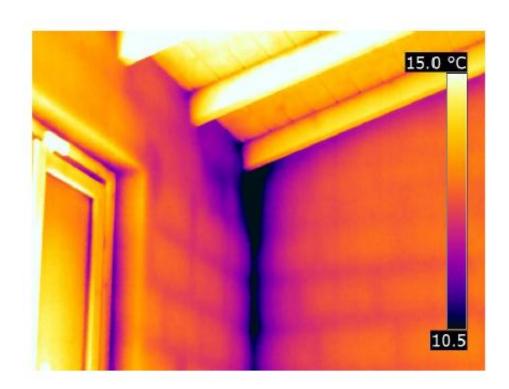


RIQUALIFICAZIONE dall'interno: DIAGNOSI, INTERVENTO E VERIFICA

MANUALE ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO

Settembre 2016





Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di ANIT.

I MANUALI ANIT

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, pubblica periodicamente **GUIDE** e **MANUALI** di chiarimento sull'efficienza energetica e l'isolamento acustico degli edifici. Gli argomenti trattati riguardano la normativa di riferimento, le tecnologie costruttive, le indicazioni di posa e molto altro.

Le **GUIDE** analizzano le leggi e le norme del settore e sono riservate ai Soci.

I **MANUALI** invece, caratterizzati da un taglio più pratico e realizzati in collaborazione con le Aziende ANIT, sono scaricabili gratuitamente dal sito www.anit.it

I vari temi sono approfonditi nei LIBRI della collana editoriale ANIT "L'isolamento termico e acustico".

STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante aggiornamento sulle norme in vigore con le GUIDE ANIT



I Software ANIT per calcolare tutti i parametri energetici, igrotermici e acustici degli edifici



Servizio di chiarimento tecnico da parte dello Staff ANIT



La rivista specializzata Neo-Eubios

I servizi e la quota di iscrizione variano in base alla categoria di associato (Individuale, Azienda, Onorario) I Soci Individuali possono accedere alla qualifica "Socio Individuale Più" per ottenere servizi avanzati Per informazioni: www.anit.it



The World's Sixth Sense®

MANUALE ANIT REALIZZATO IN COLLABORAZIONE CON



Tutti i diritti sono riservati

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di ANIT. I contenuti sono curati dallo Staff ANIT e sono aggiornati alla data in copertina.

Le informazioni riportate sono da ritenersi comunque indicative ed è sempre necessario riferirsi anche a eventuali documenti ufficiali. Sul sito www.anit.it sono disponibili i testi di legge.

Si raccomanda di verificare sul sito ANIT l'eventuale presenza di versioni più aggiornate di questo documento.

INDICE

0	PREMI	ESSA	2
1	DIAGN	IOSI STRUMENTALE PRELIMINARE	3
	1.1	La presenza di umidità in superficie altera la temperatura superficiale?	4
	1.2	Esempio di indagine preliminare	
2	DIAGN	IOSI AVANZATA	
	2.1	Diagnosi avanzata	
	2.2	Indagine strumentale e raccolta informazioni	
	2.3	Valutazione predittiva con condizioni al contorno da indagine	
	2.4	Tenuta all'aria e infiltrazioni dovute al vento	
	2.5	Misura della trasmittanza termica della parete	
	2.6	Conclusioni delle indagini:	
3	ESEMP	PIO DI INTERVENTO ISOLAMENTO TERMICO	
	3.1	Requisiti minimi in relazione al DM 26/06/20151	3
	3.2	Progetto di isolamento dall'interno: controllo dispersioni	
	3.3	Progetto di isolamento dall'interno: prestazioni igrotermiche	
	3.4	Fasi di posa e controllo dei dettagli1	
4	VERIFI	CA STRUMENTALE	19
	4.1	Scopo della verifica	9
	4.2	Indagine di omogeneità della superficie isolata1	9
	4.3	Cura del dettaglio di infiltrazione	
	4.4	Efficacia dell'intervento di isolamento termico	21
	4.5	Conclusioni2	21
5	CONTA	ATTI	22
6	BIBLIO	GRAFIA	23

O PREMESSA

Nel corso degli ultimi anni l'Associazione ha rilevato dalle domande del mondo professionale e dalle soluzioni proposte dalle aziende un naturale aumento delle problematiche legate all'igrometria. In generale, di fronte ai fenomeni di degrado derivanti da queste problematiche, si presentano alcune criticità:

- Individuare il fenomeno in modo ingegneristico
- Individuarne le cause
- Proporre le possibili soluzioni, progettarle e realizzarle

Gli attuali strumenti a disposizione del progettista e le soluzioni proposte dalle aziende sono adeguate: il presente documento, realizzato grazie al prezioso contributo di due aziende associate ad ANIT, FLIR Systems e Naturalia Bau, mostra un esempio di processo virtuoso che porta l'utente a risolvere il proprio problema in ottica di evitare qualsiasi forma di contenzioso.

L'approccio prevede:

- un'indagine preliminare che evidenzi rapidamente il problema in essere
- un'indagine avanzata che porti alla produzione di un modello di calcolo predittivo da validare con le informazioni strumentali per poter progettare l'intervento risolutivo
- un esempio di intervento realizzato con la risoluzione del problema di infiltrazione d'aria e di isolamento termico
- il collaudo finale strumentale

Il manuale si concentra sul tema dell'individuazione degli strumenti per arrivare alla soluzione adeguata, dove per strumenti si intendono non solo strumentazione di misura, ma anche software di calcolo e materiali e prodotti di isolamento idonei, adeguatamente descritti e con la parte di posa in opera ben progettata.

Con il presente manuale, reso disponibile per tutta la comunità professionale che ruota intorno ad ANIT, speriamo di dare un contributo all'approfondimento dei temi di igrotermia.

Buona lettura, ANIT

1 DIAGNOSI STRUMENTALE PRELIMINARE

Per una diagnosi strumentale preliminare che sia volta all'identificazione del tipo di problema che interessa una struttura, è necessario conoscere cosa si sta cercando. Quali sono quindi i possibili motivi di problematiche igrotermiche in edilizia?

