

Verification of a CubeSat via Hardware-in-the-loop Simulation

*Original*

Verification of a CubeSat via Hardware-in-the-loop Simulation / Corpino, Sabrina; Stesina, Fabrizio. - In: IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS. - ISSN 0018-9251. - ELETTRONICO. - 50:4(2014). [10.1109/TAES.2014.130370]

*Availability:*

This version is available at: 11583/2535907 since:

*Publisher:*

IEEE

*Published*

DOI:10.1109/TAES.2014.130370

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# GUIDA ALLA VALUTAZIONE DEI PONTI TERMICI

Conforme alle norme UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211



Alice Gorrino | Alfonso Capozzoli | Vincenzo Corrado | Paola Soma

EDIZIONI  
**EDILCLIMA®**



Tutti i diritti riservati.

Pubblicazione grafica: UNIDEA srl - Gozzano - NO

Finito di stampare nel mese di dicembre 2022

# **GUIDA**

## ALLA VALUTAZIONE DEI

# **PONTI TERMICI**

Conforme alle norme UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211

Alice Gorrino | Alfonso Capozzoli | Vincenzo Corrado | Paola Soma

EDIZIONI  
**EDILCLIMA®**



Nel 2011 gli Autori di questo volume pubblicarono, per lo stesso editore, l'Atlante Nazionale dei Ponti Termici, un testo che riportava i valori di trasmittanza termica lineare per un centinaio di diverse tipologie di ponte termico al variare dei parametri di maggior interesse progettuale, quali la configurazione geometrica e le caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi interessati.

I valori allora messi a disposizione dei progettisti erano stati calcolati in conformità alla procedura di calcolo dettagliata prevista dalla normativa tecnica (UNI EN ISO 14683 e UNI EN ISO 10211) ed il volume era corredato da un software, denominato *Thermal Bridge Evaluator*, creato per facilitare l'utilizzo dell'Atlante e l'interpolazione dei dati in esso tabulati. Da allora sono stati molteplici gli sviluppi normativi e legislativi che hanno indotto una progressiva evoluzione della progettazione edile e termotecnica, passando da un approccio semplificato ad uno sempre più dettagliato. Rispetto a una decina di anni fa sono stati introdotti requisiti energetici minimi stringenti, che richiedono calcoli rigorosi e non ammettono le sovrastime cautelative che caratterizzavano i metodi semplificati.

In particolare l'utilizzo di metodi numerici per la valutazione dei ponti termici è divenuta condizione necessaria per affrontare il calcolo della prestazione energetica di edifici a basso e bassissimo consumo energetico, quali i nearly Zero Energy Building cui fa riferimento la più recente normativa europea e nazionale.

Oggi gli Atlanti rimangono strumenti pur sempre validi, ma solo per valutare i nodi degli edifici esistenti di cui si ha una conoscenza approssimata; mentre la corretta progettazione energetica di un edificio di nuova costruzione non può fare a meno di ricorrere a strumenti e competenze di livello superiore, in grado di valutare nodi tecnologici anche complessi, modellati in ogni loro dettaglio di configurazione geometrica e caratterizzazione termofisica.

Bene hanno quindi fatto gli Autori a ripensare ad un testo sui ponti termici che offre valutazioni analitiche effettuate con strumenti di calcolo evoluti.

Dopo un primo capitolo introduttivo riguardante, in generale, la valutazione delle dispersioni termiche attraverso i ponti termici, gli Autori affrontano, in un secondo capitolo, il problema della caratterizzazione termica di alcune tipologie di ponte termico non convenzionali e, in un terzo capitolo, gli effetti dei ponti termici sul fenomeno della condensazione superficiale.

Nel quarto capitolo gli Autori conducono il progettista, passo dopo passo, alla determinazione per via numerica sia del valore del fattore di temperatura, utile per verificare i fenomeni di condensazione superficiale, sia della trasmittanza termica lineare di un nodo con tre temperature al contorno. A scopo esemplificativo propongono l'impiego del software *Therm*, disponibile gratuitamente, che effettua il calcolo dei flussi termici e delle temperature interne di un nodo bidimensionale attraverso un calcolo agli elementi finiti con procedura iterativa per la risoluzione delle equazioni differenziali.

