

Domenico Pepe

INDAGINI TERMOGRAFICHE DEI PONTI TERMICI

DALLA SIMULAZIONE TERMOGRAFICA ALL'ANALISI
CON TERMOCAMERA CON INDICAZIONI PRATICHE
PER EDIFICI CERTIFICATI CASACLIMA O PASSIVHAUS

Con la collaborazione di:

- Marco Boscolo
- Luca Devigili (Agenzia CasaClima)
- Francesco Nesi (ZEPHIR Passivhaus Italia)

Prefazione a cura di: Massimo Rossetti

Introduzione a cura di: Ruben Erlacher

1^a edizione

 Legislazione Tecnica

"If you cannot measure it, you cannot improve it"
Lord Kelvin

© Copyright Legislazione Tecnica 2016

La riproduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione con qualsiasi mezzo, nonché la memorizzazione elettronica, sono riservati per tutti i paesi.

Finito di stampare nel mese di ottobre 2016 da
Stabilimento Tipolitografico Ugo Quintily S.p.A.
Viale Enrico Ortolani 149/151 – Zona industriale di Acilia – 00125 Roma

Legislazione Tecnica S.r.L.
00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti
Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068
servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it
Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il progettista nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del progettista la selezione della soluzione da adottare e le conseguenti analisi e dimensionamenti delle strutture e dei componenti.

Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

INDICE

UN CONTRIBUTO CONCRETO ALL'EFFICIENZA ENERGETICA <i>(Prefazione a cura di Massimo Rossetti)</i>	9
INTRODUZIONE <i>(A cura di Ruben Erlacher)</i>	15
CAPITOLO 1 - Il bilancio energetico degli edifici	21
1.1. Patrimonio edilizio, caratteristiche climatiche italiane e potenzialità di riqualificazione energetica	21
1.2. L'efficienza, il risparmio e la produzione energetica: una questione etica	23
1.3. Il bilancio energetico di un edificio	24
CAPITOLO 2 - Implicazioni per la presenza di ponti termici	27
2.1. I ponti termici nelle costruzioni	27
2.2. Gli effetti dei ponti termici	28
2.2.1. Conseguenze energetiche: dispersioni termiche, incremento del fabbisogno energetico e delle emissioni climalteranti (gas serra)	28
2.2.2. Conseguenze igienico sanitarie: formazione di condensa o muffe	29
2.2.2.1. <i>Rischio della formazione di muffa e pericolo sanitario</i>	30
2.2.3. Discomfort per asimmetria radiante	35
2.2.4. Possibili problemi di degrado dei materiali e problemi strutturali	38
2.2.5. Contenziosi legali	39
2.2.5.1. <i>Verifiche preliminari al contenzioso legale</i>	39
2.2.5.2. <i>Intervista all'inquilino</i>	40
2.2.5.3. <i>Verifiche durante il sopralluogo</i>	41
2.3. Ponte termico: definizione	41
2.3.1. Il ponte termico e l'influenza sulla temperatura e sulla potenza termica	43
2.3.1.1. <i>La temperatura superficiale</i>	43
2.3.1.2. <i>La potenza termica</i>	45
2.3.2. Le tipologie di ponte termico	46
2.3.2.1. <i>Ponte termico nelle strutture edilizie</i>	46
2.3.2.2. <i>Ponte termico per disomogeneità geometrica</i>	47
2.3.2.3. <i>Ponte termico per disomogeneità materica</i>	49
2.3.2.4. <i>Individuazione del punto di riferimento del ponte termico</i>	51
2.4. La normativa di riferimento	53
2.4.1. La norma UNI TS 11300-1:2014 e i ponti termici	53
2.4.2. Introduzione alla norma UNI EN ISO 14683:2008	53
2.4.3. Introduzione alla norma UNI EN ISO 10211-1:2008	54

2.4.4.	La UNI EN ISO 13788:2013 e le possibili implicazioni su ponti termici	54
2.4.5.	La UNI EN 15242:2008 e le possibili implicazioni dei ponti termici	55
2.4.6.	La CEN TR 14788 e le possibili implicazioni dei ponti termici ..	55
2.5.	Legislazione di riferimento	56
2.5.1.	Il D. Leg.vo 29 dicembre 2006, n. 311	56
2.5.2.	D.M. 26 giugno 2015, requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici	57
2.6.	Best Practice	57
2.6.1.	Requisiti di certificazione CasaClima e ponti termici	58
	<i>(A cura dell'Arch. Luca Devigili, Agenzia CasaClima)</i>	
2.6.1.1.	<i>Ponti termici</i>	59
2.6.1.2.	<i>Condizioni di calcolo per la verifica della temperatura superficiale</i>	60
2.6.1.3.	<i>Riferimenti bibliografici del par. 2.6.1</i>	68
2.6.1.4.	<i>Normativa tecnica del par. 2.6.1</i>	68
2.6.2.	Lo standard Passivhaus	69
	<i>(A cura del Dr. Phys. Francesco Nesi, ZEPHIR Passivhaus Italia)</i>	
2.6.2.1.	<i>Verifica della temperatura superficiale</i>	71
2.6.2.2.	<i>Verifica della potenza termica</i>	73
2.6.2.3.	<i>Note generali</i>	74
2.6.2.4.	<i>Riferimenti bibliografici del par. 2.6.2</i>	74
2.7.	Prime indicazioni per il risanamento	75
2.7.1.	Come risanare	78
2.7.1.1.	<i>Prevenire la formazione delle muffe negli edifici esistenti</i>	78
CAPITOLO 3 - La conformazione dei ponti termici		81
3.1.	Tipologie di ponti termici	81
3.2.	Definizione del ponte termico lineare	81
3.2.1.	Basi teoriche per la valutazione del ponte termico lineare	82
3.2.1.1.	<i>Valutazione dell'incremento di costo per la climatizzazione invernale causato dalla presenza di un ponte termico lineare</i>	84
3.2.1.2.	<i>Valutazione dell'incremento del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale causato dalla presenza di un ponte termico lineare</i>	85
3.2.2.	Valutazione del ponte termico lineare	86
3.2.2.1.	<i>Valutazione tramite maggiorazione percentuale</i>	87
3.2.2.2.	<i>Valori di riferimento tramite valutazione semplificata con nodi tabellati</i>	88
3.2.2.3.	<i>Calcoli manuali secondo UNI EN ISO 6946:2008</i> ...	88
3.2.2.4.	<i>Atlante dei ponti termici</i>	93
3.3.	Definizione del ponte termico puntuale	94
3.3.1.	Ponte termico puntuale attenuato	95

