

Giovanni Sardella

MANUALE DELL'INSUFFLAGGIO

1^a edizione – Marzo 2015

 Legislazione Tecnica

© Copyright Legislazione Tecnica 2015

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 marzo 2015 da
LITOGRAF TODI S.r.l. – Todi (PG)

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 dall'Autore. 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 dei componenti.

I fogli di calcolo forniti in aggiunta al volume sono stati elaborati e ricontrollati con scrupolosa cura, e tuttavia sono sempre possibili omissioni ed errori.

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

Un doveroso e sentito ringraziamento deve essere rivolto:

- alla dott.ssa Marta Banfi, per la coinvolgente preparazione e determinazione che la contraddistinguono,*
- al geom. Danilo Balbi, per essere un lucido ed insostituibile riferimento nelle lunghe giornate di cantiere,*
- e naturalmente alla piccola Viola, il cui sorriso mantiene caldo l'animo più di qualsiasi isolante.*

INDICE

1. LO SCENARIO	9
1.1 Premessa.....	9
1.2 Il patrimonio edilizio italiano.....	9
1.3 Le epoche costruttive.....	10
1.4 Lo stato di conservazione.....	11
1.5 Le tipologie edilizie.....	12
1.6 La qualità energetica.....	27
1.7 La spesa energetica.....	31
1.8 Conclusioni.....	34
2. GLI INTERVENTI POSSIBILI	35
2.1 Premessa.....	35
2.2 Gli interventi possibili sull'involucro.....	38
2.2.1 Interventi migliorativi sulle pareti verticali.....	38
2.2.2 Interventi migliorativi sulla copertura.....	42
2.2.3 Interventi migliorativi sui solai.....	44
2.2.4 Interventi migliorativi sull'involucro trasparente.....	45
2.3 Confronto ragionato.....	47
2.4 Analisi costi-benefici per gli interventi di riqualificazione energetica.....	59
3. L'INSUFFLAGGIO: LA TEORIA	65
3.1 Premessa.....	65
3.1.1 Il quadro normativo.....	65
3.1.2 La legislazione attualmente in vigore.....	67
3.2 La verifica in regime invernale.....	71
3.2.1 Le dispersioni degli edifici.....	71
3.2.2 La conducibilità termica λ	71
3.2.3 La trasmittanza termica U.....	73
3.2.4 La resistenza termica unitaria Ru.....	74
3.2.5 Le resistenze liminari.....	75
3.2.6 Esempio di calcolo: parete verticale.....	76
3.2.7 Le detrazioni fiscali.....	80
3.3 La verifica in regime estivo.....	81
3.3.1 La trasmittanza termica periodica Y_{ie}	81
3.3.2 La massa superficiale M_s	82
3.3.3 Le verifiche.....	82
3.3.4 Esempio di calcolo: parete verticale.....	83
3.4 La verifica igrometrica.....	92
3.4.1 La condensazione del vapore acqueo nelle costruzioni.....	92
3.4.2 La verifica della condensa interstiziale.....	94
3.4.3 La verifica della condensa superficiale.....	100
3.4.4 Il calcolo secondo la normativa tecnica.....	105
3.5 La verifica acustica.....	112
3.5.1 Il suono.....	112
3.5.2 La sensazione sonora.....	115
3.5.3 Il comfort acustico.....	118

3.5.4	Le grandezze in gioco.....	119
3.5.5	I materiali fonoassorbenti ed i materiali fonoisolanti.....	122
3.5.6	La normativa italiana.....	123
3.5.7	La normativa europea.....	126
3.5.8	I metodi di calcolo.....	126
3.5.9	Calcolo dell'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente R'_w di una porzione interna.....	127
3.5.10	Calcolo dell'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato di facciata $D_{2m,nt,w}$	131
3.5.11	Calcolo dell'indice di valutazione del livello di rumore di calpestio L'_{nw}	134
3.5.12	La simbologia della normativa tecnica.....	136
3.5.13	Esempio di calcolo: parete verticale.....	138
3.6	La verifica al fuoco.....	141
3.6.1	Generalità.....	141
3.6.2	La normativa italiana ed europea.....	144
3.6.3	Resistenza al fuoco delle murature: metodo tabellare (D.M. 16.02.2007)	145
3.6.4	Resistenza al fuoco di pareti a più strati.....	149
3.6.5	Reazione al fuoco dei materiali da insufflaggio.....	151
3.7	I ponti termici.....	154
3.7.1	Definizioni.....	154
3.7.2	Gli effetti dei ponti termici.....	156
3.7.3	Il calcolo dei ponti termici.....	157
3.7.4	L'influenza dell'insufflaggio sui ponti termici.....	160
3.7.5	Conclusioni.....	167
4.	L'INSUFFLAGGIO: I MATERIALI.....	171
4.1	Generalità.....	171
4.1.1	L'energia inglobata nei materiali.....	172
4.1.2	La valutazione ambientale.....	174
4.1.3	La Dichiarazione Ambientale di Prodotto.....	175
4.2	I materiali isolanti per l'insufflaggio.....	177
4.2.1	Argilla espansa.....	178
4.2.2	Fibra di cellulosa.....	185
4.2.3	Polistirene espanso sinterizzato (EPS).....	191
4.2.4	Fibra di legno.....	201
4.2.5	Lana di roccia.....	206
4.2.6	Lana di vetro.....	213
4.2.7	Perlite espansa.....	222
4.2.8	Poliuretano espanso.....	227
4.2.9	Resina ureica espansa.....	235
4.2.10	Sughero in granuli.....	241
4.2.11	Vermiculite espansa.....	247
4.2.12	Vetro cellulare in granuli.....	252
4.2.13	Riepilogo.....	256
4.3	La qualità dell'aria interna ed i "VOC".....	258
4.3.1	Premessa.....	258
4.3.2	La ventilazione.....	259
4.3.3	Gli inquinanti indoor.....	259
4.3.4	La sindrome dell'edificio malato.....	263
4.3.5	La certificazione dei materiali.....	263

5. L'INSUFFLAGGIO: LA PRATICA	265
5.1 Campi di applicazione.....	265
5.2 L'ispezione.....	266
5.2.1 Intervista ai proprietari / progettisti.....	266
5.2.2 L'ispezione visuale.....	267
5.2.3 L'ispezione strumentale.....	271
5.2.4 Valutazione dell'idoneità all'installazione.....	274
5.2.5 Scelta del materiale isolante.....	279
5.2.6 Report di sopralluogo.....	280
5.3 La posa in opera.....	282
5.3.1 Posizionamento della macchina.....	282
5.3.2 Le macchine per l'insufflaggio.....	284
5.3.3 Gli accessori.....	289
5.3.4 Regolazione della macchina.....	291
5.3.5 Schema di perforazione indicativo (per intercapedini o volumi confinati).....	294
5.3.6 Posizionamento barriere.....	304
5.3.7 Posa in opera: l'insufflaggio.....	307
5.3.8 Verifica dell'installazione.....	308
5.3.9 Chiusura dei fori (per intercapedini o volumi confinati).....	310
5.3.10 Dichiarazione di installazione.....	310
 SOFTWARE inSufflo v. 1.0 - MANUALE UTENTE	 313
 SOFTWARE inSufflo v. 1.0 - ESEMPIO DI CALCOLO	 325
 INDICE DELLE FIGURE	 339
 INDICE DELLE TABELLE	 346
 BIBLIOGRAFIA	 349
 SITOGRAFIA	 351
 APPENDICI (disponibili nell'Area Download)	
<i>La sigla dell'Appendice corrisponde al nome del file</i>	
A.1 Conducibilità termica "utile di calcolo"	
A.2 Le norme tecniche e le sigle che le caratterizzano	
A.3 Norme uni per i materiali isolanti sfusi	
A.4 Estratto dall'abaco dei ponti termici dei casi facilmente riscontrabili	
A.5 Pressione di saturazione del vapor d'acqua in funzione della temperatura	
A.6 I dati climatici delle località italiane	
A.7 I capoluoghi italiani: dati generali	
A.8 I capoluoghi italiani: valori medi mensili della temperatura esterna	
A.9 I capoluoghi italiani: valori medi mensili della pressione parziale del vapore	
A.10 I materiali semplici: dati di calcolo	
A.11 I materiali composti verticali: dati di calcolo	
A.12 I materiali composti orizzontali: dati di calcolo	



**Pagine non disponibili
in anteprima**



2.2 GLI INTERVENTI POSSIBILI SULL'INVOLUCRO

L'involucro è l'insieme di tutte le superfici che entrano in contatto con l'ambiente esterno: le pareti, il tetto, gli infissi. Costituisce la "pelle" dell'edificio, regolando i contatti e gli scambi di materia ed energia con l'esterno. Tanto più l'involucro è adatto a isolare o a compensare le temperature tra interno ed esterno, tanto più è energeticamente efficiente, in altre parole: tanto più fa risparmiare energia.

Pur essendo più facile ottenere ottimi risultati sulle nuove costruzioni, anche negli edifici esistenti è possibile raggiungere buoni livelli di risanamento energetico dell'involucro.

2.2.1 Interventi migliorativi sulle pareti verticali

Le pareti perimetrali, data la loro incidenza percentuale sulla superficie dell'intero involucro, assumono una importanza fondamentale per quanto riguarda l'efficienza energetica di un edificio. Le pareti, quindi, dovrebbero essere costituite da materiali capaci di ridurre le dispersioni termiche. La capacità di isolamento espressa dai diversi materiali che compongono la parete viene definita "resistenza termica". Specularmente, la permeabilità dei materiali che compongono la parete, e quindi la quantità di calore che li attraversa, rappresenta la "trasmissione termica". Bassi valori di trasmissione termica indicano un elevato livello di capacità isolante.

