

Allegato al rapporto finale dell'ottobre 2021

Guida pratica alla misurazione non distruttiva del valore U di elementi edili esterni



O. Sevim, Ferrara Architekten AG

Autori

Caroline Hoffmann, INEB, Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale
Achim Geissler, INEB, Scuola universitaria professionale della Svizzera nordoccidentale

Questo studio è stato commissionato da SvizzeraEnergia.
Del contenuto sono unicamente responsabili gli autori.

Sommario

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Fondamenti della misurazione del valore U | 5 |
| 1.1 | Premessa..... | 5 |
| 1.2 | Il principio di misurazione..... | 5 |
| 1.3 | Strumenti di misura e componenti..... | 6 |
| 1.4 | Calcolo del valore U..... | 8 |
| 1.5 | Determinazione della validità della misurazione (ISO 9869-1)..... | 9 |
| 1.6 | Determinazione dell'incertezza della misura..... | 10 |
| 1.6.1 | Descrizione, procedura e determinazione dell'incertezza di misura..... | 10 |
| 1.6.2 | Adattamento dell'incertezza della misura a strumenti specifici..... | 10 |
| 2. | Misurazione in loco | 12 |
| 2.1 | Pianificazione della misurazione..... | 12 |
| 2.1.1 | Stagione e durata..... | 12 |
| 2.1.2 | Attrezzatura necessaria..... | 12 |
| 2.1.3 | Misurazione di prova..... | 12 |
| 2.1.4 | Numero di misurazioni..... | 12 |
| 2.2 | Procedura di misurazione..... | 13 |
| 2.2.1 | Selezione del punto di rilevamento..... | 13 |
| 2.2.2 | Fissaggio delle sonde alla parete..... | 13 |
| 2.2.2.1 | Adesivi e agenti di contatto..... | 13 |
| 2.2.2.2 | Piastra di flusso termico..... | 14 |
| 2.2.2.3 | Sonda termica dell'aria interna..... | 14 |
| 2.2.2.4 | Sonde della temperatura superficiale interna..... | 14 |
| 2.2.2.5 | Sonda termica dell'aria esterna..... | 14 |
| 2.2.2.6 | Sonde della temperatura superficiale esterna..... | 15 |
| 2.2.3 | Memorizzazione dei dati..... | 15 |
| 2.2.4 | Controllo della misurazione attuale..... | 15 |
| 2.3 | Note specifiche sullo strumento di misura..... | 15 |
| 2.3.1 | greenTEG gSKIN U-Value KIT [2]..... | 15 |
| 2.3.2 | Testo 635-2 U-Wert-Set [3]..... | 16 |
| 2.3.3 | Ahlborn Almemo [1]..... | 16 |
| 3. | Lista di controllo per le autorità per verificare le misurazioni | 17 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4. | Elenco delle abbreviazioni | 18 |
| 4.1 | Variabili | 18 |
| 4.1 | Indici..... | 18 |
| 5. | Bibliografia | 18 |

1. Fondamenti della misurazione del valore U

1.1 Premessa

Scopo della presente guida pratica è fornire spiegazioni e istruzioni di supporto per l'esecuzione di misurazioni del valore U in loco a consulenti energetici, fisici edili e tecnici esperti. Il contenuto si basa su un progetto di ricerca nell'ambito del quale si è proceduto a misurare il valore U in loco con tre diversi strumenti di misura e a misurazioni comparative in laboratorio. A complemento sono state realizzate delle simulazioni sottoponendo a test i materiali di contatto e adesivi da usare per fissare i sensori agli elementi edili da misurare. Poiché sono stati esaminati elementi edili pesanti e omogenei, le informazioni si riferiscono principalmente a questa tipologia costruttiva. Il presente documento è focalizzato sull'applicazione; per informazioni dettagliate sul modo in cui ricavare raccomandazioni, si rimanda al rapporto finale del progetto.

Nel testo sono indicati i casi in cui alcune esperienze si riferiscono direttamente a uno specifico strumento di misura.

1.2 Il principio di misurazione

Il principio di misurazione si basa solitamente sul cosiddetto metodo della parete ausiliaria, nell'ambito del quale la densità di flusso di calore q viene misurata in W/m^2 direttamente sulla superficie dell'elemento edile tramite una piastra di flusso termico. Le temperature dell'aria interna e dell'aria esterna vengono misurate tramite due apposite sonde termiche. Inoltre è possibile registrare le temperature superficiali all'interno e all'esterno dell'elemento edile. Questo permette anche di stabilire i coefficienti di trasmissione del calore all'interno, h_{si} , e all'esterno, h_{se} (per ulteriori informazioni e una discussione critica in merito, si rimanda al rapporto finale del progetto). Alcuni strumenti di misura non misurano direttamente il flusso di calore e calcolano il valore U determinando la temperatura superficiale del locale dopo aver presupposto un valore per h_{si} . Nella tabella 2 viene riepilogata la modalità di calcolo del valore U per ogni caso con le grandezze misurabili disponibili.

Aspetto comune di tutti i principi di misurazione è la minor oscillazione possibile del valore U risultante, garantita dalla durata della misurazione e, di conseguenza, da determinate procedure seguite durante la valutazione (vedere la sezione 1.5). Una preconditione per una misurazione valida è rappresentata dalle condizioni quadro il più possibile costanti nel corso del periodo di misurazione. Anche la differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno dovrebbe essere la massima possibile ($> 15 K$). L'elemento edile deve essere il più possibile omogeneo. Per la misurazione del valore U, i sensori (a seconda dello strumento di misura e dell'attrezzatura interna ed esterna) vengono attaccati all'elemento edile o collocati nelle sue vicinanze. La misurazione richiede almeno 72 ore, dopo le quali si procede alla valutazione e al controllo relativi.

