
Aspetti termici degli edifici

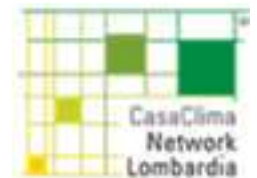
Soluzioni e strategie verso gli edifici a zero energia

Arch Dugnani

Problematiche legate alla trasmissione del calore negli edifici

Parametri tecnici delle termocamere

Ponti termici



Breve riepilogo dei concetti teorici

Calore Nei solidi il calore è una misura dell'ampiezza di oscillazione degli atomi, mentre la **temperatura** è la frequenza di oscillazione degli atomi stessi. Il calore dipende dalla quantità e dalla qualità della massa. Ad esempio posso avere piccole masse ad elevata temperatura (filamento lampadina con piccole quantità di calore) o grandi masse a basse temperatura (esempio l'oceano che contengono enormi quantità di calore); si misura in Joule.

Calore specifico Indica la diversa capacità termica di immagazzinamento di calore in rapporto alla variazione di temperatura, ovvero la quantità di calorie necessaria per portare un corpo da una temperatura da T1 ad una T2,

TABELLA SOSTANZE *valori in caloria / grammo di materiale*

Acqua	1	Olio	0,443
Ghiaccio	0,467	Vetro	0,198
Alluminio	0,2141	Ferro	0,115
Rame	0,095	Argento	0,057

Scala della temperatura

Unità di Misura

La caloria è l'unità di misura della quantità di calore necessaria per riscaldare da $14,5^\circ$ a $15,5^\circ$ un grammo di acqua distillata. Dato che è piccola si usa comunemente la Kcal che è quantità di calore necessaria per riscaldare da $14,5^\circ$ a $15,5^\circ$ un chilogrammo di acqua distillata.

Scala Centigrada

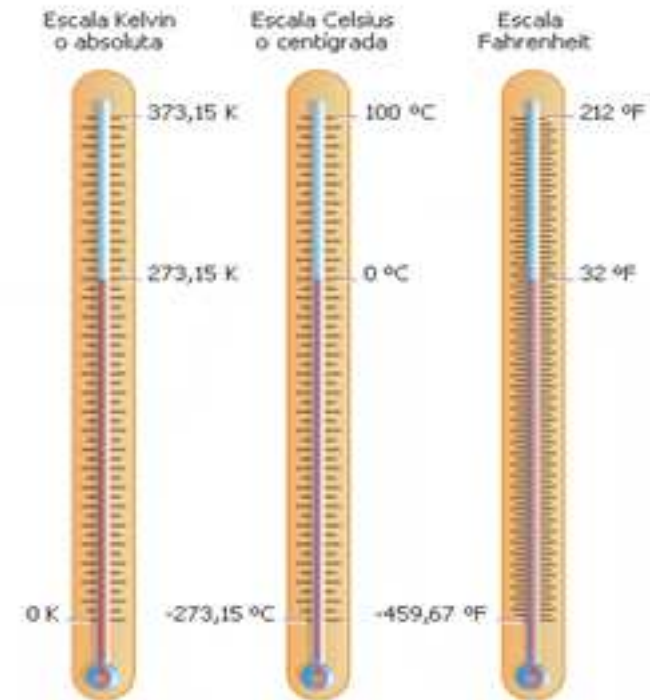
Fissa lo 0 alla fusione del ghiaccio e 100° all'ebollizione dell'acqua

Scala fahrenheit

Fissa 32° alla fusione del ghiaccio e 212° all'ebollizione dell'acqua

Scala kelvin

Fissa lo 0° allo 0 assoluto ovvero $-273,16$ minima temperatura



Concetti teorici generali

Temperatura

Rappresenta il livello di energia termica posseduto da un corpo.

Viene determinata dalla velocità media delle molecole che lo compongono.

Misura della temperatura

La misura della temperatura può essere fatta con diverse tecniche

Termometri a liquido

Essi sfruttano il fenomeno fisico della dilatazione termica di un liquido che si manifesta al variare della temperatura. Il liquido (in passato era prevalentemente mercurio) espandendosi in funzione della temperatura all' interno la c della colonnina saliva per capillarità indicando il livello della temperatura raggiunto.



Strumenti di misura della temperatura

Termometri a resistenza.

Si basa sul principio della variazione della resistenza elettrica al variare della temperatura. Sono le più precise, comunemente note come pt100 o similari. ne esistono di diversi tipi in base ai materiali. La dizione Pt vuol identificare il materiale, in questo caso il Platino 100 = indica la precisione centesimale

PT1000 = termometro con base platino e precisione millesimale

Ni 100 è il termometro con base nichel e precisione centesimale

Pirometri

Il pirometro o termometro ad infrarosso viene utilizzato per la misura delle temperature senza contatto sfruttando l'energia radiante emessa da un corpo. I diversi termometri ad infrarosso o pirometri, possono misurare intervalli di temperature da 0 a 1500°C con precisione sino a 0,1°C.



Strumenti di misura della temperatura

Termocamere

La termocamera è una particolare telecamera, sensibile alla radiazione infrarossa, capace di ottenere immagini o riprese termografiche. A partire dalla radiazione rilevata si ottengono dunque delle mappe di temperatura delle superfici .

Le termocamere si dividono in radiometriche e non radiometriche. Le prime consentono di misurare il valore di temperatura assoluto di ogni punto dell'immagine.

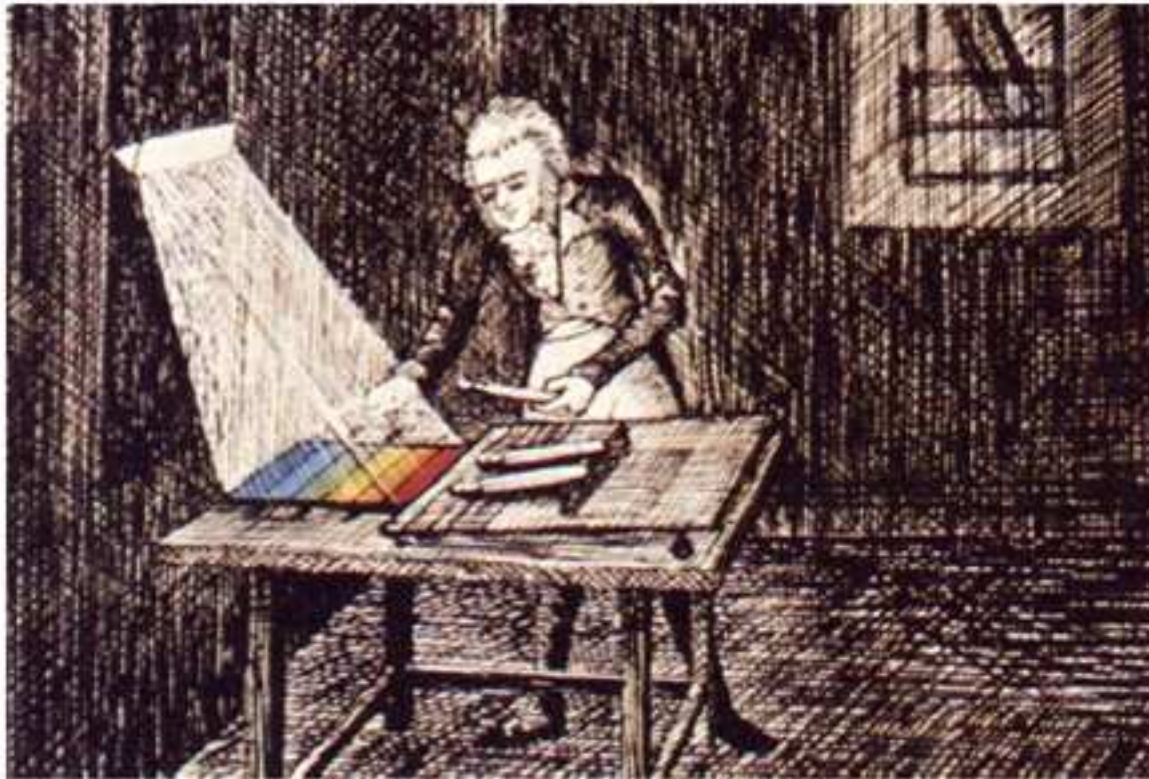
L'immagine, infatti, è costruita su una matrice di un certo numero di pixel per un certo numero di righe.

L'elettronica dello strumento "legge" velocemente il valore di energia immagazzinata da ogni singolo pixel e genera un'immagine, in bianco e nero o in falsi colori, dell'oggetto osservato.

La termocamera è lo strumento principale per “vedere il calore”

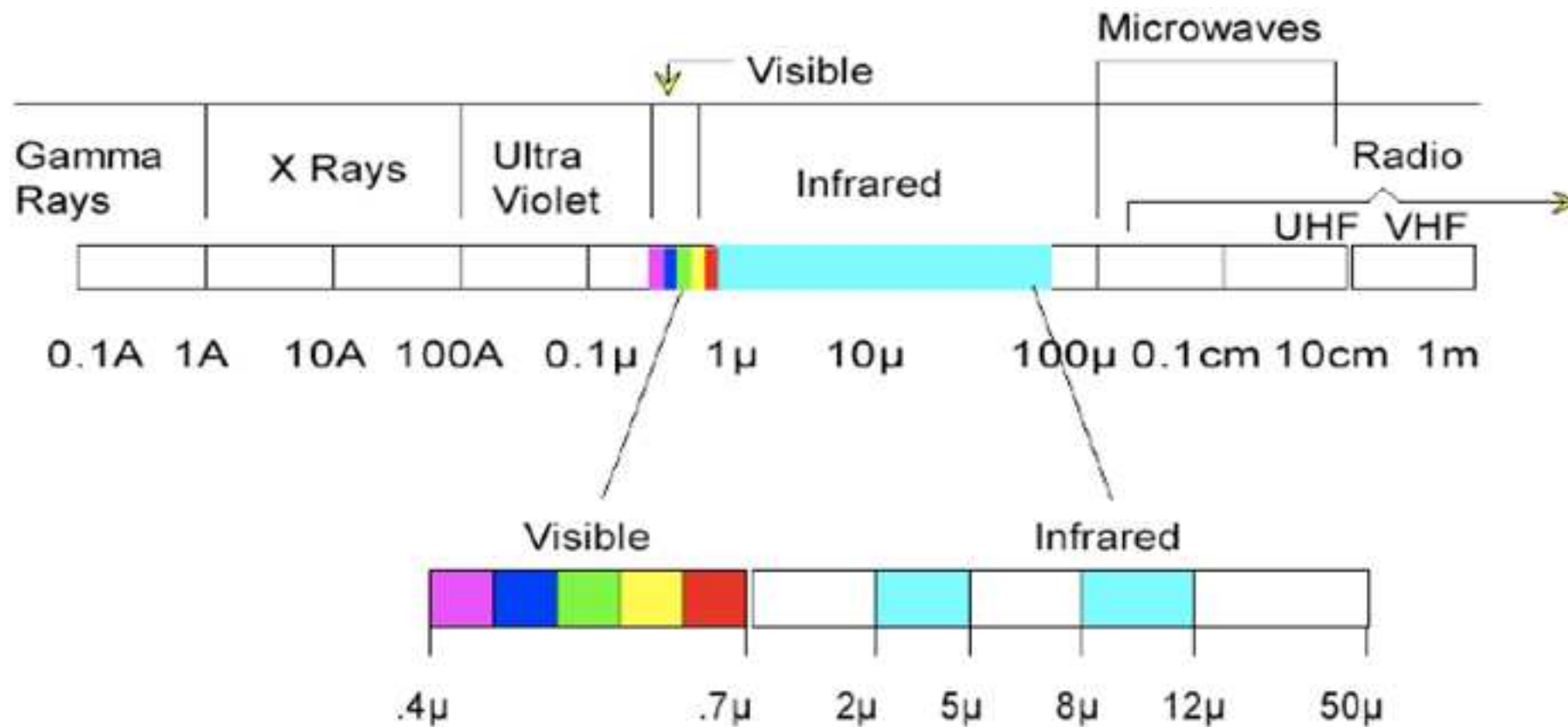


Calore – i primi studi di W. Herschel 1801

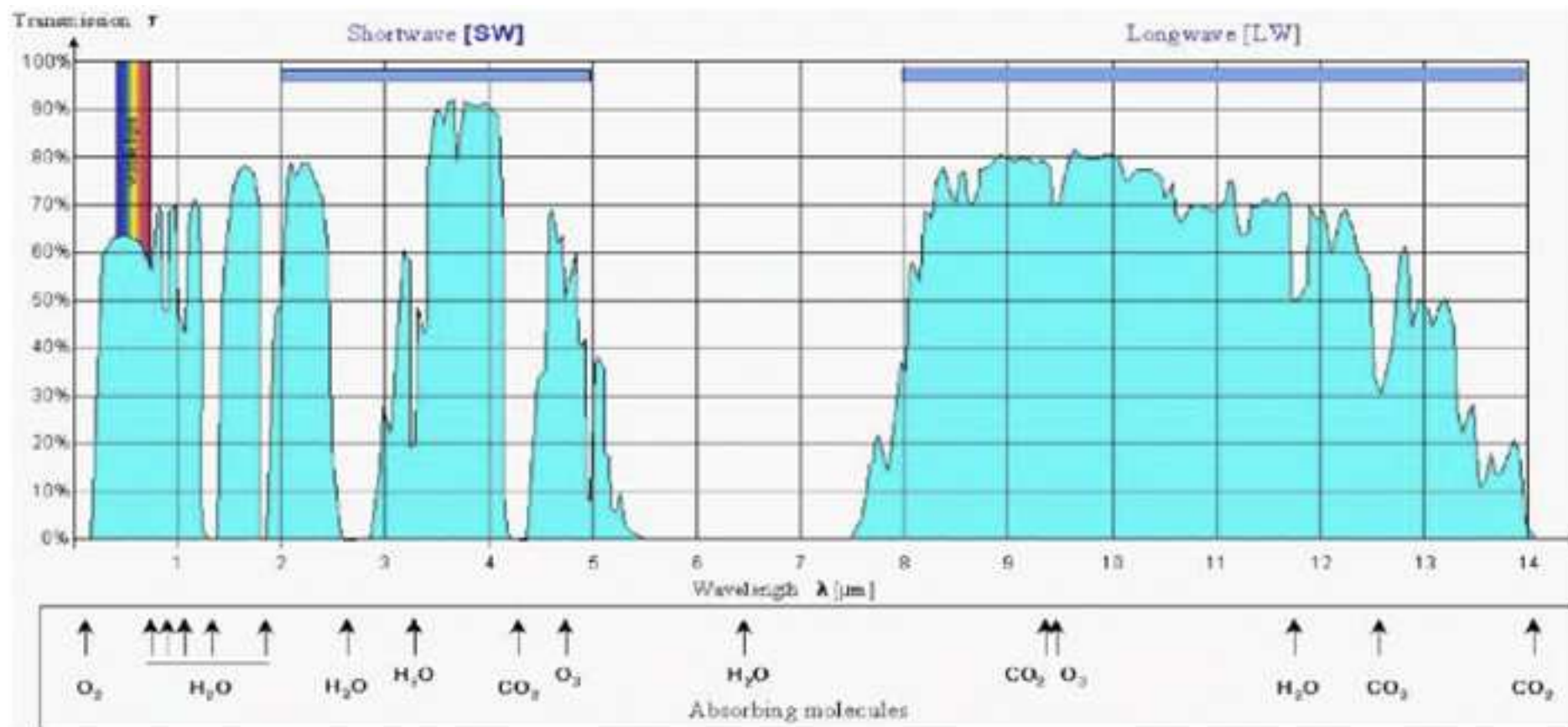


L'esperienza di Herschel fu quella di separare una lama di luce solare nelle sue componenti cromatiche tramite un prisma e di misurare con un termometro la temperatura corrispondente ai vari colori. Scopri che la temperatura massima si aveva sul rosso ma anche che spostandosi oltre il rosso la temperatura saliva ulteriormente il che gli permise di ipotizzare l'esistenza degli infrarossi.

Schema delle radiazioni nello spettro



Trasparenza dell' atmosfera all' i.r.



Legge di Plank

La legge di plank descrive l'emissione del corpo nero

$$W_{BB}(\lambda, T) = \frac{2 \cdot \pi \cdot c^2 \cdot h}{\lambda^5 \left[e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1 \right]}$$

$W_{BB}(\lambda, T)$ = intensità della radiazione emessa da una superficie piana di un corpo nero in una semisfera per unità di area, alla lunghezza d'onda λ e temperatura T [W/m³].

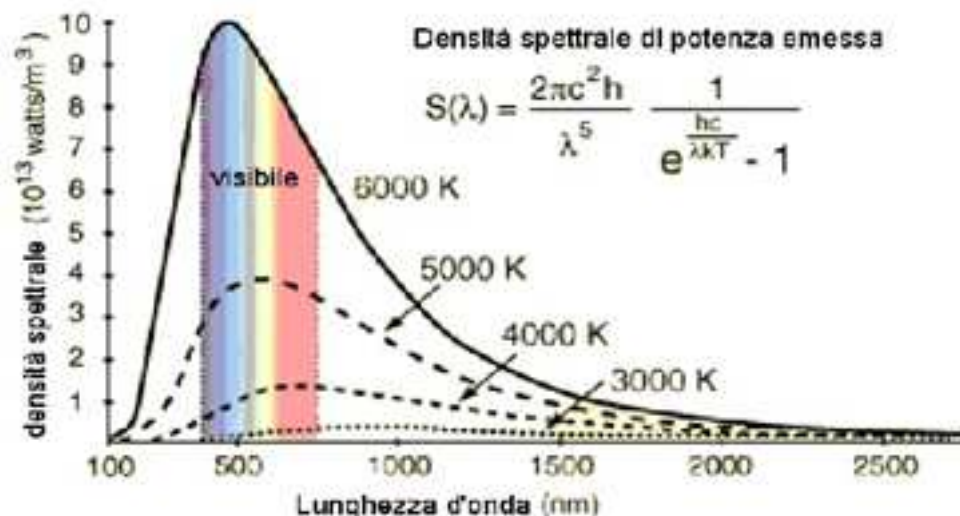
c = velocità della luce nel vuoto

h = costante di Plank [6,625*10⁻³⁴Js]

λ = lunghezza d'onda della radiazione

k = costante di Boltzman
[1,3806505 *10⁻²³J/K]

T = temperatura assoluta del
corpo nero [K]



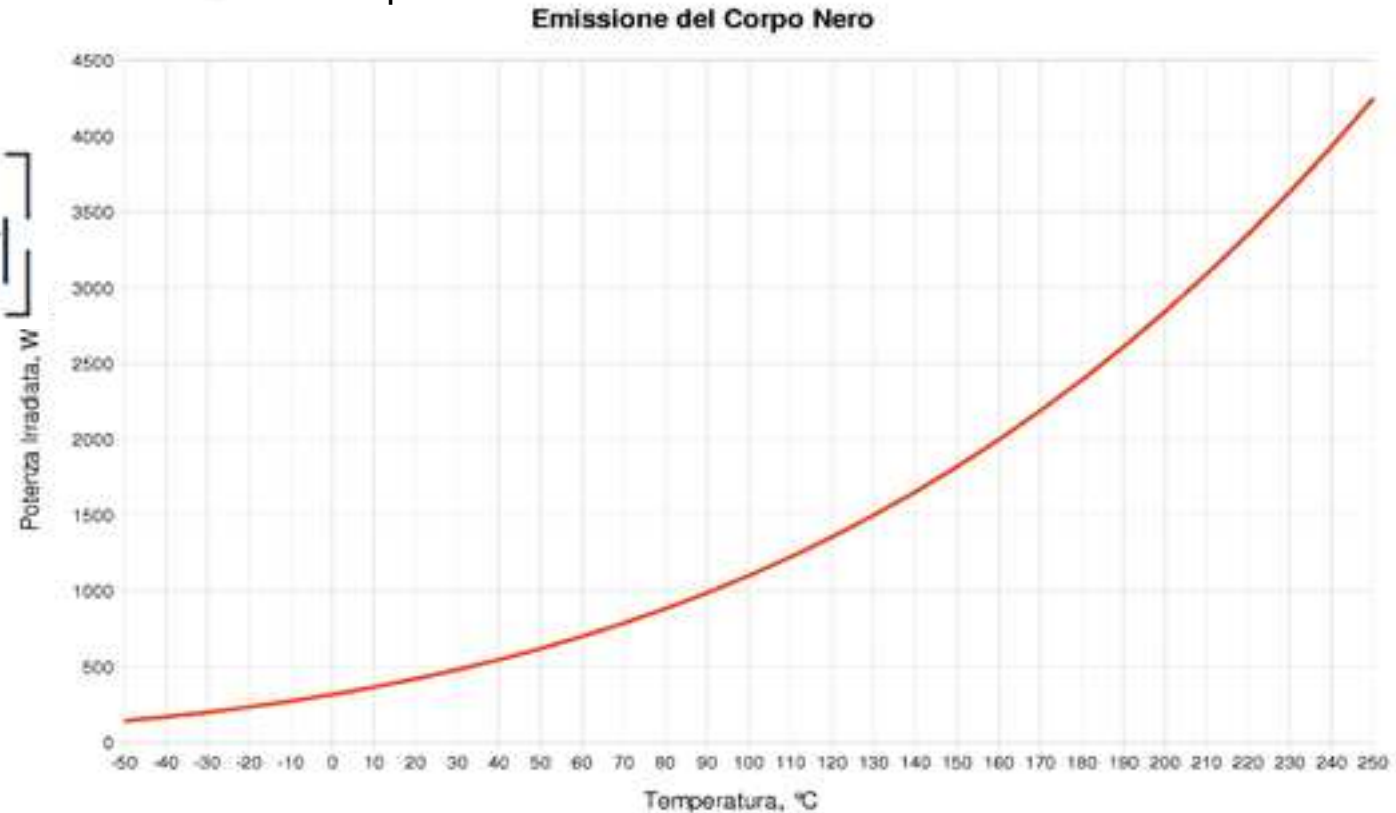
Leggi fondamentali di Boltzman

Legge di Stefan-Boltzman

Questa legge integra quella di Plank nella lunghezza d'onda e ci dice quant'è l'energia totale irradiata da un corpo nero in funzione della temperatura:

$$W_T = \sigma \cdot T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

di Stefan-Boltzman
[5,67*10Wm].



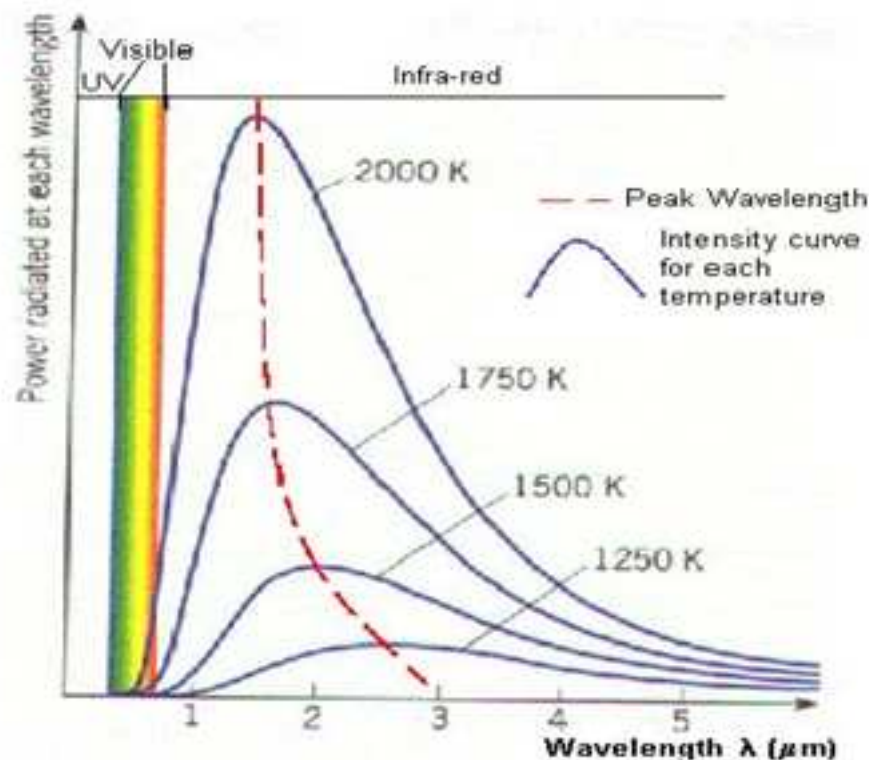
Legge di Wien

▷ Legge di Wien

Questa legge stabilisce una corrispondenza semplice tra la temperatura del corpo nero e la lunghezza d'onda in corrispondenza al massimo di emissione:

$$\lambda_{MAX} = \frac{2891}{T} [\mu m]$$

Tale lunghezza d'onda diminuisce all'aumentare della temperatura.



Legge di kirchoff

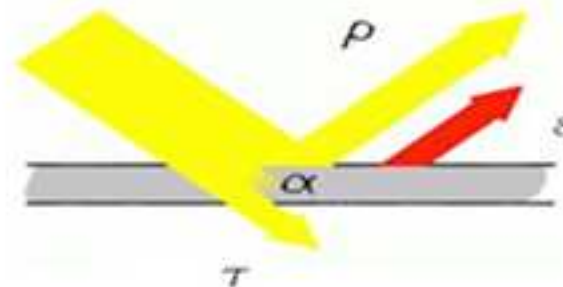
LEGGE DI KIRCHHOFF

Per ogni sostanza il comportamento rispetto all'emissione e all'assorbimento, a parità di temperature, è il medesimo



Il coefficiente di emissività e quello di assorbimento coincidono

Definisce la misura della capacità di un materiale di irraggiare energia



$$\alpha = \epsilon$$

La emissività di un materiale (di solito indicata con ϵ) è la frazione di energia irraggiata da quel materiale rispetto all'energia irraggiata da un corpo nero che sia alla stessa temperatura

Emissivita dei materiali

L' emissività di un materiale (di solito indicata con ε) è la frazione di energia irraggiata da quel materiale rispetto all'energia irraggiata da un corpo nero che sia alla stessa temperatura. Più semplicemente è una misura della capacità di irraggiare energia

MATERIALE	LUNGHEZZA D'ONDA $\lambda, \Delta\lambda$	TEMPERATURA T (°C)	EMISSIONE $\varepsilon_r (\Delta\lambda, T)$	MATERIALE	LUNGHEZZA D'ONDA $\lambda, \Delta\lambda$	TEMPERATURA T (°C)	EMISSIONE $\varepsilon_r (\Delta\lambda, T)$
Acciaio al carbonio in lamiera	8÷12	30	0.40÷0.60	Carta, bianca	2÷5	17	0.68
Acciaio arrugginito	2÷5	20	0.69	Carta da parati	2÷5	30	0.85÷0.90
Acciaio inossidabile	8÷12	30	0.10÷0.80	Ceramica	2÷5	30	0.85÷0.95
Acciaio zincato in lamiera	2÷5	30	0.23	Ceramica	2÷5	600	0.60÷0.90
Acqua	8÷12	0÷100	0.93	Cromo	8÷12	30	0.02÷0.20
Alluminio non ossidato	8÷12	30	0.02÷0.10	Cromo lucidato	2÷5	50	0.10
Alluminio ossidato	8÷12	30	0.20÷0.40	Ferro arrugginito	8÷12	30	0.50÷0.70
Amianto	8÷12	30	0.95	Ferro forgiato opaco	8÷12	30	0.90
Argento	8÷12	30	0.02	Ferro laminato in fogli	2÷5	20	0.66
Argilla	8÷12	30	0.95	Ferro lucidato	2÷5	400÷1000	0.14÷0.38
Asfalto	8÷12	30	0.95	Ferro tipo "latta" in fogli	2÷5	100	0.07
Bronzo greggio	2÷5	50÷150	0.55	Gesso	2÷5	30	0.92
Calcare	8÷12	30	0.98	Ghiaccio	8÷12	<0	0.98
Calce	2÷5	30	0.30÷0.4	Ghiaia	8÷12	30	0.95
Calcestruzzo	8÷12	30	0.95	Ghisa greggia	2÷5	50	0.81

Emissivita dei materiali

MATERIALE	LUNGHEZZA D'ONDA $\lambda, \Delta\lambda$	TEMPERATURA T (°C)	EMISSIONE $\epsilon_r (\Delta\lambda, T)$	MATERIALE	LUNGHEZZA D'ONDA $\lambda, \Delta\lambda$	TEMPERATURA T (°C)	EMISSIONE $\epsilon_r (\Delta\lambda, T)$
Ghisa ossidata	8÷12 30	0.60÷0.95		Rame ossidato	8÷12 30	0.40÷0.80	
Gomma	8÷12 30	0.95		Sabbia	8÷12 30	0.90	
Gomma elastica	2÷5 30	0.86		Terreno	8÷12 30	0.9÷0.98	
Granito, superficie naturale	5 36	0.96		Tessuto	2÷5 30	0.95	
Corteccia d'albero	8÷12 30	0.98		Tessuto in juta, non colorato	2÷5 30	0.87	
Legno	2÷5 30	0.78		Tessuto per abito	8÷12 30	0.95	
Legno compensato	2÷5 17	0.83÷0.98		Vernice	8÷12 30	0.90÷0.95	
Malta per intonaco	2÷5 17	0.86÷0.95		Vernice per radiatori	2÷5 100	0.77÷0.85	
Marmo	2÷5 20	0.93		Fibra di vetro	2÷5 20	0.80÷0.98	
Mattone refrattario	2÷5 1-100	0.75		Vetro piatto	8÷12 30	0.85	
Mattone rosso (comune)	2÷5 20	0.95		Ciottoli	2÷5 20	0.74÷0.96	
Neve	8÷12 <0	0.90		Foglia d'albero	8÷12 30	0.98	
Pietra	2÷5 20	0.92		Lana	2÷5 30	0.78	
Pietra da calce	5 36	0.96		Nastro adesivo nero	5 30	0.97	
Plexiglas, Perspex	2÷5 30	0.86		Pelle grezza	2÷5 30	0.98	
P.V.C.	2÷5 17	0.91÷0.93		Terrecotte	2÷5 70	0.91	
Rame lucidato	8÷12 30	0.03					

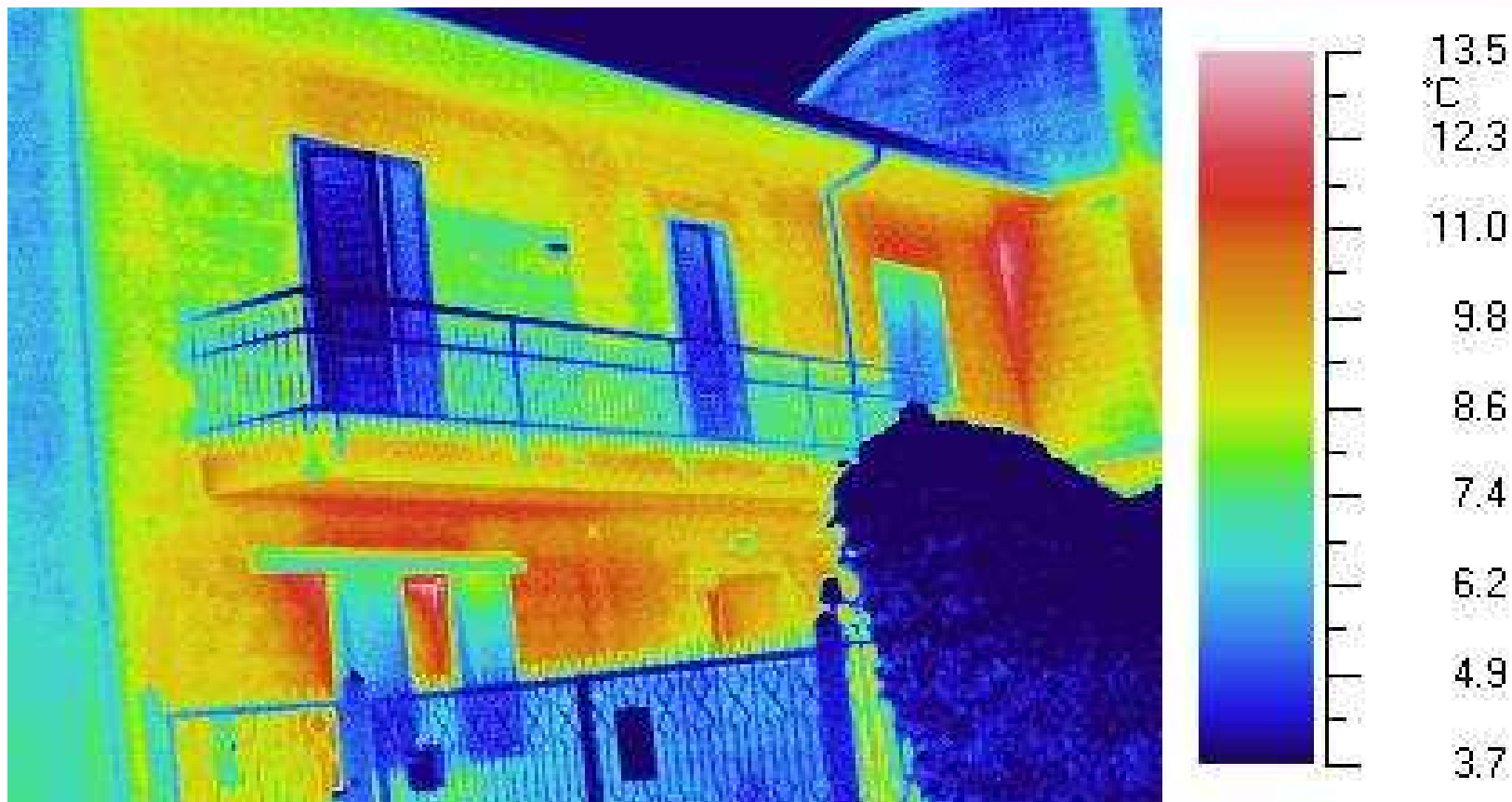
Come vedremmo nell'infrarosso

Come abbiamo visto , gli aspetti termici degli edifici sono normalmente celati alla nostra vista in quanto l'infrarosso non è visibile ai nostri occhi

Con una termocamera riusciamo andare oltre ai limiti della nostra visione, oltre il limite della normale apparenza per svelare moltissimi aspetti delle costruzioni che ci svelano un mondo fino ad ora nascosto

Cosa potremmo scoprire se il nostro occhio non avesse questo limite di lunghezza d'onda percepito?

Ecco come ci apparirebbero gli edifici



L'immagine all' infrarosso ci permette di apprezzare i diversa temperatura superficiale
Come tecnici siamo anche in grado di riconoscere ponti termici e le superfici con diversa trasmittanza.

