

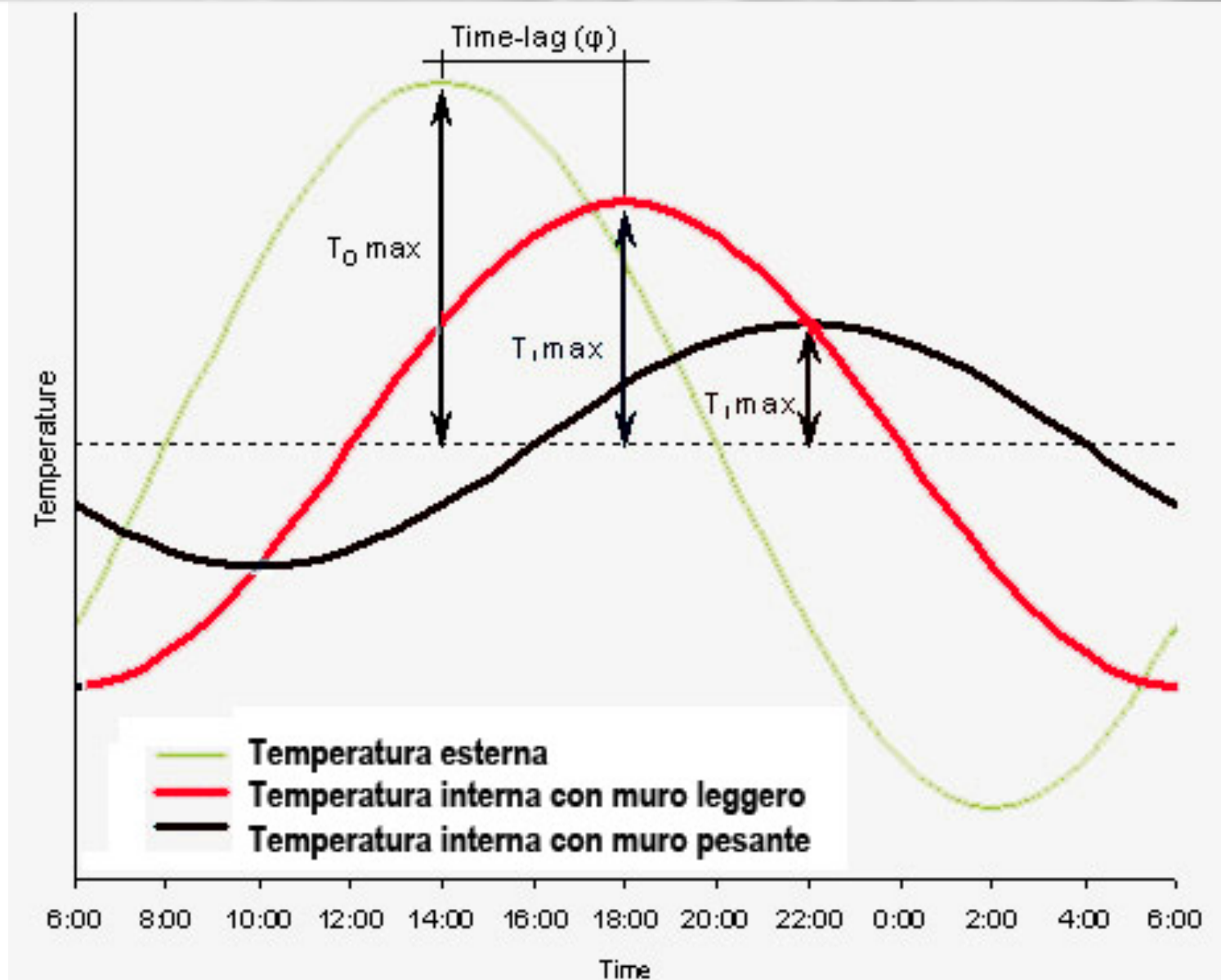
Massa, temperatura, umidità

Concetti base sulle condizioni ambientali per quanto riguarda la massa delle murature, la temperatura e umidità ambientale e dei materiali.

