (M3m)**  
Muratura in pietra e malta con rivestimento interno in legno con isolamento nell'intercapedine

**B - SOLAIO CONTRO TERRA (S7I)**  
Solaio contro terra con vespaio a cassette e isolamento dall'interno

**C - VESPAIO**  
Vespaio drenante in ciottoli





Scheda 3 – Nodi costruttivi

**N1a** Chiusura verticale opaca (M3m) - solalo contro terra (S7I)

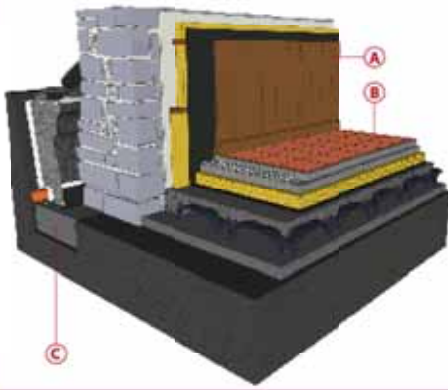
3

Descrizione dell'intervento

Codice della scheda

materiali. Per quanto riguarda il solalo contro terra, invece, è prevista la realizzazione di un vespaio con casseri a pedana, sotto sovrano, ricardimento a pannelli radianti a bassa temperatura e pavimentazione in piastrelle. In fase di realizzazione sarà garantita la continuità tra gli snodi solali verticali e orizzontali in modo da ottenere una efficiente attenuazione del ponte termico. Sarà, inoltre, posta particolare attenzione nel garantire il perfetto tenuta all'aria del nodo costruttivo. All'esterno, nelle porzioni di muratura contro terra verrà realizzata un'intercapedine verticale con granulato sfuso il cui scopo è quello di isolare e di difendere la parete dall'umidità del terreno. Tale intercapedine sarà opportunamente impermeabilizzata e dotata di un tubo drenante. Sulla superficie della muratura verso l'intercapedine verrà applicata una guaina bugnata che consente alla parete di traspirare e rilasciare l'eventuale umidità accumulata, ricorrendo allo stesso tempo la superficie di eventuali infiltrazioni d'acqua.

Particolare 3D



**Legende**  
**A - CHIUSURA VERTICALE OPACA (M3m)**  
 Muratura in pietra a vista con rivestimento interno in legno con isolamento all'intercapedine.  
**B - SOLALO CONTRO TERRA (S7I)**  
 Solalo contro terra con vespaio arioso e isolamento dal terreno.  
**C - VESPAIO**  
 Vespaio arioso in casseri.



Analisi risanamento energetico



Scheda 3 – Nodi costruttivi

**N1a** Chiusura verticale opaca (M3m) - solalo contro terra (S7I)

3

Descrizione dell'intervento

Nome del componente e numero della scheda

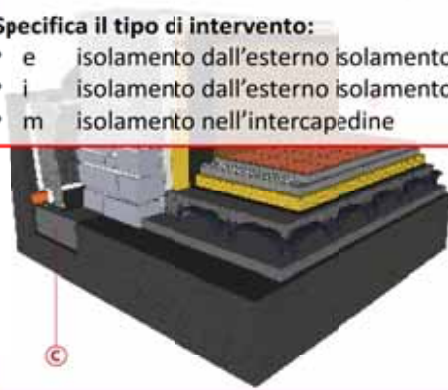
materiali. Per quanto riguarda il solalo contro terra, invece, è prevista la realizzazione di un vespaio con casseri a pedana, sotto sovrano, ricardimento a pannelli radianti a bassa temperatura e pavimentazione in piastrelle. In fase di realizzazione sarà garantita la continuità tra gli snodi solali verticali e orizzontali in modo da ottenere una efficiente attenuazione del ponte termico. Sarà, inoltre, posta particolare attenzione nel garantire il perfetto tenuta all'aria del nodo costruttivo. All'esterno, nelle porzioni di muratura contro terra verrà realizzata un'intercapedine verticale con granulato sfuso il cui scopo è quello di isolare e di difendere la parete dall'umidità del terreno. Tale intercapedine sarà opportunamente impermeabilizzata e dotata di un tubo drenante. Sulla superficie della muratura verso l'intercapedine verrà applicata una guaina bugnata che consente alla parete di traspirare e rilasciare l'eventuale umidità accumulata, ricorrendo allo stesso tempo la superficie di eventuali infiltrazioni d'acqua.

Descrizione sintetica del nodo costruttivo con l'indicazione del codice che rimanda alle schede dell'elemento costruttivo.

Specifica il tipo di intervento:

- e isolamento dall'esterno isolamento dall'interno
- i isolamento dall'esterno isolamento dall'interno
- m isolamento nell'intercapedine

Particolare 3D



**Legende**  
**A - CHIUSURA VERTICALE OPACA (M3m)**  
 Muratura in pietra a vista con rivestimento interno in legno con isolamento all'intercapedine.  
**B - SOLALO CONTRO TERRA (S7I)**  
 Solalo contro terra con vespaio arioso e isolamento dal terreno.  
**C - VESPAIO**  
 Vespaio arioso in casseri.



Analisi risanamento energetico



Scheda 3 – Nodi costruttivi



Analisi risanamento energetico

N2a **Chiusura verticale opaca - Solaio verso spazio non riscaldato** 3

**Descrizione dell'intervento**

L'intervento di risanamento energetico prevede l'applicazione di un isolamento a cappotto irroracato sulla faccia interna della muratura, con la conservazione della pietra a vista all'esterno. Al fine di isolare il locale riscaldato rispetto a quello non riscaldato posto inferiormente è prevista la coibitazione del solaio con l'interposizione dello strato isolante all'interno dell'intercapedine esistente tra il doppio tavolato in legno. È inoltre prevista l'installazione di un sistema radiante a bassa temperatura e di una pavimentazione a pannelli in legno incollato. In fase di realizzazione sarà garantita la continuità tra gli strati isolanti verticali ed orizzontali in modo da ottenere una sufficiente attenuazione del ponte termico. Sarà, inoltre, posta particolare attenzione nel garantire la perfetta tenuta all'aria del nodo costruttivo.