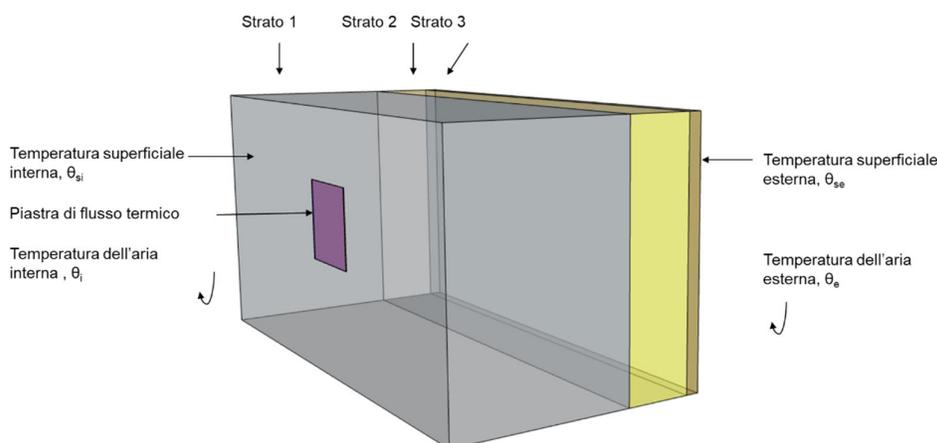


Fig. 1: Grandezze misurabili nella misurazione del valore U.

1.3 Strumenti di misura e componenti

Nella Tabella 1 sono mostrate le possibili configurazioni dell'apparecchio con i sensori. Se non è esplicitamente prevista la misurazione dei coefficienti di trasmissione del calore, per lo strumento di misura è sufficiente la seguente attrezzatura:

- Piastra di flusso termico
- Sonda della temperatura dell'aria ambientale
- Sonda della temperatura dell'aria esterna

Attenzione: per le misurazioni con una piccola differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno (< 15 K), i valori U misurati possono essere significativamente troppo bassi con strumenti di misura basati puramente sulla temperatura.

Dalla Fig. 2 alla Fig. 4 vengono mostrati strumenti di misura di esempio del valore U, che consentono di riconoscere il principio, anche se l'aspetto può ovviamente cambiare.

Tabella 1 Possibile configurazione degli strumenti per la misurazione del valore U in loco. Le sonde a staffa sono necessarie per misurare i coefficienti di trasmissione del calore.

| | Cinque grandezze misurabili | Tre grandezze misurabili | Tre grandezze misurabili (basate sulla temperatura) |
|--|-----------------------------|--------------------------|---|
| Esempio di dispositivo | Almemo [1] | gSKIN U-Value KIT [2] | Testo 635-2 U-Wert-Set [3] |
| Costruttore | Ahlborn | greenTEG | Testo |
| Piastra di flusso termico (misura la densità di flusso di calore) | 1 | 1 | - |
| Sonda della temperatura superficiale interna, θ_{si} | (1) | | 3 |
| Sonda della temperatura superficiale esterna, θ_{se} | (1) | - | - |
| Sonda della temperatura interna vicino alla parete, θ_i | 1 | 1 | |
| Sonda della temperatura interna, θ_i , connettore del sensore dello strumento di misura | - | - | 1 |
| Sonda della temperatura esterna, θ_e | 1 | 1 | 1 |

Collegamento al registratore di dati:

Sempre più di frequente vengono proposti dispositivi con connessioni radio. Il cablaggio non necessario, specialmente attraverso gli elementi edili esterni, può costituire una significativa agevolazione. Tuttavia occorre tenere presente due svantaggi: se l'alimentazione di energia viene trasmessa all'esterno tramite una batteria, questa può scaricarsi rapidamente, soprattutto alle basse temperature; un'eventuale interruzione della connessione radio comporta delle lacune nei dati.

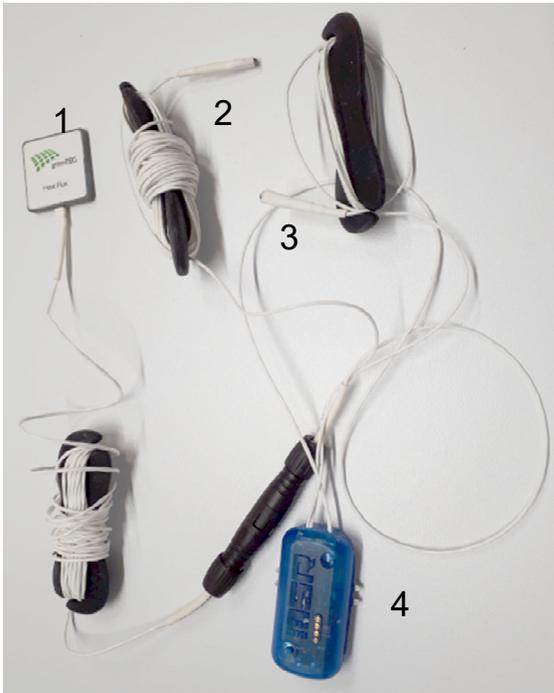


Fig. 2 Strumento di misura di GreenTEG. 1 = Piastra di flusso termico, 2 = Sonda della temperatura esterna, θ_e (cavo di collegamento lungo), 3 = Sonda della temperatura interna, θ_i , 4 = Registratore di dati.