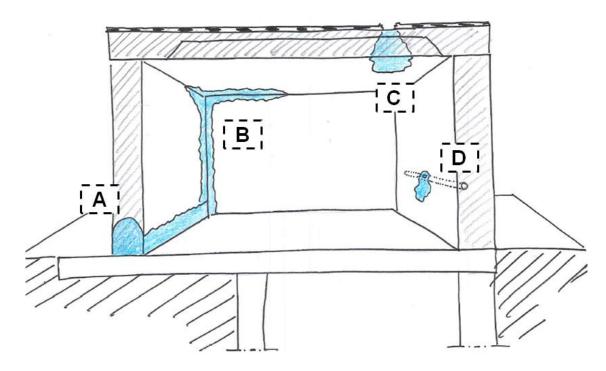
La seguente tabella descrive i possibili fenomeni legati all'umidità nelle costruzioni e riassume le possibili attività utili per identificarli.

TIPOLOGIA	DESCRIZIONE del fenomeno e tipo di INDAGINI da svolgere						
	Condensazione superficiale o interstiziale di umidità prodotta nell'ambiente						
	abitativo e che trova "una superficie fredda" su cui condensare						
	Informazioni relative alla struttura, ai materiali, ai ponti termici ecc						
Umidità da condensa	Termografia attiva esterna per identificare la tecnologia costruttiva						
superficiale	Termografia passiva per individuare posizione ed estensione						
	Termografia passiva per validare l'eventuale modello di calcolo predittivo						
	Fotografia per capire tipologie e posizione degrado						
	Posa termo igrometri interni ed esterni per rilevamento di T e UR dell'aria						
	Indagini su punti di infiltrazione d'aria						
	Umidità dovuta a fenomeni di risalita capillare di acqua nelle pareti						
Umidità ascendente	Informazioni relative al terreno, alla struttura, materiali, ponti termici ecc						
Umidita ascendente	Termografia attiva esterna per identificare la tecnologia costruttiva						
	Termografia passiva per individuare posizione ed estensione						
	Fotografia per capire tipologie e posizione degrado						
	Umidità dovuta alla presenza di infiltrazioni o perdite in corrispondenza delle						
	parti della costruzione a diretto contatto con acqua: impianti idrotermosanitari,						
Umidità accidentale	scarichi, pluviali, coperture						
Omidita accidentale	Informazioni relative alla struttura, materiali, ponti termici ecc						
	Fotografia per capire tipologie e posizione del degrado						
	Informazioni per capire passaggi impianti idrotermosanitari e posizioni pluviali						
	Termografia passiva per individuare posizione ed estensione						
Umidità da terrapieno	Umidità dovuta alla differenza di livello tra pavimento dell'ambiente e livello del						
Official da terrapieno	terreno.						
	Umidità presente sulle superfici esterne delle murature direttamente						
	conseguente al fenomeno delle precipitazioni atmosferiche.						
	Informazioni relative alla struttura, materiali, ponti termici ecc						
Umidità meteorica	Fotografia per capire tipologie e posizione degrado						
Omidita meteorica	Termografia passiva per individuare posizione ed estensione						
	Indagine quantitativa per concentrazione in periodo asciutto						
	Indagine quantitativa per concentrazione in periodo bagnato						
	Posa termo igrometri interni ed esterni e in sottotetto						
	Studio della posizione di pluviali o impianti di scarico						
Umidità da costruzione	Umidità da costruzione che si riscontra in una struttura durante e						
ominita da costruzione	immediatamente dopo i lavori di costruzione o ristrutturazione.						

La presenza di umidità nella e sulla struttura e la posizione di essa è già un buon indicatore della possibile tipologia di fenomeno. L'umidità di origine meteorica, o di risalita capillare oppure di condensazione superficiale da ponte termico è infatti generalmente caratterizzata da una posizione ben precisa.

Uno strumento molto comodo che "visualizza", con le dovute competenze, la presenza di umidità è la termocamera.

L'immagine seguente mostra che, avendo la possibilità di avere una visione di insieme, la posizione e la distribuzione di umidità sono già un indizio molto utile alla comprensione del fenomeno. Sono chiare infatti le tipologie di umidità presenti: umidità da risalita (A), umidità da condensa superficiale (B), umidità meteorica (C) e umidità accidentale da rottura di tubo (D).



In commercio sono presenti diverse tipologie di strumenti di indagine che restituiscono indici più o meno precisi di presenza di umidità superficiale, che portano a poter mappare qualitativamente una superficie. E' però vero che la strumentazione termografica può restituire rapidamente una visione preliminare d'insieme che mostra in rivestimenti omogenei (quindi stesso materiale, cioè isoemissivi nello spettro dell'infrarosso termico) alterazioni di carattere termico ovvero differenti distribuzioni di temperatura superficiale che possono rivelare la presenza di umidità.

1.1 La presenza di umidità in superficie altera la temperatura superficiale?

L'umidità presente in superficie sarà probabilmente in condizione di poter evaporare verso l'aria dell'ambiente interno. Il processo di evaporazione è un processo che richiede energia e quindi, se dell'umidità è in superficie, evaporando, sottrae energia alla superficie stessa abbassandone la temperatura. E' possibile quindi indagare l'interno di un'abitazione studiandone la temperatura superficiale per individuare problematiche igrotermiche ovvero di presenza di umidità superficiale. Per avere una visione di insieme è quindi sufficiente avere degli strumenti che evidenzino la disomogeneità spaziale della distribuzione di temperatura.

1.2 Esempio di indagine preliminare

Per dare un'idea della possibilità di indagine anche con strumentazione "termografica base" (è stato usato lo strumento FLIR MR 176, termo-igrometro portatile con tecnologie IGM – Infrared Guided Meausurement), si mostrano alcune immagini termografiche relative a due posizioni: un nodo di parete ad angolo con copertura in legno che presentava problematiche di degrado superficiale e l'appoggio di una trave della copertura sulla muratura. La visione di insieme delle immagini termografiche consente una prima raccolta di informazioni preziosa relativa ai fenomeni di degrado in essere.