3.3.2.	Basi teoriche per la valutazione del ponte termico puntuale .	95
3.3.2.1.	<i>Valutazione dell'incremento di costo per la climatizzazione causato dalla presenza di un ponte termico puntuale</i>	97
3.3.2.2.	<i>Valutazione dell'incremento del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale causato dalla presenza di un ponte termico lineare</i>	98
3.3.3.	Valutazione del ponte termico puntuale	99
3.3.3.1.	<i>Valutazione tramite maggiorazione percentuale</i>	100
3.3.3.2.	<i>Calcoli manuali secondo la UNI EN ISO 6946:2008</i>	100
3.3.3.3.	<i>Riferimenti per i ponti termici puntuali</i>	101
3.3.3.4.	<i>Simulazioni agli elementi finiti dei ponti termici puntuali con Therm</i>	102
CAPITOLO 4 - La verifica termoigrometrica dei ponti termici		105
4.1.	Il vapore e l'aria	105
4.1.1.	L'umidità relativa	109
4.1.2.	La pressione di saturazione e parziale	111
4.1.3.	Punto di rugiada e condensa	113
4.1.4.	Calcolo della temperatura superficiale interna	114
4.1.5.	Breve approfondimento sull'umidità volumica di saturazione ed effettiva	115
4.1.6.	Condense superficiali e condizioni termoigrometriche per la formazione della muffa: UNI EN ISO 13788:2013	117
4.1.7.	Valutazione del fattore di rischio della condensa superficiale di una parete (conforme alla UNI EN ISO 13788:2013)	117
4.1.7.1.	<i>Dati di input</i>	118
4.1.7.2.	<i>Valutazione del fattore di rischio di condensa f_{Rsi}</i>	120
4.1.7.3.	<i>Alcune considerazioni</i>	123
4.1.7.4.	<i>Verifica dell'umidità superficiale massima accettabile</i>	123
4.1.8.	Approfondimento sull'umidità relativa interna di calcolo	125
4.1.8.1.	<i>Valutazione dei ricambi d'aria necessari per giungere ad una umidità relativa data</i>	125
4.1.8.2.	<i>Le classi di umidità interna</i>	125
CAPITOLO 5 - Breviario sulle impostazioni di calcolo per la valutazione dei ponti termici		127
5.1.	Definizione dei dati al contorno per le simulazioni termografiche	127
5.1.1.	Preparazione del modello geometrico alla simulazione F.E.M. in conformità con la norma UNI EN ISO 10211:2008.....	127
5.1.1.1.	<i>Scelta del nodo di studio</i>	128
5.1.1.2.	<i>Centratura del modello</i>	129
5.1.1.3.	<i>Prolungamento delle parti non perturbate</i>	129
5.1.1.4.	<i>Attacco al terreno</i>	130
5.1.2.	Resistenze superficiali	133
5.1.2.1.	<i>Considerazioni sulle resistenze superficiali</i>	135

5.1.3.	Temperature dell'aria all'interno degli ambienti riscaldati, degli ambienti confinati e all'esterno	135
5.1.3.1.	<i>Temperature interne</i>	136
5.1.3.2.	<i>Valutazione del coefficiente di temperatura</i>	139
5.1.3.3.	<i>Algoritmo semplificato per la valutazione rapida della temperatura media del mese più freddo</i>	139
5.1.3.4.	<i>Finestre</i>	140
5.1.3.5.	<i>Possibili modifiche geometriche alla modellazione</i> ..	141
5.1.4.	Utilizzo di elementi pseudo omogenei	142
5.1.5.	Tipologia dei materiali e loro conducibilità	143
5.1.6.	Le intercapedini d'aria	143

CAPITOLO 6 - Guida rapida: Therm e le impostazioni del modello per l'analisi F.E.M. tramite foglio Excel

6.1.	L'interfaccia software Therm	147
6.1.1.	Comandi rapidi	148
6.2.	Check list di controllo delle impostazioni	149
6.3.	Gestione del disegno	154
6.3.1.	Gestione di file dxf	155
6.3.1.1.	<i>Realizzazione di file dxf</i>	155
6.3.2.	Gestione importazione file immagine	156
6.3.3.	Disegno di una parete, applicazione dei materiali e delle condizioni di bordo	156
6.3.4.	Approfondimento sul disegno delle figure tramite l'immissione delle dimensioni	162
6.3.5.	Approfondimento sulla gestione delle librerie	162
6.3.6.	Opzioni grafiche di visualizzazione del risultato	163
6.3.7.	Valutazione numerica del ponte termico	166
6.3.8.	Caratteristiche del flusso termico	168
6.4.	L'interfaccia del foglio Excel	169
6.4.1.	Definizione dati al contorno	169
6.5.	Guida pratica operativa per l'analisi di un ponte termico	172


CAPITOLO 7 - Introduzione all'analisi tramite termocamera

(A cura del Prof. Ing. Marco Boscolo)

7.1.	Introduzione all'analisi termografica	181
7.1.1.	Finalità e contenuti	181
7.2.	Esempi di termogrammi	190
7.2.1.	Infiltrazioni di aria	190
7.2.2.	Infiltrazioni di acqua	190
7.2.3.	Controsoffitti	191
7.2.4.	Perdite	193
7.2.5.	Impianti idrotermosanitari	193
7.2.6.	Riscaldamento ad aria	198
7.3.	L'analisi termografica dei ponti termici	199
7.3.1.	Edifici storici	200
7.3.2.	Edifici nuovi	202
7.3.3.	Serramenti	203
7.4.	Conclusioni	205

APPENDICE 1 - Ponte termico preconfigurato	207
APPENDICE 2 - Configurazioni per la risoluzione dei ponti termici	209
APPENDICE 3 - Dati al contorno	213
APPENDICE 4 - Conducibilità dei materiali	217
APPENDICE 5 - Norme di riferimento	223
APPENDICE 6 - Legislazione	231
APPENDICE 7 - Software	233
DOWNLOAD - Indice dei contenuti aggiuntivi forniti, disponibili tramite l'Area download collegata al volume.....	235
BIBLIOGRAFIA	237
BIOGRAFIE AUTORI	239

AVVERTENZA

I contenuti aggiuntivi forniti tramite l'Area download collegata al volume sono identificati nel testo tramite l'icona 

UN CONTRIBUTO CONCRETO ALL'EFFICIENZA ENERGETICA

Prefazione a cura di Massimo Rossetti

Indagini termografiche dei ponti termici, scritto da Domenico Pepe con la collaborazione di un gruppo di professionisti, studiosi e ricercatori, rappresenta un valido strumento di supporto alla progettazione di edifici energeticamente efficienti, in un settore che, alla luce delle novità legislative e del crescente aggravarsi degli scenari ambientali, necessita di un costante aggiornamento tecnico. Il tema dei ponti termici è, infatti, tra quelli oggi di maggiore attualità, essendo strettamente legato all'efficienza dell'involucro architettonico, da cui dipende buona parte delle prestazioni energetiche dell'edificio.

Che l'attenzione verso l'impatto ambientale degli edifici sia cresciuta nel tempo è un dato certo: non è chiaro se questo dipenda dalle necessità imposte dalla crisi economica o da una più diffusa consapevolezza da parte della collettività; molto probabilmente è un insieme delle due. È evidente però che il miglioramento delle prestazioni energetiche parte da una semplice considerazione: il primo passo verso un'edilizia pienamente sostenibile è l'efficienza energetica. Il che significa, nel caso particolare di questo volume, la riduzione delle dispersioni grazie al controllo e all'eliminazione dei ponti termici. Una scelta tecnica fondamentale, che la situazione globale e il ruolo stesso dell'edilizia non consentono più di rimandare.

Lo scenario globale secondo IPCC

Le alterazioni climatiche sono un fatto. E i fatti, secondo quanto riportato nel Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sono i seguenti: *“il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile e, a partire dagli anni '50, molti dei cambiamenti osservati sono senza precedenti su scale temporali che variano da decenni a millenni. L'atmosfera e gli oceani si sono riscaldati, le quantità di neve e ghiaccio si sono ridotte, il livello del mare si è alzato, e le concentrazioni di gas serra sono aumentate”*⁽¹⁾. Ancora, si legge nel Rapporto *“l'influenza umana sul sistema climatico è chiara. Ciò è evidente dalle concentrazioni crescenti di gas serra in atmosfera, dal forzante radiativo*

⁽¹⁾ IPCC (2013), *Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Sintesi per i Decisori Politici*, pag. 2.

positivo⁽²⁾, dal riscaldamento osservato, e dalla comprensione del sistema climatico⁽³⁾.

