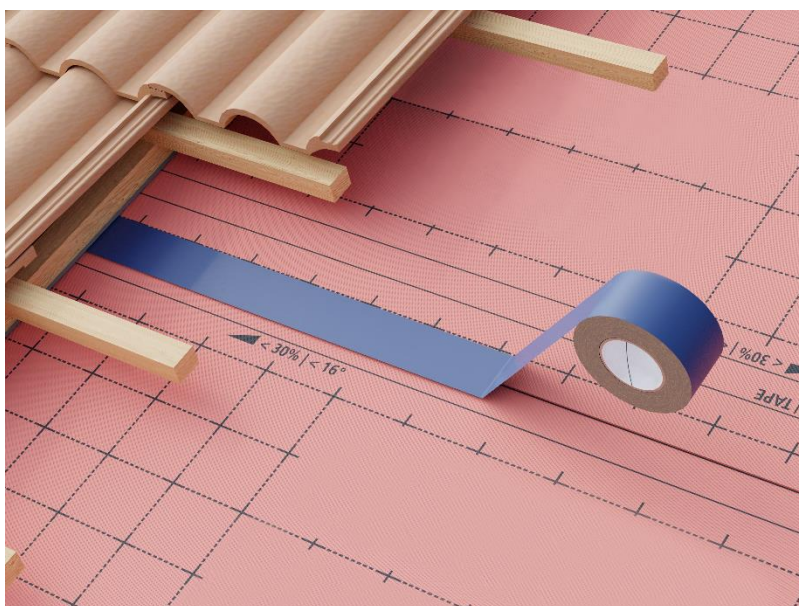




LA TENUTA ALL'ARIA DEGLI EDIFICI

MANUALE ANIT DI APPROFONDIMENTO TECNICO

28 SETTEMBRE 2022



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

I MANUALI ANIT

ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico, pubblica periodicamente **guide e manuali** sulle tematiche legate all'efficienza energetica e all'isolamento acustico degli edifici.

Gli argomenti trattati riguardano la legislazione, le norme tecniche di riferimento, le tecnologie costruttive, le indicazioni di posa e molto altro.

Le **guide** sono riservate ai Soci ANIT e analizzano leggi e norme del settore, i **manuali** sono scaricabili per tutti gratuitamente e affrontano con un taglio pratico temi sviluppati in collaborazione con le Aziende associate.



STRUMENTI PER I SOCI

I soci ricevono



Costante aggiornamento sulle norme in vigore con le GUIDE



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



Servizio di chiarimento tecnico da parte del nostro Staff a supporto di Guide e software



Abbonamento alla 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

Il presente manuale è realizzato in collaborazione con:



Tutti i diritti sono riservati

Questo documento è stato realizzato da Tep Srl.

Le informazioni riportate sono da ritenersi indicative ed è sempre necessario riferirsi a eventuali documenti ufficiali in vigore. I contenuti sono aggiornati alla data in copertina. Si raccomanda di verificare sul sito www.anit.it l'eventuale presenza di versioni più aggiornate.

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta o divulgata senza l'autorizzazione scritta di Tep Srl.

INDICE

PREMESSA	2
1. LA TENUTA ALL'ARIA	3
1.1. <i>Introduzione</i>	3
1.2. <i>Inquadramento legislativo</i>	4
1.3. <i>Classificazione degli SMT.....</i>	9
1.4. <i>Corretta progettazione igrotermica</i>	11
1.5. <i>Tenuta all'aria e aspetti energetici.....</i>	11
2. VERIFICARE LA TENUTA: IL BLOWER DOOR TEST	12
2.1 <i>Elaborazione dei dati misurati.....</i>	13
2.2 <i>Integrazione con altri metodi di indagine</i>	14
3. SOLUZIONI TECNICHE	15
3.1 <i>Punti deboli della tenuta: sovrapposizioni e disconnessioni.....</i>	15
3.2 <i>Nastri adesivi per la continuità di tenuta</i>	16
3.3 <i>Tenuta di attraversamenti, impianti e corpi emergenti</i>	17
3.4 <i>Correzione di connessioni non sigillate.....</i>	18
3.5 <i>Le soluzioni per i serramenti.....</i>	19
CONTATTI	20
BIBLIOGRAFIA	20

PREMESSA

La tenuta all'aria di un edificio è la capacità di impedire il passaggio incontrollato di aria attraverso l'involucro dall'interno verso l'esterno e viceversa.

Per molti edifici, soprattutto se leggeri, la tenuta all'aria rappresenta un'importante strategia progettuale per garantire elevati standard di risparmio energetico e comfort igrotermico, altrimenti non realizzabili.

Col presente manuale offriamo una sintesi sul concetto di tenuta all'aria, partendo come sempre da un inquadramento legislativo e normativo per poi fare il punto sulle tecniche di misura in opera (il blower door test) e chiudere con alcuni esempi di soluzioni tecnologiche.

Per chi fosse interessato ad ulteriori approfondimenti, segnaliamo l'elenco dei riferimenti normativi, scientifici e di letteratura riportati in bibliografia e utilizzati per la stesura di queste pagine.

Il lavoro è stato realizzato in collaborazione con l'azienda RIWEGA associata ad ANIT dal 2009.

Buona lettura.

ANIT

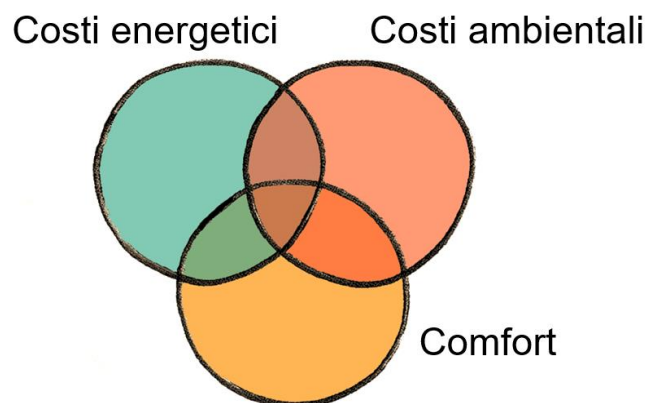
1. LA TENUTA ALL'ARIA

1.1. Introduzione

Il mondo dell'edilizia, come molti altri settori, negli ultimi anni sta registrando un aumento della sensibilità verso le tecnologie in grado di ottimizzare i costi energetici e ambientali senza rinunciare al comfort.

La tenuta all'aria di un sistema edilizio, e più in generale di un'unità immobiliare, è un aspetto strategico rispetto a questi temi perché è legata:

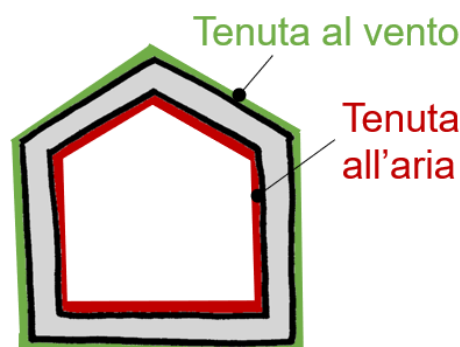
- al comportamento energetico dell'edificio (e quindi ai suoi consumi);
- al controllo dei fenomeni igrotermici degli ambienti interni (e quindi al comfort abitativo);
- al controllo dei dettagli tecnologici dell'involucro (e quindi alla durabilità delle soluzioni adottate).



Con “tenuta all'aria” intendiamo la capacità di un edificio di impedire il passaggio incontrollato di aria attraverso l'involucro dall'interno verso l'esterno e viceversa.

Rispetto a questo aspetto è possibile identificare due barriere:

1. **lo strato di tenuta al vento:** solitamente il primo strato posto nel perimetro esterno dell'edificio che assolve alla protezione dalle influenze atmosferiche (acqua, vento e umidità), dagli agenti inquinanti o dannosi per la salute umana, dalle incursioni degli animali e concorre a migliorare le performance acustiche;
2. **lo strato di tenuta all'aria:** solitamente il secondo strato posizionato nel lato caldo dell'involucro che impedisce o regola il passaggio del vapore acqueo presente nell'aria interna, in modo da proteggere gli strati dell'involucro. Influenza il comfort interno e riduce i costi energetici soprattutto nel caso di ventilazione meccanica controllata (VMC).