Sulle pareti esistenti è possibile effettuare molteplici interventi migliorativi, sia per modalità di esecuzione che di costo. La scelta è dettata essenzialmente dall'analisi delle caratteristiche costruttive, strutturali ed energetiche dell'esistente. I possibili interventi vengono classificati in tre categorie differenti, in funzione del metodo di intervento: dall'esterno, dall'interno e nell'intercapedine.

Isolamento dall'esterno

Recuperare un edificio dal punto di vista energetico significa spesso intervenire anche sul suo aspetto esteriore. L'isolamento esterno delle pareti implica una modifica più o meno sostanziale dell'aspetto dell'edificio; può essere realizzato prevalentemente con tre modalità differenti.

- **Intonaco isolante.** Consiste nell'applicazione, a mano o per mezzo di apposite macchine, di uno strato di intonaco ad elevato potere isolante sulla superficie esterna dell'edificio. Gli intonaci isolanti normalmente usati sono miscele di vari componenti con composizioni per lo più protette da brevetto che variano da produttore a produttore. Sono costituiti da una componente isolante, che può essere formata da materiali minerali espansi (perlite, vermiculite, ecc.), da materiali minerali fibrosi (lana di roccia, di vetro, ecc.) o da sostanze sintetiche in granulometria opportuna; da leganti idraulici e da speciali resine additivanti. La loro applicazione, per ottenere dei risultati significativi, deve solitamente avere uno spessore di almeno 4-5 cm. Successivamente questi intonaci sono protetti da rivestimenti che devono essere traspiranti con funzioni di finitura e di protezione dalle precipitazioni meteoriche.



Figura 2.3 - Intonaco isolante

- **Isolamento a cappotto.** Comporta l'applicazione di un rivestimento isolante di opportuno spessore sulle superfici esterne dell'edificio, assicurando una maggiore capacità isolante della parete, evitando il raffreddamento eccessivo degli strati più esterni, prevenendo fenomeni di condensa negli strati interni della parete ed aiutando nella soluzione dei ponti termici determinati da discontinuità dei materiali (*ponti termici costruttivi*). Nel dettaglio, la tecnica consiste nella preparazione preventiva delle superfici esterne dei manufatti, nell'applicazione su di esse, tramite incollaggio, dei pannelli isolanti, nella rifinitura con intonaco rasante a due strati con interposta rete in fibra di vetro di vario tipo, ed infine con trattamento superficiale di finitura.

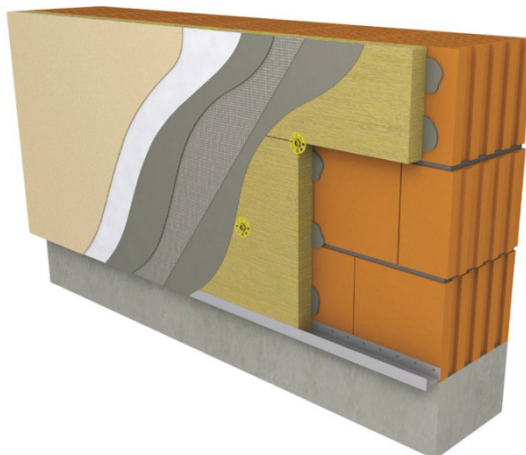


Figura 2.4 - Isolamento a cappotto

- **Parete ventilata.** Comporta la realizzazione di uno strato d'aria (*intercapedine ventilata*) interposto fra un rivestimento esterno che può essere realizzato da diversi materiali, ed uno strato isolante applicato alla parete perimetrale, similmente a quanto visto per il cappotto esterno. Tale sistema consente di aumentare il potere isolante della parete, e nello stesso tempo di disperdere, tramite il passaggio d'aria, il calore in eccesso e l'umidità proveniente dall'ambiente interno.

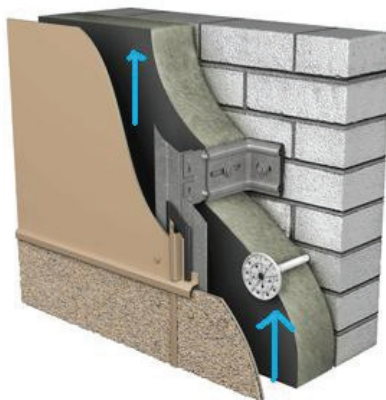


Figura 2.5 - Parete ventilata

Isolamento dall'interno

La scelta di migliorare le prestazioni isolanti di una parete dall'interno offre una maggiore flessibilità rispetto all'intervento dall'esterno, in quanto la modifica migliorativa può essere applicata anche con interventi localizzati a piccole porzioni dell'involucro (pareti con esposizione critica, singoli alloggi, ecc.). Inoltre, dal momento che l'intervento avviene dall'interno dell'edificio, non è necessario richiedere permessi (a parte il consenso condominiale se si va ad agire su parti comuni) e non sono necessari ponteggi per la realizzazione.

D'altronde si deve considerare anche che, ponendo lo strato isolante sulla faccia interna della parete, tutta la parte che rimane all'esterno, quindi non isolata, potrebbe raffreddarsi eccessivamente durante i mesi invernali. Si avrebbe, quindi, un ambiente interno riscaldato a contatto con una parete la cui temperatura è molto inferiore. Questa differenza di temperatura può portare il vapore acqueo presente all'interno dell'ambiente riscaldato a condensare sulla superficie interna della pareti, causando tutta una serie di problemi di degrado dovuti all'umidità (macchie, muffe, distacco dell'intonaco, ecc.).

L'isolamento interno della parete può essere realizzato tramite l'utilizzo di:

- **intonaco isolante.** Viene realizzato uno strato di intonaco ad elevato potere isolante, costituito da gesso e granuli in vermiculite;
- **pannelli.** L'intervento viene realizzando sovrapponendo, alla superficie interna della parete, dei pannelli costituiti da uno strato di materiale isolante (lana di vetro, polistirene espanso, polistirene espanso estruso, poliuretano espanso), da un foglio in alluminio che funziona da barriera al vapore (cioè protegge lo strato isolante dall'umidità presente nell'alloggio, che lo danneggerebbe) e da una lastra di chiusura solitamente in gesso. I pannelli vengono fissati alla parete tramite una struttura metallica che fa da ancoraggio e supporto.

Isolamento nell'intercapedine

Nelle pareti, l'intercapedine è uno spazio vuoto compreso tra due elementi verticali. Questo spazio vuoto può essere *ventilato*, se ha contatti con l'ambiente esterno o interno, o *chiuso*, se è sigillato e l'aria presente al suo interno funziona da elemento isolante.

Nel caso di edifici esistenti, qualsiasi tipo di intervento rivolto a migliorare l'isolamento è subordinato ad una fase di analisi preliminare, indispensabile per evidenziare le problematiche dell'edificio e dell'involucro. Nel caso dell'isolamento in intercapedine si deve anche verificare la presenza e la consistenza dell'intercapedine con dei sondaggi sulla muratura, che permettano di valutare gli spessori della parete, dell'intercapedine stessa e l'eventuale presenza di altri materiali isolanti.

Una volta effettuato questo tipo di analisi, si può intervenire per migliorare l'isolamento dell'intercapedine tramite l'insufflaggio di materiali isolanti sfusi, che vengono iniettati tramite dei fori nella parte interna della muratura.



Figura 2.6 - Insufflaggio dell'intercapedine

Occorre però tener conto di possibili effetti indesiderati, come l'effetto del costipamento (dei materiali sfusi o fibrosi a bassa densità) che può determinare il progressivo ammassarsi del materiale nella zona bassa della parete con il conseguente peggioramento nel tempo dell'efficienza energetica della struttura. Tale effetto può essere limitato perfezionando le modalità di insufflaggio, assicurandosi che il materiale riempia i vuoti nel modo più uniforme possibile.

L'inserimento di materiale isolante nell'intercapedine di murature di edifici esistenti è un intervento che può essere realizzato dall'interno dell'edificio, quindi con minori costi di realizzazione e senza necessità di permessi. Inoltre può essere realizzato anche solo sulle porzioni di involucro che effettivamente necessitano di interventi migliorativi.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



3.4 LA VERIFICA IGROMETRICA

La verifica igrometrica (o *termoigrometrica*) di un elemento edilizio permette di valutare la possibilità di formazione di condensa sulla sua superficie (condensa superficiale), od al suo interno (condensa interstiziale).

La formazione di condensa all'interno dei locali, o la crescita di muffe estremamente pericolose ed insalubri, è una tematica sempre più sentita negli ultimi anni. Difatti la presenza di serramenti sempre più performanti ed a elevata tenuta d'aria, insieme alla cattiva abitudine di non ventilare adeguatamente i locali, determina una condizione ottimale per l'insorgere di questi fenomeni.

Comprendere la fisica di tali fenomeni, e saperne prevedere la comparsa, consentirà di valutare correttamente e senza incertezze l'efficacia di un intervento di insufflaggio.

3.4.1 La condensazione del vapore acqueo nelle costruzioni

Il vapore acqueo è l'acqua allo stato di vapore ed è uno dei componenti della nostra atmosfera, dell'aria che ci circonda e che respiriamo.

L'umidità relativa, **UR**, è un indice percentuale della quantità di vapore acqueo contenuto nell'aria. È definita come il rapporto della pressione del vapore effettivamente contenuto nell'aria (P_v) e della pressione di saturazione del vapore acqueo alla temperatura considerata (P_s):

$$UR = P_v / P_s \quad \text{con} \quad 0\% < UR < 100\%$$

In pratica l'UR non ci indica in senso assoluto quanto vapore acqueo è contenuto nell'aria, ma ci fornisce una indicazione di quanto l'aria sia distante dalla saturazione.