Dagli studi condotti non risultano contesti ambientali esenti dall'effetto delle attività antropiche: *“l'influenza umana è stata rilevata nel riscaldamento dell'atmosfera e degli oceani, nelle variazioni del ciclo globale dell'acqua, nella riduzione delle coperture di neve e ghiaccio, nell'innalzamento a livello globale del livello medio del mare, e nei cambiamenti di alcuni estremi climatici. [...] È estremamente probabile⁽⁴⁾ che l'influenza umana sia stata la causa dominante del riscaldamento osservato sin dalla metà del XX secolo” [...]. È estremamente probabile che più della metà dell'aumento della temperatura superficiale media globale osservato nel periodo 1951-2010 sia stato causato dall'aumento delle concentrazioni dei gas serra antropogenici, insieme ad altri forzanti di origine antropica”⁽⁵⁾.*

Questo lo scenario complessivo. Analizzando però nel dettaglio i dati delle singole variabili, è possibile avere un quadro più chiaro, e purtroppo più drammatico, delle dimensioni del problema. Le variabili analizzate, infatti (temperatura, oceani, criosfera, livello del mare e cicli biogeochimici), indicano un peggioramento generalizzato delle condizioni ambientali del pianeta.

Nel caso delle temperature⁽⁶⁾, il Rapporto IPCC indica come gli ultimi tre decenni siano stati, in sequenza, più caldi di qualsiasi decennio precedente a partire dal 1850; il periodo 1983-2012 viene considerato *probabilmente* il trentennio più caldo degli ultimi 1.400 anni. Inoltre, combinando i dati della temperatura superficiale media globale di terra e oceano, risulta un incremento pari a 0,85 [0,65-1,06] °C nel periodo 1880-2012. Infine, il Rapporto aggiunge come sia *virtualmente certo* che la troposfera⁽⁷⁾ si sia riscaldata dalla metà del XX secolo.

Per quanto riguarda gli oceani⁽⁸⁾, *“il loro riscaldamento domina l'aumento di energia immagazzinata nel sistema climatico”*: è *virtualmente certo*, infatti, che la parte superficiale delle acque oceaniche (0-700 metri) si sia riscaldata

(2) Il forzante radiativo (Radiative Forcing – RF) misura la variazione dei flussi di energia causata dai *driver* del cambiamento climatico, quindi delle sostanze e dei processi naturali e antropogenici che alterano il bilancio energetico della Terra. RF positivi portano a un riscaldamento della superficie terrestre, RF negativi portano invece a un suo raffreddamento.

(3) IPCC (2013), pag. 8.

(4) Nel Rapporto IPCC per indicare la probabilità stimata di un esito o di un risultato sono stati utilizzati i seguenti termini: *“virtualmente certo, probabilità al 99-100%, molto probabile 90-100%, probabile 66-100%, tanto probabile quanto no 33-66%, improbabile 0-33%, molto improbabile 0-10%, eccezionalmente improbabile 0-1%”*. Inoltre, nel rapporto sono stati utilizzati anche: *estremamente probabile: 95-100%, più probabile che no >50-100% ed estremamente improbabile 0-5%”*.

(5) IPCC (2013), pag. 15.

(6) Cfr. IPCC (2013), pag. 3.

(7) La troposfera rappresenta la fascia di atmosfera direttamente a contatto col suolo.

(8) Cfr. IPCC (2013), pag. 6.

tra il 1971 e il 2010, mentre per quanto riguarda la criosfera⁽⁹⁾ il Rapporto dice: *“nel corso degli ultimi vent’anni, le calotte glaciali di Groenlandia e Antartide hanno perso la loro massa, i ghiacciai hanno continuato a ritirarsi in quasi tutto il pianeta, mentre l’estensione del ghiaccio marino artico e la copertura nevosa primaverile nell’emisfero nord hanno continuato a diminuire in estensione (confidenza alta)”*.

La situazione dell’innalzamento del livello del mare⁽¹⁰⁾ è perfino peggiore: il Rapporto indica come (con *confidenza alta*), il tasso di innalzamento dalla metà del XIX secolo sia stato più grande del tasso medio dei duemila anni precedenti e come nel periodo 1901-2010 il livello medio del mare sia cresciuto di 0,19 metri.

Infine, per quanto riguarda i dati relativi al ciclo del carbonio e altri cicli biogeochimici⁽¹¹⁾, negli ultimi 800.000 anni le concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica, metano e protossido di azoto sono aumentate a livelli senza precedenti, in particolare a partire dal 1750 per effetto delle attività umane.

In proiezione, il Rapporto indica come dalla metà del XXI secolo l’andamento dei cambiamenti climatici dipenderà sostanzialmente dallo scenario scelto⁽¹²⁾. È comunque certo che *“le continue emissioni di gas serra causeranno un ulteriore riscaldamento e cambiamenti in tutte le componenti del sistema climatico. Limitare il cambiamento climatico richiederà una riduzione sostanziale e prolungata nel tempo delle emissioni di gas serra”*. Inoltre, *“è virtualmente certo che saranno più frequenti estremi caldi di temperatura e meno frequenti estremi freddi di temperatura sulla maggior parte delle terre emerse su scale temporali giornaliere e stagionali, all’aumentare delle temperature medie globali”*⁽¹³⁾. In tutto questo, il settore delle costruzioni non è spettatore disinteressato bensì, purtroppo, protagonista.

Il “peso” energetico delle costruzioni e il ruolo dell’involucro

Il settore delle costruzioni, a livello globale, copre circa un terzo dei consumi di energia finale ed è responsabile di circa un terzo delle emissioni dirette e indirette di CO₂⁽¹⁴⁾. Si prevede che la domanda energetica proveniente dal settore edilizio raddoppierà per il 2050⁽¹⁵⁾. Per quanto riguarda l’Italia, i con-

⁽⁹⁾ Cfr. IPCC (2013), pag. 7.

⁽¹⁰⁾ Cfr. IPCC (2013), pag. 9.

⁽¹¹⁾ Cfr. IPCC (2013), pag. 9.

⁽¹²⁾ Per un’analisi degli scenari futuri in funzione degli RCPs (*Representative Concentration Pathways*) si rimanda al testo di sintesi del Rapporto.

⁽¹³⁾ Cfr. IPCC (2013), pagg. 17-18.

⁽¹⁴⁾ Fonte: IEA (2013a), *Transition to Sustainable Buildings: Strategies and Opportunities to 2050*, OECD/IEA, Paris, pag. 25.

⁽¹⁵⁾ Fonte: IEA (2013a), *ivi*.

sumi energetici relativi al settore civile sono circa il 37% e rappresentano la fetta maggiore, contro il 32% dei trasporti e il 23% dell'industria⁽¹⁶⁾.

I dati, dunque, non mentono. E sebbene questi siano conosciuti prevalentemente da addetti ai lavori e pochi altri, la sensibilità verso la riduzione dei consumi e delle emissioni è comunque diffusa. Un fatto dovuto probabilmente a una serie di fattori concomitanti: da un lato, una crescente consapevolezza verso i problemi ambientali da parte del cittadino comune, aiutato in questo da una campagna di sensibilizzazione senza precedenti. Dall'altro, la disponibilità da ormai diversi anni d'incentivi finanziari per l'efficientamento energetico degli edifici, che hanno spinto a interessarsi di edilizia sostenibile anche chi non avrebbe messo un euro in un cappotto termoisolante o in un serramento a triplo vetro. Ancora, l'emanazione di direttive europee e di normative che impongono obblighi precisi per quanto riguarda le prestazioni energetiche e l'uso di fonti rinnovabili. Infine, una sempre più ampia tendenza alla certificazione energetica degli edifici, che oltre a costituire una maggiore garanzia della "bontà" in termini di efficienza dell'edificio, può tradursi in un valore aggiunto per il mercato immobiliare.