La tenuta all'aria è una caratteristica molto importante per il controllo delle prestazioni igrotermiche ed energetiche dell'involucro edilizio, soprattutto se costruito con tecnologia a secco o in legno.

Negli edifici lo strato di tenuta è realizzato mediante l'impiego di schermi e membrane più o meno traspiranti in base alla posizione nella stratigrafia e alle scelte progettuali di realizzazione del pacchetto d'involucro.

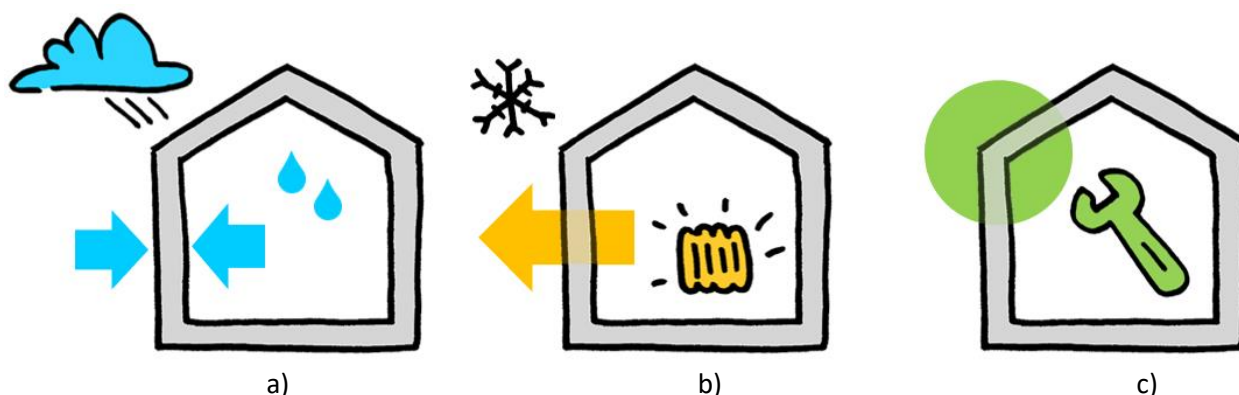


Figura 1 La tenuta all'aria è una caratteristica che interessa aspetti igrotermici, energetici e tecnologici dell'involucro: a) il controllo del passaggio di vapore dall'esterno o dall'interno consente di evitare la formazione di condensazione interstiziale e in generale fenomeni igrotermici indesiderati; b) una buona tenuta all'aria migliora l'isolamento dell'involucro e limita dispersioni convettive impreviste; c) la progettazione della tenuta all'aria è solitamente accompagnata da un'analisi puntuale dei nodi architettonici e favorisce l'individuazione di soluzioni tecnologiche per evitare punti deboli.

1.2. Inquadramento legislativo

Ad oggi esistono regole sul controllo della tenuta all'aria degli edifici solo:

- nell'ambito della progettazione di edifici pubblici (regole nazionali richiamate dai CAM, Criteri ambientali minimi);
- all'interno di alcuni regolamenti locali (regolamenti delle Province autonome di Trento e Bolzano);
- all'interno di alcuni protocolli di sostenibilità (come ad esempio il protocollo Passivhaus).

Per l'edilizia privata invece a livello nazionale non esistono regole obbligatorie in tal senso, nonostante si tratti di una prestazione di rilievo per il comfort e i consumi energetici.

Infatti anche quando il legislatore impone lo standard NZeb (Nearly Zero Energy Building descritto dal DM 26/6/2015) per gli edifici di nuova costruzione o assimilati, non sono previste verifiche o controlli sulla tenuta all'aria dell'edificio.

Per farsi un'idea dei limiti con cui confrontarsi quando si parla di tenuta all'aria di un edificio, riportiamo di seguito i passaggi significativi di alcuni regolamenti sopra citati, ovvero:

- il punto 2.4.9 "Tenuta all'aria" previsto dai CAM, aggiornati con il Decreto 6 agosto 2022;
- il punto 6 "Blower door test" del Regolamento della provincia autonoma di Trento aggiornato con Delibera Della Giunta Provinciale N. 475 Del 5 Aprile 2019;
- un estratto delle direttive CasaClima sulle verifiche di tenuta all'aria per edifici nuovi ed esistenti validi in provincia di Bolzano.

Criteri Ambientali Minimi – Aggiornati con Decreto 23 giugno 2022
Pubblicato in Gazzetta il 6 agosto 2022

Allegato

2 Criteri per l'affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi

2.4 Specifiche tecniche progettuali per gli edifici

La verifica dei criteri contenuti in questo capitolo avviene tramite la Relazione CAM, che illustra in che modo il progetto ha tenuto conto del criterio. Tale relazione è integrata come eventualmente meglio specificato per la verifica dei singoli criteri.

[...]

2.4.9 Tenuta all'aria

Criterio

In tutte le unità immobiliari riscaldate è garantito un livello di tenuta all'aria dell'involucro [...]

I valori n50 da rispettare, verificati secondo norma UNI EN ISO 9972, sono i seguenti:

Per le nuove costruzioni:

- n50: < 2 – valore minimo
- n50: < 1 – valore premiante

Per gli interventi di ristrutturazione importante di primo livello:

- n50: < 3,5 valore minimo
- n50: < 3 valore premiante

Verifica

La Relazione CAM, di cui criterio "2.2.1-Relazione CAM", illustra in che modo il progetto ha tenuto conto di questo criterio progettuale.

Provincia autonoma di Trento – Regolamento aggiornato con DGP N. 475 Del 5 Aprile 2019

6. BLOWER DOOR TEST

Per gli edifici, con esclusione degli edifici appartenenti alla categoria E.8 del DPR 412/1993, il cui progetto prevede inizialmente la classe A+ o A, o per i quali sia comunque stata raggiunta la classe A+ o A, ai fini della certificazione energetica dell'edificio come realizzato, è obbligatorio misurare la permeabilità dell'involucro edilizio all'aria.

La verifica di tenuta all'aria tramite blower door test, metodo che permette di valutare il flusso di ricambio dell'aria dell'involucro edilizio, deve essere effettuata secondo UNI EN ISO 9972 metodo 1 (prova di edificio in uso). Il valore massimo nel numero di ricambi orari del volume d'aria (*n50lim*) da rispettare è indicato in prospetto:

<i>n50lim</i>						
	Fino al 31 dic 2015		Dal 1 gen 2016		Dal 1 gen 2019	
Classe energetica	Valore limite	Limite penalizzazione consentita *	Valore limite	Limite penalizzazione consentita *	Valore limite	Limite penalizzazione consentita *
A+	1.5	2.5	1.0	2.0	0.6	1.5
A			1.5	2.5	1.0	2.0

Tabella 12. Valori limite del numero dei ricambi orari del volume d'aria interno dell'edificio (*n50lim*)

In caso di superamento del valore di *n50lim* indicato in tabella ed entro il valore limite di penalizzazione ammesso indicato nelle colonne con l'asterisco, ferma restando la possibilità di intervenire sull'edificio al

fine di ricondurre il parametro sotto il valore limite, il fabbisogno energetico dell'edificio EP_{classe} definito ai fini della classificazione energetica deve essere così ridefinito:

- per gli edifici appartenenti alla categoria E.1 ai sensi del d.p.r. 412/1993:
 $EP_{\text{classe effettivo}} = EP_{\text{classe progetto}} + (n50 \text{ BDT} - n50lim) \times 5 \text{ [kWh/m}^2 \text{ anno]}$
- per gli edifici appartenenti alle altre categorie:
- $EP_{\text{classe effettivo}} = EP_{\text{classe progetto}} + (n50 \text{ BDT} - n50lim) \times 1,7 \text{ [kWh/m}^3 \text{ anno]}$

Dove:

- $EP_{\text{classe effettivo}}$ = indice di prestazione energetica effettivo, da considerarsi ai fini della classificazione energetica
- $EP_{\text{classe progetto}}$ = indice di prestazione energetica di progetto
- $n50 \text{ BDT} [\text{h}^{-1}]$ = numero di ricambi orari del volume d'aria climatizzato, misurato da blower door test
- $n50lim [\text{h}^{-1}]$ = valore limite, da norma, del numero di ricambi orari del volume d'aria climatizzato

Si assume che il valore di $n50 \text{ BDT}$ deve essere arrotondato al primo decimale, per difetto.

