

Domenico Pepe

LA TENUTA ALL'ARIA NELLA PRATICA EDILIZIA

Con la collaborazione di: Agenzia CasaClima, Ernesto Antonini, Davide Barbato, Enrico Baschieri, Leopoldo Busa, Fabio Dandri, Ruben Erlacher, Marco Marescotti, Stefano Mora, Francesco Nesi, Massimo Rossetti, Giorgio Soncini, Bruno Zorzi

Introduzione a cura di: Norbert Lantschner

© Copyright Legislazione Tecnica 2020

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

Finito di stampare nel mese di dicembre 2020 da

LOGO SRL

Via Marco Polo, 8 - 35010 - Borgoricco (PD)

Legislazione Tecnica S.r.L.

00144 Roma, Via dell'Architettura 16

Servizio Clienti

Tel. 06/5921743 - Fax 06/5921068

servizio.clienti@legislazionetecnica.it

Portale informativo: www.legislazionetecnica.it

Shop: ltshop.legislazionetecnica.it

I contenuti e le soluzioni tecniche proposte sono espressioni dell'esperienza maturata nel corso degli anni dagli Autori. Esse possono, quindi, soltanto essere fatte proprie dal lettore, o semplicemente rigettate, ed hanno l'intento di indirizzare e supportare il tecnico nella scelta della soluzione che maggiormente si adatta alla situazione oggetto di analisi. Rimane, pertanto, a carico del tecnico la selezione della soluzione da adottare. Il lettore utilizza il contenuto del testo a proprio rischio, ritenendo indenne l'Editore e gli Autori da qualsiasi pretesa risarcitoria.

INDICE

PREFAZIONE	10
INTRODUZIONE (A cura di Norbert Lantschner)	11
CAPITOLO 1 - Il patrimonio edilizio nazionale e le sue prospettive di riqualificazione	13
1.1. Gli obiettivi europei per il 2050	13
1.2. Le emissioni di CO ₂ per settori	14
1.2.1. L'impegno del singolo per un obiettivo comune	17
1.3. Impieghi finali di energia per settore	21
1.4. L'edilizia del futuro si chiama <i>deep renovation</i>	22
1.5. L'interesse del mercato immobiliare verso alloggi a basso fabbisogno energetico	24
1.6. Consistenza del patrimonio edilizio nazionale ed epoca di realizzazione	25
1.7. Dati climatici nazionali	27
1.8. Il bilancio energetico di un edificio	28
CAPITOLO 2 - Introduzione alla tenuta all'aria	31
2.1. Le dimensioni in gioco	31
2.2. L'esperimento divulgativo del cubo che tiene l'aria	32
2.3. Principali considerazioni sulla tenuta all'aria e gli effetti di una elevata permeabilità	37
2.3.1. Discomfort termoigrometrico	38
2.3.1.1. <i>Incremento della conducibilità dei materiali</i>	41
2.3.2. Discomfort acustico: verifica per immagini (A cura di Bruno Zorzi)	47
2.3.3. Conseguenze energetiche	52
2.3.3.1. <i>L'importanza della tenuta all'aria nel contesto climatico italiano: analisi in regime dinamico dell'incidenza delle perdite per infiltrazione negli edifici a bassissimo consumo energetico</i> (A cura di Enrico Baschieri e Giorgio Soncini)	53
2.3.4. Gestione dell'umidità	64
2.3.4.1. <i>Meccanismo di formazione di condense e muffe dovute alla convezione: conseguenze sanitarie e strutturali ..</i>	64
2.3.5. Qualità dell'aria interna e conseguenze igienico-sanitarie	77
2.3.5.1. <i>Valutazione dei ricambi d'aria interni</i>	80
2.3.5.2. <i>La casa deve respirare?</i>	83
2.3.5.3. <i>Filtrazione dell'aria in ingresso nell'abitazione: la salubrità degli ambienti interni</i>	85
2.3.5.4. <i>La garanzia di salubrità degli ambienti interni collegata all'emissione dei materiali e ai ricambi d'aria</i> (A cura di Leopoldo Busa)	89

2.4. La normativa di riferimento.....	93
2.4.1. L'involucro edilizio come sistema tecnologico	93
2.4.2. Esigenze	94
2.4.3. Requisiti	95
2.4.4. Prestazione delle componenti e dell'involucro edilizio	98
2.4.5. Permeabilità ed ermeticità all'aria	101
2.4.5.1. <i>Thermal bypass</i>	103
2.4.6. Tenuta al vento ed infiltrazioni	104
2.4.7. Tenuta all'aria ed esfiltrazioni	105
2.4.8. Combinazioni tra carenza di tenuta all'aria e tenuta al vento....	108
 CAPITOLO 3 - Conformazione delle discontinuità e valutazioni energetiche	111
3.1. Discontinuità puntuali	112
3.2. La discontinuità lineare	113
3.3. La discontinuità nell'interfaccia tra piani di posa	115
3.4. Tenuta all'aria delle componenti edilizie	116
3.4.1. Prime valutazioni sulla permeabilità all'aria dell'involucro.....	122
3.4.2. Permeabilità all'aria della stratigrafia realizzata con paglia.....	124
3.4.3. Permeabilità all'aria della stratigrafia realizzata con mattoni senza intonaco.....	126
3.4.4. Permeabilità all'aria della stratigrafia realizzata con cartongesso ..	127
3.5. Fattori che influenzano l'ermeticità: conseguenze, controlli in cantiere e correzioni	127
3.5.1. Soluzioni per la tenuta all'aria e al vento	131
3.5.1.1. <i>Nastro piatto (polietilene/acrilico o butilico)</i>	131
3.5.1.2. <i>Nastro espandente</i>	134
3.5.1.3. <i>Silicone</i>	135
3.5.1.4. <i>EPDM</i>	135
3.5.1.5. <i>Sistemi particolari</i>	135
 CAPITOLO 4 - Introduzione al Blower Door Test	137
4.1. Strumenti di ausilio.....	139
4.1.1. La termocamera e i termogrammi.....	139
4.1.2. Il termoanemometro.....	141
4.1.3. Ultrasuoni e gas traccianti	142
4.1.3.1. <i>Blower door test per artigiani</i>	143
4.2. Modalità di svolgimento della prova di Blower Door Test.....	143
4.2.1. Collegamento dei tubicini per la pressione	144
4.2.2. Selezionare il corretto <i>range</i> di chiusura della ventola.....	145
4.2.3. Considerazioni generali sulla prova secondo il Metodo 2	145
4.2.4. Considerazioni sulla prova secondo il Metodo 1.....	148
4.2.5. Considerazioni sui tempi per la realizzazione delle prove	149