Nodo oggetto di indagine con problematiche di degrado

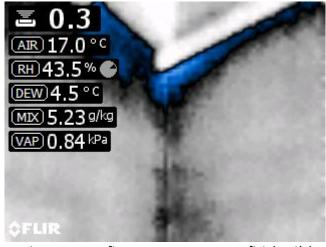


Immagine termografica: temperatura superficiale più bassa in azzurro, distribuita in corrispondenza delle zone di riempimento della muratura tra i travetti



Nodo oggetto di indagine con problematiche di degrado

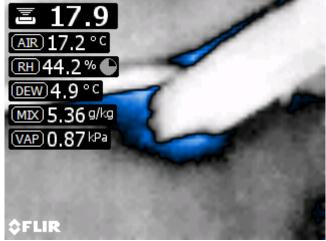


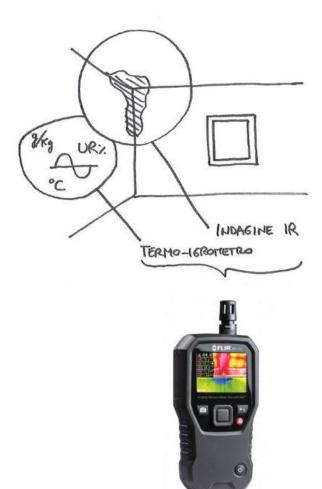
Immagine termografica: temperatura superficiale più bassa in azzurro, distribuita in corrispondenza delle aree intorno alla trave di appoggio.

L'indagine preliminare ha quindi evidenziato che i fenomeni di degrado superficiale (indicati con il cerchio rosso) sono corrispondenti alle posizioni in cui si manifestano temperature superficiali più basse. Temperature superficiali ridotte nei nodi indicati possono manifestarsi per diverse cause (anche contemporanee) legate alla trasmissione di calore (condensazione superficiale), all'infiltrazione di aria o all'evaporazione di umidità. Un'analisi più avanzata può individuare precisamente il tutto e quindi proporre la soluzione.

Per poter indagare preliminarmente strutture oggetto di degrado, è opportuno disporre durante il primo sopralluogo di strumentazione in grado di stimare e/o misurare:

- distribuzione della temperatura superficiale delle strutture per indagare posizione e tipologia dei fenomeni di degrado (uso delle termo camere)
- temperatura e umidità relativa dell'aria per capire in prima battuta le condizioni al contorno interne ed esterne dell'ambiente

Queste informazioni consentono di valutare quantitativamente le operazioni successive legate all'indagine avanzata.



2 DIAGNOSI AVANZATA

2.1 Diagnosi avanzata

Grazie all'impiego di strumentazione termografica professionale si procede all'analisi dei punti deboli della struttura. Una parete ha una temperatura superficiale troppo bassa che si sviluppa in relazione al nodo parete non isolata - copertura isolata. L'uso della strumentazione di indagine avanzata consente di valutare se i modelli predittivi di calcolo agli elementi finiti sono corretti e quindi di poter progettare correttamente l'intervento di isolamento.

Il processo è quindi così composto:

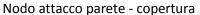
- indagine strumentale per raccolta informazioni al contorno e di temperatura superficiale
- valutazione predittiva agli elementi finiti con condizioni di temperatura = a quelle dell'indagine strumentale
- verifica della coerenza tra temperatura in campo e del modello predittivo
- individuazione delle cause e progetto e controllo dell'intervento di isolamento termico

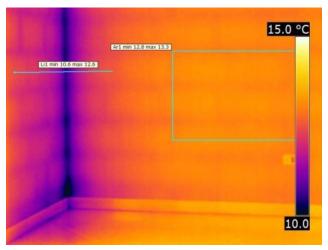
2.2 Indagine strumentale e raccolta informazioni

Individuate le aree critiche con temperatura superficiale bassa si procede alla modellazione con software agli elementi finiti dei componenti edili che costituiscono il nodo. Lo scopo è di produrre, sulla base delle informazioni rilevate in campo (spessore e tipologia di parete), un modello di calcolo da validare con le informazioni strumentali acquisite. Se il modello rappresenta sufficientemente la realtà è possibile stabilire la causa igrotermica e quindi progettare l'intervento risolutivo.

Le indagini sono state condotte in condizioni molto favorevoli e vicine al "regime stazionario". La temperatura dell'aria esterna è infatti rimasta praticamente costante, prima dell'indagine, intorno a 3 °C e la temperatura dell'aria interna è stata fissata a 16 °C. I valori di temperatura superficiale interna dei nodi oggetto di studio sono indicati nei termogrammi:







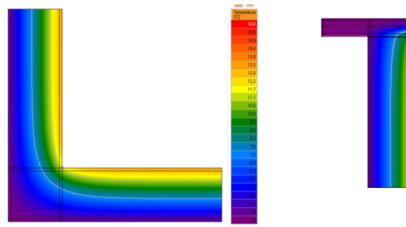
Nodo di angolo di parete

2.3 Valutazione predittiva con condizioni al contorno da indagine

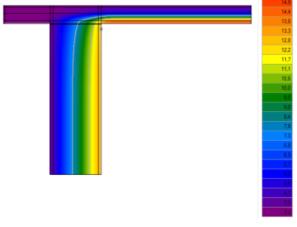
I componenti edilizi costituenti la parete e la copertura dell'edificio esistente sono stati stimati, in base all'osservazione, nel modo seguente:

- parete in laterizio alveolato da 30 cm con 2 cm di intonaco interno ed esterno con un valore di trasmittanza pari a $U = 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$
- solaio con perlinato di sostegno in legno da 2 cm e con 5 cm di isolamento termico con un'intercapedine debolmente ventilata e tegole per un valore di trasmittanza pari a $U = 0.68 \text{ W/m}^2\text{K}$

La valutazione agli elementi finiti predittiva con le condizioni al contorno ritrovate durante l'indagine termografica (T aria esterna = 3 °C e T aria interna = 16°C) ha portato ai seguenti risultati (il calcolo è stato realizzato con software agli elementi finiti validato in accordo con UNI EN 10211 – IRIS 3):

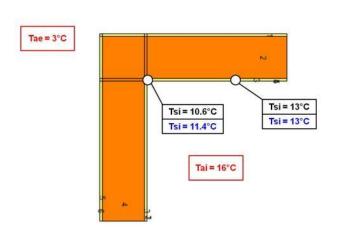


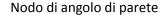
Nodo di angolo di parete

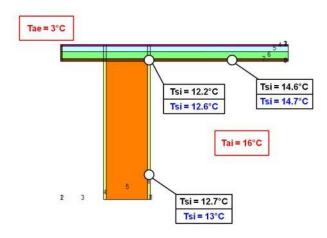


Nodo attacco parete - copertura

Verifica di coerenza







Nodo attacco parete - copertura

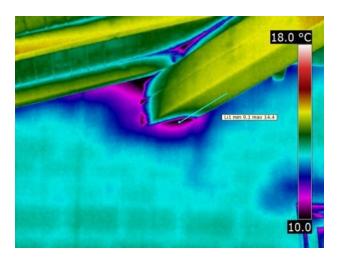
I valori di temperatura superficiale interna valutati con indagine termografica e con valutazioni predittiva sono coerenti. E' quindi possibile studiare i nodi bidimensionali ai fini delle comprensione dei fenomeni igrotermici in atto e della loro soluzione.