Nelle abitazioni l'aumento dell'umidità relativa può essere determinato, ad esempio, dalla cottura di cibi, dall'utilizzo di docce, dalla presenza di piante, dalla presenza degli occupanti, ecc.

Fonte o attività	Produzione di vapore acqueo
Bagno in vasca	Circa 1.100,00 g/bagno
Doccia	Circa 1.700,00 g/doccia
Piatto di breve preparazione	Circa 400,00 – 500,00 g/ora di cottura
Piatto di lunga preparazione	Circa 450,00 – 900,00 g/ora di cottura
Pentola in ebollizione scoperta (diametro 20,00 cm)	Circa 900,00 g/ora
Pentola in ebollizione coperta (diametro 20,00 cm)	Circa 350,00 g/ora
Lavastoviglie	Circa 200,00 g/ora
Lavatrice	Circa 250,00 – 300,00 g/lavaggio
Panni stesi ad asciugare (5,00 kg)	Circa 900,00 g/ora
Cibi caldi in tavola per persona	Circa 15,00 g/ora
Persona: • Dormire	Circa 40,00 – 50,00 g/ora
• Lavoro di casalinga	Circa 90,00 g/ora
• Attività impegnativa	Circa 175,00 g/ora
• Lavoro pesante o ginnastica	Circa 400,00 g/ora
In un'abitazione con 4,00 persone si immettono quotidianamente nell'aria circa 10,00 lt di acqua sotto forma di vapore	

Tabella 3.15 - Produzione di vapore acqueo da alcune fonti o attività quotidiane

Le cause che portano alla formazione di condensa nelle strutture possono essere identificabili in due situazioni specifiche:

- 1) il raggiungimento di condizioni di temperatura e pressione all'interno delle pareti tali da comportare il raggiungimento delle condizioni di rugiada – condensa interstiziale;
- 2) il raggiungimento di elevati livelli di umidità relativa dell'aria all'interno dei locali, la quale in prossimità di strutture edilizie tenderà a condensare a causa di una temperatura uguale o inferiore alla temperatura di rugiada – condensa superficiale.

3.4.2 La verifica della condensa interstiziale

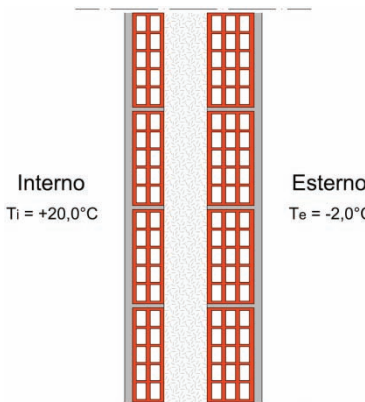
Il diagramma di Glaser

Il *diagramma di Glaser* è un metodo grafico che permette lo studio del fenomeno della condensa all'interno di un elemento costruttivo costituito da uno o più strati.

Il diagramma si costruisce secondo la seguente procedura:

- 1) si definisce la geometria dell'elemento in esame, in termini di spessore dei vari strati e delle proprietà dei materiali che lo compongono;
- 2) in corrispondenza di ciascuno strato si determinano i valori di temperatura, pressione del vapore e pressione di saturazione. I valori vengono riportati su un diagramma rappresentante la stratigrafia dell'elemento in esame;
- 3) si verifica la formazione di condensa per ciascun strato, controllando che la curva della pressione del vapore non intersechi quella della pressione di saturazione.

Vediamo, a titolo esemplificativo, come si applica il procedimento esposto alla parete insufflata vista in precedenza, considerando una superficie unitaria della stessa pari a 1 m².



	Spessore	Resistenza
	s [m]	r [(m ² ·K)/W]
Resistenza liminare int.	/	0,130
Intonaco int.	0,02	0,029
Laterizio int.	0,08	0,200
Intercapedine insufflata	0,11	3,235
Laterizio est.	0,12	0,310
Intonaco est.	0,02	0,022
Resistenza liminare est.	/	0,040
	S _{tot} = 0,35	R _u = 3,966
		U = 0,252

Tabella 3.16 - Caratteristiche degli strati costituenti la parete considerata

Procediamo determinando le temperature superficiali di ogni strato. Per fare questo si utilizzerà la seguente formula:

$$T_n = T_{n-1} - Q \cdot r_n$$



**Pagine non disponibili
in anteprima**



- **Ponti termici di struttura.** Sono caratterizzati dall'accostamento tra materiali aventi caratteristiche termiche differenti. Un esempio di ponte termico di struttura è il caso di pilastri in c.a. nel muro di tamponamento.

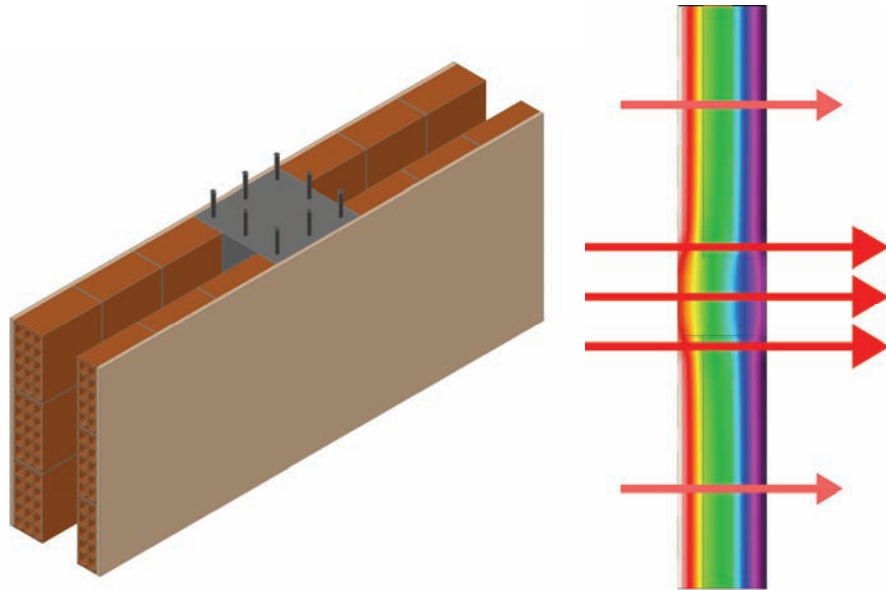


Figura 3.40 - Esempio di ponte termico di struttura

- **Ponti termici ibridi.** Sono determinati dalla presenza contemporanea dei due casi precedenti. Un esempio tipico è quello di un pilastro d'angolo.

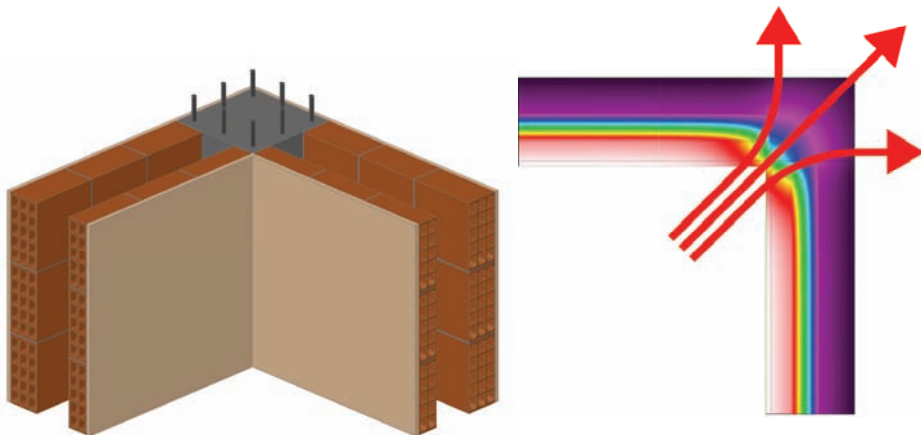


Figura 3.41 - Esempio di ponte termico ibrido

3.7.2 Gli effetti dei ponti termici

La presenza di ponti termici in un edificio ha un impatto sui seguenti aspetti.

1. **Aspetti energetici.** I ponti termici sono dei punti dell'edificio ove è localizzato un maggior flusso di calore, questo può comportare un aumento delle dispersioni termiche che possono arrivare al 20-30% delle dispersioni totali dell'edificio.
2. **Aspetti igienico-sanitari.** I ponti termici sono solitamente la causa di presenza di condensazione superficiale. Nello specifico la temperatura sulla superficie interna della struttura è inferiore alla temperatura di rugiada, con conseguente formazione di condensa superficiale. La presenza di condensa superficiale è poi diretta conseguenza della formazione di muffe ed alghe.

Più precisamente, si ha formazione di condensa se la temperatura superficiale delle pareti scende, anche per **poco tempo**, fino al punto di rugiada (ricordiamo che la temperatura di rugiada dipende dalle condizioni interne). Il persistere di questa condizione, ovvero se la temperatura superficiale della parete scende per **diverso tempo** al di sotto di un certo valore limite (dipendente dalle condizioni interne) si ha la formazione di muffe.