4.3. La tenuta all'aria nella <i>roadmap</i> per l'efficienza energetica (A cura di Massimo Rossetti e Domenico Pepe).....	152
4.4. Gli errori di misurazione durante il Blower Door Test.....	160
4.4.1. Strumentazione con portata o sensibilità inadeguata	162
4.4.2. Taratura ed errori della strumentazione.....	162
4.4.3. Preparazione dei locali	163
4.4.4. I dati di input dell'operatore: volume e occlusione della ventola..	163
4.4.5. I fattori ambientali ricorrenti: la temperatura dell'aria	165
4.4.6. L'azione del vento durante l'individuazione delle pressioni a flusso nullo.....	168
4.4.7. L'azione del vento durante la prova	168
4.4.8. Variazioni stagionali.....	170
4.4.9. Influenza dell'altezza dell'edificio sull'esito della prova	171
4.4.10. Influenza dell'invecchiamento sull'esito della prova	173
4.4.11. Congruità del numero delle prove	179
4.4.12. Tipologia di interpolazione	179
CAPITOLO 5 - IL BLOWER DOOR TEST: <i>BEST PRACTICES</i>, PROCEDURE ESECUTIVE E RISULTATI OTTENIBILI	181
5.1. Differenze tra la norma ISO 9972 e la norma UNI EN 13829 (A cura di Ruben Erlacher).....	182
5.1.1. Volume netto ai fini della prova.....	183
5.1.2. Strumentazione.....	185
5.1.3. Condizioni meteorologiche	186
5.1.4. Procedimento della misurazione.....	186
5.1.5. Conclusioni	188
5.2. Il Blower Door Test nelle <i>best practices</i> Passivhaus (A cura di Francesco Nesi).....	188
5.3. Il Blower Door Test nelle <i>best practices</i> CasaClima (A cura di Agenzia CasaClima).....	191
5.3.1. Requisiti di certificazione CasaClima e tenuta all'aria	191
5.3.1.1. <i>Tenuta all'aria dell'edificio</i>	191
5.3.1.2. <i>Alcuni concetti fondamentali</i>	192
5.3.1.3. <i>Limiti da rispettare</i>	192
5.3.1.4. <i>Calcolo volume netto</i>	192
5.3.1.5. <i>Preparazione dell'edificio</i>	193
5.3.1.6. <i>Superamento dei limiti</i>	195
5.3.1.7. <i>Rapporto di prova</i>	195
5.3.1.8. <i>Requisiti del tecnico esecutore del Blower Door Test</i> ..	196
5.4. Modalità e procedura esecutiva del Blower Door Test: differenze tra la EN 13829 e la EN ISO 9972 (A cura di Ruben Erlacher).....	196
5.4.1. Determinazione del volume di aria.....	197
5.4.2. Preparazione della unità abitativa.....	197
5.4.3. Preparazione della strumentazione	197

5.4.4.	Determinazione delle fessure d'aria.....	199
5.4.5.	Misurazione del valore della tenuta all'aria secondo la norma..	203
5.4.6.	Elaborazione dei dati e preparazione della relazione tecnica ...	203
5.5.	Il Blower Door Test su edifici di grandi dimensioni.....	204
5.5.1.	Prova con dispersione totale	206
5.5.2.	Test di tenuta zona a zona	206
5.5.2.1.	<i>Schema prova a flusso nullo tra due stanze</i>	208
5.5.3.	Conclusioni	208
5.6.	Considerazioni sui risultati ottenibili tramite il Blower Door Test (A cura di Bruno Zorzi).....	209
CAPITOLO 6 - PARTICOLARI APPLICAZIONI DEL BLOWER DOOR TEST.		213
6.1.	Introduzione all'A-Wert Test (A cura di Stefano Mora e Domenico Pepe).....	213
6.2.	Statistiche e sperimentazioni nel campo dell'A-Wert Test (A cura di Stefano Mora e Davide Barbato)	216
6.2.1.	Considerazioni preliminari	216
6.2.2.	Dati e analisi complessivi.....	216
6.2.2.1.	<i>Analisi complessive sull'intero edificio</i>	216
6.2.2.2.	<i>Analisi in opera dei serramenti da sostituire</i>	217
6.2.2.3.	<i>Analisi in opera dei serramenti sostituiti</i>	221
6.2.3.	Casistiche specifiche	222
6.2.3.1.	<i>Caso 1: intervento di sola sostituzione serramenti esterni (prima - dopo)</i>	222
6.2.3.2.	<i>Caso 2: intervento di sola sostituzione serramenti esterni – confronto tra serramento installato in modo tradizionale e serramento installato in conformità a UNI 11673-1</i>	227
6.3.	La tenuta all'aria degli impianti di climatizzazione a tutt'aria	228
CAPITOLO 7 - VALUTAZIONE DELL'INCREMENTO DI FABBISOGNO ENERGETICO		231
7.1.	Valutazione del flusso d'aria della singola infiltrazione causata dalla ventilazione naturale	231
7.1.1.	Approfondimento sull'esponente e pendenza della curva di dispersione	234
7.1.2.	Approfondimento sui fattori di correzione per la ventilazione libera.....	236
7.2.	Valutazione del flusso d'aria della singola infiltrazione in presenza di flussi bilanciati.....	238
7.3.	Valutazione delle perdite energetiche	241
7.3.1.	Valutazione dell'incremento di costo per la climatizzazione invernale causato dalla presenza di infiltrazioni di aria	243
7.3.2.	La permeabilità all'aria negli edifici CasaClima in Friuli-Venezia Giulia (A cura di Fabio Dandri - APE FVG).....	248

7.3.3. Verifiche di permeabilità all'aria: il caso francese	254
7.3.4. Predizione del valore n_{50}	256
7.4. Valutazione dell'incremento di potenza termica	258
7.4.1. Valutazione dell'incremento di potenza termica per la climatizzazione invernale causato dalla presenza di infiltrazioni di aria.....	259
7.5. Valutazione della fessura equivalente.....	260
CAPITOLO 8 - PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DELLA TENUTA ALL'ARIA DEGLI INFISSI ED ERRORI ESECUTIVI	263
8.1. Progettare e realizzare correttamente l'interfaccia di posa del serramento: ruoli e responsabilità degli operatori (A cura di Ernesto Antonini)	263
8.1.1. La posa in opera.....	265
8.1.2. La normativa	265
8.1.2.1. La norma UNI 10818.....	266
8.1.2.2. La norma UNI 11673-1	270
8.2. La tenuta all'aria dei giunti di posa dei serramenti, sul progetto e in cantieri, nelle strutture in legno e laterocemento in relazione alla UNI 11673 (A cura di Marco Marescotti).....	272
8.2.1. I giunti	274
CAPITOLO 9 - ERRORI ESECUTIVI NELLA REALIZZAZIONE DELLA TENUTA ALL'ARIA, POSSIBILI RIMEDI E CORRETTA ESECUZIONE	277
9.1. Nodo infisso-parete.....	277
9.1.1. Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di installazione degli infissi	277
9.1.2. Alcune corrette installazioni degli infissi.....	280
9.1.3. Esempi di soluzioni standard per il nodo finestra.....	284
9.1.4. Esempi di soluzioni standard per lucernai	289
9.2. Nodo parete-solai.....	290
9.2.1. Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di nodo parete-solaio	290
9.2.2. Alcune corrette installazioni nel caso di nodo parete-solaio	292
9.3. Chiusura esterna con cappotto esterno.....	295
9.3.1. Errori realizzativi e relative correzioni nel caso di installazione del cappotto esterno	295
9.3.2. Alcune corrette installazioni nel caso di cappotto esterno	296
9.4. Chiusura esterna con facciata ventilata.....	298
9.4.1. Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di installazione di una facciata ventilata.....	298
9.5. Chiusura esterna con cappotto interno	299
9.5.1. Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di installazione del cappotto interno.....	299
9.5.2. Alcune corrette installazioni nel caso di cappotto interno	301