Nel quinto e ultimo capitolo gli Autori propongono alcuni casi di studio reali su cui vengono simulati scenari di ristrutturazione edilizia, allo scopo di analizzare i ponti termici maggiormente influenti in termini di dispersioni termiche e più problematici per la formazione di muffa e di fornire spunti progettuali per la loro correzione.

Non sono pochi i libri che nell'ultimo decennio hanno trattato la tematica dei ponti termici in edilizia, proponendo metodi di valutazione dei loro effetti e soluzioni per la loro correzione, ma è mia convinzione che il progettista edile non abbia bisogno di "ricette", ma piuttosto debba essere in grado di operare con metodi e strumenti appropriati che gli consentano di essere libero di introdurre consapevolmente elementi di innovazione nel progetto. Questo testo, che nasce dalla collaborazione di professori del Dipartimento Energia del Politecnico di Torino con la società Edilclima Engineering & Software, svolge un tale compito e mi congratulo con gli Autori per l'utile lavoro fatto e per l'impegno profuso.

Marco Filippi  
Professore Emerito del Politecnico di Torino

Con l'entrata in vigore della nuova Direttiva Europea 2018/844, che modifica l'EPBD sulla prestazione energetica degli edifici, è stata ulteriormente incentivata l'iniziativa di ogni Stato membro a promuovere interventi sul patrimonio edilizio volti sia alla realizzazione di edifici ad altissima prestazione energetica sia alla riqualificazione di edifici esistenti. Inoltre l'attuale Direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia è in fase di revisione nell'ambito del pacchetto "Fit for 55" con l'obiettivo di portare il parco edilizio ad emissioni zero entro il 2050.

Al fine di conseguire questi obiettivi, al progettista è demandato il compito di individuare soluzioni di involucro innovative che, per loro natura, richiedono una maggiore cura alla modellazione del dettaglio costruttivo. Soluzioni tecnologiche di involucro ad alta prestazione, infatti, richiedono una particolare attenzione nella valutazione degli scambi di energia attraverso i ponti termici, per cui diventa necessario individuare metodologie di calcolo e di modellazione dettagliate ed efficaci per apprezzare i benefici di una corretta progettazione.

In questo contesto i metodi semplificati generalmente utilizzati per la modellazione dello scambio termico attraverso i ponti termici, non possono più ritenersi efficaci e sufficientemente accurati in presenza di soluzioni tecnologiche di involucro edilizio non convenzionali o ad altissima prestazione.

A tale scopo, questo libro fornisce, nel primo capitolo, elementi teorici connessi al fenomeno fisico del ponte termico e in particolare viene condotta un'analisi critica delle metodologie dettagliate per il calcolo degli scambi di energia termica secondo le norme tecniche UNI EN ISO 14683:2018 e UNI EN ISO 10211:2018.

Nel secondo capitolo sono forniti esempi di caratterizzazione termica di elementi di involucro non convenzionali. Sono trattati, infatti, casi di tipologie di ponte termico con più di due temperature al contorno, ponti termici a contatto con il terreno ed in prossimità della giunzione parete – telaio. Nello stesso capitolo, sono inoltre analizzati i casi in cui vi è la necessità di scomporre il flusso termico attraverso un nodo, quando questo ad esempio risulti confinante con due zone termiche distinte per le quali si intende effettuare un calcolo separato.

Considerando che i ponti termici possono dare luogo a basse temperature della superficie interna dell'involucro, nel terzo capitolo è discusso il tema del possibile fenomeno della condensazione superficiale per mezzo del fattore di temperatura.

Nel quarto capitolo viene affrontato il tema della valutazione analitica dei ponti termici attraverso l'analisi critica dei dati di ingresso necessari, sia per il calcolo della trasmittanza termica lineare, sia del fattore di temperatura. In questo stesso capitolo vengono fornite linee guida per l'utilizzo del software Therm: esso consente la valutazione dei flussi termici e delle temperature interne di nodi bidimensionali attraverso il calcolo agli elementi finiti con procedura iterativa per la risoluzione delle equazioni differenziali.