Si studiano i due nodi in accordo con l'attuale legislazione vigente (DM 26/06/2015), imponendo quindi le attuali condizioni di progetto per l'ambiente interno. Il nodo di angolo ha una temperatura superficiale che comporta il rischio di formazione di muffa, mentre il nodo di copertura no. Ma se l'ipotesi di concentrazioni di vapore viene portata ai dati del DPR 59/09 (UR = 65%) anche il nodo di copertura ricade nel rischio muffa. I fenomeni di degrado in essere sono quindi derivanti da uno scarso livello di isolamento termico del nodo. In fase di progettazione sarà possibile valutare in modo adeguato la possibilità di intervento e il controllo delle conseguenze igrotermiche.

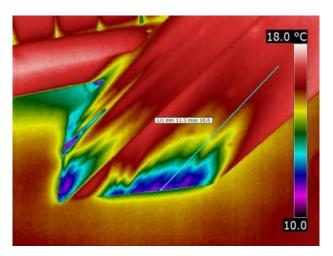
L'indagine avanzata ha anche valutato in dettaglio un altro fenomeno che si era palesato con un prima indagine base, la presenza di infiltrazione d'aria.

2.4 Tenuta all'aria e infiltrazioni dovute al vento

Il punto in cui la trave di legno si appoggia e si innesta nella muratura è un punto debole. L'indagine preliminare ha evidenziato le temperature superficiali basse. L'indagine avanzata consente di valutare con maggior dettaglio la causa: presenza di infiltrazioni d'aria esterna. Le immagini termografiche, con adeguata tavola di colori, consentono di descrivere meglio il moto di aria in ingresso. Come si nota è presente un ingresso d'aria nella giunzione verticale e orizzontale della trave. L'intervento di isolamento dovrà risolvere anche la tenuta all'aria del giunto. Come si può stimare la maggiore dispersione energetica derivante dalla situazione riscontrata con indagine termografica?



Nodo attacco trave – parete con delta di pressione $\Delta P = 5$ pa



Nodo attacco trave – parete con delta di pressione $\Delta P = 50$ pa

La misura termografica può essere integrata con informazioni quantitative. Sono stati impiegati infatti due altri strumenti per valutare la dispersione energetica derivante dall'infiltrazione d'aria individuata:

- Blower door per mettere in depressione l'ambiente e per valutare la differenza di pressione tra dentro e fuori il volume oggetto di studio
- Anemometro a filo caldo per valutare la velocità media dell'aria nei pressi del giunto alle diverse differenze di pressione

Il dato di velocità media dell'aria rilevato a 50 Pa di differenza di pressione tra la stanza e l'esterno è di una velocità pari a circa v = 5 m/s. E' possibile sulla base di questa informazione valutare orientativamente il

numero di ricambi orari derivante dalla presenza di questo giunto mettendo assieme tutte le informazioni raccolte:

- velocità media dell'aria v = 5 [m/s] con differenza di pressione $\Delta P = 50$ [Pa]
- dato geometrico di sezione del giunto di infiltrazione A = 0.002 x 0.20 = 0.0004 [m²]
- volume d'aria orario con differenza di pressione $\Delta P = 50 [Pa] V = 0.0004 \times 5 / 3600 = 7.2 [m³/h]$
- numero di ricambi orari derivanti dal giunto con differenza di pressione $\Delta P = 50$ [Pa]

$$n_{50 \text{ del giunto}} = 7.2/35 = 0.20 [1/h]$$

Il valore di $n_{50 \text{ del giunto}}$ indica il ricambio orario dovuto a una differenza di pressione molto elevata. Ma quanta aria entra nell'ambiente mediamente? Stimato il valore di $n_{50 \text{ del giunto}}$ è possibile stimare il ricambio medio derivante da condizioni di differenza di pressione media per mezzo dell'equazione [Fonte: 12 e 16]:

$$n_{mediogiun o} = n_{50} \cdot \left(\frac{\Delta p_{progetto}}{50}\right)^n \cdot f_{sys}$$

Dove:

- n_{50} è il valore di ricambi orari misura a 50 Pa pari a 0.20 1/h
- $\Delta p_{progetto}$ è la differenza di pressione espressa in Pa di progetto valutata sulla base delle velocità del vento e della differenza di temperatura della località pari a 2.5 Pa
- n è il valore dell'esponente considerato pari a = 2/3
- f_{sys} è un fattore di correzione che tiene conto della morfologia dell'edificio e considerato pari a 0.7

Il valore medio di ricambio di aria, che genera una maggiore consumo energetico, dovuto al giunto è pari a n_{50} del giunto = 0.07 1/h.

L'intervento che fermerà l'infiltrazione di aria porterà quindi a ridurre le dispersioni energetiche.

Le considerazioni descritte si possono estendere a tutti i punti che durante la prova sono stati individuati con indagine termografica come punti deboli legati all'infiltrazione di aria: ad esempio il giunto tra telaio fisso e parete dei serramenti e delle porte finestre come mostra l'indagine termografica.

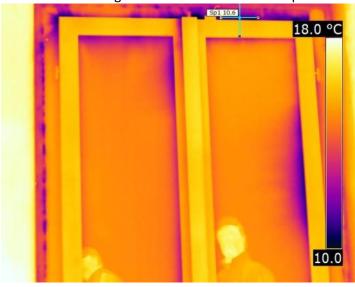


Immagine termografica che mostra le infiltrazioni d'aria nei seguenti giunti: telaio fisso-parete, telaio mobile-telaio fisso, vetro-telaio mobile

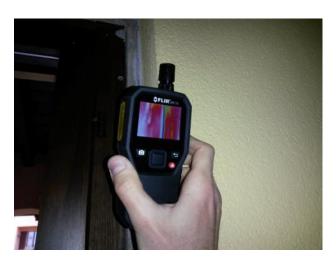
Seguono alcune fotografie delle indagini condotte che hanno portato alle conclusioni precedenti.