9.6.	Elementi strutturali in legno passanti	302
9.6.1.	Alcuni errori realizzativi più comuni e relative correzioni nel caso di installazione di elementi strutturali in legno passanti....	302
9.6.2.	Alcune corrette installazioni nel caso di elementi strutturali in legno passanti.....	309
9.7.	Copertura	311
9.7.1.	Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di installazione di copertura	311
9.7.2.	Alcune corrette installazioni nel caso di copertura	316
9.8.	Considerazioni sulla tenuta all'aria nel risanamento	317
9.8.1.	Alcune corrette installazioni della membrana in parete.....	317
9.8.2.	Alcune corrette installazioni della membrana in copertura o sui solai.....	320
9.8.3.	Solai interni e posa dei nastri piatti acrilici	322
9.8.4.	Sigillatura e tenuta al vento dei puntoni di una copertura in legno nel risanamento	323
9.8.5.	Realizzazione di passaggi temporanei su una copertura esistente in risanamento.....	325
9.9.	Passaggi impiantistici: tubazioni impiantistiche.....	325
9.9.1.	Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di passaggi impiantistici.....	325
9.9.2.	Alcune corrette installazioni nel caso di passaggi impiantistici ..	327
9.10.	Passaggi impiantistici: impianto elettrico.....	333
9.10.1.	Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di installazione dell'impianto elettrico.....	334
9.10.2.	Alcune corrette installazioni nel caso di impianto elettrico	338
9.11.	Passaggi impiantistici: impianti coibentati	341
9.11.1.	Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di installazione di tubazioni coibentate.....	341
9.11.2.	Alcune corrette installazioni utilizzabili in presenza di tubazioni impiantistiche avvolte da coibente	342
9.12.	Passaggi impiantistici speciali: nodo camino	342
9.12.1.	Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di installazione di un camino.....	342
9.12.2.	Alcune corrette installazioni nel caso di camino.....	343
CAPITOLO 10 - LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA DELLA TENUTA ALL'ARIA		345
10.1.	La norma DIN 4108-7	345
10.2.	Nodi esemplificativi	363
CAPITOLO 11 - CASI STUDIO		385
11.1.	Palazzina uffici della ditta MEGABOX.....	385
11.1.1.	Collocazione e descrizione	386
11.1.2.	Concept	386

11.1.3.	Aspetti innovativi	387
11.1.4.	Tecnologia edilizia	388
11.1.5.	Efficienza energetica	389
11.1.6.	Involucro termico.....	391
11.1.7.	Tenuta all'aria	391
11.1.8.	Impiantistica	392
11.2.	Casa monofamiliare: ripristino tenuta all'aria	399
11.2.1.	Collocazione e descrizione	399
11.2.2.	Concept	399
11.2.3.	Tecnologia edilizia	400
11.2.4.	Efficienza energetica.....	401
11.2.5.	Involucro termico.....	402
11.2.6.	Tenuta all'aria	403
11.2.7.	Verifiche tenuta all'aria.....	404
APPENDICE		407
A.1	Voce esemplificativa di computo	407
A.2	Check-list di controllo per il progetto, durante la realizzazione e in preparazione del Blower Door Test.....	407
A.2.1	Check-list di progetto	407
A.2.2	Check-list di contratto	408
A.2.3	Check-list di approccio al cantiere	408
A.2.4	Controlli in cantiere	409
A.2.5	Check-list di preparazione per il Blower Door Test	410
A.2.6	Check-list di preparazione alla prova.....	411
A.2.7	Check-list per la preparazione dei locali alla prova: ispezione pre-test	411
A.2.8	Check-list durante la prova	412
A.2.9	Check-list di valutazione della prova.....	412
BIBLIOGRAFIA		413

PREFAZIONE

Siamo coscienti che essere tra i primi a trattare in Italia il tema della tenuta all'aria espone questo lavoro a possibili critiche, anche giuste, in merito alla composizione del volume, alla scansione degli argomenti o ai contenuti.

Riteniamo però che sia diventato ormai necessario e non più prorogabile cercare di mettere un punto fermo sul tema trattato, raccogliendo quanta più letteratura disponibile con la speranza che proprio questo volume diventi stimolo per ulteriori studi, approfondimenti e – soprattutto – per superare i pregiudizi che ancora esistono sulla tenuta all'aria. Tutto ciò affinché in campo edilizio prevalgano gli aspetti scientifici e non i meri pregiudizi basati su erronee credenze popolari. Solo così può esserci un vero contributo alla scienza e al progresso. Con questo libro abbiamo voluto provare a dare il nostro piccolo contributo.

Il volume avrebbe dovuto comprendere anche una ulteriore collaborazione da parte di un collega e amico: Marco Boscolo ha lavorato incessantemente su questi temi e avrebbe dato un apporto inestimabile nel campo della tenuta all'aria e del risparmio energetico più in generale. Lo ricordiamo qui con affetto.

Vorrei ringraziare per il loro contributo:

l'ing. Giorgia Mancinelli che ha curato la schematizzazione concettuale dei nodi impiantistici;

l'ing. Cristiano Collesi e l'ing. Melania Braghin che hanno dato un contributo nella organizzazione del materiale;

l'ing. Mirca Lanzoni che ha collaborato alla gestione degli autori e alla redazione ed alla cura di alcuni dettagli;

l'arch. Silvia Mazzoleni e l'arch. Leonardo Tomasetto che hanno collaborato alla stesura di alcuni dettagli;

tutti gli Autori che hanno contribuito alla verifica dei testi e delle immagini.

INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico come anche il degrado di diversi importanti ecosistemi è ormai sotto i nostri occhi. Il modello di economia alla base della nostra società alimenta la nostra ingordigia di consumare e ci sta spingendo oltre i confini planetari. La natura ci lancia segnali d'allarme che però non vogliamo riconoscere. Sembra proprio che siamo afflitti da una preoccupante cecità. Anche di fronte a fenomeni meteorologici estremi che si registrano in ogni parte del pianeta, non vogliamo aprire gli occhi. Non si tratta più soltanto di paesi stranieri o di persone in paesi lontani colpiti da forti siccità, da ondate di caldo estremo, da rovinose alluvioni o da devastanti uragani, ma le conseguenze del cambiamento climatico si sono avvicinate e ormai si possono sentire, toccare: in Italia il 2017 è stato l'anno più secco dal 1800 a oggi.

