

Sistemi di rivestimento a cappotto ad alte prestazioni

A cura di Angelo Lucchini, Enrico Sergio Mazzucchelli,
Alberto Stefanazzi, Giacomo Scrinzi, Sofia Pastori



Presentazione

Questa pubblicazione è il risultato di una intensa collaborazione tecnica e scientifica tra ROCKWOOL Italia S.p.A. ed il gruppo di ricerca e sperimentazione del Dipartimento ABC (Architecture, Built environment and Construction engineering) del Politecnico di Milano coordinato dal prof. Angelo Lucchini.

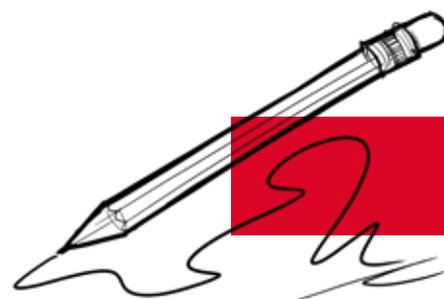
Essa nasce dalla consapevolezza che gli importanti cambiamenti intervenuti in epoca recente nel settore delle costruzioni, in termini di incremento e di articolazione delle domande di prestazione come pure di aggiornamento dei materiali e delle stratigrafie che si utilizzano nella formazione dell'involucro opaco, hanno modificato in modo significativo anche la teoria e la pratica dell'isolamento termico da applicare in esterno alle chiusure verticali degli edifici.

La pubblicazione è stata sviluppata nelle sue diverse parti con l'essenziale contributo del prof. Enrico Sergio Mazzucchelli e degli ingegneri Alberto Stefanazzi, Giacomo Scrinzi e Sofia Pastori, impegnati da molti anni nell'attività di ricerca, di sperimentazione tecnologica e progettuale ed in quella didattica, presso il Politecnico di Milano, Dipartimento ABC e Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni, con particolare riferimento alle problematiche prestazionali, progettuali e costruttive delle soluzioni di involucro.

Essa è stata redatta con lo scopo di presentare in modo semplice, ma comunque completo e rigoroso, la teoria e la pratica degli odierni sistemi di rivestimento a cappotto ad elevate prestazioni, tenuto conto delle specifiche conoscenze ed esperienze acquisite al riguardo dagli autori attraverso la ricerca e la sperimentazione di tipo sia scientifico sia progettuale e costruttivo.

Gli autori ringraziano ROCKWOOL Italia S.p.A. per aver richiesto e sostenuto con vivissimo interesse l'intenso lavoro da essi svolto ed auspicano che i professionisti dell'edilizia, ai quali la pubblicazione è rivolta, ne apprezzino e ne utilizzino con soddisfazione i contenuti.

prof. d.r. ing. Angelo Lucchini



Indice

1. INQUADRAMENTO GENERALE di A. Lucchini, A. Stefanazzi

A. Premessa	9
B. Origine dei rivestimenti a cappotto	9
C. I moderni sistemi di rivestimento a cappotto	10

2. REQUISITI E PRESTAZIONI CARATTERIZZANTI di E.S. Mazzucchelli, S. Pastori, G. Scrinzi

A. Isolamento termico (invernale/estivo)	15
B. Controllo dei ponti termici	19
C. Comportamento meccanico	22
D. Comportamento al fuoco	23
E. Comportamento acustico	28
F. Comportamento igrometrico	33
G. Comportamento agli agenti climatici ed atmosferici, durabilità, manutenibilità e sostenibilità	35

3. CONFIGURAZIONE DELLE SOLUZIONI di E.S. Mazzucchelli, G. Scrinzi, A. Stefanazzi

A. Tipologie di supporto	39
Supporto tradizionale in laterizio: classico e di moderna concezione	39
Supporti realizzati in legno	41
B. I componenti del sistema: tipologie, caratteristiche e modalità di posa	43
Strato isolante	44
Strato di rivestimento – la rasatura sottile armata	48
Strato di finitura e protezione	50



4. PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE di A. Lucchini, E.S. Mazzucchelli, S. Pastori

A. Progettazione di un sistema di rivestimento a cappotto	56
B. Tipologie d'intervento: nuova costruzione e riqualificazione architettonico-energetica di edifici esistenti.....	59
Il cappotto su supporto in muratura tradizionale - nuova realizzazione o esistente	60
Cappotto su edifici in legno di nuova realizzazione	61
Riqualificazione di un rivestimento a cappotto con la tecnica del "cappotto su cappotto"	62
C. Cantierizzazione e movimentazione materiali	64
D. Punti singolari: i nodi di dettaglio.....	65