Il superamento dei valori massimi dell'indice $n50lim$, con conseguente incremento dell'indice $EP_{\text{classe progetto}}$ secondo la formula sopra riportata, è consentito nel rispetto dei limiti indicati nelle colonne con l'asterisco. Qualora il test rilevi un valore di $n50$ superiore anche al limite di penalizzazione consentito, è possibile procedere, per il solo periodo necessario per effettuare la prova, ad una nuova misurazione previa sigillatura dei fori realizzati per la necessità di soddisfare eventuali prescrizioni igienico-sanitarie derivanti da regolamenti locali, oppure prescrizioni dovute a norme di sicurezza richieste da disposizioni nazionali (ad esempio i fori per l'aerazione di vani corsa ascensori, ecc).

Se anche in tale caso il test rilevasse un valore superiore ai limiti di penalizzazione consentiti, è fatto obbligo intervenire sui vari elementi della costruzione al fine di ricondurre tale indice al di sotto dei tetti limite massimi previsti. Se ricorre questa fattispecie, il blower door test deve essere rieseguito.

Nell'esecuzione delle prove non è comunque ammessa la chiusura/sigillatura di aperture di ventilazione richieste da disposizioni regolamentari per la presenza negli ambienti di apparecchi di combustione diversi da quelli di tipo stagno (negli apparecchi di tipo stagno la camera di combustione non deve essere in comunicazione con l'ambiente stesso).

Nel caso di alimentazione a gas vanno considerate solo le disposizioni regolamentari applicabili agli apparecchi di tipo C secondo la serie di norme UNI 7129.

Nel caso di alimentazione con biocombustibili solidi si considerano solo le disposizioni applicabili agli apparecchi di tipo stagno secondo la norma UNI 10683.

Per gli apparecchi di cottura alimentati a gas con sorveglianza di fiamma si possono utilizzare sistemi automatici di chiusura delle aperture interbloccati con l'alimentazione del gas conformi a quanto previsto dalle norme UNI 7129 ma senza applicare durante la prova ulteriori interventi di chiusura/sigillatura.

In presenza di impianto di climatizzazione invernale centralizzato e di certificazione emessa per l'intero edificio, il valore di $n50 \text{ BDT}$ di riferimento è rappresentato dal valore medio delle misurazioni ottenute per le diverse unità immobiliari, eseguite secondo le prescrizioni del metodo 1.

Il calcolo del valore medio viene pesato in funzione del volume delle diverse unità. Il valore medio deve garantire il rispetto dei limiti riportati nelle colonne con l'asterisco.

Provincia autonoma di Bolzano - Direttiva Tecnica Nuovi Edifici, settembre 2017**4.7 Tenuta all'aria dell'involucro edilizio**

Con il Blower Door Test viene misurata la tenuta all'aria dell'involucro edilizio, ovvero la permeabilità all'aria. Il requisito è richiesto per i soli edifici residenziali; sono esclusi gli edifici non residenziali e gli hotel.

4.7.1 Modalità di esecuzione

Il Blower Door Test va eseguito secondo quanto specificato nella direttiva tecnica Blower Door Test e conformemente alla norma UNI EN ISO 13829.

Il Blower Door Test deve essere sempre eseguito sulle singole unità abitative e non sull'intero edificio.

Dovrà comunque essere testato un appartamento nel sottotetto, qualora presente.

In presenza di infiltrazioni d'aria verso altri appartamenti, dietro parere positivo dell'Agenzia, è possibile eseguire un test su tutto l'edificio.

4.7.2 Numero di unità abitative da testare

Le verifiche di tenuta all'aria dell'edificio sono svolte su un campione di unità abitative distinte per piano e orientamento.

La tabella seguente riporta la quantità di test da svolgersi in un edificio plurifamiliare.

NUMERO DI UNITÀ ABITATIVE DELL' EDIFICIO	NUMERO MINIMO DIE UNITÀ ABITATIVE DA TESTARE
≤ 5	1
≤ 10	2
≤ 15	3
≤ 22	4
> 22	5

4.7.3 Limiti da rispettare

Nel caso di edifici plurifamiliari il valore limite n_{50} finale dell'intero edificio deve essere calcolato come media dei valori ottenuti sulle singole unità abitative.

CLASSE EFFICENZA ENERGETICA DELL'INVOLUCRO	VALORI LIMITE
A e B	$n_{50,lim} \leq 1,5 \text{ h}^{(-1)}$
Gold	$n_{50,lim} \leq 0,6 \text{ h}^{(-1)}$

Nota: La tolleranza sulle misure registrate deve essere al massimo di $+0,1 \text{ h}^{(-1)}$

Provincia autonoma di Bolzano - Direttiva Tecnica Edifici esistenti & Risanamento, settembre 2017**4.6 Tenuta all'aria dell'involucro edilizio**

Con il Blower Door Test (BDT) viene misurato l'indice di permeabilità all'aria dell'involucro edilizio, cioè la sua tenuta all'aria. Nel calcolo energetico deve essere inserito il risultato del test eseguito; nel caso di edifici plurifamiliari, dovrà essere inserito il valore medio dei risultati ottenuti sui singoli appartamenti il valore limite da rispettare è: $n_{50,lim} \leq 3,0 \text{ h}^{(-1)}$

Per il rilascio del certificato CasaClima il test BDT non è obbligatorio e in caso in cui non venga eseguito, deve essere inserito nel calcolo energetico valore limite indicato sopra. Per l'ottenimento del sigillo CasaClima R e della relativa targhetta l'esecuzione del Blower Door Test è sempre obbligatoria.

4.6.1 Modalità di esecuzione

Il Blower Door Test va eseguito secondo quanto specificato nella Direttiva "Criteri CasaClima per l'esecuzione delle prove di tenuta all'aria" e in conformità alle norme vigenti. L'esecuzione del test di Blower door è obbligatoria esclusivamente per edifici residenziali.

Il Blower Door Test deve essere sempre eseguito sulle singole unità abitative e non sull'intero edificio. Dovrà comunque essere testato un appartamento nel sottotetto, qualora presente. In presenza di infiltrazioni d'aria verso altri appartamenti, dietro parere positivo dell'Agenzia, è possibile eseguire un test su tutto l'edificio.

Le verifiche di permeabilità all'aria dell'edificio sono svolte su una o più unità abitative distinte per piano e orientamento. La tabella 8 riporta la quantità di test da svolgersi in un edificio plurifamiliare. In caso di edifici esistenti con unità risanate e unità abitative di nuova costruzione si richiede il test in entrambe le situazioni. Nel caso di un'unità abitativa di nuova costruzione il valore limite è: $n_{50,lim} \leq 1,5 \text{ h}^{(-1)}$

NUMERO DI UNITÀ ABITATIVE DELL' EDIFICIO	NUMERO MINIMO DIE UNITÀ ABITATIVE DA TESTARE
≤ 5	1 ⁽¹⁾
≤ 10	2
≤ 15	3
≤ 22	4
> 22	5

Tab. 8: Numero minimo di unità abitative da testare. ⁽¹⁾ Eccezione: nel caso di due sole unità abitative, di cui una esistente e l'altra di nuova costruzione, il BDT è richiesto per entrambe le unità.

1.3. Classificazione degli SMT

I materiali utilizzati per la progettazione degli strati di tenuta all'aria e al vento sono solitamente indicati come SMT, vale a dire schermi e membrane traspiranti sintetiche.