Individuazione infiltrazioni d'aria da giunto trave – parete e indagine avanzata con termocamera e anemomentro. Nella parte bassa intervento di isolamento termico in corso con pannelli in fibra di legno

Blower door in fase di depressurizzazione del volume. La tensostruttura si gonfia verso il volume grazie al ventilatore sottostante che estrae aria dall'ambiente causando l'immissione dai vari punti deboli



Indagine preliminare con evidenziata sul display della strumentazione la differenza di temperatura superficiale

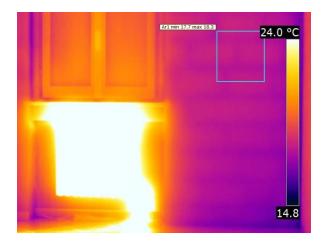


Indagine avanzata con con evidenziato sul display la trave che si innesta sulla parete con l'infiltrazione d'aria

2.5 Misura della trasmittanza termica della parete

Con le indagini termografiche sono stati individuati i punti deboli dei ponti termici e le infiltrazioni d'aria. Si esegue un'ulteriore valutazione strumentale in campo che permette di stabilire il valore di trasmittanza termica della struttura in laterizio oggetto di studio.

La strumentazione di misura, termo flussimetri e sonde di temperatura, viene posizionata in punti rappresentativi della parete con una verifica dell'omogeneità di temperatura superficiale realizzata con indagine termografica:



Area interna di parete oggetto di studio – omogeneità di distribuzione di temperatura superficiale



Area esterna di parete oggetto di studio – omogeneità di distribuzione di temperatura superficiale

Il valore di trasmittanza termica misurato è pari a $U_{misurato} = 1.10 \text{ W/m}^2\text{K}$, ben rappresentativo di una struttura in laterizi alveolati da 30 cm con intonaco ai due lati. (vedi riferimento 1.1.08 del prodotto laterizio alveolato nella norma UNI 10355 con resistenza termica del blocco R = 0.77 m²K/W).

2.6 Conclusioni delle indagini:

Grazie all'impiego della strumentazione di misura indicata e della validazione dei modelli di calcolo predittivi, le conclusioni sono:

- alcuni fenomeni di degrado dipendono dalle temperature superficiali causate dai ponti termici. Tra le varie ipotesi di intervento di isolamento termico si potrà verificare se i fenomeni si risolveranno o meno. I fenomeni riguardano l'angolo della parete in muratura e l'attacco parete – solaio di copertura
- nel giunto dove la trave di legno di sostegno della copertura si appoggia sulla parete è evidente un fenomeno di infiltrazione d'aria
- la parete esistente, pur essendo il fabbricato di recente costruzione ha una valore di trasmittanza paragonabile a quello di un edificio esistente.

Sulla base delle conclusioni si propone un intervento di isolamento termico dall'interno che:

- riduca il valore di trasmittanza termica riducendo le dispersioni energetiche nel rispetto dei requisiti minimi del DM 26/06/15
- riduca il rischio di formazione di fenomeni di degrado superficiale legati al ponte termico dove possibile
- intervenga sul fenomeno di infiltrazione d'aria in essere

Grazie alle indagini strumentali e con un parallelo impiego di valutazione analitiche predittive è possibile governare pienamente il tipo di intervento di isolamento proposto e le conseguenze dell'intervento in termini di rischio di fenomeni di degrado, loro soluzione e di riduzione di fabbisogno energetico.

3 ESEMPIO DI INTERVENTO ISOLAMENTO TERMICO

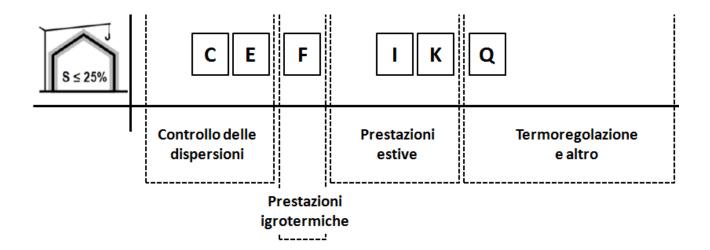
Per la risoluzione dei problemi individuati e in relazione alle possibilità di intervento dell'appartamento oggetto di studio si procede con un intervento di isolamento termico dall'interno.

La progettazione prevede da parte del professionista una conoscenza della legislazione di riferimento per il rispetto dei requisiti minimi e una conoscenza dei sistemi di isolamento termico presenti in commercio per l'isolamento dall'interno.

3.1 Requisiti minimi in relazione al DM 26/06/2015

L'intervento di isolamento termico proposto, indipendentemente dal titolo abilitativo richiesto, si configura come una "riqualificazione energetica" poiché la parete oggetto di intervento riguarda una superficie di area inferiore al 25% della superficie disperdente complessiva dell'edificio.

Lo schema tratto dalla GUIDA ANIT, descrive in sintesi i requisitimi minimi in funzione dell'intervento: **C** = trasmittanza termica media, **E** = deroga all'altezza minima, **F** = verifiche igrotermiche, **I** = schermature mobili per serramenti, **K** = cool roof per coperture **Q** = termoregolazione

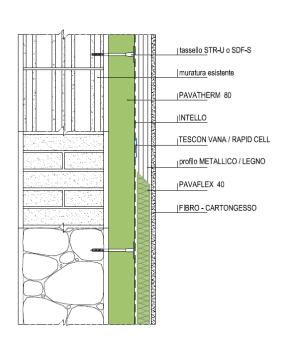


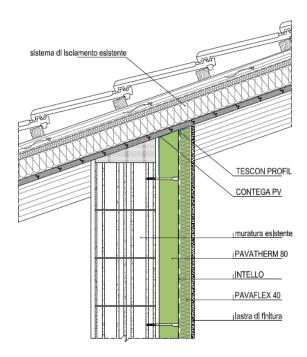
Il progetto di isolamento deve quindi concentrarsi su una soluzione che:

- Isoli termicamente nel rispetto dei limiti di legge la parete comprendendo i ponti termici al perimetro
- Non abbia rischio di condensazione interstiziale
- Non abbia rischi di formazione di muffa superficiale

3.2 Progetto di isolamento dall'interno: controllo dispersioni

Si procede seguendo una delle proposte di isolamento dall'interno denominata IGROSAN di Naturalia Bau, azienda associata ANIT, così costituta:





Esempio di stratigrafia d'intervento di isolamento dall'interno

Esempio di soluzione di nodo tra copertura in legno e parete isolante dall'interno

L'intervento di isolamento termico così composto, considerando il laterizio alveolato esistente, porta ad una struttura con un valore di trasmittanza termica U = 0.33 W/m²K. La struttura è a contatto con la copertura, il solaio verso locale non riscaldato e con un'altra parete non isolata formando quindi tre situazioni di flusso termico bidimensionali da analizzare come ponti termici.