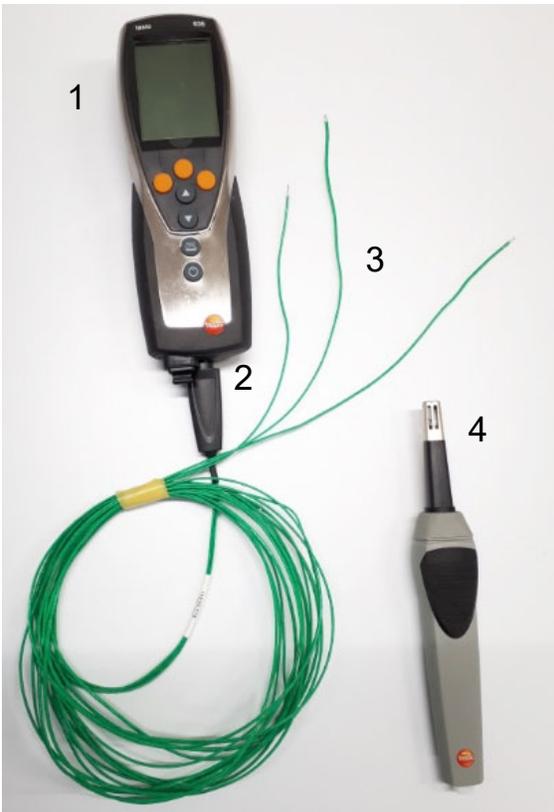


Fig. 3: Strumento di misura di Testo. 1 = Registratore di dati, 2 = Sensore nella parte inferiore del registratore di dati per la temperatura interna, θ_i , 3 = tre sonde per la temperatura superficiale interna, θ_{si} , 4 = Sonda radio per la temperatura esterna, θ_e .



Fig. 4 Strumento di misura di Ahlborn: 1 = Registratore di dati, 2 = Piastra di flusso termico, 3 = Sonda della temperatura interna, θ_i , 4 = Deve essere collegato almeno una sonda per la temperatura esterna, θ_e (stesso aspetto, non mostrato in figura).

1.4 Calcolo del valore U

La maggior parte degli strumenti di misura (compresi tutti i dispositivi elencati nella Tabella 1) segnalano già un valore U direttamente tramite il software fornito. Occorre analizzare criticamente l'uso diretto dei valori U in uscita, poiché la media dei valori misurati viene calcolata in modo diverso o non viene calcolata affatto e la validità della misurazione basata sui criteri ISO 9869-1 non viene emessa da tutti gli strumenti (ad eccezione di GreenTEG).

Per calcolare il valore U a partire dalle grandezze misurabili, si possono usare le formule indicate nella Tabella 2 in base alla configurazione degli strumenti di misura.

Tabella 2 Possibilità di calcolo del valore U a seconda dello strumento di misura o delle grandezze misurabili. Fonte F1: [4], fonte F2: Dati del costruttore Testo.

| Formula | Denominazione nel testo | Almemo (Ahlborn) | gSKIN U-Value KIT (greenTEG) | Testo 635-2 U-Wert-Set (Testo) |
|--|-------------------------|------------------|------------------------------|--------------------------------|
| $U = \frac{q}{\theta_i - \theta_e}$ (F1) | ValoreU_F1 | ✓ | ✓ | ✗ |
| $U = h_{si} \frac{(\theta_i - \theta_{si})}{(\theta_i - \theta_e)}$ (F2) | ValoreU_F2 | ✓ | ✗ | ✓ |

dove:
 $h_{si} = 7,69 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

1.5 Determinazione della validità della misurazione (ISO 9869-1)

Il risultato di una misurazione del valore U dovrebbe essere un valore stabile e non istantaneo. Per garantirlo, nell'analisi dei dati occorre usare l'“Average Method” previsto dalla norma ISO 9869-1 [4], in base alla quale, la densità di flusso di calore sommata viene divisa per la differenza di temperatura sommata. L'equazione F3 descrive formalmente la procedura di calcolo del ValoreU_F1. Questo tipo di media può essere usato analogamente anche per ValoreU_F2¹.

$$U = \frac{\sum_{j=1}^n q_j}{\sum_{j=1}^n (\theta_{ij} - \theta_{ej})} \text{ in } (W/(m^2 K)) \text{ (F3)}$$

Per una misurazione nel campo $[\tau_1 \dots \tau_n]$ con n fasi temporali

- n numero di misurazioni / fasi temporali nel periodo in esame
- j indice della misurazione al momento τ_j
- θ_{ij}, θ_{ej} temperatura dell'aria interna o temperatura (dell'aria) esterna in (°C) al momento τ_j
- q_j densità del flusso di calore in W/m^2 al momento τ_j

Questa approssimazione è valida secondo [4] solo presupponendo che le condizioni quadro siano il più possibile costanti:

- Contenuto termico quasi costante dell'elemento edile durante il periodo di acquisizione dei dati, ovvero variazioni di temperatura più ridotte possibili e contenuto di umidità costante.
- La piastra di flusso termico e le sonde termiche non sono esposte alla luce diretta del sole; in linea di principio, preferire per le misurazioni l'orientamento a nord. Pertanto nessuna radiazione diretta a onde corte attraversa normalmente le finestre. Se necessario, tenere chiusa la porta del locale di misurazione.
- In genere la conducibilità termica dell'elemento edile è costante, grazie ai materiali comunemente usati nella costruzione, anche se gli strati d'aria o i materiali speciali come il PCM possono dar luogo a incertezze.

Il periodo di calcolo della media da usare come base per l'analisi è sempre un multiplo di 24 h per gli elementi medi e pesanti con una capacità termica specifica per area di $c' > 20 \text{ kJ}/(m^2 K)^2$. Si può quindi concludere la misurazione o considerarla come valida quando vengano soddisfatti i tre criteri di interruzione secondo [4]:

1. durata minima 72 h,
2. al termine della rilevazione il valore misurato (U) non si discosta di più del $\pm 5\%$ dal valore di 24 ore prima,
3. il valore misurato ottenuto durante i primi 2/3 del periodo di analisi non si discosta di più di $\pm 5\%$ dalla lettura ottenuta durante gli ultimi 2/3 del periodo di analisi.

Questa determinazione della validità della misurazione è fortemente raccomandata. Se non si procede a tale determinazione, occorre farne menzione nel rapporto. Se ad es. il valore U all'uscita dello strumento è dato e non si calcola la media dei risultati delle misurazioni ai sensi della norma ISO 9869-1, si avranno variazioni del valore U misurato tra -5% e +15%. Anche l'uso dell'ultimo valore medio giornaliero invece del valore U medio prescritto dalla normativa può causare scostamenti notevoli (tra -4% e +28%).