5. ERRORI TIPICI, CONTROLLI IN OPERA E FINALI, STRATEGIE D'INTERVENTO di S. Pastori, G. Scrinzi, A. Stefanazzi

A. Errori tipici.....	72
Errori di tipo progettuale.....	72
Errori di cantierizzazione (stoccaggio materiali, operazioni e organizzazione del cantiere)	73
Errori derivanti da inadeguata preparazione delle aree di cantiere e "comuni prassi d'uso"	74
Errori di posa in opera.....	75
B. Modalità di controllo	80
C. Strategie d'intervento attuabili in sede di controllo	84
D. Controlli e certificazioni finali.....	85

BIBLIOGRAFIA

Testi	88
Linee guida e regole tecniche	88
Riferimenti legislativi	88
Normative.....	89





Inquadramento generale

1. Inquadramento generale

A. Premessa

I sistemi di rivestimento a cappotto, conosciuti a livello internazionale come ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems), rappresentano una delle principali opzioni d'isolamento termico e finitura esterna delle chiusure opache, che permette anche di garantire, a seconda delle soluzioni e dei materiali impiegati, prestazioni particolarmente elevate. Gli stessi sono particolarmente indicati e impiegati nella maggior parte degli edifici, siano essi di semplice connotazione geometrica e ridotto sviluppo o anche di grande dimensione ed elevata altezza, nonché in tutti quelli per i quali la ricerca di funzionalità, immagine, elevate prestazioni, efficienza e sostenibilità dell'involucro edilizio, costituisce un primario obiettivo della progettazione.

Nell'ampia offerta commerciale odierna di materiali e prodotti per la formazione di questo tipo di rivestimento, il Gruppo ROCKWOOL si distingue per la proposta di prodotti specificamente studiati ed ottimizzati per garantire prestazioni e modalità d'installazione in opera ideali. Tra questi spiccano i pannelli d'isolamento termico in lana di roccia a doppia densità, da rivestire superficialmente con un sottile strato d'intonaco armato e successivamente con una finitura dalle elevate caratteristiche di protezione idrorepellente abbinata ad un'ampia gamma di caratteristiche cromatiche. In questa monografia, ROCKWOOL fornisce, in collaborazione con il Dipartimento ABC (Architecture Built Environment and Construction Engineering) del Politecnico di Milano, indicazioni per guidare i progettisti all'ottenimento di risultati ottimali e di alto profilo prestazionale, a partire dalle principali tipologie strutturali e di tamponamento al rustico attualmente in uso e per quelle interamente realizzate in legno.

B. Origine dei rivestimenti a cappotto

I moderni sistemi di rivestimento a cappotto discendono dalle prime soluzioni di isolamento termico della facciata, risalenti al finire degli anni Settanta, ideate per implementare le prestazioni energetiche dei paramenti murari e per ridare allo stesso tempo una nuova connotazione architettonica degli edifici, oltre ad una migliore protezione dall'azione degli agenti atmosferici. Tali sistemi erano inizialmente realizzati con pannelli termoisolanti di ridotto spessore, incollati e fissati meccanicamente al retrostante supporto murario con un numero esiguo di tasselli, rivestiti con un sottile strato d'intonaco armato con una leggera rete in fibra di vetro e rifiniti con una rasatura di tipo plastico oppure con una semplice tinteggiatura.

Tale modalità di realizzazione, assai simile a quella oggi impiegata sulla maggior parte di edifici sottoposti a riqualificazione e su quelli di nuova realizzazione, ha subito nel tempo modifiche e miglioramenti che ne hanno definito gli attuali standard prestazionali, realizzativi e normativi; ciò grazie anche alle problematiche che si sono di volta in volta manifestate e per le quali è stato necessario trovare un'affidabile soluzione.