Particolare 3D

**Descrizione del componente**

**Descrizione del nodo costruttivo con riferimenti a:**

- materiali
- modalità di posa
- accorgimenti da adottare

Particolare 3D

**Legenda**

**A - CHIUSURA VERTICALE OPACA (M3m)**  
Muratura in pietra e malta con rivestimento interno in legno con isolamento nell'intercapedine

**B - SOLAIO VERSO SPAZIO NON RISCALDATO (S5m)**  
Solaio irroracato in legno con isolamento nell'intercapedine



Scheda 3 – Nodi costruttivi



Analisi risanamento energetico

N1a **Chiusura verticale opaca (M3m) - Solaio contro terra (S7I)** 3

**Descrizione dell'intervento**

L'intervento di risanamento energetico prevede l'applicazione di un isolamento nell'intercapedine d'aria presente tra la muratura in pietra ed il rivestimento a tavole in legno recuperato, con la conservazione della pietra a vista all'esterno. I materiali coibenti utilizzati sono la fibra di legno e, per la porzione di pannello a contatto con il terreno, il polistirene estruso, in modo da evitare fenomeni di risalita di umidità e la conseguente marcescenza del materiale. Per quanto riguarda il solaio contro terra, invece, è prevista la realizzazione di un vespaio con cassette a perdere, strato isolante, riscaldamento a pannelli radianti a bassa temperatura e pavimentazione in piastrelle. In fase di realizzazione sarà garantita la continuità tra gli strati isolanti verticali ed orizzontali in modo da ottenere una sufficiente attenuazione del ponte termico. Sarà, inoltre, posta particolare attenzione nel garantire la perfetta tenuta all'aria del nodo costruttivo. All'esterno, nelle porzioni di muratura contro terra verrà realizzata un'intercapedine verticale con granulato sfuso di vetro cellulare, con funzione di isolamento e di difesa della parete dall'umidità del terreno. Tale intercapedine sarà opportunamente impermeabilizzata e dotata di un tubo drenante. Sulla superficie della muratura verso l'intercapedine verrà applicata una guaina bugnata che consente alla parete di traspirare e rilasciare l'eventuale umidità accumulata, riparando allo stesso tempo la superficie da eventuali infiltrazioni d'acqua.

Particolare 3D

1a

**Legenda**

**A - CHIUSURA VERTICALE OPACA (M3m)**  
Muratura in pietra e malta con rivestimento interno in legno con isolamento nell'intercapedine

**B - SOLAIO CONTRO TERRA (S7I)**  
Solaio contro terra con vespaio a cassette e isolamento dall'interno

**C - VESPAIO**  
Vespaio drenante in ciottoli

**Particolare 3D**

Posizione del nodo nello schema del modello edilizio

**Legenda** con l'indicazione degli elementi costruttivi



Scheda 3 – Nodi costruttivi



Analisi risanamento energetico

	PARETE PERIMETRALE VERTICALE - M3m -		SOLAIO SU VESPAIO AERATO - 57l -		NODO COSTRUTTIVO - M3m/57l -	
	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ψ <sub>l</sub> [W/mK]	ψ <sub>e</sub> [W/mK]
TRASMITTANZA TERMICA (U)	0,38 <sup>(1)</sup>	0,33 <sup>(2)</sup>	0,31 <sup>(1)</sup>	0,32 <sup>(2)</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (ψ)					0,40	0,23
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y <sub>e</sub> )	Y <sub>int</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Y <sub>ext</sub> [W/m <sup>2</sup> K]				
	0,003	0,12 <sup>(3)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s min</sub> [°C]
	18,9	13,2	18,8	13,2	16,4	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica		Esito verifica			
	verifica conforme <sup>(4)</sup>		verifica conforme <sup>(4)</sup>			

- <sup>(1)</sup> Il calcolo è stato eseguito secondo la norma UNI EN ISO 6946. Per il vespaio aerato è stata presa in considerazione una temperatura dello strato d'aria nei casseri a perdere pari a quella esterna.
- <sup>(2)</sup> I valori limite riportati sono quelli definiti dal D.P.R. 59/09 per la zona climatica F.
- <sup>(3)</sup> Lo spessore di isolante inserito nell'intercapedine non permette il raggiungimento del valore limite di trasmittanza.
- <sup>(4)</sup> La verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica F.
- <sup>(5)</sup> La verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.



Scheda 3 – Nodi costruttivi



Analisi risanamento energetico

Tabella verifiche termoigrometriche	PARETE PERIMETRALE VERTICALE - M3m -		SOLAIO SU VESPAIO AERATO - 57l -		NODO COSTRUTTIVO - M3m/57l -	
	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>lim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	ψ <sub>l</sub> [W/mK]	ψ <sub>e</sub> [W/mK]
TRASMITTANZA TERMICA (U)	0,38 <sup>(1)</sup>	0,33 <sup>(2)</sup>	0,31 <sup>(1)</sup>	0,32 <sup>(2)</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (ψ)					0,49	0,23
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y <sub>e</sub> )	Y <sub>int</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Y <sub>ext</sub> [W/m <sup>2</sup> K]				
	0,003	0,12 <sup>(3)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s min</sub> [°C]
	18,9	13,2	18,8	13,2	16,4	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica		Esito verifica			
	verifica conforme <sup>(4)</sup>		verifica conforme <sup>(4)</sup>			

- <sup>(1)</sup> Il calcolo è stato eseguito secondo la norma UNI EN ISO 6946. Per il vespaio aerato è stata presa in considerazione una temperatura dello strato d'aria nei casseri a perdere pari a quella esterna.
  - <sup>(2)</sup> I valori limite riportati sono quelli definiti dal D.P.R. 59/09 per la zona climatica F.
  - <sup>(3)</sup> Lo spessore di isolante inserito nell'intercapedine non permette il raggiungimento del valore limite di trasmittanza.
  - <sup>(4)</sup> La verifica è obbligatoria per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale è maggiore di 290 W/m<sup>2</sup>, ad esclusione della zona climatica F.
  - <sup>(5)</sup> La verifica è stata eseguita secondo il metodo di calcolo riportato nella norma UNI EN ISO 13788.
- Note:** con riferimenti legislativi e normativi



Guida alla consultazione

Scheda 3 – Nodi costruttivi

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE - M3m -		SOLAIO SU VESPAIO AERATO - S71 -		NODO COSTRUTTIVO - M3m/S71 -	
	U [W/m²K]	U <sub>lim</sub> [W/m²K]	U [W/m²K]	U <sub>lim</sub> [W/m²K]	ψ <sub>i</sub> [W/mK]	ψ <sub>e</sub> [W/mK]
TRASMITTANZA TERMICA (U)	0,38 <sup>1)</sup>	0,33 <sup>2)</sup>	0,31 <sup>1)</sup>	0,32 <sup>2)</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (ψ)					0,49	0,23
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y <sub>e</sub> )	Y <sub>e</sub> [W/m²K]	Y <sub>e,lim</sub> [W/m²K]				
	0,003	0,12 <sup>3)</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]
	18,9	13,2	18,8	13,2	16,4	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica		Esito verifica			
	verifica conforme <sup>4)</sup>		verifica conforme <sup>4)</sup>			



Analisi risanamento energetico

1. Verifiche termoigrometriche sugli elementi costruttivi:

- Trasmittanza termica U [W/m² K]
- Trasmittanza termica periodica Y<sub>e</sub> [W/m² K]
- Condensa superficiale
- Condensa interstiziale



Guida alla consultazione

Scheda 3 – Nodi costruttivi

		Trasmittanza termica Serramento		M3m/S71	
UNI EN ISO 10077-1		$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$		[W/m² K]	
A <sub>g</sub>	area della vetrata (m²)	U <sub>g</sub>	trasmittanza termica della vetrata (W/m² K)		
A <sub>f</sub>	area del telaio (m²)	U <sub>f</sub>	trasmittanza termica del telaio (W/m² K)		
l <sub>g</sub>	lunghezza del distanziale (m)	ψ <sub>g</sub>	trasmittanza termica lineare dovuta agli effetti termici combinati della vetrata, del distanziale e del telaio		
Il valore è riferito a una finestra di 1,23 m x 1,48 m (L x H) con il valore di U <sub>g</sub> = 1,28 W/m² K					