Sia si tratti di nuove edificazioni (nel qual caso la transizione verso gli NZEB è ormai imminente), che di ristrutturazioni, l'efficienza energetica degli edifici rappresenta il settore col maggior potenziale di risparmio. La cura del dettaglio deve quindi riguardare indifferentemente sia le nuove costruzioni sia le riqualificazioni. In particolare, il settore della riqualificazione energetica si presenta come il più promettente: *"transforming typical building renovation to make way for deep reductions in energy consumption – known as deep renovation – should be a high priority. Once established, building renovation will need to be doubled from its current rate of 1% per year to 2% per year, especially among continental northern hemisphere countries, where approximately 75% to 90% of current building stock will still be standing in 2050. As well as enabling permanent ongoing reductions in energy costs, deep renovation can reduce the capital cost of heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) equipment"*⁽¹⁷⁾.

Analoga, a tale proposito, è la posizione di ENEA: *"appare, quindi, oggi ancor più urgente definire una strategia di ampio respiro e di lungo periodo per la riqualificazione del parco immobiliare italiano, pubblico e privato, che sia in grado di far ripartire l'economia del settore e che renda obbligatori, attraverso efficaci meccanismi di controlli e sanzioni, le certificazioni energetiche, le misurazioni dei consumi pre e post intervento (contatori individuali per energia elettrica e gas), la diffusione di sistemi di gestione dell'energia, nonché fatturazioni chiare e trasparenti per gli utenti finali"*⁽¹⁸⁾.

⁽¹⁶⁾ Fonte: Ministero dello sviluppo economico, dati 2014 (parziali).

⁽¹⁷⁾ Fonte: IEA (2013b), *Technology Roadmap. Energy efficient building envelopes*, pag. 5.

⁽¹⁸⁾ ENEA (2013), *Verso un'Italia low carbon: sistema energetico, occupazione e investimenti*, pag. 42.

Non ultima, la Commissione Europea nel Piano di efficienza energetica del 2011 indicava: *“il maggiore potenziale di risparmio energetico è insito negli edifici. Il piano è incentrato su strumenti atti ad incentivare il processo di ristrutturazione di edifici pubblici e privati e a migliorare il rendimento energetico dei componenti e degli apparecchi in essi utilizzati”*⁽¹⁹⁾.

In tale scenario, assume particolare importanza la progettazione dell'involucro architettonico e delle soluzioni tecniche finalizzate alle sue prestazioni termiche. Secondo IEA, *“the building envelope’s impact on energy consumption should not be underestimated: globally, space heating and cooling account for over one-third of all energy consumed in buildings, rising to as much as 50% in cold climates and over 60% in the residential sub-sector in cold climate countries”*⁽²⁰⁾. In particolare, sempre secondo IEA, proprio nelle analisi inerenti alla riqualificazione energetica, i miglioramenti relativi a raffrescamento e riscaldamento sono per la metà da attribuire alle prestazioni dell'involucro: *“generally many advanced building renovation programmes are calling for heating and cooling improvements of 75% to 80%. Approximately half of these expected savings (40%) are from envelope and the remainder are from mechanical equipment”*⁽²¹⁾. L'eliminazione dei ponti termici costituisce quindi uno dei fattori primari di miglioramento prestazionale: *“minimisation of thermal bridges (components that easily conduct heat), such as high thermal conductive fasteners and structural members, while managing moisture concerns within integrated building components and materials”*⁽²²⁾.

Il controllo del ponte termico

Questo volume si pone dunque in perfetta sintonia con le esigenze dell'odierno settore delle costruzioni. L'efficienza energetica degli edifici è da qualche tempo considerata un obiettivo primario da raggiungere e, alla luce dei dati presentati, non rappresenta più un'opzione, bensì un dovere. Questo volume si propone come un utile strumento per contribuire in maniera concreta alla soluzione di un problema, quello delle dispersioni termiche, considerato tra i più delicati dell'intero *“sistema edificio”*.

La parte iniziale introduce il tema del bilancio energetico degli edifici nel contesto climatico italiano, ribadendo il fatto che, soprattutto in un paese caratterizzato da un patrimonio edilizio mediamente vecchio e con scarse prestazioni termiche, la riqualificazione energetica offre un altissimo potenziale per la riduzione dei consumi e delle emissioni di CO₂. L'efficienza

⁽¹⁹⁾ Commissione Europea, *Piano di Efficienza Energetica 2011*, COM(2011) 109 definitivo.

⁽²⁰⁾ Fonte: IEA (2013b), pag. 7.

⁽²¹⁾ Fonte: IEA (2013b), pag. 10.

⁽²²⁾ Fonte: IEA (2013b), *ivi*.

dell'involucro edilizio, come già anticipato, costituisce quindi un passaggio obbligato, soprattutto per quanto riguarda le dispersioni termiche. L'impostazione rigorosa della prima parte presenta in maniera chiara argomenti quali l'effetto sulle costruzioni della presenza di ponti termici, la terminologia di settore, la legislazione di riferimento, in particolare per quanto riguarda l'aggiornamento della norma UNI TS 11300. Fornisce inoltre un solido bagaglio di conoscenze sia allo studioso che al professionista, introducendo in maniera esaustiva le sezioni successive, che rappresentano un valido strumento di calcolo sia in fase di progettazione che di verifica, dando un fondamentale contributo alla risoluzione dei ponti termici, mettendo a disposizione informazioni sulla loro conformazione, sulla verifica termoigrometrica e sulle impostazioni di calcolo per l'analisi mediante software. La configurazione del ponte termico, in particolare, viene proposta come una soluzione per un primo approccio al problema in fase di progettazione. Non meno importante è l'individuazione dei "punti deboli" dell'involucro a cantiere finito, a causa di non conformità nell'esecuzione dei lavori o di un'errata progettazione esecutiva. A tale scopo, l'uso della termocamera, alla quale è dedicata una sezione, costituisce un valido supporto, soprattutto in fase di riqualificazione energetica.

Le appendici a completamento dell'opera, i dati tecnici sulla conducibilità dei materiali, i dati climatici dei capoluoghi di provincia italiani e la legislazione di riferimento, forniscono un ulteriore strumento a supporto del progettista; a conferma che la cura del dettaglio, nel contesto di un progetto complessivo, si pone oggi come uno dei principali obiettivi per il raggiungimento dell'efficienza energetica degli edifici.

INTRODUZIONE

A cura di Ruben Erlacher

La casa si sta evolvendo notevolmente con tecnologie, sistemi e materiali innovativi. Per questo oggi più che mai è fondamentale progettare ed eseguire i lavori con grande cura. Allo stesso tempo è necessario far crescere culturalmente e professionalmente tecnici, imprese ed artigiani per garantire edifici con un ottimo comfort abitativo e un consumo energetico invernale ed estivo quasi zero.

I ponti termici, quando non adeguatamente risolti, possono essere la causa della formazione di condensa o muffa. Inoltre, i ponti termici possono incidere considerevolmente sul fabbisogno energetico degli edifici, soprattutto se si tratta di edifici a basso consumo energetico.