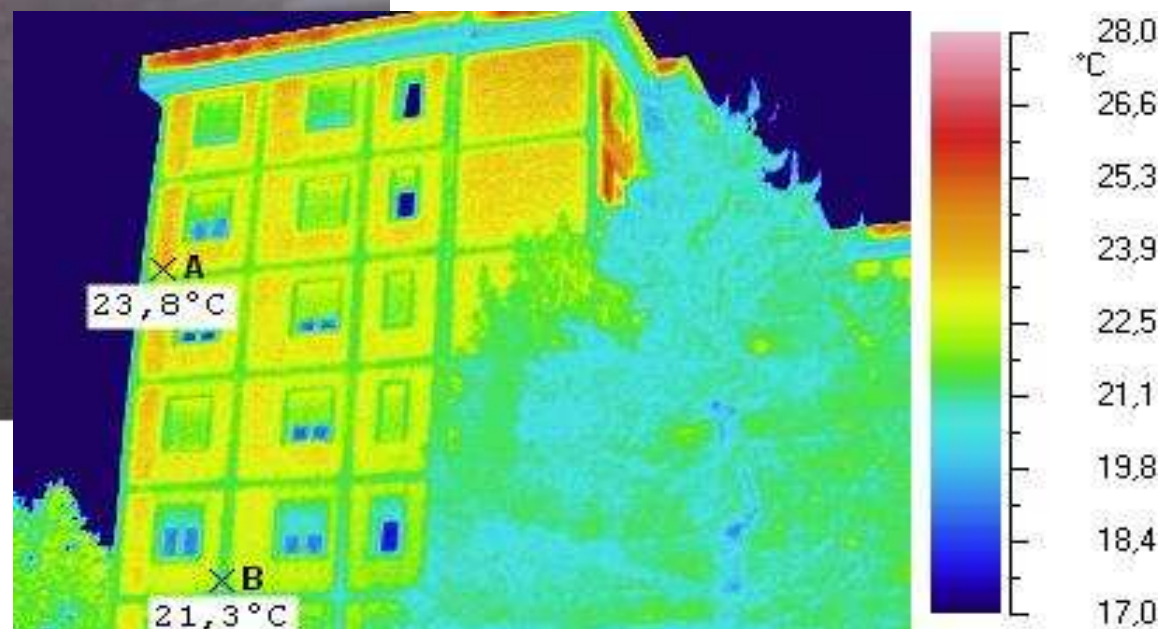
Immagine nel visibile



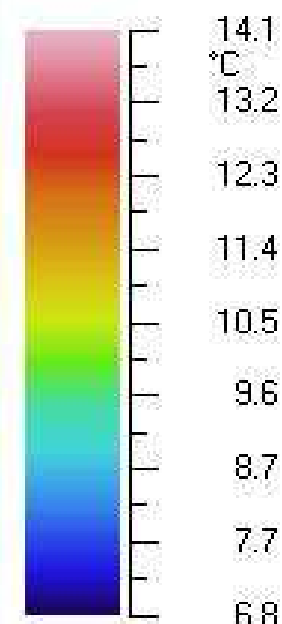
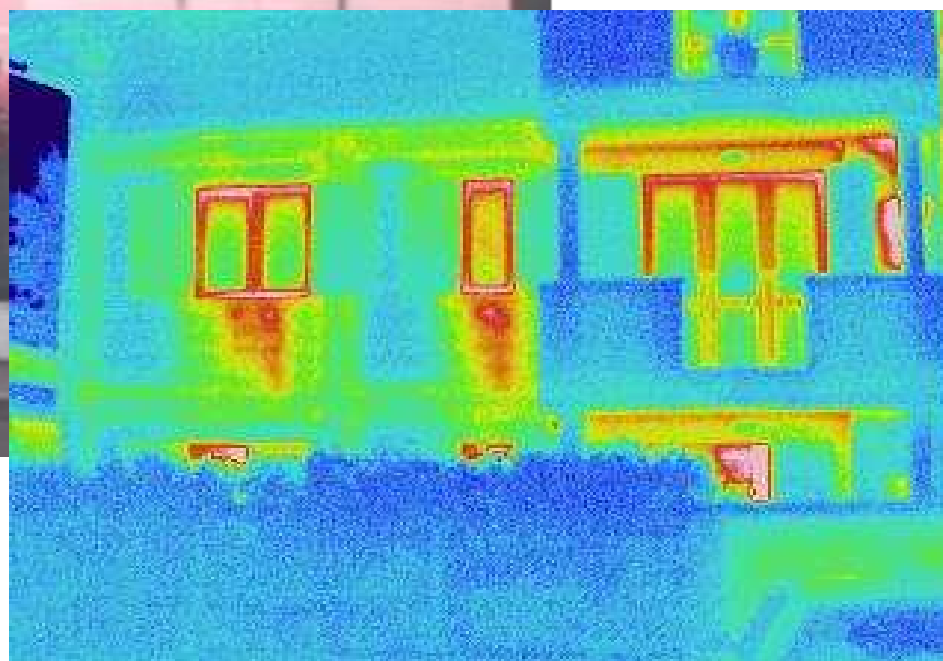
Esempi di indagine termica



Esempi di immagini termiche



Esempi di indagine termica

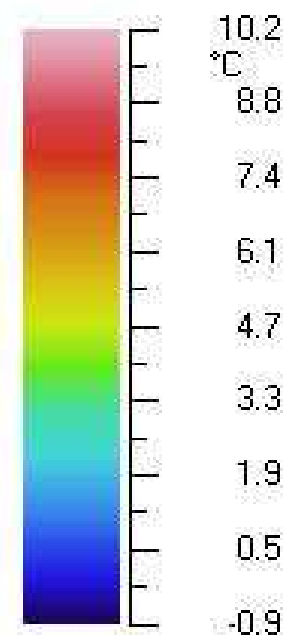
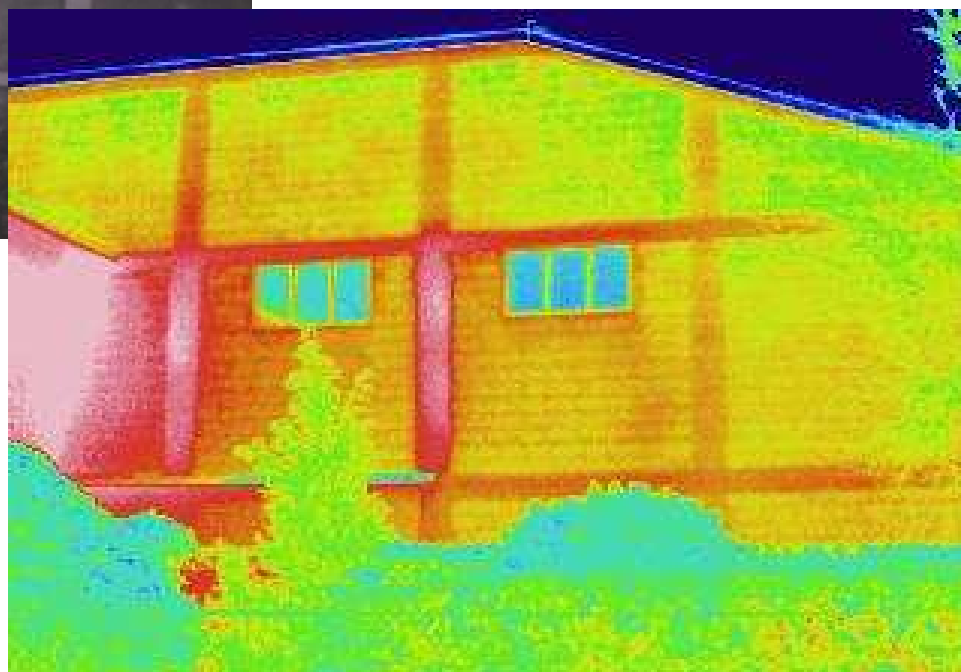


Esempi di indagine termografica

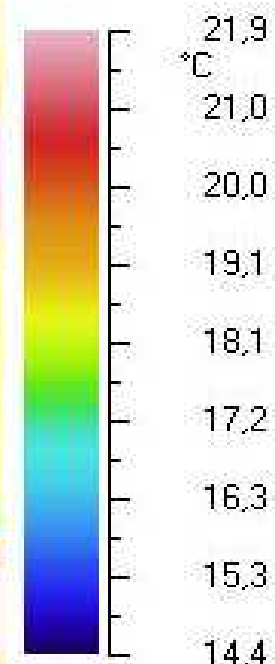
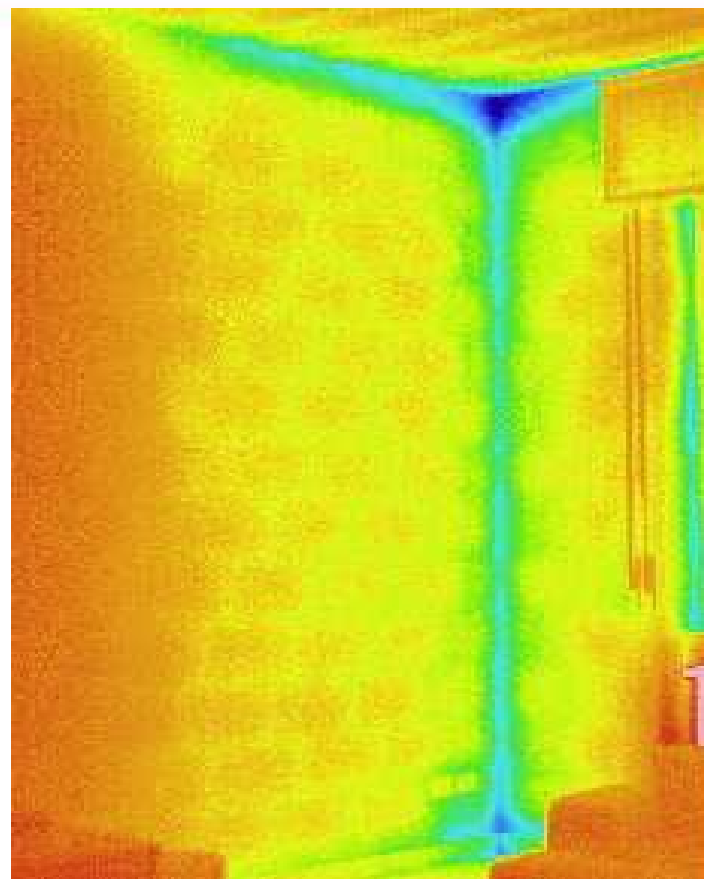


Nell'infrarosso si possono apprezzare i ponti termici e stimare l'entità delle superfici con diversa trasmittanza non altrimenti valutabile

Immagine nel visibile

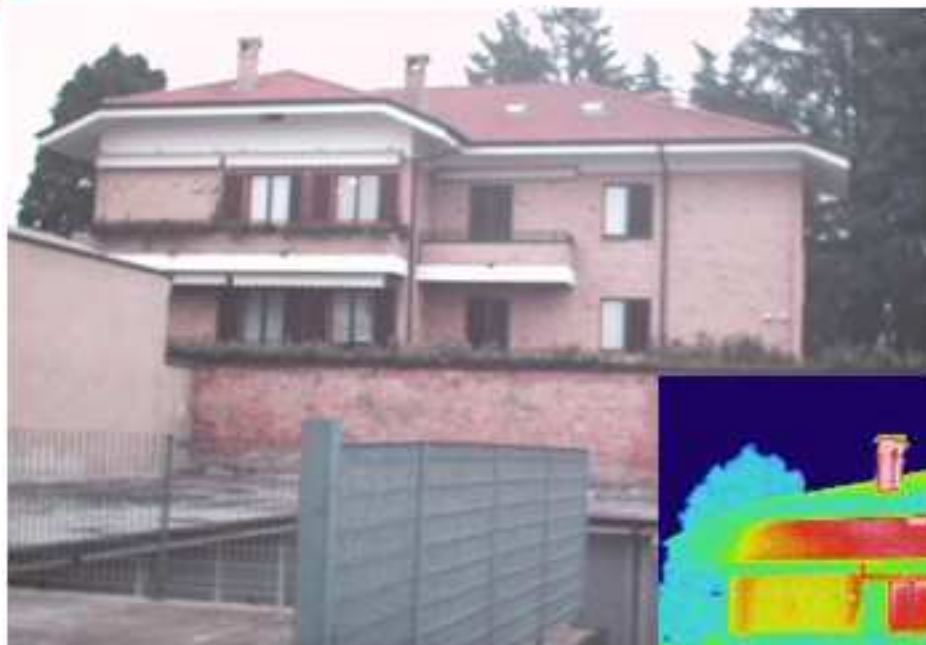


Esempi di indagine termografica

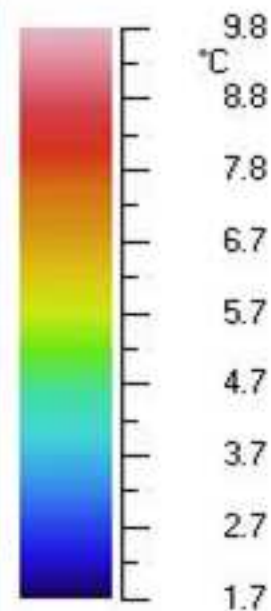
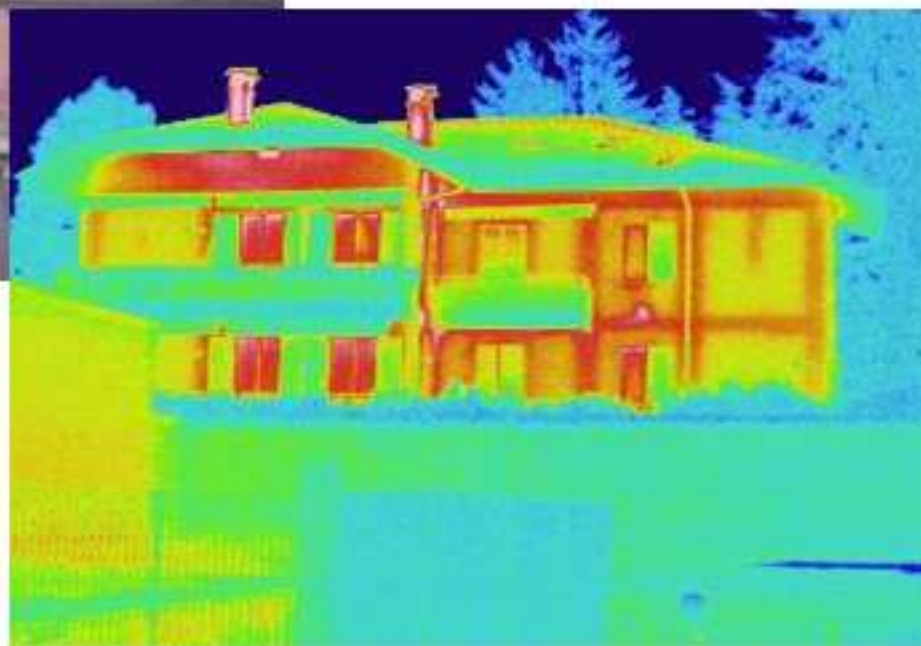


L'immagine evidenzia il ponte termico e la struttura oltre a permettere l'individuazione della tipologia delle murature

Esempi di indagine termografica



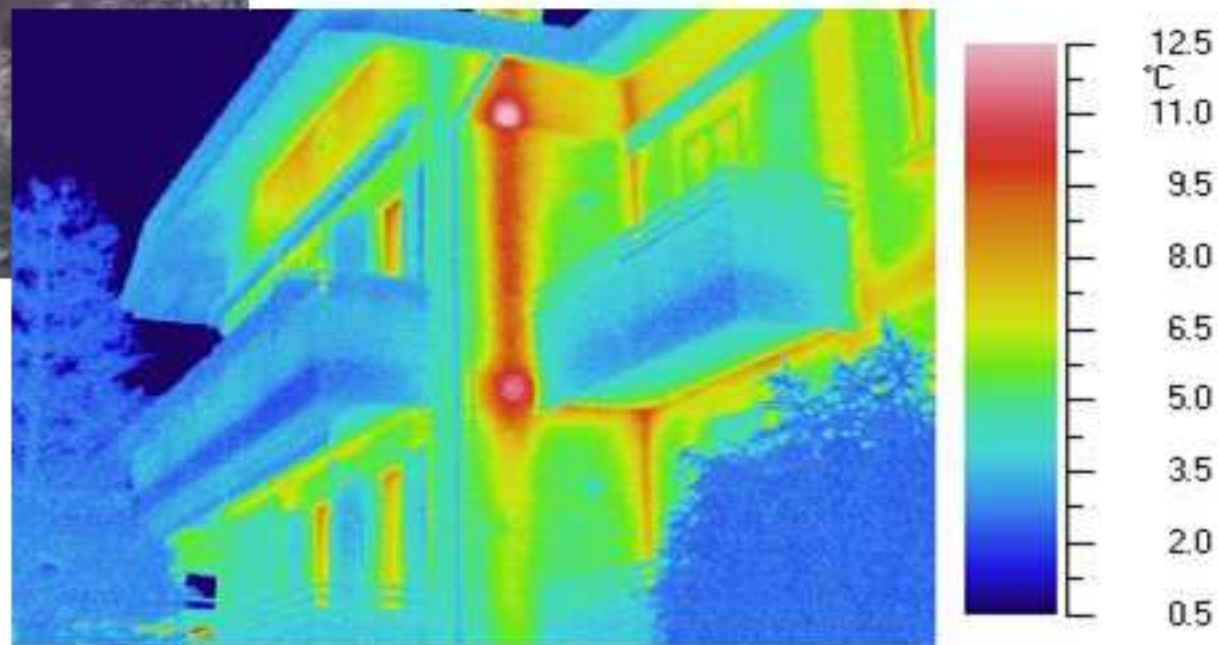
Verifica isolamento negli edifici



Esempi di indagine termografica



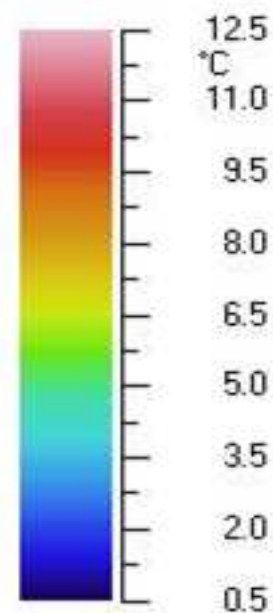
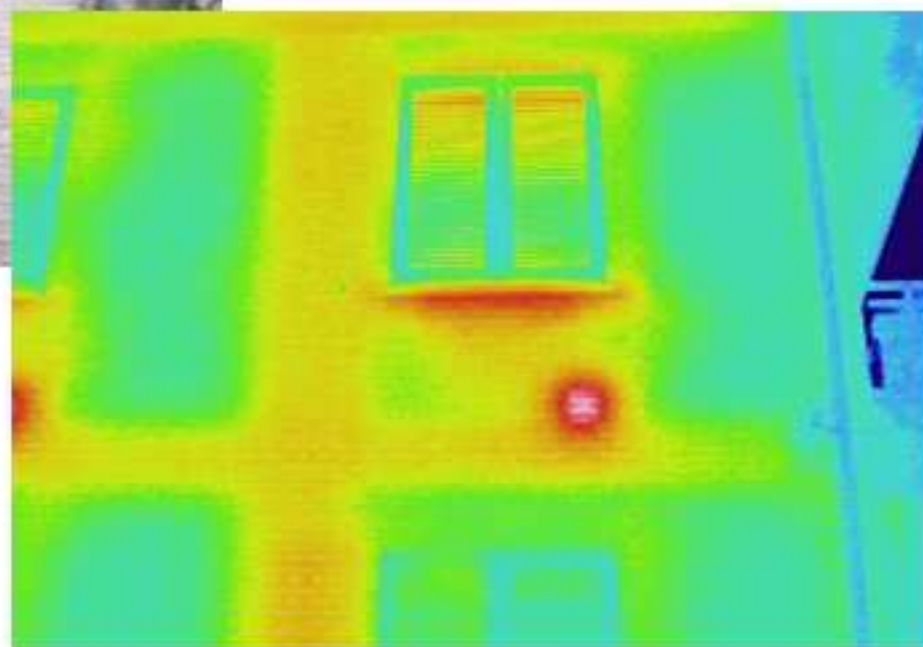
Verifica isolamento negli edifici



Esempi di indagine termografica



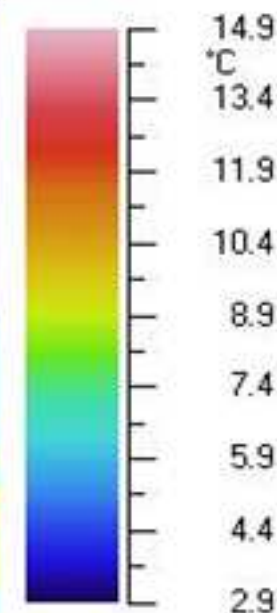
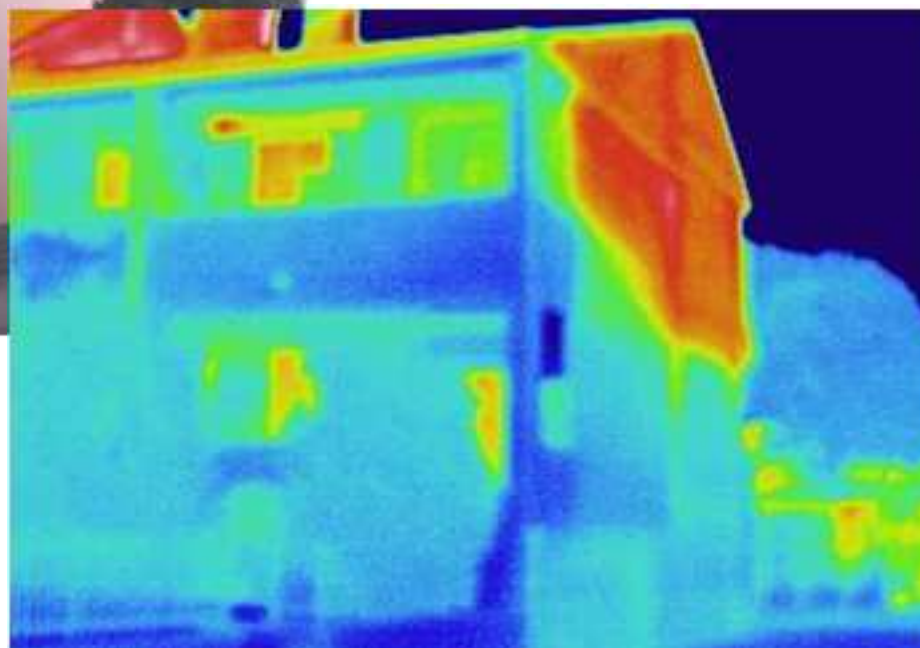
Verifica isolamento negli edifici



Esempi di indagine termografica

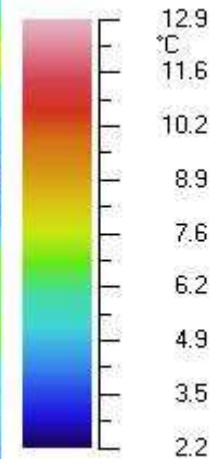
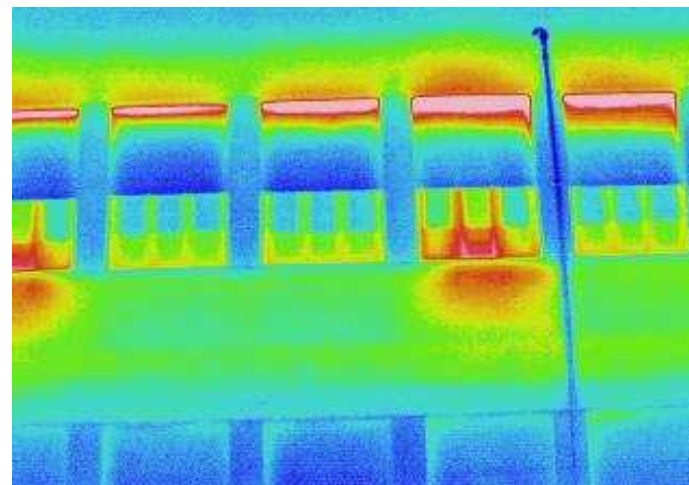
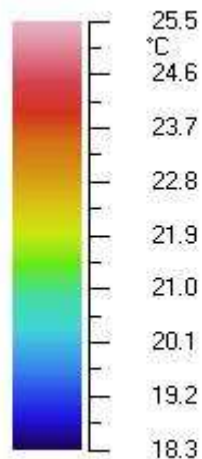


Verifica isolamento negli edifici



Porzione di fabbricato con scarsa
nulla coibentazione nella porzione
superiore oppure zona riscaldata
dal sole?

Verifica dispersioni cassonetti tapparelle

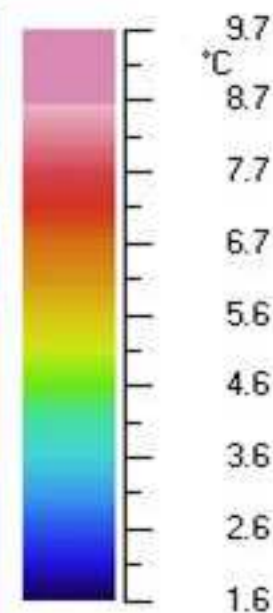
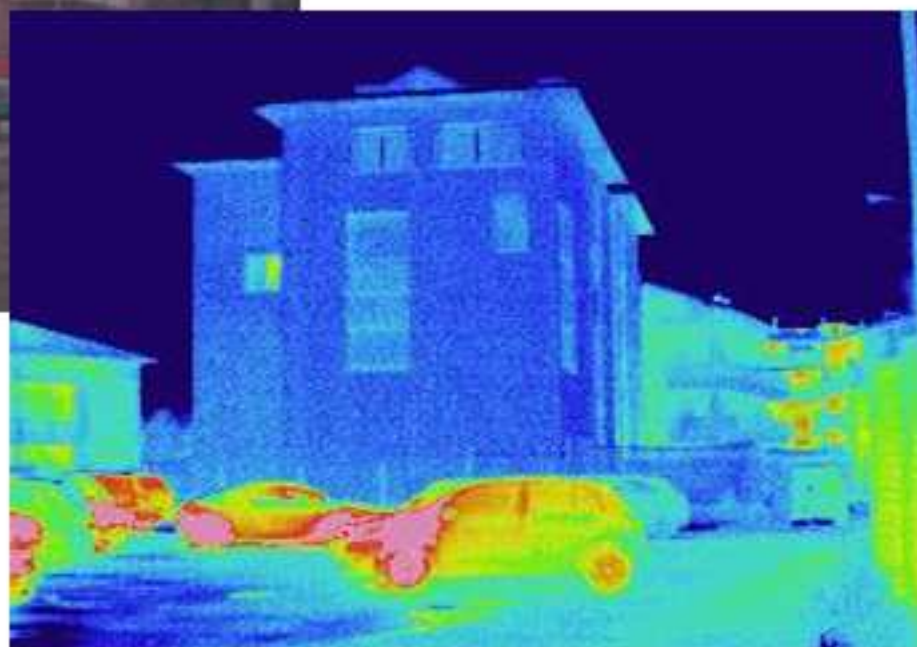


Per realizzare un audit energetico, un'ACE o un progetto di adeguamento, è indispensabile capire dove l'edificio perde maggiormente.

Esempi di indagine termografica



Edificio ben coibentato



Anche il colore incide sulle temperature



Attenzione all'uso dei colori e dei materiali sulle facciate

Anche il colore incide sulle temperature

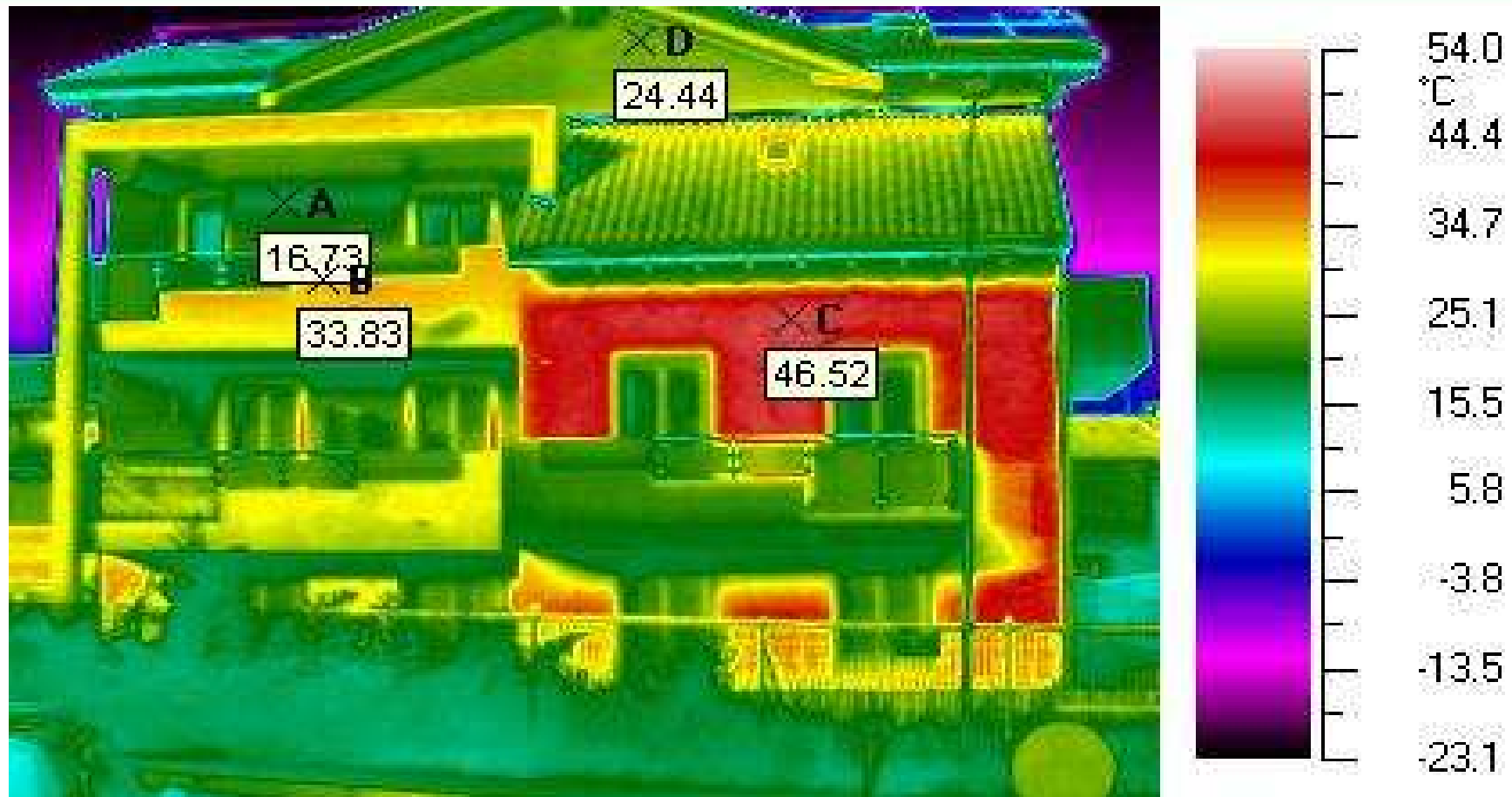


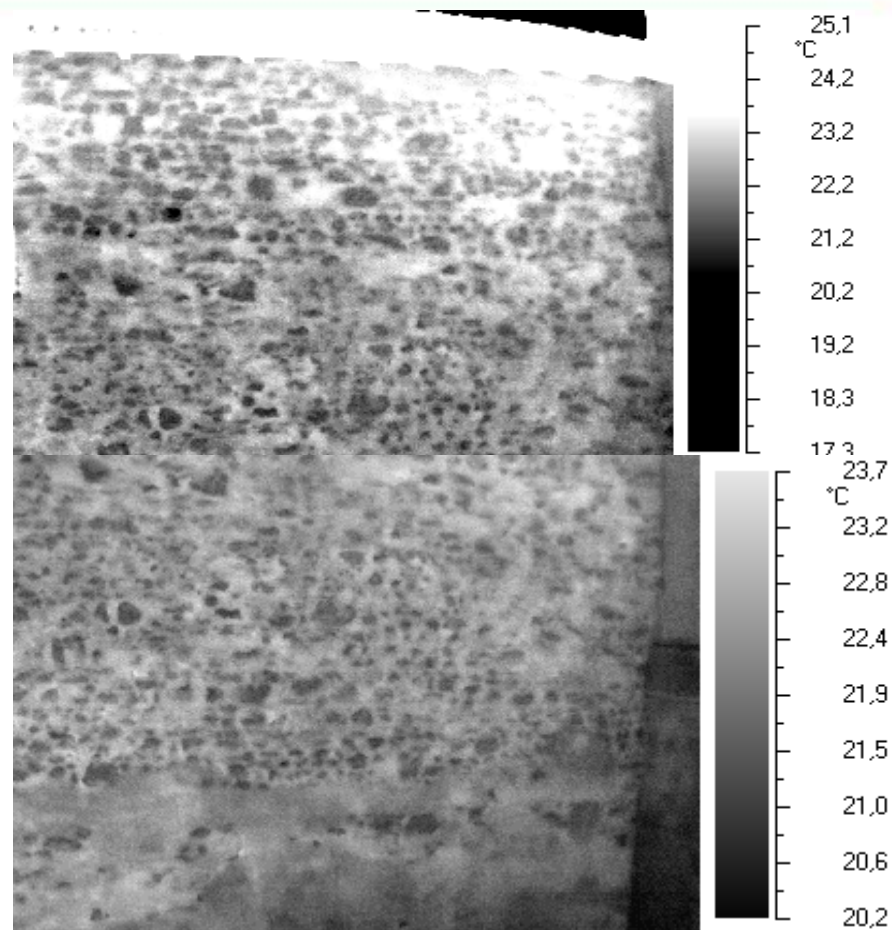
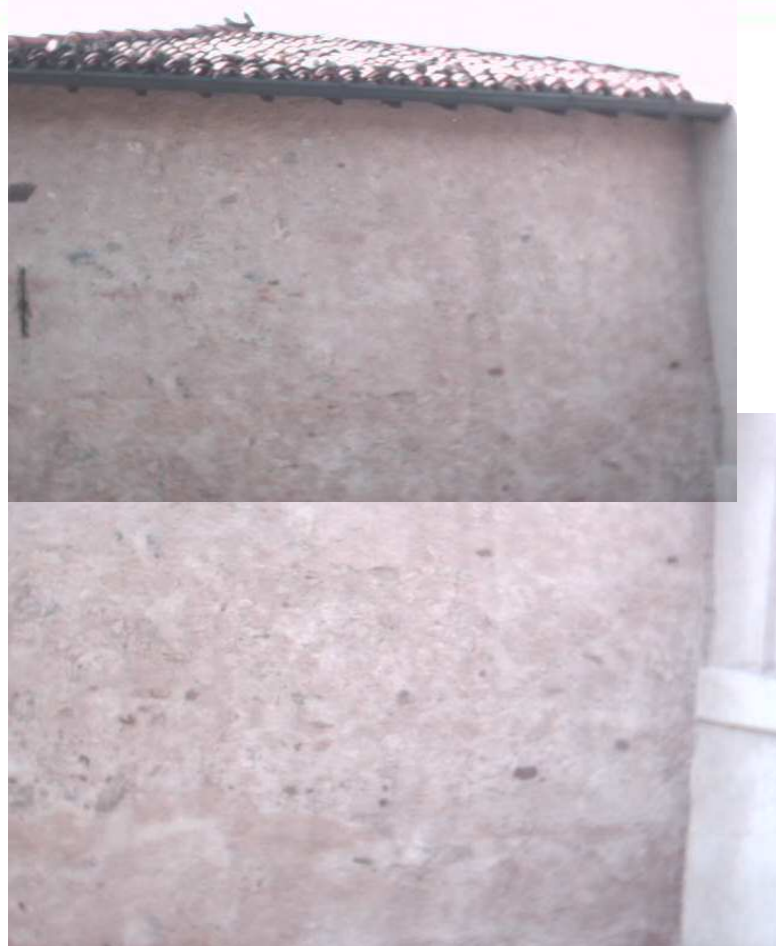
Immagine scattata il 5 Novembre ore 16 temp aria 16°

Termografia su strutture “ medio leggere ”



Le strutture con scarsa massa, permettono di vedere il flusso termico che esce attraversando la struttura, ad esempio attraverso una muratura non coibentata

Termografia su strutture “ pesanti ”



Le strutture con elevata massa, permettono di vedere cosa succede subito sotto alla superficie

Temperature di muri con elevata massa

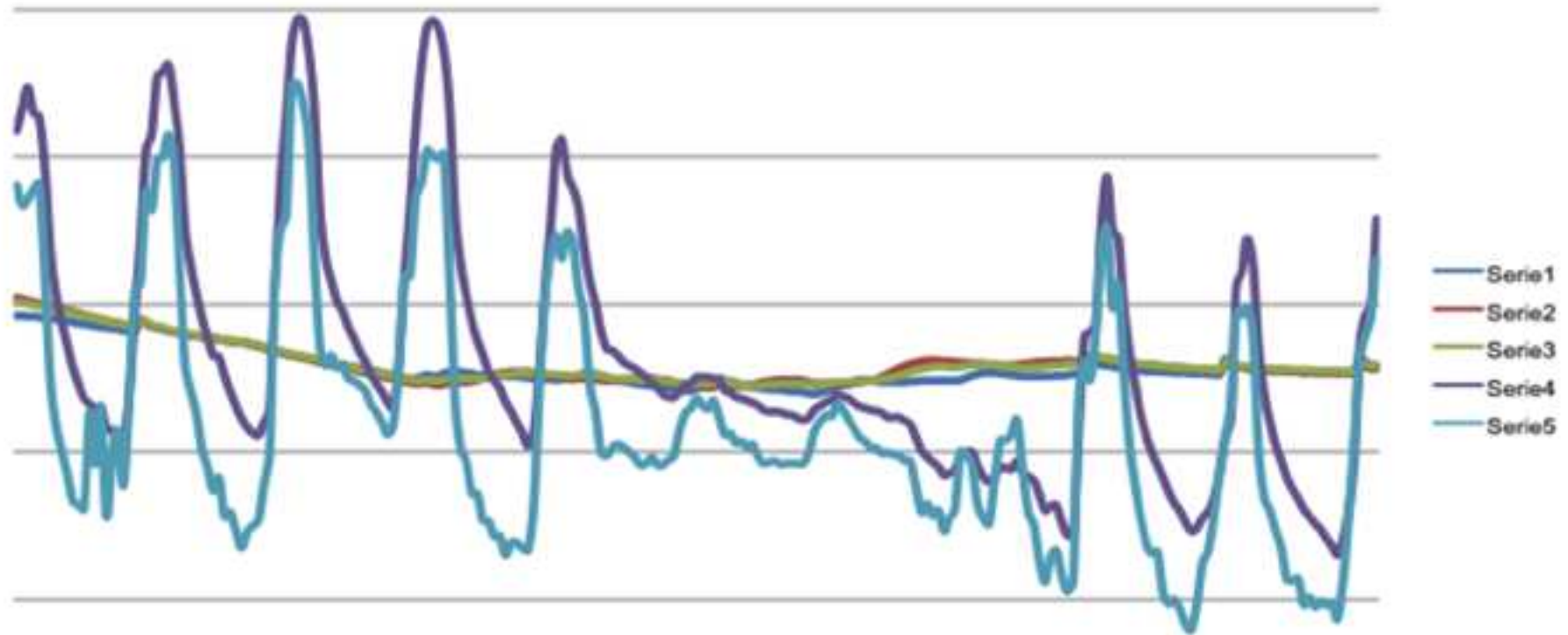
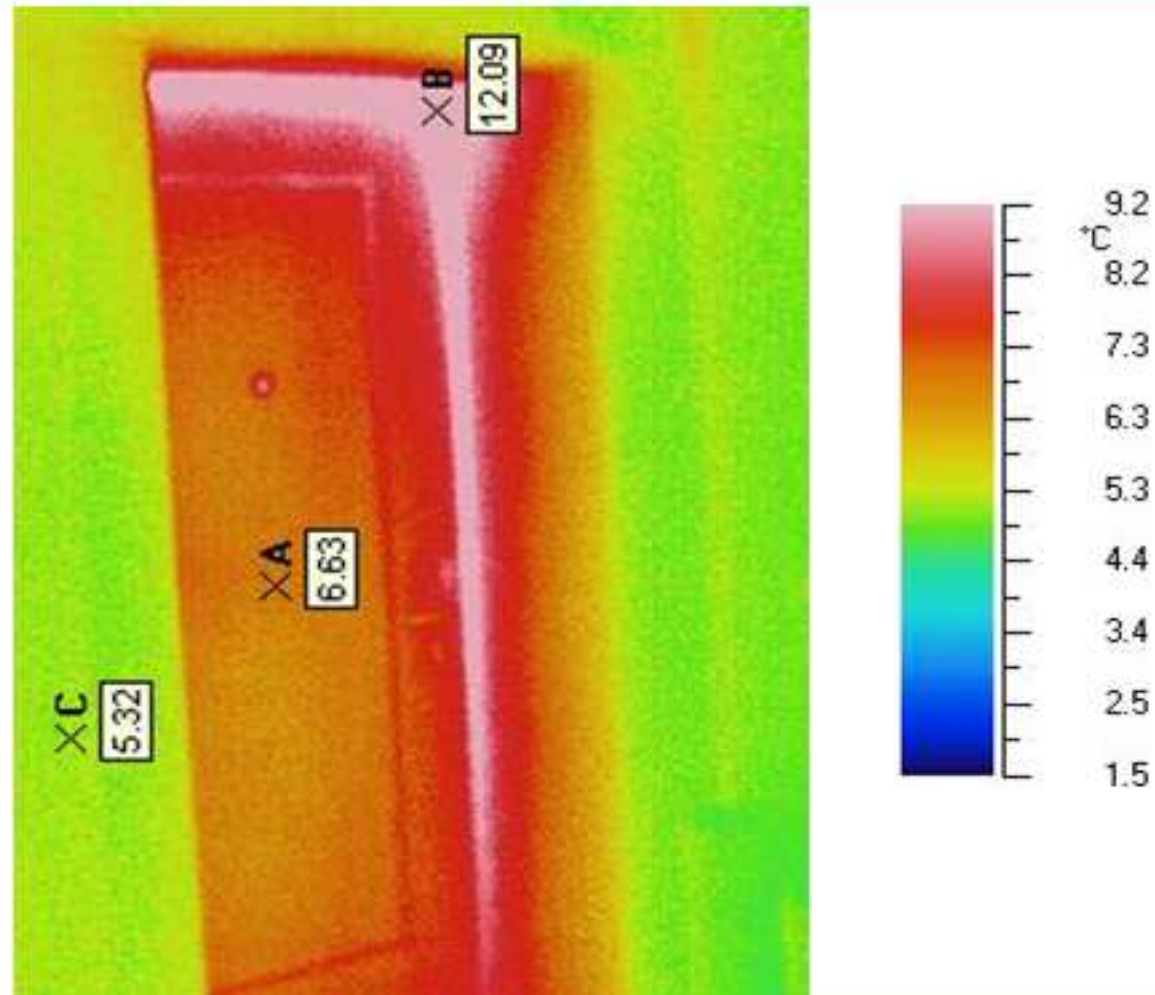