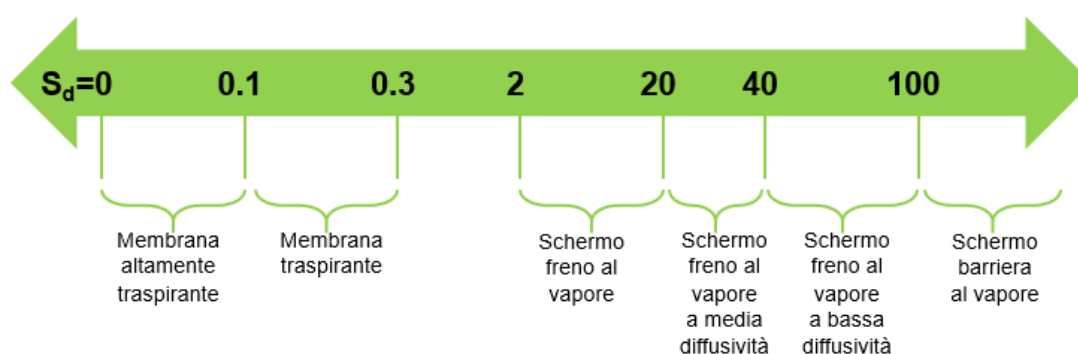
Per questi prodotti il riferimento normativo è dato dalla UNI EN ISO 11470:2015 "Coperture discontinue. Schermi e membrane traspiranti sintetiche – Definizioni, campo di applicazione e posa in opera".

Secondo questa norma la classificazione degli SMT può basarsi su quattro parametri:

1. **la proprietà di trasmissione al vapore** espressa in base allo spessore equivalente d'aria S_d , ovvero lo spessore in metri di uno strato d'aria avente la stessa resistenza al vapore della membrana,
2. **la massa areica**, ovvero la quantità di massa presente per unità di superficie,
3. **la tenuta all'acqua**, definita secondo le classi la norma UNI EN IS 13984:2013,
4. **la resistenza meccanica**, valutata attraverso due prove: una prova di resistenza a trazione longitudinale e una prova da lacerazione da chiodo, eseguite sia in condizioni ottimali (membrana nuova) che di invecchiamento (vd. Tabella 3)

Il primo di questi quattro parametri è il più utilizzato per la progettazione igrotermica delle strutture.

In base al valore di S_d la norma suggerisce la seguente suddivisione degli SMT:



Membrana altamente traspirante e traspirante $0 < S_d < 0.3$	Elemento impermeabile di tenuta al vento, avente la funzione di consentire il convogliamento di acqua meteorica, proveniente da rotture o dislocazioni accidentali degli elementi di tenuta, verso i dispositivi di raccolta e smaltimento. Nelle coperture deve consentire la permeazione del vapore acqueo proveniente dagli ambienti confinati sottostanti per fenomeni di diffusione (nella condizione di progetto). Il valore di S_d per una membrana altamente traspirante si attesta tra 0 e 0,1 m, mentre per una membrana traspirante tra 0,1 e 0,3 m. Non può sostituire l'elemento di tenuta in quanto tale.
Schermo freno vapore $2 < S_d < 100$	Elemento impermeabile di tenuta all'aria avente la funzione di ridurre il passaggio del vapore acqueo per controllare il fenomeno della condensa all'interno dei pacchetti di copertura. Uno schermo freno vapore ha un valore di S_d tra 2 e 20 m, un freno vapore a media intensità tra 20 e 40 m, mentre un freno vapore a bassa intensità tra 40 e 100 m.
Schermo barriera vapore $S_d > 100$	Elemento impermeabile di tenuta all'aria avente funzione di limitare fortemente il passaggio di vapore acqueo per controllare il fenomeno della condensa all'interno dei pacchetti di copertura. Il valore di S_d per una barriera al vapore è superiore a 100 m.

Tabella 1 Classificazione degli SMT in base allo spessore equivalente d'aria S_d . Fonte: UNI EN ISO 11470:2015

Segnaliamo che sono presenti sul mercato SMT con ulteriori caratteristiche, come ad esempio la capacità di variare la traspirabilità in base alle condizioni al contorno o la presenza di film riflettenti esterni per migliorare la resistenza ai raggi UV.

CLASSE	MASSA AREICA
A	$\geq 200 \text{ g/m}^2$
B	$\geq 145 \text{ g/m}^2$
C	$\geq 130 \text{ g/m}^2$
D	$< 130 \text{ g/m}^2$

Tabella 2 Classificazione degli SMT in base alla massa areica. Fonte: UNI EN ISO 11470:2015

CLASSE	INTERASSE TRA SUPPORTI	RESISTENZA ALLA TRAZIONE LONGITUDINALE I*	RESISTENZA ALLA TRAZIONE LONGITUDINALE II*	RESISTENZA ALLA LACERAZIONE DA CHIODO
R1	45 cm	$> 100 \text{ N/5 cm}$	> 65	$> 75 \text{ N}$
R2	60 cm	$> 200 \text{ N/5 cm}$	> 65	$> 150 \text{ N}$
R3	90 cm	$> 300 \text{ N/5 cm}$	> 65	$> 225 \text{ N}$

Tabella 3 Classificazione degli SMT in base alla resistenza meccanica. Fonte: UNI EN ISO 11470:2015

* I indica il valore di resistenza della membrana non invecchiata, mentre II indica il valore dopo l'invecchiamento



Figura 7 Esempi di stratigrafie con schermi al vapore (freni o barriere al vapore situati sul lato interno del pacchetto isolante) e membrane traspiranti (situate sul lato esterno del pacchetto isolante). Fonte: Riwega.

1.4. Corretta progettazione igrotermica

1.5. Tenuta all'aria e aspetti energetici

In un edificio, soprattutto se costruito con strutture leggere, il mancato controllo dei flussi d'aria per infiltrazione dovuti a un involucro non ermetico o alla presenza di discontinuità che generano fessure o vuoti, può pesare fino al 30% del fabbisogno energetico (fonti da [18] a [26]).

Le infiltrazioni infatti:

- peggiorano le prestazioni termiche dei materiali in quanto generano potenziali accumuli di umidità;
- hanno un impatto negativo sul funzionamento dei sistemi impiantistici di riscaldamento, raffrescamento e trattamento dell'aria (VMC);
- possono alterare, se trascurate, anche l'integrità strutturale dell'edificio.

Per gli edifici leggeri, rispetto al primo punto di questo elenco, è bene ricordare che il sistema di isolamento termico è tra i più influenzati dallo stato di tenuta all'aria dell'involucro.

Il sistema di isolamento è infatti affidato al buon funzionamento dei materiali isolanti messi in opera a protezione delle stratigrafie e dei ponti termici. E la presenza di infiltrazioni, oltre a generare scambi convettivi non desiderati tra l'ambiente interno e quello esterno, può ridurre notevolmente le prestazioni dei materiali per colpa dell'ingresso di umidità.

La perdita di potere coibente dei materiali isolanti, misurata sia in laboratorio che in esercizio, è legata infatti anche all'umidità presente nel materiale: con alti valori di umidità relativa (UR%), la conduttività termica del materiale peggiora annullando (o comunque riducendo di molto) l'effetto isolante come mostrato dai grafici di Figura 9.