Lo strumento di misura della ditta greenTEG stabilisce la validità della misurazione ai sensi della norma ISO 9869-1 in parallelo all'acquisizione dei dati. Allo stato attuale, spetta all'utente stabilire la validità degli strumenti di misura di altre ditte.

¹ $U = h_{si} \frac{\sum_{j=1}^n (\theta_{ij} - \theta_{sij})}{\sum_{j=1}^n (\theta_{ij} - \theta_{ej})}$ in $(W/(m^2 K))$ (F4)

² Non è indicato se questo valore si applica con o senza resistività termica. Indipendentemente da ciò, detto valore viene di gran lunga superato nelle costruzioni solide convenzionali.

1.6 Determinazione dell'incertezza della misura

Per stabilire l'incertezza della misura, che deve essere indicata insieme con il valore U misurato, si raccomanda la procedura prevista dalla norma ISO 9869-1 [4]. Di seguito viene dapprima descritta la procedura, quindi mostrato come regolare l'incertezza della misura in modo specifico per lo strumento. L'incertezza totale della misura è data dalla somma delle incertezze dello strumento e dell'incertezza dell'installazione dello strumento. Occorre inoltre tenere presente l'approccio di calcolo.

1.6.1 Descrizione, procedura e determinazione dell'incertezza di misura

Ai sensi della norma ISO 9869-1, l'incertezza totale della misura è data dalla somma dei seguenti fattori (i valori numerici indicati sono tratti da [4]):

- (1) Precisione di calibrazione della piastra di flusso termico e delle
- (2) sonde termiche: complessivamente il 5% del valore misurato per i sensori ben calibrati
- (3) Variazioni dovute alle differenze di contatto termico tra la parete e la piastra di flusso termico: 5% del valore misurato con una piastra di flusso termico installata con cura. È possibile ridurre questo valore ricorrendo a più piastre di flusso termico.
- (4) Errore operativo della piastra di flusso termico, a condizione che venga tenuto presente nella valutazione mediante un fattore di correzione. È possibile omettere il fattore di correzione se la piastra di flusso termico è molto sottile e ha una bassa resistenza termica. Incertezza residua: 2-3% del valore misurato
- (5) Errore dovuto all'oscillazione delle temperature e dei flussi termici durante il periodo di misurazione. È pari a circa $\pm 10\%$ del valore misurato se si scelgono criteri di interruzione adeguati (vedere la sezione 0). Alla sua riduzione contribuiscono anche un periodo di misurazione più esteso e temperature interne stabili.
- (6) Differenze di temperatura nella stanza e differenze tra la temperatura dell'aria e quella radiante: 5% del valore misurato.

Se le condizioni indicate vengono soddisfatte, allora l'incertezza della misura ai sensi della norma, disponendo di strumenti di misura validi ed eseguendo una misurazione accurata, è compresa approssimativamente tra

$$\sqrt{5^2 + 5^2 + 3^2 + 10^2 + 5^2} \% = 14\% \text{ e } (5+5+3+10+5)\% = 28\%.$$

A seconda dello strumento di misura, l'incertezza della misura può essere anche leggermente inferiore (vedere il capitolo 1.6.1). La radice quadrata della somma dei quadrati viene usata per calcolare l'incertezza della misura partendo dal presupposto che le singole incertezze siano indipendenti l'una dall'altra e di natura casuale. La somma aritmetica registra la massima incertezza della misura [5].

1.6.2 Adattamento dell'incertezza della misura a strumenti specifici

I valori numerici delle incertezze indicate in [4] possono essere sostituiti da eventuali valori specifici dello strumento, reperibili nella documentazione del produttore. Segue un esempio di determinazione dell'incertezza della misura per i tre strumenti di misura citati nella Tabella 1. I numeri si riferiscono all'elenco del precedente capitolo 1.6.1.

- (1) Precisione di calibrazione della piastra di flusso termico:
 - a. Ahlborn: 5% del valore misurato,
 - b. greenTEG: 3% del valore misurato,
 - c. Testo: piastra di flusso termico non disponibile.
- (2) Precisione di calibrazione delle sonde termiche (a 20 °C):
 - a. Ahlborn: 0,4% del valore misurato,
 - b. greenTEG: 2,5% del valore misurato,
 - c. Testo: 1,5% del valore misurato.
- (3) Variazioni dovute alle differenze nel contatto termico tra la parete e le sonde termiche o la piastra di flusso termico: viene considerato un 5%, poiché (in genere) si esegue la misurazione con una sola piastra di flusso termico.
- (4) Errore operativo del sensore di flusso termico: viene causato da un disturbo del flusso termico della superficie della parete da parte del sensore di flusso di termico stesso. Se il sensore di

flusso termico è molto sottile e la resistenza termica del sensore è molto piccola, si può trascurare l'errore (lo spessore non viene definito con maggior precisione; si presume che tale requisito venga soddisfatto dagli strumenti usati nel progetto). In tutti gli altri casi occorre stimare l'errore operativo e correggere i dati (per informazioni in merito si rimanda alla norma ISO 9869-1; si consiglia di contattare il produttore). Nel caso di una correzione dei dati, l'incertezza rimane del: 2–3%. Si può presupporre che l'errore operativo degli attuali sensori di flusso termico sia molto basso. In assenza di una correzione dei dati misurati, si presuppone un'incertezza del 2%. Nel caso di Testo questo valore viene meno mancando un sensore di flusso termico.

- (5) Errore dovuto all'oscillazione delle temperature e dei flussi termici durante il periodo di misurazione: si presuppone $\pm 10\%$ del valore misurato.
- (6) Differenze di temperatura nella stanza e differenze tra la temperatura dell'aria e quella radiante: si presuppone un 5%, non utilizzando uno scudo antiradiazioni.