Grafico delle temperature interne ed esterne di una muratura con elevata massa

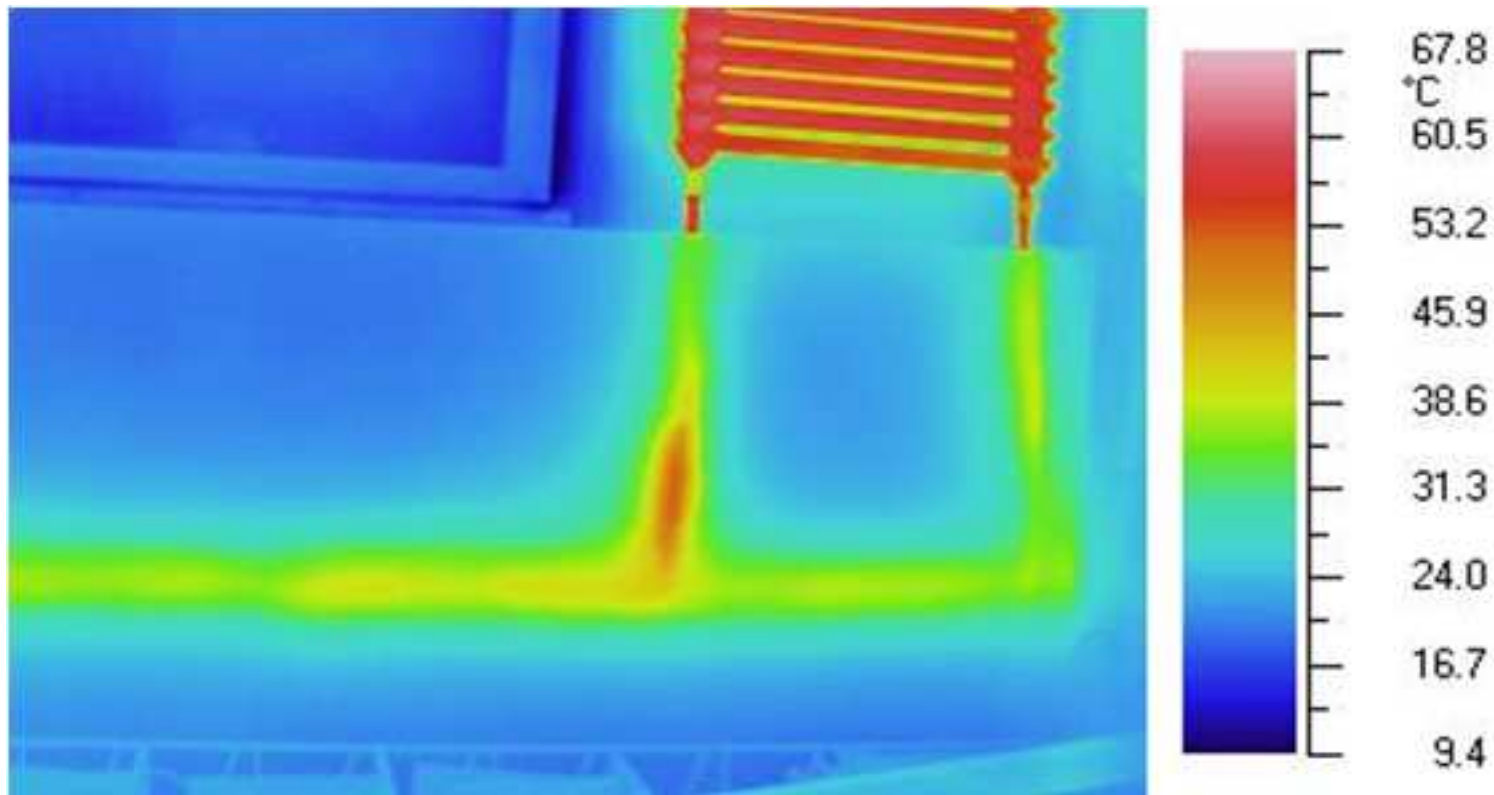


Esempi di indagine ponte termico



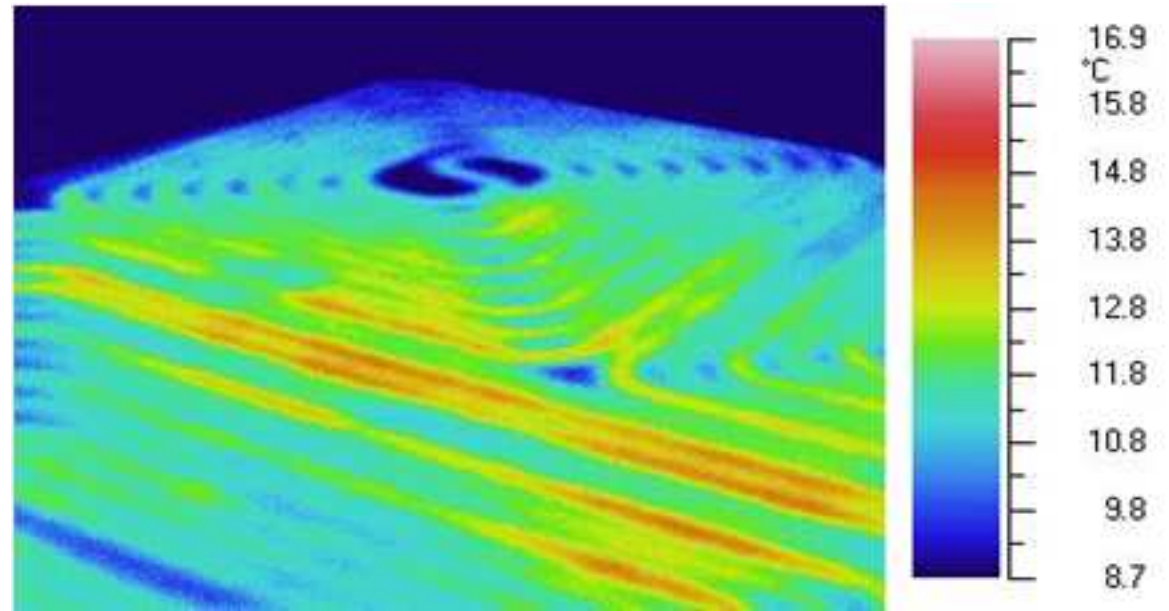
Verifica infissi

Esempi di indagine di impianti



Nell'infrarosso si possono individuare le tubazioni

Esempi di indagine di impianti

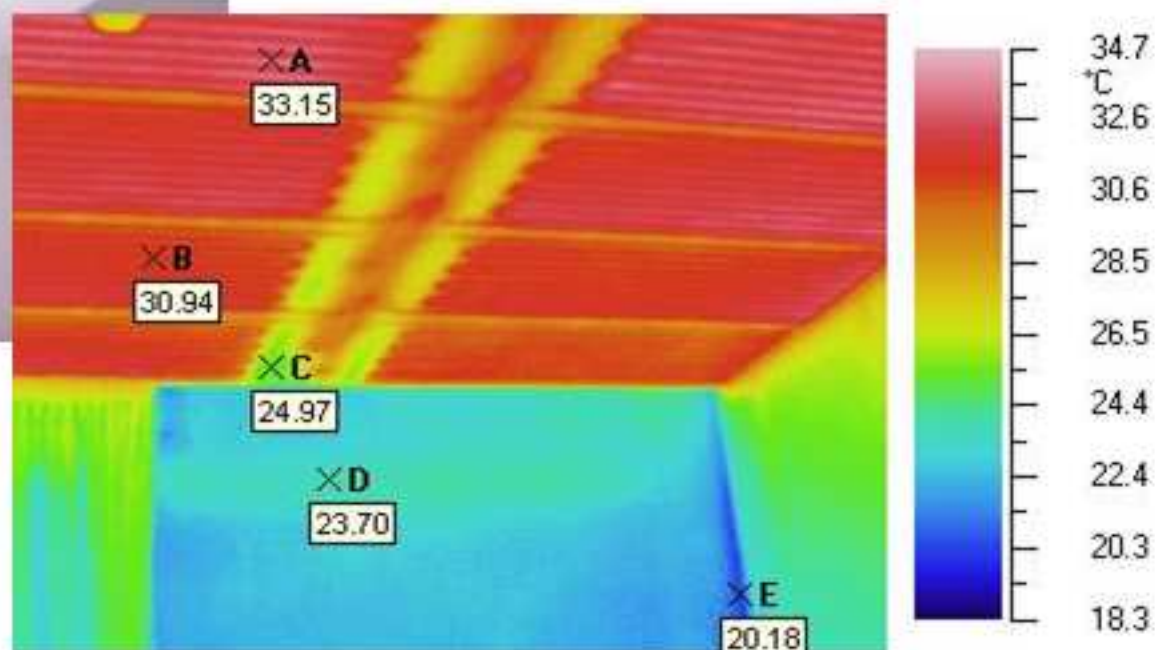


Nell'infrarosso si possono individuare le tubazioni degli impianti a pavimento o a parete

Esempi di indagine di impianti



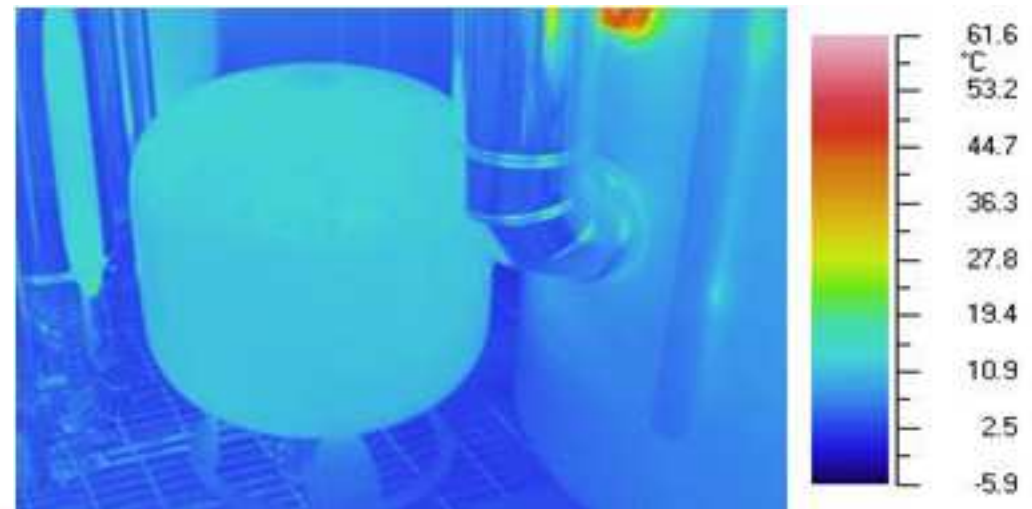
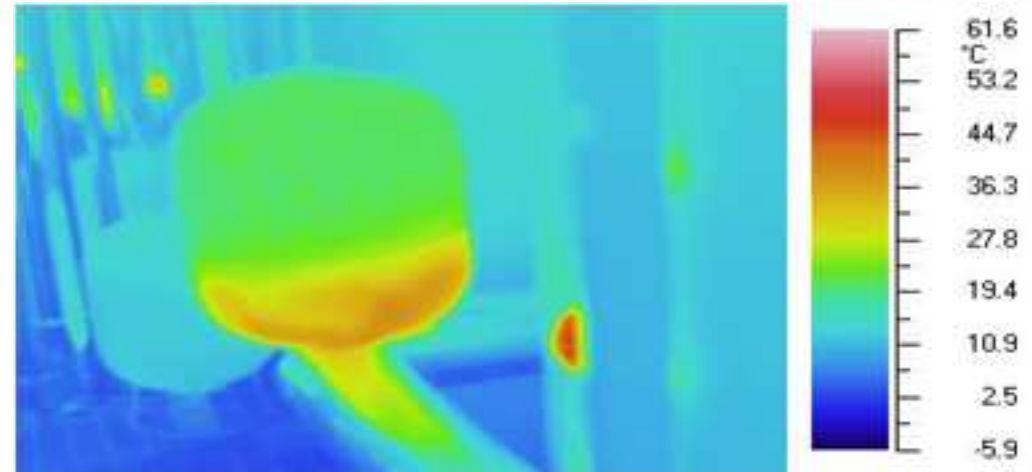
Confronto tra immagine nel visibile e nell'infrarosso di un impianto di riscaldamento a soffitto



Esempi di indagine di impianti

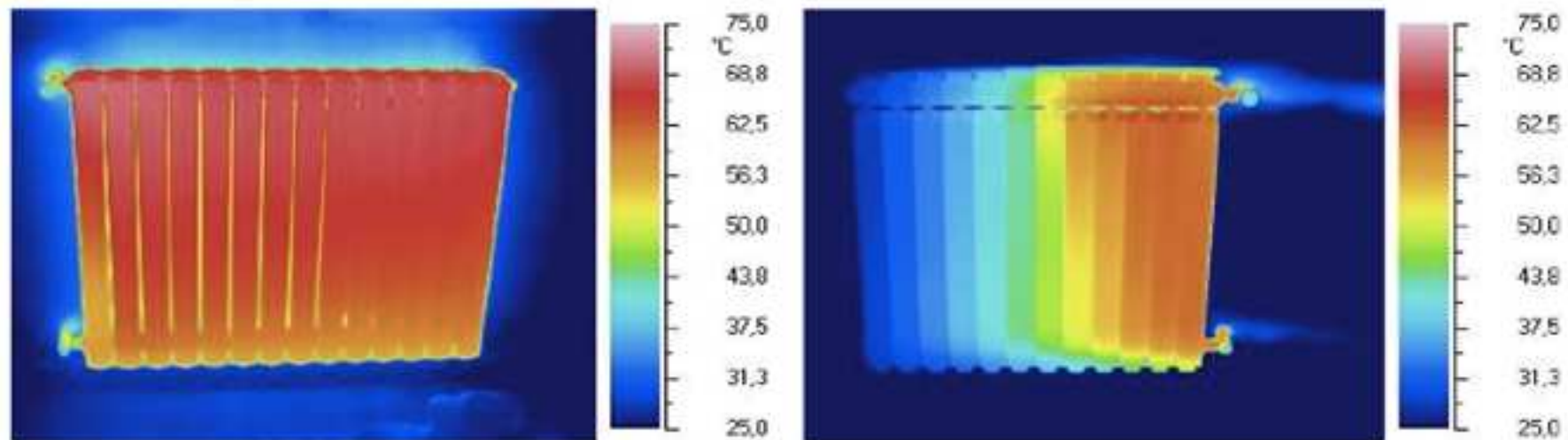


Differenza all' infrarosso tra un vaso di espansione mezzo pieno e uno vuoto

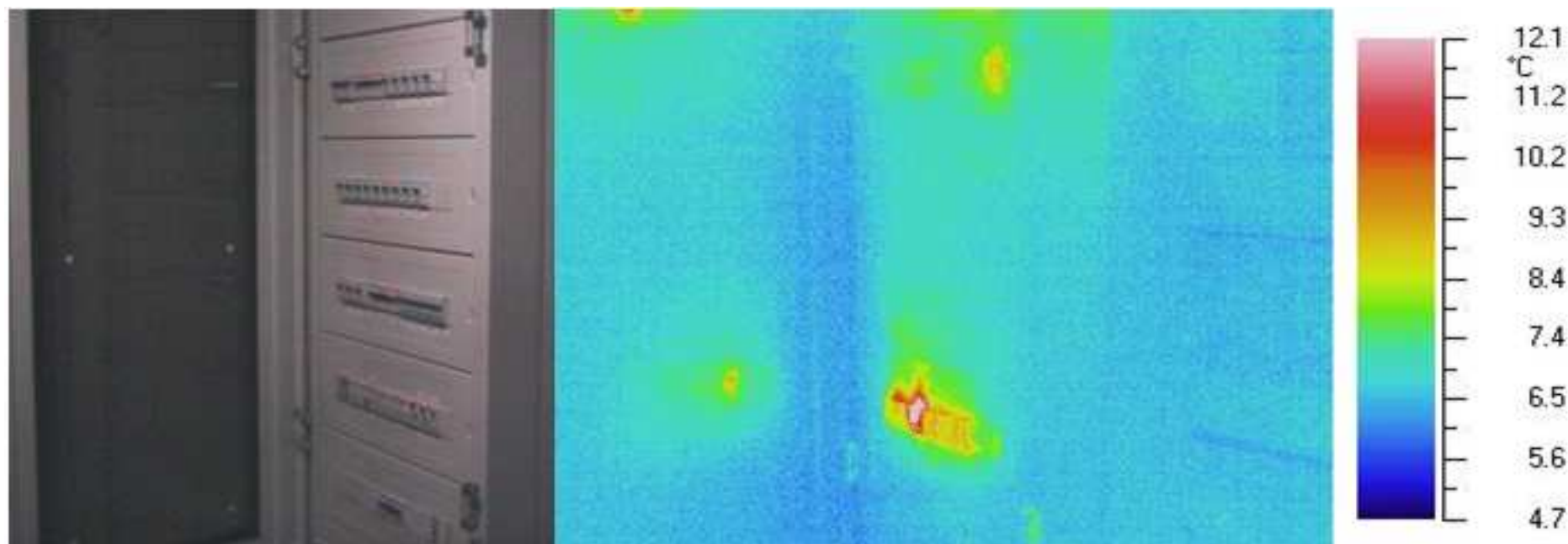


Esempi di indagine di impianti

Nelle figure qui riportate sono rispettivamente rappresentati un radiatore con funzionamento regolare ed uno con un malfunzionamento che ne compromette l'efficienza; le due immagini sono riprodotte con la medesima scala di temperatura, e pertanto sono direttamente confrontabili.

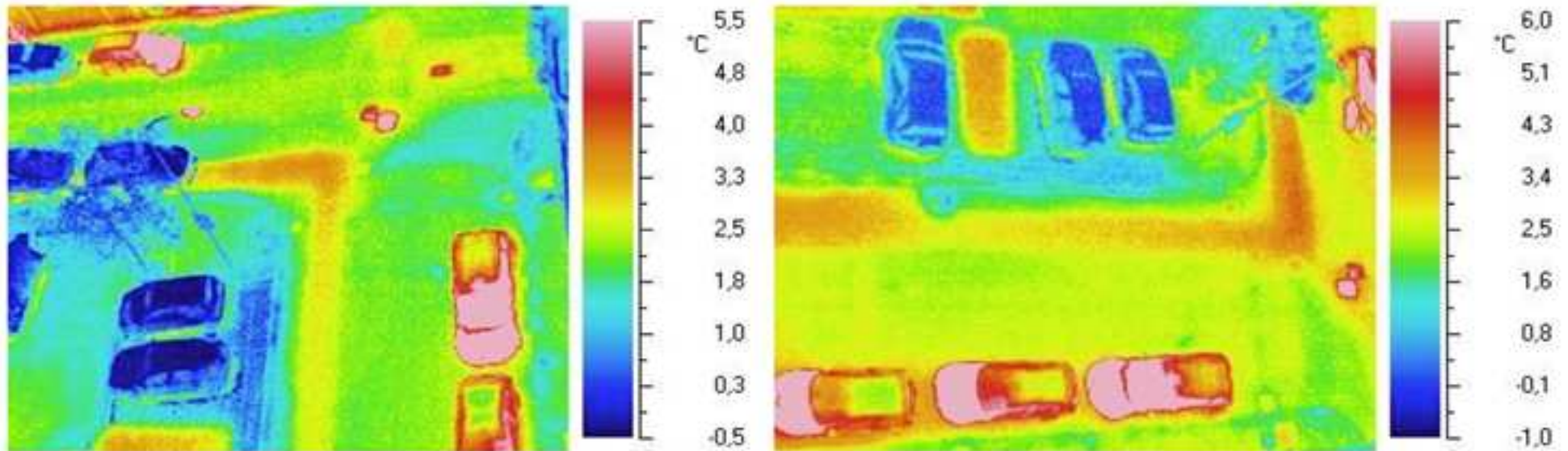


Esempi di indagine di impianti



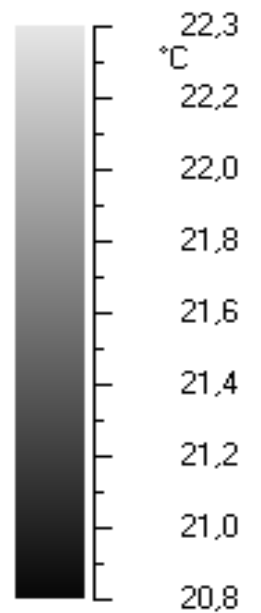
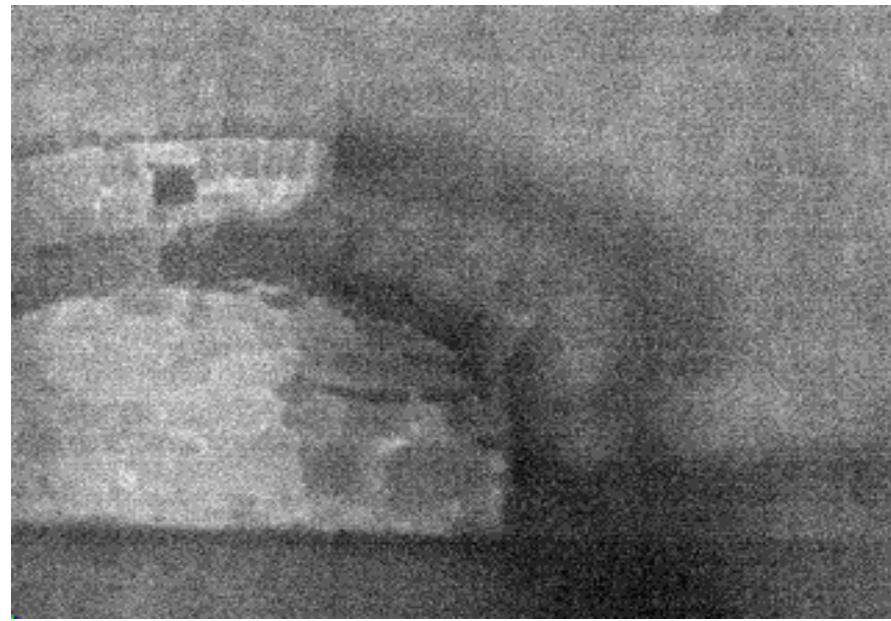
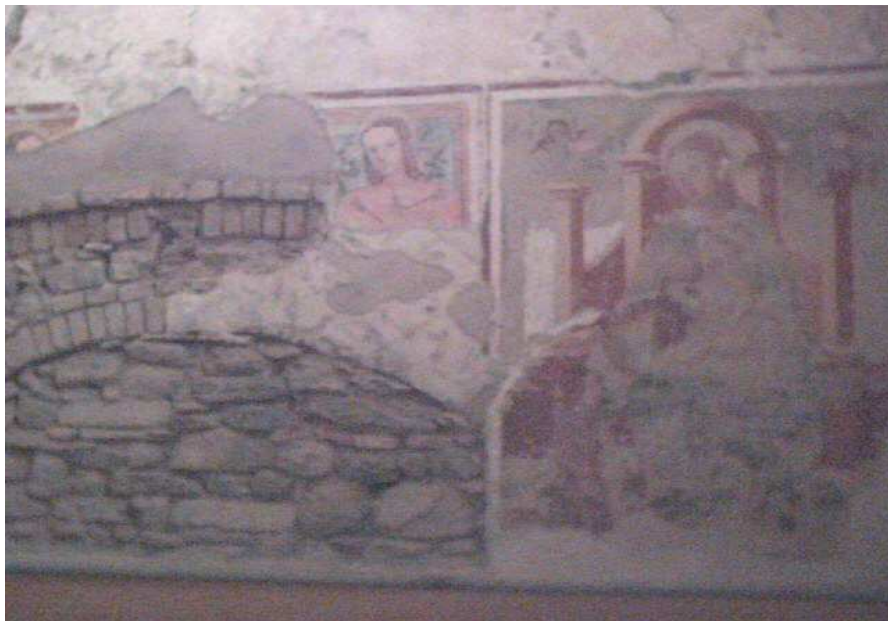
Un singolo morsetto elettrico non stretto bene causa un surriscaldamento dell'elemento che risulta facilmente individuabile dalla termocamera

Esempi di indagine di impianti



Attraverso l'uso della termografia è possibile individuare anche le tubature del teleriscaldamento , nonostante si trovino in profondità nel terreno

Indagine termografica per il restauro



Restauro pareti tamponate: la termografia permette di valutare la tessitura muraria, le aperture nascoste o il distacco intonaci

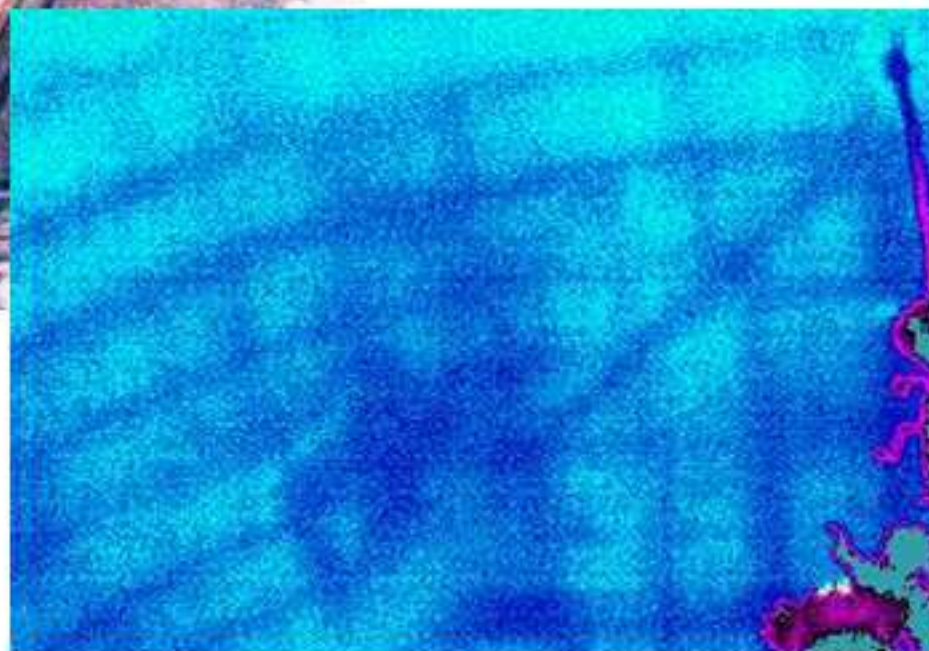
Indagine termografica per il restauro



Palazzo Cusani Milano

In questo caso l'immagine termica, permette di valutare la tessitura delle centine che sostengono la volta.

Immagine realizzata con tecnica "attiva", ovvero sollecitando termicamente la volta

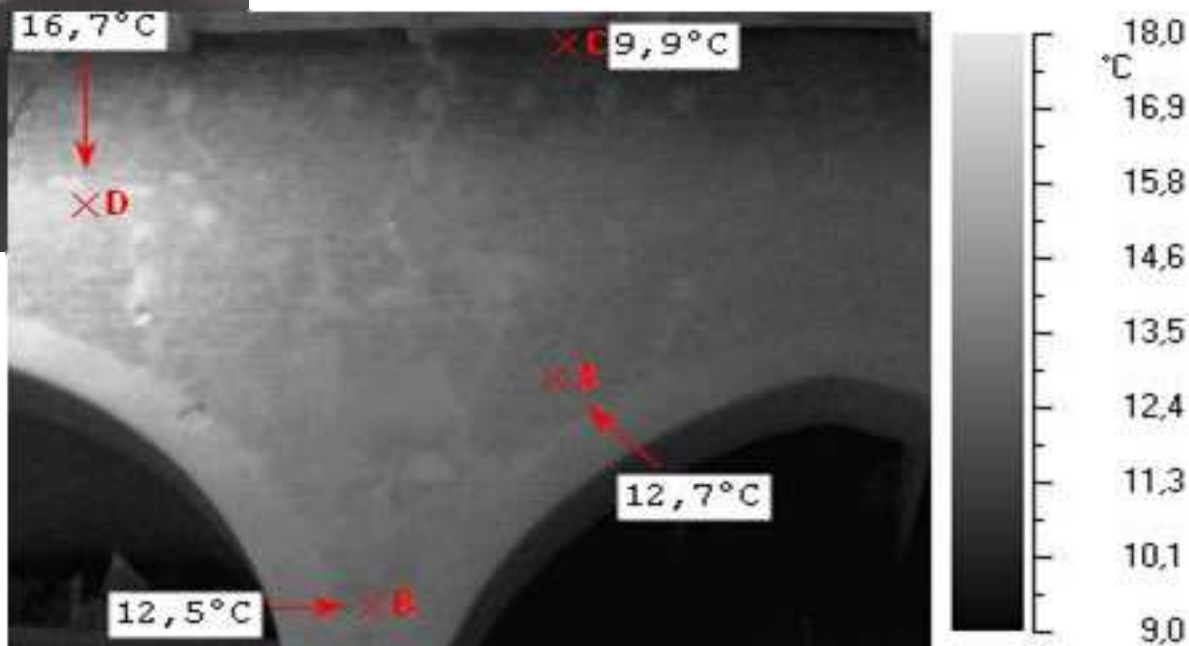


Indagine termografica per il restauro



Chiesa di S. Agostino a Como

In questo caso l'immagine termica, permette di valutare le differenze termiche la tessitura muraria, lo spessore degli archi, le buche pontate

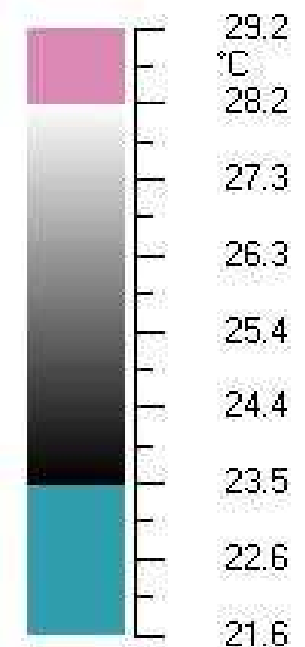


Indagine termografica per il restauro



Particolare facciata chiesa Giussano

In questo caso l'immagine termica, permette di valutare l'arco di scarico, lo spessore degli archi, le buche pontate



Termografia

Vediamo allora di conoscere un po' meglio queste tecniche ormai di comune uso

concetti base della termografia

Le PND prove non distruttive

TALI PROVE SI SUDDIVIDONO IN :

Prove per la caratterizzazione termica

Indagini stratigrafiche, Indagini endoscopiche, termografia,
termoflussimetria Blower door

Prove la misura, verifica e caratterizzazione del microclima

Rilievo velocità dell'aria, rilievo parametri microclimatici temperatura dell'aria, temperatura superficiale, umidità relativa, concentrazione di CO₂, VOC e altri inquinati, calcolo parametri del confort PMV

Le Prove per la determinazione dell'umidità nelle murature

Prove termografiche, determinazione umidità attraverso la misura della resistenza elettrica, con sensori dielettrici, a microonde, con metodo gravimetrico, o con carburo di calcio.

Termografia

Termocamera

Come abbiamo detto la termocamera è una particolare telecamera, sensibile alla radiazione infrarossa, capace di ottenere immagini o riprese termografiche.



Termografia

Con il termine termografia si intende l'uso di termocamere sensibili all'infrarosso per misurare e visualizzare l'energia termica emessa da un oggetto.

Ogni oggetto emette calore; più è alta la temperatura dell'oggetto, maggiore è la radiazione infrarossa emessa.

Le termocamere visualizzano quello che l'occhio umano non può vedere e permette di convertire l'immagine infrarossa in immagine visibile, oltre a permettere precise misure senza contatto della temperatura superficiale dei corpi.

Termografia, quale strumentazione

Le termocamere sono il principale tra gli strumenti per rilevare l'energia termica negli edifici. Ci aprono la visione su aspetti del nostro mondo che ci risultano normalmente sconosciuti. Vediamo alcune caratteristiche di questi strumenti



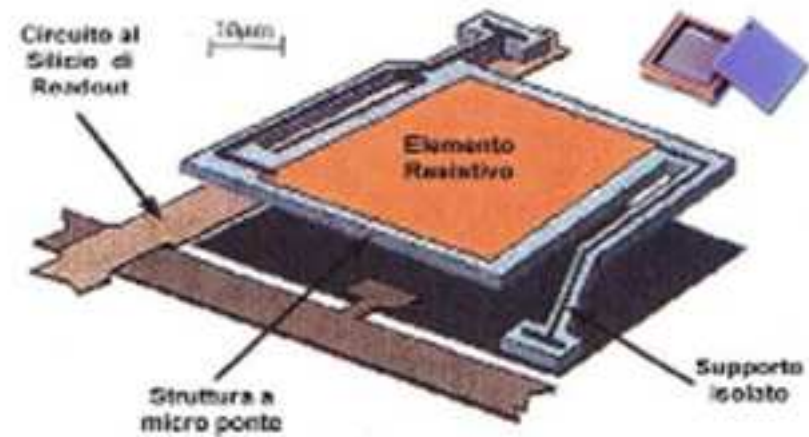
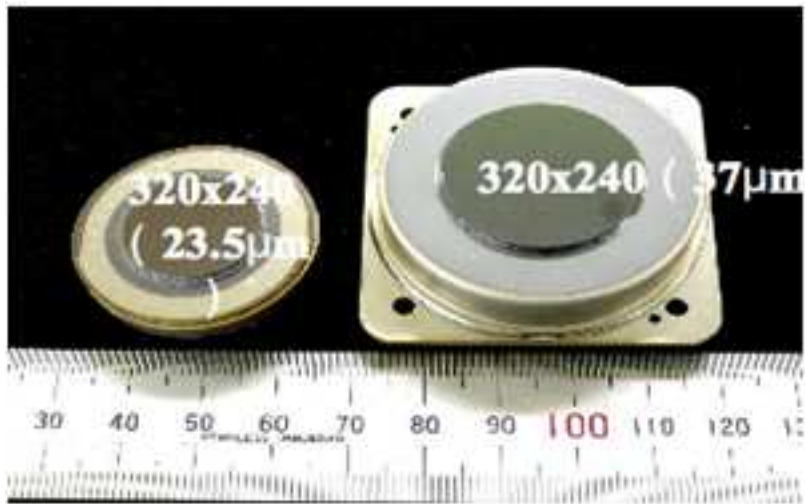
Il mercato offre molti modelli di strumentazione termografica

Parametri tecnici:

- Tipo di sensore
- Numero pixel del sensore
- Risoluzione termica
- Risoluzione spaziale o geometrica
- Frequenza immagine



Termografia - il sensore



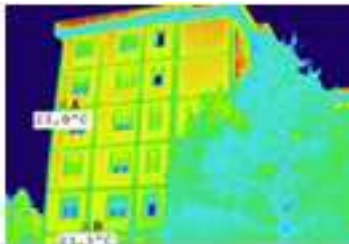
- Il sensore microbolometrico ha la funzione di trasformare l'energia Infrarossa che colpisce ogni singolo elemento del sensore in un grandezza fisica misurabile. In particolare il sensore varia il proprio valore di resistenza elettrica, in funzione dell'energia IR, quindi temperatura dell'oggetto inquadrato

Dimensione del sensore

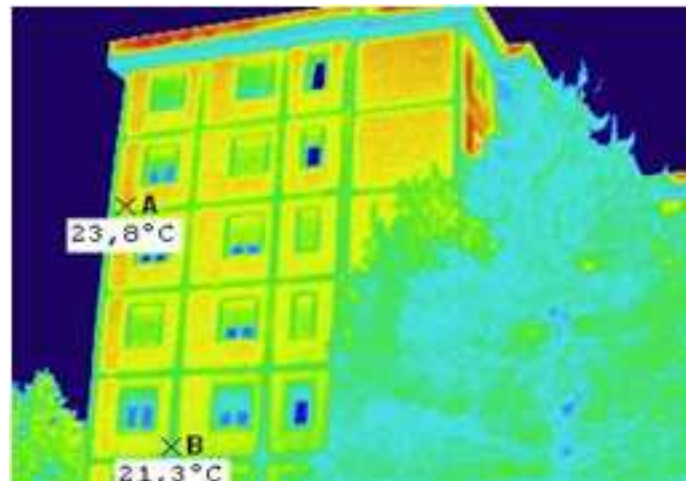
La risoluzione dei sensori commerciali attualmente sul mercato sono sostanzialmente 3: 160 x 120 pixel, 320 x 240 pixel, 640 x 480 pixel (gli altri sono derivati da questi formati base)

A seguire l'immagine puramente indicativa di come varia l'immagine a parità di fov (angolo visivo) della risoluzione di una termocamera le immagini ad alta risoluzione permettono di apprezzare particolari con una migliore definizione che corrisponde anche alla possibilità di lettura della temperatura del singolo dettaglio.