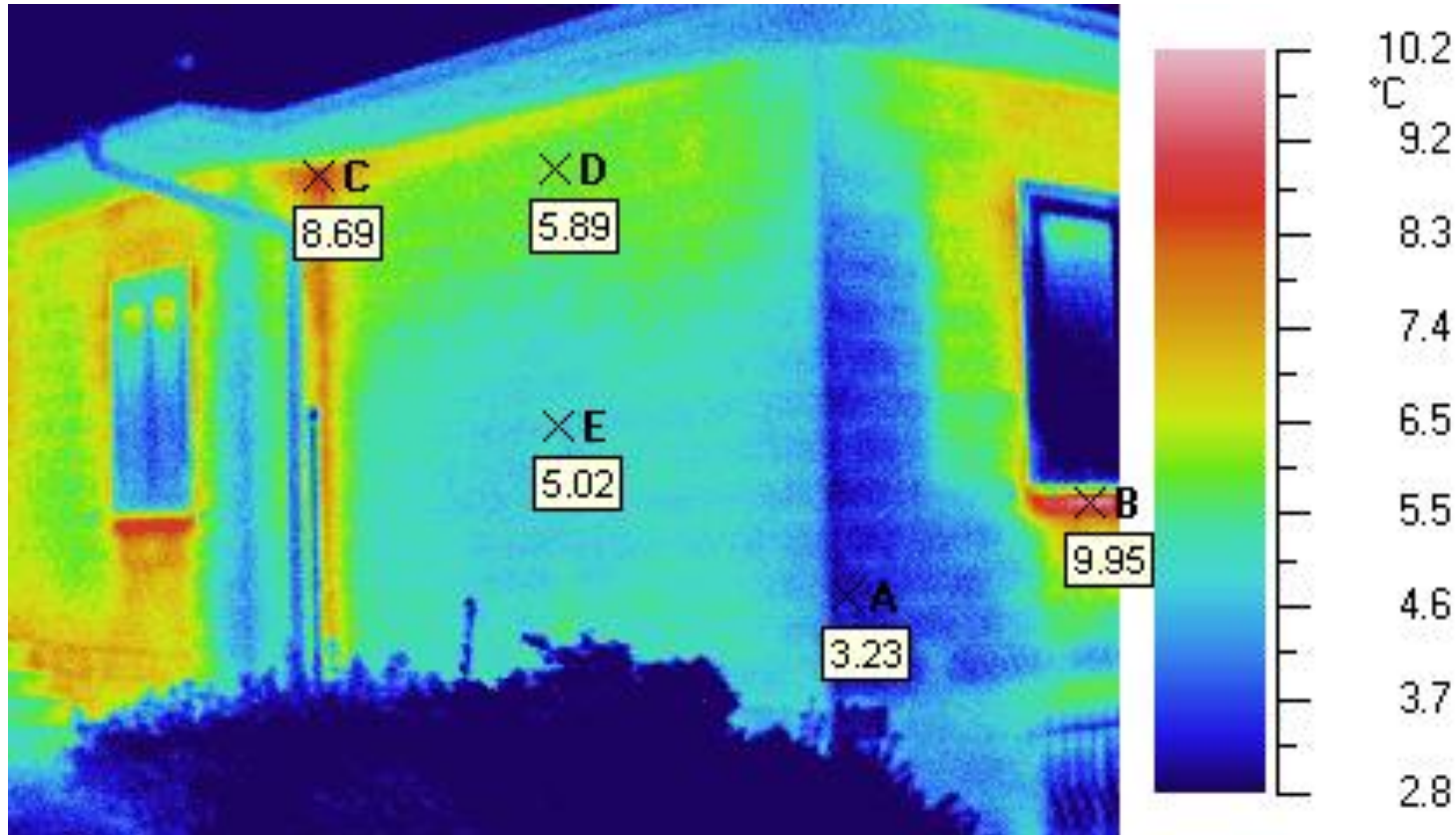
Sfasamento

- ▷ Lo sfasamento, è l'arco di tempo (ore) che serve all'onda termica per fluire dall'esterno all'interno attraverso un materiale edile. Maggiore è lo sfasamento, più lungo sarà il tempo di passaggio del calore all'interno dell'edificio.
- ▷ Lo sfasamento dunque è la differenza di tempo che intercorre tra l'ora in cui si ha la massima temperatura all'esterno e l'ora in cui si ha la massima temperatura all'interno, e non deve essere inferiore alle 8/12 ore; lo smorzamento esprime il rapporto tra la variazione massima della temperatura esterna ΔT_e e quella della temperatura interna ΔT_i in riferimento alla temperatura media della superficie interna.
- ▷ Il parametro principale che incide sulla capacità di accumulo è la massa

Grafico dello sfasamento

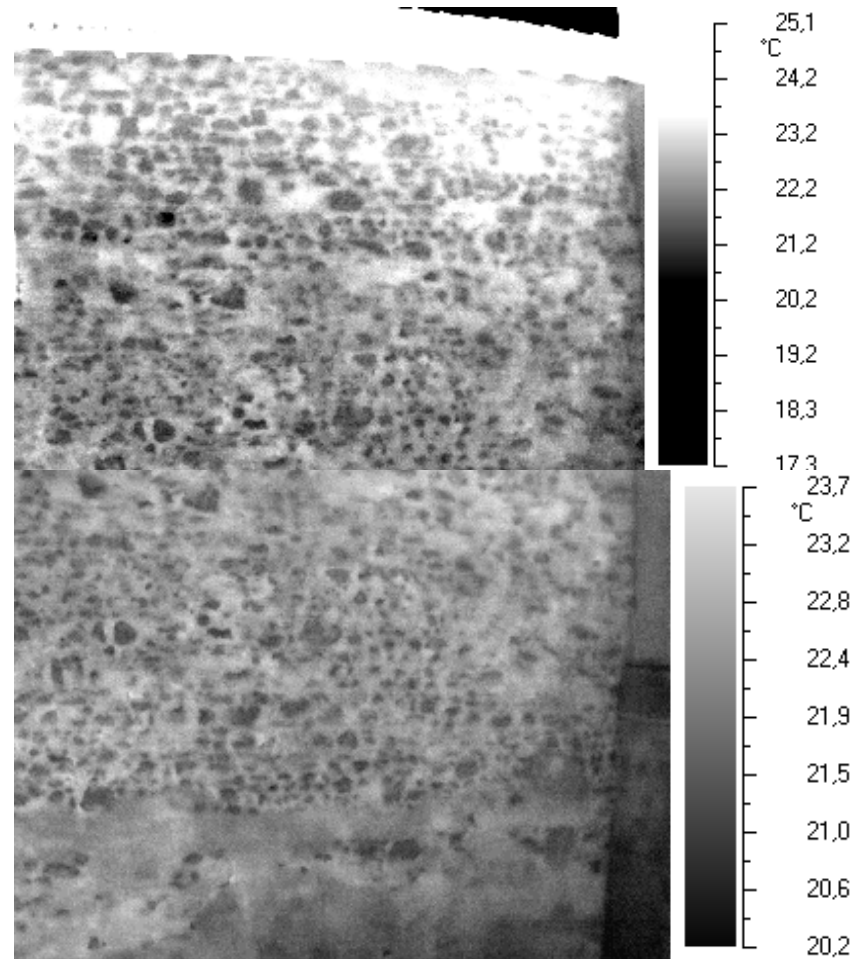


Termografia su strutture “leggere”