Le muffe e le alghe sono agenti di degrado biologico delle superfici murali. La loro riproduzione avviene mediante "*spore*", cioè microrganismi che sono sempre presenti nell'aria, anche in forte quantità. Il loro nutrimento avviene attraverso tutte le impurità organiche depositate sulla superficie della pittura; la "*colonizzazione*" può quindi svilupparsi fino a degradare e distruggere la pittura e il relativo supporto. Oltre all'evidente problema estetico, l'inquinamento biologico influisce negativamente anche sulla qualità del comfort abitativo. Le muffe, infatti, sono caratterizzate da un odore sgradevole e, se presenti in forte quantità all'interno dei locali, possono divenire dei potenziali agenti allergizzanti per le persone che vi abitano. La maggior parte delle muffe più comuni prolifera in ambienti con elevati tassi di umidità e temperature comprese tra 0 e 15°C, condizione facilmente ritrovabile in corrispondenza dei ponti termici.

3. **Aspetti strutturali.** La continua variazione ciclica di temperatura sulle strutture può portare ad un fenomeno di polverizzazione dei materiali con conseguente deterioramento delle stesse. Inoltre può essere causa di formazione di micro fessurazioni superficiali sugli intonaci, dalle quali l'eventuale infiltrazione d'acqua può causare il distacco degli stessi.
4. **Aspetti di comfort.** Il comfort interno di un locale è determinato dalla temperatura operante che corrisponde alla media tra la temperatura dell'aria ambiente e la temperatura media radiante delle superfici che costituiscono il locale. La presenza di ponti termici, causando la presenza di punti a temperatura più bassa, comporta una diminuzione del comfort interno, in maniera proporzionale alla dimensione ed all'estensione del ponte termico stesso.

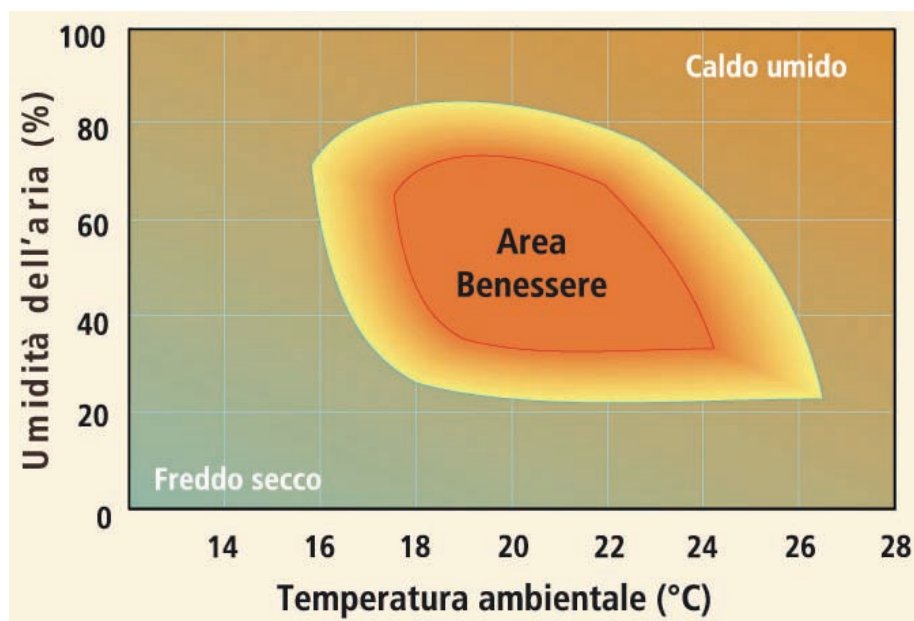


Figura 3.42 - Grafico rappresentante le combinazioni di valori di temperatura ed umidità dell'aria per le quali si ha la sensazione di comfort

3.7.3 Il calcolo dei ponti termici

Abbiamo visto, in precedenza, come il flusso di calore attraverso un elemento omogeneo è espresso attraverso una grandezza detta *conducibilità termica*:

$$\lambda = s/R$$

dove:

- s spessore dell'elemento considerato;
- R resistenza dell'elemento al passaggio del calore.

Per tener conto della presenza dei ponti termici all'interno di un elemento costruttivo, si introduce nella formula precedente un nuovo parametro di resistenza in modo tale da poter continuare a trattare l'elemento edilizio come omogeneo, e caratterizzato da una "*conducibilità termica equivalente*":

$$\lambda' = \frac{s}{\frac{A}{L} - R}$$

dove:

- A area del componente edilizio considerato, in [m²];
- L coefficiente di accoppiamento termico del componente edilizio.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



4.2.4 Fibra di legno

Il materiale

La fibra di legno possiede delle buone caratteristiche di isolamento termoacustico, e un altrettanto buona capacità di accumulo del calore, che in estate si traduce in un buon livello di ritardo nel passaggio del calore dall'esterno all'interno. A differenza, inoltre, degli isolanti fibrosi minerali, la fibra di legno mantiene buone caratteristiche isolanti anche in presenza di umidità al suo interno.



Figura 4.22 – Fibra di legno sfusa per insufflaggio

La produzione avviene solitamente attraverso la lavorazione di legname di scarto proveniente da segherie, silvicoltura sostenibile e dalla ripulitura dei boschi. La materia prima è, quindi, sempre disponibile ed il processo di produzione richiede un consumo di energia relativamente basso, mentre l'inquinamento dovuto alle acque di scarico può essere controllato.

Il principio tecnologico (processo di produzione)

L'isolante in fibra di legno è un prodotto naturale, si ottiene infatti dagli scarti della lavorazione dell'industria del legno.

Il processo produttivo inizia con l'approvvigionamento della materia prima: *il legno*. Come anticipato viene utilizzato lo scarto della lavorazione dell'industria del legno, ad esempio la parte alta del tronco (le punte), solitamente scartata. Successivamente avviene l'essiccazione naturale dei tronchi, la scorciatura, e la pezzatura attraverso il taglio in un'unica dimensione di lunghezza dei legni ormai asciutti.

Avviene poi la sfibratura dei legni, attraverso la carteggiatura, a maglia grossa, su macchine sfibratrici, che trasformano il legno compatto in una grande massa di lana di legno composta da moltissime fibre sottili e lunghe. La dimensione delle fibre a questo punto è di circa 3 mm di lunghezza e di circa 0,5 mm di spessore.



Figura 4.23 - (sinistra) approvvigionamento della materia prima; (destra) macchina sfibratrice al lavoro

Il materiale viene successivamente lavorato con un procedimento che utilizza esclusivamente vapore acqueo per la sfibratura e, come collante, la lignina, che è la resina naturale del legno. Si ottiene così una pasta di fibra di legno che poi, tramite un processo di disidratazione a 180°C, e uno di raffinatura, si trasforma in morbida fibra di legno.

Il contenuto d'energia primaria necessaria è relativamente alto. Per la produzione di 1 mc di isolante occorrono circa 785 kWh; inoltre dalla produzione risultano degli inquinamenti delle acque. Lo zucchero che risulta dall'idrolisi consuma una grande quantità dell'ossigeno contenuto nell'acqua.

Conducibilità termica e potere coibente

Per la sua struttura cellulare, la fibra di legno possiede delle buone capacità di isolamento termico. Il valore di conducibilità termica della fibra di legno è pari a:

$$\lambda=0,038\div 0,045 \quad [W/(m\cdot K)]$$

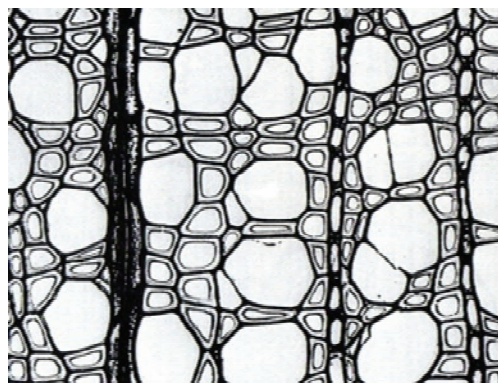


Figura 4.24 - Struttura delle fibre di legno

Protezione termica estiva

Oltre ad un buon effetto termoisolante, la fibra di legno presenta anche una buona capacità di accumulo del calore. Tale capacità è importante per la protezione termica estiva in quanto permette di ottenere un buon valore di sfasamento dell'onda termica, nonché un discreto smorzamento dei picchi termici.

Il coefficiente di profondità di penetrazione del materiale assume valori di penetrazione compresi fra:

$$\delta=0,11\div0,12 \quad [\text{m}]$$

Caratteristiche meccaniche

Per poter garantire l'efficacia dell'isolamento è importante che il materiale conservi la forma e il volume originari. Con l'insufflaggio le singole fibre di legno si incastrano l'una con l'altra creando una struttura tridimensionale. Anche con una bassa densità apparente si previene in questo modo l'assessamento del materiale e si garantisce una grande elasticità.

È opportuno insufflare il materiale rispettando le caratteristiche di densità di posa fornite dal produttore, che solitamente è un valore compreso tra:

$$\rho=38\div45 \quad [\text{kg/m}^3]$$

I valori più bassi corrispondono a insufflaggio di volume aperto (pavimento), i valori più alti a volume confinato con inclinazione maggiore di 45°.

Resistenza al calore e alla fiamma

Se il materiale non è stato ignifugato è combustibile. Il materiale è caratterizzato da una classe di reazione al fuoco Euroclasse E (UNI EN 13501-1)³.

Resistenza all'acqua

La fibra di legno è un materiale igroscopico, l'umidità che viene assorbita penetra all'interno della fibra stessa e lo spazio tra le fibre, responsabile della porosità del materiale, rimane pieno d'aria. Questo fa sì che il suo potere isolante non diminuisca, al contrario dei materiali fibrosi di origine minerale (fibra di vetro o di roccia) le cui fibre non sono in grado di assorbire l'umidità al loro interno e quindi l'acqua rimane tra le fibre al posto dell'aria diminuendo notevolmente il potere isolante.