Le incertezze (1) e (2) possono essere chiaramente assegnate allo strumento utilizzato, (3) è almeno in parte dovuto all'installazione. L'incertezza (4) deve essere stimata o chiaramente assegnata dal produttore della piastra di flusso termico. Infine, le fonti di incertezza (5) e (6) sono in gran parte attribuibili alle condizioni quadro durante la misurazione. Si può influire parzialmente su (6) mediante uno schermo antiradiazioni, ma non su (5).

Supponendo che le singole incertezze menzionate siano indipendenti l'una dall'altra e di natura casuale e che non esistano errori sistematici, l'approccio secondo [4] dà luogo alle seguenti incertezze della misura degli strumenti utilizzati, degli strumenti installati e infine della misurazione stessa.

Per gli strumenti si considerano (1) e (2) ottenendo le seguenti **incertezze degli strumenti**.

| | | | |
|-----------|----------------------|---|----------|
| Ahlborn: | $\sqrt{5^2 + 0.4^2}$ | = | 5,0 = 5% |
| greenTEG: | $\sqrt{3^2 + 2.5^2}$ | = | 3,9 = 4% |
| Testo: | $\sqrt{1.5^2}$ | = | 1,5 = 2% |

Se si include l'incertezza dovuta all'installazione, tenendo conto di (3) si ottiene la seguente incertezza totale per gli **strumenti installati** (inclusi (1) e (2)).

| | | | |
|-----------|----------------------------|---|----------|
| Ahlborn: | $\sqrt{5^2 + 0.4^2 + 5^2}$ | = | 7,1 = 7% |
| greenTEG: | $\sqrt{3^2 + 2.5^2 + 5^2}$ | = | 6,3 = 6% |
| Testo: | $\sqrt{1.5^2 + 5^2}$ | = | 5,2 = 5% |

Infine, considerando (4), (5) e (6), (inclusi (1), (2) e (3)), i risultati di misurazione ottenuti mostrano le seguenti **incertezze totali di misurazione**.

| | | | |
|-----------|---|---|------------|
| Ahlborn: | $\sqrt{5^2 + 0.4^2 + 5^2 + 2^2 + 10^2 + 5^2}$ | = | 13,4 = 13% |
| greenTEG: | $\sqrt{3^2 + 2.5^2 + 5^2 + 2^2 + 10^2 + 5^2}$ | = | 13,0 = 13% |
| Testo: | $\sqrt{1.5^2 + 5^2 + 10^2 + 5^2}$ | = | 12,3 = 12% |

In tali incertezze totali, è possibile sostituire le incertezze degli strumenti di misura (primi due termici) considerando gli strumenti di misura negli **approcci di calcolo** in base all'elenco seguente. Si tiene conto di quali e quante grandezze misurabili (con l'incertezza associata) sono incluse nella formula di calcolo del valore U.

| | | | | |
|----------------------------|---|---------------------------|---|------|
| δF_{1m} , Ahlborn | = | 0,06 W/(m ² K) | = | 5%, |
| δF_{1m} , greenTEG | = | 0,04 W/(m ² K) | = | 4%, |
| δF_{2m} , Ahlborn | = | 0,04 W/(m ² K) | = | 3% e |
| δF_{2m} , Testo | = | 0,14 W/(m ² K) | = | 12%. |

L'incertezza del risultato aumenta con l'aumentare del numero di variabili misurate (quindi anche delle incertezze) incluse nella formula di calcolo. Segue la **misurazione dell'incertezza totale considerando l'approccio di calcolo quando si usano gli strumenti di misura indicati**:

| | | |
|---------------|---------------------------------------|-------|
| Ahlborn, F1: | $\sqrt{5^2 + 5^2 + 2 + 10^2 + 5^2}$ | = 13% |
| Ahlborn, F2: | $\sqrt{3^2 + 5^2 + 10^2 + 5^2}$ | = 13% |
| greenTEG, F1: | $\sqrt{4^2 + 5^2 + 2^2 + 10^2 + 5^2}$ | = 13% |
| Testo, F2: | $\sqrt{12^2 + 5^2 + 10^2 + 5^2}$ | = 17% |

Questo risultato, o il risultato rettificato qualora si utilizzi un altro strumento, deve essere aggiunto alla specifica del valore U misurato come misurazione dell'incertezza totale incluso il metodo di calcolo, di solito con l'indicazione <valore misurato> ± x%, o come barre di errore positive e negative in una rappresentazione grafica.

2. Misurazione in loco

2.1 Pianificazione della misurazione

2.1.1 Stagione e durata

La differenza tra la temperatura interna e quella esterna dovrebbe essere la maggiore possibile. 15 K sono un buon valore di riferimento, meglio 20 K. Di solito, minore è la differenza di temperatura, maggiore è l'oscillazione dei valori U risultanti, pertanto è più difficile ottenere una misurazione valida. Nel caso di piccole differenze di temperatura (< 15 K), potrebbe risultare impossibile ottenere un risultato di misurazione significativo con strumenti di misura basati sulla temperatura.

La durata di misurazione minima in condizioni ideali è di 72 ore. Si consiglia tuttavia di pianificare un periodo di misurazione più esteso (circa una settimana, qualora la validità possa essere controllata durante la misurazione), poiché è molto probabile che dopo 72 ore non si ottenga una misurazione valida. Nel caso degli strumenti di misura per i quali la validità ai sensi della norma non viene provata durante la misurazione, occorre valutare la misurazione immediatamente in loco prima di interromperla oppure scegliere un periodo di misurazione sufficientemente esteso (circa 10 giorni). Tuttavia quest'ultima procedura può, nel peggiore dei casi, comportare ancora una misurazione non valida.