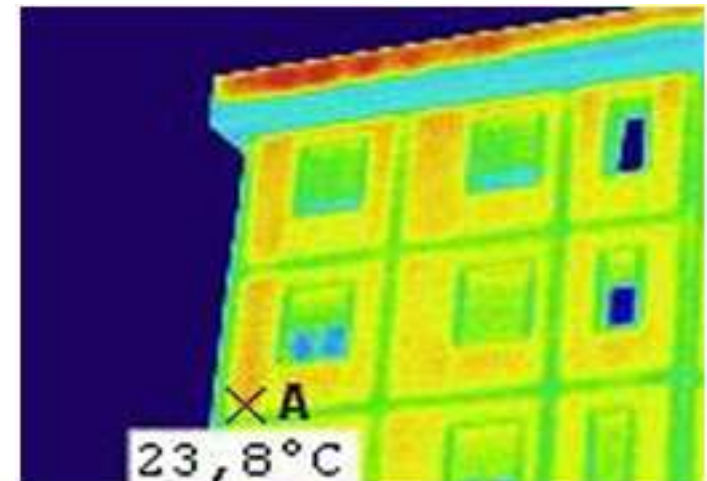
160 x 120 pixel



320 x 240 pixel



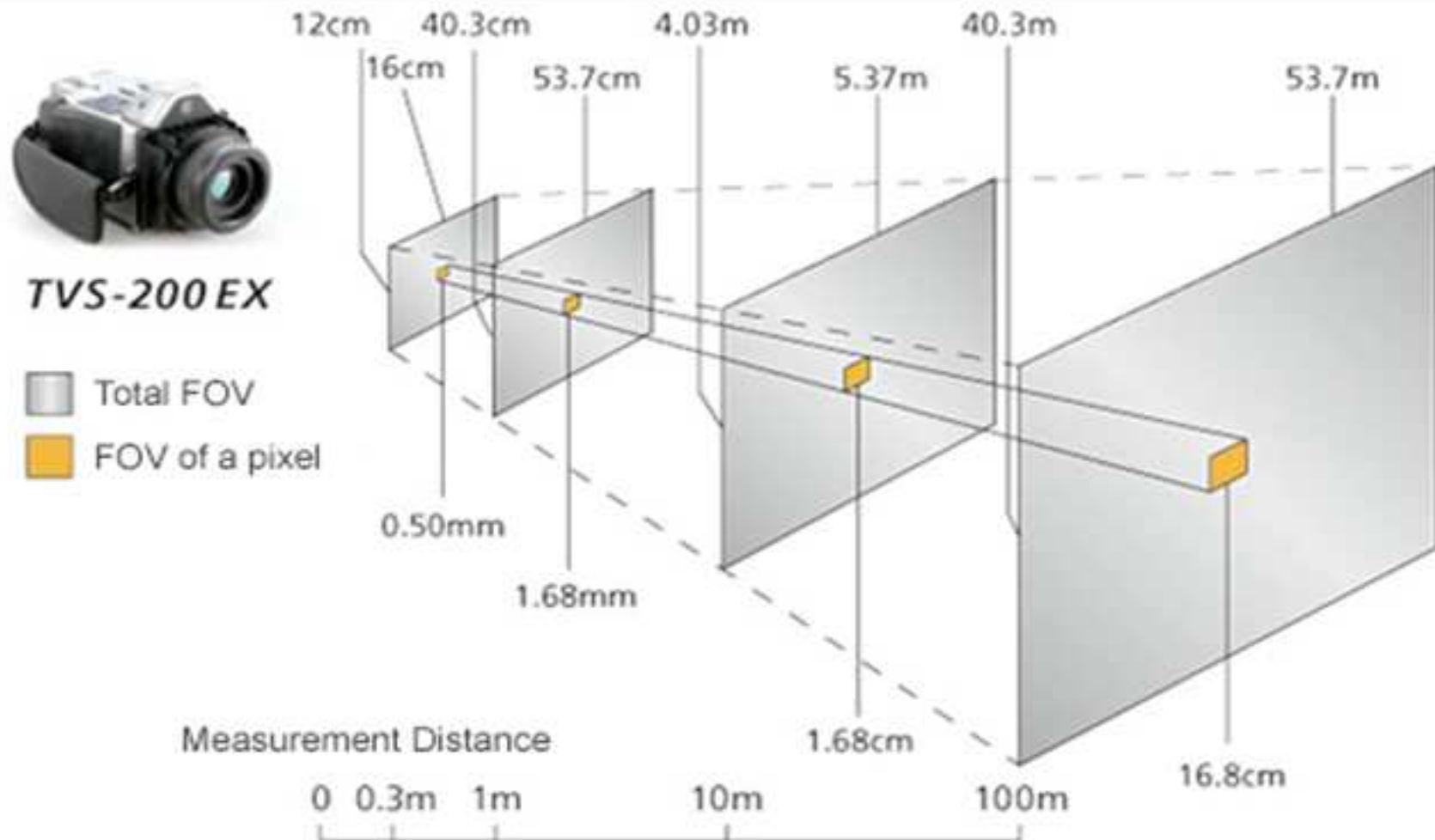
640 x 480 pixel



Calcolo della risoluzione spaziale

- ▷ Ogni obiettivo ha una risoluzione geometrica che definisce le dimensioni dell'oggetto più piccolo di cui si può misurare la temperatura alle varie distanze.
- ▷ La risoluzione si esprime in mrad. e permette in modo semplice di ottenere la dimensione corrispondente ad un pixel alle varie distanze.
- ▷ Un obiettivo con risoluzione geometrica 1,6 m.rad. permette di misurare un oggetto con le dimensioni minime pari a: **risoluzione in mm. = (1,6 x distanza in metri)**

Termografia - Risoluzione spaziale



I dati importanti sulla scheda tecnica

TVS-200EX Specifications

Measurement range	-20 to 500°C:Standard to 2000°C (with optional high temperature filter)
Temperature resolution	Better than 0.08°C with Averaging
Accuracy	±2°C or ±2% *1
Frame time	1/60 seconds
Detector	Uncooled FPA, 320(H) x 240(V) VOx microbolometer
Wavelength	8 to 14μm
FOV	30.6°(H)x23.1°(V) (with standard 14mm lens)
Spatial resolution	1.68mrad
Measurement distance	30cm to ∞
Effective pixels	320(H) x 240(V)
Display	3.5" semi-transmissive color LCD monitor
Visible camera	640x480
Multi point temperature display	5 points

Termografia - Normativa di riferimento

Norma UNI EN 13187 (da ISO 6781:1983)

Questa norma definisce un metodo qualitativo che utilizza un esame termografico, per la rilevazione delle irregolarità termiche degli involucri edilizi. Essa si applica alla determinazione della posizione delle irregolarità termiche e delle infiltrazioni di aria attraverso un involucro edilizio

Condizioni per la prova termografica

- a) Per almeno 24 h prima dell'inizio della prova, la temperatura dell'aria esterna non deve essere maggiore di oltre $\pm 10^{\circ}\text{C}$, rispetto alla temperatura all'inizio della prova.
- b) Per struttura pesanti con grande massa termica, è necessario tenere conto degli effetti di immagazzinamento di calore.
- c) Per almeno 24 h prima dell'inizio della prova, e durante la prova stessa, la differenza di temperatura dell'aria attraverso l'involucro edilizio non deve essere minore del valore numerico di $3/U$, dove U rappresenta il valore teorico del coefficiente di trasmissione termica della parete, espresso in $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$ e comunque mai minore di 5°C .
- d) Per almeno 12 h prima dell'inizio della prova e durante la prova, le superfici dell'involucro in esame, non dovrebbero essere esposte alla radiazione solare diretta.
- e) Durante la prova, la temperatura dell'aria esterna ed interna non devono variare, rispetto ai valori rilevati all'inizio della prova, di oltre $\pm 5^{\circ}\text{C}$ e $\pm 2^{\circ}\text{C}$ rispettivamente. Gli effetti delle variazioni di temperatura durante la prova, possono essere verificati sovrapponendo l'immagine definitiva e quella iniziale. Se la variazione è minore di 1°C o 2°C , il requisito di prova si considera soddisfatto.

La termografia permette di:

- Eseguire indagini non distruttive sull'edificio per avere una migliore conoscenza del manufatto.
- Visualizzare in tempo reale la mappa del calore.
- Misurare la temperatura di un edificio senza contatto e produrre un'immagine con migliaia di punti di temperatura nota
- Identificare e localizzare i discontinuità di isolamento.
- Identificare e localizzare distacchi negli intonaci e rivestimenti
- Identificare e localizzare impianti e guasti
- Identificare e localizzare la presenza di umidità
- Individuare i problemi prima che si verifichino problemi, degrado o guasti
- Verificare le caratteristiche dei materiali e della corretta posa
- Identificare i ponti termici
- Verificare le caratteristiche dei materiali forniti in cantiere e verificare la posa in opera
- Verificare in abbinamento ad un Blower-door test la tenuta all'aria

Qualificazione personale addetto:

- La Qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive è normata dalla Uni EN 473
- La normativa stabilisce un sistema di qualificazione e certificazione del personale incaricato di effettuare le prove non distruttive PND, in particolare le ore di formazione teorica, i requisiti di addestramento pratico, le modalità di esame, le modalità di certificazione ecc
- Il personale è diviso in 3 livelli
 - I Livello Operatore pratico che opera sotto la direzione di un 2° Livello
 - II Livello Può fare le prove e stendere le relazioni
 - III Livello Può fare le prove, stendere le relazioni e formare i livelli precedenti

In Italia esistono pochi enti che certificano il personale per la termografia, i più attivi sono il C.C.P.N.D. , R.I.I.N.A e I.I.S.

Nell'uso della termografia è importante

- Approfondire le conoscenze sulla tecnica termografica i parametri sensibili per non incorrere in errori.
- Le immagini di facile presa possono nascondere tranelli se vengono interpretate con superficialità.
- Fare attenzione alle condizioni ambientali
- Fare attenzione alle dimensioni degli oggetti in rapporto alla distanza.
- Fare attenzione all'emissività del materiale
- Fare attenzione alla firma di perizie importanti (qualificazione normativa EN 473 liv II)
- Fare MOLTA attenzione alla termocamera e alle ottiche che sono delicatissime e costose.

Umidità e condense

L'umidità di accumulo nei muri e sulle superfici può avere molteplici cause:

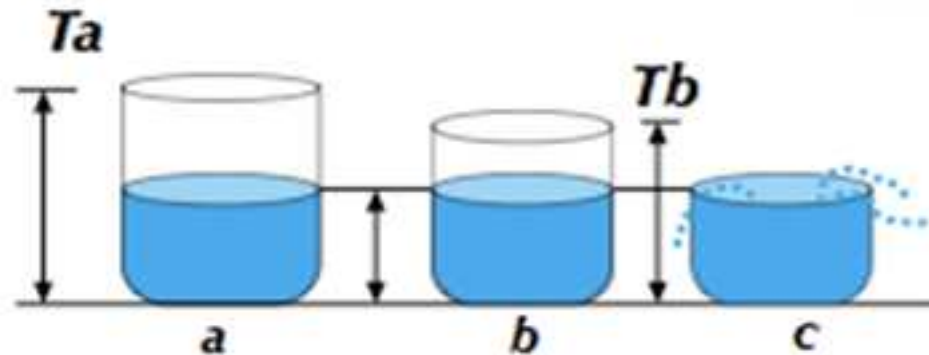
- Può essere dovuta a condensa dell'umidità ambientale sui muri:
- Può provenire dalle fondazioni per risalita o nelle cantine poco impermeabilizzate o per infiltrazione dai tetti o da pareti se gli intonaci non sono adeguati.

L'umidità non è soltanto la causa di maggiore disagio in casa, ma anche di degrado delle murature, delle finiture, degli arredi e di:

- Formazione di ghiaccio (alterazioni per meccanismo meccanico)
- Efflorescenze (a) o sub florescenze (b)
- Alterazioni biologiche (macchie verdi)
- Reazioni chimiche (sgretolamento)

La condensa può formarsi sulla superficie, ma anche all'interno dei muri. questa è la più insidiosa perché, non percepita, causa il degrado del materiale , senza che si possa percepire .

Umidità relativa e assoluta dell'aria



- Per capire meglio il fenomeno utilizziamo un esempio “idraulico”. Immaginiamo che l'altezza del bordo del recipiente della figura rappresenti la temperatura dell'aria e il contenuto di liquido il vapore presente nell'aria.
- Tale contenuto si chiama **umidità relativa**: il recipiente A è riempito per il 50% di liquido, ma B, con la stessa quantità è riempito per il 70% e in C lo stesso contenuto di liquido trabocca.
- Dunque abbassando il bordo (cioè la temperatura) aumenta l'umidità relativa, fino a raggiungere il 100% quando l'aria è satura di umidità il vapore trabocca, cioè **condensa**.

Diagramma umidità nell'aria (psicrometrico)

ESEMPIO 1 Cantina

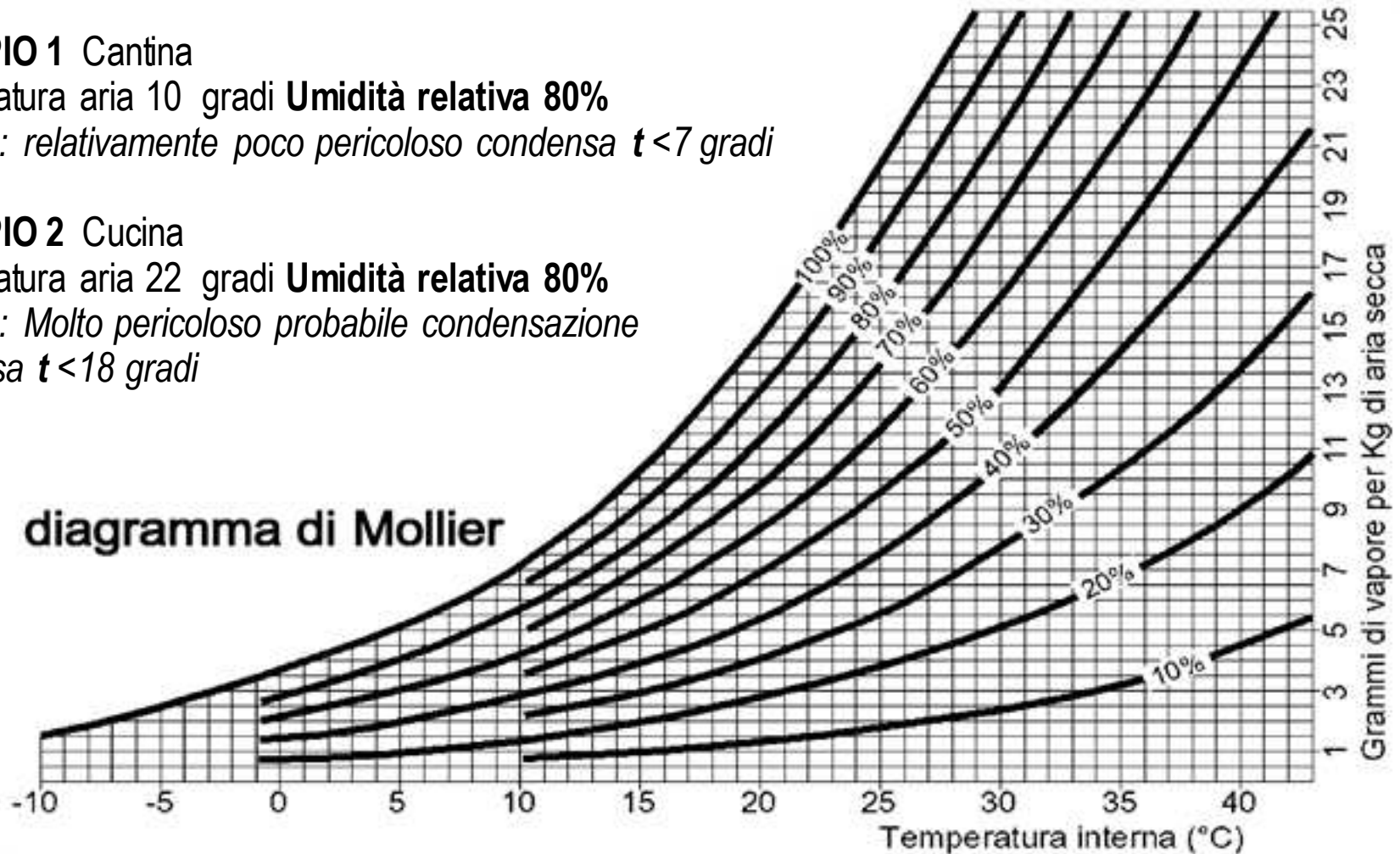
Temperatura aria 10 gradi **Umidità relativa 80%**

Giudizio: relativamente poco pericoloso condensa $t < 7$ gradi

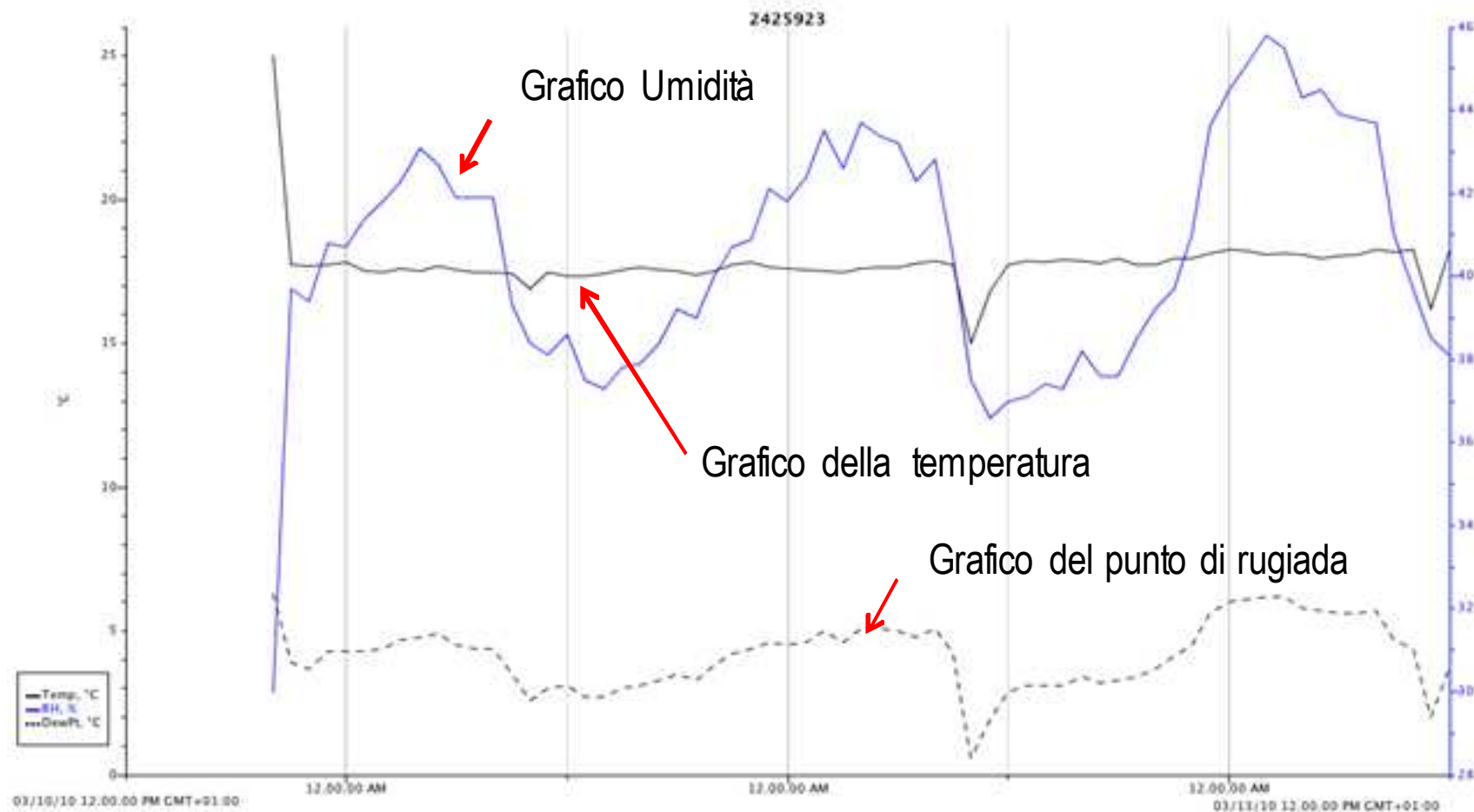
ESEMPIO 2 Cucina

Temperatura aria 22 gradi **Umidità relativa 80%**

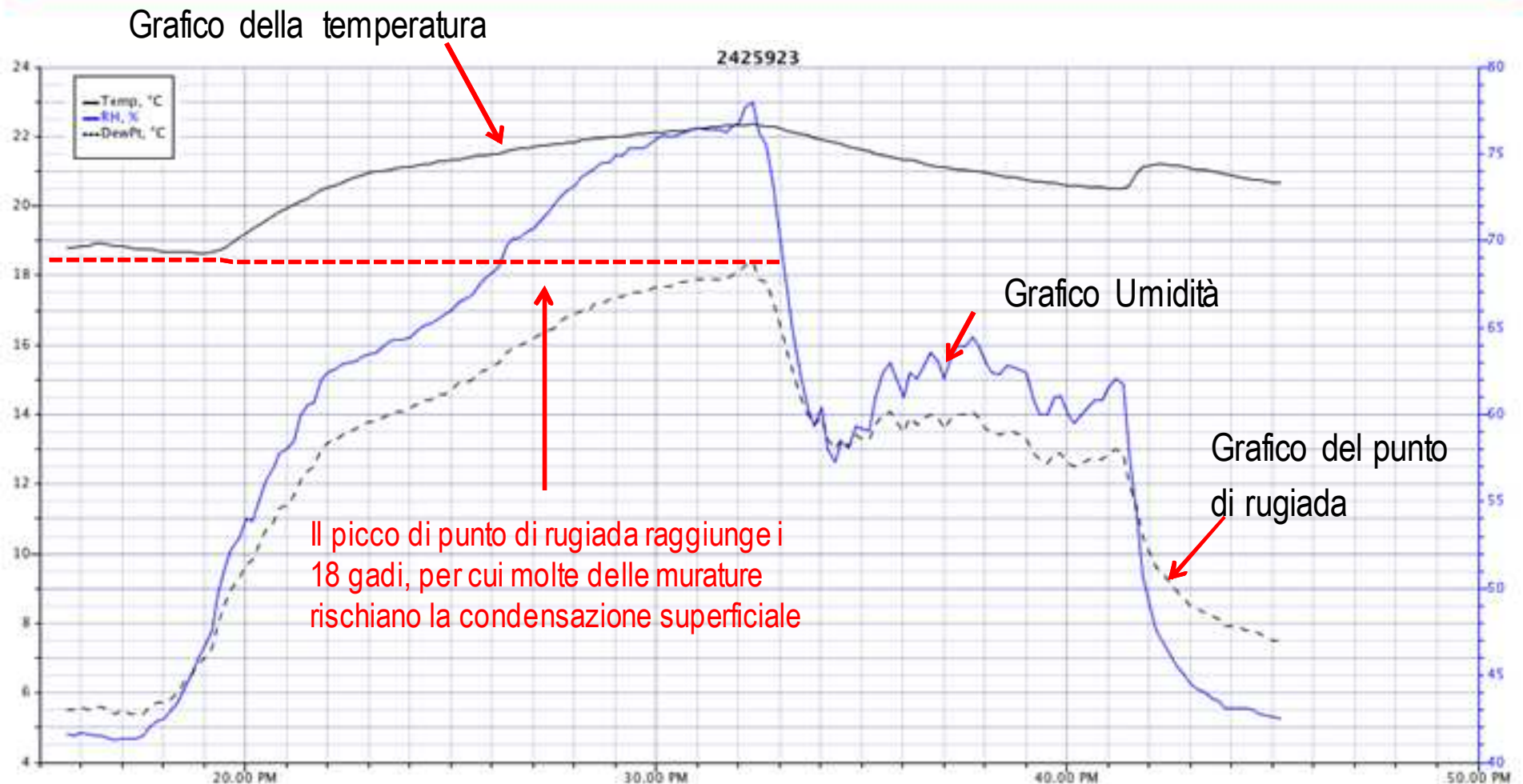
*Giudizio: Molto pericoloso probabile condensazione
condensa $t < 18$ gradi*



Esempio monitoraggio Ur % e T camera



Esempio diagramma Ur % e T in una cucina



Zone soggette a condensazione

VERIFICHE DI CONDENSA COME DA NORMATIVA

DLgs 311/2006 *allegato I*

8. Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'art. 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione della categoria E.8, si procede alla verifica dell'assenza di condensazioni superficiali e che le condensazioni interstiziali delle pareti opache siano limitate alla quantità rievaporabile, conformemente alla normativa tecnica vigente. Qualora non esista un sistema di controllo della umidità relativa interna, per i calcoli necessari, questa verrà assunta pari al 65% alla temperatura interna di 20 °C.

Altri riferimenti normativi sono:

UNI EN ISO 13788 prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per l'edilizia. temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensa interstiziale - Metodo di calcolo

UNI EN ISO 15927-1 prestazione termo-igrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici - medie mensili dei singoli elementi meteorologici

Zone soggette a condensazione

In base ai parametri fissati per legge in assenza di controllo della ventilazione otteniamo:

Temperatura 20° umidità 65% **punto di rugiada 13,23°**

(In realtà non è un numero fisso in quanto è influenzato dalla pressione atmosferica ma il valore si discosta di poco)

La verifica viene fatta con la temperatura MEDIA mensile con Rsi pari a =0,25, = 0,35 o 0,50 a seconda di dove ci troviamo

La uni UNI EN ISO 13788 ci impone anche un limite più prestazionale per evitare la comparsa di muffe.

La uni definisce il **limite di sicurezza** per evitare la crescita di muffe pari all' 80% dell'umidità relativa per più giorni.

Se calcoliamo la temperatura a cui si raggiunge l'80% in realtà vediamo che corrisponde a poco meno di 17° !!!

La verifica viene fatta con la temperatura MEDIA mensile con Rsi pari a =0,25, = 0,35 o 0,50 a seconda di dove ci troviamo

Cerchiamo di capire meglio.....

Esempio diagramma Psicrometrico

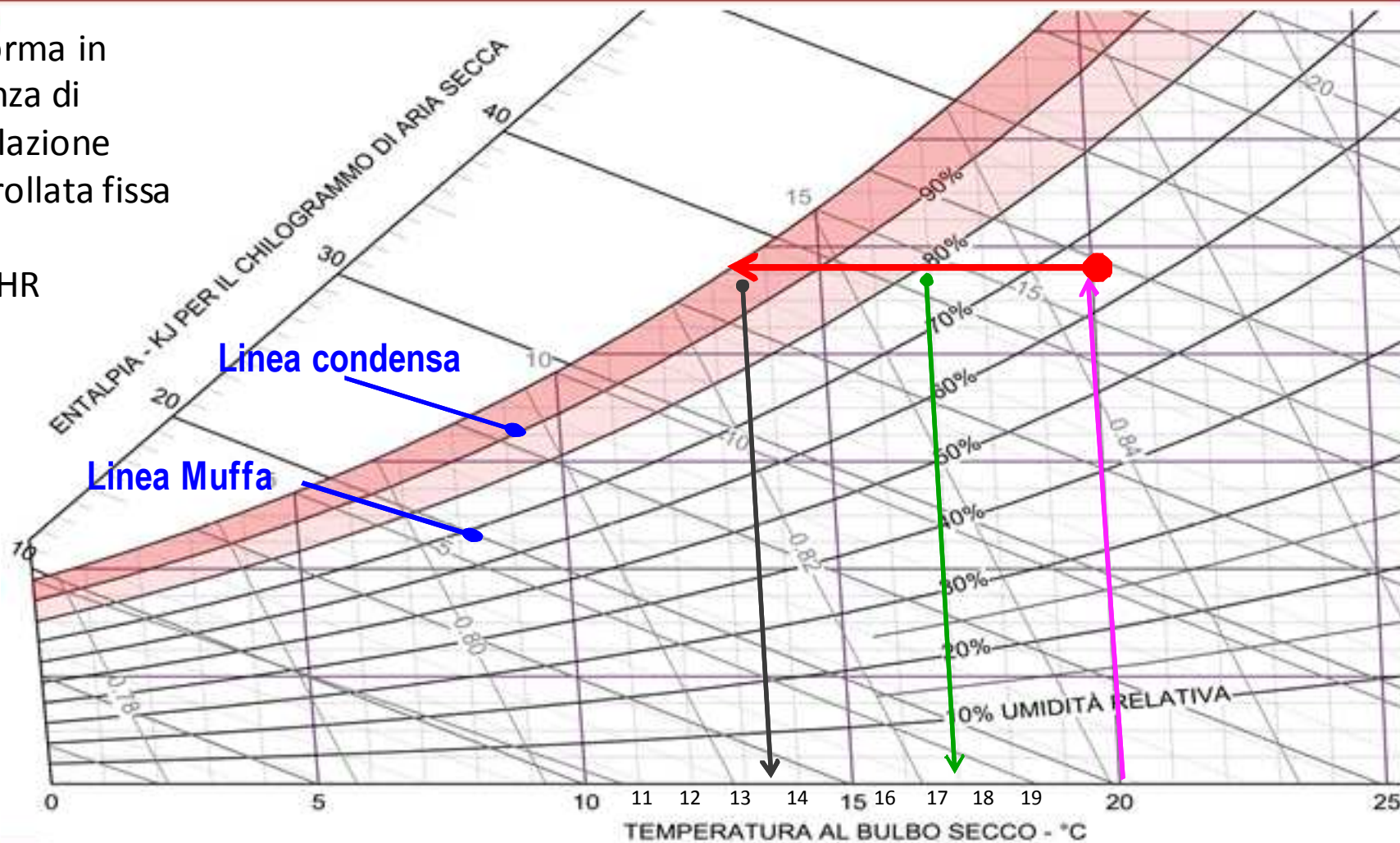
Diagramma Psicrometrico
Unità SI
Temperatura da 0°C a +50°C
Pressione 101,325 kPa



SIAMO IN QUESTA ZONA

Estratto diagramma psicrometrico

La norma in
assenza di
ventilazione
controllata fissa
20°
60% HR

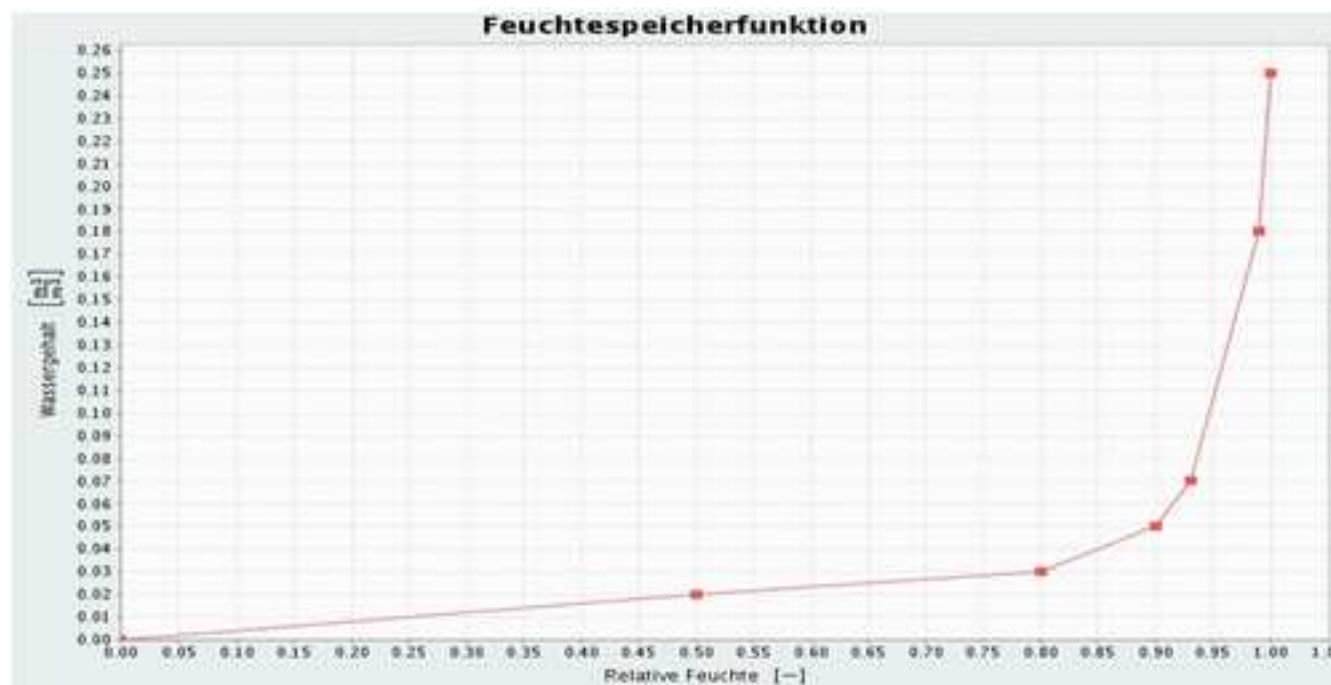


Curva assorbimento umidità dall'ambiente

Assorbimento
umidità
dall'ambiente

Fonte

Banca dati Masea
<http://www.masea-ensan.de/>



Non è possibile generalizzare, però una volta passato l'80% la uni ci dice che ci sono le condizioni di rischio muffa. Vediamo dal grafico in questo caso che passato l'80% la muratura assorbe molta acqua, la conduttività aumenta, il muro si raffredda, l' HR % peggiora, il muro assorbe più acqua, poi cominciano a muoversi i sali (in combinazione anche dal 70% HR) per cui il rischio di muffe ed efflorescenze diventa quasi una certezza

Riepilogo uni per gli aspetti termici

Simbolo e unità di misura	Definizione del parametro	Riferimento alla norma (pr)EN corrispondente
R_{si} ($m^2 \times K/W$)	Resistenza termica superficiale interna	EN ISO 6946
R_{se} ($m^2 \times K/W$)	Resistenza termica superficiale esterna	EN ISO 6946
λ ($W/m \times K$)	Conduttività termica (materiali omogenei): <ul style="list-style-type: none"> - determinazione dei valori dichiarati e di progetto (procedimento) - valori di progetto tabulati (valori cautelativi) - tipi di terreno - posizione e condizioni di umidità locali (in funzione del Paese) 	EN ISO 10456 EN 12524 EN ISO 13370 norme nazionali
R ($m^2 \times K/W$)	Resistenza termica di materiali (non) omogenei	EN ISO 6946
R_a ($m^2 \times K/W$)	Resistenza termica di strati d'aria o cavità: <ul style="list-style-type: none"> - strati d'aria non ventilati, leggermente ventilati e ben ventilati - in finestre accoppiate e doppie 	EN ISO 6946 EN ISO 10077-1
U ($W/m^2 \times K$)	Trasmittanza termica: <ul style="list-style-type: none"> - metodo generale di calcolo - finestre, porte (valori calcolati e tabulati) - telai (metodo numerico) - vetrate 	EN ISO 6946 EN ISO 10077-1 prEN ISO 10077-2 EN 673
Ψ ($W/m \times K$)	Trasmittanza termica lineare (ponti termici): <ul style="list-style-type: none"> - calcolo dettagliato (numerico - 3D) - calcolo dettagliato (2D) - calcolo semplificato 	EN ISO 10211-1 EN ISO 10211-2 EN ISO 14683
χ (W/K)	Trasmittanza termica puntiforme (ponti termici 3D)	EN ISO 10211-1

Ponte termico e calcolo secondo iso 10211

ponte termico: Parte dell'involucro edilizio dove la resistenza termica, altrove uniforme, cambia in modo significativo per effetto di:

- a) compenetrazione totale o parziale di materiali con conduttività termica diversa nell'involucro edilizio
e/o
- b) variazione dello spessore della costruzione
e/o
- c) differenze tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e quella del lato esterno, come avviene per esempio in corrispondenza dei giunti tra parete e pavimento o parete e soffitto.

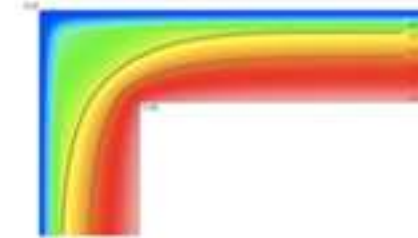
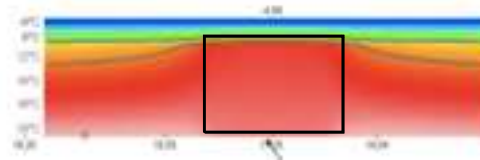
- La norma definisce come realizzare i modelli geometrici 3D e 2D di un ponte termico, ai fini del calcolo numerico di:
 - - flussi termici (dispersioni termiche totali del componente edilizio)
 - - Le temperature minime superficiali (per valutare il rischio condensazione superficiale)
- La norma specifica:
 - limiti del modello, le suddivisioni, le condizioni limite e i valori termici da utilizzare

Ponti termici

I ponti termici sono di due tipi

Ponti termici geometrici (angolo esterno della parete)

Ponti termici costruttivi (pilastro)



Il calcolo in base al valore U medio non è applicabile.

Gli elementi importanti sono la temperatura minima della superficie interna e l'aumento della perdita termica.

Il riferimento sono le norme UNI EN ISO 10211-1 e 10211-2, oltre a UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 13788.

La perdita termica aggiuntiva indotta dai ponti termici è calcolata in base a particolari coefficienti di trasmissione del calore (coefficiente di perdita da ponte termico).

Si distinguono in coefficienti per ponti termici puntiformi χ

e per ponti termici lineari Ψ .

Calcolo e verifica dei ponti termici

Per avere dei edifici efficienti dovremo sempre verificare l'assenza di ponti termici e per fare delle verifiche in tal senso

Per le analisi si puo utilizzare THERM.

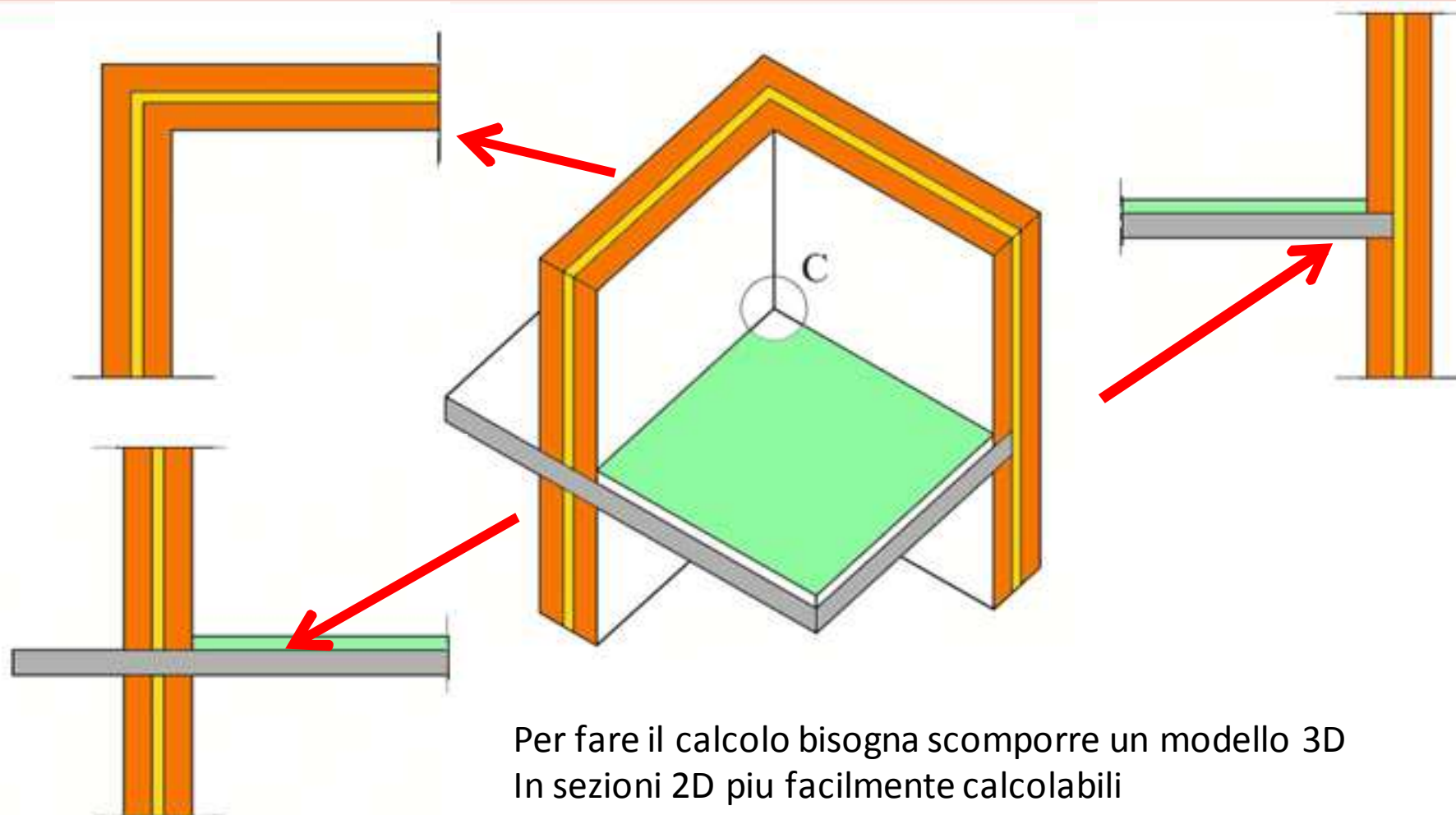
Si tratta un programma gratuito che potete scaricare (previa registrazione al sito) al seguente <http://windows.lbl.gov/software/therm/6/index.html> E' stato sviluppato dal Laurence Berkley National Laboratory per studiare l'andamento dei flussi di calore bidimensionali all'interno dei componenti edilizi come finestre, pareti, fondazioni, tetti.