Analisi risanamento energetico

Elemento costruttivo è verificato quando:

$$U_w \leq U_{lim}$$

U<sub>lim</sub> sono definite da D.P.R. 59/2009 per la zona climatica F

Zona climatica F	Serramenti U <sub>w</sub>	Vetro U <sub>g</sub>
U <sub>lim</sub> [W/m² K]	2,00	1,30



Scheda 3 – Nodi costruttivi



Analisi risanamento energetico

	PARETE PERIMITRALE VERTICALE - M3m -		SOLAIO SU VESPAIO AERATO - S71 -		NODO COSTRUTTIVO - M3m/S71 -	
	U [W/m²K]	U <sub>lim</sub> [W/m²K]	U [W/m²K]	U <sub>lim</sub> [W/m²K]	ψ [W/mK]	ψ <sub>lim</sub> [W/mK]
TRASMITTANZA TERMICA (U)	0,38 <sup>2018</sup>	0,33 <sup>20</sup>	0,31 <sup>20</sup>	0,32 <sup>20</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA LINEICA (ψ)					0,49	0,23
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA (Y <sub>e</sub> )	Y <sub>e,lim</sub> [W/m²K]	Y <sub>e,lim</sub> [W/m²K]				
	0,003	0,12 <sup>20</sup>				
CONDENSA SUPERFICIALE (Temperatura superficiale - T <sub>s</sub> )	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]	T <sub>s</sub> [°C]	T <sub>s,min</sub> [°C]
	18,9	13,2	18,8	13,2	16,4	13,2
CONDENSA INTERSTIZIALE	Esito verifica		Esito verifica			
	verifica conforme <sup>20</sup>		verifica conforme <sup>20</sup>			

2. Verifiche termoisometriche sui nodi costruttivi:

- Trasmittanza termica lineica  $\psi$  [W/m² K]
- Condensa superficiale



Scheda 4 – Nodi costruttivi

4



Analisi risanamento energetico

**N1a** Chiusura verticale opaca (M3m) - Solaio contro terra (S71)

Dettaglio del nodo

**Legenda**

**MURATURA IN PIETRA E MALTA CON RIVESTIMENTO INTERNO IN LEGNO CON ISOLAMENTO NELL'INTERCAPEDINE (M3m)**

- 1 - Muratura in pietra e malta
- 2 - Fondo assorbente
- 3 - Isolati (pannello isolante in fibra di legno)
- 4 - Freno al vapore a diffusione regolabile
- 5 - Tavole verticali in legno recuperato

**SOLAIO CONTRO TERRA CON VESPAIO AERATO E ISOLAMENTO DALL'INTERNO (S71)**

- 1a - Plastrelle
- 2a - Massetto sabbia - cemento
- 3a - Massetto alleggerito
- 4a - Pannello isolante in vetro cellulare
- 5a - Barriera al vapore
- 6a - Getto in calcestruzzo armato
- 7a - Vespaio aerato con cassette a perdere
- 8a - Magrone
- 9a - Terreno
- 10a - Cordolo in calcestruzzo armato

**VESPAIO DRENANTE IN CIOTOLI**

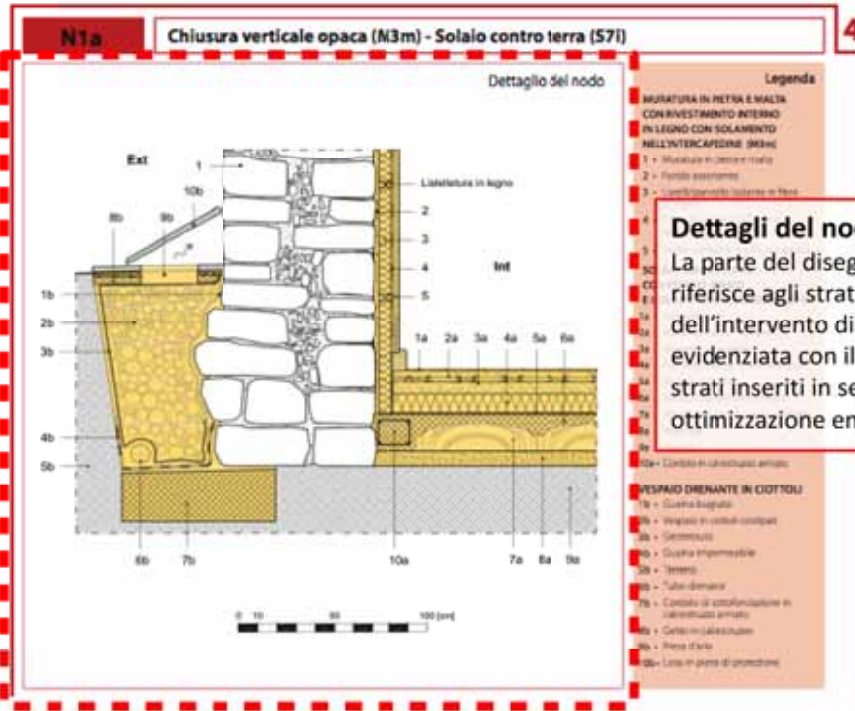
- 1b - Guaina bagnata
- 2b - Vespaio in ciottoli coperti
- 3b - Geotessuto
- 4b - Guaina impermeabile
- 5b - Terreno
- 6b - Tubo drenante
- 7b - Cordolo di sottofondazione in calcestruzzo armato
- 8b - Getto in calcestruzzo
- 9b - Presa d'aria
- 10b - Losa in pietra di protezione



Scheda 4 – Nodi costruttivi



Analisi risanamento energetico



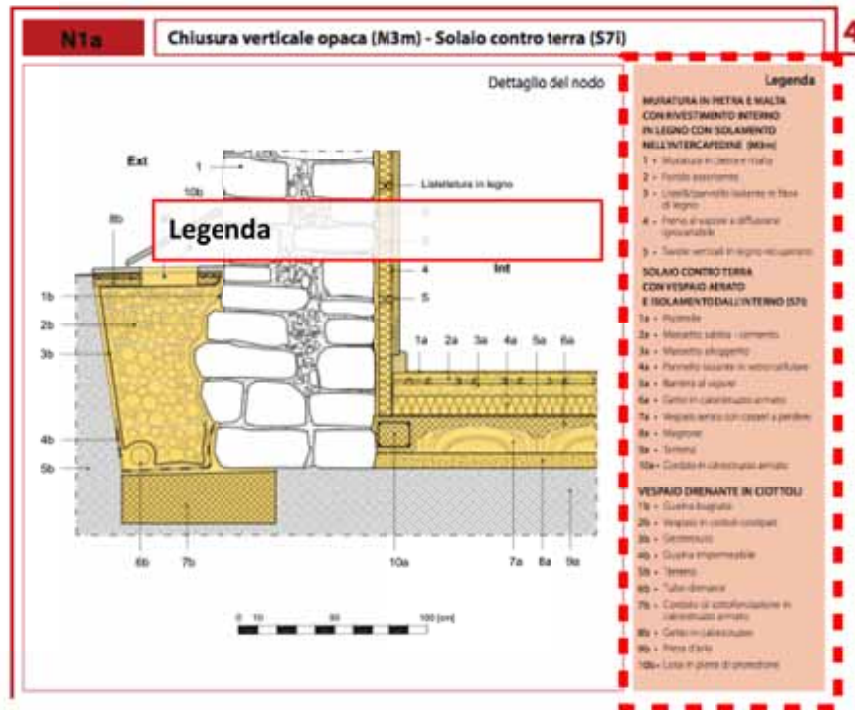
**Dettagli del nodo**

La parte del disegno in bianco e nero si riferisce agli strati presenti prima dell'intervento di risanamento; la parte evidenziata con il colore giallo indica i nuovi strati inseriti in seguito all'intervento di ottimizzazione energetica.