Se invece, l'edificio è caratterizzato da un consumo energetico già molto alto (dovuto ad un isolamento termico scarso) la perdita aggiuntiva di energia non incide più di tanto, rimane però il problema della temperatura superficiale interna fredda con rischio di formazione di condensa e muffa.

Con ponte termico s'intende una zona delimitata con una densità del flusso termico superiore a quello della superficie restante. Attraverso questa zona nel periodo invernale passa più calore che nella zona circostante.

I ponti termici (dovuti soprattutto alla mancanza di una progettazione dettagliata) rappresentano un problema particolare. Diminuiscono la sensazione di benessere e aumentano il fabbisogno energetico dell'edificio.

Per evitare la formazione di muffa bisogna conoscere ed eliminare le cause. Non è sufficiente rimuovere semplicemente la muffa senza eliminare le cause effettive, in quanto prima o poi si riformerà nuovamente.

Nel caso in cui si avvolga l'involucro edilizio con un cappotto o, più in generale, un isolamento termico sul lato freddo della struttura, è necessario che l'isolamento esterno non termini, ad esempio, in corrispondenza dell'ultimo solaio riscaldato posto sulla cantina, ma è necessario che lo strato coibente sia prolungato ancora verso il basso finché l'analisi delle isoterme dimostri la correzione delle temperature superficiali interne.

Un altro punto critico rappresenta la giunzione del solaio aderente al suolo con la parete esterna: nel caso in cui si stia intervenendo su un volume riscaldato, si dovrebbe collegare al meglio l'isolamento della parete con quello del solaio. In questo caso, devono essere utilizzati isolanti idrofughi adatti per strutture sotterranee.

In altre situazioni particolari, ad esempio, si deve optare per un isolamento termico che sia resistente a compressione in modo che non vi sia una riduzione dello spessore dello strato coibente e una conseguente perdita di potere termoisolante.

I balconi determinano la formazione di classici ponti termici. Per determinare la loro risoluzione questi possono essere staticamente separati dalla struttura portante, interamente isolati oppure termicamente divisi con taglio termico.

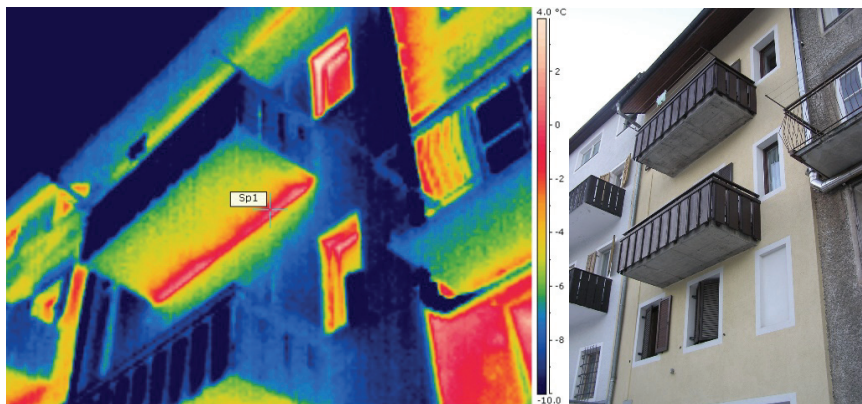


Figura 1 - Termogramma e fotografia al visibile del ponte termico di un balcone

Anche il cordolo presenta una zona di rischio per quanto riguarda la formazione di condensa e muffa. Questa tipologia di ponte termico deve essere eliminata con una corretta progettazione e realizzazione.

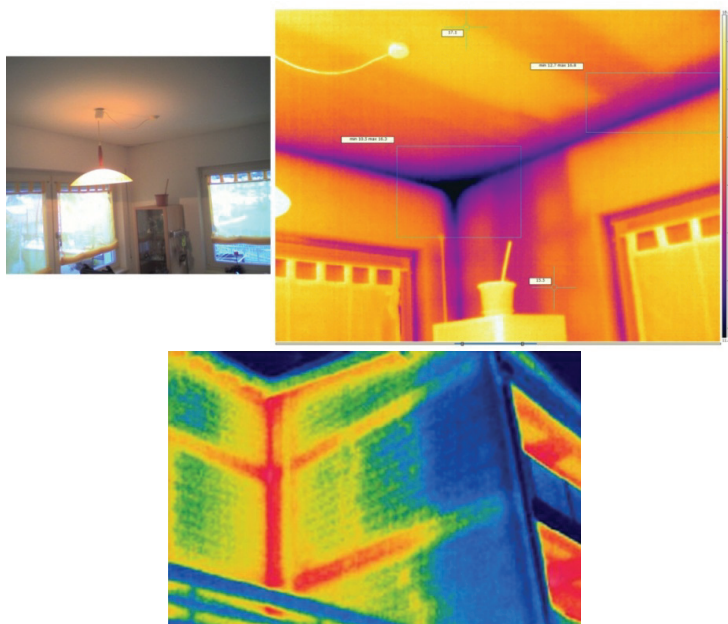


Figura 2 - Termogrammi raffiguranti alcuni ponti termici materici formati dal cambio di materiale nella stratigrafia

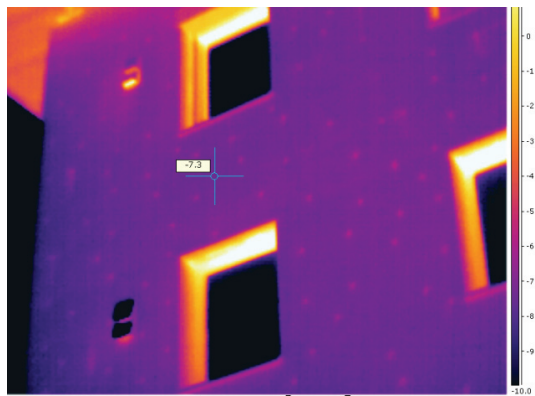


Figura 3 - Il termogramma mette in evidenza i ponti termici puntuali dovuti alla tassellatura del cappotto non adeguatamente isolata

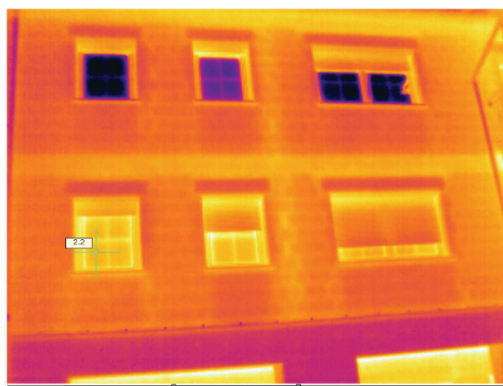


Figura 4 - Il termogramma mette in evidenza il ponte termico formato dalla malta di allettamento della muratura tra gli elementi in laterizio

La precedente termografia esterna, effettuata in inverno, mette in risalto cordoli e pilastri come anche i giunti di malta tra i laterizi.

Con l'utilizzo di un isolamento termico sul lato freddo della struttura statica, realizzato con spessore idoneo, viene automaticamente isolato anche il cordolo, che in questo caso non rappresenta più un ponte termico critico. Nel caso in cui venga utilizzata una struttura monostrato è sempre necessario isolare ulteriormente il cordolo.

Anche la malta, usata nelle pareti monostrato in laterizio, può creare un ponte termico. Perciò è necessario utilizzare una malta d'allettamento con un basso valore lambda. Il tipo di malta incide meno in presenza di una struttura a cappotto o con isolamento termico in intercapedine.