Nel nostro paese anche la temperatura media del 2017 ha registrato, secondo l'Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima del CNR, un'anomalia di +1,3 °C sopra la media del periodo di riferimento convenzionale 1971-2000. Questo ha comportato che il 2017 è il quarto anno più caldo dal 1800 ad oggi. Più caldi sono stati il 2003, il 2014 e il 2015 che resta l'anno più caldo di sempre con i suoi +1,43 °C sopra la media del periodo di riferimento.

Continuando a scaricare in atmosfera i gas serra con l'attuale ritmo si contribuirà a determinare una dimensione del surriscaldamento globale sconosciuta da quando esiste l'uomo sulla Terra.

È bizzarro che la crisi climatica, che rappresenta la minaccia più grande per l'umanità, stenta ad entrare nella nostra consapevolezza. Dobbiamo lottare contro la negazione del problema, contro l'indifferenza e la rassegnazione per contrastare la pericolosa agonia collettiva.

Possiamo scegliere.

Cambiare è possibile ed è espressione di responsabilità: una caratteristica che ci distingue dagli altri esseri viventi.

Noi tutti contribuiamo al cambiamento climatico quando decidiamo su dove e come viaggiare, sull'energia che consumiamo per riscaldare e raffrescare le nostre case e anche ovviamente quando scegliamo i nostri piatti. Qualsiasi spesa che facciamo ha una sua impronta energetica e crea un impatto climatico e ambientale.

Sono decisioni che determinano i nostri stili di vita, ma possiamo decidere anche di invertire la rotta e farci guidare dai principi eco-sociali. *In primis* dalla sufficienza e dall'efficienza, senza togliere niente alla nostra qualità di vita. Anzi, potrebbe essere l'occasione che la transizione verso la sostenibilità ci aiuti a guadagnare in benessere.

Da dove iniziare? Riflettendo sui comportamenti quotidiani, cambiando le nostre azioni che toccano particolarmente i settori più energivori della nostra civiltà: l'abitare, la mobilità e l'alimentazione.

In Europa oggi il 40 per cento dell'energia consumata serve per le costruzioni. Ridurre i consumi energetici e le emissioni è ormai un mantra diffuso, dobbiamo renderlo concreto, intervenendo per esempio sull'involucro delle case che causa la più grande perdita nel bilancio energetico delle abitazioni. Lo spreco di energia si riduce fortemente con un adeguato cappotto termico e con serramenti performanti ma anche garantendo la tenuta all'aria.

Oggi siamo in grado di progettare e di costruire case a consumo zero, abbiamo le tecnologie e il necessario *know how*. Queste conoscenze non si devono limitare ai macro-aspetti che influenzano il bilancio energetico degli edifici ma è necessario raggiungere lo sviluppo accurato dei dettagli; questi faranno la differenza tra un edificio che contribuisce a salvaguardare il clima e l'ambiente e l'edilizia comune. Perseguire una progettazione che garantisca la tenuta all'aria assume quindi una valenza di qualità esecutiva; per poter pretendere che in cantiere le installazioni siano effettuate in maniera corretta è necessario però progettare in maniera corretta e quindi conoscere in maniera approfondita le questioni in gioco.

Sappiamo che nelle zone più urbanizzate della nostra penisola *“ogni respiro è un rischio”* per la salute a causa dell'inquinamento atmosferico al quale contribuiscono non solo le macchine ma anche i milioni di camini degli impianti di riscaldamento. Azzerando i consumi energetici delle case riduciamo le emissioni di CO₂ e anche tutti gli altri inquinanti derivanti dalla combustione.

Per ottenere comfort abitativo in tutte le stagioni senza inquinare l'ambiente e influenzare il clima, servono competenza e professionalità nella progettazione e nell'esecuzione dei lavori. Questo libro arricchisce le conoscenze tecniche per ottimizzare l'uso intelligente dell'energia e questo ci aiuta ad abitare e a vivere in modo più sostenibile.

Norbert Lantschner



**Pagine non disponibili
in anteprima**



2.4.6 Tenuta al vento ed infiltrazioni

La tenuta al vento è il requisito che un sistema tecnologico deve assicurare per impedire l'ingresso in maniera incontrollata di aria fredda in inverno, o calda e umida in estate. La tenuta al vento è garantita quando l'involucro è sigillato ermeticamente sul lato esterno dell'involucro edilizio evitando passaggi d'aria dall'esterno verso l'interno dell'ambiente riscaldato.

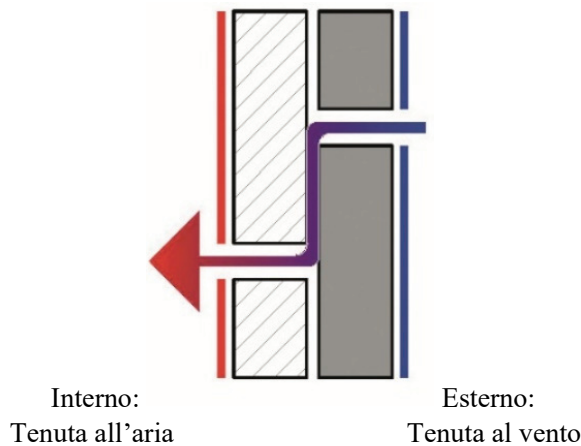


Figura 2.56 - Rappresentazione schematica nel caso di infiltrazione

Per comprendere la funzione della tenuta al vento possiamo immaginare la sensazione che si proverebbe in inverno con un leggero vento avendo come protezione solo una maglia di lana. Il vento avrebbe facilità nel passare attraverso il tessuto che è fortemente permeabile all'aria esterna con un conseguente raffreddamento repentino del corpo. Allo stesso modo una membrana o un elemento strutturale di tenuta al vento garantisce l'impermeabilità al passaggio del vento per un edificio un po' come fa la giacca a vento.

Il vento che, nel suo percorso, incontra un edificio imprime una pressione positiva sulla facciata frontale (superficie sopravvento); tale pressione spingerà l'aria all'interno di qualsiasi discontinuità dell'involucro edilizio. Nella parte posteriore dell'edificio il vento creerà una depressione (superficie sottovento) che determinerà una maggior fuoriuscita di aria dalle eventuali discontinuità.

La Figura 2.57 mostra l'assenza di collegamento idoneo tra serramento ed infisso determinando passaggio incontrollato d'aria.



Figura 2.57 - L'assenza di tenuta all'aria nel nodo primario è tale da rendere possibile vedere all'esterno

Si ricorda che **con infiltrazioni vengono denominati tutti i passaggi incontrollati** di aria dall'esterno all'interno.

L'assenza di elementi schermanti esterni determina la coincidenza tra assenza di tenuta al vento e tenuta all'acqua che può comportare l'ingresso incontrollato di acqua all'interno della stratigrafia e conseguente possibile deterioramento a seguito di effetti gelivi.