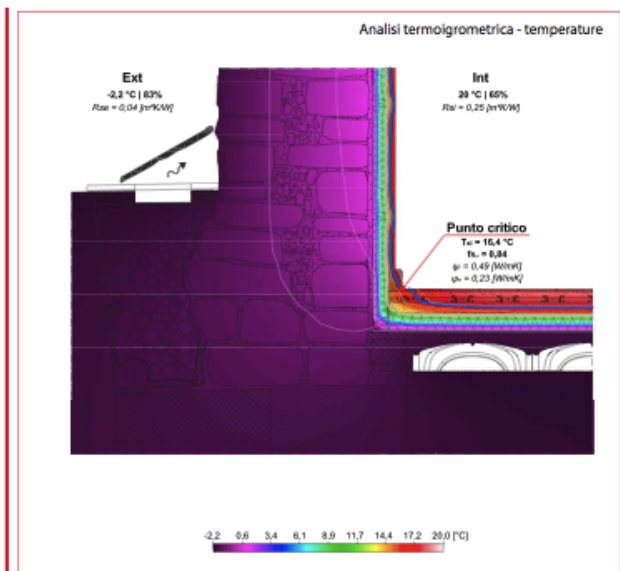
Scheda 4 – Nodi costruttivi



Analisi risanamento energetico



Scheda 4 – Nodi costruttivi



- Note**
1. La temperatura superficiale nell'angolo è superiore alla temperatura limite per la formazione di condensa superficiale. Il nodo risulta critico per la crescita di muffa. Infatti, in caso di umidità relativa in corrispondenza delle superfici superiore all'80% per periodi di tempo di diversi giorni, si possono creare le condizioni favorevoli per lo sviluppo di spore. Tale situazione può essere accettata temporaneamente e in piccole quantità se sono adottate misure adeguate al fine di prevenire il contatto con materiali adiacenti sensibili.
  2. L'intervento prevede la posa del cassero a parete per il vespaio aereo che permette la ventilazione dal pacchetto contro terra; in termini energetici ciò comporta una leggera peggioramento delle prestazioni, in quanto non è possibile considerare, in via cautelativa, il beneficio portato dallo scambio di calore con il terreno. Per la simulazione agli elementi finiti si è considerata, nella peggiore delle ipotesi, una temperatura dello strato d'aria nel vespaio aereo pari a quella esterna.
  3. L'andamento delle isoterme nelle stratigrafie di parete e di solaio è stato calcolato alla distanza di 1 m dal nodo, in corrispondenza di un tratto indisturbato dell'elemento costruttivo.

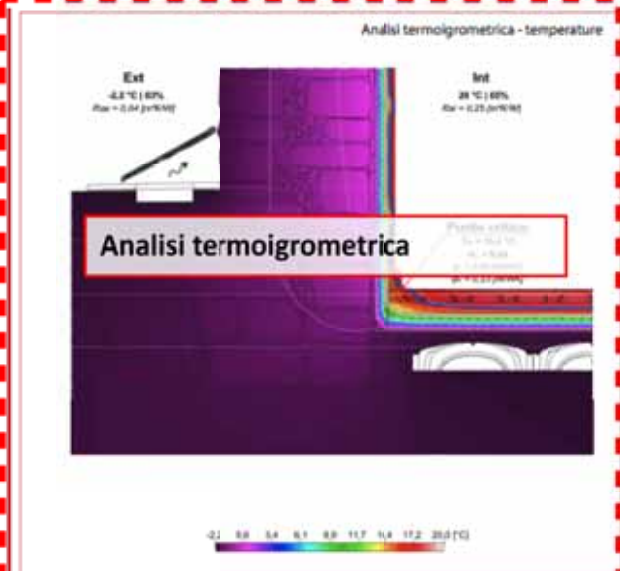


Analisi risanamento energetico

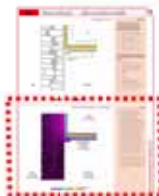
ANALISI RISANAMENTO ENERGETICO



Scheda 4 – Nodi costruttivi



- Note:**
- supporta alla lettura del diagramma dell'analisi termoigrometrica
  - specifica le criticità presenti nel nodo per la crescita di muffa
  - riporta la normativa di riferimento



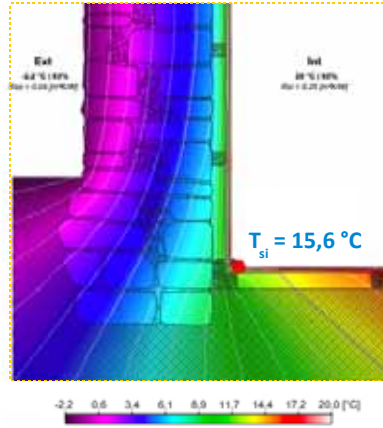
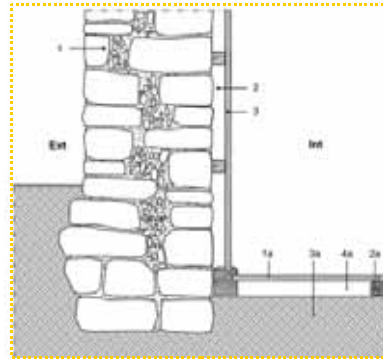
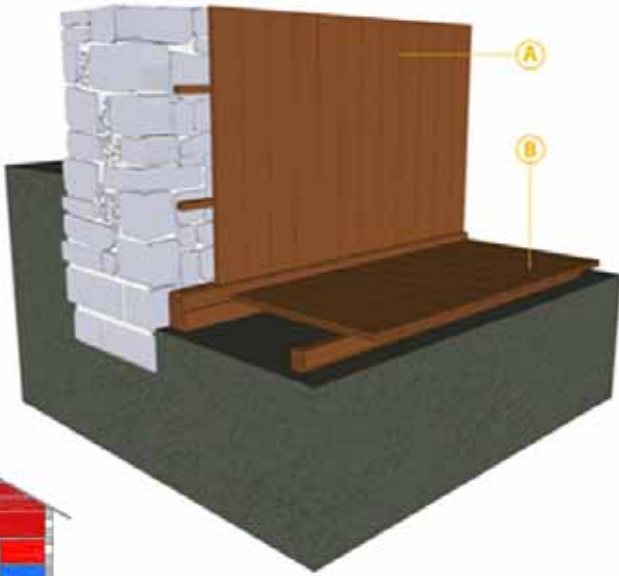
Analisi risanamento energetico