In italia sono diffusi altri software piu completi ma a pagamento come ad esempio:

Flixo <http://www.tbz.bz/tbzit/shop/software/calcolo-ponti-termici-flixo.html>

Mold simulator <http://www.dartwin.it/swdownloads/demoviewers/>

Calcolo secondo iso 10211



Per fare il calcolo bisogna scomporre un modello 3D
In sezioni 2D più facilmente calcolabili

Calcolo secondo iso 10211

5.2.2

Piani di taglio del modello geometrico 3-D per il calcolo del flusso termico totale e/o della temperatura superficiale

Il modello geometrico è costituito dall'(dagli) elemento(i) centrale(i), dagli elementi laterali e, qualora lo si ritenga necessario, dal terreno. Il modello geometrico è delimitato dai piani di taglio.

I piani di taglio devono essere posizionati come segue:

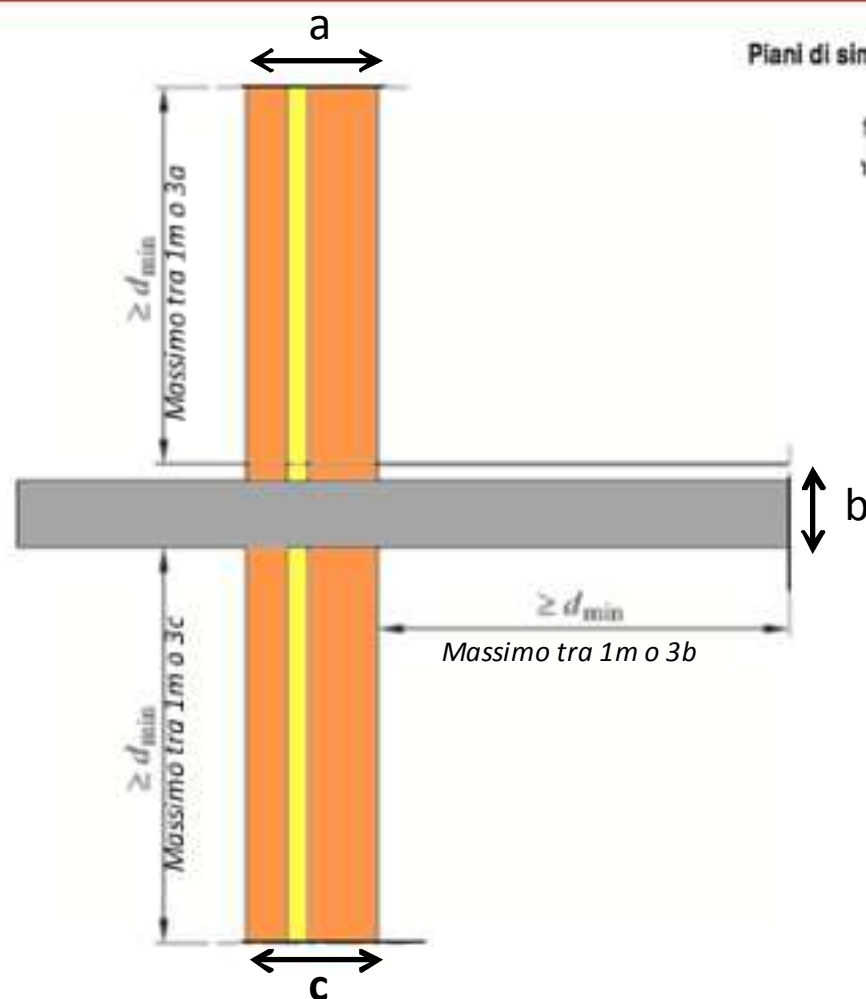
- in corrispondenza di un piano di simmetria se questo dista meno di d_{\min} dall'elemento centrale (vedere figura 5);
- ad almeno d_{\min} dall'elemento centrale se non c'è piano di simmetria più vicino (vedere figura 6);
- nel terreno, in conformità al punto 5.2.4,

dove d_{\min} è il valore maggiore tra 1 m e tre volte lo spessore dell'elemento laterale considerato.

6.3 Resistenze superficiali

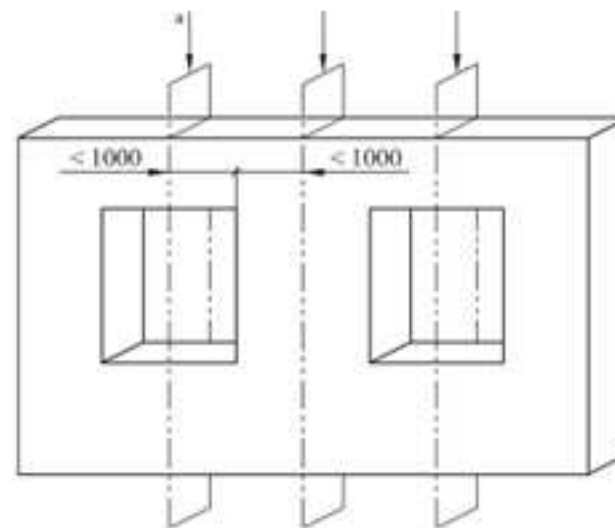
Per il calcolo delle portate termiche, le resistenze superficiali devono essere in conformità alla ISO 6946 in funzione della direzione del flusso termico.

Calcolo secondo iso 10211



Piani di simmetria che possono essere utilizzati come piani di taglio

frecce indicano i piani di simmetria
in millimetri



Calcolo secondo iso 10211

6.6 Conduttività termica equivalente delle intercapedini d'aria

Un'intercapedine d'aria deve essere considerata come un materiale omogeneo conduttivo, con una conduttività termica λ_g .

Se la resistenza termica di uno strato d'aria o di un'intercapedine è nota, la sua resistenza termica equivalente, λ_g , è ottenuta da

$$\lambda_g = \frac{d_g}{R_g} \quad (5)$$

dove:

d_g è lo spessore dello strato d'aria;

R_g è la resistenza termica nella direzione principale del flusso termico.

Le resistenze termiche degli strati d'aria e delle intercapedini delimitate da materiali opachi devono essere calcolate secondo la ISO 6946.

Per quanto riguarda la resistenza termica degli strati d'aria compresi tra due o più superfici vetrate, vedere EN 673. Informazioni sul modo in cui trattare le intercapedini nei telai delle finestre sono fornite dalla ISO 10077-2.

Le intercapedini con dimensioni maggiori di 0,5 m lungo uno qualsiasi degli assi ortogonali, devono essere trattate come stanze (vedere punto 6.7).

Resistenze secondo UNI 6946

Resistenza termica superficiale

Utilizzare i valori riportati nel prospetto 1 per superfici piane in assenza di specifiche informazioni sulle condizioni limite. I valori riportati sotto "orizzontale" si applicano a flussi termici inclinati fino a $\pm 30^\circ$ sul piano orizzontale. Per superfici che non sono piane o per casi particolari, utilizzare i procedimenti dell'appendice A.

Resistenze termiche superficiali (in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)

	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

I valori del prospetto 1 sono valori di calcolo. Per la dichiarazione della trasmittanza termica di componenti e negli altri casi in cui sono richiesti valori indipendenti dal senso del flusso termico, si raccomanda di scegliere valori corrispondenti al flusso orizzontale.

Resistenze secondo UNI 6946

Intercapedine d'aria non ventilata

Un'intercapedine d'aria non ventilata è quella in cui non vi è una specifica configurazione affinché l'aria possa attraversarla. Le resistenze termiche da utilizzare nei calcoli sono fornite nel prospetto 2. I valori della colonna "orizzontale" si applicano a flussi termici inclinati fino a $\pm 30^\circ$ in rapporto al piano orizzontale.

Resistenza termica (in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$) di intercapedini d'aria non ventilate: superfici ad alta emissività

Spessore intercapedine d'aria mm	Senso del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

Nota - I valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione lineare.

Calcolo secondo iso 13788 (Muffa)

SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE

La norma fornisce procedure di calcolo per determinare:

- a) la temperatura superficiale interna di componenti o elementi edilizi al di sotto della quale è probabile la crescita di muffe, in funzione della temperatura e dell'umidità relativa interne; il metodo può essere anche utilizzato per la previsione del rischio di altri problemi di condensazione superficiale;
- b) la valutazione del rischio di condensazione interstiziale dovuta alla diffusione del vapore acqueo.
- c) Il metodo usato assume che l'umidità di costruzione si sia asciugata e non tiene conto di alcuni importanti fenomeni fisici, quali:
 - la dipendenza della conduttività termica dal contenuto di umidità;
 - lo scambio di calore latente;
 - la variazione delle proprietà dei materiali in funzione del contenuto di umidità;
 - la risalita capillare e il trasporto di acqua liquida all'interno dei materiali;
 - il moto dell'aria attraverso fessure o intercapedini;
 - la capacità igroscopica dei materiali.

Di conseguenza il metodo può essere applicato solo a strutture nelle quali questi effetti sono trascurabili.

Calcolo secondo iso 13788 (Muffa)

Trasmissione del calore

Il valore di R_{se} deve essere assunto pari a $0,04 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$.

In assenza di norme nazionali, per la valutazione di condensazione o di crescita di muffe su superfici opache si deve utilizzare un valore della resistenza superficiale interna

$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$ per rappresentare l'effetto di angoli, mobili, tende o controsoffitti.

Per la valutazione della condensazione interstiziale e per quella superficiale su finestre e porte, devono essere utilizzati i valori di R_{si} indicati nel prospetto 2.

Resistenze termiche interne per la valutazione della condensazione interstiziale, o per quella superficiale su porte e finestre

Direzione del flusso di calore	Resistenza termica $[\text{m}^2 \times \text{K} / \text{W}]$
Verso l'alto	0,10
Orizzontale	0,13
Verso il basso	0,17

Calcolo secondo iso 13788 (Muffa)

Per la valutazione della crescita di muffe e della condensazione interstiziale si devono utilizzare i valori di R_{si} e R_{se} riportati nel prospetto 2.

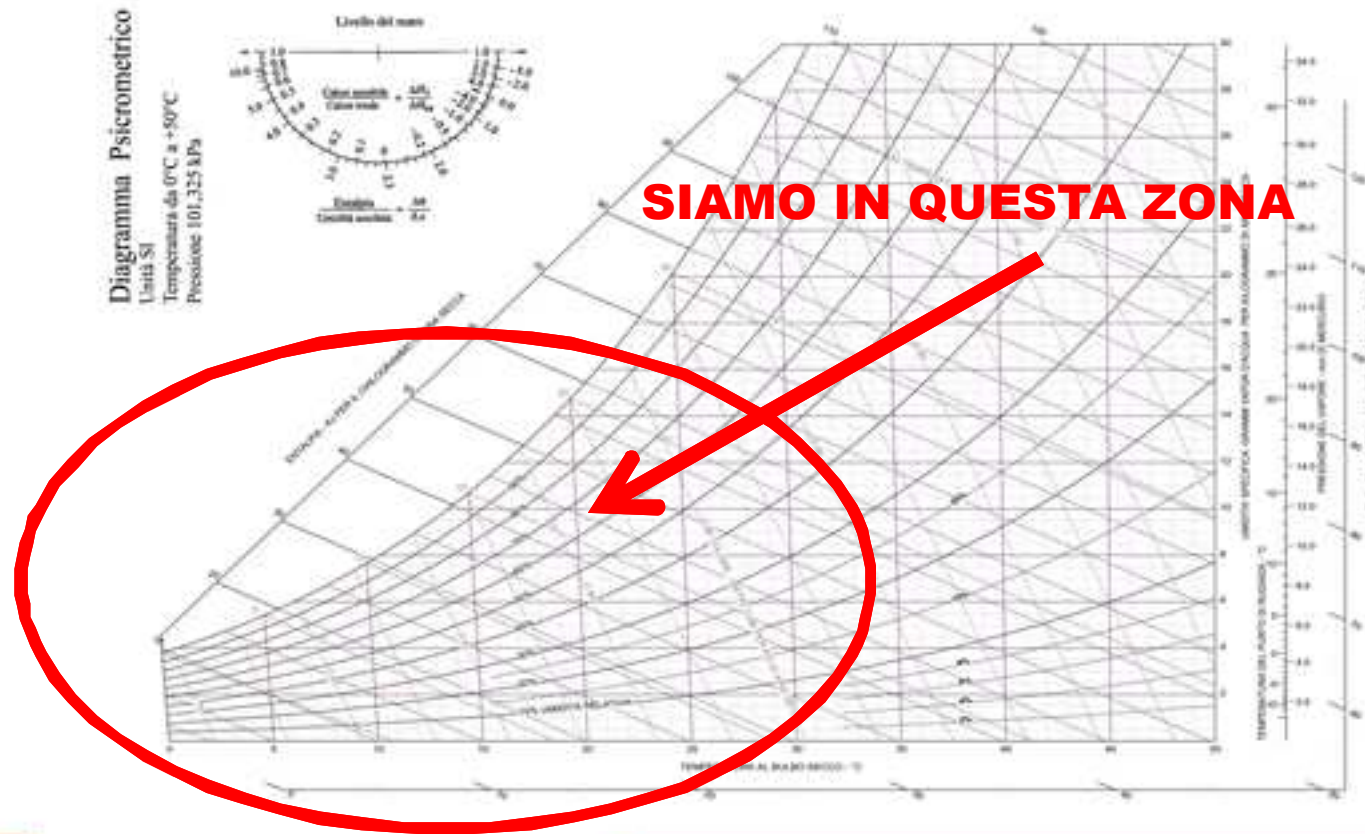
prospetto 2

Resistenze termiche superficiali

	Resistenza $m^2 \cdot K/W$
Resistenza termica superficiale esterna R_{se}	0,04
Resistenza termica superficiale interna R_{si}	
Per vetri e telai	0,13
Per tutte le altre superfici interne	0,25

Calcolo secondo iso 13788 (Muffa)

Si ha rischio di formazione di muffe quando valori medi mensili dell'umidità relativa superficiale sono superiori all'umidità relativa critica $\phi_{si,cr}$ che dovrebbe essere assunta pari a 0,8, in assenza di informazioni più specifiche da regolamenti nazionali o altro.

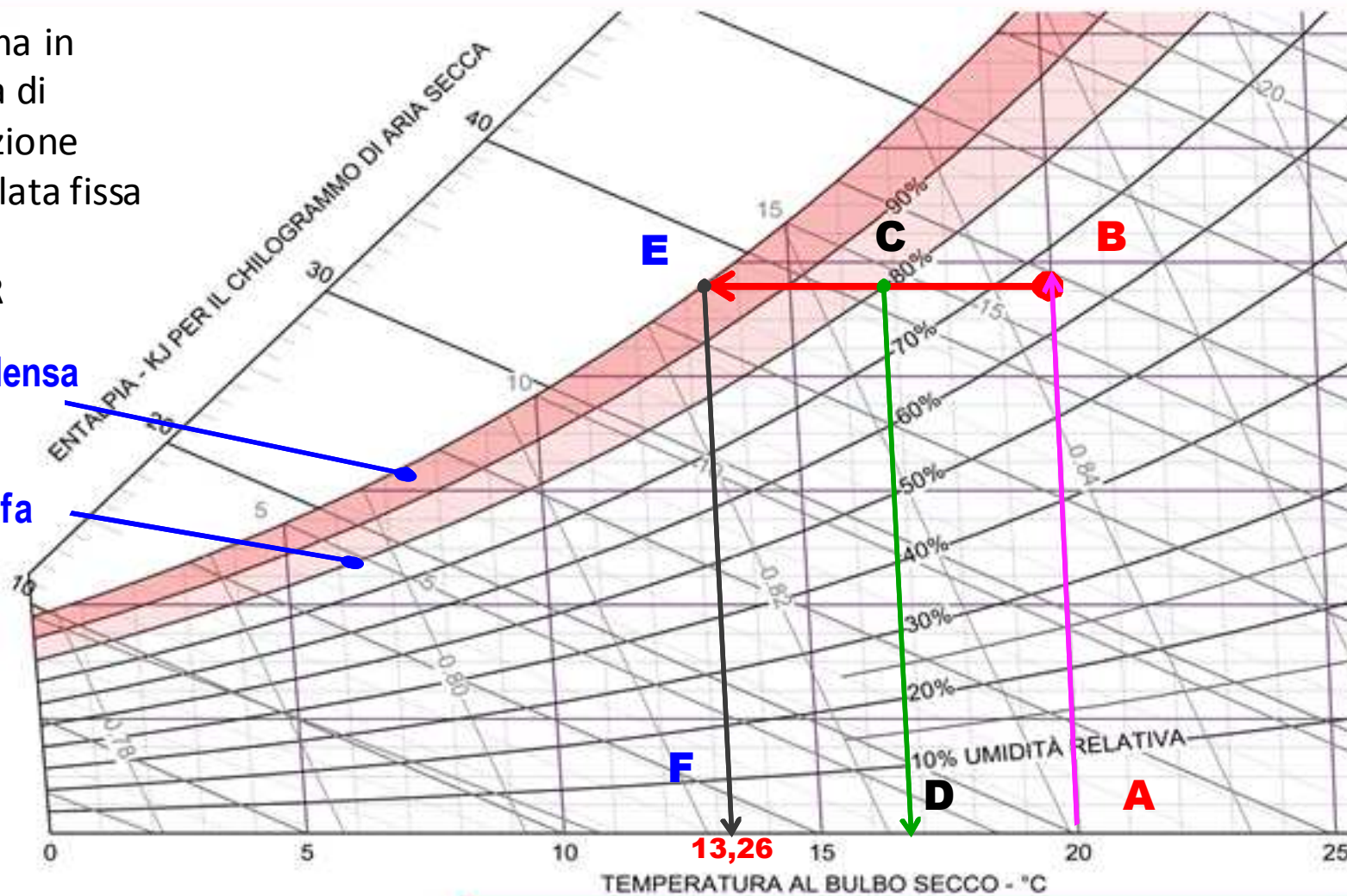


Estratto diagramma psicrometrico

La norma in
assenza di
ventilazione
controllata fissa
20°
65% HR

Linea condensa

Linea Muffa



Ponti termici nelle strutture reali

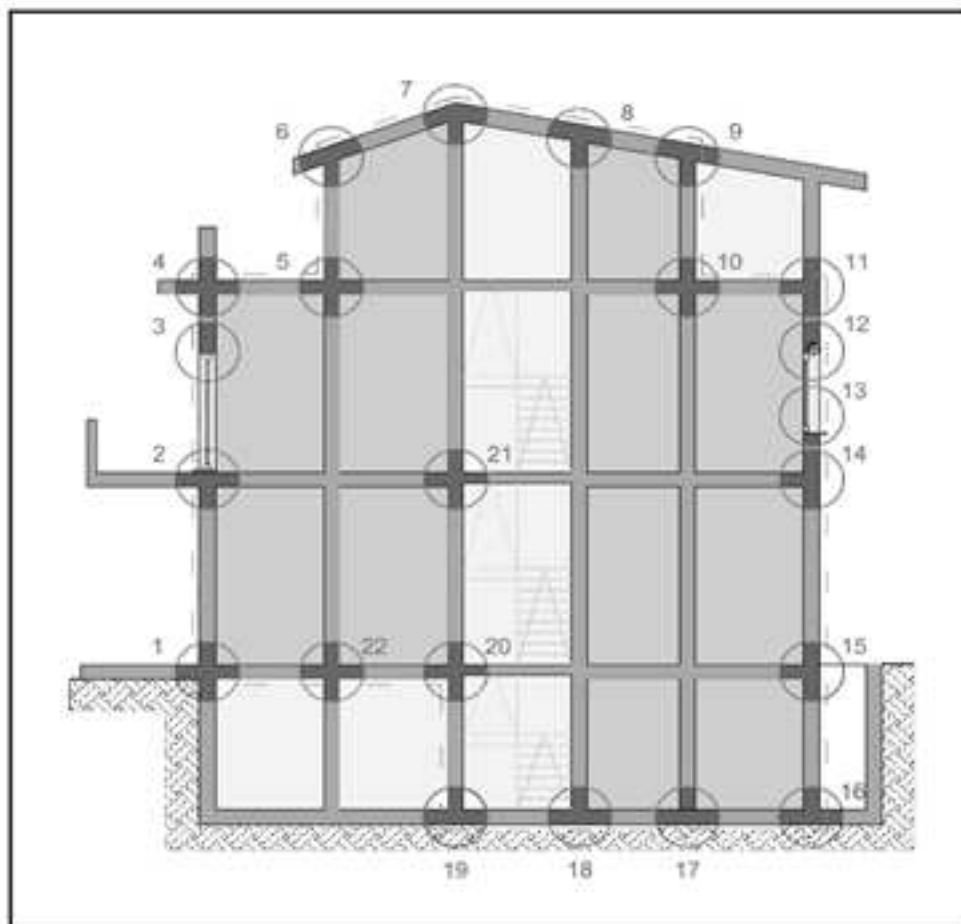


Fig. A1 *posizione dei ponti termici lineari in sezione verticale tipo*

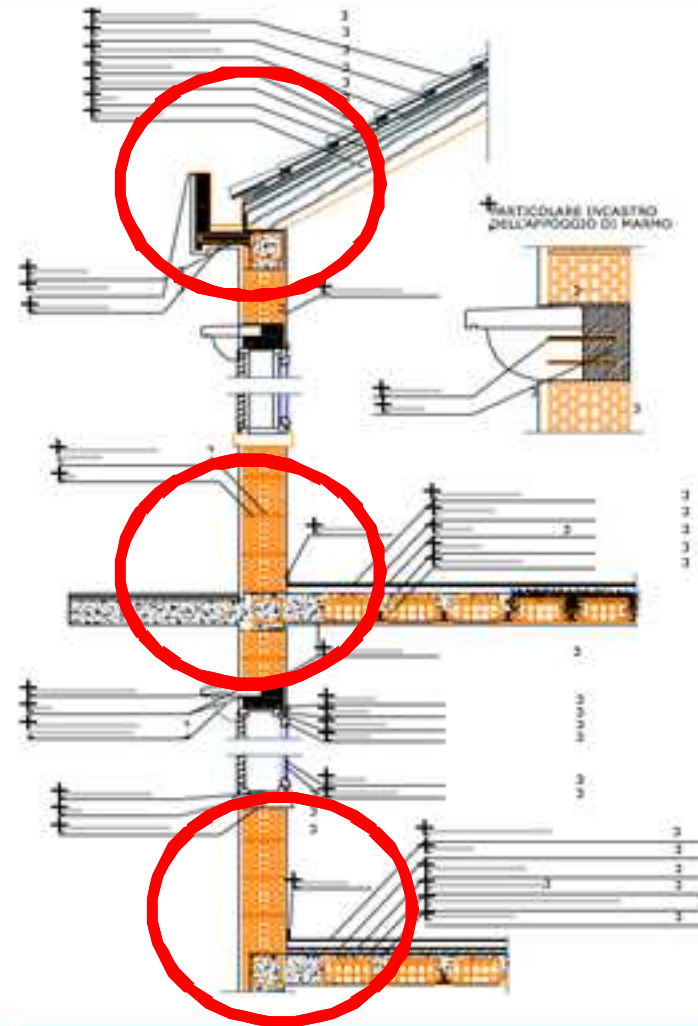
Posizione dei ponti termici:

1. nodo parete – zoccolo contro terra
2. balcone e nodo soglia – portafinestra
3. attacco infisso/cassonetto (portafinestra)
4. nodo parete – solaio terrazzo
5. nodo solaio – terrazzo parete
6. nodo tetto – parete
7. nodo tetto – parete/vano scale
8. nodo tetto – parete/vano scale
9. nodo tetto – parete verso sottotetto freddo
10. nodo parete – solaio verso sottotetto freddo
11. nodo solaio – parete
12. attacco infisso/cassonetto
13. attacco infisso/soglia (finestra)
14. nodo parete – solaio intermedio
15. nodo parete – zoccolo contro terra su scannafosso
16. nodo parete – zoccolo contro terra
17. nodo muro – fondazione
18. nodo muro vano scala – fondazione
19. nodo muro vano scala – fondazione (se richiesto)
20. nodo muro vano scala – solaio verso cantina/garage
21. nodo muro vano scala – solaio pianerottolo del vano scala
22. nodo muro/pilastro passante verso cantina/garage

Ponti termici in una struttura

Il rilievo o il progetto
deve essere accurato
come pure la restituzione

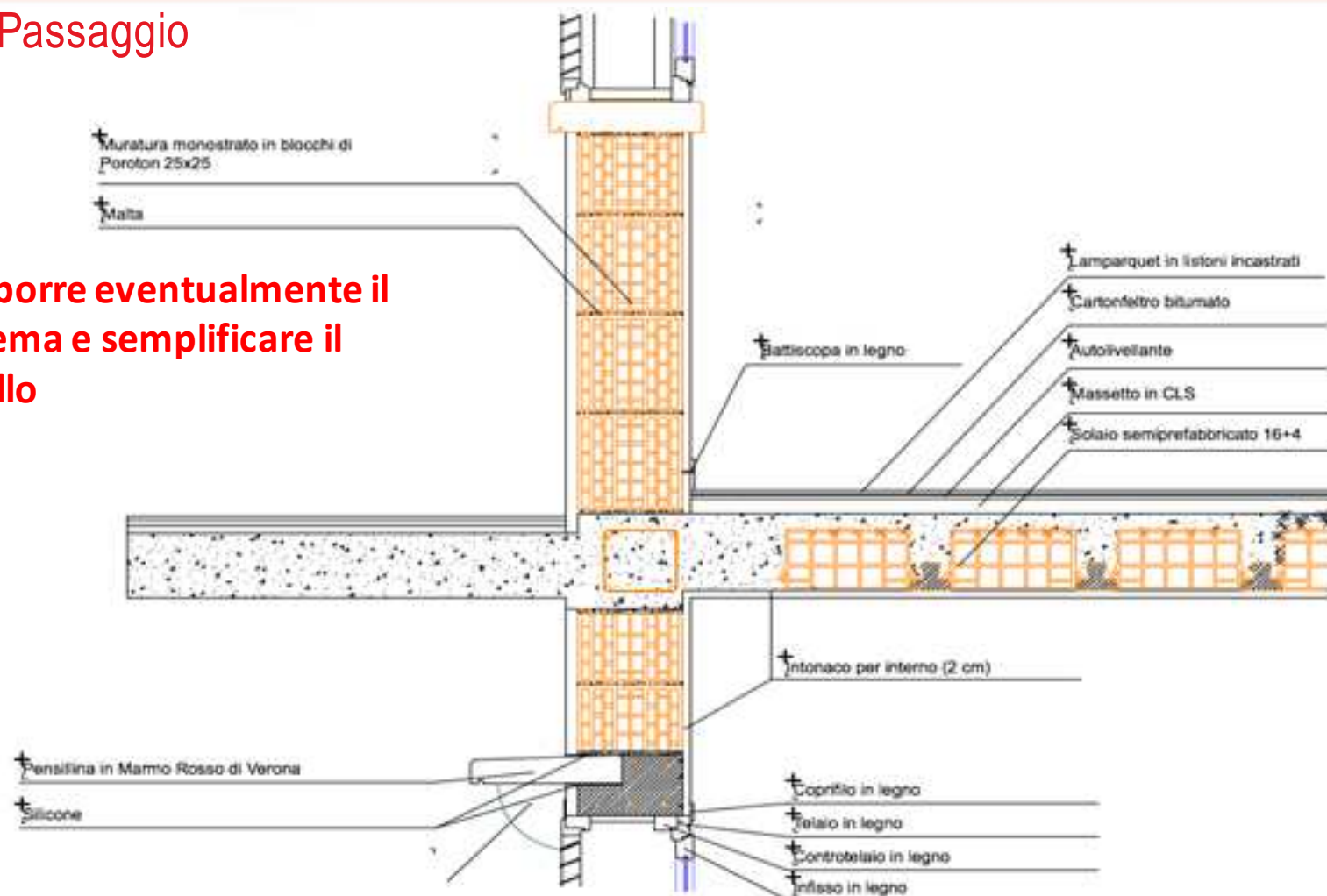
1° Passaggio
individuare
TUTTI i nodi



Ponti termici in una struttura

2° Passaggio

Scomporre eventualmente il problema e semplificare il modello

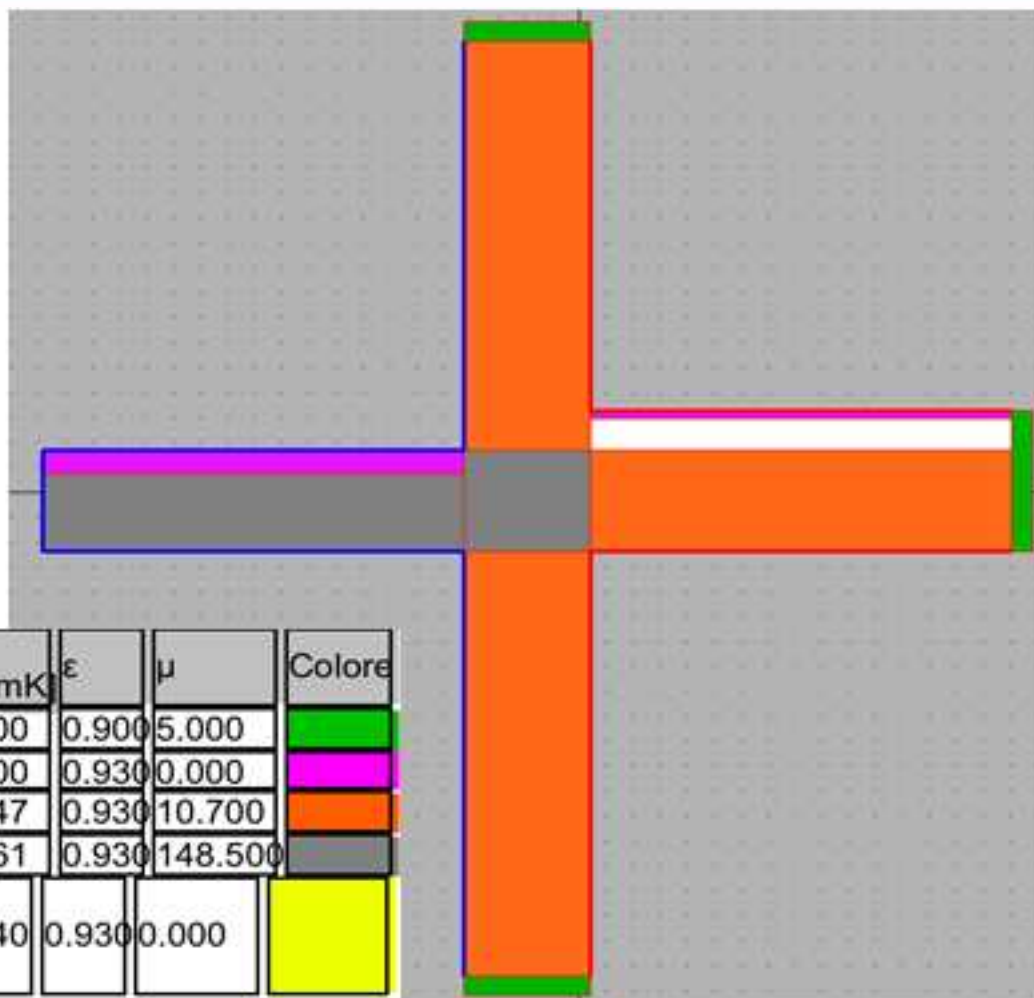


Ponti termici

3° Passaggio

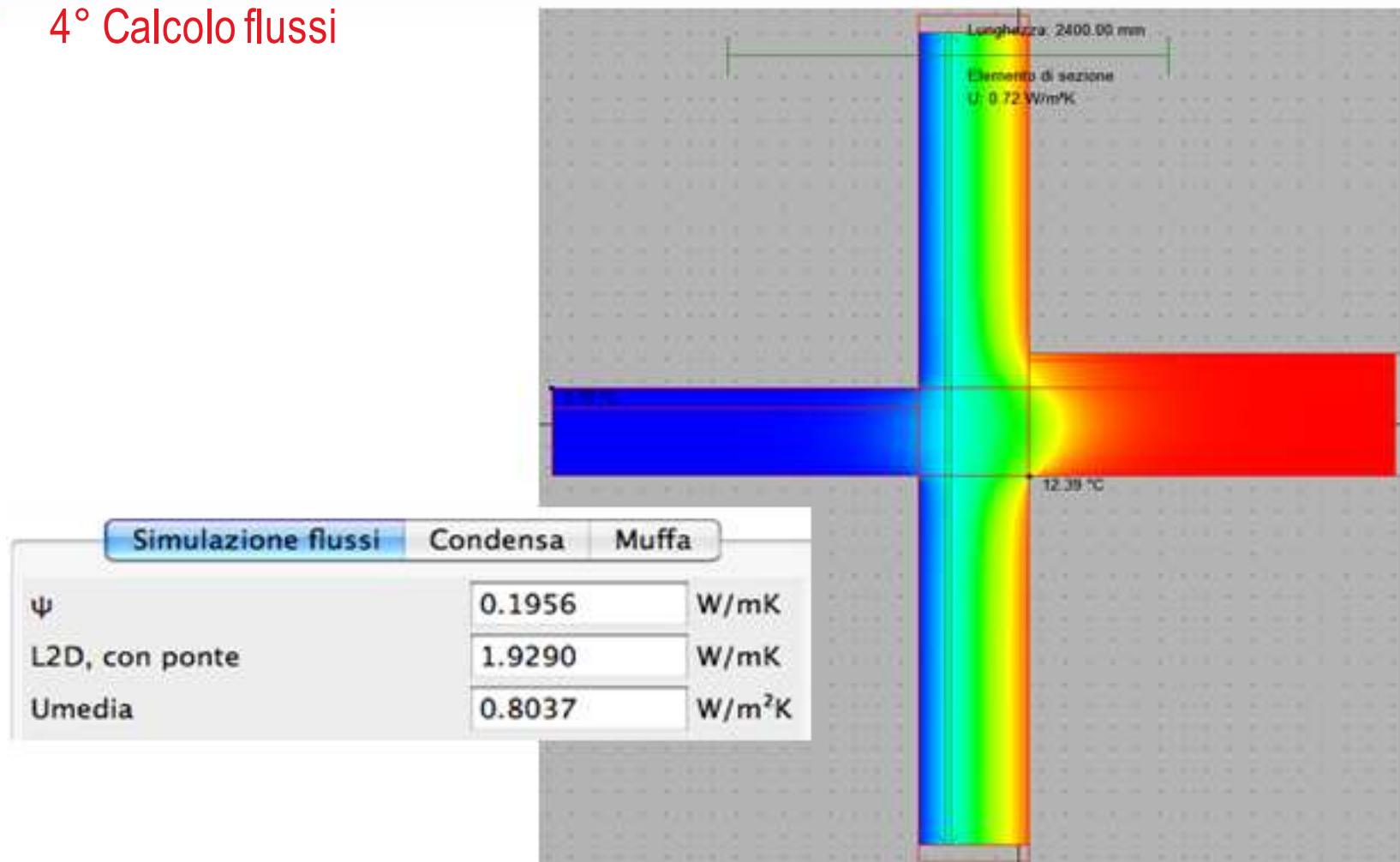
costruire un modello termico
opportunamente semplificato
attribuendo caratteristiche corrette ai
Materiali, alle condizioni al contorno, le
Corrette Rsi / rse

Nome	Tipo	λ_x [W/mK]	λ_y [W/mK]	ϵ	μ	Colore
Adiabatico	Adiabatico	0.000	0.000	0.900	5.000	Verde
Porcellana	Standard	1.000	1.000	0.930	0.000	Porpora
Laterizi*	Standard	0.247	0.247	0.930	10.700	Arancione
Calcestruzzo	Standard	1.161	1.161	0.930	148.500	Grigio
Materie plastiche cellulari*	Standard	0.040	0.040	0.930	0.000	Giallo