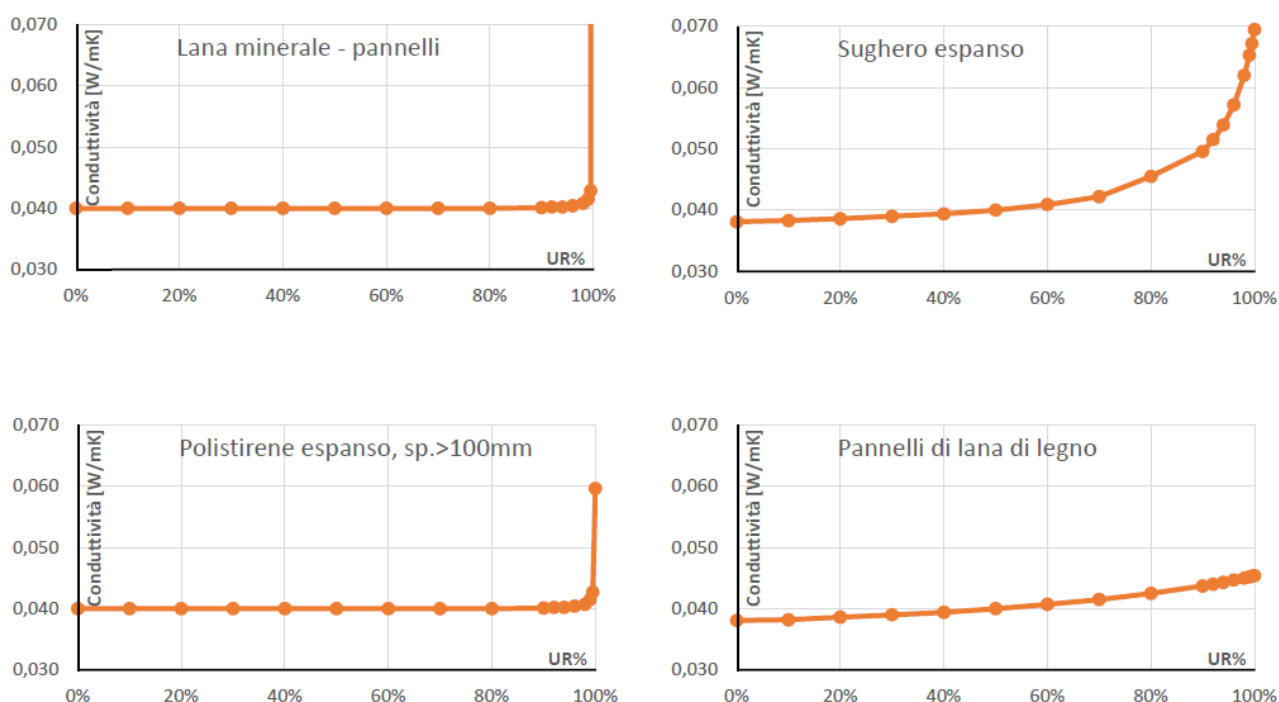


Figura 9 Correlazione tra conduttività termica e umidità relativa per alcuni materiali isolanti: lana minerale in pannelli, sughero espanso, polistirene espanso con spessore maggiore di 100 mm, pannelli in lana di legno. Per i casi mostrati alla temperatura di esercizio di 10°C, il grafico riporta una conduttività di 0.04 W/mK. I grafici sono ricavati dal software PAN e calcolati secondo UNI EN ISO 10456.

2. VERIFICARE LA TENUTA: IL BLOWER DOOR TEST

La tenuta all'aria di un edificio può essere misurata in opera attraverso il blower door test (BDT), anche noto come “test di pressurizzazione”. Si tratta di un metodo di indagine non invasivo per valutare in modo semplice e accurato l'ermeticità e la qualità esecutiva dell'involucro edilizio.

Il riferimento normativo per la prova è la norma UNI EN ISO 9972:2015 “Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore”.

Secondo tale norma il blower door test può essere utilizzato per:

- verificare la tenuta all'aria dell'edificio o parte di esso rispetto a particolari standard progettuali;
- comparare la permeabilità tra edifici (o parti di edifici) simili;
- individuare difetti di costruzione o punti di infiltrazione su edifici esistenti.

La prova consiste nel creare meccanicamente una differenza di pressione (Δp), positiva o negativa, tra l'interno e l'esterno dell'involucro edilizio attraverso l'immissione o l'estrazione d'aria dall'edificio e misurare la portata d'aria di infiltrazione (q) necessaria per garantire tale differenza di pressione.

Gli strumenti necessari per svolgere il test sono:

- un manometro e un flussimetro, rispettivamente per la misura della pressione e della portata d'aria;
- un ventilatore da utilizzare come impianto di pressurizzazione o depressurizzazione;
- un telaio ermetico in grado di ospitare la strumentazione da posizionare su un'apertura a contatto con l'esterno, ad esempio la porta d'accesso o una portafinestra esterna;
- un datalogger o un computer per la registrazione dei dati.

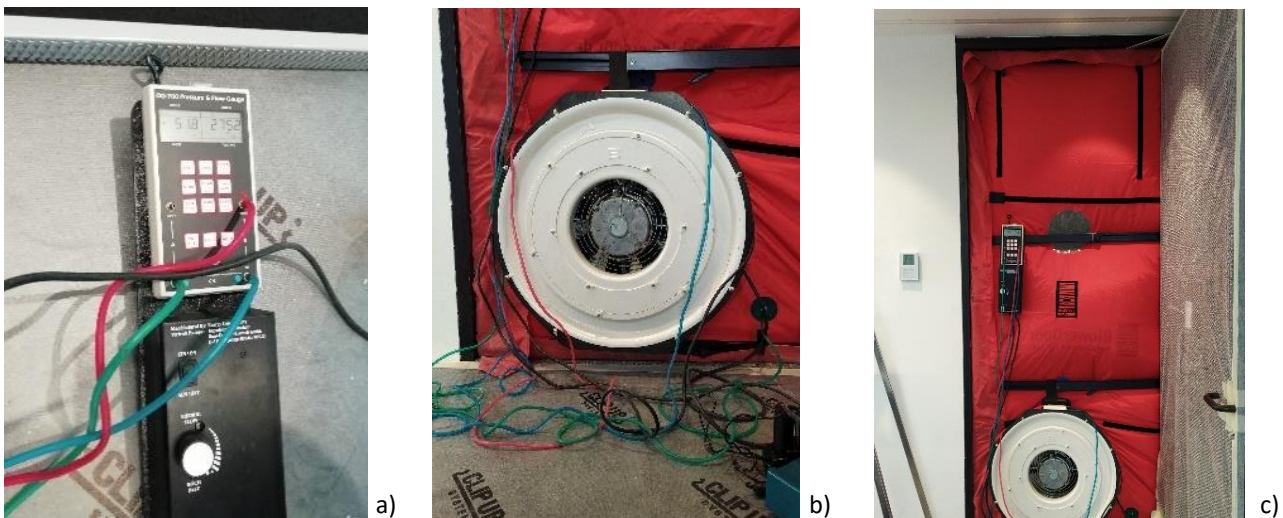


Figura 10 Strumentazione necessaria per un Blower Door Test. Da sinistra: a) manometro e flussimetro per la misura della differenza di pressione e della portata d'aria; b) ventilatore modulabile in grado di creare una sovrappressione o una depressione nell'edificio; c) telaio ermetico da posizionare su un'apertura dell'involucro.

La norma UNI EN ISO 9972 inoltre distingue tra tre differenti metodi per eseguire una prova e in base a questi indica le modalità di gestione delle aperture dell'involucro per eseguire il test (vd. tabella sottostante).

I metodi descritti sono:

- **Metodo 1 – Test dell'edificio in uso:** per valutare il sistema edificio-impianto nelle effettive condizioni d'uso e pertanto può essere effettuato solo a opera conclusa, spegnendo tutti i possibili impianti presenti e sigillando tutte le aperture sia dell'involucro che degli impianti stessi (compresi eventuali sifoni o simili);
- **Metodo 2 – Test dell'involucro:** per valutare la permeabilità all'aria del solo involucro edilizio, può essere effettuato sia in fase di realizzazione d'opera che a fine lavori, anche in questo caso è necessario provvedere alla chiusura e alla sigillatura di impianti e aperture generiche;
- **Metodo 3 – Test per protocolli specifici:** per rispondere a uno scopo specifico di analisi secondo protocolli particolari, la preparazione della prova viene progettata in relazione al tipo di indagine.

Predisposizione delle aperture dell'involucro in base al metodo adottato			
Tipo di aperture:	METODO 1 Verifica condizioni d'uso del sistema edificio-impianto	METODO 2 Verifica la permeabilità dell'involucro	METODO 3 Indagini specifiche secondo protocolli particolari
Aperture di ventilazione naturale	Chiuse	Sigillate	Chiuse, aperte o sigillate in base a standard specifici
Aperture per la VMC o per il condizionamento (per l'intero edificio)	Sigillate	Sigillate	
Aperture per la VMC o per il condizionamento (ad uso intermittente)	Chiuse	Sigillate	
Porte, finestre e botole	Chiuse	Chiuse	
Altre aperture non deputate alla ventilazione	Chiuse	Sigillate	

2.1 Elaborazione dei dati misurati

I dati di una prova BDT possono essere elaborati in accordo con la norma UNI EN ISO 9972 per stimare la tenuta all'aria dell'edificio. A tale scopo, il parametro più utilizzato nei protocolli di certificazione degli edifici che tengono conto della permeabilità all'aria è n_{50} , ovvero il numero di ricambi d'aria con una differenza di pressione tra interno ed esterno di 50 Pa.