ANALISI RISANAMENTO ENERGETICO



### Nodi costruttivi

#### N1a Parete – Solaio contro terra

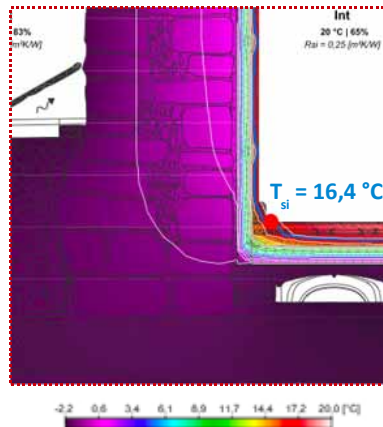
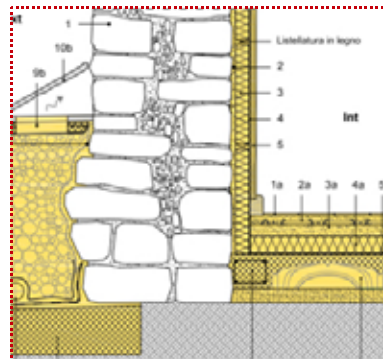
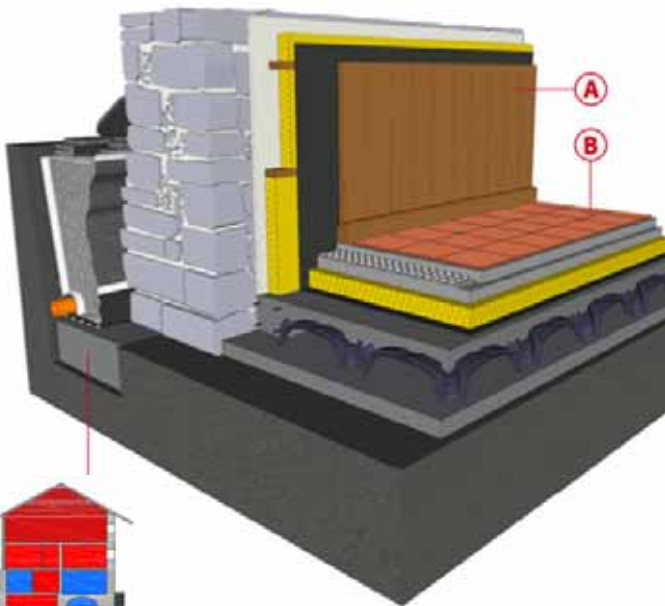


Stato di fatto



### Nodi costruttivi

#### N1a Parete – Solaio contro terra



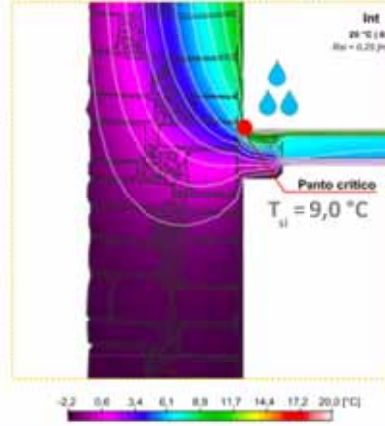
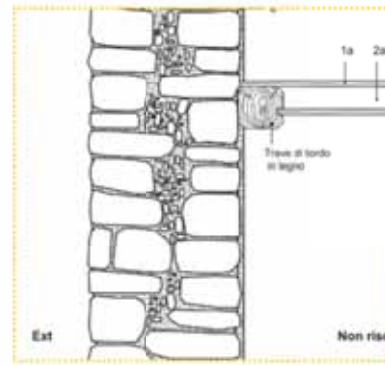
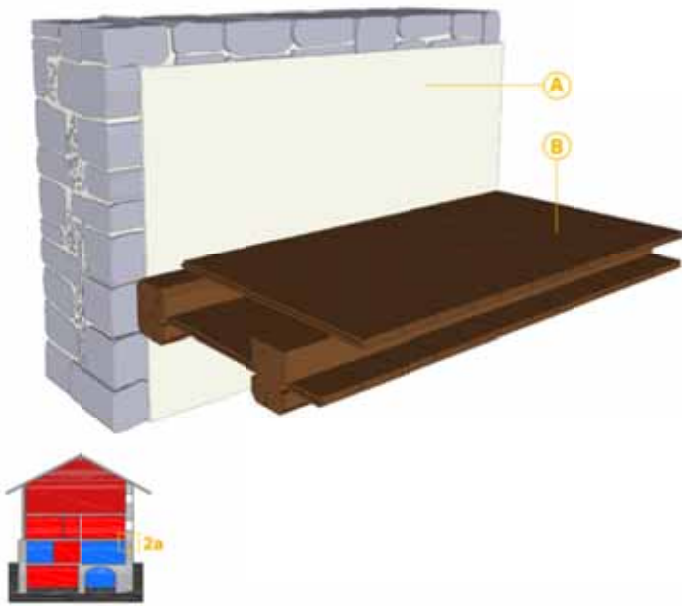
Risanamento energetico





## Nodi costruttivi

### N2a Parete – Solaio vs. spazio non riscaldato

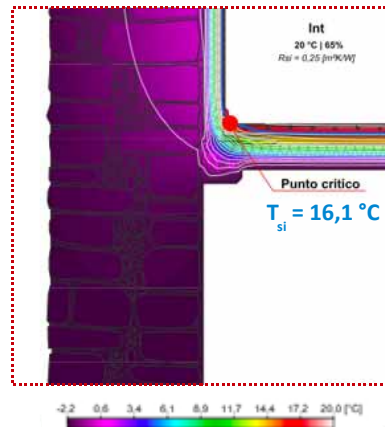
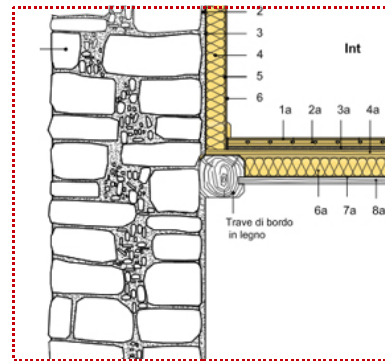
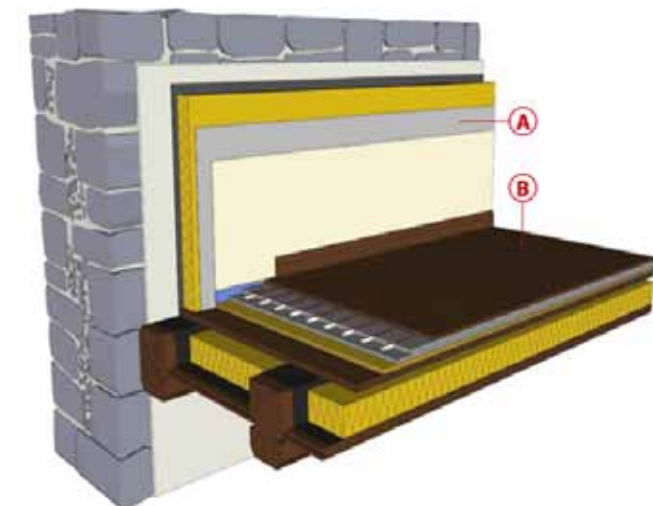