³ La norma europea UNI EN 13501-1 regola la classificazione di reazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione (da non confondere con la resistenza al fuoco). I materiali vengono classificati secondo le euroclassi A1, A2, B, C, D, E, F. I materiali classificati A1 e A2 sono incombustibili e quelli certificati da B a F bruciano in ordine crescente.

Permeabilità ai gas e al vapore acqueo

La fibra di legno, per la sua struttura a pori aperti, è permeabile al vapore acqueo, e consente un tipo di costruzione a diffusione aperta:

$$\mu=2$$

Isolamento acustico ed assorbimento fonico

La fibra di legno possiede delle apprezzabili qualità di isolamento acustico ed assorbimento fonico anche con pareti monostrato.

Descrizione	R_w (C; C _{tr}) [dB]
Parete con struttura portante in legno (timber frame) ed una intercapedine insufflata di 120 mm	43 (-2; -6)

Tabella 4.15 – R_w sperimentale di parete insufflata con fibra di legno

Pericolosità

La fibra di legno è considerata un prodotto biocompatibile. Non dà reazioni al contatto con la pelle, nessuna concentrazione di sostanze nocive, capacità di assorbimento, regolazione di umidità, inodore, elettrostaticamente ed elettricamente non reagente, privo di polveri fibrose tossiche.

Durabilità ed inattaccabilità

La fibra di legno, se ben insufflata, risulta stabile dimensionalmente e conserva nel tempo le sue caratteristiche. È un materiale sufficiente sicuro contro gli insetti e la formazione di muffe. Può però essere luogo di annidamento di roditori, in particolare negli insufflaggi in volumi non confinati come i sottotetti.

Nuovi sviluppi

Sono presenti sul mercato nuovi prodotti con caratteristiche di isolamento termico ed acustico elevate. Sono costituiti da scaglie di legno (trucioli) rivestite di materiale minerale. I trucioli di legno mineralizzati sono ricavati solo da foreste sostenibili.



Figura 4.25 – Materiale da insufflaggio in scaglie di legno

PRO	CONTRO
<ul style="list-style-type: none">- Buone capacità di accumulo e smorzamento termico (regime estivo)- Buone capacità di prevenire l'assestamento nel tempo- Buone caratteristiche acustiche	<ul style="list-style-type: none">- Smaltimento non sempre facile- Infiammabile- Se non protetto può essere luogo di annidamento di roditori



**Pagine non disponibili
in anteprima**



5.3 LA POSA IN OPERA

La procedura di posa in opera, parte principale del procedimento di insufflaggio, può avvenire con una certa sicurezza solo dopo aver raccolto tutte le informazioni necessarie sull'oggetto da isolare e sulle sue condizioni al contorno, come illustrato nella visita di sopralluogo iniziale (o primo sopralluogo).

Verranno di seguito descritti tutti i passaggi da seguire durante le operazioni di posa in opera, in maniera quanto più organizzata e schematica possibile, in modo tale da costituire uno schema di riferimento per posatori, progettisti ed addetti ai lavori.

5.3.1 Posizionamento della macchina

La prima fase della procedura di posa in opera del materiale isolante è il posizionamento della macchina che verrà utilizzata.

Come già anticipato precedentemente, il posizionamento della macchina, ed in generale l'organizzazione del cantiere, è una diretta conseguenza delle considerazioni fatte durante la fase di sopralluogo iniziale.

Durante tale fase preliminare, infatti, abbiamo avuto modo sia di prevedere una opportuna conoscenza dello stato dei luoghi e dei particolari costruttivi, sia di apprendere dalla committenza di eventuali preferenze o esigenze specifiche.

Pertanto, se la fase di primo sopralluogo è stata svolta in modo completo ed esaustivo, al momento della posa in opera, ovvero al momento di iniziare ad installare il cantiere per dar via alle operazioni di insufflaggio, avremo già un'idea sufficientemente precisa di dove posizionare la macchina, e di come organizzare l'approvvigionamento della stessa con i sacchi di materiale isolante.

Viene proposto un esempio di planimetria di cantiere redatta dopo la fase di primo sopralluogo ed utilizzata durante la posa in opera come traccia per l'organizzazione del cantiere e dei lavori in genere.

La planimetria proposta viene tracciata sulla base di una planimetria catastale dell'appartamento da insufflare. Tale scelta viene fatta per un duplice motivo:

- 1) anche se il proprietario ne fosse sprovvisto, attualmente è sempre più facile procurarsi una planimetria catastale dell'immobile in oggetto dato il processo di informatizzazione degli atti catastali;
- 2) eseguire un rilievo della proprietà durante la fase di primo sopralluogo potrebbe essere non solo faticoso (o addirittura inutile se poi il lavoro non viene commissionato), ma anche fuorviante dagli altri aspetti su cui porre attenzione, illustrati precedentemente.

Ovviamente qualsiasi planimetria della proprietà di cui il committente fosse provvisto, anche non catastale, purché sufficientemente dettagliata, andrà benissimo per i nostri scopi.

Viene, inoltre, di seguito proposta una simbologia utile alla redazione di tali elaborati. Il pregio di tale simbologia è che, essendo molto schematica, può essere adottata anche per tracciare le planimetrie a mano libera, senza dover per forza ricorrere ad un software informatico, magari mentre il caposquadra impartisce le istruzioni necessarie agli addetti ai lavori.

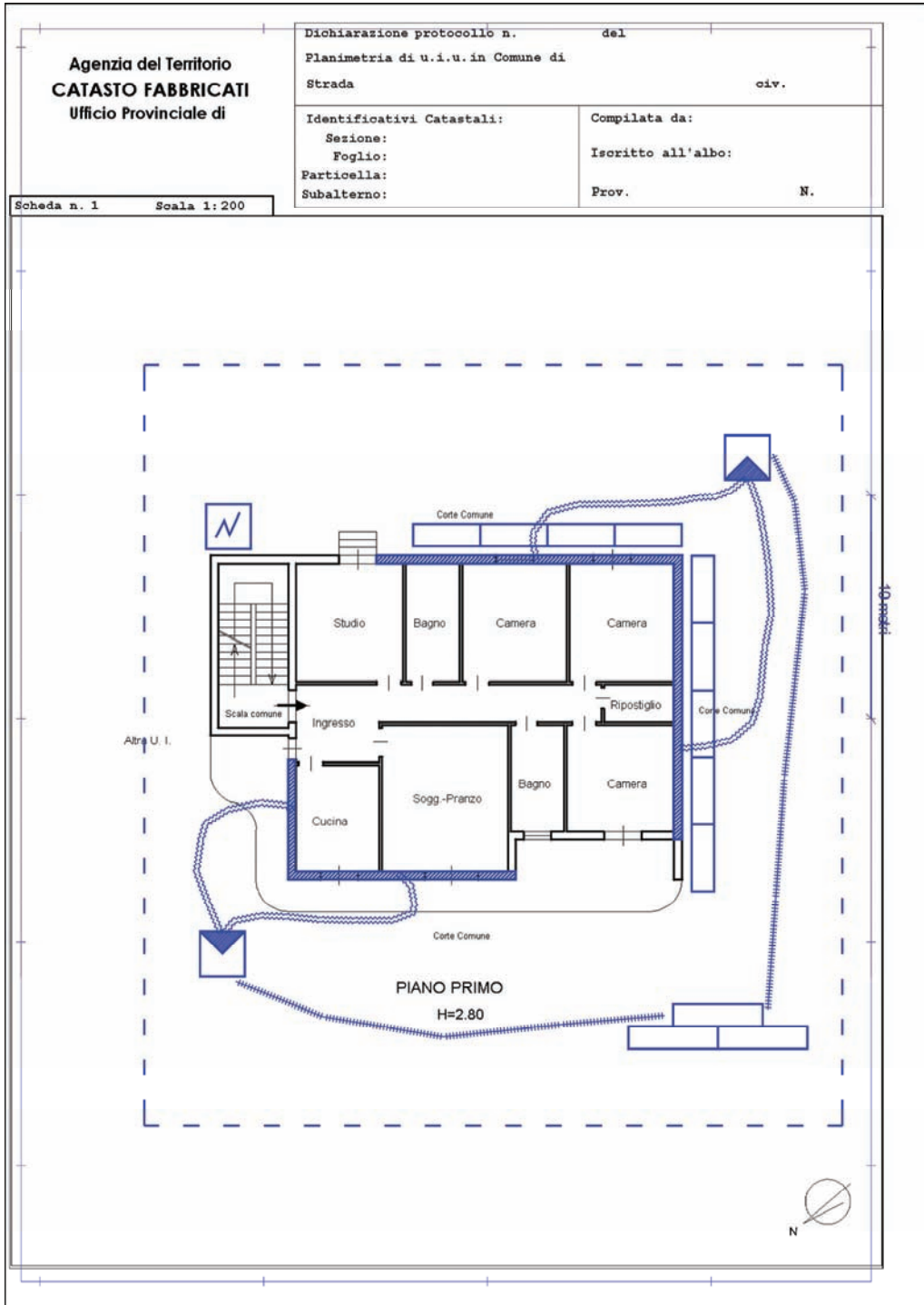


Figura 5.25 - Ipotesi di planimetria di cantiere












	punto di ubicazione macchina insufflatrice		area di deposito materiale isolante
	tubo flessibile macchina insufflatrice		muro da insufflare
	recinzione di cantiere		percorso di rifornimento macchina
	ponteggio metallico		cassetta di pronto soccorso
	trabattello		bagno di cantiere
	quadro elettrico di cantiere		

Figura 5.26 - Simbologia utile per la redazione della planimetria di cantiere

Oltre all'ubicazione della macchina da insufflaggio, a seguito delle informazioni precedentemente raccolte, saremo anche in grado di scegliere efficacemente i componenti da utilizzare con essa.