Semplificando si può dire che:

- per un edificio con una tenuta all'aria medio/scarsa si ha $n_{50} > 1.0$
- per un edificio con una buona tenuta all'aria si ha $0.6 < n_{50} < 1.0$
- per un edificio con un'ottima tenuta all'aria si ha $n_{50} < 0.6$

Il processo per eseguire il blower door test è suddivisibile in quattro fasi:

1. preparazione dell'area di prova;
2. montaggio dei vari apparati;
3. svolgimento della prova;
4. raccolta dei dati, ripristino dell'area.

Per la corretta attuazione del test, è fondamentale provvedere ad una perfetta preparazione dell'ambiente da analizzare e procedere precedentemente alla taratura degli apparati tecnologici, allo scopo di massimizzare l'accuratezza e la validità dei risultati.

Una volta predisposta la strumentazione, la norma suggerisce di procedere con la pressurizzazione (e poi depressurizzazione) dell'edificio a intervalli regolari di 10 Pa per raggiungere un Δp di almeno 50 Pa e se possibile (in base al tipo di edificio) di 100 Pa.

La registrazione delle differenti portate d'aria misurate in m^3/h in funzione della variazione di pressione indotta dal ventilatore è poi riportata su un grafico come quello mostrato in figura.

La linea di tendenza che unisce i punti di misura è utilizzata per definire il valore della portata con un Δp di 50 Pa.

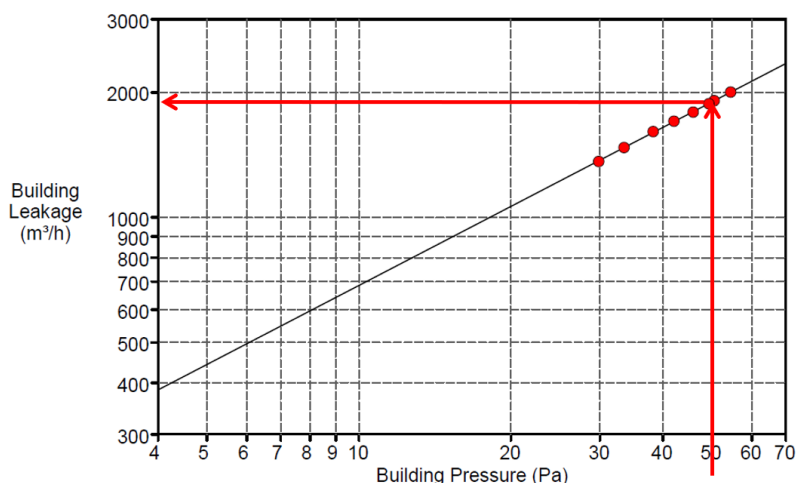


Figura 11

Esempio di risultati ottenuti con un Blower Door Test eseguito su un edificio esistente.

I punti rossi rappresentano le misure effettuate a differenti condizioni di pressione. In questo caso per un Δp di 50 Pa (Building Pressure sull'asse orizzontale) si ottiene una portata d'aria di infiltrazione di $1898 \text{ m}^3/\text{h}$ (Building Leakage sull'asse verticale). Dato che il volume netto dell'edificio è pari a 789 m^3 , si ottiene dal rapporto tra portata e volume un indice di ricambi d'aria n_{50} pari a 2,4 (l'edificio ha una scarsa tenuta all'aria).

2.2 Integrazione con altri metodi di indagine

Spesso il blower door test viene integrato con altri due metodi di indagine non distruttiva: la ricerca dei flussi d'aria con anemometro e l'analisi termografica con termocamera agli infrarossi.

L'obiettivo di queste indagini, condotte durante la prova di pressurizzazione, è cercare di rilevare ulteriori elementi a supporto dell'analisi di tenuta all'aria dell'edificio.

Con un anemometro infatti si cercano variazioni della velocità dell'aria sul lato interno dell'edificio per identificare eventuali difetti di costruzione o in generale zone a minor tenuta; con un rilievo termografico invece si cercano variazioni di temperatura superficiale in corrispondenza di giunti, bocchette o elementi vari per identificare ponti termici legati a fenomeni convettivi.

Per enfatizzare l'individuazione dei difetti di tenuta, è possibile anche integrare il blower door test con prove fumi o gas traccianti.

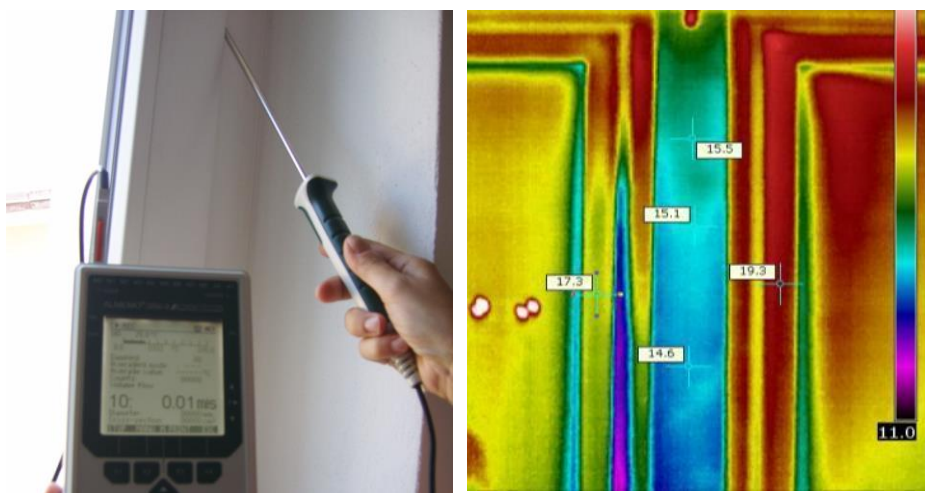


Figura 12

Indagini a supporto del blower door test. A sinistra un esempio d'uso di un anemometro per analizzare la presenza di difetti lungo i giunti di un serramento; a destra un esempio di immagine termografica su un serramento condotta durante una prova di depressurizzazione (aria fredda in ingresso nell'edificio in viola nell'immagine).

3. SOLUZIONI TECNICHE

3.1 Punti deboli della tenuta: sovrapposizioni e disconnessioni

Possiamo considerare punti deboli tutte le aree in cui l'involucro viene interrotto da altri componenti, come ad esempio serramenti, passaggi impiantistici e sfiati di areazione, in quanto la mancata continuità degli strati del pacchetto di tenuta può generare fenomeni di dispersione di calore, infiltrazioni d'aria e rischi di condensazione.

Per gli edifici progettati per garantire uno standard di tenuta all'aria, il controllo dei punti deboli del sistema deve essere adeguatamente preparato prima di arrivare alle fasi di cantiere.

Infatti, le prestazioni degli schermi al vapore (freni o barriere al vapore situati sul lato interno del pacchetto isolante) e delle membrane traspiranti (situate sul lato esterno del pacchetto isolante) sono legate alla continuità degli strati in opera; una struttura con una membrana disconnessa o con problemi di continuità, ovviamente non può assicurare le stesse prestazioni di una stratigrafia ideale con piani paralleli e perfetti.