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

Grafico temperature di muratura con elevata massa

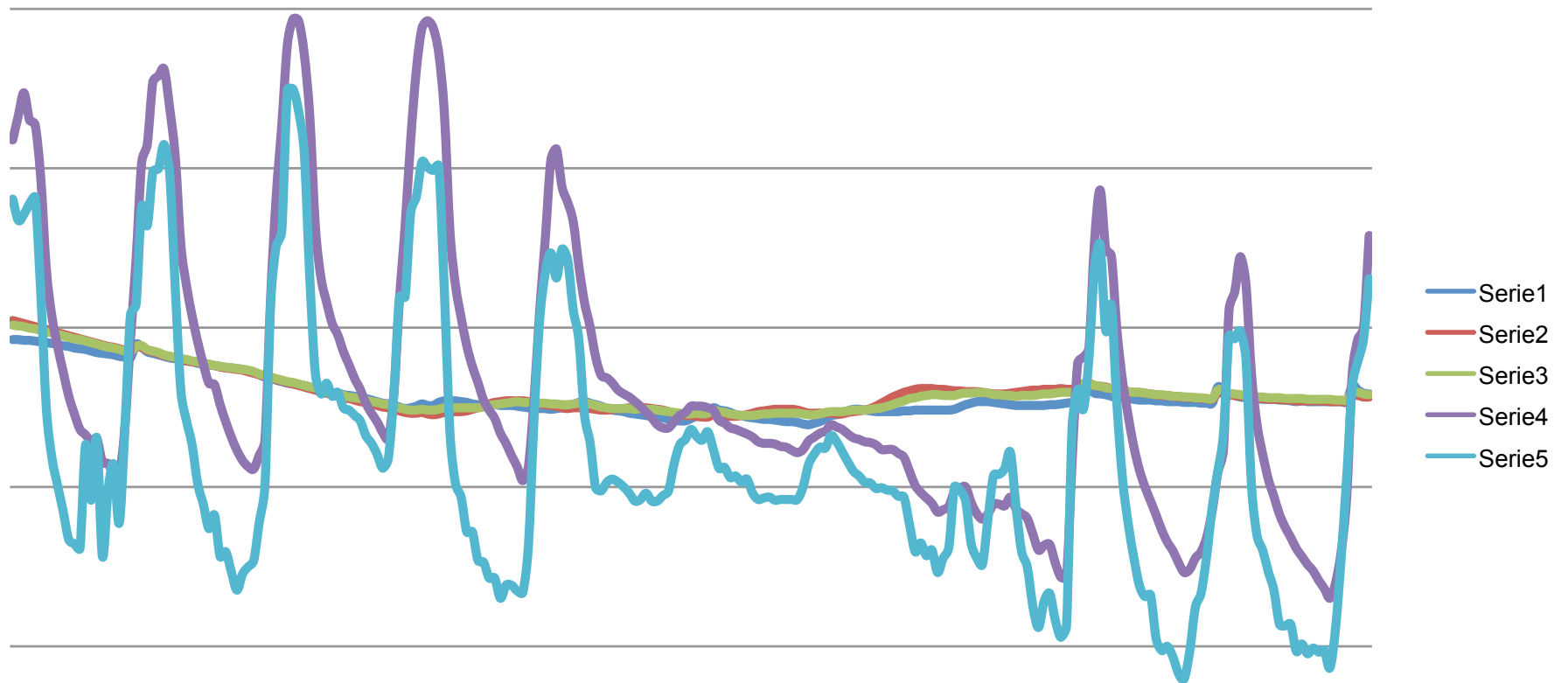


Grafico delle temperature interne ed esterne di una muratura con elevata massa



Temperatura superficie esterna



Temperatura aria esterna



Temperatura interna

Umidità e condense

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

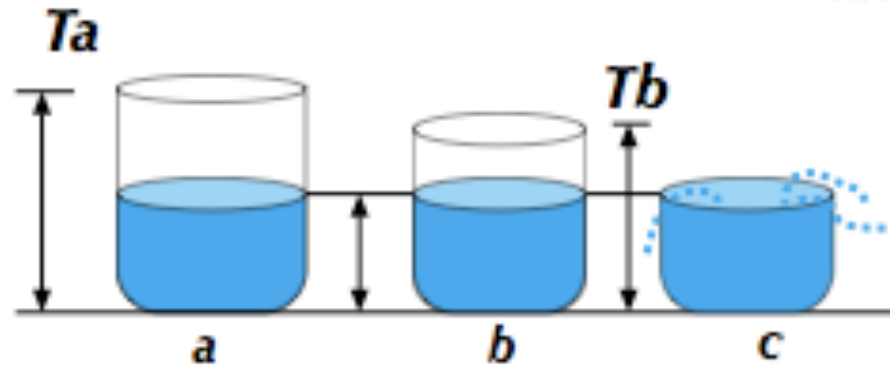
- **Può essere dovuta a condensa dell'umidità ambientale sui muri:**
- **Può provenire dalle fondazioni per risalita o nelle cantine poco impermeabilizzate o per infiltrazione dai tetti o da pareti se gli intonaci non sono adeguati.**

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 subflorescenze (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

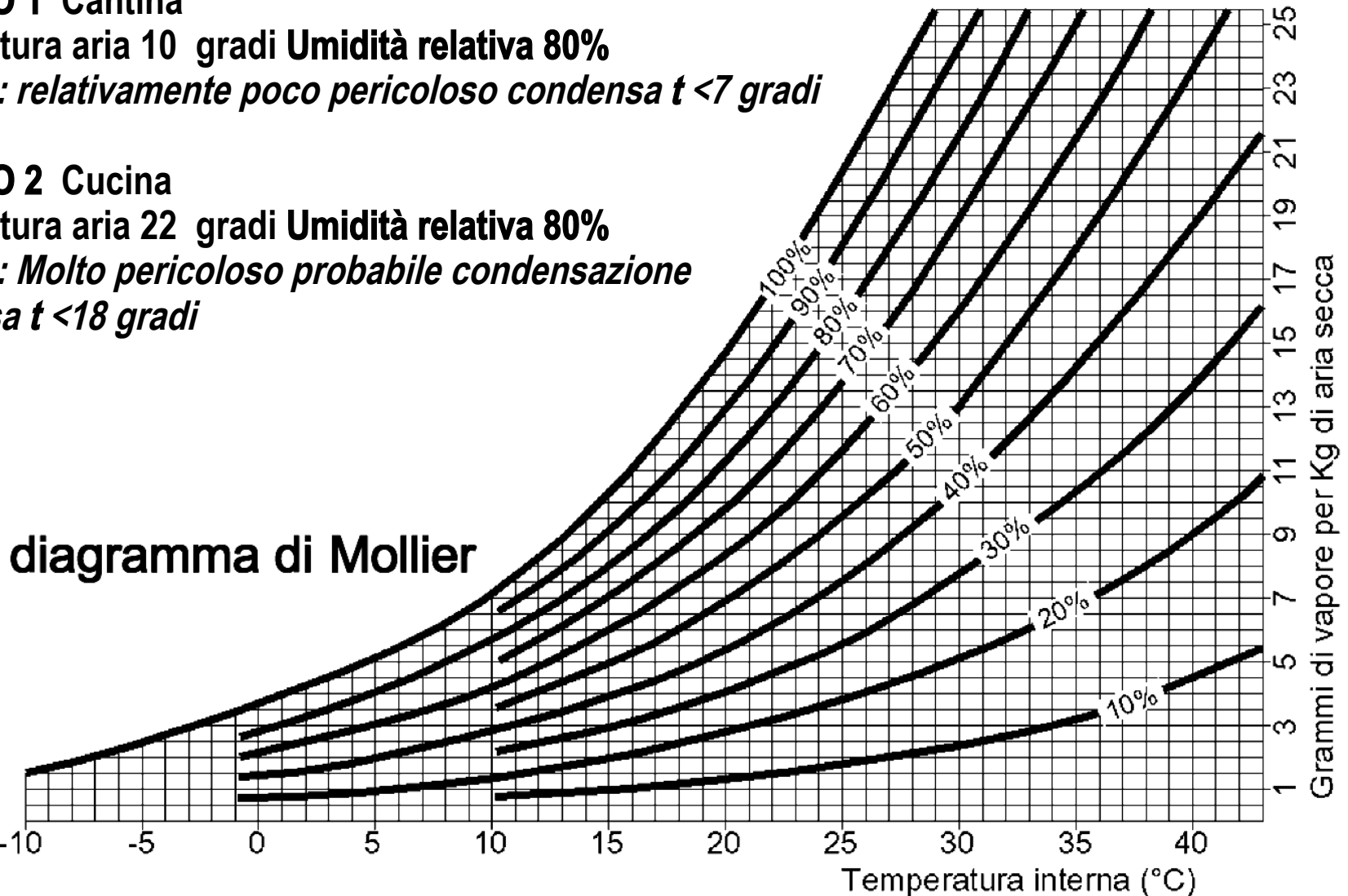
Temperatura aria 10 gradi Umidità relativa 80%