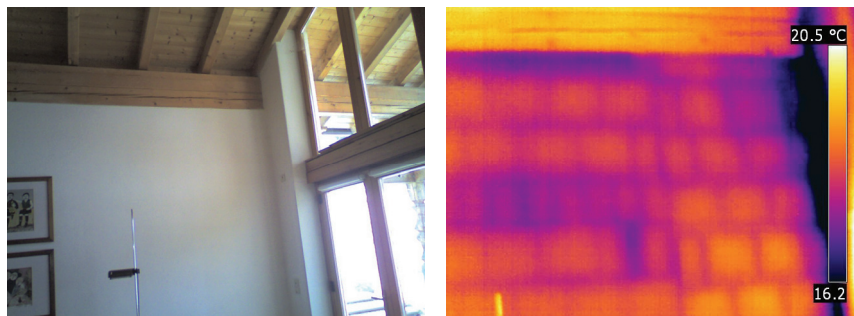


Figura 5 - Il termogramma rivela i ponti termici formati dalla malta di allettamento; accanto una foto della stessa area al visibile

Tutti questi dettagli richiedono una particolare progettazione ed esecuzione per non provocare svantaggi al livello termico o perfino danni alla costruzione finale.

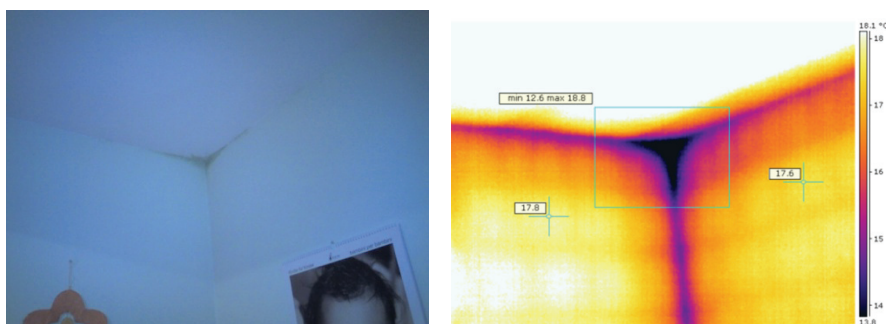


Figura 6 - Ponte termico geometrico formato dall'incontro del solaio interpiano con due pareti esterne; nella foto al visibile si riconosce la formazione di muffa

Tramite una termografia interna durante il periodo invernale è possibile notare la riduzione della temperatura superficiale interna, in corrispondenza di un angolo (ponte termico dovuto al cambiamento della geometria) e di un cordolo (ponte termico dovuto al cambiamento del materiale in combinazione della geometria). La temperatura più bassa si misura proprio in corrispondenza dell'angolo. Sempre con la termografia è possibile notare il giunto di malta tra i laterizi: ciò è dovuto al fatto che il giunto è più freddo rispetto alla superficie del laterizio.

La formazione di muffa è in relazione diretta all'umidità. In ambienti con elevata umidità oppure, in presenza di materiali costruttivi contenenti una elevata concentrazione di umidità è quasi impossibile ottenere un buon clima abitativo. La presenza di muffa si osserva soprattutto in costruzioni vecchie oppure in edifici risanati (in modo sbagliato) e meno spesso in costruzioni nuove. Una concentrazione elevata di umidità nell'aria all'interno degli ambienti, in combi-

nazione con pareti esterne umide o fredde, determinano le condizioni per la formazione della muffa. Questo vale soprattutto per edifici vecchi che generalmente sono isolati male e quindi in presenza di ponti termici non corretti. A volte, la muffa si forma anche dietro i mobili appoggiati a pareti esterne perché in questo caso il mobile assume la funzione di un isolamento interno che determina un abbassamento della temperatura superficiale della parete. Si consiglia di lasciare uno spazio tra parete e mobile, in modo che, l'aria possa circolare e che non si verifichino tali fenomeni incontrollati.

Nel caso di un risanamento di un vecchio edificio spesso si tende a render ermetico l'involucro (es. con nuove finestre, ecc.) senza l'installazione di un appropriato isolamento termico delle pareti. Prima dell'intervento, l'aria umida poteva uscire attraverso le fessure esistenti; in questo modo la ventilazione era almeno in parte garantita anche se non controllata. Con la sostituzione degli infissi, oppure con un nuovo intonaco o una nuova pittura non traspirante, l'edificio diventa ermetico.

Durante un risanamento termico è necessario rendere l'edificio a tenuta all'aria; nel caso della sola sostituzione degli infissi è necessario effettuare con molta più frequenza l'apertura degli infissi per determinare un costante ricambio dell'aria e l'abbassamento della concentrazione di umidità nell'aria interna per evitare il rischio di condensa e formazione di muffa. L'intervento ideale rimane quello di isolare opportunamente le pareti dell'involucro evitando la formazione di ponti termici e contemporaneamente sostituire gli infissi.

In una costruzione nuova si vede meno spesso la formazione di muffa. Ciò è dovuto al fatto che l'involucro esterno è chiuso ermeticamente, con buona tenuta all'aria, ed isolato appropriatamente e quindi senza la presenza di ponti termici. Le superfici dell'involucro esterno, sul loro lato interno, hanno una elevata temperatura superficiale quasi simile a quella dell'aria interna dovuto alla bassa trasmittanza termica e alla corretta risoluzione dei ponti termici. Se l'umidità della struttura costruttiva può prosciugarsi, e se non esistono ponti termici, non si forma la muffa. In ogni caso la ventilazione corretta è essenziale.

Una ventilazione meccanica è senza dubbio la tipologia di ventilazione può confortevole. Essa garantisce un ricambio d'aria costante in maniera automatica, in modo tale da garantire un'ottima qualità d'aria interna agli ambienti.

In inverno si tende a ventilare troppo poco e la qualità dell'aria all'interno dei vani abitativi è scarsa. Una ventilazione automatica e con recupero di calore garantisce sempre una buona qualità dell'aria all'interno e riduce il fabbisogno energetico in modo significativo. Questa tipologia d'impianti può essere regolata in modo arbitrario o può essere spento in qualsiasi momento. Un pregiudizio da sfatare è che anche in presenza di ventilazione meccanica è possibile aprire gli infissi; ciò comporterebbe però un'inutile dispendio di energia e, nelle zone fortemente urbanizzate, un ingresso incontrollato di polveri sottili che altrimenti sarebbero fermate dai filtri (se adeguati allo scopo) della stessa ventilazione meccanica.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



Cambiando i dati al contorno delle temperature con i seguenti:

- temperatura interna 20 °C;
- temperatura esterna -15 °C;
- salto termico 35 °C.

Il valore del flusso termico di *U-factor* non cambia al variare della temperatura ed è sempre pari a 0,81 W/m²K questo perché il coefficiente di trasmissione globale della parete non viene calcolato in funzione della temperatura proprio come avviene per il calcolo della trasmittanza di un componente edilizio infatti:

Il differenziale di temperatura semmai influirà sui consumi energetici globali.

6.4. L'INTERFACCIA DEL FOGLIO EXCEL



Per semplificare l'attribuzione dei dati al contorno viene fornito un semplice tool su foglio Excel in *Revisione 8.0* (messo a disposizione nell'Area download collegata al volume) che permette di definire le condizioni al contorno del nodo, valutare il ponte termico lineare e calcolare l'incidenza economica sui consumi energetici del ponte termico valutato.

6.4.1. Definizione dati al contorno

Tramite la scheda *00 INPUT* è possibile definire quali superfici della parete o dei solai siano interni o esterni partendo da una sezione specifica di progetto.