2.4.7 Tenuta all'aria ed esfiltrazioni

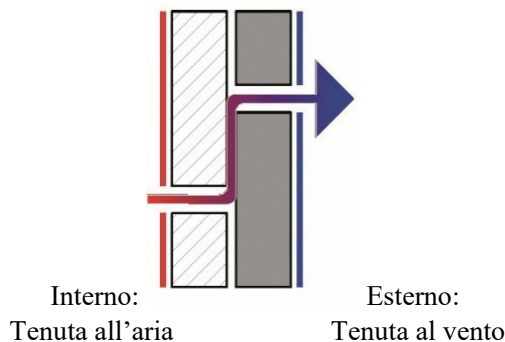


Figura 2.58 - Rappresentazione schematica nel caso di esfiltrazione

La tenuta all'aria è il requisito che un sistema tecnologico deve garantire per impedire la fuoriuscita di aria dall'involucro edilizio in maniera incontrollata. La tenuta all'aria è garantita quando l'involucro è sigillato ermeticamente sul lato caldo (considerando il periodo invernale di riferimento) evitando passaggi d'aria dall'interno dell'ambiente verso l'esterno.

Rammentiamo che **con esfiltrazioni vengono definiti i passaggi di aria dall'interno all'esterno**.

In inverno l'aria interna agli ambienti abitati ha una pressione più alta rispetto all'aria esterna poiché è più calda e più carica di umidità.

Anche all'interno degli ambienti riscaldati l'aria calda e umida in inverno crea una differenza di pressione poiché l'aria calda meno densa si stratifica nella parte alta dei locali; la presenza di aria a differente pressione genera quello che viene definito "*effetto camino*" contribuendo alla fuoriuscita di aria calda e umida attraverso le discontinuità dell'involucro presenti nella parte alta dell'involucro stesso.

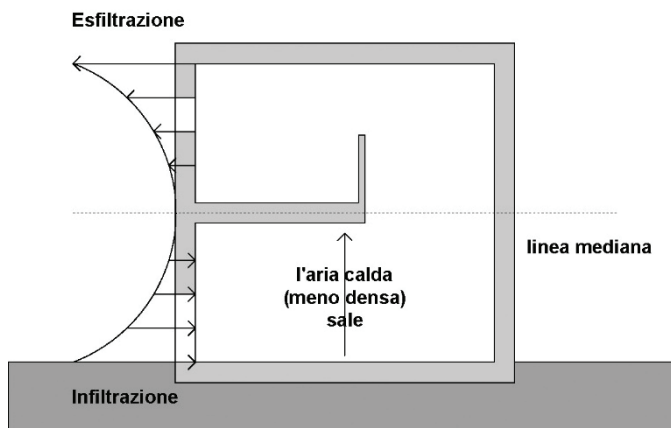


Figura 2.59 - Clima freddo con attivazione dell'effetto camino negli ambienti interni

Un esempio dell'effetto camino che si può instaurare intorno agli infissi è rappresentato dal caso seguente. Le foto di Figura 2.60 mostrano l'intradosso del solaio superiore in corrispondenza del telaio di un infisso in cui si può scorgere il passaggio di aria proveniente dall'interno dell'abitazione. Il fenomeno è dovuto alla differenza di pressione tra l'aria calda e umida presente all'interno dell'ambiente e l'aria esterna fredda e secca: si può ipotizzare che l'aria calda e umida in uscita, incontrando il solaio freddo esterno, abbia potuto determinare la creazione di condensa superficiale e la conseguente formazione di macchie superficiali.



Figura 2.60 - Esempio di esfiltrazione tra solaio e infissi

In altre situazioni (Figura 2.61) si è potuto riscontrare la presenza di esfiltrazioni anche su porte di ingresso verso locale scale, molto probabilmente per l'effetto camino che si può verificare in questo vano.



Figura 2.61 - Esempio di esfiltrazione su porte di ingresso

In una tesi di dottorato (Lstiburek 1998) si sosteneva che nella maggior parte di edifici a media altezza e alti i flussi d'aria determinati dall'effetto camino dominano i flussi d'aria del sistema di ventilazione HVAC. L'aria fluisce dalle unità inferiori attraverso i vani ascensore, attraverso le scale e le penetrazioni di servizio verso le unità superiori. Questi flussi d'aria indotti sono responsabili della migrazione di sostanze inquinanti, di problemi di odore, di fumo e propagazione del fuoco, di problemi sulla chiusura delle porte degli ascensori, e di elevati costi operativi termici. Le unità immobiliari provviste di zone filtro sigillate, e che permettono di isolare i corridoi dal vano ascensore, determinano una riduzione sostanziale dei flussi d'aria dovuti all'effetto camino. Questo si traduce in un edificio più sicuro rispetto al controllo del fumo e del fuoco; i problemi di qualità dell'aria interna si riducono e l'efficienza energetica è notevolmente migliorata.

2.4.8 Combinazioni tra carenza di tenuta all'aria e tenuta al vento

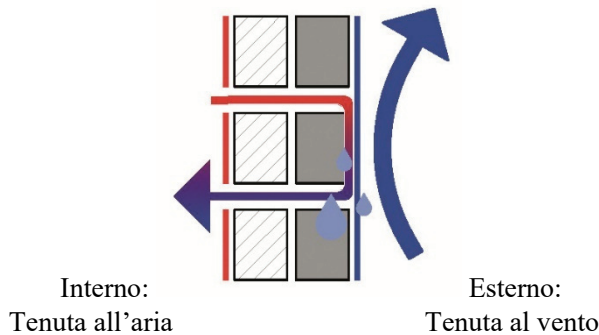


Figura 2.62 - Cattiva tenuta all'aria in presenza di un'adeguata tenuta al vento

Nel caso in cui l'involucro non garantisca la tenuta all'aria ma solo la tenuta al vento è possibile che si verifichi un moto convettivo che interessa l'interno della stratigrafia anche fino allo strato di tenuta al vento se in presenza di coibente fibroso. Questo determina la migrazione dell'umidità dagli ambienti riscaldati verso l'interno della stratigrafia. Il trasporto di vapore si concluderà con la sua condensazione non appena si supererà l'isoterma correlata al punto di rugiada (Figura 2.62).

Questo fenomeno è spesso riscontrabile negli edifici storici osservando il danneggiamento che si verifica nelle teste delle travi incastrate all'interno delle murature perimetrali. Nei punti in cui sono presenti le travi le murature consentono una buona tenuta al vento ma una carente tenuta all'aria; il legno infatti aumentando o riducendo il volume – in conseguenza delle variazioni igrometriche dei locali – determina un ampliamento della sede dell'incastro. Questo spazio permette il passaggio di aria calda e umida con relativa condensa e successivo danneggiamento.