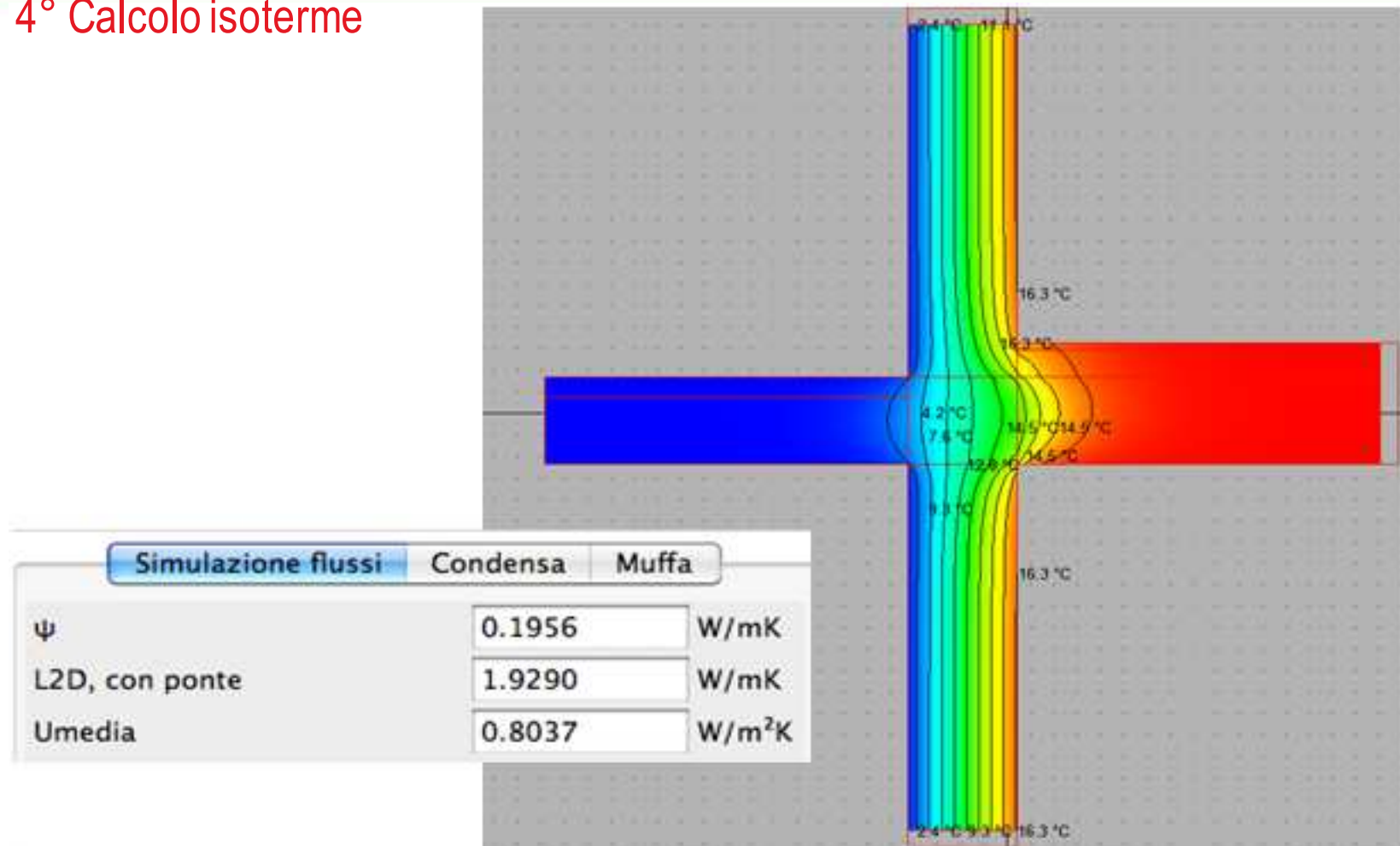
Ponti termici

4° Calcolo flussi



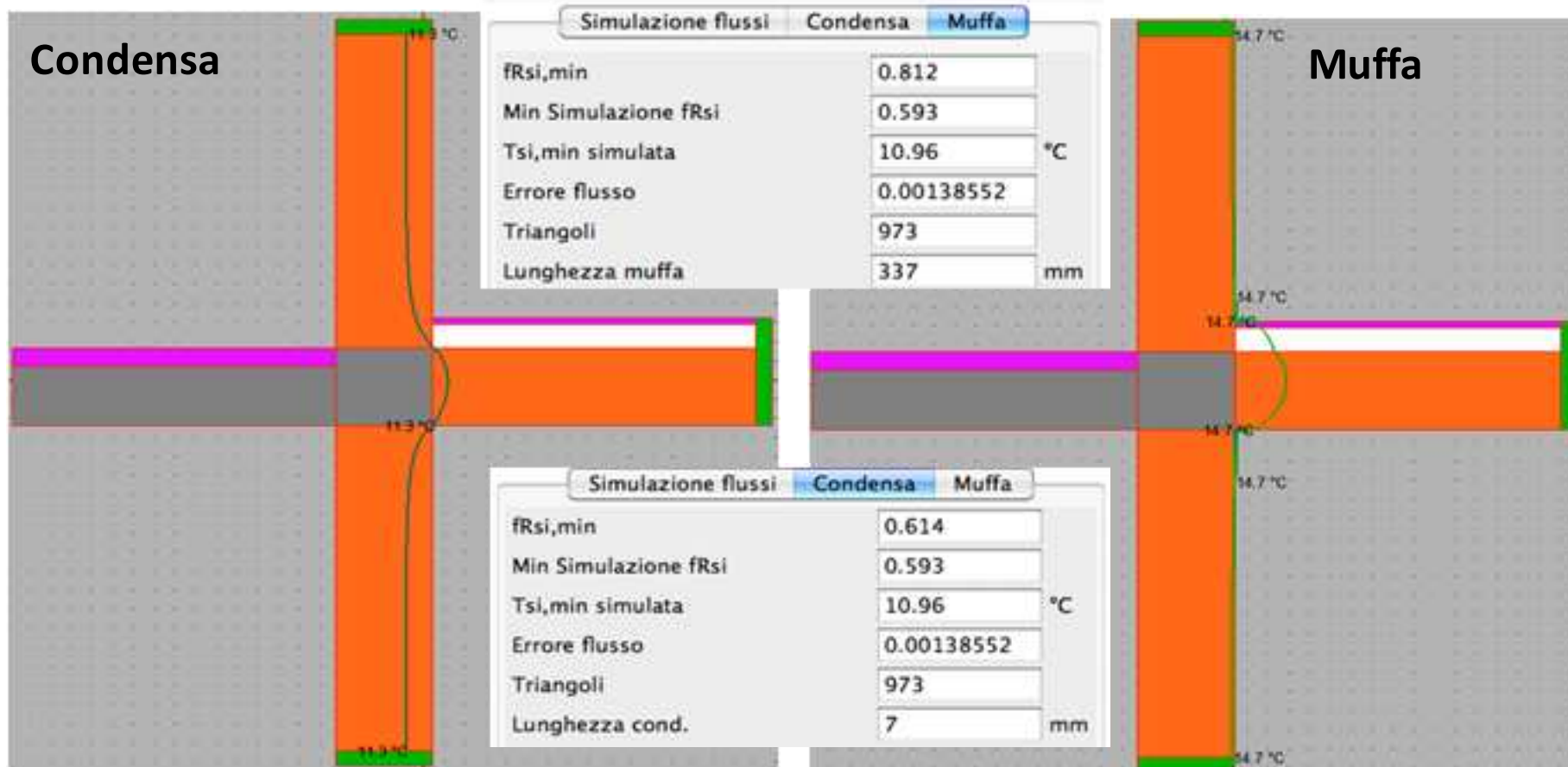
Ponti termici

4° Calcolo isoterme



Ponti termici

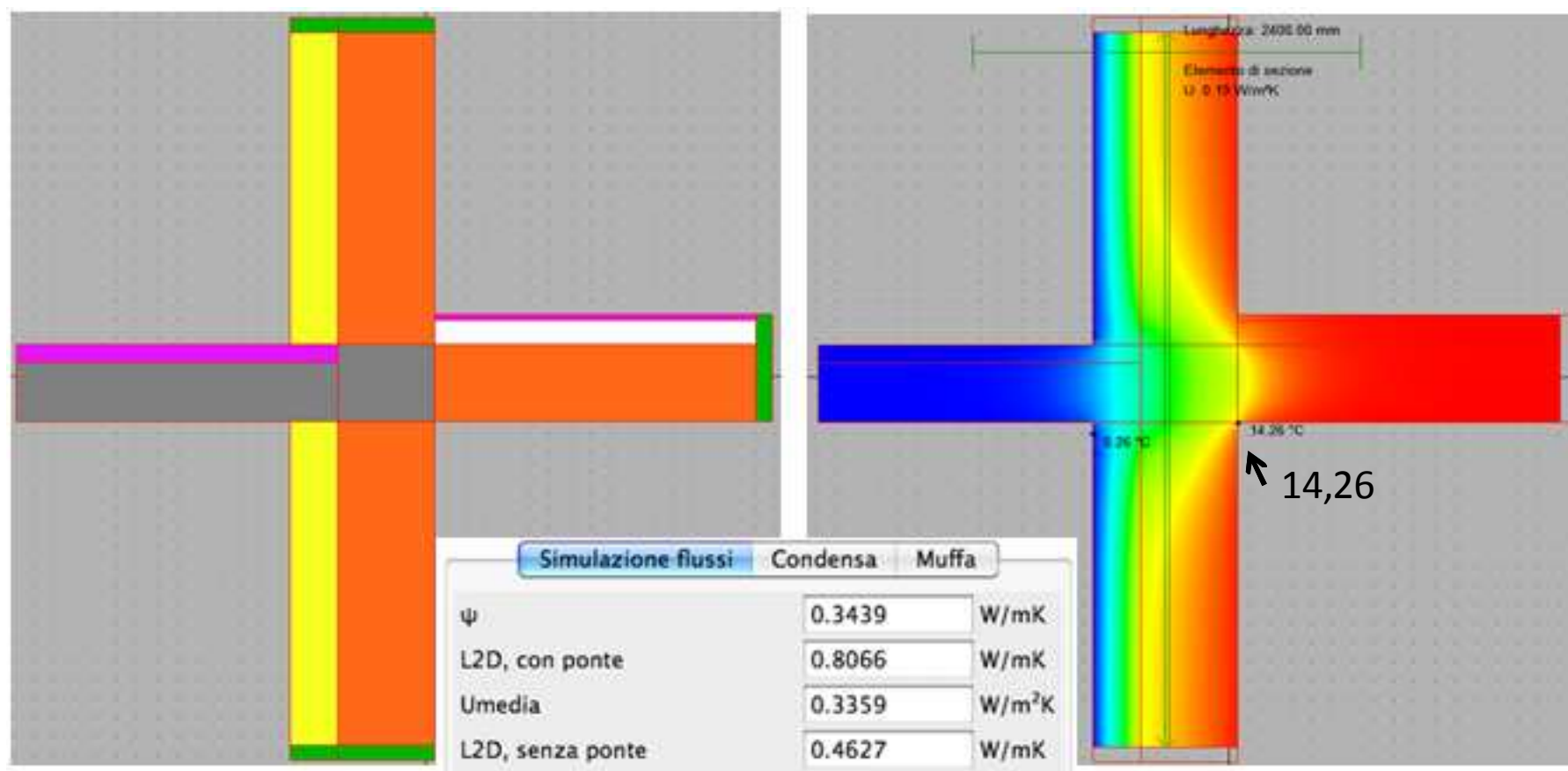
RISULTATI: I risultati termici sono stati calcolati secondo la norma ISO 10211/08 mentre la condensazione è stata determinata secondo ISO 13788:2003.



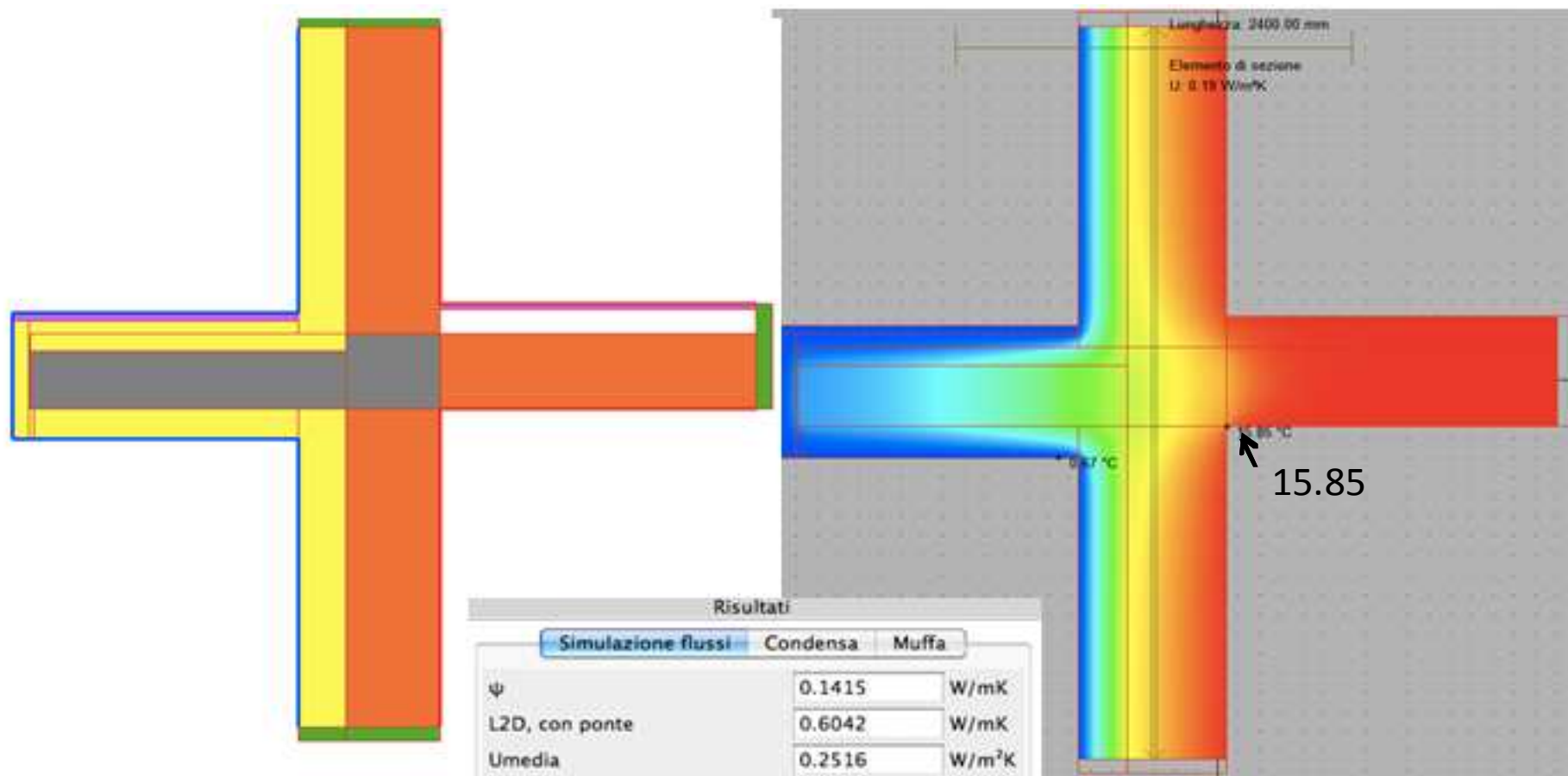
Come si presentano



Ipotesi miglioramento non basta!

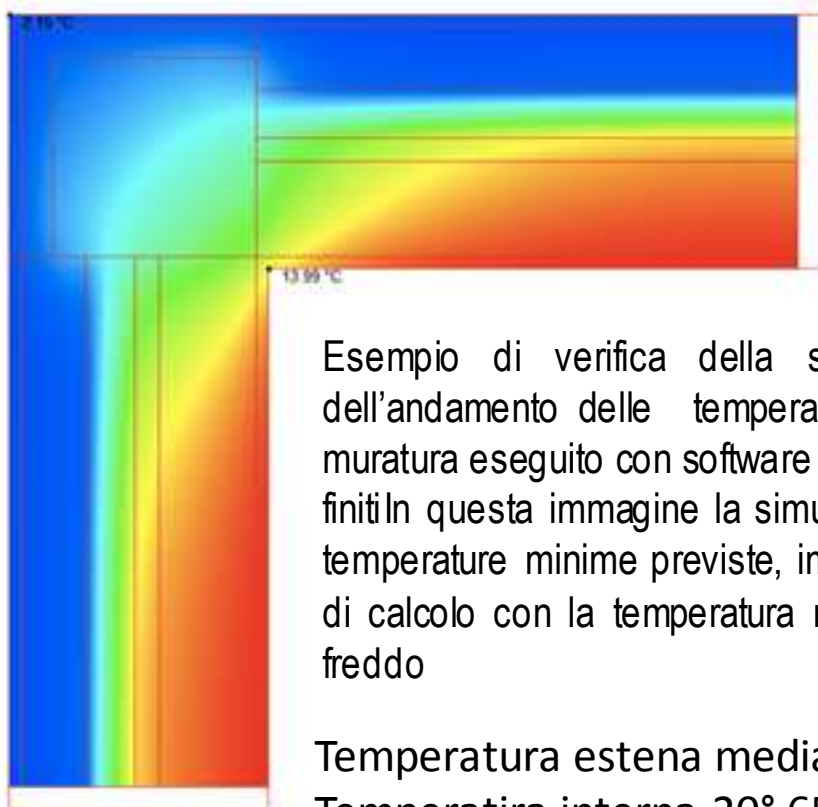


Ipotesi miglioramento



Calcolo Ψ

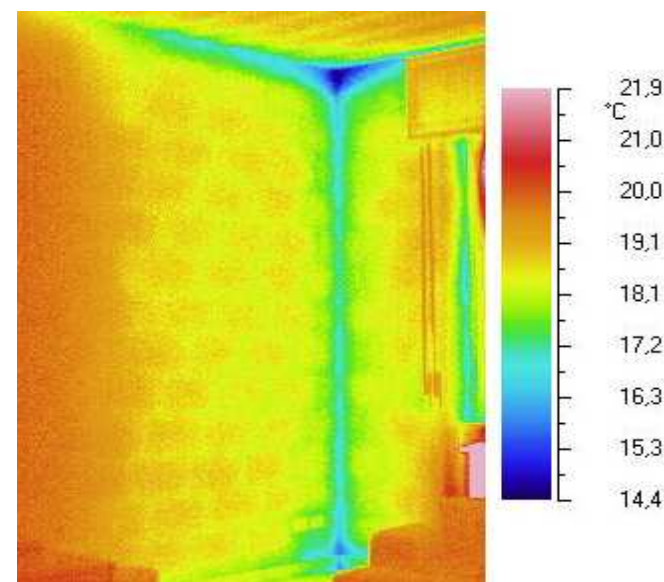
L'analisi di un ponte termico ha tre obiettivi, il calcolo dell'entità del ponte termico, il calcolo delle temperature superficiali e interne verifiche di muffa e condensa



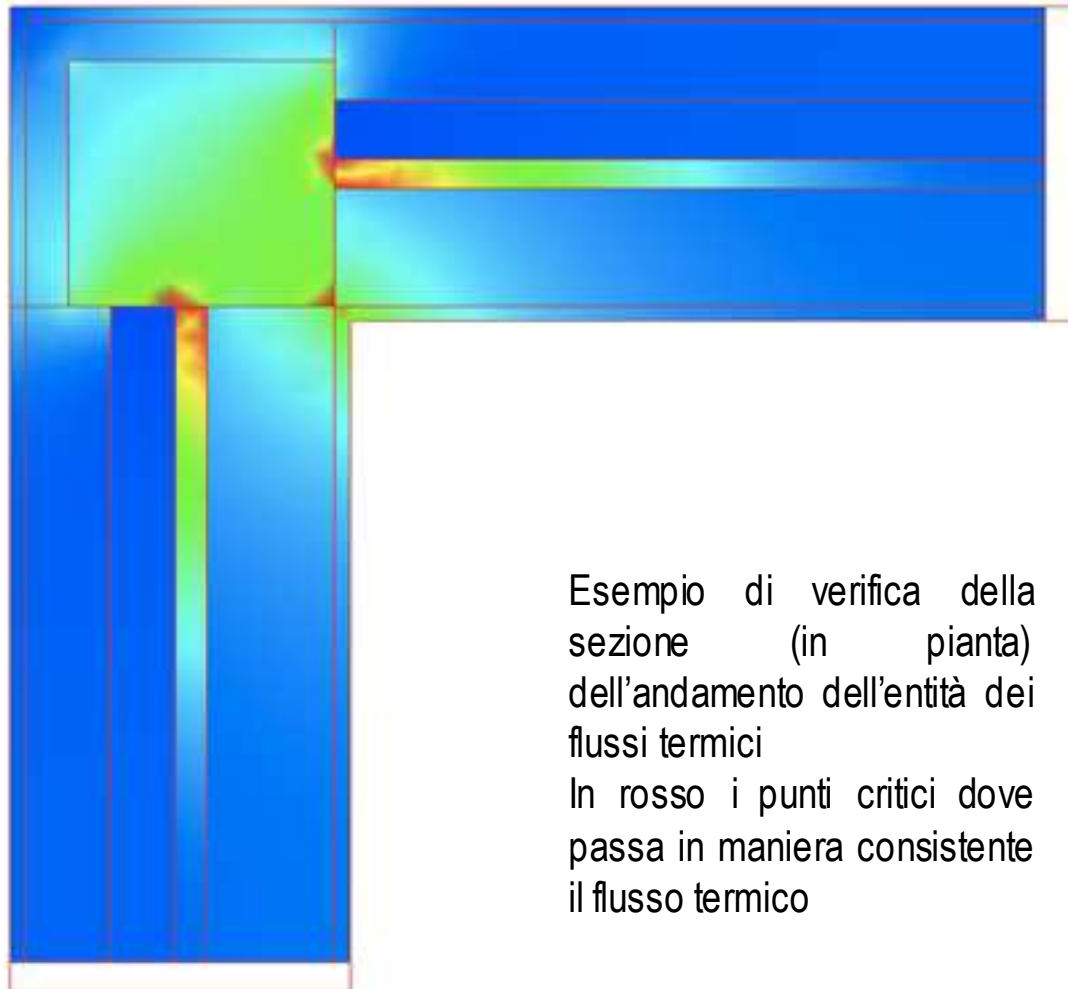
Esempio di verifica della sezione (in pianta) dell'andamento delle temperature all'interno della muratura eseguito con software di calcolo a elementi finiti. In questa immagine la simulazione evidenzia le temperature minime previste, impostando la verifica di calcolo con la temperatura media del mese più freddo

Temperatura esterna media mensile
Temperatura interna 20° 65% HR
 $R_{si} = 0,13$ (se verticale)

Esempio di immagine termografica dell'angolo della muratura che evidenzia il ponte termico



Verifica anche con software delle dispersioni



Esempio di verifica della sezione (in pianta) dell'andamento dell'entità dei flussi termici

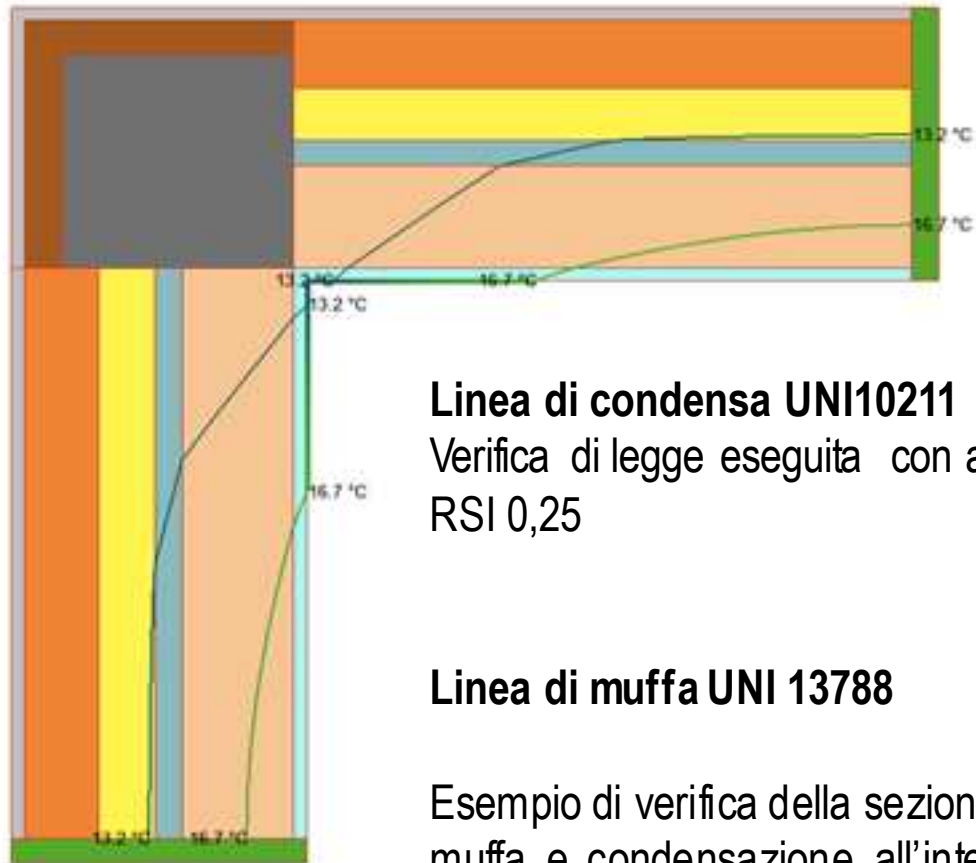
In rosso i punti critici dove passa in maniera consistente il flusso termico

Verifica anche con software delle dispersioni



Esempio di verifica della
sezione (in pianta)
dell'andamento e della
direzione di uscita del calore

Calcolo calcolo condense e muffa



Linea di condensa UNI10211

Verifica di legge eseguita con all'interno 20° e 65%HR
RSI 0,25

Linea di muffa UNI 13788

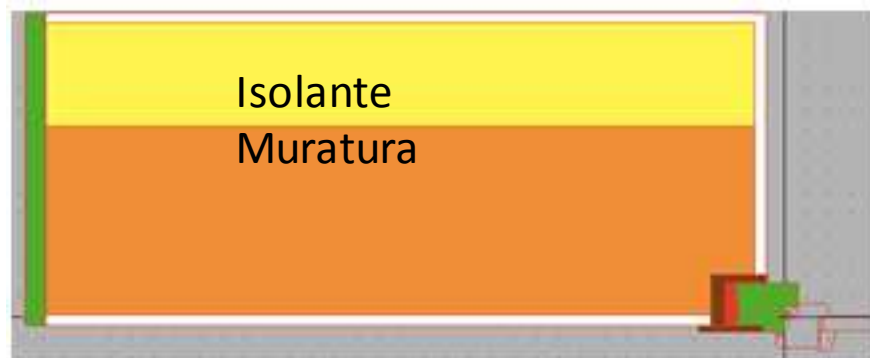
Esempio di verifica della sezione (in pianta) dell'andamento delle linee di muffa e condensazione all'interno della muratura calcolata con soglia 80% Hr

Verifica ponte lineico

SOLUZIONI TECNICHE DIVERSE: La risoluzione di un ponte termico è condizionata da un buon progetto e verifica tecnica e solo in minima parte dal costo economico

Esempio di soluzioni con materiali con stesse caratteristiche

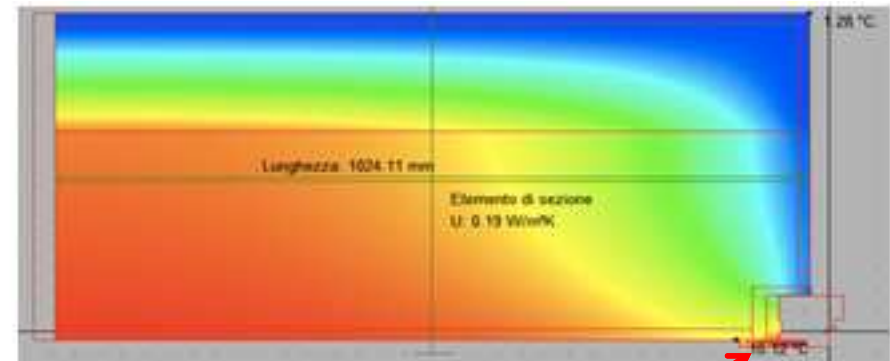
Es 1 Cappotto non risvoltato



ψ

Ponte lineico telaio

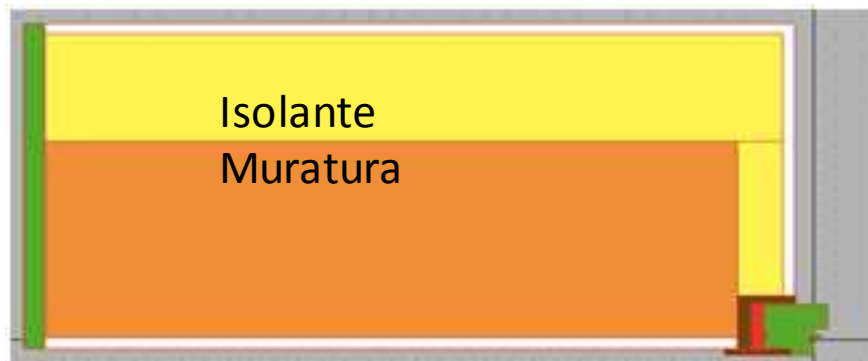
0.5676 W/mK



Temperatura bordo 15,1°

Verifica con software di condense e muffa

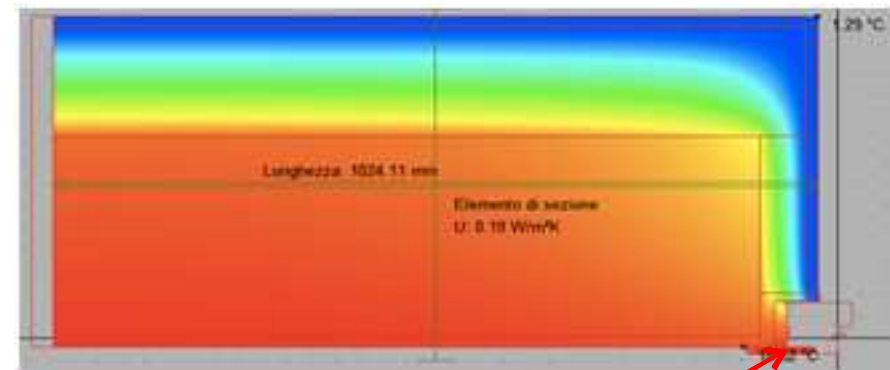
Es 2 Cappotto risvoltato con 5 cm isolante



ψ

Ponte lineico telaio

0.1174 W/mK

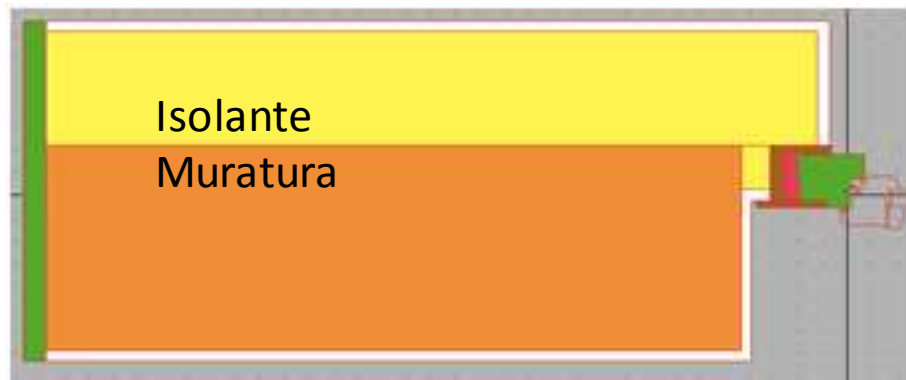


Temperatura bordo 18,5°

102

Verifica con software di condense e muffa

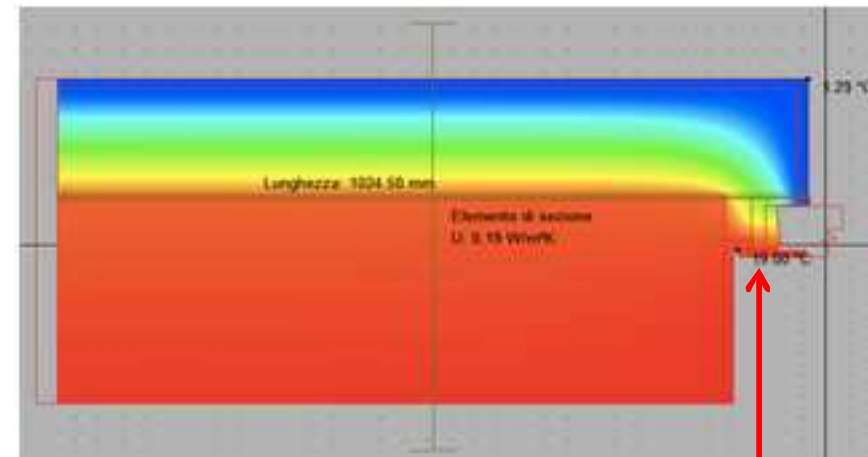
Es 3 Serramento posato contro il cappotto



ψ

Ponte lineico telaio

0.0222 W/mK



Temperatura bordo 19°

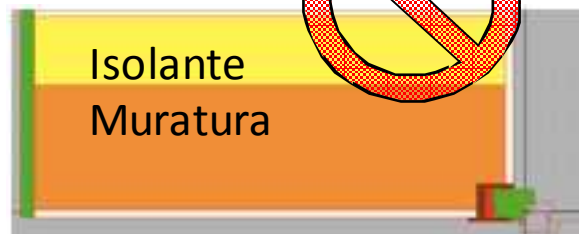
CONSIDERAZIONI

Come questo esempio dimostra che **incide molto più la soluzione tecnica a pari tipo di materiale rispetto ai costi per materiali o soluzioni speciali**

In questo caso ultimo caso la soluzione permette oltre che eliminare un punto di pericolo per condense e muffe, anche di limitare al massimo l'entità del flusso dovuto al ponte termico, con beneficio sui consumi e sulla classe energetica dell'edificio stesso.

Importanza studio di un ponte termico

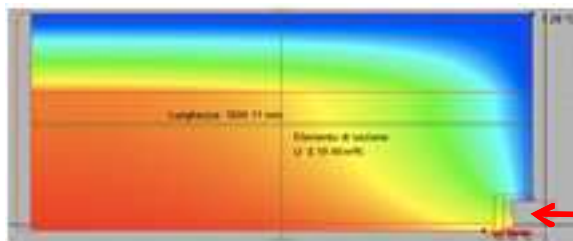
SOLUZIONE 1



ψ

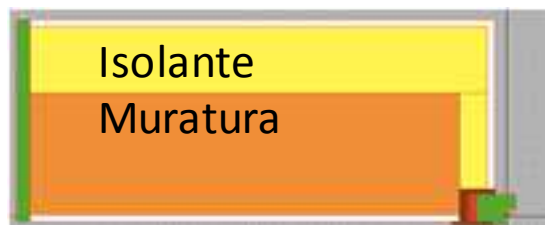
Ponte lineico telaio

0.5676 W/mK



Temperatura bordo 14°

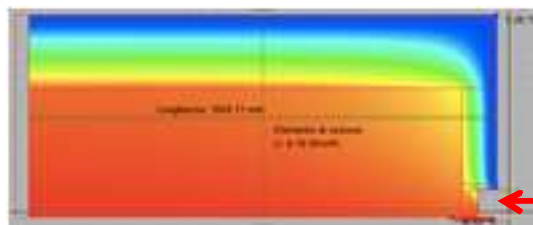
SOLUZIONE 2



ψ

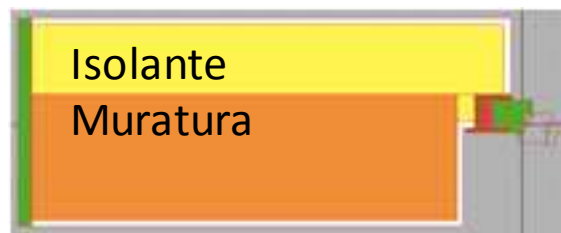
Ponte lineico telaio

0.1174 W/mK



Temperatura bordo 18,5°

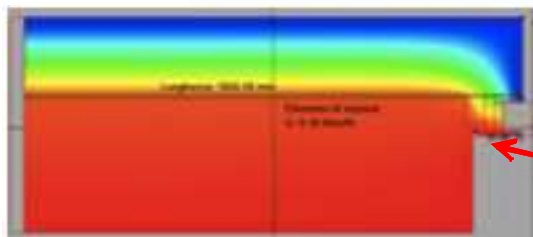
SOLUZIONE 3



ψ

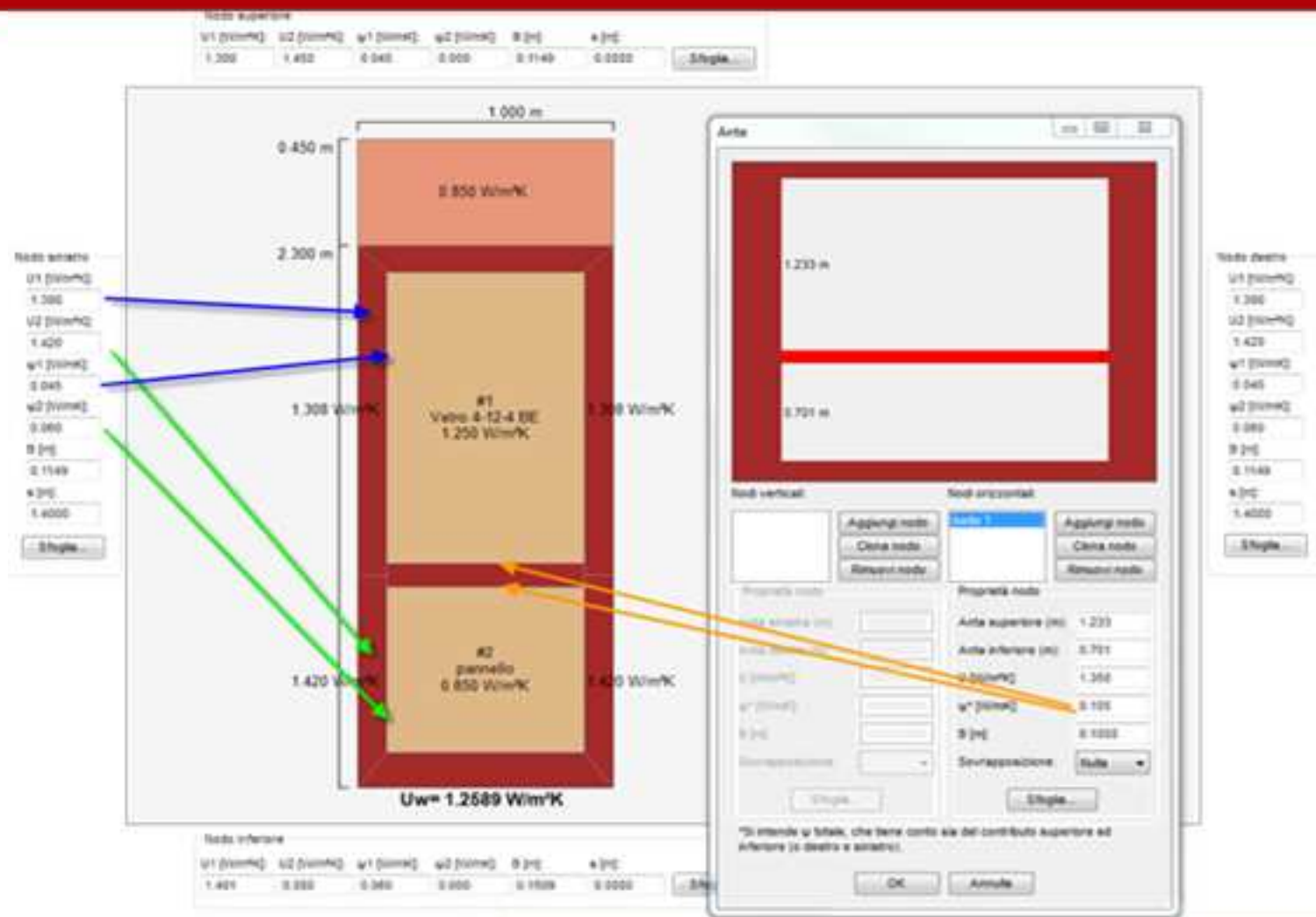
Ponte lineico telaio

0.0222 W/mK



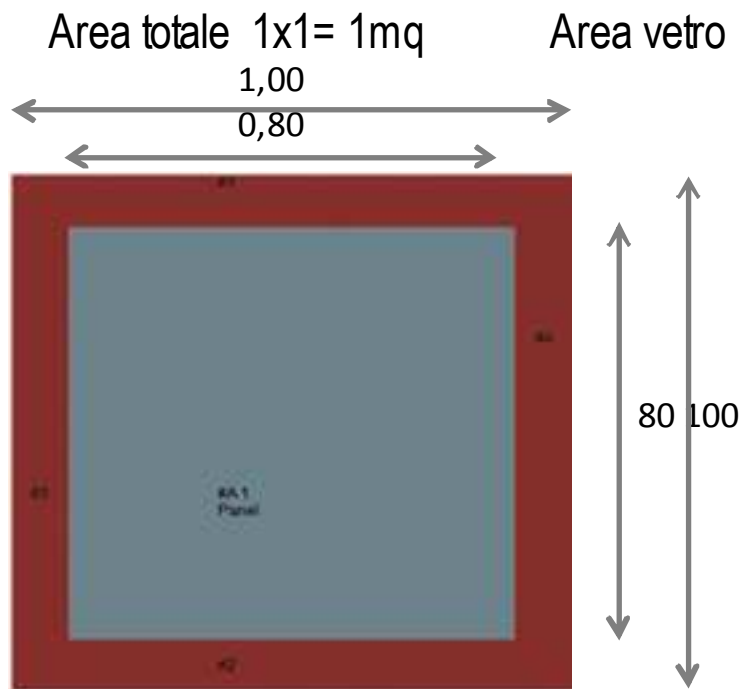
Temperatura bordo 19°

Calcolo dispersioni finestra.



Quanto incide il lineico dell' attacco finestra ?