Caratteristica di forza dei rivestimenti a cappotto è la consistente implementazione della prestazione d'isolamento termico della parete opaca di facciata realizzabile con idonei spessori dei pannelli isolanti in funzione delle condizioni al contorno (ad esempio luogo di installazione intesa come zona climatica di interesse). L'abbinamento dello strato isolante con un rivestimento cementizio sottile, di spessore medio pari a 5 mm con incorporata rete di armatura in fibra di vetro alcalo-resistente, finito superficialmente con l'applicazione di finitura colorata in pasta di spessore variabile generalmente tra 1 e 2 mm, conferisce all'intero sistema di rivestimento elevata durabilità e resistenza meccanica nonché la possibilità di realizzare una pregevole connotazione architettonica abbinata ad un'ampia gamma di colorazioni.

Incollaggio e fissaggio meccanico di ogni singolo pannello isolante al supporto murario garantiscono, oltre a sostenere il peso proprio del cappotto stesso, elevate prestazioni di resistenza meccanica alle azioni di pressione e depressione prodotte dal vento, la cui azione, per edifici alti o realizzati in contesti sub-urbani o in posizioni isolate (pertanto non protetti o schermati da quelli circostanti), può essere anche di notevole entità ed indurre elevate sollecitazioni al rivestimento.

In anni più recenti, inizialmente a causa della crisi energetica e successivamente alla necessità di riduzione delle emissioni di CO₂ al fine di limitare gli effetti sul clima, le soluzioni con sistema di rivestimento a cappotto hanno conosciuto una notevole evoluzione tecnologica e funzionale. Tali soluzioni sono state pertanto impiegate e riproposte sempre più di frequente, non solo a mero fine protettivo ma anche come opzione innovativa, in grado di migliorare sensibilmente la configurazione dell'involucro verticale opaco degli edifici, sia sotto il profilo tecnologico e prestazionale sia sotto quello architettonico, dando così impulso alla diffusione dei moderni sistemi di rivestimento a cappotto cui questo volume è dedicato.

C. I moderni sistemi di rivestimento a cappotto

I sistemi di rivestimento a cappotto rappresentano, ad oggi, una delle soluzioni più diffuse e performanti per l'isolamento termico delle chiusure opache, specialmente se realizzati con materiali isolanti ad alte prestazioni. In particolare, per "isolamento a cappotto" si intende il rivestimento esterno di una parete opaca di facciata costituito da pannelli isolanti posti in opera mediante incollaggio e/o fissaggio meccanico, rivestiti da una sottile rasatura armata, la quale è a sua volta finita superficialmente con un sottile strato di rivestimento colorato in pasta che ne assicura adeguata protezione contro le intemperie.

A livello europeo i riferimenti normativi ETAG 004 ed EAD 040083-00-0404 definiscono il sistema a cappotto come un sistema di elementi costruttivi costituito da diversi componenti specifici prestabiliti:

- collante;
- materiale isolante;
- tasselli (se necessari);
- intonaco di base;
- rete di armatura;
- intonaco di finitura (rivestimento con eventuale fondo adatto al sistema);
- accessori (rete angolare, profili per raccordi e bordi, giunti di dilatazione, profili per zoccolatura, ecc.).

Tali sistemi sfruttano e massimizzano la capacità d'isolamento termico dei pannelli, creando uno strato continuo sull'intera superficie di facciata dell'edificio, permettendo il raccordarsi a serramenti, copertura ed altri componenti edilizi, riducendo gli effetti dei ponti termici ed il fabbisogno energetico per il mantenimento delle condizioni di comfort interno degli ambienti.

La crescente richiesta di elevati standard prestazionali dal punto di vista energetico (in funzione della normativa vigente) e la crescente domanda di mercato, stanno portando una costante ricerca, sviluppo e sperimentazione degli elementi che costituiscono il sistema a cappotto con particolare attenzione per quanto concerne i pannelli isolanti.

L'ente tecnico europeo di riferimento per il settore delle costruzioni, l'EOTA (European Organization for Technical Approval), su incarico della Commissione Europea ha redatto varie linee guida per la valutazione tecnica dei sistemi a cappotto a livello europeo, tra le quali è presente la Linea Guida Tecnica ETAG 004 (European Technical Approval Guideline) per sistemi a cappotto su supporti in muratura e calcestruzzo. A partire dal 2021, la ETAG 004, già utilizzata come EAD (European Assessment Document - Documento per la Valutazione Europea), è stata sostituita dall' EAD 040083-00-0404. Vi sono quindi sempre più Sistemi a Cappotto dotati di ETA secondo EAD 040083-00-0404, mentre i sistemi a cappotto dotati di ETA secondo ETAG 004 continueranno a essere conformi e utilizzabili fino al momento del rinnovo o di eventuali integrazioni da parte del produttore. Per utilizzi diversi, vengono elaborati singolarmente dai membri dell'EOTA specifici documenti per

la Valutazione Tecnica Europea EAD.