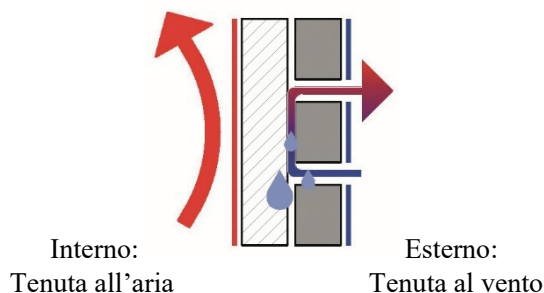


Figura 2.63 - Cattiva tenuta al vento in presenza di un'adeguata tenuta all'aria



**Pagine non disponibili
in anteprima**



8

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DELLA TENUTA ALL'ARIA DEGLI INFISSI ED ERRORI ESECUTIVI

8.1 PROGETTARE E REALIZZARE CORRETTAMENTE L'INTERFACCIA DI POSA DEL SERRAMENTO: RUOLI E RESPONSABILITÀ DEGLI OPERATORI

A cura di Ernesto Antonini

La necessità di ottenere comportamenti energetici efficienti impone di realizzare involucri edilizi capaci di limitare al minimo gli scambi termici fra interno ed esterno. *Riduzione delle trasmittanze, attenuazione degli effetti dell'irraggiamento estivo e ottime prestazioni di tenuta all'aria sono quindi i requisiti cruciali da soddisfare nella progettazione e nell'esecuzione di tutti gli elementi che realizzano la "frontiera" fra interno ed esterno.*

Benché non siano i soli responsabili del problema, i serramenti risultano particolarmente esposti al rischio di costituire il punto debole dell'involucro edilizio, dal momento che sono inseriti in un varco che interrompe la continuità della chiusura e sono dotati di parti mobili destinate a consentire di modulare i flussi di aria e di luce attraverso il varco stesso.

Per questa ragione, in anticipo rispetto ad altri prodotti da costruzione ed in modo molto puntuale, i serramenti sono stati oggetto di un'intensa attività di normazione tecnica, che ha definito metodi di prova e modalità di attestazione delle prestazioni dei prodotti, permettendo quindi di determinare con certezza i livelli di servizio forniti.

Nel quadro del lungo processo di armonizzazione europea delle Norme tecniche relative ai prodotti da costruzione, i serramenti sono oggi sottoposti alla norma di prodotto UNI EN ISO 14351-1 dell'aprile 2010 (aggiornamento della precedente UNI EN ISO 14351-1 del 2006), che costituisce quindi il riferimento rispetto al quale i produttori possono rilasciare la Dichiarazione di prestazione (DoP), secondo quanto prescritto dal Regolamento (UE) n. 305/2011 (CPR-Construction Products Regulation). Il Regolamento prevede infatti che, prima dell'immissione sul mercato, il produttore attesti la conformità alla norma armo-

nizzata, la quale fissa i criteri di valutazione, i sistemi di attestazione a cui attecnersi e le prestazioni obbligatorie da determinare e dichiarare.

La norma di prodotto armonizzata UNI EN 14351-1 “*Finestre e porte – Norma di prodotto, caratteristiche prestazionali – Parte 1: Finestre e porte esterne pedonali*” (che si applica a finestre e porte pedonali senza caratteristiche di resistenza al fuoco e/o di tenuta al fumo), all’Appendice ZA elenca, fra tutte le prestazioni del prodotto serramento, quelle obbligatorie ai fini della marcatura CE, rimandando la determinazione della rispondenza dei prodotti ai requisiti previsti dalla norma armonizzata a specifiche norme tecniche, che definiscono le metodologie di prova e le correlate classificazioni prestazionali assegnabili.

La Tabella 8.1 fornisce il quadro delle prestazioni che i serramenti devono dimostrare di possedere e le relative classi di assegnazione, in relazione alle Norme tecniche attualmente vigenti.

Tabella 8.1 - Prestazioni dei serramenti e relative classi di assegnazione, in relazione alle Norme tecniche attualmente vigenti

Prestazione funzionale	Norma Tecnica		Classificazione														
Resistenza ai carichi del vento	EN 12210	Freccia relativa frontale	A (1/150)		B (1/200)						C (1/300)						
		Carico del vento	0	1	2		3			4			5				
Tenuta all'acqua	EN 12208		1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	Ex					
Permeabilità all'aria	EN 12207		1			2		3					4				
Trasmittanza termica unitaria della finestra U_w	EN ISO 10077-1:2006		2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9			
	EN ISO 10077-1																
	EN ISO 12567-1																
Trasmittanza termica unitaria del vetro U_g	EN ISO 10077-1		1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6					
	EN 673																
	EN 674																
Potere fonoisolante R_w	EN ISO 707-1		28	30	32	34	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	
Proprietà radiative valore g (%)	EN 410		30		35		40		45		50		55		60		
Trasmissione luminosa τ_v (%)			55		60		65		70		75		80				
Resistenza all'impatto	EN 13049		1		2		3			4			5				



**Pagine non disponibili
in anteprima**





Figura 9.14 - Evacuatore di fumo

9.2 NODO PARETE-SOLAI

Nell'edilizia tradizionale, intesa come quella realizzata con struttura intelaiata in cemento armato e tamponatura in laterizio, la tenuta all'aria è demandata sostanzialmente allo strato continuo di intonaco. In questo caso l'intonaco non deve presentare alcuna discontinuità o fessure, giacché queste discontinuità possono determinare il passaggio incontrollato d'aria.

Nelle strutture in legno la tenuta all'aria è demandata alle membrane, se in presenza di assiti in legno non incollati, oppure a nastri che collegano pannelli in legno non permeabili all'aria.

9.2.1 Alcuni errori realizzativi e relative correzioni nel caso di nodo parete-solaio

Nelle strutture tradizionali si possono verificare delle discontinuità nei punti in cui cambiano i materiali o la posa è avvenuta in tempi differenti.

Ad esempio, nel nodo parete-solaio di calpestio l'intonaco della parete deve continuare fino al massetto del solaio in basso. Allo stesso modo, nel nodo parete-solaio di copertura in laterocemento la tenuta all'aria viene garantita dalla continuità dell'intonaco con il solaio superiore; nel caso di controsoffitti non è corretto terminare l'intonaco subito dopo la posizione del controsoffitto ma questo deve raggiungere il solaio superiore.