Calcolo prestazione per SOLUZIONE 2



Lvetro= Perimetro serramento =1+1+1+1 = 4 m

L Mon.= Perimetro vetro =0,8+0,8+0,8+0,8 = 3,2 m

Uf = 1W/m²k **Ug = 0,8 W/m²k**

$\Psi_g=0,04$ W/mk **$\Psi_{mont}=0,1174$ W/mk**

Trasmittanza finestra

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + A_g \cdot U_g + \Psi_g \cdot \text{Per vetro}}{A_{tot}}$$

$$U_w = \frac{1 \cdot 0,36 + 0,64 \cdot 0,8 + 0,04 \cdot 3,2}{1} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Trasmittanza finestra montata

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + A_g \cdot U_g + \Psi_g \cdot L. \text{ vetro} + \Psi_{mon} \cdot L. \text{ mont}}{1}$$

$$U_w = \frac{1 \cdot 0,36 + 0,64 \cdot 0,8 + 0,04 \cdot 4 + 0,117 \cdot 4}{1} = 1,47 \text{ W/m}^2\text{k}$$

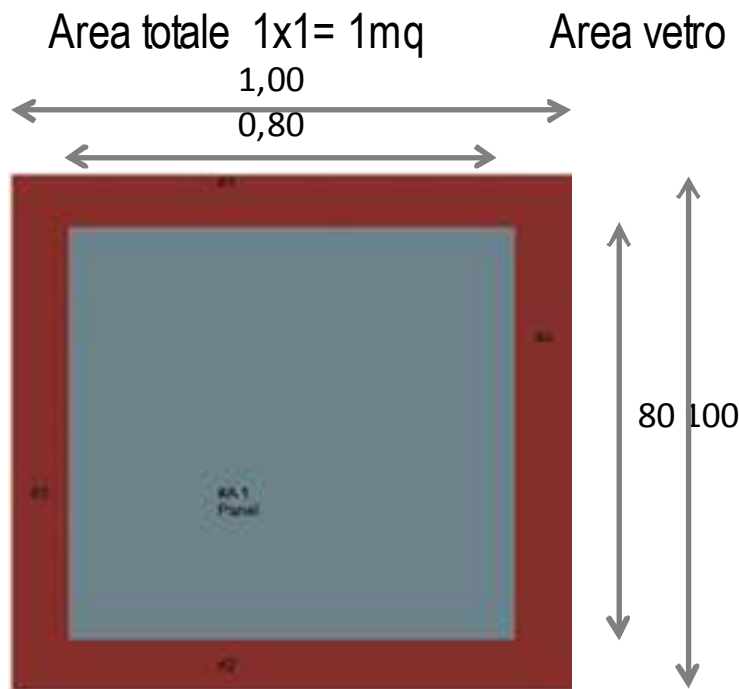
Limite Case passive

Serramento montato = **0,84 W/m²k**



Quanto incide il lineico dell' attacco finestra ?

Calcolo prestazione per SOLUZIONE 1



Lvetro= Perimetro serramento =1+1+1+1 = 4 m

L Mon.= Perimetro vetro =0,8+0,8+0,8+0,8 = 3,2 m

$U_f = 1 \text{ W/m}^2\text{k}$ **$U_g = 0,8 \text{ W/m}^2\text{k}$**

$\Psi_g = 0,04 \text{ W/mk}$ $\Psi_{mont} = 0,567 \text{ W/mk}$

Trasmittanza finestra

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + A_g \cdot U_g + \Psi_g \cdot \text{Per vetro}}{A_{tot}}$$

$$U_w = \frac{1 \cdot 0,36 + 0,64 \cdot 0,8 + 0,04 \cdot 3,2}{1} = 1,00 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Trasmittanza finestra montata

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + A_g \cdot U_g + \Psi_g \cdot L_{vetro} + \Psi_{mont} \cdot L_{mont}}{1}$$

$$U_w = \frac{1 \cdot 0,36 + 0,64 \cdot 0,8 + 0,04 \cdot 4 + 0,567 \cdot 4}{1} = 3,27 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Limite Case passive

Serramento montato = **0,84 W/m²k**



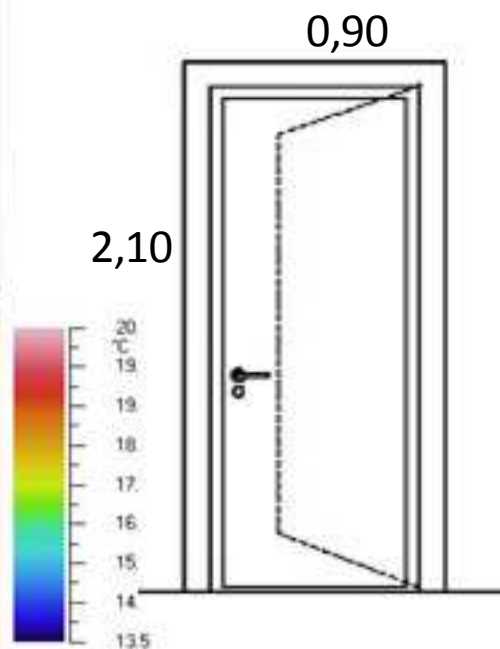
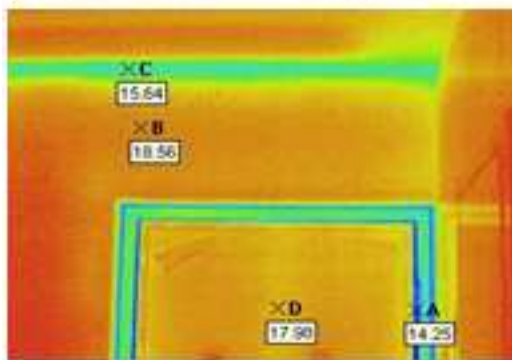
Unità 11330-1

Prospetto 4 — Maggiorazioni percentuali relative alla presenza dei ponti termici [%].

Descrizione della struttura	Maggiorazione ¹⁰
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) senza aggetti/balconi e ponti termici corretti	5
Parete con isolamento dall'esterno (a cappotto) con aggetti/balconi	15
Parete omogenea in mattoni pieni o in pietra (senza isolante)	5
Parete a cassa vuota con mattoni forati (senza isolante)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico corretto)	10
Parete a cassa vuota con isolamento nell'intercapedine (ponte termico non corretto)	20
Pannello prefabbricato in calcestruzzo con pannello isolante all'interno	30

Attenzione se abbiamo murature con $U=0,2 \text{ W/m}^2\text{k}$, ponti lineici da $0,56 \text{ W/mk}$ potremmo sottostimare le maggiorazioni forfetarie meglio fare il calcolo analitico sia in relazione progetto, sia negli APE

Quanto ci costa un ponte termico ?



Consumo annuo per metro =

$$= \Psi_{\text{montaggio}} * 24\text{ore} * \text{Gradi Giorno}$$

Esempio tipo 1

$$= 0,56 \text{ W/mk} * 24\text{h} * 2.400_{\text{gg}} = 32.693\text{w}$$

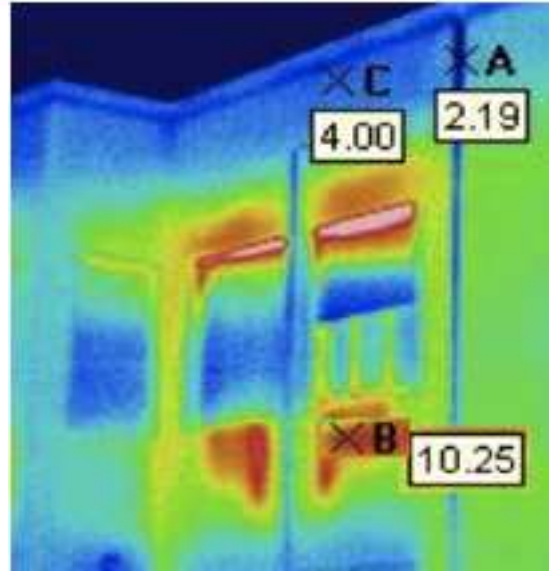
Perimetro porta

$$= 0,9 + 0,9 + 2,1 + 2,1 = 6\text{m}$$

Semplifichiamo attribuendo alla soglia lo stesso valore del ponte laterale e superiore

N°	Ponte	ore	gradi giorno	Vatt/m.l. Per anno	lunghezza	vatt anno	Kw	Euro
1	0,5676	24	2400	32693,76	6	196.162,56	196,16	19,62
2	0,1174	24	2400	6762,24	6	40.573,44	40,57	4,06
3	0,0222	24	2400	1278,72	6	7.672,32	7,67	0,77

Quanto ci costa un cassonetto non isolato?



Cassonetto

Flusso = $U_{\text{cassonetto}} \cdot 24 \text{ ore} \cdot \text{Gradi Giorno}$

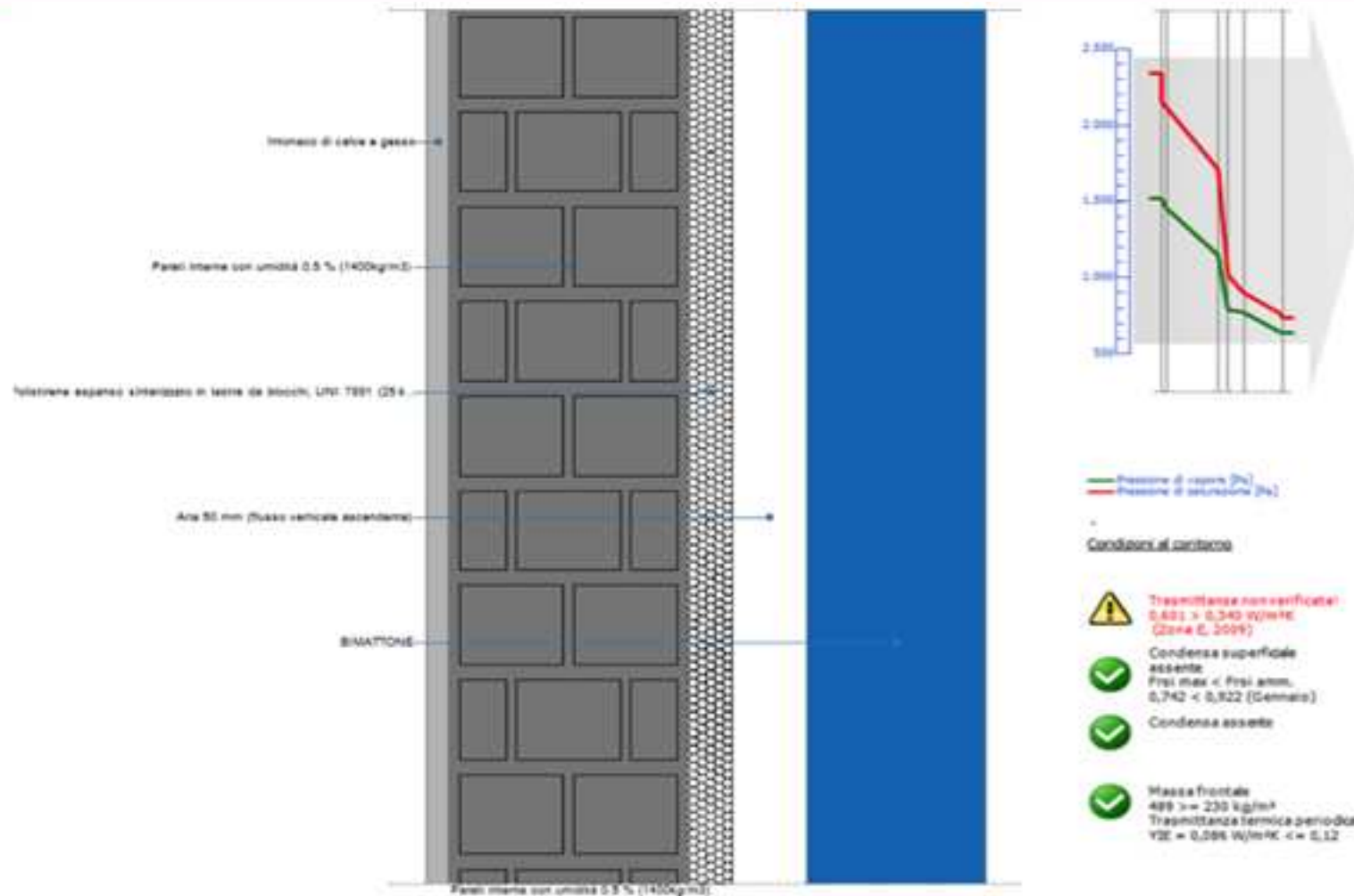
Calcolo indicativo semplificato:

$= 3 \text{ W/mqk} \cdot 24 \text{ h} \cdot 2.400_{\text{gg}} = 172.800 \text{ W} = 172 \text{ Kw} / 10 \text{ Kw/mc} = 17,2 \text{ mc}$

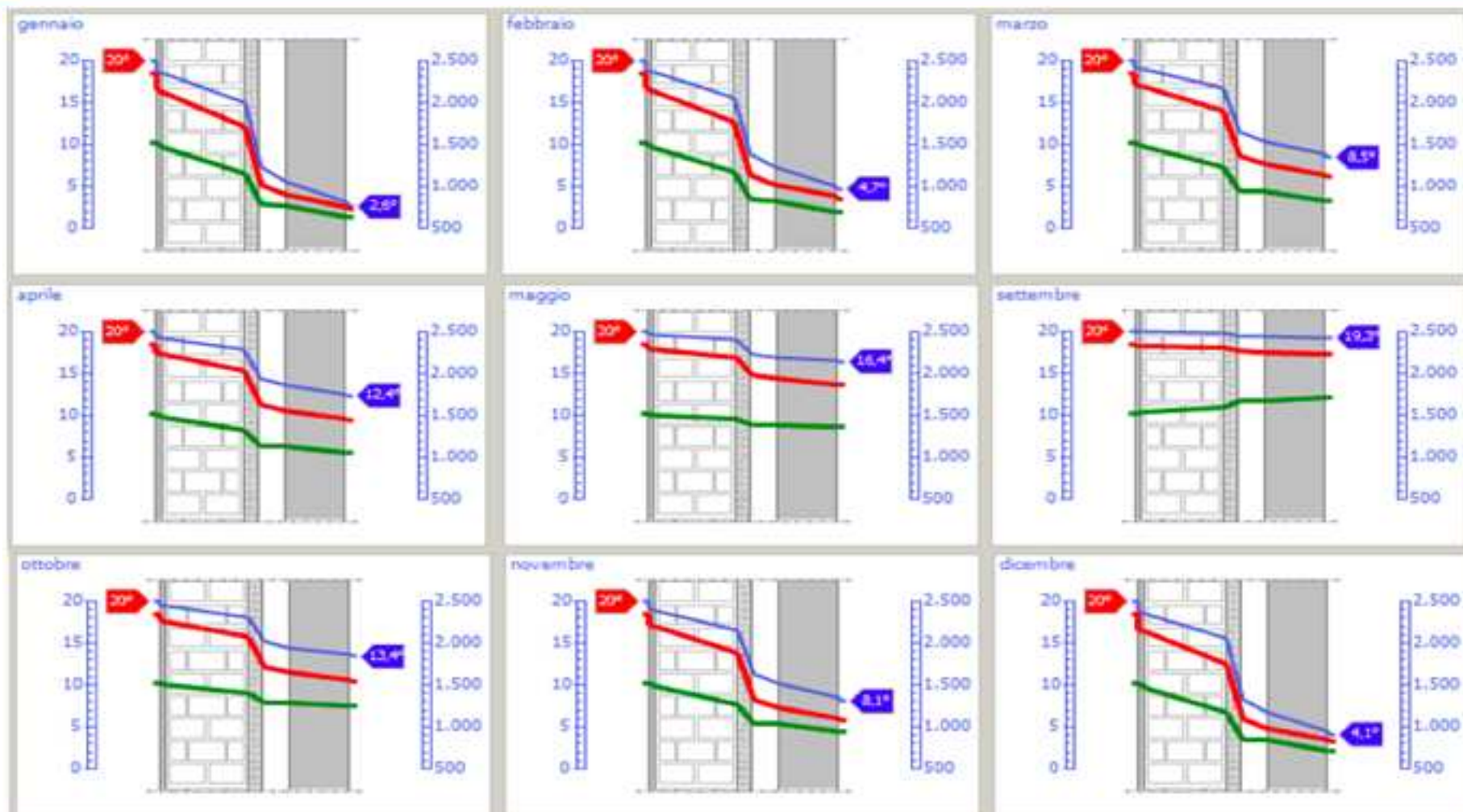
$17,2 \text{ mc gas} \cdot \text{€}0,85/\text{mc} = \text{€} 14,7/\text{mq}$

Questo trascurando il calore che se ne va con l'aria visto gli spifferi

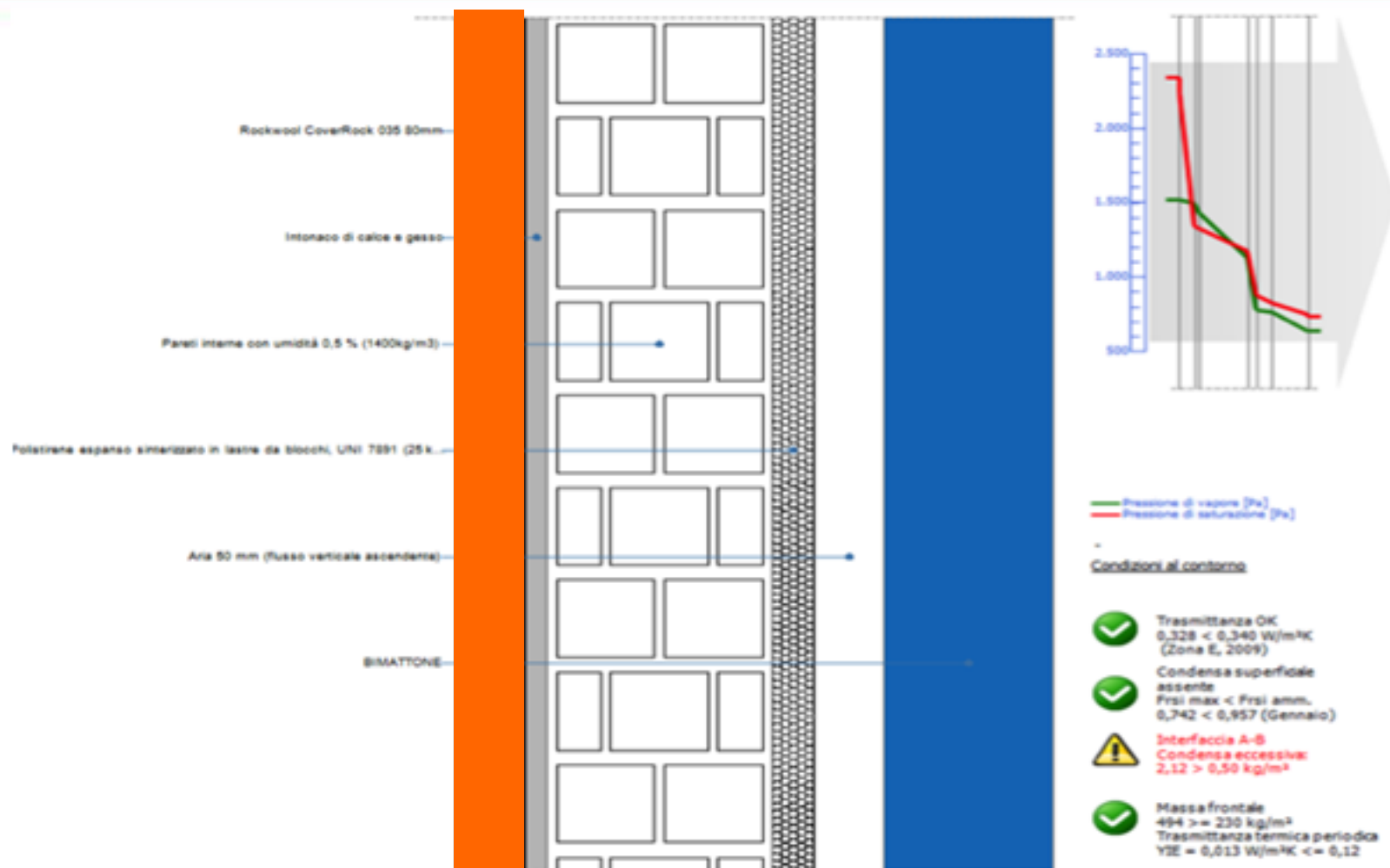
Verifica Glaser secondo Uni 13788



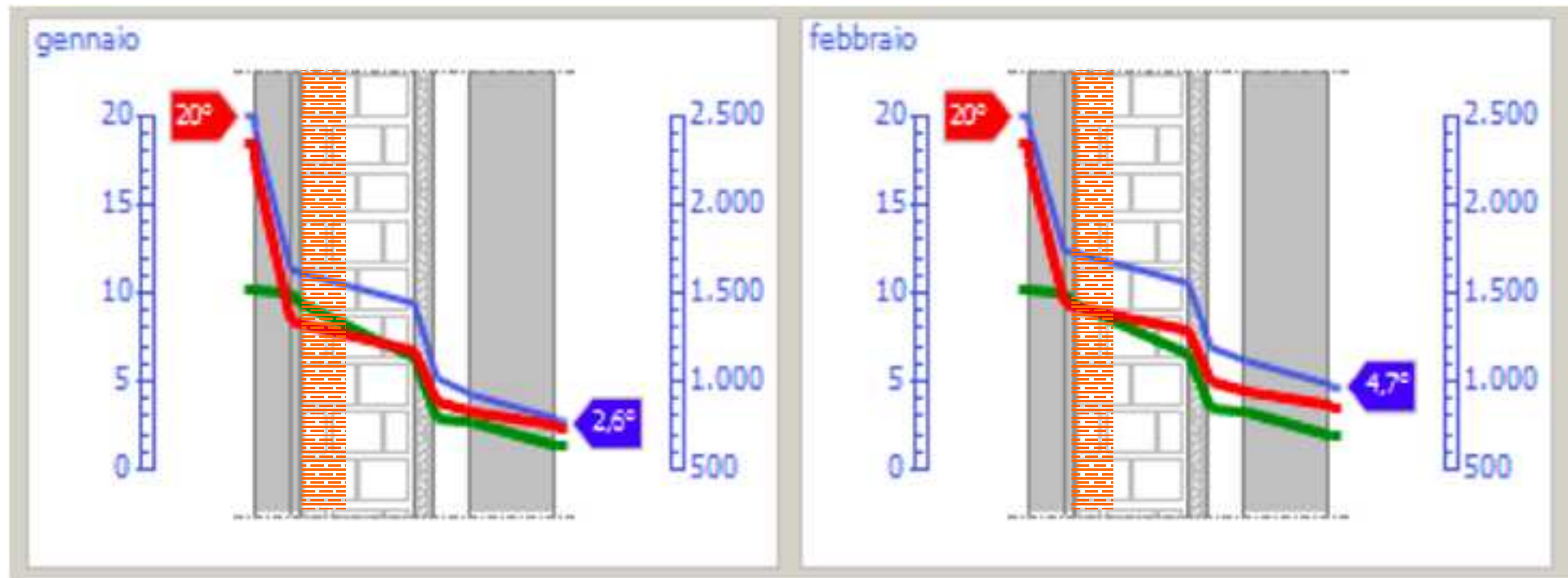
Calcolo secondo iso 13788 condense interstiziali



Verifica Glaser secondo Uni 13788



Verifica Glaser secondo Uni 13788



Limiti iso 13788 (condense)

Il calcolo descritto nella norma UNI EN ISO 13788 presenta diverse limitazioni e fonti di errore

- L'uso di proprietà costanti dei materiali è un'approssimazione in molti casi eccessiva;
- La conduttività termica è direttamente influenzata dall'umidità nei materiali che la 13788 non riesce a valutare
- Nei materiali si può verificare assorbimento capillare, trasporto di acqua, che cambia la distribuzione dell'umidità interna e quindi di caratteristiche di trasmissione del calore;
- Vento e pioggia influenzano le condizioni igrometriche per cui il posto dove si trova l'edificio è fondamentale mentre la 13788 non le considera;
- Le reali condizioni al contorno non sono costanti nel periodo mensile la 13788 non le considera;
- La maggior parte dei materiali è almeno in parte igroscopica e può assorbire vapore d'acqua, al momento della messa in opera il materiale può essere umido. La 13788 invece fa un calcolo con caratteristiche ideali (secco) ma in cantiere sappiamo che non è così; se rinchiudiamo completamente un materiale umido in una guaina questo non asciugherà e le caratteristiche termiche saranno diverse.

Verifica dinamica secondo Uni 15026

Il metodo basato sul diagramma di Glaser descritto dalla norma ISO 13788 fornisce uno strumento semplificato per la verifica “di Legge 10” riguardante il rischio di condensazione superficiale e interstiziale.

Le ipotesi al contorno del metodo portano però a sovrastimare in modo cautelativo questo rischio.

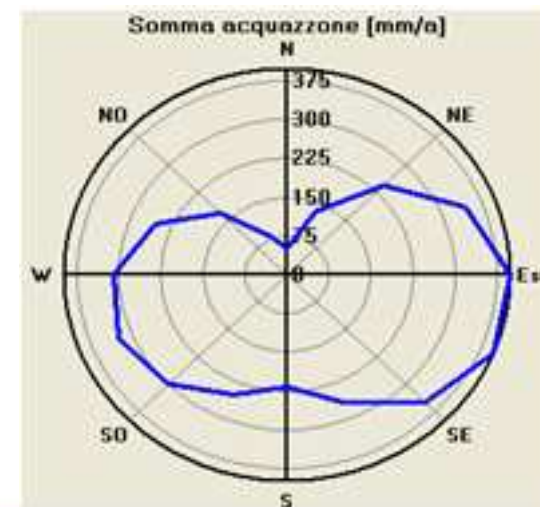
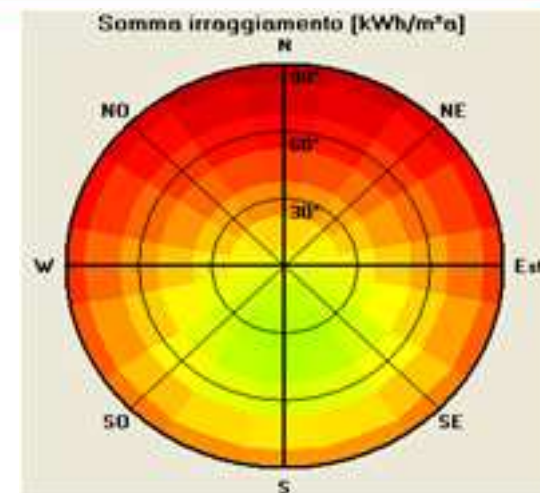
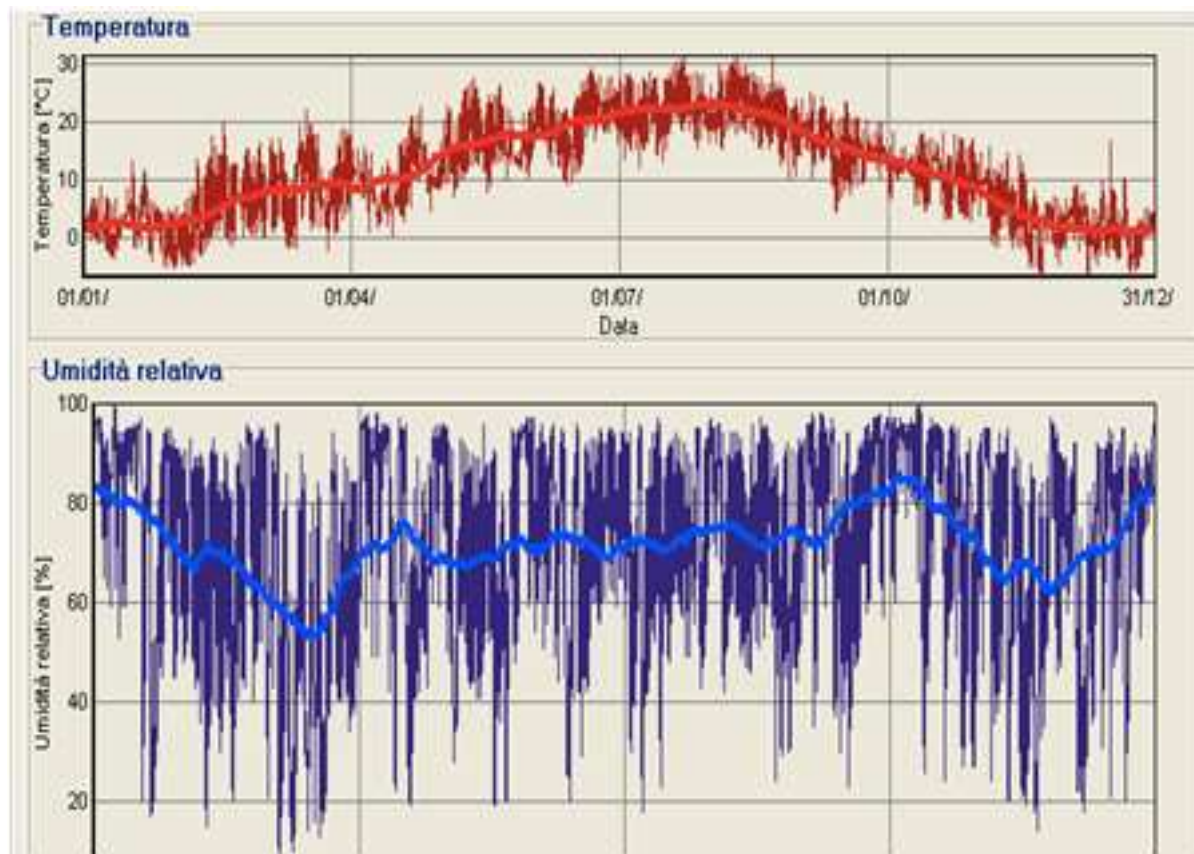
In caso di coibentazione dall'interno con materiali permeabili al vapore come silicato di calcio, fibra di legno ecc, come abbiamo visto la verifica non torna.

In realtà la soluzione potrebbe funzionare, ma bisogna fare dei calcoli più raffinati, partendo anche da dati meteo accurati (ad esempio i dati di Meteonorm)

La valutazione in regime variabile della norma EN 15026 propone un metodo più raffinato basato su un'analisi dinamica dei fenomeni di migrazione del vapore in grado di tener conto delle variazioni orarie ambientali interne ed esterne e delle caratteristiche di igroscopicità dei materiali.

Verifica dinamica secondo Uni 15026

La verifica tiene conto di parametri meteorologici dettagliati

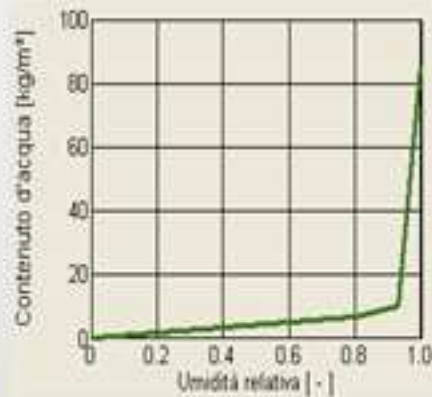


Verifica dinamica secondo Uni 15026

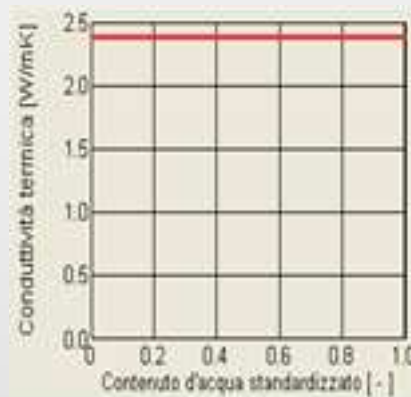
La verifica tiene conto DEL COMPORTAMENTO EFFETTIVO DEI MATERIALI che non è lineare

**Telo
Igrovariabile
tipo "intello"**

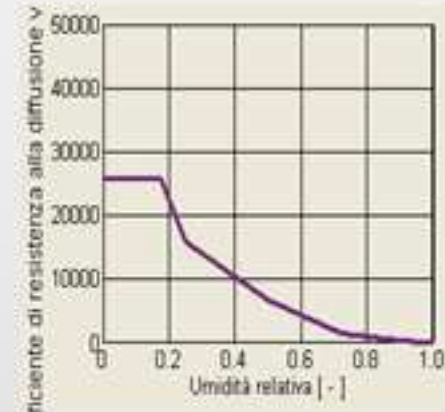
**Acumulo acqua al
variare umidità aria**



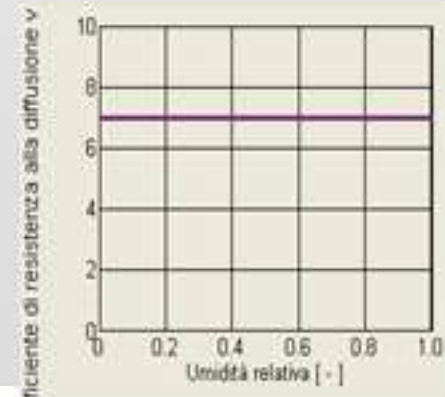
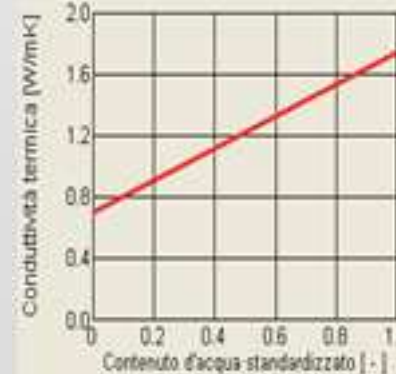
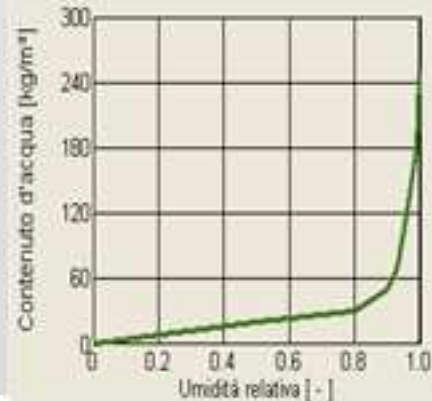
**Conduttività al
variare umidità mat.**



**Resistenza a diffusione
del vapore**



**Malta di
calce**

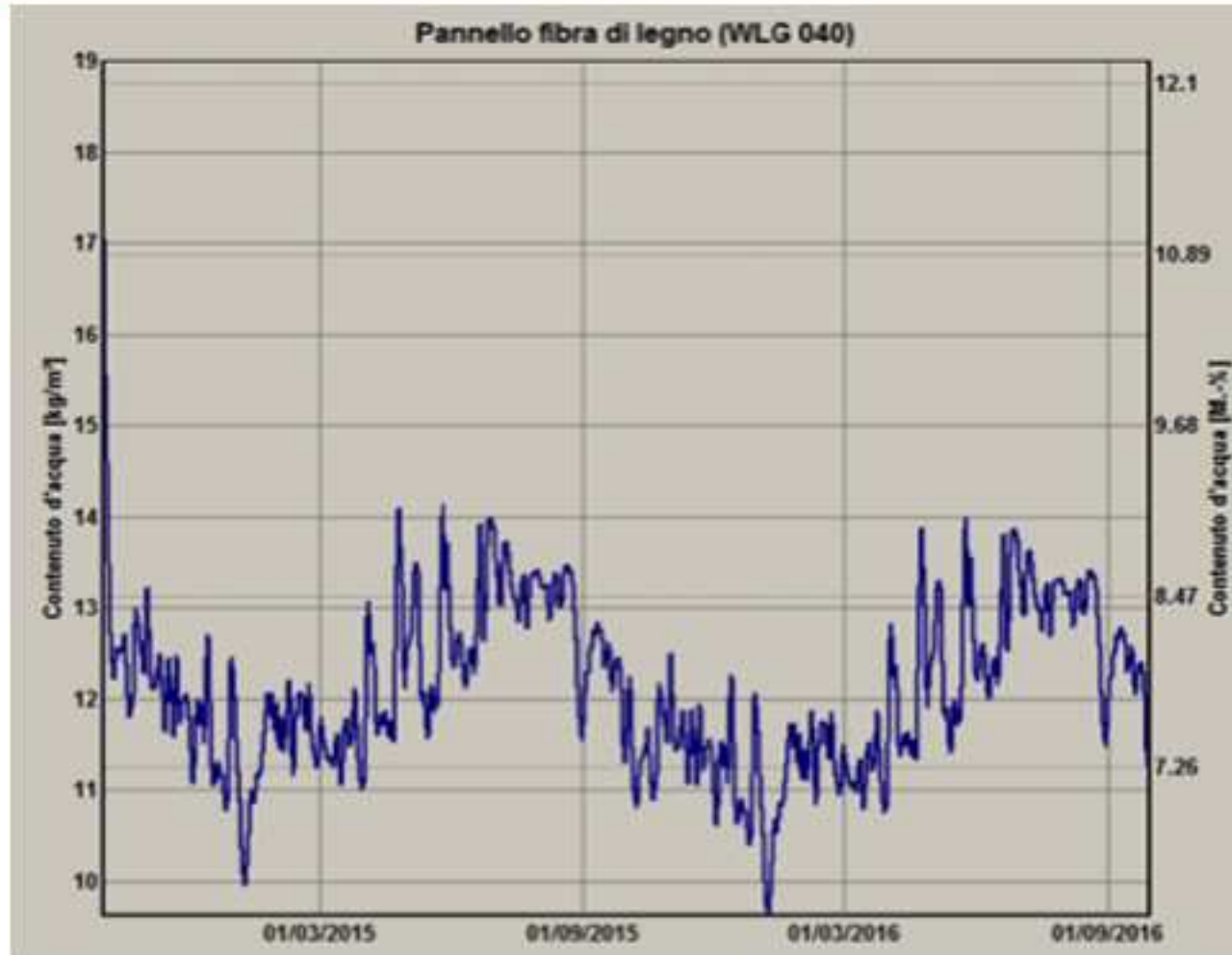




ordine degli architetti
pianificatori, paesaggisti
e conservatori della provincia
di monza e della brianza

Arch. Giuseppe Cabini
Arch. Angelo Dugnani

Verifica dinamica secondo Uni 15026



Verifica condensazione o muffe

Ricapitoliamo e sottolineiamo che in un ponte termico, muffa e condensa superficiale non sono la stessa cosa

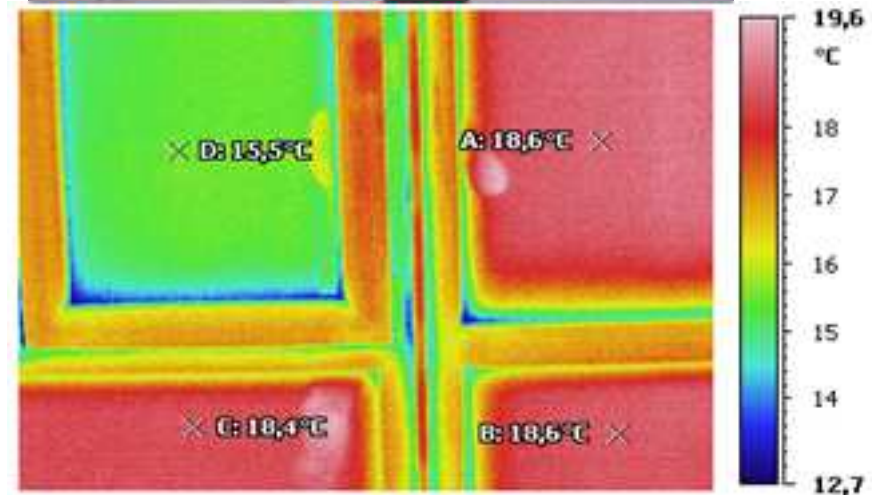
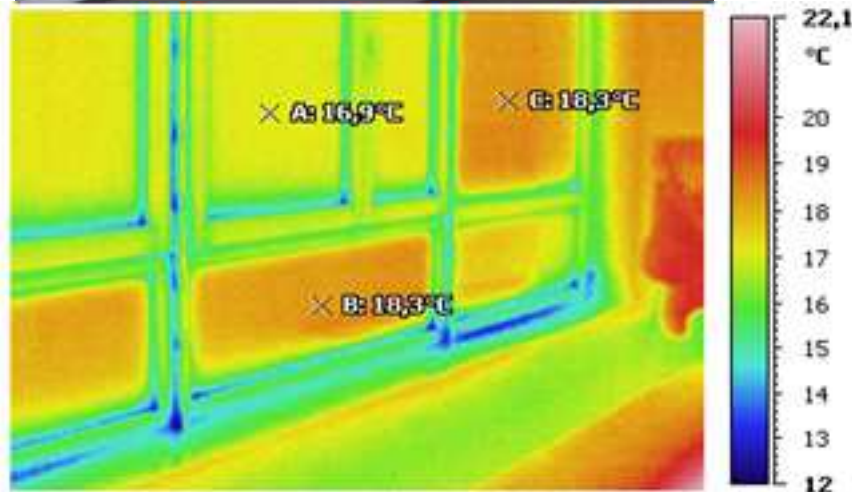
CONDENSA: si ha condensa se la temperatura della parete scende, anche per poco tempo, fino al punto di rugiada (la temperatura di rugiada dipende dalle condizioni interne). Se la temperatura della superficie interna si abbassa, anche brevemente, al punto da portare l'umidità dell'aria interna a contatto con la parete a valori intorno al 100%, si verifica la condensazione.