Spesso alcune macchine hanno una serie numerosa di componenti da utilizzare con essa. In questa sede è bene comprendere che la scelta di uno o dell'altro componente da utilizzare per un lavoro specifico dipende sostanzialmente da:

- tipologia di volume da isolare (intercapedine muraria, solaio di sottotetto, tetto in legno, ecc.);
- tipologia di materiale isolante scelto;
- esperienza e preferenza del posatore.

Vediamo, a titolo esemplificativo, quali sono alcune delle macchine da insufflaggio in commercio, i principali componenti, e quali le possibili scelte fra quest'ultimi.

5.3.2 Le macchine per l'insufflaggio

Il panorama delle macchine per l'insufflaggio è molto vasto, e la scelta fra l'una e l'altra è dettata da diversi fattori, più o meno rilevanti ed influenti.

In primo luogo occorre considerare la tipologia di materiale isolante da utilizzare, poiché alcune macchine potrebbero non essere adeguate alla tipologia di materiale scelto (es. fibroso e non granulare). Altro parametro da valutare è la capacità della macchina; se dobbiamo isolare un volume considerevole, dovremmo utilizzare una macchina in grado di eseguire il lavoro in tempi ragionevoli, e tale da garantire una potenza sufficiente ad evitare interruzioni o disomogeneità nella posa.

È comunque buona norma prendere in esame il libretto della macchina per comprendere i limiti ed il campo di applicazione della stessa.

A puro titolo esemplificativo si riportano alcuni modelli di macchine, con evidenziate le principali caratteristiche di ciascuna di esse.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



5.3.6 Posizionamento barriere

Per intercapedini

In presenza di cavità o facciate continue, che proseguono oltre il confine della proprietà da isolare, sarà necessario apporre una barriera per impedire che il materiale isolante invada le cavità contigue non oggetto di intervento.

Un esempio di possibile barriera da utilizzare, per delimitare il materiale isolante all'interno di una cavità continua, è rappresentato da spazzole flessibili e viene di seguito illustrato:

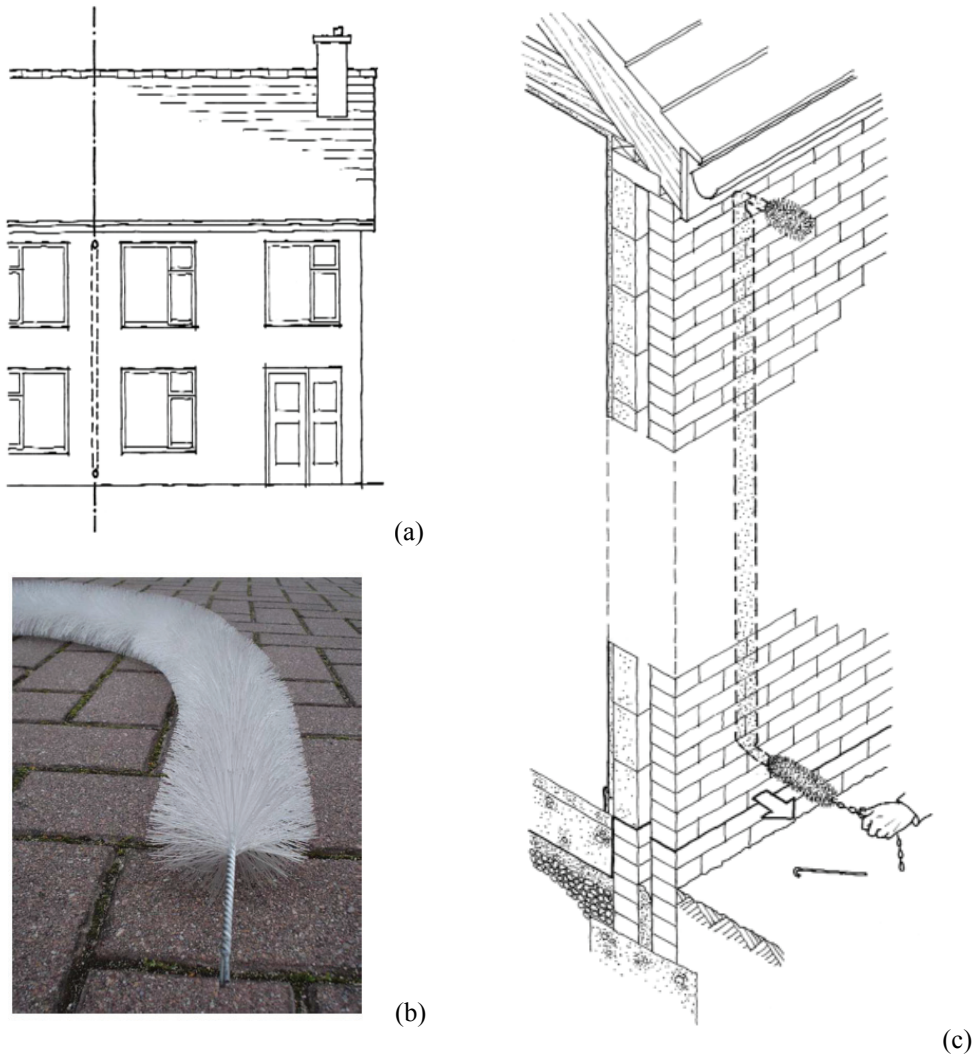


Figura 5.51 – (a) barriera in una facciata continua che si estende oltre la proprietà del committente; (b) particolare di una spazzola flessibile; (c) inserimento di una spazzola flessibile come barriera in una facciata continua

Se le dimensioni delle cavità e degli spazi non consentono l'inserimento delle spazzole, è possibile procedere alla realizzazione di una barriera con l'ausilio di schiume poliuretaniche o similari per applicazioni edili.

Per solai o volumi aperti

Nel caso di insufflaggio di un volume non confinato, quale potrebbe essere un solaio orizzontale di sottotetto, il posizionamento delle barriere viene eseguito per evitare che il materiale isolante non vada in zone da lasciare libere. I casi più frequenti sono quelli di:

- zone marginali del solaio, in corrispondenza ad esempio dei cornicioni, dove può capitare che non siano state eseguite tutte le chiusure in modo corretto;

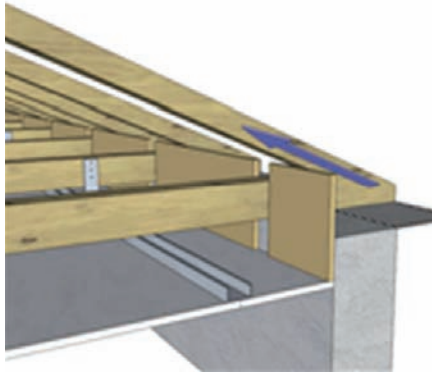


Figura 5.52 - Particolare delle zone marginali di un solaio di sottotetto

- spazi in corrispondenza degli accessi (ad esempio botole o vani scala);

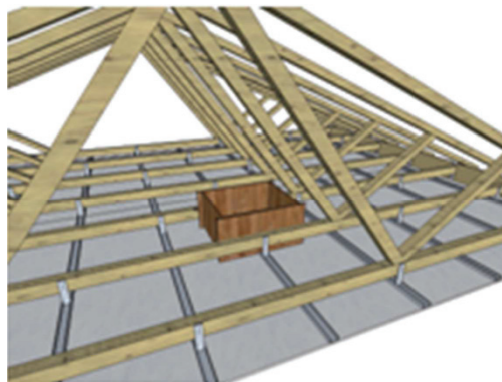


Figura 5.53 - Particolare di un accesso (botola) ad un solaio di sottotetto

- impianti tecnologici da mantenere accessibili per future manutenzioni;

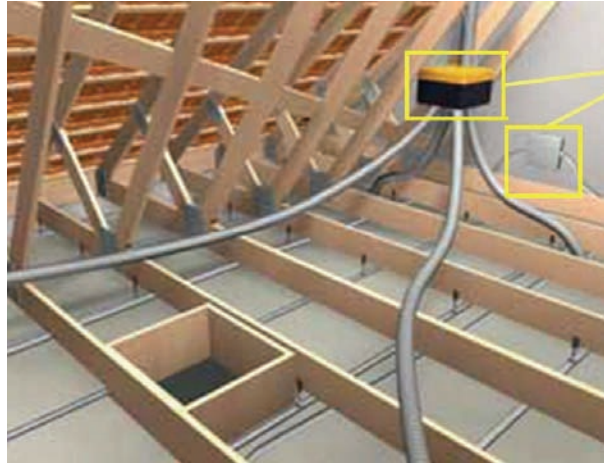


Figura 5.54 – Particolare di impianti tecnologici in un sottotetto

In questa fase è inoltre utile posizionare appositi indicatori di spessore in modo diffuso su tutta l'area da insufflare, per identificare, in ogni istante e in ogni punto di soffiaggio, il raggiungimento e il pareggiamento dello spessore desiderato.