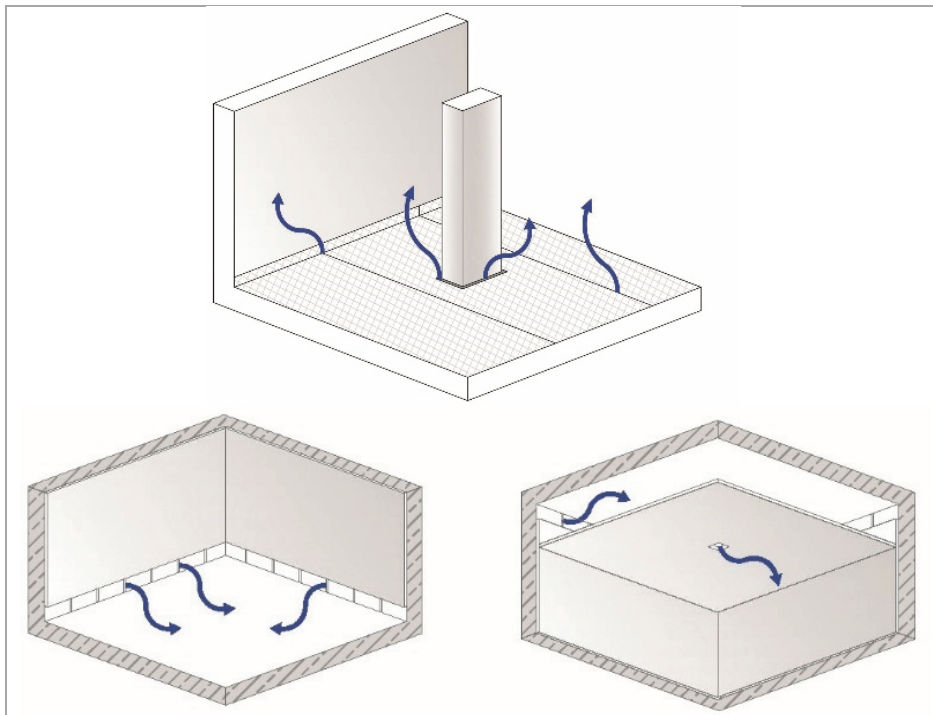


Figura 9.15 - Schematizzazione delle infiltrazioni di aria in differenti nodi di pareti e solai (Credits Giorgia Mancinelli)

Nelle strutture in legno gli eventuali errori più comuni riguardano l'interruzione delle nastrature tra pannelli X-Lam o su membrane di tenuta all'aria (freno vapore o barriera al vapore).

Nei casi in cui la finitura del pavimento sia già presente è possibile realizzare una connessione tra intonaco e solaio a terra tramite un nastro butilico, previa applicazione di primer. Il nastro butilico permette di aderire in maniera efficace alle asperità o alle fughe del pavimento; allo stesso tempo evita rigidi collegamenti strutturali tra parete e pavimento scongiurando trasmissioni acustiche indesiderate.

Nella foto di Figura 9.16 è presente un nastro espandente nero in attesa di applicazione del cappotto interno in idrati di silicato di calcio; anche il nastro espandente in questo caso ha la funzione di desolidarizzare la parete rispetto al pavimento. Il nastro grigio è un nastro butilico necessario per collegare strutture cementizie grazie alla sua capacità di adattamento alle irregolarità delle superfici.



Figura 9.16 - Preparazione della tenuta all'aria in attesa dell'installazione di un cappotto interno con idrati di silicati di calcio

9.2.2 Alcune corrette installazioni nel caso di nodo parete-solaio

Per gli edifici tradizionali l'attacco a terra della parete può essere realizzato con una soluzione polimerica a base acquosa, flessibile, applicabile a pennello (Figura 9.17), che fornisce una soluzione unica per la produzione di connessioni a tenuta stagna, sia in nuova realizzazione che in fase di ristrutturazione.

Poiché la tenuta segue perfettamente i contorni del substrato con alta flessibilità e adesione superiore, i collegamenti rimangono ermetici nel lungo periodo. La soluzione polimerica è veloce, flessibile e durevole per tutti i collegamenti che devono garantire ermeticità e lunga durata.



Figura 9.17 - Tenuta all'aria del primo corso tramite prodotto viscoso

Una tecnica alternativa è quella di applicare l'intonaco e farlo scendere fino a toccare il solaio di pavimento grezzo. Quest'ultima soluzione ha lo svantaggio di determinare un ponte termico lineare, seppur trascurabile dal punto di vista delle temperature superficiali, su tutto il perimetro della costruzione.

Nel caso in cui si voglia demandare la tenuta all'aria del solaio inferiore ad una guaina a tenuta all'aria questa deve essere saldamente nastrata all'intonaco interno su tutto il perimetro ed intorno ad ogni singolo elemento strutturale passante.

La nastratura deve essere continua e senza soluzioni di continuità su tutto il perimetro dell'elemento passante.

L'applicazione del nastro adesivo in polietilene con rinforzo retinato spalmato di colla acrilica ad alta tenuta adesiva permette di impermeabilizzare all'acqua, al vapore, ai rumori, al vento e all'aria.

Nella Figura 9.18 viene rappresentata in maniera schematica la soluzione della corretta sigillatura degli elementi strutturali passanti attraverso membrane di tenuta all'aria.

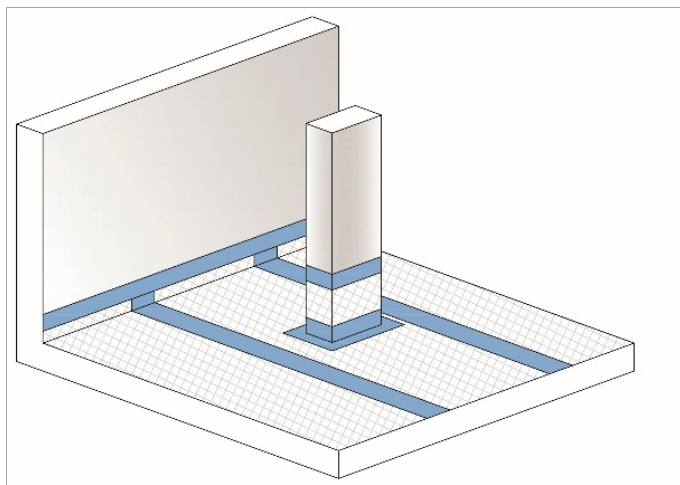


Figura 9.18 - Schema della corretta sigillatura di elementi strutturali passanti attraverso una membrana (Credits Giorgia Mancinelli)

In una prima fase bisogna preparare il fondo rimuovendo le asperità della pavimentazione. Seguirà poi la posa di un telo in polietilene come barriera al vapore per la tenuta all'aria che dovrà essere adeguatamente nastrato nelle congiunzioni tra telo-intonaco-parete, quest'ultima possibilmente pre-trattata con primer (Figura 9.19).



Figura 9.19 - Fasi preparatorie della sigillatura di elementi strutturali passanti attraverso una guaina

La struttura portante e il laterizio, avendo differenti moduli elastici, possono dar vita a fessurazioni incontrollate se pur di modesta entità. Alcune imprese (ad esempio MAC Costruzioni Generali di Castelluccio - MN) hanno cominciato a sigillare, tramite nastro piatto intonacabile, i nodi pareti-solai e strutture già in fase di grezzo in modo da garantire una perfetta tenuta e tutelare il nastro da successivi possibili danneggiamenti (Figura 9.20). In questo modo si supera il problema già in fase di esecuzione tenendo in dovuta considerazione il futuro comportamento delle strutture.



Figura 9.20 - Dettagli installativi del nastro di tenuta all'aria di collegamento tra elementi strutturali e tamponamenti esterni (Fonte: MAC Costruzioni generali)

Un'altra strategia importante utilizzata in questo caso è stata quella di intonacare l'interno delle pareti esterne prima di installare le tramezze. Si noti nella Figura 9.21 (a sinistra) che i pilastri sono già stati coibentati e sono state installate le tramezze interne. In questo caso specifico il risultato al grezzo è stato di n_{50} pari a $0,12 \text{ h}^{-1}$ (Figura 9.21, a destra).