Infine, nel quinto ed ultimo capitolo vengono proposti casi di studio reali, sui quali vengono simulati alcuni scenari di ristrutturazione edilizia, atti a soddisfare gli attuali requisiti energetici della legislazione nazionale vigente, allo scopo di analizzare il comportamento di alcuni ponti termici ricorrenti e "problematici" dal punto di vista delle dispersioni termiche e del rischio di formazione muffa. Alcuni spunti progettuali per la correzione di questi nodi sono quindi forniti.

<b>1. La valutazione delle dispersioni di calore attraverso i ponti termici</b> .....	6
1.1 Il fenomeno fisico e le tipologie di ponte termico.....	6
1.2 La quantificazione delle dispersioni di calore attraverso i ponti termici.....	8
1.2.1 Le dispersioni di energia termica per trasmissione attraverso l'involucro edilizio.....	9
1.2.2 La norma UNI EN ISO 14683:2018.....	11
1.2.3 La norma UNI EN ISO 10211:2018.....	13
<b>2. Metodologie ed esempi di calcolo per la caratterizzazione termica di ponti termici non convenzionali</b> .....	24
2.1 I ponti termici verso ambienti non climatizzati.....	24
2.2 I ponti termici a contatto con il terreno.....	32
2.2.1 Pavimento contro terra.....	32
2.2.2 Pavimento su intercapedine.....	36
2.2.3 Ponte termico con piano interrato o seminterrato riscaldato.....	40
2.2.4 Ponte termico con piano interrato o seminterrato non riscaldato.....	44
2.3 I ponti termici in prossimità di finestre e porte.....	48
2.3.1 Il sistema parete-serramento-cassonetto.....	53
2.4 La ripartizione del flusso termico verso zone termiche adiacenti in prossimità di un nodo.....	60
2.5 Calcolo di ponti termici modulari con scarsa influenza termica.....	61
2.6 Il caso dei ponti termici in adiacenza.....	63
<b>3. Gli effetti del ponte termico sul fenomeno della condensazione superficiale</b> .....	66
3.1 Il fenomeno fisico.....	66
3.2 Il calcolo del fattore di temperatura sulla superficie interna.....	67
3.2.1 Flusso termico multidimensionale.....	67
3.2.2 Il caso di più di due temperature al contorno.....	68
3.2.3 I ponti termici a contatto con il terreno.....	69
<b>4. L'utilizzo di metodi numerici per la valutazione analitica dei ponti termici attraverso Therm</b> .....	70
4.1 I dati di ingresso.....	70
4.2 L'elaborazione dell'output.....	71
4.3 Guida all'utilizzo di Therm per il calcolo numerico dei ponti termici.....	72
4.3.1 Preparazione del disegno.....	72
4.3.2 Impostazione dei materiali e delle condizioni al contorno.....	73
4.3.3 Identificazione delle superfici disperdenti sulle quali eseguire i calcoli.....	78
4.3.4 Impostazioni per il calcolo numerico e controllo dell'errore residuo.....	79
4.3.5 Visualizzazione ed elaborazione dell'output.....	81
4.3.6 Calcolo del fattore di temperatura.....	83
4.3.7 Calcolo delle trasmittanze termiche lineari suddivise per zone termiche.....	84
<b>5. Analisi e correzione di ponti termici ricorrenti nelle ristrutturazioni edilizie</b> .....	86
5.1 Il panorama legislativo italiano e i requisiti di involucro secondo il Decreto Requisiti Minimi.....	87
5.2 Casi di ristrutturazioni edilizia: esempi di correzione dei ponti termici e analisi dei requisiti di involucro.....	90
5.2.1 Caso di studio 1: palazzina con pareti a cassa vuota.....	91
5.2.2 Caso di studio 2: villetta plurifamiliare con pareti in blocchi in laterizio forato.....	96
5.2.3 Caso di studio 3: condominio con pareti a cassa vuota.....	101
5.2.4 Riepilogo casi di studio.....	108
Simboli, grandezze e unità di misura ricorrenti.....	110
Apici e pedici ricorrenti.....	111
Riferimenti.....	112
Bibliografia.....	113