2.1.2 Attrezzatura necessaria

Oltre allo strumento di misura, per eseguire la misurazione sono necessari i seguenti materiali:

- Materiale di fissaggio dei sensori (vedere la sezione 2.2.2)
- Qualora sia prevista la misurazione della temperatura superficiale: nastro di rame e un pezzo di EPS (o materiale isolante simile) di circa 2 x 2 x 1 cm
- Schermatura per le sonde termiche dell'aria esterna (vedere la sezione 2.2.2)
- Possibilità di fissare le sonde termiche dell'aria esterna ad una distanza di circa 20 cm dalla parete esterna (ad es. con archetto).

2.1.3 Misurazione di prova

Se si utilizza lo strumento di misura per la prima volta o dopo una lunga pausa, si raccomanda di procedere a una misurazione di prova per verificarne la funzionalità, soprattutto se la misurazione in loco è possibile solo in un periodo determinato e di conseguenza si desidera evitare le operazioni a vuoto. Nel caso di interruzioni più lunghe, controllare la validità della calibrazione in tempo utile prima del giorno in cui avverrà la misurazione.

2.1.4 Numero di misurazioni

Se possibile, ripetere la misurazione in diversi punti dell'elemento edile per evitare effetti casuali, idealmente con condizioni quadro identiche, ovvero con diversi strumenti di misura (costruttivamente identici) allo stesso tempo.

2.2 Procedura di misurazione

2.2.1 Selezione del punto di rilevamento

Il punto di rilevamento deve preferibilmente avere le seguenti caratteristiche:

- La temperatura interna del locale deve essere il più costante possibile. Idealmente, il locale è riscaldato ma non viene usato durante la misurazione (evitare la ventilazione tramite finestre).
- Le pareti non devono essere umide.
- Evitare esterni soleggiati; preferire pertanto un orientamento a nord
- La parete esterna deve essere accessibile, poiché su di essa vengono montate le sonde termiche dell'aria esterna (ed eventualmente il sensore della temperatura superficiale). A seconda dello strumento di misura, le sonde termiche dell'aria esterna e il registratore sono collegati mediante un cavo.
- Evitare un punto di rilevamento interno sopra un radiatore e selezionarla ad almeno 1 m dalla finestra e dall'angolo del locale, dal pavimento e dal soffitto (o altri ponti termici) (vedere la Fig. 5).

Se è disponibile una termocamera, prima della misurazione può essere utile ispezionare la parete per individuare eventuali irregolarità (ad es. giunti, cambiamenti di materiale come supporti metallici sotto lo strato di intonaco).

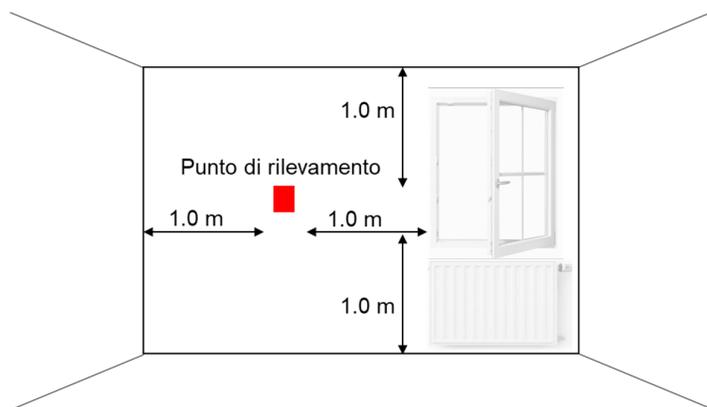


Fig. 5 Requisiti del punto di rilevamento per la misurazione del valore U.

2.2.2 Fissaggio delle sonde alla parete

Se possibile, fissare la strumentazione per la misurazione interna ed esterna alla stessa altezza.

Considerato che il fissaggio delle sonde può lasciare macchie sul muro, anche svolgendo un lavoro accurato, si consiglia di eseguire la misurazione in un punto in cui siano ammesse delle macchie o dove disturbino il meno possibile (ad es. togliendo un quadro o spostando un piccolo mobile per la durata della misurazione).

2.2.2.1 Adesivi e agenti di contatto

Esempi di adesivi che di solito non lasciano segni su superfici lisce e aderiscono bene:

- Scotch 244 High Precision (nastro con un solo lato adesivo)
- Nastro per imbianchini Tesa Professional per interni (nastro con un solo lato adesivo)
- Strips 3M Command (strisce adesive su due lati, non aderiscono a tutte le superfici)

Esempi di adesivi che lasciano pochi segni su superfici ruvide e aderiscono bene:

- Stucco termico conduttivo di greenTEG "Putty" (massa adesiva/di contatto morbida, color crema)
- «Blue-Tack» di Bostik (massa adesiva/di contatto azzurra di durezza media)
- «UHU Patafix» (massa adesiva/di contatto bianca di durezza media)

Nel caso delle masse adesive/di contatto, possono rimanere leggere macchie di grasso e piccoli frammenti tra i grani di intonaco, che possono essere tamponati con una pallina dello stesso materiale.

In genere si può stabilire fin da subito l'aderenza dei prodotti menzionati. Se aderiscono saldamente alla parete all'inizio, continuano ad aderire anche durante il periodo di fissaggio desiderato.

Dopo la misurazione con i sensori si può rimuovere accuratamente la pasta termoconduttiva mediante “Sterilium classic pur” (disinfettante per le mani, idratante). Prima di pulire un angolo del sensore, verificare attentamente che la relativa superficie non venga aggredita. L’acetone (solvente per unghie) aggredisce molte superfici.

2.2.2.2 Piastra di flusso termico

Qualora possano formarsi macchie sulla parete:

- Fondamentalmente, si raccomanda di fissare la piastra di flusso termico alla parete con pasta termoconduttiva. Applicare alla parte posteriore della piastra di flusso termico uno strato sufficientemente spesso di pasta termoconduttiva in modo da assicurare che la piastra sia a filo con la parete. Tra la parete e la piastra non ci devono essere bolle d’aria. Inoltre fissare con nastro adesivo la piastra agli angoli o lungo il perimetro.