Stato di fatto



## Nodi costruttivi

### N2a Parete – Solaio vs. spazio non riscaldato

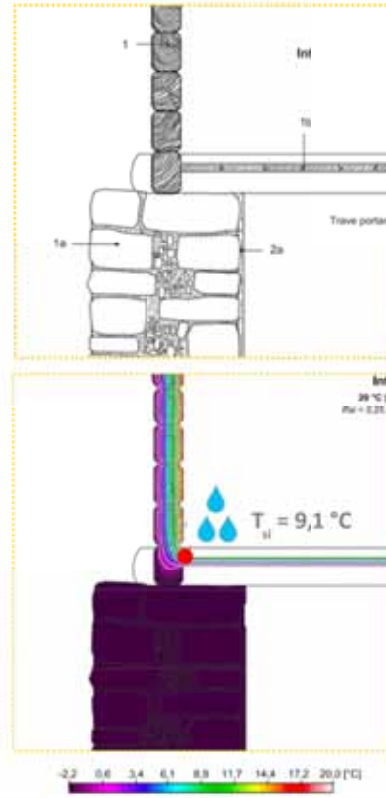
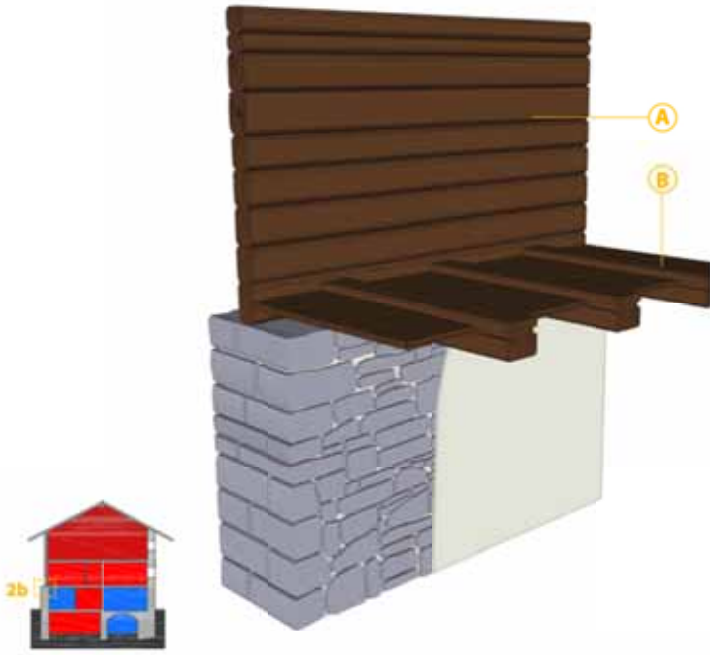


Risanamento energetico



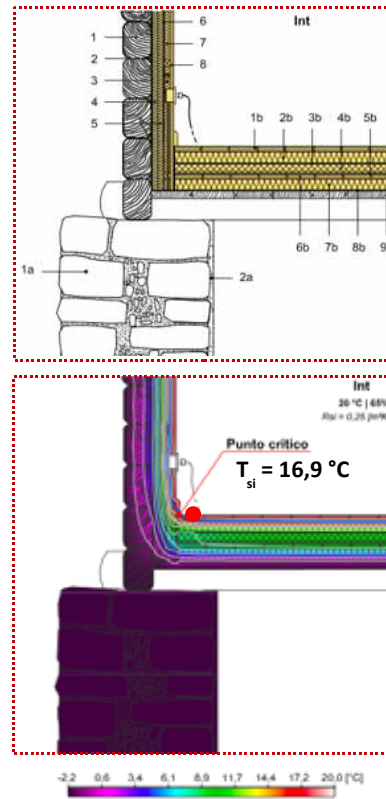
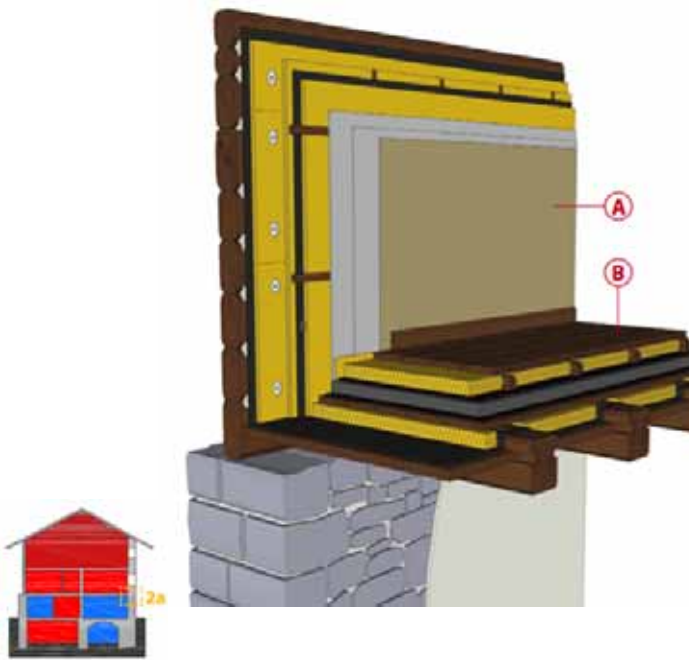
## Nodi costruttivi

### N2b Parete – Solaio vs. spazio non riscaldato



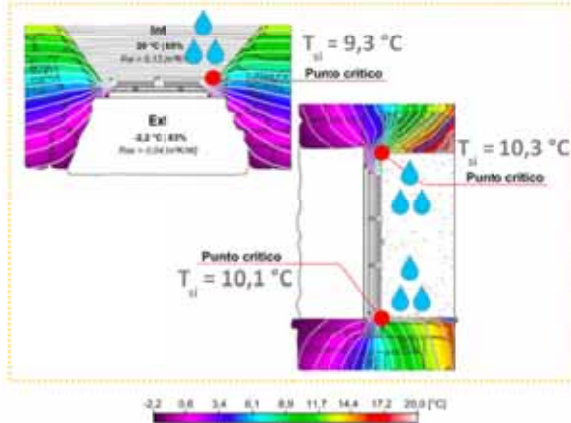
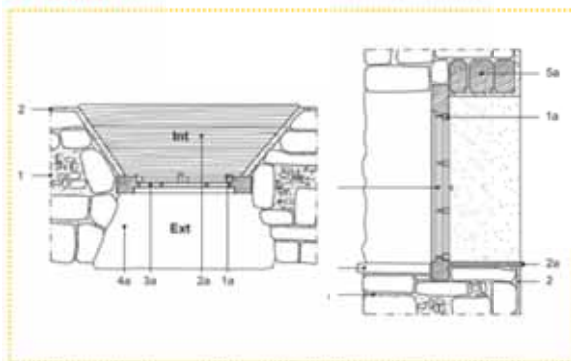
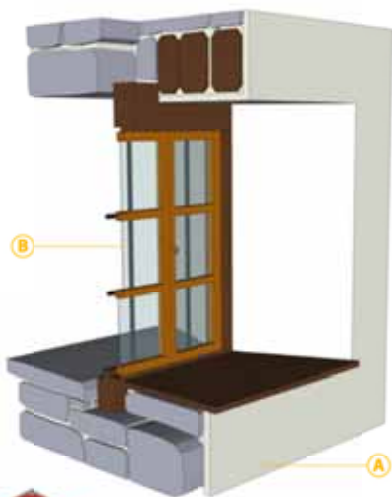
## Nodi costruttivi