Figura 9.21 - Fasi finali e test

9.3 CHIUSURA ESTERNA CON CAPPOTTO ESTERNO

9.3.1 Errori realizzativi e relative correzioni nel caso di installazione del cappotto esterno

La foto di Figura 9.22 è riferita ad una applicazione di cappotto termico realizzata solo tramite punti e senza tassellatura.

Le motivazioni principali del crollo sono da attribuire principalmente all'assenza di tassellatura ma è interessante mostrare la conformazione sulla parete del collante e di come vi siano ampie superfici di parete senza macchie di collante. Spazi così ampi tra i punti di colla, nel caso in cui non ci sia una perfetta chiusura del perimetro, permettono la realizzazione dell'effetto camino innescato dal riscaldamento dell'aria all'interno dell'intercapedine tra muratura e pannello isolante.



**Pagine non disponibili
in anteprima**



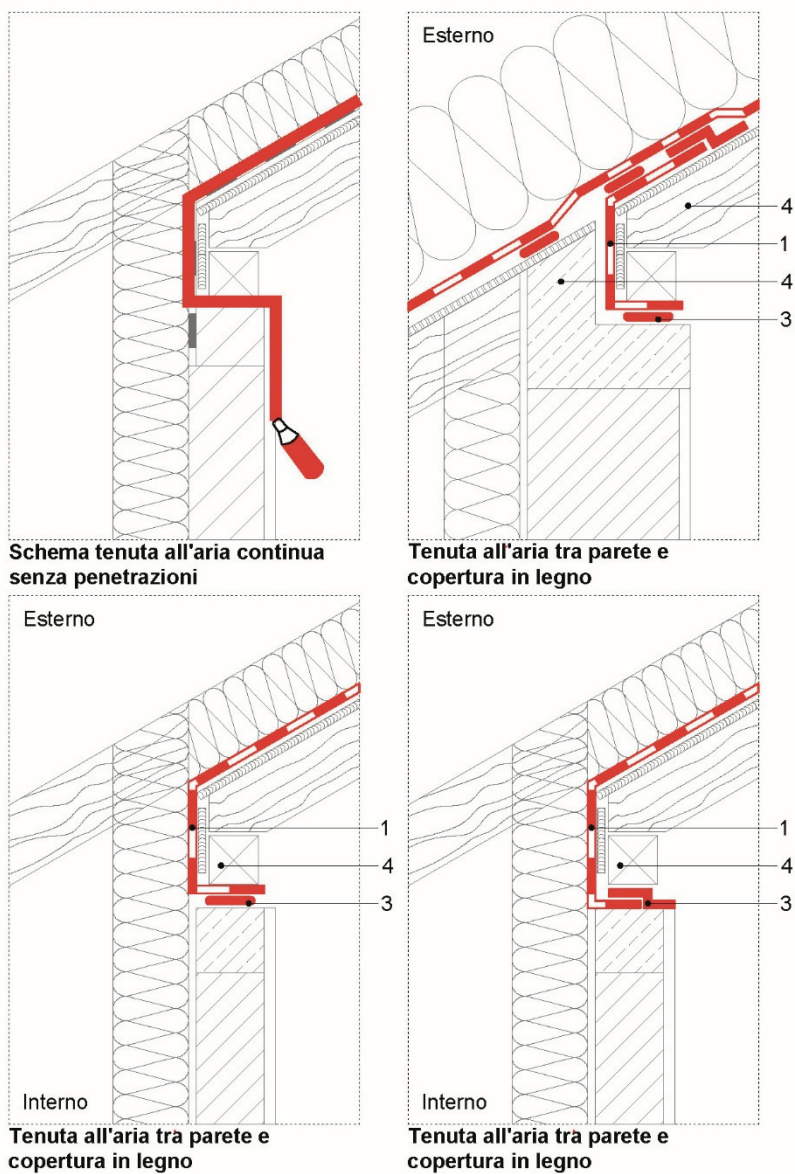


Figura 10.5 - Tenuta all'aria nel caso di tetto a falde

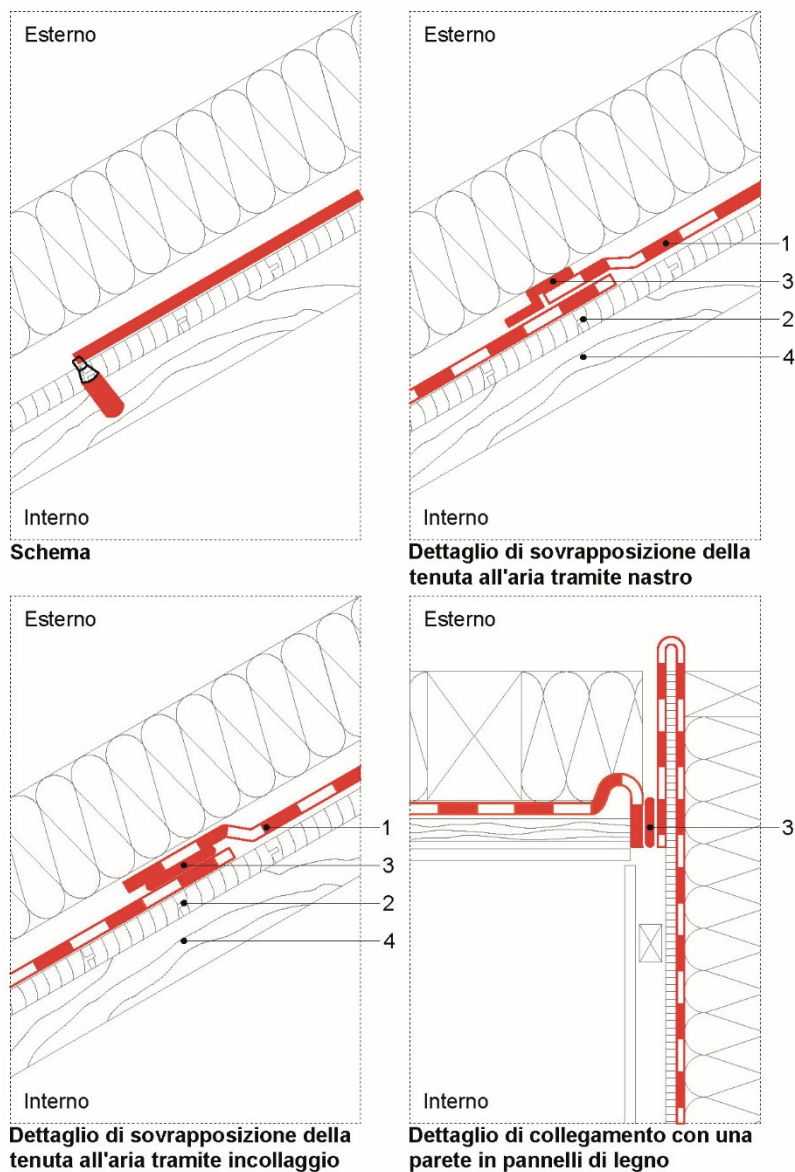


Figura 10.6 - Tenuta all'aria delle membrane del tetto e con la parete