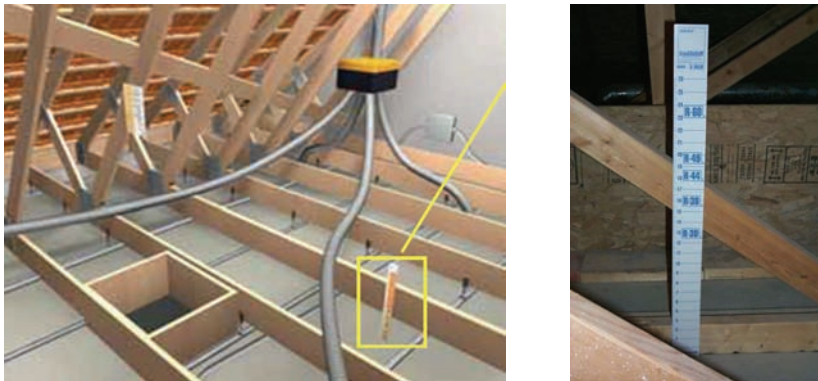


Figura 5.55 – (sinistra) posizionamento di indicatori di livello su un solaio di sottotetto prima dei lavori di insufflaggio dello stesso; (destra) particolare di un indicatore di livello posizionato



**Pagine non disponibili
in anteprima**



Sezione della parete

N.	DESCRIZIONE STRATO (a partire dall'interno verso l'esterno)	s [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/(m·K)]	M _s [kg/m ²]	C _s [J/(kg·K)]	μ	$\delta_s \cdot 10^{12}$ [kg/(m·s·Pa)]	r [(m ² ·K)/W]
1	intonaco di calce e gesso	0,02	1400	0,700	28	1000	10,72	18,00	0,029
2	(250*80*250) - giunto 12 - spessore paramento 80	0,08	775	0,400	62	840	9,38	20,57	0,200
3	Intercapedine da insufflare	0,11	70	0,034	8	1030	1,00	150,00	3,235
4	(250*120*120) - giunto 12 - spessore paramento 120	0,12	1167	0,500	140	840	9,38	20,57	0,240
5	materiale utente 1	0,02	1800	0,900	36	1000	22,71	8,50	0,022
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-

s [m] : spessore dello strato

ρ [kg/m³] : densità del materiale componente lo strato

λ [W/(m·K)] : conducibilità termica del materiale componente lo strato

M_s [kg/m²] : massa superficiale del materiale componente lo strato

C_s [J/(kg·K)] : calore specifico del materiale componente lo strato

μ : coefficiente di resistenza al vapore del materiale componente lo strato

δ_s [kg/(m·s·Pa)] : permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50% del materiale componente lo strato

r [(m²·K)/W] : resistenza termica del singolo strato

Materiale scelto per l'insufflaggio

-> ISOLANTE UTENTE	Massa volumica del materiale scelto per l'insufflaggio	$\rho =$	70	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
	Conducibilità termica del materiale scelto per l'insufflaggio	$\lambda =$	0,034	$[\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$
	Calore specifico del materiale scelto per l'insufflaggio	C_s	1030	$[\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$
	Coefficiente di resistenza al vapore del materiale scelto	μ	1	
	Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%	$\delta_s \cdot 10^{12}$	150	$[\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})]$

Verifica in regime invernale

Il procedimento di calcolo in regime invernale è condotto sulla base dell'ipotesi di regime stazionario, pertanto verranno considerate costanti nel tempo le temperature esterne ed interne in gioco.

Resistenza termica superficiale interna con flusso termico in direzione orizzontale	$R_{si} =$	0,13	$[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$
Resistenza termica superficiale esterna con flusso termico in direzione orizzontale	$R_{se} =$	0,04	$[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$

fonte: UNI EN ISO 6946:1999

Spessore complessivo della parete	$S =$	0,35	$[\text{m}]$		
Resistenza termica della parete insufflata	$R =$	3,896	$[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$	Trasmittanza della parete insufflata	$U =$ 0,257 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$

Verifica secondo la normativa vigente: (D.Lgs 311/06)	$U =$	0,257	<	$U_{lim} =$	0,340	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	La verifica è SODDISFATTA
--	-------	-------	---	-------------	-------	--	---------------------------

Verifica più restrittiva per incentivi fiscali: (D.M. 26.01.2010)	$U =$	0,257	<	$U_{lim} =$	0,270	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	La verifica è SODDISFATTA
--	-------	-------	---	-------------	-------	--	---------------------------

Verifica in regime estivo

Elementi della matrice di trasferimento Z_{eq} :	$Z_{11} = -37,2739408884415-7,56340584851197i$	$Z_{21} = 139,299842237767+218,667190732259i$
	$Z_{12} = 8,31588452668621-5,1333033379208i$	$Z_{22} = -64,567290434746-16,4993055742958i$

Moduli degli elementi della matrice di trasferimento:	$ Z_{11} = 38,03$	Coeff. di sfasam.:	$\Delta T_{11} = -11,24$ anticipo
	$ Z_{12} = 9,77$		$\Delta T_{12} = -2,11$ anticipo
	$ Z_{21} = 259,27$		$\Delta T_{21} = 3,83$ ritardo
	$ Z_{22} = 66,64$		$\Delta T_{22} = -11,04$ anticipo

Trasmittanza termica periodica	$Y_{TE} = 0,10$
Massa superficiale della parete (escl. intonaci)	$M_s = 245,70 \text{ [kg/m}^2\text{]}$
Fattore di attenuazione	$f = 0,399$

Capacità termica areica (int.)	$\chi_1 = 54,90 \text{ [kJ/(m}^2 \cdot \text{K)]}$
Sfasamento	$\theta = 9,89 \text{ [h]}$

Verifica secondo la normativa vigente: D.P.R. 59/09

Verificare che (ad esclusione della zona F) per le località in cui il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione $I_{m,s} \geq 290 \text{ W/m}^2$, per pareti opache verticali ad eccezione di quelle nel quadrante Nord-ovest/Nord/Nord-Est:

$M_s = 245,70$	$>$	230	$[\text{kg/m}^2]$	La verifica (se richiesta) è SODDISFATTA
$Y_{TE} = 0,10$	$<$	$0,12$	$[\text{W/(m}^2 \cdot \text{K)]}$	

Verifica della condensa interstiziale

CONDIZIONI AMBIENTALI ESTERNE

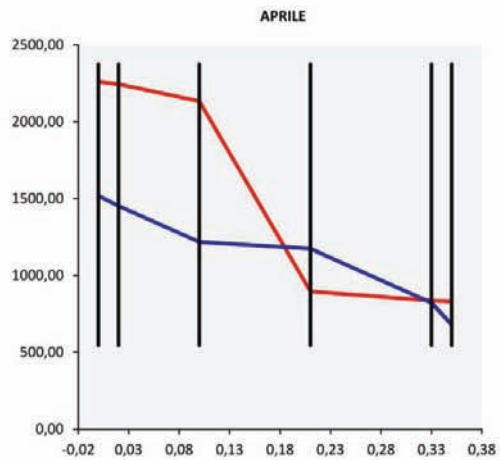
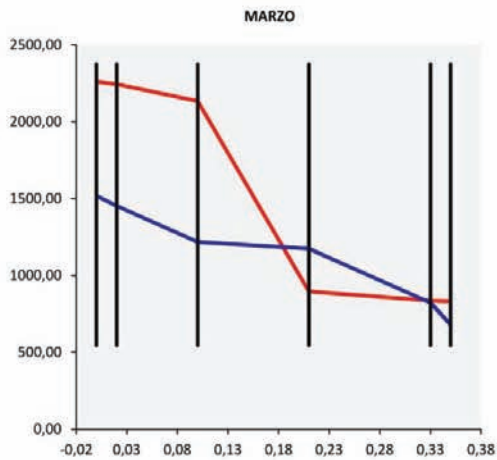
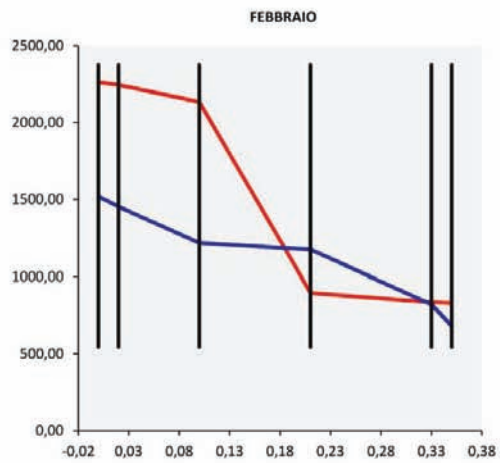
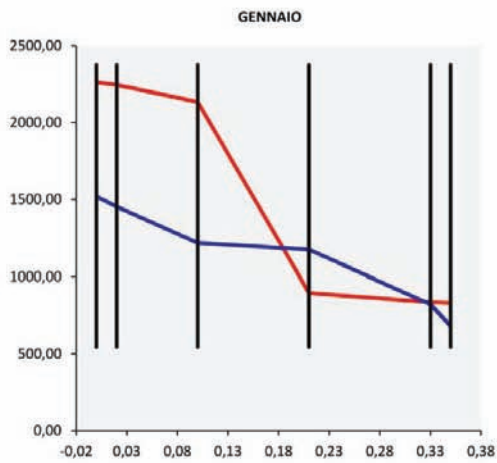
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
T_e [°C]	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14
UR_e	82,80%	82,80%	82,80%	82,80%	82,80%	82,80%	82,80%	82,80%	82,80%	82,80%	82,80%	82,80%
P_{ve} [Pa]	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680	680
P_{se} [Pa]	821	821	821	821	821	821	821	821	821	821	821	821