### N2b Parete – Solaio vs. spazio non riscaldato



Nodi costruttivi

N3a Parete – Serramento

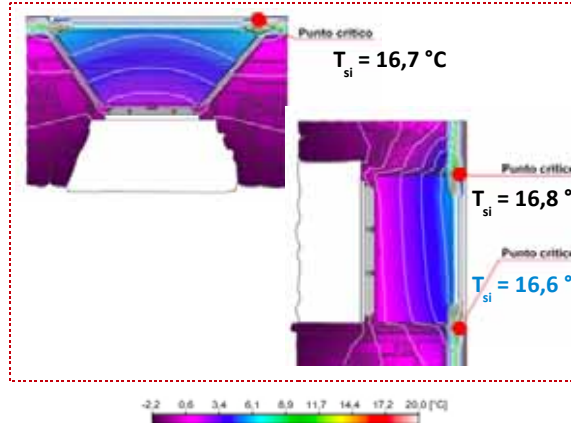
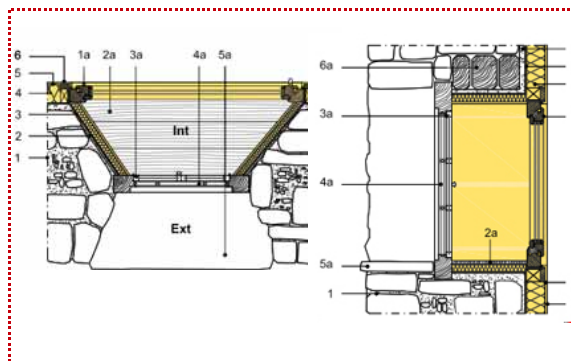
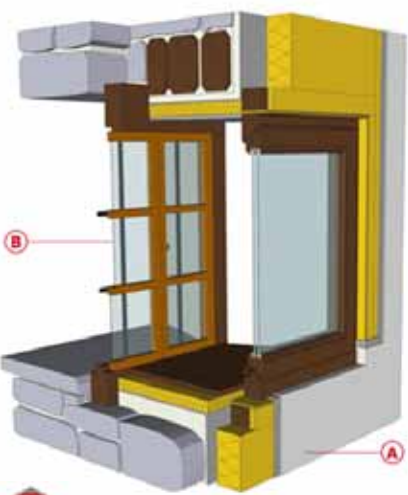


Stato di fatto



Nodi costruttivi

N3a Parete – Serramento

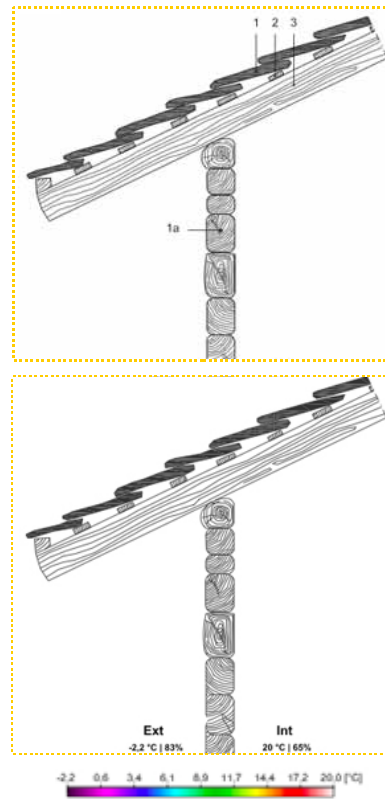


Risanamento energetico



## Nodi costruttivi

### N4a Parete – Copertura

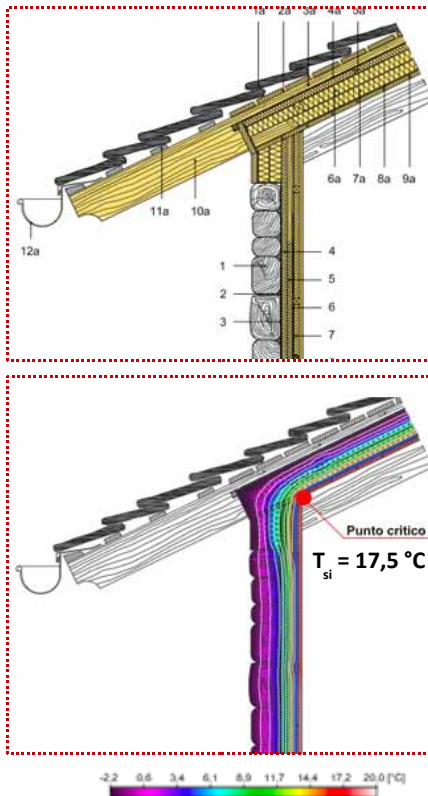
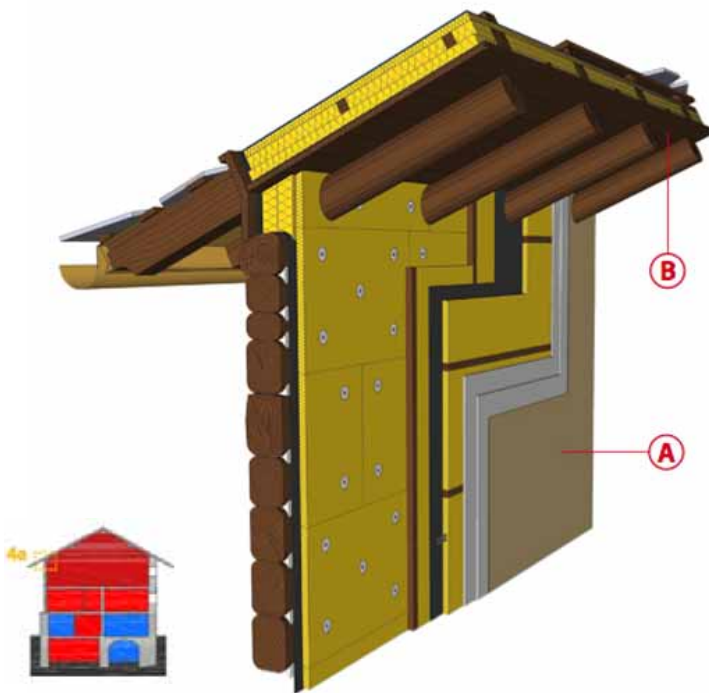