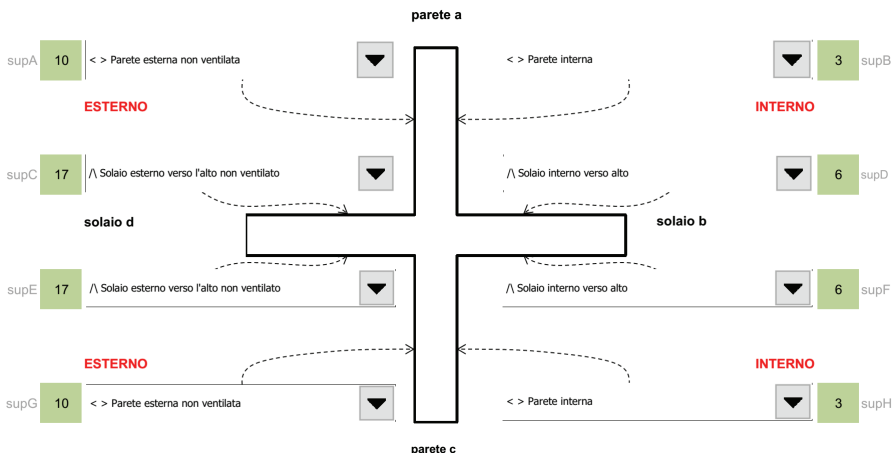


Figura 6.32 - Schermata per l'impostazione del nodo di analisi

Ad esempio, se si vuole definire in sezione un nodo di una parete esterna con balcone esterno e solaio interno la configurazione potrebbe essere quella riportata in Figura 6.32.

Si può notare che accanto ad ogni finestra di scelta vi è un quadrato verde con un codice numerico corrispondente alle diverse caratteristiche superficiali dell'involucro. L'utilizzo di questi codici permette una scelta più rapida delle caratteristiche dell'involucro.

Il foglio, per un maggior controllo, restituisce l'informazione caratteristica del componente dell'involucro edilizio (*solaio/parete*) e lo spazio in esso contenuto (*esterno/interno*).

Lo schema può essere utilizzato sia per definire nodi in sezione sia in pianta: ad esempio, qualora si volesse definire un semplice angolo in pianta di un edificio è possibile impostare il nodo come l'immagine riportata in Figura 6.33.

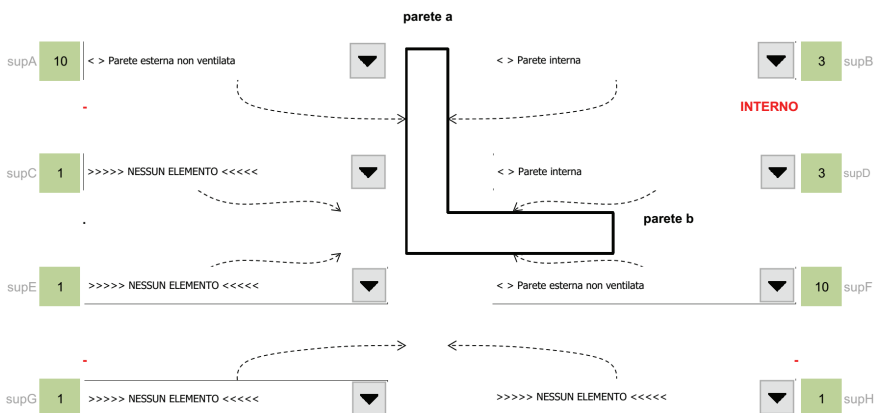


Figura 6.33 - Esempio di personalizzazione del nodo di analisi

Si può notare come solo le superfici A e F sono definite come esterne mentre le superfici C, E, G ed H sono definite come *nessun elemento*.

Selezionando il comune il *Tool* restituisce i dati della località. I dati climatici tabulati possono contenere imprecisioni o refusi; per utilizzare valori maggiormente adeguati al caso di studio, è possibile inserire manualmente tutti i valori climatici necessari alle successive analisi.

Informazioni sulla località

DATI CLIMATICI (i dati presenti nel database sono in conformità con la UNI 10349:2016)

Regione: Friuli-Venezia Giulia ID regione 6

Comune: Pordenone n. Comune 95

Longitudine 12,65 Latitudine 45,95 Provincia 1 PN Provincia 2 BL

Temperatura di progetto -5 °C GradiGiorno 2459

	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
Temperatura media mensile	2,3 °C	4,4 °C	8,1 °C	12,1 °C	15,7 °C	18,4 °C	21,5 °C	21,2 °C	18,3 °C	12,9 °C	7,4 °C	3,8 °C
Pressione media mensile	535	561	637	680	872	1112	1572	1744	1924	1529	951	835
Giorni di riscaldamento	E	31	28	31	15	0	0	0	0	17	30	31

più freddo

I valori tabulati possono contenere imprecisioni o refusi; per utilizzare valori maggiormente adeguati al caso di studio, di seguito è possibile inserire manualmente tutti i valori necessari all'analisi.

VALORI INSERITI

Temperatura media mensile
Pressione media mensile
Giorni di riscaldamento

VALORI DI CALCOLO

Temperatura media mensile	2 °C	2 °C	4 °C	8 °C	12 °C	16 °C	18 °C	22 °C	21 °C	18 °C	13 °C	7 °C	4 °C
Pressione media mensile	535	561	637	680	872	1112	1572	1744	1924	1529	951	835	535
Giorni di riscaldamento	E	31	28	31	15	0	0	0	0	17	30	31	

Attività: Abitazioni con carattere continuativo (abitazioni civili o rurali) Tai 20 °C Fonte UNI 11300 p.13 n. attività 2

Altre fonti:
[Valutazione temperatura esterna >>>>](#)

Il foglio di **VALUTAZIONI**, fornito tramite l'Area download collegata al volume, restituisce le condizioni al contorno per il calcolo di *Temperatura* e *Potenza termica* come si può vedere da Figura 6.34.

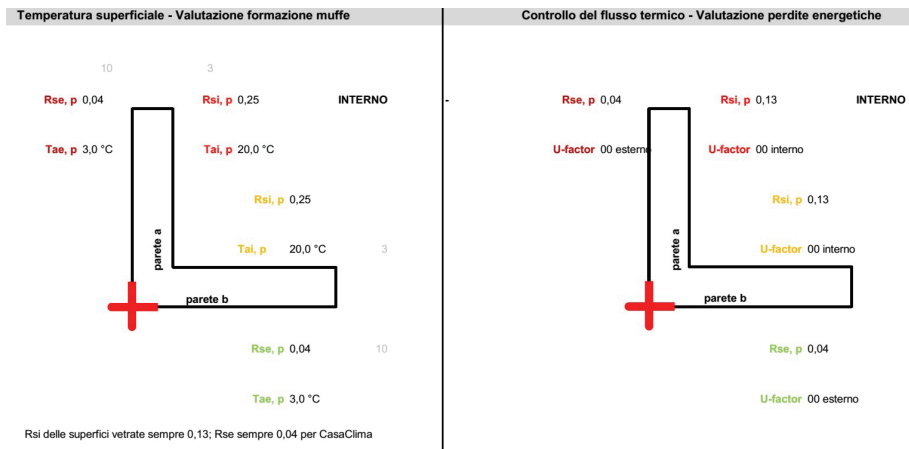


Figura 6.34 - Foglio delle condizioni al contorno

Si può notare come il foglio di calcolo restituisce anche le impostazioni di *U-factor* (00 interno, 00 esterno ecc.) da inserire nel file *Therm* nella parte



**Pagine non disponibili
in anteprima**



7.2.4. Perdite

Nel settore impiantistico la ricerca di perdite costituisce uno degli ambiti applicativi delle indagini termografiche assieme alla ricerca impianti.