Qualora non possano formarsi macchie sulla parete:

- Su superfici lisce, è possibile applicare la piastra di flusso termico direttamente sulla parete e fissarla sul retro con del nastro adesivo.
- Su superfici ruvide si può usare lo stucco di greenTEG (“Putty”).

In base ai calcoli simulati, la possibile incertezza causata da un adesivo o da un agente di contatto scarsamente conduttivo rispetto a materiale ben conduttivo comporta una sottostima del valore U al max del 2% ca., pertanto può essere considerato come bassa.

Per la procedura di misurazione, si fornisce pertanto la seguente raccomandazione: per evitare errori causati da bolle d’aria intrappolate tra il sensore e la superficie della parete (questo errore non è stato simulato), usare il più possibile la pasta termoconduttiva. Se non sono ammesse tracce di sporco sulla superficie della parete, si può rinunciare alla pasta termoconduttiva per le superfici lisce della parete senza aumentare l’incertezza. Nel caso di superfici ruvide, usare lo stucco o, qualora nemmeno questo sia possibile, aumentare l’incertezza da tenere in considerazione (3).

2.2.2.3 Sonda termica dell’aria interna

Posizionare la sonda preferibilmente ad almeno 10 cm dalla superficie della parete. I conduttori di prova rigidi in filo metallico (ad es. nei termoelementi) possono essere piegati di conseguenza. Nel caso delle sonde con conduttori flessibili, si può piegare un supporto del filo.

2.2.2.4 Sonde della temperatura superficiale interna

Coprire la testa della sonda con una piccola striscia di nastro di rame; si consiglia eventualmente un cubo di EPS spesso un cm delle dimensioni di circa 2 x 2 cm², quindi fissare il tutto con nastro con un solo lato adesivo (vedere la Fig. 8).

2.2.2.5 Sonda termica dell’aria esterna

Montare sempre le sonde termiche dell’aria esterna all’ombra con uno schermo antiradiazioni.

Posizionare le sonde ad almeno 20 cm dalla parete. Come schermi antiradiazioni sono particolarmente adatte le custodie protettive delle sonde termiche e/o delle stazioni meteorologiche. In alternativa è possibile tagliare su misura piccoli vasi da fiori di plastica, vasetti di yogurt o bottiglie di PET, coprirli con una pellicola di alluminio e metterli sopra il sensore (vedere la Fig. 6 e la Fig. 7). Il sensore deve trovarsi all’interno del coperchio protettivo senza tuttavia toccarlo. Si deve garantire una ventilazione adeguata (il pavimento deve essere dotato di aperture adeguate).

Si sconsiglia il posizionamento dietro le persiane, poiché la possibile formazione di un cuscino d’aria calda distorcerebbe il valore della temperatura dell’aria esterna.



Fig. 6 Custodia protettiva per le sonde termiche dell'aria esterna.

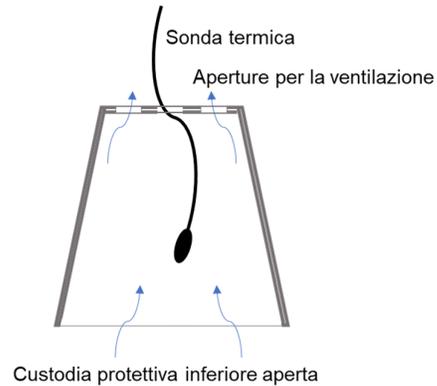


Fig. 7 Disegno schematico delle custodie protettive.

2.2.2.6 Sonde della temperatura superficiale esterna

Non montare la sonda su una parete soleggiata. Coprire la testa della sonda con una piccola striscia di nastro di rame, con un cubo di EPS spesso un cm delle dimensioni di circa $2 \times 2 \text{ cm}^2$, quindi fissare il tutto con nastro con un solo lato adesivo (vedere la Fig. 9).

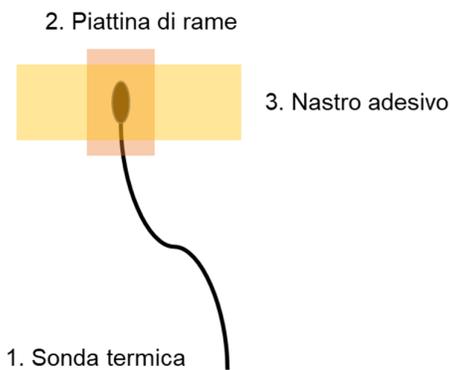


Fig. 8 Fissaggio della sonda della temperatura superficiale interna.

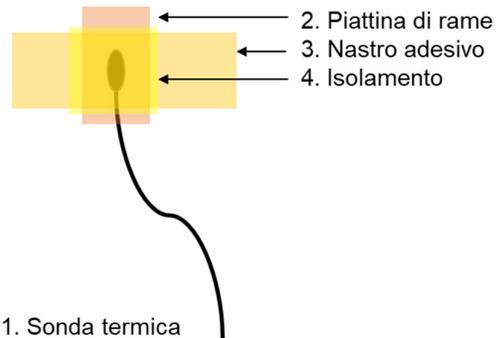


Fig. 9 Fissaggio della sonda della temperatura superficiale esterna.

2.2.3 Memorizzazione dei dati

Gli strumenti di misura attuali sono di solito dotati di un registratore di dati indipendente dal computer. Per consentire il funzionamento dello strumento e la lettura dei dati, il registratore è collegato a un PC. Se per la misura si usano PC con versioni di Windows precedenti, si raccomanda di verificarne la compatibilità. È sufficiente rilevare e salvare i valori ogni 10 minuti.

2.2.4 Controllo della misurazione attuale

Le misurazioni dopo 24 ore controllano il funzionamento dell'acquisizione dei dati.

2.3 Note specifiche sullo strumento di misura

I seguenti consigli si riferiscono alla generazione e alla versione di strumenti e programmi utilizzati nel progetto. Non sono presi in considerazione eventuali miglioramenti o cambiamenti realizzati nel frattempo dai produttori.