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

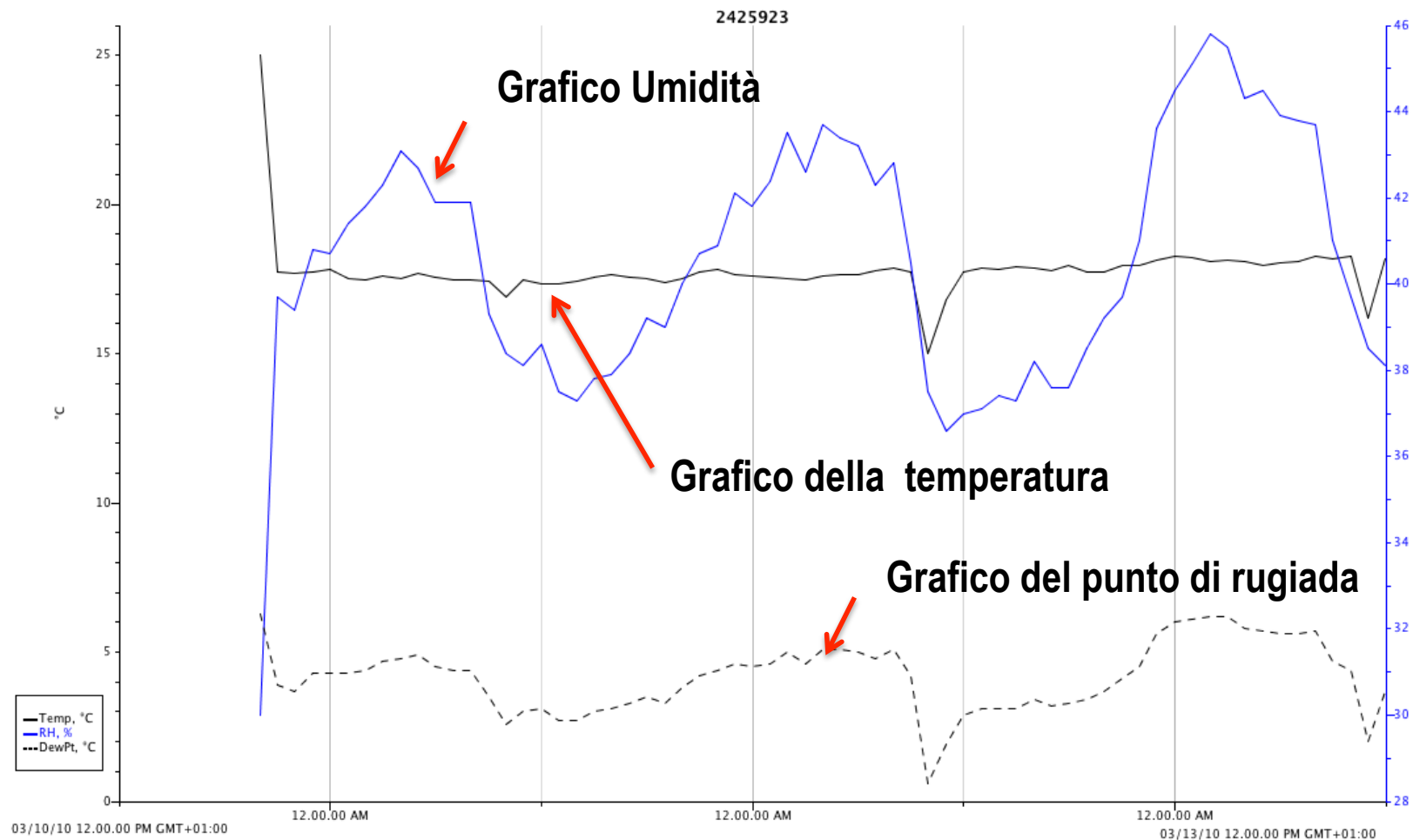
ESEMPIO 2 Cucina

Temperatura aria 22 gradi Umidità relativa 80%

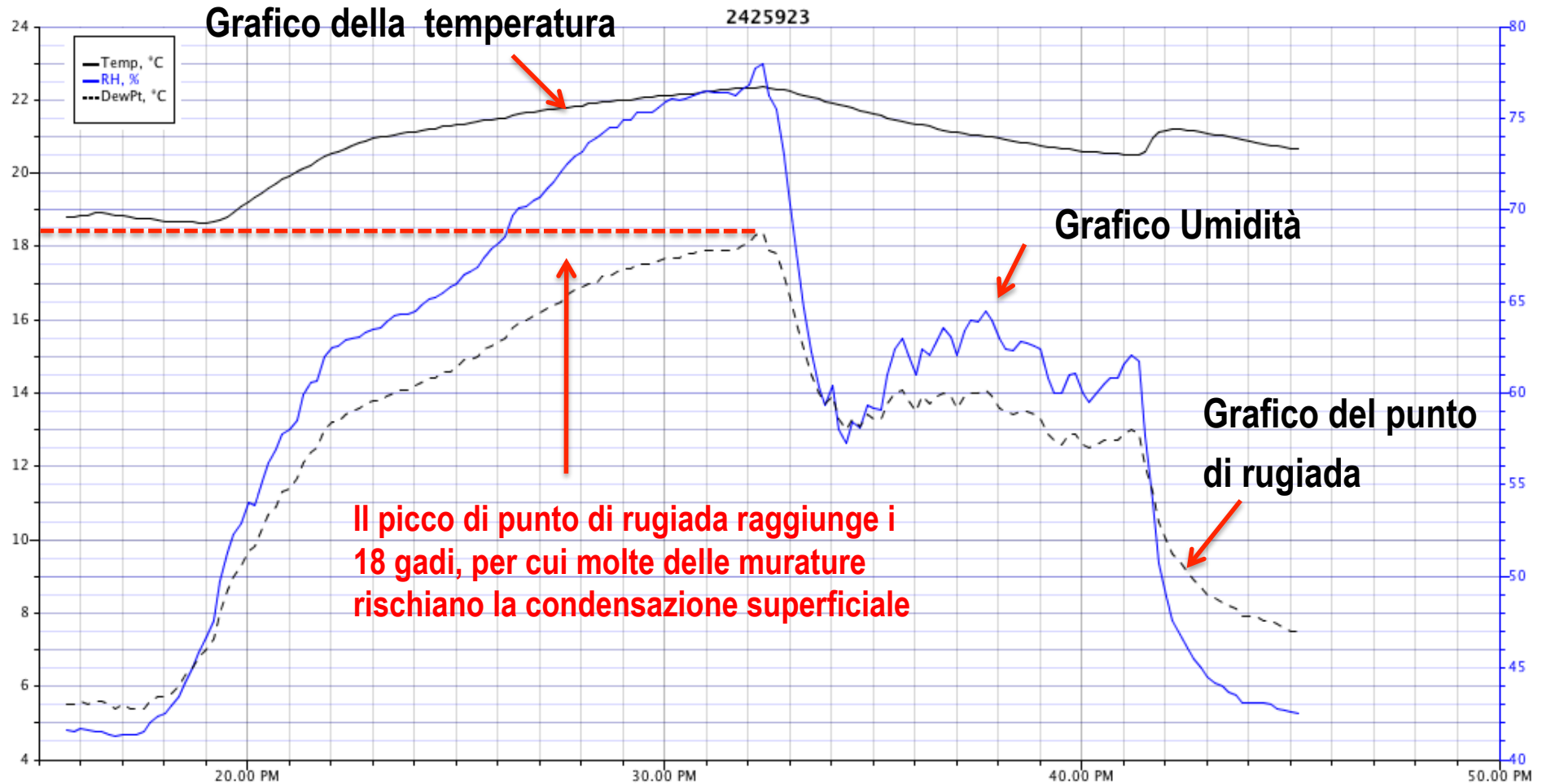
Giudizio: Molto pericoloso probabile condensazione condensa $t < 18$ gradi



Esempio monitoraggio Ur % e T° camera



Esempio diagramma Ur % e T° in una cucina