Il valore di trasmittanza termica media della superficie d'intervento, valutata con dimensioni interne, è pari a U = $0.36 \text{ W/m}^2\text{K}$ ed è inferiore al limite di legge U $_{\text{lim}}$ = $0.30 \text{x} 1.3 = 0.39 \text{ W/m}^2\text{K}$

	U _{post} [W/m ² K]	A _i [m²]	Ψ _i [W/mK]	L [m²]	F _p [-]	H [W/K]	H _{tot} [W/K]	U _{media} [W/m ² K]	U _{lim} [W/m ² K]
Parete	0.33	15				4.95			
PT_ Angolo			0.14	3	27%	0.11			
PT_2 Copertura			0.07	5	33%	0.11	4.91		
PT_3 Solaio			0.21	5	28%	0.29			
							5.46	0.36	0.39

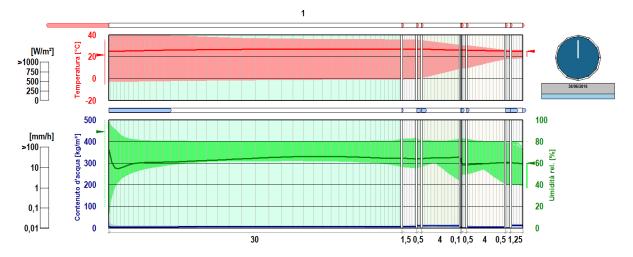
3.3 Progetto di isolamento dall'interno: prestazioni igrotermiche

La legislazione nazionale richiede oltre alla verifica di contenimento delle dispersioni anche la verifica dell'assenza di rischio di formazione di muffa superficiale e di condensazione interstiziale. La prima verifica è assicurata dall'elevata resistenza termica complessiva dell'intero pacchetto R $t=3.03~m^2 K/W$ a fronte di una resistenza termica minimi pari a R $_{min~muffa}=0.876~m^2 K/W$.

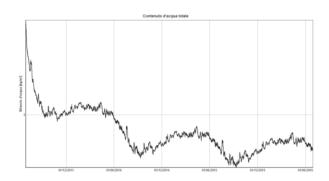
La verifica di condensazione interstiziale è stata studiata per mezzo dell'adeguato modello di migrazione del vapore in regime variabile e studiando il comportamento di diffusione del vapore anche per capillarità in accordo con la norma UNI EN 15026 (per un approfondimento sul tema si rimanda al volume IV di ANIT, Muffa, condensa e ponti termici).

La struttura è stata descritta con le idonee caratteristiche igrotermiche e con le adeguate condizioni al contorno (dati climatici orari, irraggiamento solare, piovosità, esposizione, ecc..).

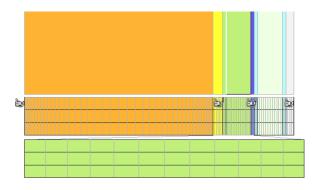
Come si evince dall'immagine sottostante (sulla destra l'ambiente interno e sulla sinistra l'ambiente esterno), in tre anni di simulazione della struttura, l'umidità relativa interna (di equilibrio) non supera l'80%, motivo per cui si ritiene non presente il rischio di condensazione interstiziale.



Altri controlli da effettuarsi sono relativi al possibile degrado del materiale isolante in Pavatherm con una verifica della quantità di umidità presente nel materiale e delle riduzione nel tempo della quantità di umidità presente in generale nella struttura. Entrambe le verifiche sono positive.

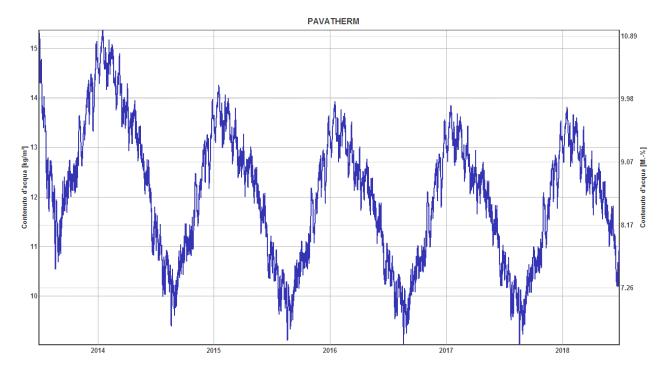


Riduzione della quantità di umidità nella struttura nel tempo (ipotizzata molto umida all'inizio della simulazione)



Stratigrafia della struttura (sinistra ambiente esterno, destra ambiente interno)

Punto di controllo sul lato "freddo" del complesso degli strati di materiale isolante. L'umidità relativa è al di sotto del'80% nei tre anni di simulazione e in generale, dopo 5 anni di simulazione si attesta ad un comportamento ciclico che porta il materiale a non superare in contenuto d'acqua un valore di 10 [M.-%] o di 14 [kg/m³]. Il valore in massa percentuale è inferiore alla percentuale d'acqua in massa ritenuta idonea per il prodotto impiegato (<20%).



3.4 Fasi di posa e controllo dei dettagli

La posa è stata contraddistinta dalle seguenti fasi:

3.4.1 Posa e fissaggio del pannello PAVATHERM

Il pannello PAVATHERM è stato applicato con giunti ben accostati a copertura dell'intera parete, comprese le spalle ed il cielino delle aperture. Il fissaggio è stato realizzato meccanicamente con tasselli STR-U, 2 per pannello.



Pannelli fissati meccanicamente con due tasselli alla muratura esistente dall'interno



Pannelli fissati meccanicamente con due tasselli alla muratura esistente dall'interno

3.4.2 Posa e fissaggio del manto igrovariabile

L'applicazione della membrana igrovariabile INTELLO in monostrato avviene con sormonto di 15 cm. La membrana è stato fissata a soffitto e pavimento con nastro adesivo TESCON VANA per un incollaggio immediato. La membrana è stata fissata al pannello con adesivo DUPLEX (con primer TESCON RP ed OCON LINE). E' estremamente importante in questa fase di posa curare la continuità ai fini del corretto funzionamento igrotermico della struttura.