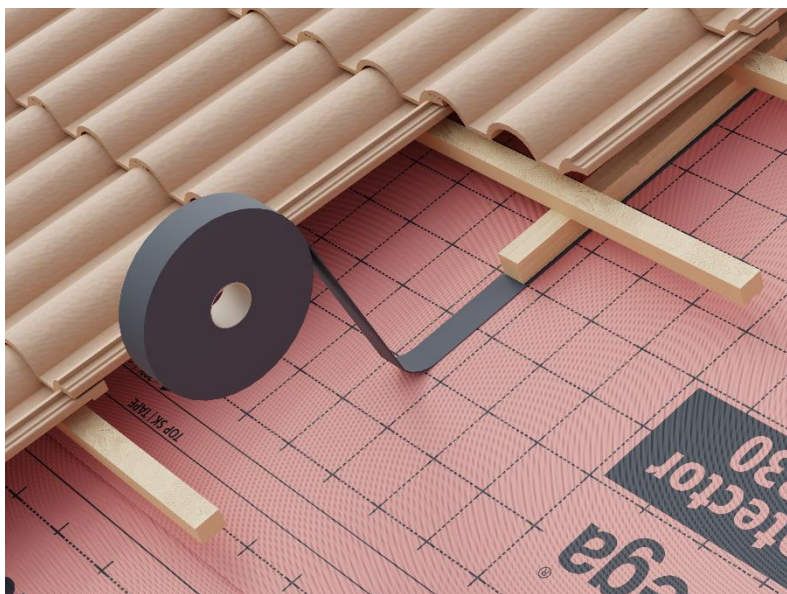
Su questo aspetto la norma UNI 11470:2015 sottolinea che:

“Tutte le zone di ricoprimento di schermi e membrane traspiranti devono essere sigillate con opportuni sistemi adesivi (bande integrate, nastri adesivi o colle sigillanti) secondo le modalità consigliate dal produttore, per una perfetta tenuta all'acqua, all'aria (schermi freno al vapore e barriere al vapore) e al vento (membrane altamente traspiranti o traspiranti). Tutte le perforazioni degli SMT dovute ai fissaggi devono essere sigillate con opportune guarnizioni impermeabili.”

Di seguito vediamo alcune soluzioni tecniche proposte da Riwega atte a garantire la continuità degli SMT.

In particolare soluzioni per:

- la continuità di tenuta tramite nastri isolanti;
- attraversamenti, impianti e corpi emergenti;
- la correzione di connessioni non sigillate;
- i serramenti.



La sigillatura per la tenuta all'aria o al vento trova soluzione con l'utilizzo di guarnizioni specifiche che possono essere prodotte in svariati materiali: EPDM, schiume in polietilene o in PVC, poliuretano espanso precompresso, bitume. Fonte delle immagini di questo capitolo: Riwega.

3.2 Nastri adesivi per la continuità di tenuta

Per garantire la continuità della tenuta i nastri adesivi acrilici rappresentano la soluzione tecnica principale. Realizzati con tecnologie polimeriche di dispersione acrilica, privi di VOC e sostanze nocive, per azzerare i rischi di contaminazione dell'aria dell'edificio, i sistemi adesivi vengono studiati per dare i migliori risultati di adesione su tutti i prodotti edili (schermi e membrane, legno, laterizio, cemento, metallo, ecc...) ed avere una durabilità nel tempo per garantire risultati per l'intera durata dell'edificio.

In base al tipo di adesivo e al tipo di supporto si possono offrire svariate soluzioni per la sigillatura, potendo scegliere la performance desiderata dal nastro adesivo:

- Flessibilità e plasticità grazie al supporto in polietilene elastico
- Rigidità e forza meccanica grazie al supporto in polipropilene rigido
- Rapidità di lavorazione grazie al supporto in polietilene trattato per eliminare il liner protettivo
- Lavorazione a basse temperature grazie ad una formulazione di colla specifica
- Stabilità permanente ai raggi UV grazie al supporto in polietilene nero
- Praticità di lavorazione negli angoli grazie al nastro prepiegato privo di metà liner
- Semplicità ed economicità grazie al supporto in carta
- Riflettanza grazie al supporto in alluminio
- Intonacabilità grazie al supporto in tessuto di polipropilene
- Economicità grazie al supporto in polietilene e alla colla secondo i normali standard
- Molteplicità di soluzioni grazie alle soluzioni biadesive



3.3 Tenuta di attraversamenti, impianti e corpi emergenti

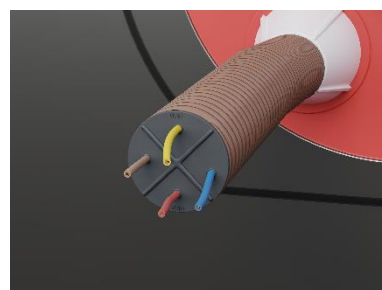
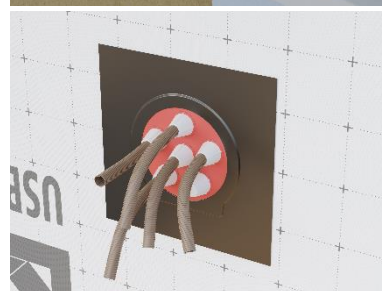
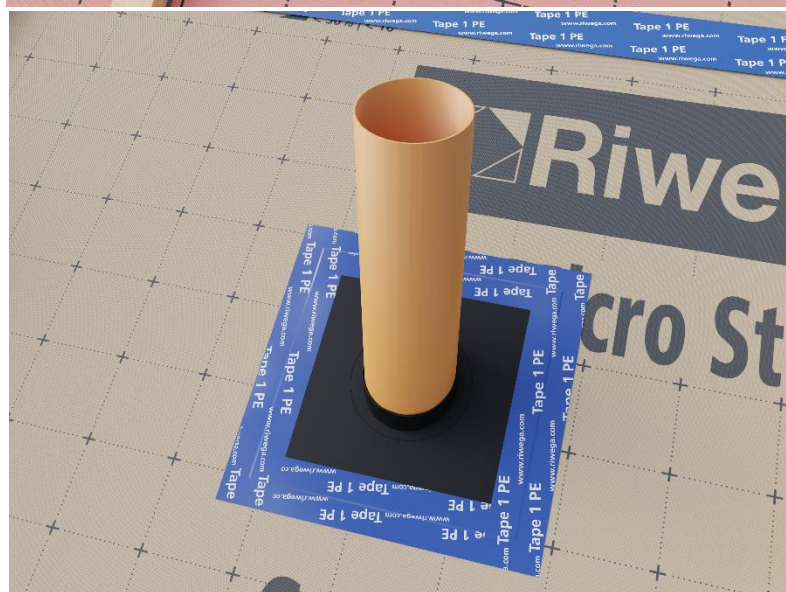
I punti più critici di un involucro edilizio in fatto di tenuta all'acqua, all'aria ed al vento sono gli attraversamenti e i corpi emergenti, che sono rappresentati da impianti, camini, cavedi, tubi, finestre, ecc.

Per risolvere questi problemi di solito si usano soluzioni tecniche con pezzi speciali per gli elementi passanti in bande adesive butiliche o collarini in EPDM (dall'inglese Ethylene-Propylene Diene Monomer, una famiglia di gomme sintetiche).

Il butile è un composto che viene prodotto miscelando polvere di gesso e resine sintetiche, ottenendo così una massa adesiva che può avere diverse densità e gradi di viscosità; questa viene poi estrusa in strisce di larghezza e spessori variabili a piacimento e può essere accoppiata con svariati tipi di supporti, per ottenere così caratteristiche specifiche che consentono di risolvere un gran numero di situazioni diverse.

Oltre alle bande adesive butiliche possono essere usate anche altre soluzioni pensate *ad hoc* per la tenuta degli attraversamenti degli impianti con collarini in EPDM per evitare ponti termici, d'aria e di umidità.

Si tratta di soluzioni adatte a controllare la tenuta di pareti e coperture con attraversamenti di corrugati elettrici, tubi idraulici, sfiati, camini, tubazioni della VMC.



3.4 Correzione di connessioni non sigillate

Può capitare che a edificio costruito si riscontrino fessure o connessioni non sigillate, oppure che durante una prova di blower door test si rilevino infiltrazioni, oppure che con l'edificio in esercizio si notino in inverno tracce di condensa all'esterno delle connessioni; in questi casi può diventare utile un prodotto sigillante in cartuccia a base di MS Polimero, facilmente lavorabile, estremamente elastico, con una lunga durata e sovraverniciabile.

Si tratta di una soluzione che offre un buon compromesso tra risoluzione del problema e facilità di intervento.