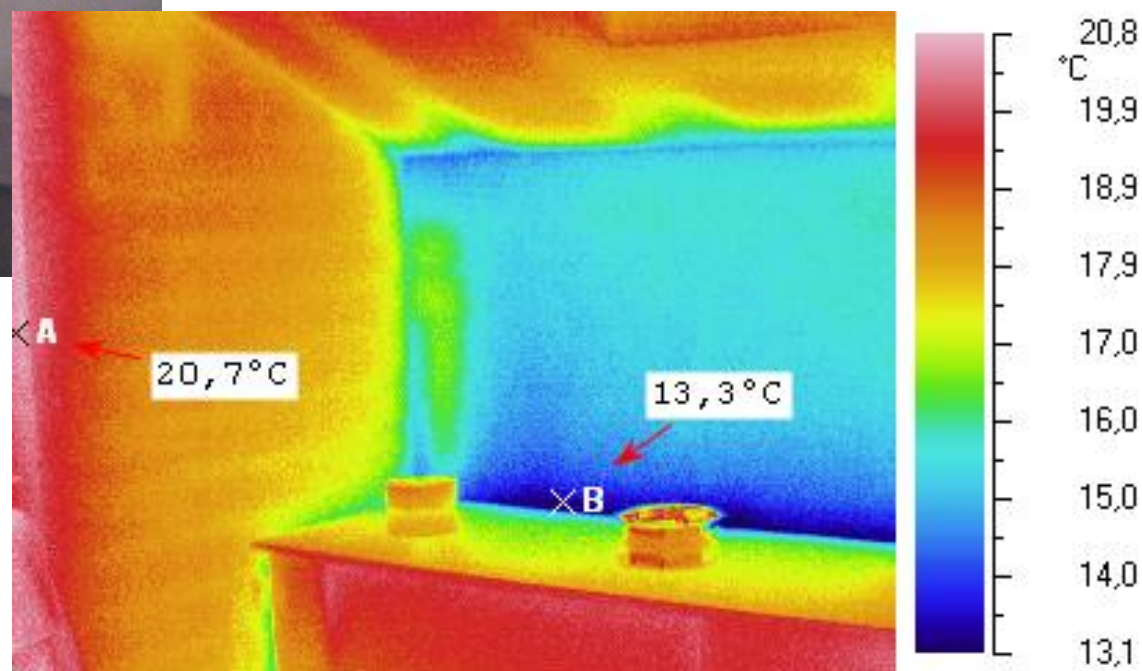


Individuazione zone soggette a condensazione



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

In ogni caso esistono anche requisiti da verificare per il confort termico. In questo caso per garantire un adeguato confort, risulta necessario un intervento di coibentazione