Nastro adesivo per fissare il manto al soffitto



Nastro adesivo sul sormonto verticale del manto

3.4.3 Posa e fissaggio della controparete

E' stata quindi posata una controparete su orditura autoportante. L'orditura è stata realizzata con profili a secco metallici, con le sezioni necessarie per la sollecitazione meccanica e l'altezza della controparete. Nello spazio tra i profili è stato inserito un pannello in fibra di legno PAVAFLEX di 40 mm di spessore. La controparete è stata quindi completata con lastre in gesso fibra, stuccate e pronte per la tinteggiatura finale



Controparete con lastra in gesso fibra



Particolare della finitura in copertura

La posizione della controparete a secco, sul lato interno della tenuta all'aria con INTELLO, permette di ridurre il rischio di fori e tagli dovuti all'inserimento di impiantistica. Inoltre i profili metallici non daranno luogo a fenomeni puntuali di ponte termico perché completamente sul lato caldo dell'intervento.

La soluzione IGROSAN, grazie al disaccoppiamento strutturale ed all'utilizzo di isolanti naturali fibrati, con resistenza al flusso d'aria (AF) > 5, permette un importante miglioramento della prestazione acustica di

fonoimpedimento della parete stessa, il valore a seconda della parete di intervento può essere calcolato con il software ECHO.

3.4.4 Trattamento specifico ai fini della tenuta all'aria e al vento

Nell'indagine preliminare si sono notati i difetti di tenuta all'aria attorno alla trave, nel collegamento tettoparete e nel nodo del serramento. Negli interventi di isolamento questi nodi devono essere sigillati per evitare che il raffreddamento delle superfici, dovuto all'aria fredda (vento) entrante dall'esterno, porti alla formazione di ponti termici e rischi puntuali di formazione di condensa. La sigillatura degli spifferi esistenti ha inoltre un importante ruolo nel miglioramento acustico della struttura.

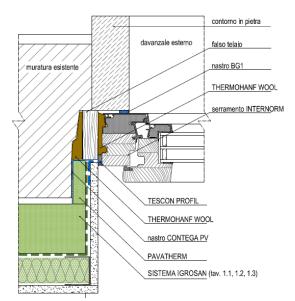
In questo caso l'intervento è stato eseguito con diversi prodotti a seconda delle condizioni di intervento: CONTEGA SOLIDO SL, TECON PROFIL e TESCON VANA, nastri per la sigillatura con doppio o singolo layer e WYFLEXA: speciale sistema per la sigillatura di nodi e collegamenti complessi.



Applicazione di WYFLEXA: inserimento del feltro portante



Applicazione di WYFLEXA: spalmatura del sigillante in cartuccia



Dettaglio esecutivo del nodo serramento, da notare la sigillatura al vento e la tenuta all'aria



Sigillatura con TESCON PROFIL del serramento esistente

4 VERIFICA STRUMENTALE

4.1 Scopo della verifica

Scopo dell'intervento di isolamento termico a seguito dell'indagine strumentale era:

- ridurre il valore di trasmittanza termica riducendo le dispersioni energetiche
- ridurre il rischio di formazione di fenomeni di degrado superficiale legati al ponte termico dove possibile
- intervenire risolvendo il fenomeno di infiltrazione d'aria in essere nella giunto della trave

Si è proceduto quindi al collaudo dell'intervento eseguito:

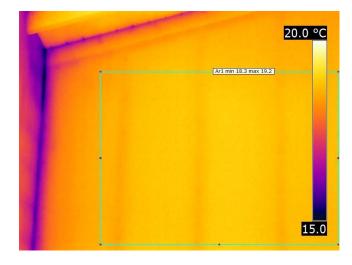
Per verificare la trasmittanza si è misurata la trasmittanza della struttura in un punto verificando l'omogeneità della distribuzione di temperatura superficiale.

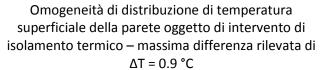
L'indagine termografica consente infatti di:

- verificare, per mezzo dell'omogenea distribuzione di temperatura, che la superficie oggetto di intervento non sia oggetto di bypass termico
- assicurare il corretto posizionamento della strumentazione di misura in opera della trasmittanza termica
- estendere un risultato puntuale di misura di trasmittanza in opera a tutta la superficie alla stessa temperatura superficiale

4.2 Indagine di omogeneità della superficie isolata

Le immagini termografiche mostrano l'omogeneità di distribuzione della temperatura superficiale sulla parete oggetto di intervento di isolamento termico dall'interno. Nell'immagine di destra è evidente anche la parete a contatto con quella isolata non oggetto di intervento di isolamento.



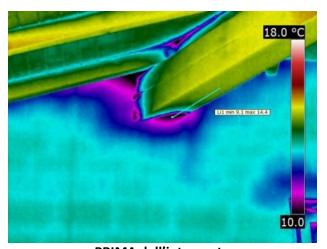




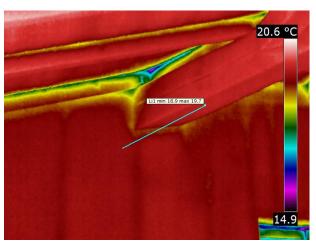
Confronto tra parete isolata termicamente e parete non isolata: ΔT_{media} = 1.5 °C

4.3 Cura del dettaglio di infiltrazione

Le immagini termografiche mostrano la situazione di infiltrazione d'aria prima dell'intervento di risanamento e dopo l'intervento. La tavola di colore "arcobaleno" ben evidenzia le differenze. L'intervento di isolamento della parete e nel giunto trave-parete sarebbe da estendere alla copertura. Si vedono infatti punti di infiltrazione ne i giunti tra travetti in legno di sostegno della copertura.



PRIMA dell'intervento $\label{eq:delta} \mbox{Infiltrazione d'aria nei giunti intorno alla trave } \Delta T = 5 \ ^{\circ} C$

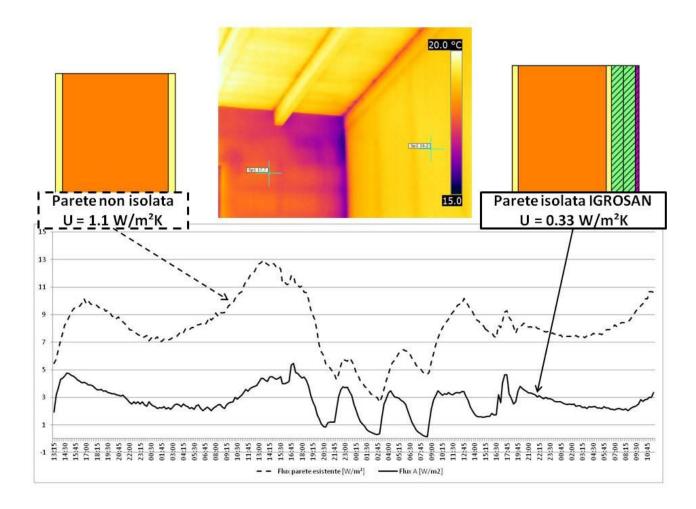


DOPO l'intervento di isolamento Assenza di infiltrazione d'aria nei giunti intorno alla trave $\Delta T = 0.8~^{\circ}C$

4.4 Efficacia dell'intervento di isolamento termico

Per valutare l'efficacia dell'intervento di isolamento termico si è proceduto misurando in opera la struttura a seguito dell'intervento di isolamento termico. La misura dell'efficacia, oltre al monitoraggio delle temperature superficiali interne ed esterne prevede anche la misura del flusso termico (norma ISO 9869).