Nelle figure seguenti si evidenzia come sia possibile individuare perdite dall'impianto idraulico senza eseguire interventi di demolizioni e senza mettere fuori servizio parti dell'edificio.



Figura 7.25 - Bagni di un edificio scolastico

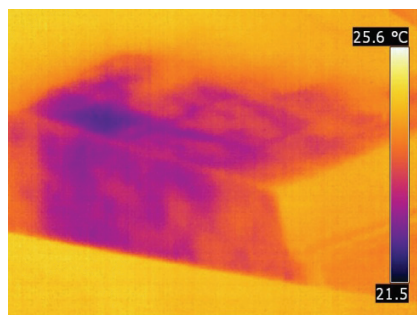


Figura 7.26 - Perdita dall'impianto idraulico soprastante

7.2.5. Impianti idrotermosanitari

Gli impianti idrotermosanitari vengono inseriti sottotraccia o sottopavimento. I disegni esecutivi molte volte non esistono o non sono disponibili. La termografia aiuta il progettista a identificare la posizione esatta degli impianti (quando all'interno scorre acqua calda).

Nelle termografie seguenti si osserva come una nuova partizione in cartongesso sia stata posizionata esattamente in corrispondenza degli impianti tecnologici rendendone più complessa la manutenzione.



Figura 7.27 - Tramezza in cartongesso realizzata molti anni dopo la costruzione dell'edificio



Figura 7.28 - Colonna montante dell'impianto termico sulla parete esterna, ma non ispezionabile perché nascosta dalla nuova tramezza

Di seguito si osserva il passaggio della tubazione del riscaldamento in prossimità della soglia della porta in continuità con l'esterno.



Figura 7.29 - Uscita di sicurezza



Figura 7.30 - Tubazione calda in prossimità dell'esterno, ponte termico della soglia

Di seguito si osserva la colonna montante sottotraccia.

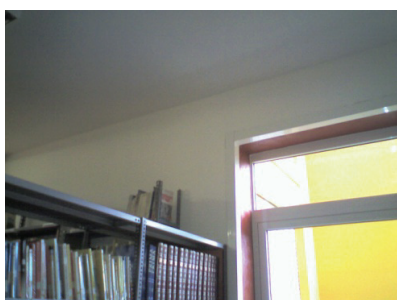


Figura 7.31 - Parete esterna, vista interna

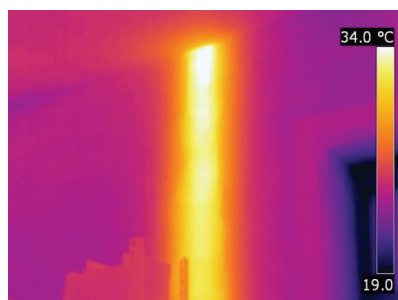


Figura 7.32 - Colonna montante dell'impianto termico non isolata su parete esterna

Di seguito si osserva la tubazione di distribuzione dell'impianto idrotermosanitario sottopavimento.



Figura 7.33 - Uscita di sicurezza

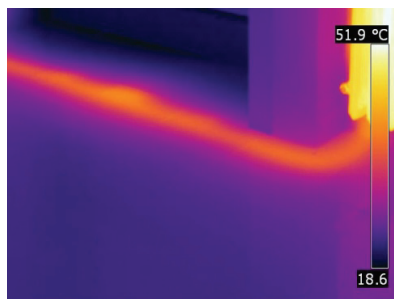


Figura 7.34 - Tubo di distribuzione dell'impianto termico



**Pagine non disponibili
in anteprima**



APPENDICE 2

CONFIGURAZIONI PER LA RISOLUZIONE DEI PONTI TERMICI

Di seguito sono elencati alcuni esempi di preconfigurazioni per la risoluzione dei ponti termici. Si consiglia comunque di valutare sempre la temperatura superficiale tramite F.E.M.

Durante la progettazione è consigliato:

- a. escludere strutture troppo articolate;
- b. evitare strutture che permettano scambio di calore in facciata;
- c. prevedere la separazione termica delle strutture esterne all'involucro;
- d. osservare il principio del perimetro isolante continuo.

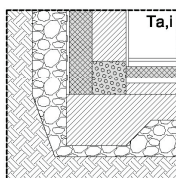
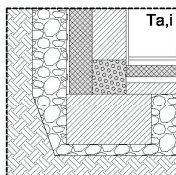
Una progettazione intelligente e dettagliata, prima dell'inizio lavori, può evitare, senza alcuna spesa aggiuntiva, errori di posa che poi possono tradursi in muffe e condense; al contrario una successiva riqualificazione energetica potrebbe essere molto costosa e in alcuni casi anche difficilmente praticabile.

I nodi esemplificativi presenti in questa sezione servono per dare un primo spunto alla risoluzione dei ponti termici in maniera rapida ed efficace.

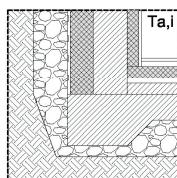
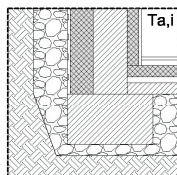
Gli esempi sono suddivisi in tre colonne per ogni tipologia di nodo; il primo esempio mostra quale dovrebbe essere il nodo da utilizzare nelle nuove costruzioni, il secondo nodo è la soluzione minima accettabile nelle riqualificazioni energetiche e il terzo nodo mostra la tipologia di soluzione errata ma, purtroppo, riscontrata in alcuni cantieri.

Questa parte prende spunto, rielaborandola e ripensandola profondamente, dagli schemi messi a disposizione da Energie Tirol nella pubblicazione *Leitfaden bauansuchen*.

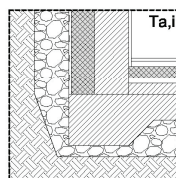
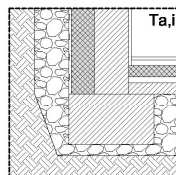
Edifici di nuova costruzione
soluzione ottimale del nodo per i nuovi edifici



Edifici in ristrutturazione
soluzione minima accettabile per edifici esistenti



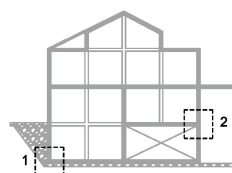
Edifici esistenti
soluzione errata del nodo



soluzioni per il nodo

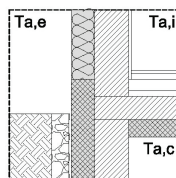
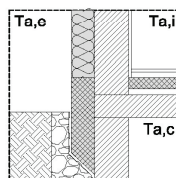
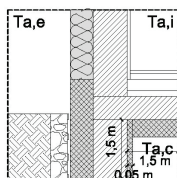
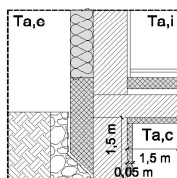
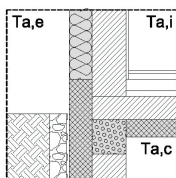
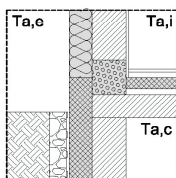
1

angolo esterno
contro terra



LEGENDA

- $\lambda < 0,14 \text{ W/mK}$
(Gasbeton, Ytong idrofobo)
- XPS
- isolante a cappotto
- Ta,i locale riscaldato
- Ta,e ambiente esterno
- Ta,c locale cantina
- parete esterna
- terreno
- "L" in metallo o radiante elettrico



soluzioni per il nodo

2

angolo esterno
sul locale non riscaldato