Individuazione zone soggette a condensazione

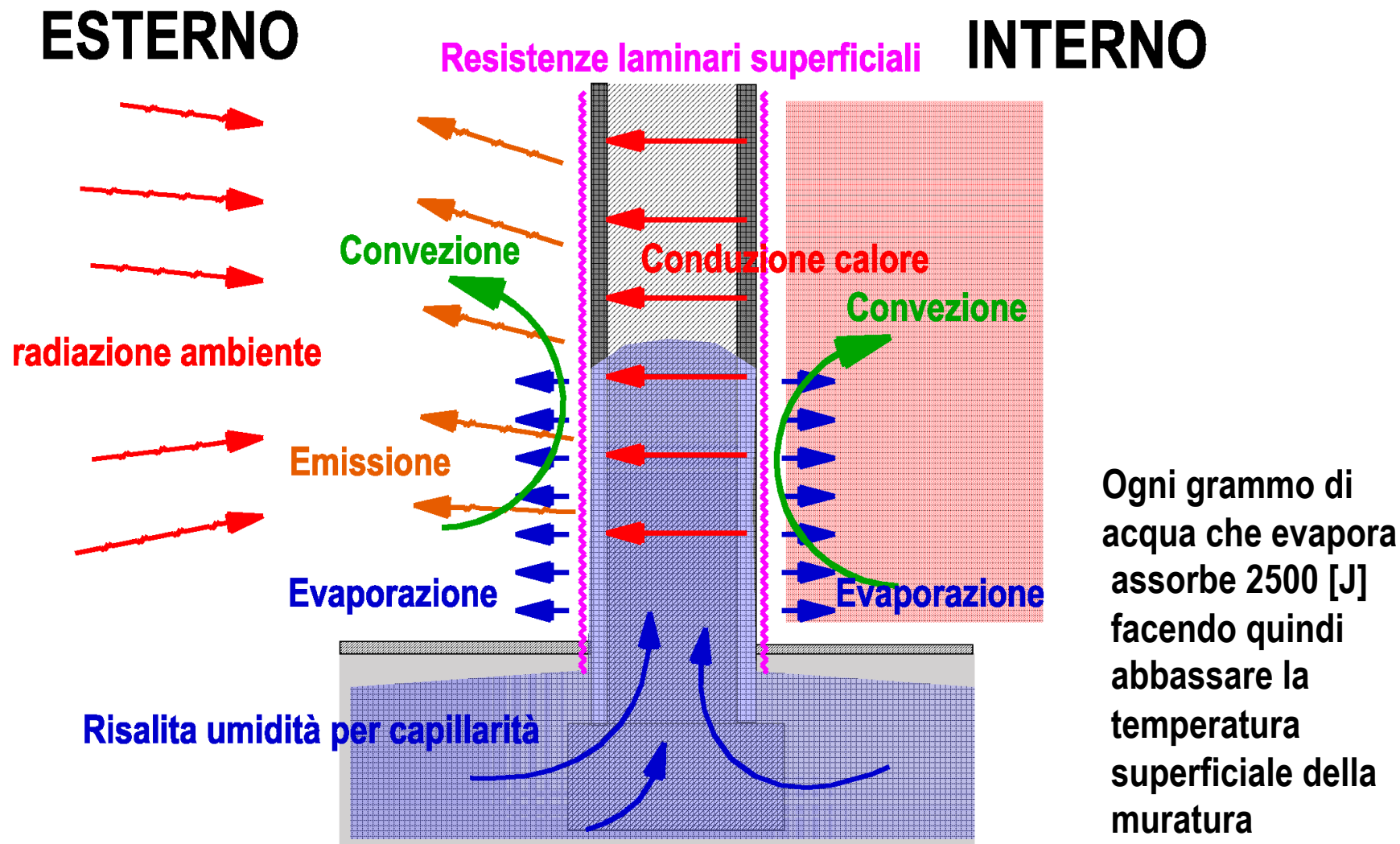
Utilità della termocamera nell'individuare i punti soggetti a condensazione

La termocamera e il software di post analisi delle immagini radiometriche (immagini delle termocamere) ci permette di verificare i punti di rugiada in base alla temperatura e umidità effettiva, oltre a permettere la simulazione di diverse condizioni di temperatura e umidità dell'aria per individuare in quale zona, al variare di questi parametri potrebbe materializzarsi la condensazione superficiale con conseguente sviluppo dei fenomeni di degrado.

Individuazione umidità nelle murature

**Umidità per risalita capillare
o infiltrazioni meteoriche**

Schema degli scambi fisici



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

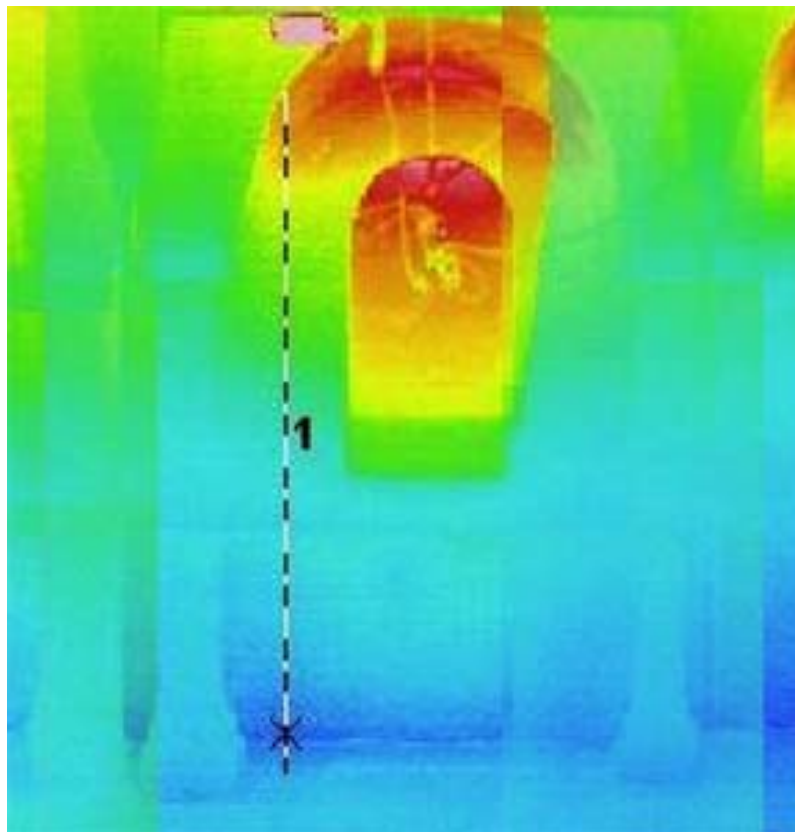
- ▷ La termografia, ci permette di seguire qualitativamente la distribuzione dell'umidità, mediante l'individuazione delle aree più fredde a causa dell'evaporazione.
- ▷
 - Le zone umide sono più fredde di quelle asciutte alle stesse condizioni al contorno.
- ▷
 - L'obiettivo dell'indagine sull'umidità 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