Nel seguente grafico vengono evidenziati i flussi termici misurati con sonde termoflussimetriche nelle identiche condizioni ambientali interne ed esterne sulla parete isolata (linea continua) e su quella non isolata (linea tratteggiata). Il valore medio del flusso della parete isolata è pari 2.8 W/m² e quello della parete non isolata è 8.1 W/m². La riduzione è coerente con le ipotesi progettuali di riduzione delle dispersioni (riduzione attesa = -70 % di dispersione energetica).



4.5 Conclusioni

Il progetto e la realizzazione dell'isolamento igrotermico delle strutture è un argomento complesso che prevede profonde conoscenze di fisica tecnica degli edifici accompagnate dalla conoscenza della tecnologia dei materiali e sistemi. Per poter correttamente comprendere le patologie in essere e i fenomeni presenti, la strumentazione di misura restituisce informazioni imprescindibili alla corretta e ingegneristica valutazione delle problematiche in campo. Il presente testo vuole essere un spunto per approfondire maggiormente i temi presentati di "diagnostica", progettazione e realizzazione degli interventi di isolamento termico.

5 CONTATTI

Per ogni eventuale ulteriore richiesta di approfondimento o chiarimento segnaliamo i seguenti contatti:

- ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico <u>www.anit.it</u> info@anit.it
- NATURALIA BAU
 www.naturalia-bau.it
 info@naturalia-bau.it
- FLIR SYSTEMS www.flir.com info@flir.it

6 BIBLIOGRAFIA

- 1. R. Esposti, G. Galbusera, A. Panzeri, C. Salani, **Muffa condensa e ponti termici**. *Volume IV collana di ANIT.* Ed. da TEP srl, Terza edizione Gennaio 2016
- 2. E. Marra, Le simulazioni igrotermiche dinamiche Neo Eubios 55. Ed. da TEP srl, Marzo 2016
- 3. H. M. Künzel, La funzione di equilibrio igroscopico per i materiali da costruzione. *Neo Eubios 52.* Ed. da TEP srl, Giugno 2015
- 4. M. Pontara (a cura), Abaco 1, soluzioni di isolamento dall'interno. Ed. da Naturalia Bau, Settembre 2014
- 5. M. Demattio, P.Erlacher, **L'intervento di coibentazione interna per il risanamento**. *Neo Eubios 49*. Ed. da TEP srl, Settembre 2014
- 6. ANIT, **Isolamento termico dall'interno senza barriera al vapore**, Manualetto ANIT, versione settembre 2013
- 7. A. Panzeri e C. Salani, **Igrotermica in regime variabile**, *Neo Eubios 44*, Ed. da TEP srl, Giugno 2013
- 8. Galbusera e A. Riva, **Isolare dall'interno senza barriera al vapore**, *Neo Eubios 45*, Ed. da TEP srl, Settembre 2013
- 9. Wufi Workshop 2012, Dispense del corso, Holzkirchen (D) dicembre 2012, Fraunhofer IBP
- 10. G. Galbusera, **Analisi del rischio di muffa e condensa: dalle verifiche di legge alla diagnosi strumentale**. *Neo Eubios 41*. Ed. da TEP srl, Settembre 2012
- 11. G. Hankammer, M. Resch, **Bauwerksdiagnostik bei Feuchteschäden**. Ed. da Rudolf Müller, *pp. 71-83*. 2012
- 12. AA.VV., Luftdichtheitsmessung in der Praxis. Ed. R. Müller, 2011
- 13. E. P. Guerra, **Risanamento di murature umide e degradate**. Ed. Dario Flaccovio Editore, *pp. 123-126,* 2011
- 14. M. Rancati, Restare all'asciutto. Specializzata, Nr. 204, Dicembre 2011
- 15. AA.VV., Gebäude Luftdichtheit. Ed. Da FLIB, Settembre 2008
- M. Krus, Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials. Fraunhofer IRB Verlang, 1996
- 17. G. Massari, Risanamento igienico dei locali umidi. 1985
- 18. **UNI EN ISO 13788:2013**, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale Metodi di calcolo
- 19. **UNI EN 15026:2008**, Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica



ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, ha tra gli obiettivi generali la diffusione, la promozione e lo sviluppo dell'isolamento termico ed acustico nell'edilizia e nell'industria come mezzo per salvaguardare l'ambiente e il benessere delle persone.

ANIT

- Diffonde la corretta informazione sull'isolamento termico e acustico degli edifici
- Promuove la normativa legislativa e tecnica
- Raccoglie, verifica e diffonde le informazioni scientifiche relative all'isolamento termico ed acustico
- Promuove ricerche e studi di carattere tecnico, normativo, economico e di mercato

I soci ANIT si dividono nelle categorie

- SOCI INDIVIDUALI: Professionisti, studi di progettazione e imprese
- SOCI AZIENDA: Produttori di materiali e sistemi per l'isolamento termico e acustico
- SOCI ONORARI: Enti pubblici e privati, Università e Scuole Edili, Ordini e Collegi professionali

STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante aggiornamento sulle norme in vigore con le GUIDE ANIT



I Software ANIT per calcolare tutti i parametri energetici, igrotermici e acustici degli edifici



Servizio di chiarimento tecnico da parte dello Staff ANIT



La rivista specializzata Neo-Eubios

I servizi e la quota di iscrizione variano in base alla categoria di associato I Soci Individuali possono accedere alla qualifica "Socio Individuale Più" per ottenere servizi avanzati

Per informazioni

www.anit.it

info@anit.it

Tel. 0289415126