2.3.1 greenTEG gSKIN U-Value KIT [2]

- Assicurarsi che la calibrazione della piastra di flusso termico venga annotata nel software.

- Assicurarsi che il registratore di dati sia carico.

2.3.2 Testo 635-2 U-Wert-Set [3]

- Lo strumento di misura del valore U non è progettato, come standard, per misurazioni a lungo termine di diversi giorni a causa della durata della batteria, per cui la ditta raccomanda di usare un alimentatore (accessorio).
- Il sensore radio dispone di una funzione di spegnimento automatico. Per disattivarla, il cursore sinistro nel pacco batterie deve trovarsi nella posizione indicata (vedere la freccia verde nella Fig. 10). Esiste una funzione di spegnimento automatico anche nello strumento di misura stesso. Si raccomanda di disattivarla contemporaneamente alla funzione di spegnimento automatico del software dello strumento di misura (se si usa lo strumento tramite il PC durante la misurazione).
- Valore U in uscita: Calcolo del valore U per ogni fase temporale. Non viene eseguita alcuna prova come da norma ISO 9869-1.



Fig. 10 Cursore per disattivare la funzione di spegnimento automatico (freccia verde) nello strumento di misura di Testo.

2.3.3 Ahlborn Almemo [1]

- Valore U in uscita: Calcolo del valore U sperimentale (ValoreU_F2) per ogni fase temporale, quindi calcolo della media di questo valore U. Nessuna prova come da norma ISO 9869-1.

3. Lista di controllo per le autorità per verificare le misurazioni

Questa lista di controllo ha lo scopo di consentire la verifica della cura e della qualità di esecuzione di una misurazione del valore U. Nella valutazione rientra un controllo di plausibilità dei valori misurati, che potrebbe avvenire ad es. calcolando i valori U attesi nel caso di costruzioni presunte.

| Argomento | | Commento e guida |
|----------------------------------|---|--|
| Documentazione | Dati relativi all'elemento edile misurato (posizione nell'edificio, punto di rilevamento, orientamento, scopo della misurazione, tipo di elemento edile, spessore, struttura) | Orientamento dell'elemento edile verso nord o parete completamente ombreggiata, distanza da ponti termici chiari e sorgenti di calore (radiatori) > 1 m; se pertinente, nota sul motivo per cui una condizione non può essere soddisfatta e sul modo in cui il problema viene affrontato (ad es. aumento dell'incertezza). Per ulteriori informazioni si rimanda al capitolo 2.1.1 |
| | Differenza tra le temperature interna ed esterna | Per gli strumenti basati sulla temperatura, eseguire se possibile le misurazioni con una differenza di temperatura di almeno $\Delta\theta > 15$ K tra l'interno e l'esterno (inverno); questo valore può anche essere inferiore nel caso degli strumenti con piastra di flusso termico. Per ulteriori informazioni si rimanda al capitolo 2.1.1 |
| | Indicazione sul periodo di misurazione | |
| | Frequenza di acquisizione dei dati | ≤ 30 minuti, intervallo ≥ 60 minuti da analizzare criticamente. Per ulteriori informazioni si rimanda al capitolo 2.2.3 |
| | Durata della misurazione (almeno ≥ 72 h) fino al raggiungimento della validità ai sensi della norma ISO 9869-1 | Sono da rifiutare misurazioni più corte, senza una motivazione convincente. Per ulteriori informazioni si rimanda al capitolo 0 |
| | Controllo della validità della misurazione secondo la norma ISO 9869-1 | Consiglio: deve essere incluso e soddisfatto. Per ulteriori informazioni si rimanda al capitolo 0 |
| | Stima dell'incertezza della misura | Consiglio: deve essere incluso. Per ulteriori informazioni si rimanda al capitolo 1.6 |
| Configurazione della misurazione | Prevedere una sonda termica con uno schermo antiradiazioni all'esterno? | Consigliato. Per ulteriori informazioni si rimanda al capitolo 2.2.2.5 |
| | Distanza fra parete e sonda termica esterna (min. 20 cm ca.) e interna (min. 10 cm ca.)? | Consigliato. Per ulteriori informazioni si rimanda al capitolo 2.2.2 |

4. Elenco delle abbreviazioni

4.1 Variabili

ϵ = Emissività

h = Coefficienti di trasmissione del calore (W/m^2K)

λ = Conduttività termica ($W/(m K)$)

q = Densità di flusso di calore (W/m^2); variabile in uscita della piastra di flusso termico

R = Resistenza alla trasmissione termica ($m^2 K/W$)

RT = Resistività termica ($m^2 K/W$)

σ = Costante di Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W/(m^2 K^4)$)

θ = Temperatura ($^{\circ}C$)

θ_i = Temperatura ambiente interna; in seguito, secondo la definizione del valore U basata sulla temperatura dell'aria, viene usata la temperatura dell'aria (per i dettagli si rimanda a [4], 4.2 e all'allegato A) ($^{\circ}C$)

T = Temperatura (K)

U = Coefficiente di trasmissione termica ($W/(m^2K)$)

Λ = Conduttività termica ($W/(m^2 K)$) = $q/(\theta_{si} - \theta_{se})$

W = Flusso termico in (W)

4.1 Indici

c = convettivo

e = esterno

i = interno

r = radiazione onde lunghe (radiativo)

s = simulazione

si = superficie interna

se = superficie esterna

5. Bibliografia

- [1] Ahlborn, "Wärmeflussplatte (Typ 117), Thermodratfühler (NiCr-Ni) Datenlogger Almemo 809 (V7)," 2018.
- [2] greenTEG, "gSKIN KIT-2615C calibrated (U-Value Kit)," 2018.
- [3] Testo, "Feuchte-/Temperatur-Messgerät mit Messwertspeicher, Testo 635-2," 2018.
- [4] ISO 9869-1, *Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance - Part 1: Heat flow meter method*. 2014.
- [5] J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, 2nd ed. Melville: University Science Books, 1997.