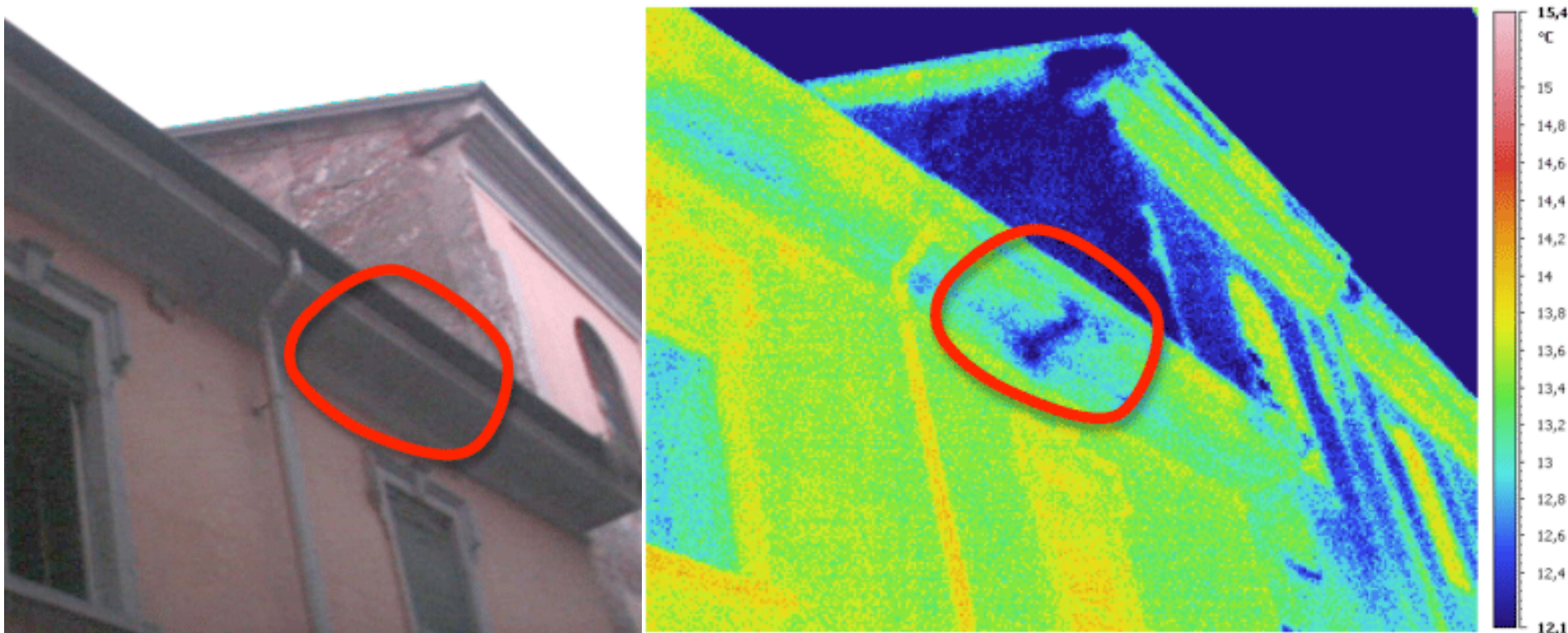
Esempio Umidità di risalita



Umidità nelle murature , esempio della Cripta S. Sepolcro Milano

La termografia per il rilievo dell'umidità

Esempio Umidità per infiltrazione dal tetto



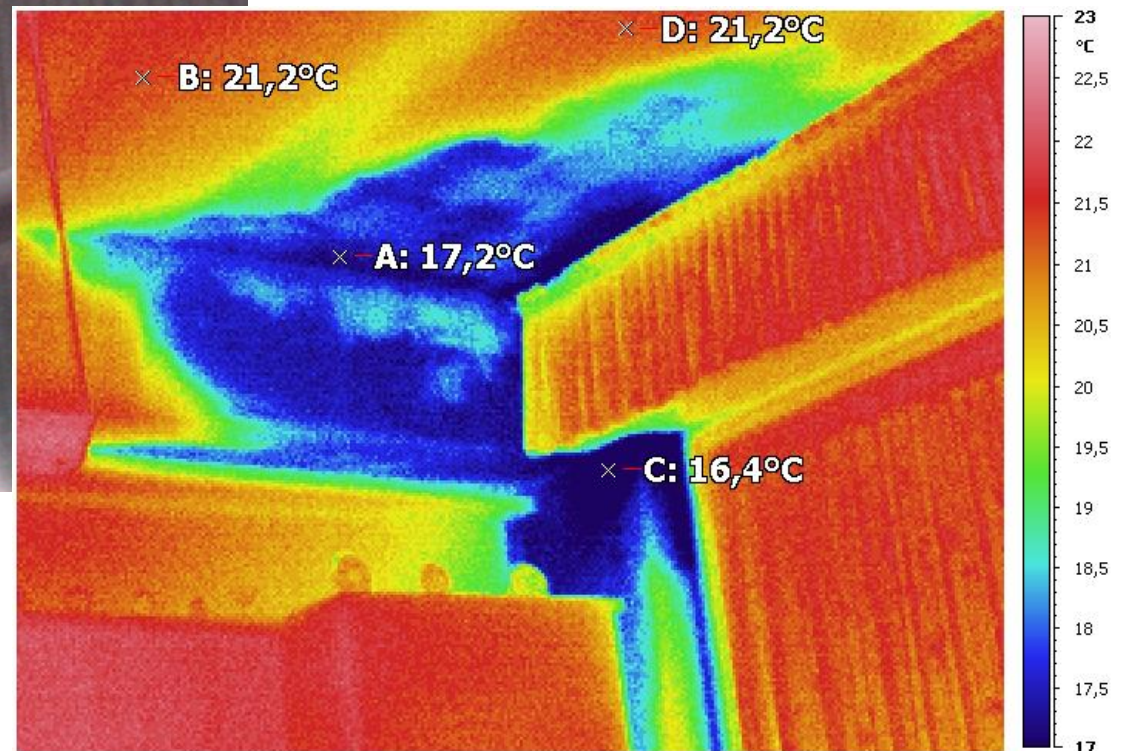
Umidità nel cornicione della ex caserma S.Paolo a Monza

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.

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 dimensione 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.**

Raccomandazioni

- ▷ **Divieto di utilizzare la termocamera in presenza di laser. Alcuni laser possono danneggiare in maniera irreparabile il sensore**
- ▷ **Divieto di esportazione all'estero dell'attrezzatura. Le termocamere più performanti sono basate su sensori soggette a licenza di brevetto militare. In aeroporto oltre al controllo doganale, è possibile essere arrestati e trattenuti in caso di mancanza di autorizzazioni.**

Termoflussimetro

Il termoflussimetro è un strumento costituito da:

- un registratore di dati (data logger), possibilmente dotato di integratore**
- una piastra termoflussimetrica, costituita da un sottile strato di materiale di resistenza termica nota e stabile**
- almeno due (meglio quattro) sensori di temperatura a contatto.**

Il campo di applicazione del termoflussimetro è unicamente la determinazione della conduttanza o della trasmittanza termica delle pareti in opera.

La misura con il termoflussimetro è ragionevolmente affidabile: l'errore medio è inferiore al 8% con un range che va da 1% al 15%.

Termoflussimetro

TERMOFLUSSIMETRIA

In condizioni stazionarie il flusso termico Q che attraversa una parete nell'unità di tempo è dato da:

$$Q = k \cdot A \cdot (T_i - T_e)$$

dove

- $k = U$ Trasmittanza
- $k = C$ Conduttanza

Se la parete fosse sottoposta ad un regime stazionario, potrebbero essere sufficienti misure istantanee di temperatura, e quindi la rilevazione si potrebbe eseguire con una termocamera o con termometri a contatto.