MUFFA: se la temperatura della superficie interna rimane bassa per diversi giorni, tale da portare l'umidità dell'aria a contatto con la parete a valori uguali o maggiori dell'80%, si avrà lo sviluppo di muffe. Per la verifica si può utilizzare la UNI EN ISO 13788 per effettuare una simulazione in regime stazionario adottando dei valori medi di temperatura.

Per la valutazione del rischio muffa sulle strutture (pesanti) si considerano le temperature medie mensili esterne,

I due fenomeni sono indipendenti :

Collaudo qualità dei materiali in opera



La termografia ci permette di controllare la qualità in opera delle componenti edilizie
In questo caso alcuni pannelli della finestra sono senza argon nella camera d'aria

Collaudo qualità dei materiali in opera

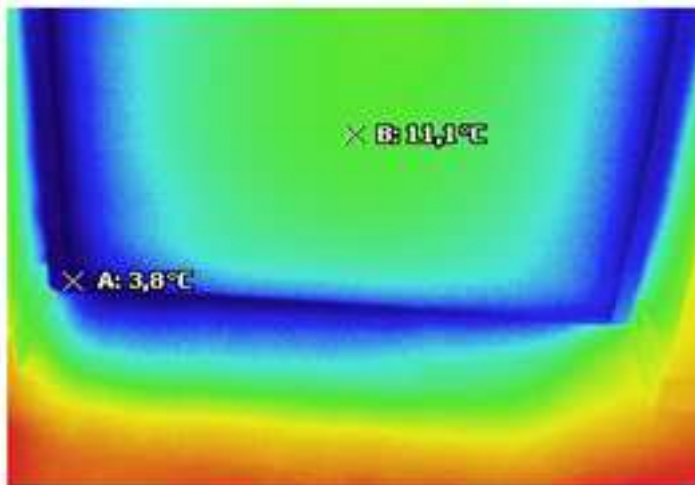
Esempio Portoncino Rei 60 su uscita di sicurezza.

Alla richiesta di specifiche tecniche la ditta ha risposto così:



Visibile

Particolare
infrarosso della base



Prima dichiarazione (estratto dal Fax)

La trasmittanza termica del materiale isolante inserito nelle ns. porte è:

Porta Univer REI 60 $U = 0,75 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Seconda dichiarazione di rettifica CONDIZIONATA ! (estratto dal Fax)

Relativamente alla Vs. richiesta elenchiamo i valori
di trasmittanza termica relativa a:

- porta Rei 60 – 1 battente – cieca $U = 1,58 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

I valori elencati si raggiungono solo se le porte
rispettano i requisiti elencati:

- presenza di battuta inferiore
- dotazione di guarnizione neoprenica di battuta perimetrale e sul montante centrale nelle porte a 2 battenti;
- isolamento del telaio con malta cementizia;
- sigillatura perimetrale del telaio con silicone neutro.

Trasmittanza presunta dalle temperature superficiali $U = 4-5$

Collaudo ponti termici montaggio



In questo caso il serramento era di buona qualità

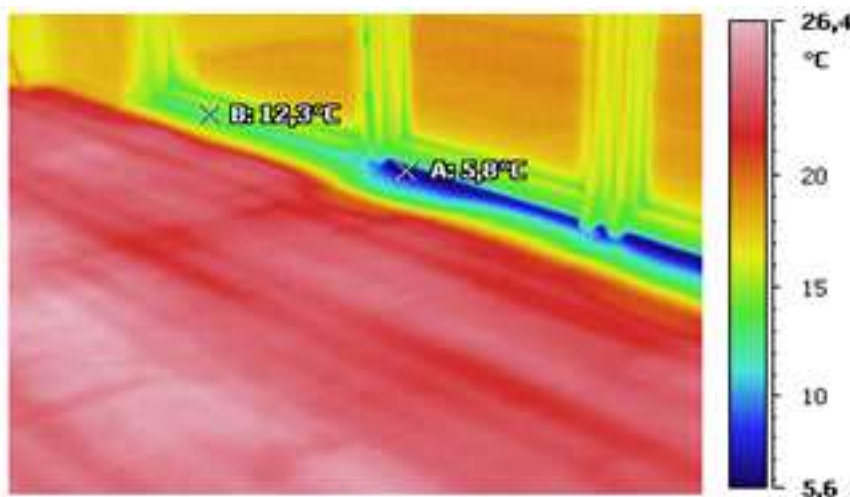
$U_f 1,2 \text{ Wm}^2\text{k}$

$U_g 1,0 \text{ Wm}^2\text{k}$

$U_w 1,36 \text{ Wm}^2\text{k}$

Ma ...

- il progettista ha fatto la soglia passante
- il direttore lavori non ha controllato che venisse messa in opera o la ghigliottina o la spazzola sotto alla finestra

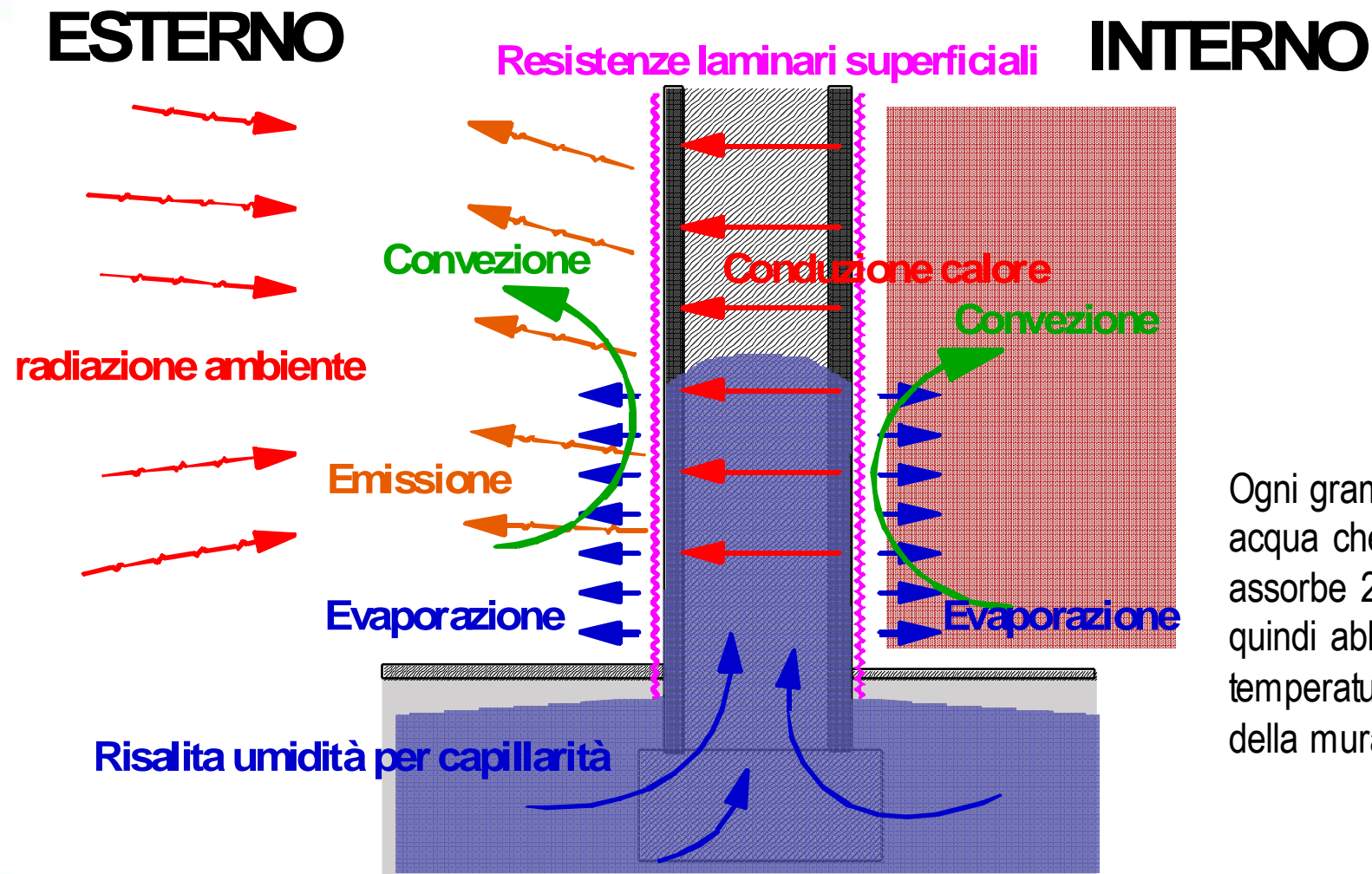


Conseguenza: spifferi, condensa
e **NON** rispetto della norma

Individuazione umidità nelle murature

Umidità per risalita capillare o infiltrazioni meteoriche

Schema degli scambi fisici



Ogni grammo di acqua che evapora assorbe 2500 [J] facendo quindi abbassare la temperatura superficiale della muratura

Strumenti di rilievo dell'umidità

Esistono diverse attrezzature per rilevare l'umidità.

I più precisi (ma complessi da utilizzare e costosi) sono:

▷ **Metodo gravimetrico**
(termobilancia)



▷ **Metodo con carburo di calcio**



Strumenti di rilievo dell'umidità

- Esistono strumenti che sfruttano metodi meno precisi, ma più semplici ed immediati per la determinazione dell'umidità. Questi strumenti, necessitano di calibrazione e sufficiente esperienza per essere usati correttamente.
- Tali apparecchiature si dividono in

▷ **Sonde Resistive**



▷ **Sonde dielettriche**



▷ **Sonde a microonde**



La termografia per il rilievo dell'umidità

Rilievo dell'umidità con tecniche termografiche

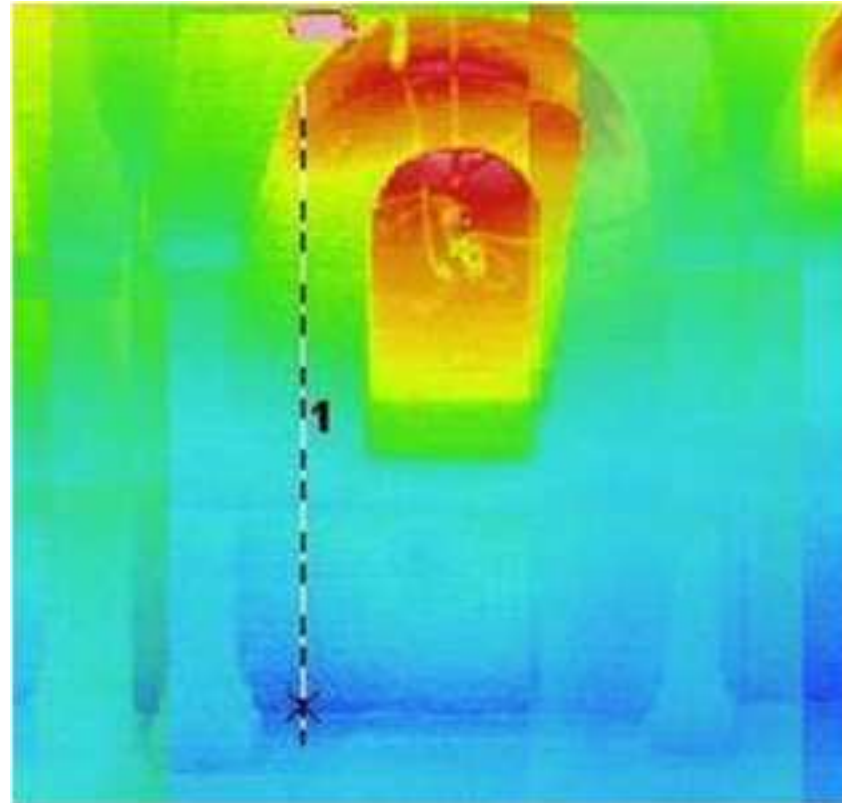
- La termografia, ci permette di seguire qualitativamente la distribuzione dell'umidità, mediante l'individuazione delle aree più fredde a causa dell'evaporazione.
- Le zone umide sono più fredde di quelle asciutte alle stesse condizioni al contorno.
- L'obiettivo dell'indagine sull'umidità è individuare le fonti di adduzione d'acqua e progettare il corretto intervento per asciugare la struttura preservando le superfici

La termografia per il rilievo dell'umidità

- La termografia è un metodo molto efficace per determinare la presenza di umidità nella muratura, attraverso l'identificazione delle zone soggette a raffreddamento dal processo di evaporazione
- L'ordine di grandezza dell'energia associata all'evaporazione può raggiungere i 100 W/mq
- Nelle immagini termografiche le zone soggette ad evaporazione sono abbastanza evidenti, in quanto la differenza di temperatura può variare da pochi decimi di grado fino a oltre 5 gradi
- La termocamera legge agevolmente queste differenze di temperatura restituendoci immagini della parete, con indagini ampie, estese, in poco tempo e in maniera assolutamente non invasiva

La termografia per il rilievo dell'umidità

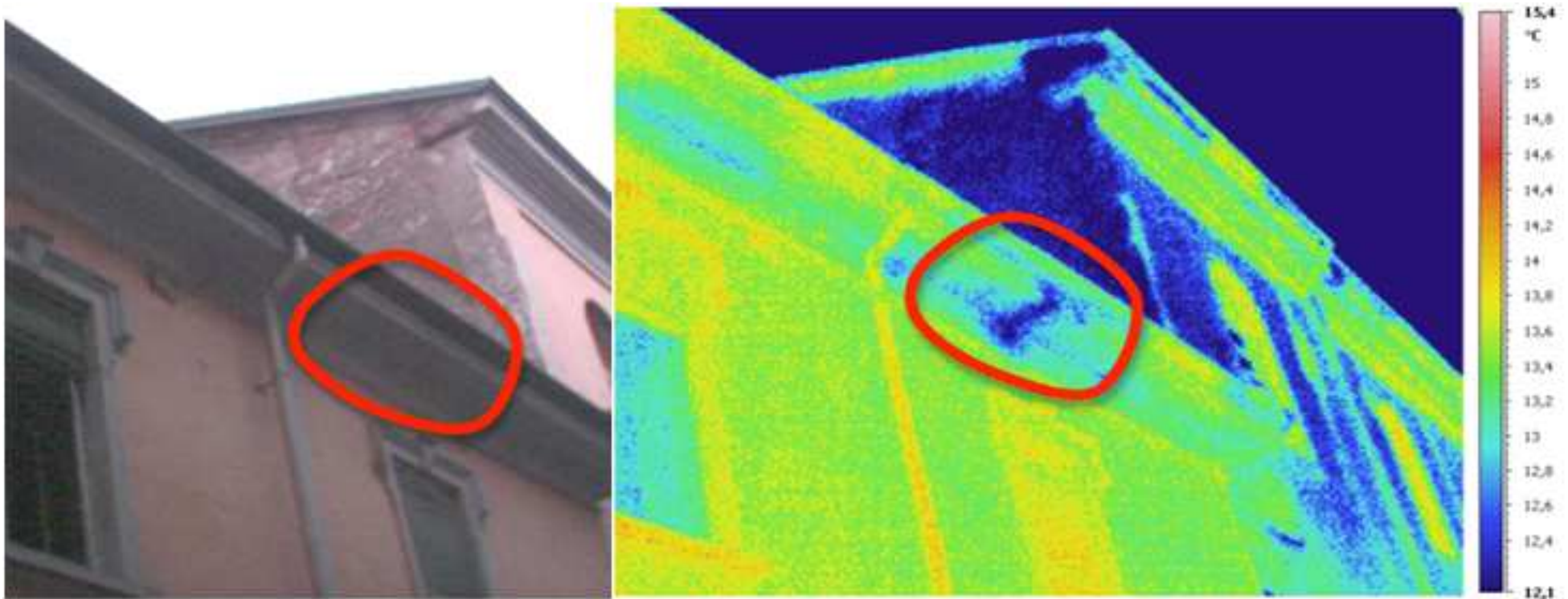
Esempio Umidità di risalita



Umidità nelle murature , esempio della Cripta S. Sepolcro Milano

La termografia per il rilievo dell'umidità

Esempio Umidità per infiltrazione dal tetto

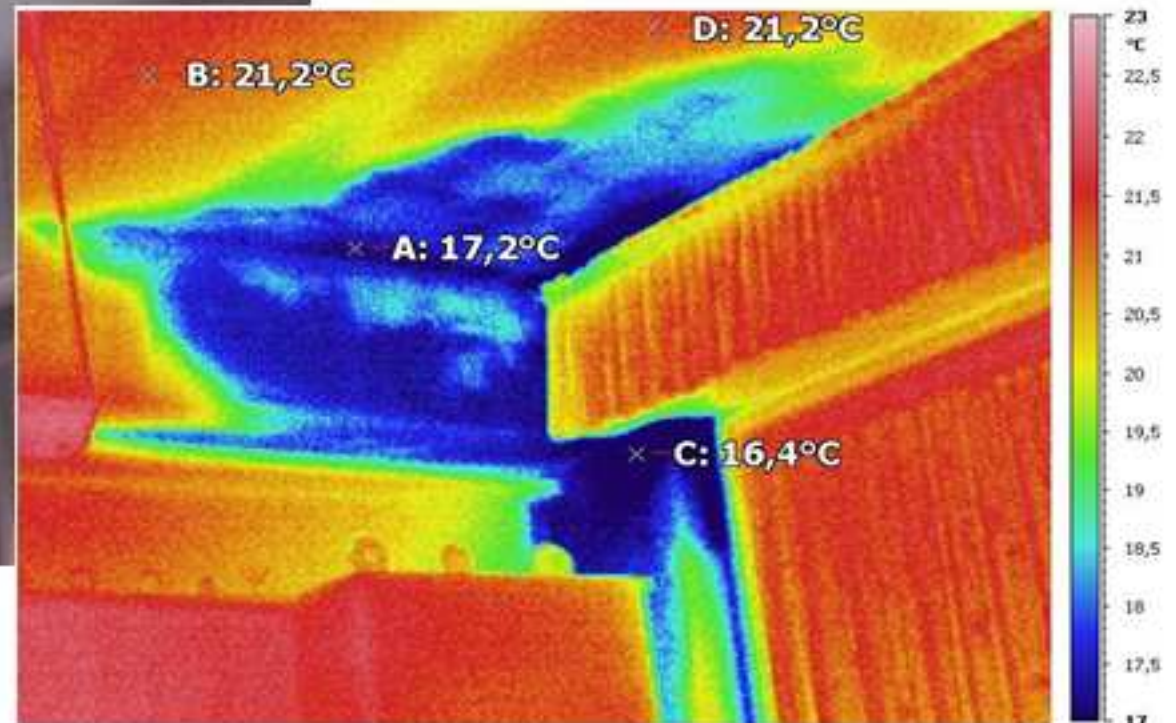


Umidità nel cornicione della ex caserma S. Paolo a Monza

La termografia per il rilievo dell'umidità

Esempio umidità da perdita impianti o cattiva impermeabilizzazione

La termografia permette di rendere evidente e leggibile l'umidità presente, indipendentemente dalla presenza di macchie.



La termografia per il rilievo dell'umidità

- La termografia NON è completamente sostitutiva delle indagini strumentali ma ci permette di avere un veloce quadro della situazione, individuando le zone con diversa temperatura correlabili alla presenza di umidità dovuta a risalita capillare o infiltrazioni da impianti o cattiva tenuta di coperture ecc
- Questi punti è opportuno che vengano successivamente indagati con la strumentazione già citata, per avere dei dati di riferimento numerici.

Caso esempio - analisi situazione di un sottotetto

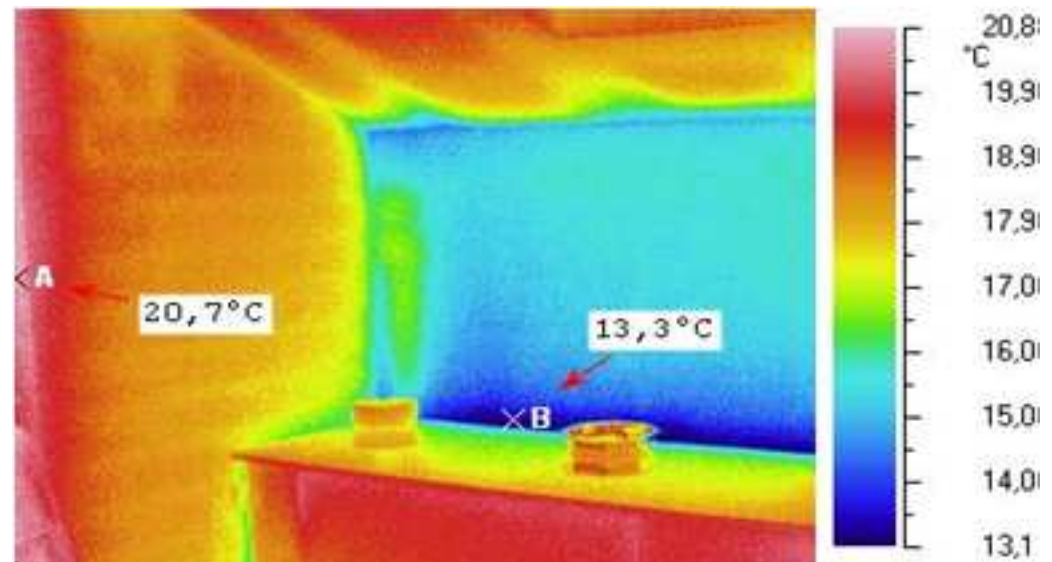


In ogni caso esistono anche requisiti da verificare **per il confort termico**, attraverso la verifica degli indici che vedremo più avanti .

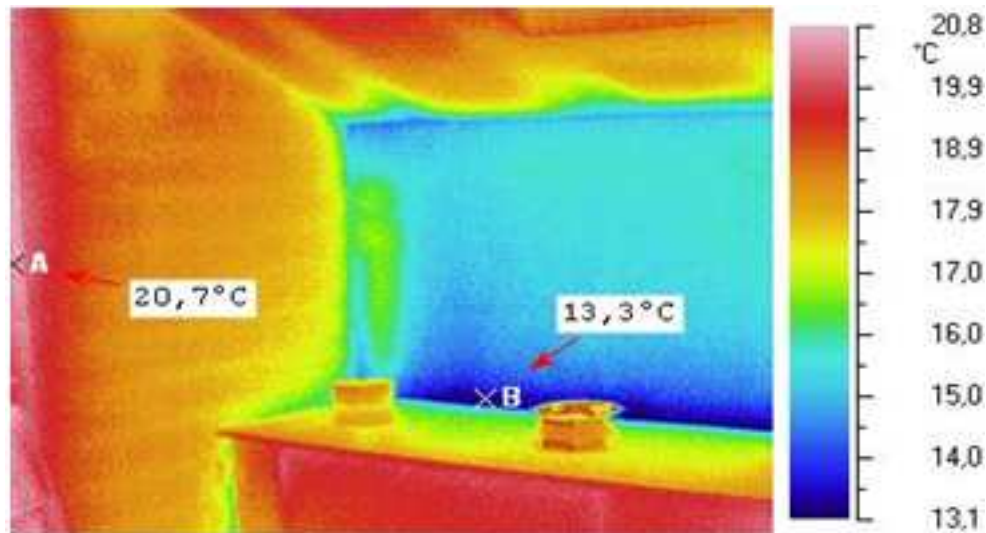
In questo caso è facile rendersi conto che un intervento di coibentazione è necessario.

Vediamo ora come queste considerazioni si applicano ad un caso concreto .

Possiamo ad esempio già conoscere se le zone fredde (non coibentate) sono, o saranno soggette a condensazione o muffe, in funzione dell'uso a cui sono destinati, gli ambienti (in funzione della temperatura e umidità esistente o prevista).



Verifica condense e muffe



VERIFICA CONDENSAZIONE

PARAMETRI STANZA

Temperatura dell'aria a 21° HR 60% ,
corrispondente a 12g acqua / mc³ aria, punto
rugiada 14°

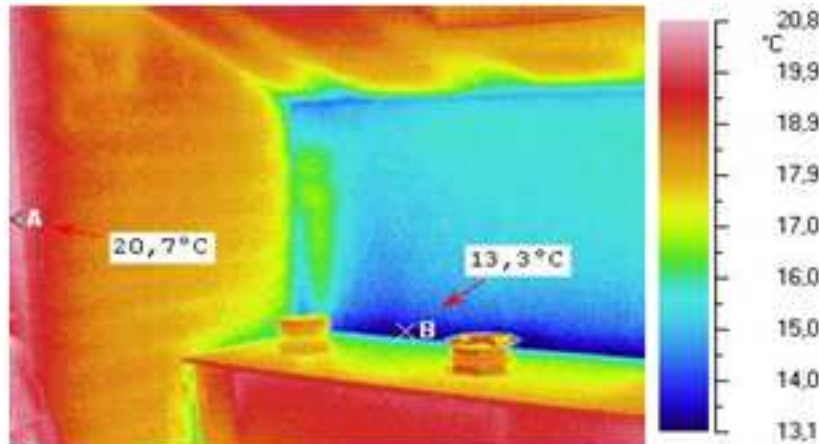
VERIFICA PARAMETRI Norma DPR

Temperatura dell'aria a 20° HR 65%, punto
rugiada 13,26 ° circa

VERIFICA MUFFA

Temperatura interna 20° umidità relativa HR 65% , Temp. rischio muffa 16 ° circa

Informazioni per la progettazione



OSSERVAZIONE SU PARAMETRI AMBIENTALI:

Dati aria stanza:

Temperatura dell'aria a 21° 60% , corrispondente a 12g acqua / mc³ aria, punto rugiada 14°

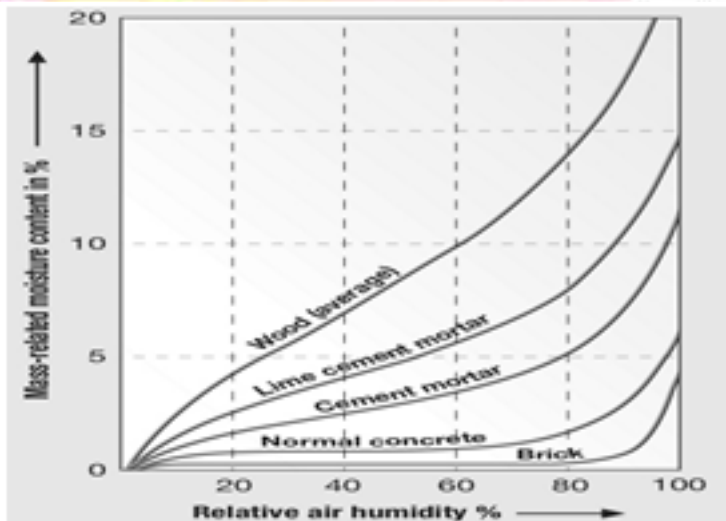
Situazione vicino alla superficie:

Man mano che ci avviciniamo alla superficie la temperatura dell'aria cala per cui contemporaneamente aumenta l'umidità relativa

Ipotesi di coibentazione interna:

La temperatura superficiale sulla faccia del muro esistente calerà ulteriormente, aumentando l'umidità dell'aria e abbassando il punto di rugiada.

Attenzione alla scelta dei materiali e alla loro capacità rispetto alla permeabilità al vapore



Comportamento dei materiali in rapporto all'umidità dell'aria

PMV Indice sintetico di confort Globale

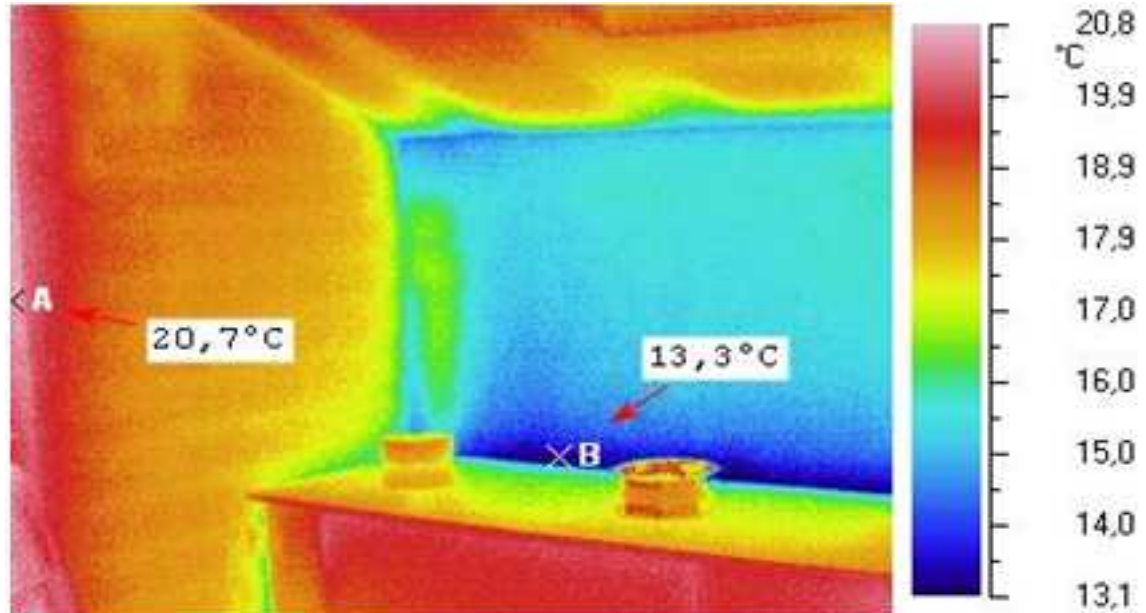
Torniamo all'esempio di precedente

I parametri di valutazione del confort sono

- Temperatura dell'aria da rilievo
- Temperatura radiante da rilievo
- Umidità relativa da rilievo in sito
- Velocità dell'aria in m / secondo
- Attività fisica da Iso

(distesi met = 0,8 seduti; rilassati met = 1 ; attività sedentarie (ufficio , scuola) met = 1,2; attività leggera (laboratorio industria leggera) met = 1,6; attività media (laboratorio industria) met = 2,0

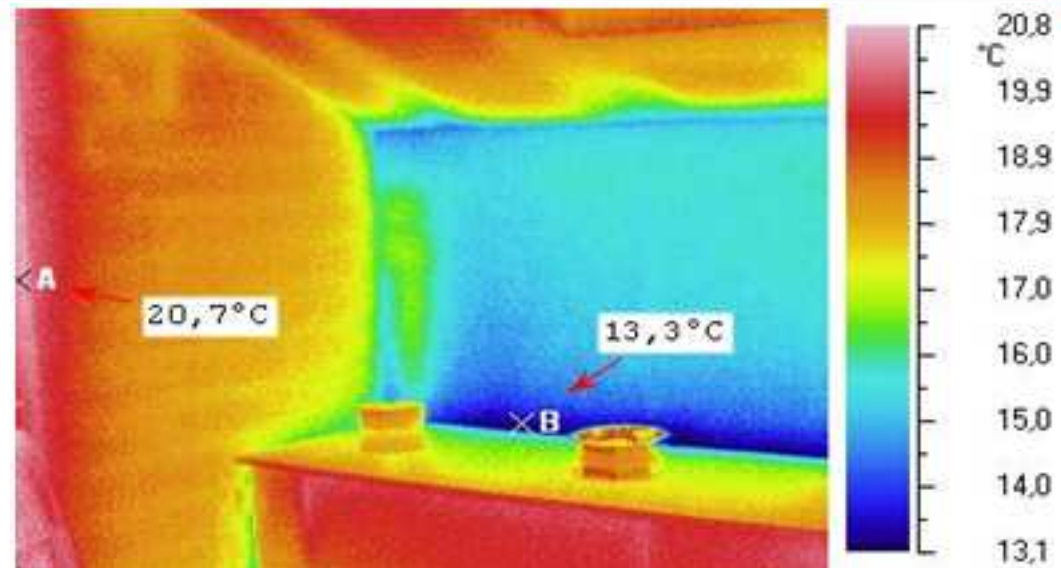
- Copertura abbigliamento (vedi dettagli dei valori sulla iso 7730) *(nella residenza) abbigliamento leggero estivo clo = 0,5 (nella residenza) abbigliamento primaverile clo = 1 (nella residenza) abbigliamento Invernale clo = 1,5*



Verifica confort abitativo e consumi energetici

Dall'analisi termica possiamo ricapitolare:

-L'edificio NON è conforme alle norme (Dlgs 311 allegato I) per presenza di condense superficiali che porteranno anche allo sviluppo di muffe.

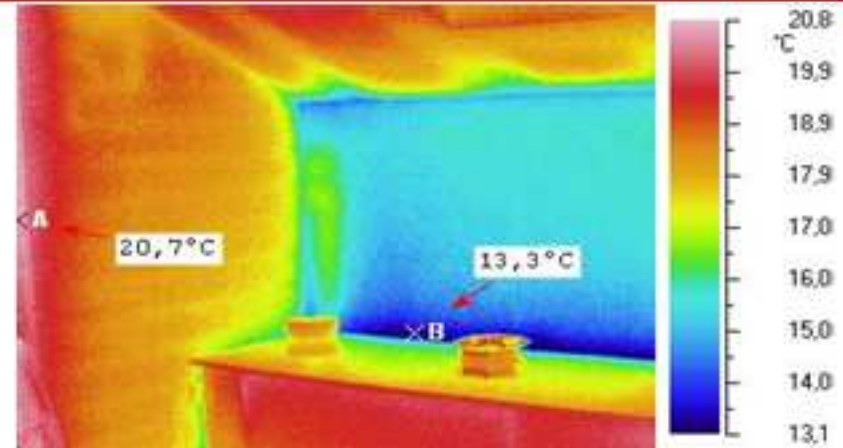


- Il calcolo del PMV ci dice che nonostante la temperatura dell'aria sia a 21° il 10° delle persone manifesterà disagio per "FREDDO!"
- Che rispetto ad una situazione standard di edifici con involucro performante dove la temperatura dell'aria è 20°, il nostro edificio data la necessità di mantenere a 21° l'aria con sensazione persistente di FREDDO consumerà circa il 12-15% in più per effetto dei 2 gradi aggiuntivi, senza contare chiaramente le dispersioni per conduzione della parete non coibentata

Informazioni per il progetto

L'immagine ci fornisce anche informazioni utili per il progetto di una eventuale coibentazione

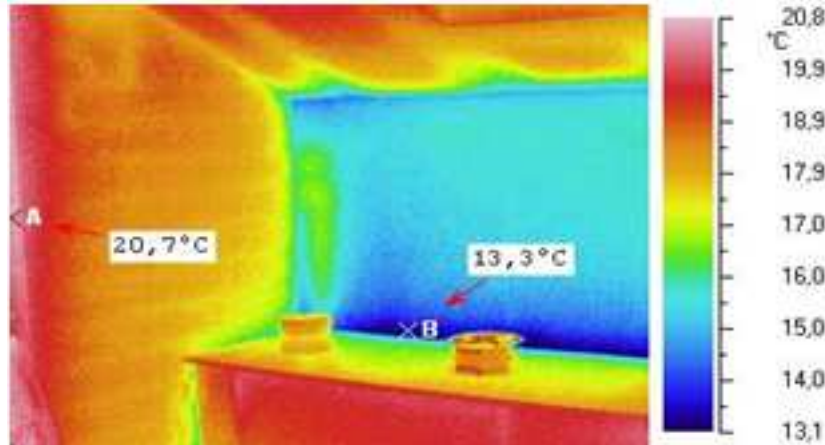
- Sappiamo che la parete è fredda
- Sappiamo che oltre a causare una bolletta energetica "poco sostenibile", presto compariranno muffe
- Sappiamo che in questo sottotetto nonostante i 21° dell'aria non si riesce ad avere un buon confort abitativo
- **Sappiamo che in caso di coibentazione con isolamento interno il materiale potrebbe essere soggetto a condensa interstiziale !**



Dovrò quindi fare verifiche attente che mi portino a scegliere o l'utilizzo di materiale altamente poroso in piccolo spessore (da verificare) che mi permetta una facile evaporazione, oppure materiali anche diversi ma prevedendo una barriera al vapore, con gli opportuni giunti di sigillatura, tali da impedire in maniera certa il passaggio del vapore che bagnerebbe l'isolante, compromettendolo.

Dovrò fare attenzione ai ponti termici lineici che si genereranno per l'effetto del cappotto interno

Quanto ci costa la parete non coibentata?



Consumo annuo per metro =

$$= U_{\text{muro}} * 24 \text{ ore} * \text{Gradi Giorno}$$

Esempio tipo 1

$$= 2 \text{ W/mqk} * 24 \text{ h} * 2.400_{\text{gg}} = 115.200 \text{ W}$$

$$115.200 \text{ W} = 115 \text{ Kw} / 10 \text{ Kw/mc} = 11,5 \text{ mc}$$

$$11,5 \text{ mc gas} * €0,85/\text{mc} = € 9,77/\text{mq}$$

Ipotizziamo che la casa abbia

$$= \text{perimetro } 15 \text{ ml} * 2 \text{ H} = 30 \text{ mm}$$

Otteniamo solo per questa parte

$$\text{Circa } 30 \text{ mq} * 9,77 \text{ €/mq} \text{ circa } \mathbf{€ 300/\text{anno}}$$

Soldi che potremmo facilmente risparmiare coibentando !



Grazie per l'attenzione

Arch Dugnani Angelo

www.studiodugnani.it