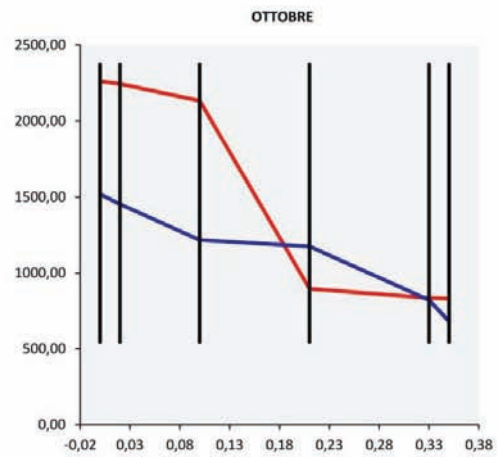
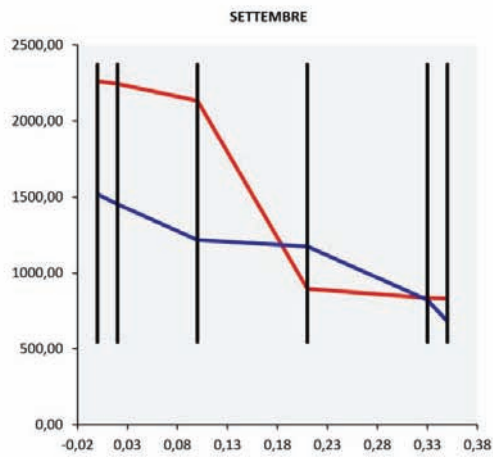
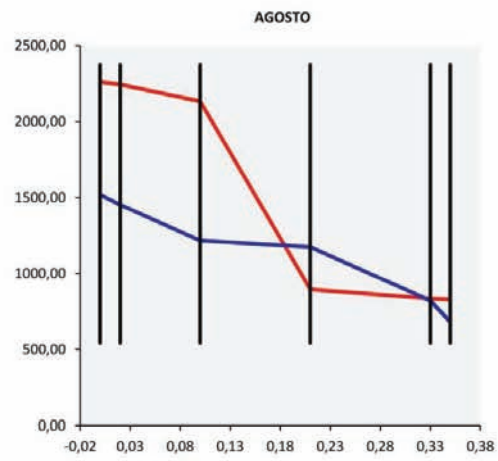
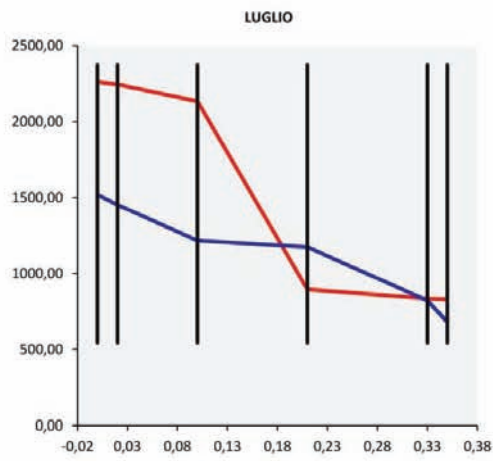
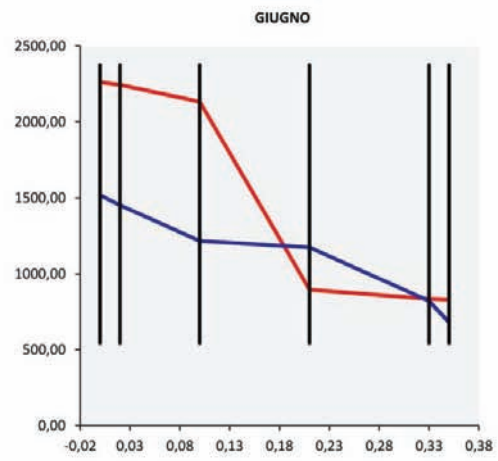
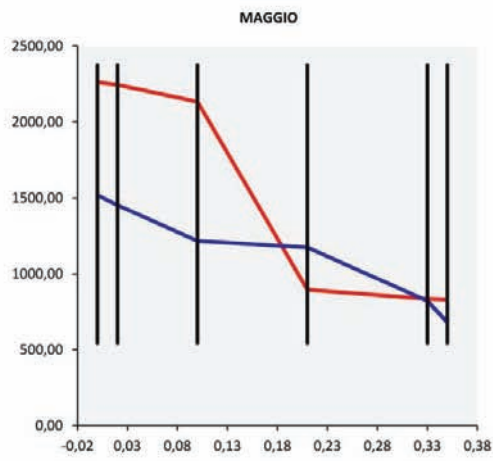
T_e [°C]: temperatura aria esterna

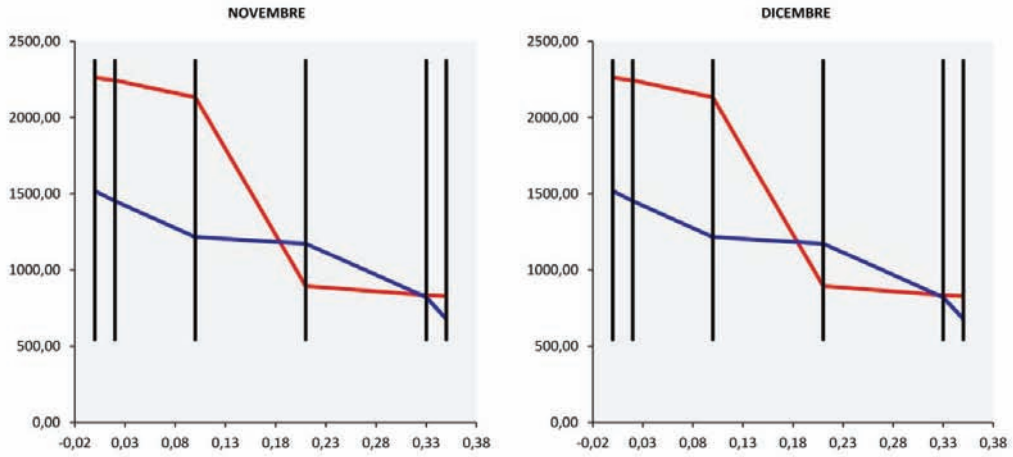
P_{ve} [Pa]: pressione di vapore aria esterna

UR_e [%]: umidità relativa aria esterna

P_{se} [Pa]: pressione di saturazione aria esterna







TEMPERATURE SUPERFICIALI DI CIASCUNO STRATO

s [m]	GEN [°C]	FEB [°C]	MAR [°C]	APR [°C]	MAG [°C]	GIU [°C]	LUG [°C]	AGO [°C]	SET [°C]	OTT [°C]	NOV [°C]	DIC [°C]
0,00	19,47	19,47	19,47	19,47	19,47	19,47	19,47	19,47	19,47	19,47	19,47	19,47
0,02	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35	19,35
0,10	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54	18,54
0,21	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37
0,33	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39	4,39
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30	4,30
0,35	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14

INDICE DELLE FIGURE

- Figura 1.1** (sinistra) percentuale degli edifici nazionali a destinazione residenziale; (destra) percentuale delle abitazioni nazionali utilizzate come primarie
- Figura 1.2** Divisione per epoca di costruzione del patrimonio edilizio nazionale
- Figura 1.3** Divisione per stato di conservazione del patrimonio edilizio nazionale
- Figura 1.4** Divisione per stato di conservazione e per varie epoche costruttive del patrimonio edilizio nazionale
- Figura 1.5** Mappa delle are climatiche in cui è suddiviso il territorio nazionale
- Figura 1.6** “*Matrice della Tipologia Edilizia*” italiana (area climatica media) con l’illustrazione degli edifici-tipo. Gli archetipi sono illustrati attraverso un volumetrico semplificato
- Figura 1.7** “*Matrice della Tipologia Edilizia*” italiana (area climatica media) con l’illustrazione degli edifici-tipo. Gli archetipi sono illustrati attraverso un’immagine reale
- Figura 1.8** Mappa delle principali normative sul risparmio energetico nelle costruzioni
- Figura 1.9** Dipendenza energetica dei vari stati membri della Unione Europea
- Figura 1.10** Impieghi finali di energia per settore, anno 2012
-
- Figura 2.1** La riqualificazione energetica di un immobile
- Figura 2.2** Percentuali delle superfici disperdenti di un immobile tipo
- Figura 2.3** Intonaco isolante
- Figura 2.4** Isolamento a cappotto
- Figura 2.5** Parete ventilata
- Figura 2.6** Insufflaggio dell’intercapedine
- Figura 2.7** Isolamento di una copertura a falde
- Figura 2.8** Isolamento di una copertura piana
- Figura 2.9** Isolamento di un solaio di sottotetto
- Figura 2.10** Comportamento di un infisso a doppio vetro
- Figura 2.11** Schemi di isolamento termico di cassonetti per avvolgibili
- Figura 2.12** Assonometria sud-ovest dell’edificio
- Figura 2.13** Assonometria nord-est dell’edificio
- Figura 2.14** Dati geometrici del piano terra
- Figura 2.15** Dati geometrici del piano primo
- Figura 2.16** Altezze nette dei piani
- Figura 2.17** Riduzione percentuale dell’indice di energia primaria (EP_1) relativamente alle varie ipotesi di intervento considerate
- Figura 2.18** Costo percentuale e convenienza percentuale relativamente alle varie ipotesi di intervento considerate
- Figura 2.19** Tasso di rendimento interno (TIR)
- Figura 2.20** Tempo di ritorno attualizzato (TRA)
- Figura 2.21** Valore attuale netto (VAN) relativamente alle varie ipotesi di intervento considerate
-
- Figura 3.1** Mappa delle are climatiche in cui è suddiviso il territorio nazionale
- Figura 3.2** Confronto tra gli spessori di vari materiali isolanti, aventi lo stesso valore di resistenza termica
- Figura 3.3** Immagine di un’intercapedine muraria catturata con endoscopio elettronico
- Figura 3.4** Rappresentazione grafica del fattore di attenuazione e del coefficiente di sfasamento dell’onda termica