TERMOFLUSSIMETRIA

In realtà la situazione in intervalli di tempo brevi di una parete in opera può difficilmente venire considerata come stazionaria



risulta pertanto necessario:

- rilevare i parametri per un periodo di tempo sufficientemente lungo da poter compensare correttamente gli effetti transitori di accumulo/rilascio di energia causati dal regime termico variabile
- elaborarli con metodi adeguati.

TERMOFLUSSIMETRIA

A tale scopo sono disponibili principalmente due metodi

- **Il metodo delle medie progressive** o media mobile consiste nel calcolare la conduttanza utilizzando, ad ogni istante, anziché i valori istantanei di flusso e temperatura, i valori medi calcolati su tutti gli istanti precedenti.
- **Il metodo “Black Box”**, così chiamato perché non presuppone la conoscenza del sistema fisico in esame ma solo delle serie temporali dei dati (la temperatura interna ed esterna ed il flusso termico); dai dati si risale, con un metodo statistico, alle caratteristiche fisiche della parete.
É adatto a situazioni con condizioni al contorno fortemente dinamiche ed intervalli di tempo elevati tra le misurazioni.

Termoflussimetro

La metodologia delle medie progressive fornisce buone garanzie sull'ottenimento di risultati significativi, ma presenta lo svantaggio di richiedere tempi di misura relativamente lunghi, specie nel caso di pareti ad elevata inerzia termica o in condizioni fortemente dinamiche;

L'elaborazione dei dati mediante l'approccio black-box presenta il vantaggio di richiedere, generalmente, monitoraggi più brevi rispetto a quelli delle medie progressive ma, trattandosi di una tecnica puramente numerica, comporta maggiori rischi di una non convergenza della soluzione del problema e di ottenere risultati della procedura non significativi dal punto di vista fisico.

Termoflussimetro

Date le considerazioni di cui sopra, un metodo ragionevolmente affidabile di impostare una campagna di misurazioni con il termoflussimetro può essere il seguente:

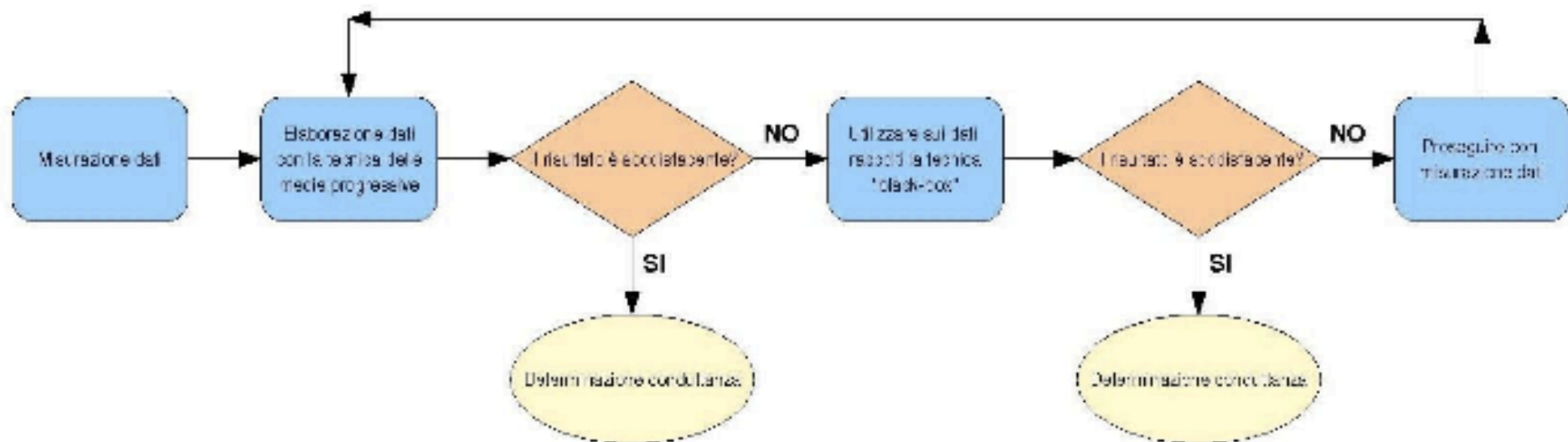
1. Individuazione, anche mediante analisi termografica, di una posizione significativa per eseguire la misura termoflussimetrica
2. posizionamento dell'attrezzatura e misurazione dei dati (temperature e flusso termico) per almeno 72 ore
3. elaborazione dei dati raccolti con la tecnica delle medie progressive

Termoflussimetro

4. se il risultato è soddisfacente (le oscillazioni del valore della conduttanza sono sufficientemente smorzate) si ferma la misura e si assume il valore ottenuto come misura della conduttanza in opera della parete.
5. in caso di pareti ad elevata inerzia termica, per le quali il valore di conduttanza determinato mediante la procedura delle medie mobili risulti fortemente oscillante, si può procedere ad utilizzare sui dati raccolti la tecnica "black-box"
6. se la stima della conduttanza con il metodo "black box" è soddisfacente, assumerne il valore come valore di riferimento altrimenti continuare le misurazioni per raccogliere più dati e ripetere la valutazione con la tecnica delle medie progressive.

Termoflussimetro

TERMOFLUSSIMETRIA



Bibliografia

- **Norma UNI EN 13187 (da ISO 6781:1983) Prestazione termica degli edifici: Rilevazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi.**
- **Norma UNI EN 473 qualificazione e certificazione del personale addetto alle prove non distruttive**
- ***Elisabetta Rosina* La percezione oltre l'apparenza, l'architettura all'infrarosso Alinea editrice**
- ***Gino Fabbri* La Termografia Appunti del corso per certificatore Liv II en 473, CND studio sas Milano**
- ***G.Massari* Risanamento igienico dei locali umidi Hoepli 1985**
- ***M.Milazzo, N.Ludwig, V Redaelli* Studio dei flussi evaporativi nelle dinamiche di degrado dei materiali umidi . Istituto di fisica applicata Univ Studi Milano**
- ***Marco Boscolo Kristian Fabbri* Diagnosi energetica degli edifici Dei tipografia del genio civile 2010**
- ***Davide Lanzoni* Diagnosi e Certificazione Energetica: Prove Strumentali sugli Edifici. Maggioli 2010**
- ***Simona Lombard i* Umidità nelle murature Diagnosi e recupero : Università degli studi di Napoli Federico II Dottorato interpolo 2005 Conservazione beni culturali**
- ***Vanessa D'Agostino* Condizioni microclimatiche di qualità dell'aria negli ambienti museali : Università degli studi di Napoli Federico II Dottorato interpolo 2005 Conservazione beni culturali**
- ***Giancarlo Rossi* Appunti dei corsi di Tecnica e controllo Ambientale : Istituto universitario di Venezia**