Stato di fatto



## Nodi costruttivi

### N4a Parete – Copertura

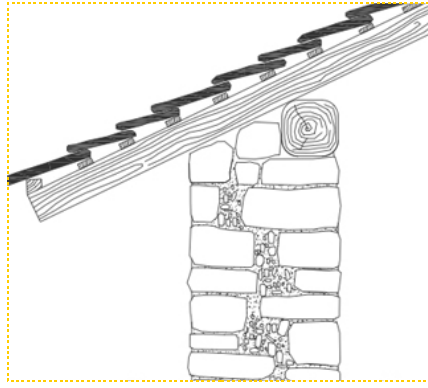
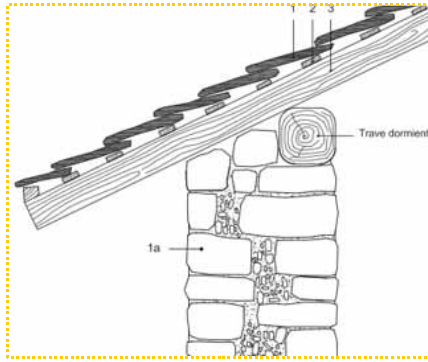
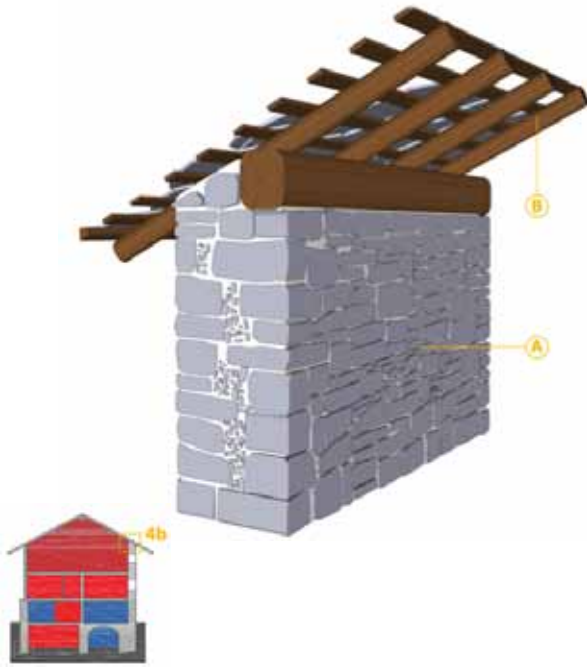


Risanamento energetico



## Nodi costruttivi

### N4b Parete – Copertura

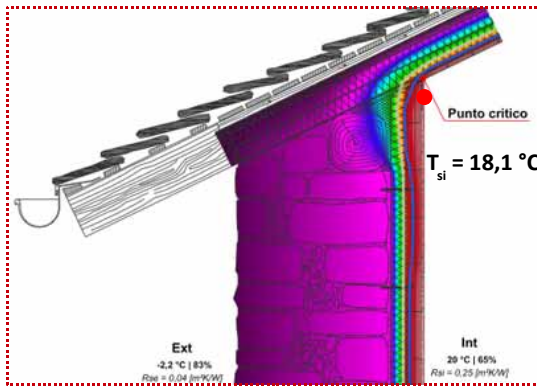
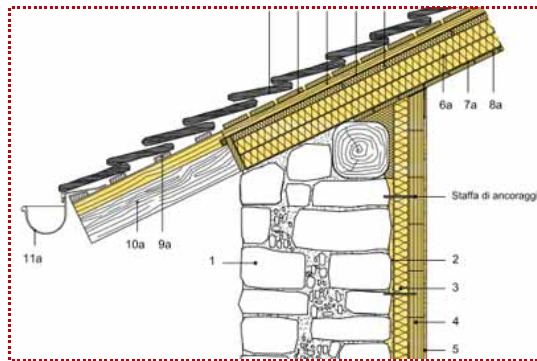
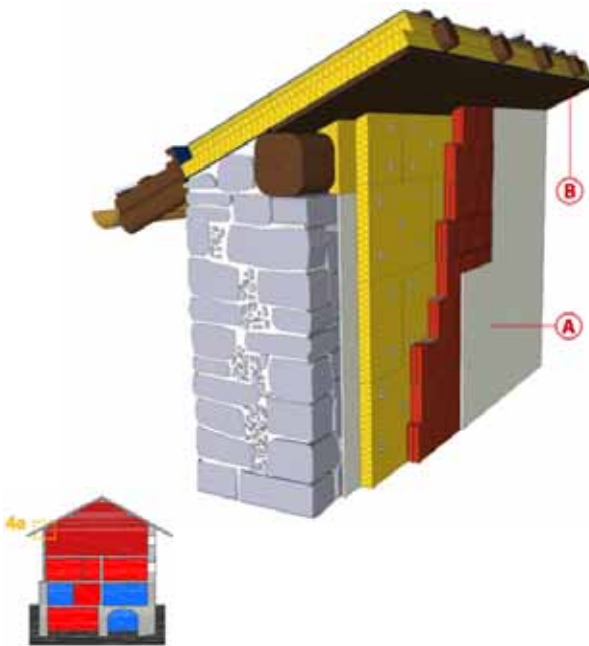


Stato di fatto



## Nodi costruttivi

### N4b Parete – Copertura



Risanamento energetico



## Letteratura di riferimento

### Per approfondimenti...

- [1] C. Benedetti et al., **Appunti di fisica tecnica**, Bozen-Bolzano University Press, Bolzano, 2009.
- [2] C. Benedetti et al., **Ponti termici**, Bozen-Bolzano University Press, Bolzano, 2013.
- [3] C. Benedetti et al., **Risanare l'esistente. Soluzioni per il comfort e l'efficienza energetica**, Bozen-Bolzano University Press, Bolzano, 2011.
- [4] C. Benedetti et al., **Materiali isolanti**, Bozen-Bolzano University Press, Bolzano, 2012.
- [5] C. Benedetti et al., **Appunti di cantiere**, Bozen-Bolzano University Press, Bolzano, 2012.
- [6] C. Benedetti et al., **Sistema finestra**, Bozen-Bolzano University Press, Bolzano, 2013.
- [7] C. Benedetti et al., **Umidità e tenuta all'aria**, Bozen-Bolzano University Press, Bolzano, 2013.



## Letteratura di riferimento

### Per approfondimenti...

- [8] **UNI EN ISO 6946:2008**, Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo.
- [9] **UNI EN ISO 10077-1:2007**, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità.
- [10] **UNI EN ISO 10077-2:2004**, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo numerico per i telai.
- [11] **UNI EN ISO 10211:2008**, Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati.
- [12] **UNI EN ISO 13370:2008**, Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo.
- [13] **UNI EN ISO 13788:2003**, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo.
- [14] **UNI EN ISO 14683:2008**, Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento.
- [15] **D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59**, Regolamento di attuazione dell'art. 4, comma 1, lettere a) e b) del Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.



**GRAZIE**  
**PER LA VOSTRA ATTENZIONE**