L'utilizzo di cartucce come sistema sigillante può essere utile:

- quando non è possibile l'uso di nastri adesivi nel caso di situazioni difficilmente lavorabili;
- per l'incollaggio di freni al vapore, membrane traspiranti o nastri di tenuta per serramenti su strutture edili di vario tipo (legno, laterizio, intonaci, malte, cemento, ecc.)
- per la sigillatura del giunto di posa primario del sistema serramento
- per tutte le connessioni tra diversi materiali edili dove altre soluzioni sono inefficaci o difficoltose. È il caso ad esempio di coperture in latero-cemento dove non è possibile l'applicazione di graffe o chiodi e si procede a stendere il freno al vapore incollandolo con una schiuma adesiva a base poliuretanica



3.5 Le soluzioni per i serramenti

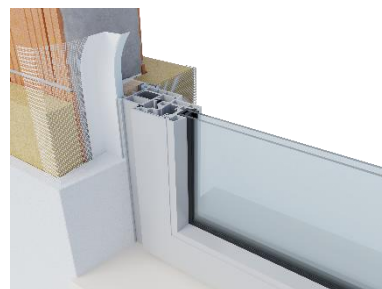
Un punto critico della tenuta all'aria e al vento dell'involucro edilizio è rappresentato dal giunto di posa dei serramenti. È infatti necessario prestare molta attenzione alle connessioni alle finestre: riempire il giunto tra la finestra e la muratura con schiuma e intonaco non è sufficiente per creare tenuta all'aria e al vento, poiché non tutte le schiume da costruzione riescono a creare uno strato ermetico.

I nastri espandenti in schiuma di poliuretano precompresso trovano ampio utilizzo per la sigillatura del nodo secondario di posa del serramento, quindi tra serramento e contro telaio.

I nastri cosiddetti FDB (dal tedesco Fenster Dicht Band – Nastro di sigillatura finestre) sono prodotti pensati proprio per creare il collegamento a tenuta all'aria ed al vento tra muratura e contro telaio, o in assenza di contro telaio, tra muratura e finestra in modo semplice e rapido.

Le caratteristiche di questi elementi sono:

- Il materiale di supporto: I nastri FDB sono costituiti da combinazioni di diversi film funzionali e tessuti/non tessuti intonacabili per ottenere prodotti altamente resistenti allo strappo ed estensibili, che possono essere fissati con un nastro adesivo acrilico o butilico al telaio della finestra o con un rivestimento adesivo a superficie intera per una totale adesione alla muratura.
- L'adesivo: I nastri FDB con adesivo a tutta superficie, utilizziamo un adesivo in poliacrilato puro, privo di solventi, derivato dall'ultima generazione di adesivi. L'adesivo è protetto da un film resistente allo strappo, che viene suddiviso più volte in base alla larghezza del nastro; questo consente di rimuovere in serie i liner e incollare facilmente il nastro in adesione a tutti gli angoli e spigoli presentati dalla connessione dei materiali. Questa formulazione adesiva è stata sviluppata per ottenere un'altissima resistenza all'invecchiamento, alla pioggia e alle temperature e per mantenere le proprie caratteristiche anche nelle difficili situazioni e condizioni di installazione. La speciale formulazione dell'adesivo in poliacrilato consente di creare un legame duraturo con pressoché tutte le superfici da costruzione: plastica, legno, alluminio, muratura, gesso, ecc.
- I valori tecnici: I nastri FDB vengono realizzati con diversi valori S_d in modo da avere la gamma dei prodotti traspiranti per uso esterno, freno al vapore per uso interno e a S_d variabile che possono essere utilizzati indifferentemente sia all'interno che all'esterno.



CONTATTI

- ANIT, Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
www.anit.it
info@anit.it
- RIWEGA
www.riwega.com
info@riwega.com

Banca dati materiali Riwega per software ANIT

- [Database Riwega](#)

BIBLIOGRAFIA

- [1] AISMT, Manuale tecnico: *L'involucro edilizio a qualità aumentata*, 2020
- [2] ANIT, Manuale tecnico: *Progettazione igrotermica delle coperture*, 2017
- [3] R. Esposti, G. Galbusera, A. Panzeri, C. Salani, *Volume 4 – Muffa, condensa e ponti termici*, Ed. TEP srl, 2° ed. Gennaio 2014
- [4] Fraunhofer Institute for Building Physics IBP, *Measuring and Testing Facilities*, 2015
- [5] Passive Haus Institute, *Monitoraggio comportamento energetico edificio passivo con ventilazione meccanica*, 2005
- [6] Passive Haus Institute, *Vita utile dello strato di tenuta all'aria*, 2005
- [7] Riwega, *Manuale tecnico coperture/pareti*
- [8] UNI 9972:2015, *Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore*, 2015
- [9] UNI 11470:2015, *Coperture discontinue - Schermi e membrane traspiranti sintetiche - Definizione, campo di applicazione e posa in opera*, 2015
- [10] 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*
- [11] UNI EN 15026:2008, *Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio - Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica*, 2008
- [12] UNI EN ISO 10456:2008, *Materiali e prodotti per edilizia - Proprietà igrometriche - Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto*, 2008
- [13] DM 26/06/2015 (Decreto requisiti minimi). *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*. GU Serie Generale n.162 del 15-7-2015 - Suppl. Ordinario n. 39
- [14] DPP n.11-13/Leg./2009 e s.m.i, Regolamento applicativo dei requisiti minimi per la Provincia autonoma di Trento, *Disposizioni regolamentari in materia di edilizia sostenibile in attuazione del titolo IV della legge provinciale 4 marzo 2008, n. 1 (Pianificazione urbanistica e governo del territorio)*
- [15] *Direttiva Tecnica Nuovi Edifici*, Agenzia per l'Energia Alto Adige – Casaclima, Settembre 2017
- [16] *Direttiva Tecnica Edifici esistenti & Risanamento*, Agenzia per l'Energia Alto Adige – Casaclima, Settembre 2017
- [17] *Criteri Casaclima per l'esecuzione delle prove di tenuta all'aria (Blower door test)*. Agenzia per l'Energia Alto Adige – Casaclima. Luglio 2015

Articoli scientifici:

- [18] AA. VV., *Energy impact of the air infiltration in residential buildings in the Mediterranean area of Spain and the Canary islands*, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad de Valladolid, Universidad de Alicante, Universidad de Sevilla, Universidad de Málaga, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ES), 2019
- [19] A. Borodinecs, J. Nazarova, A. Zajacs, A. Malyshev, *Specifics of Building Envelope Air Leakage Problems and Airtightness Measurements*, Riga Technical University, Riga (LV), 2016
- [20] Y. Ji, L. Duanmu, *Air-tightness test and air infiltration estimation of an ultra-low energy building*, Science and Technology for the Built Environment (ASHRAE), 2016
- [21] S.Emmerich, L. C. Ng, W. S. Dols, *Simulation Analysis of Potential Energy Savings from Air Sealing Retrofits of U.S. Commercial Buildings*, ASTM International (USA), 2019
- [22] H.Kim, J.Park, J.Hong, J.Oh, J. Lee, *Air Tightness Performance of Residential Timber Frame Buildings*, Seoul National University, Seoul (KR), 2014.
- [23] N. Lukić, L. Đukanovic, A. Radivojević, *Implication of Infiltration on Building Energy Demand: A Review of Verification Methods*, University of Belgrade, Belgrado (SNS), 2020
- [24] A. Mechouet, Taoufiqmouhib, A. Balhamri, E. M. Oualim, *Evaluating the Impact of Air Infiltrations on the Thermal and Energy Performances for Different Types of Dwellings in Casablanca City*, University Hassan First, Settat (MA), 2018
- [25] A. Mischczuk, D. Heim, *Parametric Study of Air Infiltration in Residential Buildings—The Effect of Local Conditions on Energy Demand*, Warsaw University of Technology, Lodz University of Technology, (POL), 2020
- [26] C. Younes, C. Abi Shdid, G. Bitsuamlak, *Air infiltration through building envelopes: A review*, Florida International University, Miami, Florida (USA), 2012



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 e studi di progettazione
- **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 individuali ricevono



Costante aggiornamento
sulle norme in vigore con
le Guide



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



Servizio di chiarimento
tecnico da parte del
nostro Staff



Abbonamento alla 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

www.anit.it

info@anit.it

Tel. 0289415126

ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico
Via Lanzone 31- 20123 – Milano