Per quanto concerne i supporti in legno Timber Frame e CLT, è possibile far menzione di due documenti per la valutazione europea (EAD): l'EAD 040089-00-0404 (ETICS with renderings for the use on timber frame buildings) e l'EAD 040465-00-0404 (ETICS with renderings on mono-layer or multi-layer wall made of timber).

In ambito nazionale, il rapporto tecnico UNI/TR 11715:2018 – “Isolanti termici per edilizia. Progettazione e messa in opera dei sistemi isolanti termici per l'esterno (ETICS)”, pubblicato a giugno 2018, costituisce il riferimento normativo tecnico sull'argomento.

Inoltre, nello scenario nazionale ed europeo, la diffusione di nuove modalità di realizzazione degli edifici, che consistono nell'edificazione a secco e con materiali tradizionali ma rivisitati nella loro modalità di funzionamento ed assemblaggio (ad esempio il legno), ha comportato lo sviluppo e la modifica di alcune caratteristiche dei pannelli isolanti al fine di meglio adattarsi a queste nuove modalità di concezione e costruzione. A tal riguardo un caso tipico sono i pannelli in lana di roccia prodotti da ROCKWOOL, i quali a seconda della funzione (isolamento termico, isolamento acustico, protezione al fuoco, ecc.) e della loro posizione nella stratigrafia di parete (all'esterno come cappotto, all'interno di una struttura intelaiata in legno, all'interno di una controparete, ecc.) sono stati ottimizzati per meglio rispondere alle sempre maggiori e crescenti esigenze prestazionali e progettuali.





**Requisiti e prestazioni
caratterizzanti**

2. Requisiti e prestazioni caratterizzanti

I sistemi di rivestimento a cappotto possiedono peculiari caratteristiche da armonizzare a quelle della struttura e del supporto al quale essi vanno vincolati. Ciò al fine di ottenere un comportamento di insieme particolarmente favorevole sotto i molteplici aspetti di seguito illustrati.

A. Isolamento termico (invernale/estivo)

La chiusura verticale opaca, specialmente in edifici pluripiano con destinazione d'uso residenziale, è normalmente la porzione d'involucro con la maggior superficie delimitante il volume riscaldato. Per tale motivo essa deve essere progettata e realizzata con modalità tali da garantire un ridotto fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale ed estiva, così come prestazioni uniformi e costanti nel tempo.

Il parametro principale per il controllo dell'isolamento termico di una parete di facciata è la sua trasmittanza termica. Essa è definita come il flusso di calore che ne attraversa l'unità di superficie quando la differenza di temperatura tra le due facce opposte è di 1°C, ed è espressa dalla seguente relazione:

$$U = \frac{1}{R} = 1 / \left[\frac{1}{h_e} + \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda} + R_{int} + \frac{1}{h_i} \right] \cdot \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

dove:

- h_e è il coefficiente di scambio termico superficiale convettivo-radiativo esterno [W/m²K]
- s_i è lo spessore dello strato i-esimo [m]
- λ_i è la conduttività termica dello strato i-esimo [W/mK]
- h_i è il coefficiente di scambio termico superficiale convettivo-radiativo interno [W/m²K]
- R_{int} è la resistenza termica di eventuali intercapedini d'aria [m²K/W]

Il valore della trasmittanza termica di una parete dipende quindi, in prevalenza, dalle proprietà e dagli spessori dei materiali impiegati per la sua realizzazione. Il flusso termico che attraversa la parete stessa in condizioni stazionarie di temperatura interna ed esterna è dato dalla seguente espressione:

$$\Phi = A * U * \Delta T \quad [W]$$

dove:

- A è l'area della porzione di parete considerata [m²]
- U è il valore di trasmittanza termica del pacchetto costituente la chiusura [W/m²K]
- ΔT è la differenza tra la temperatura esterna e quella interna [°C]

Il 15 luglio 2015 nella Gazzetta Ufficiale n. 162, sono stati pubblicati tre decreti attuativi che hanno completato l'iter di recepimento nazionale della Direttiva Europea 2010/31/UE (EPBD recast), iniziato con il D.L. 63/2013 convertito in legge con la L. 90/13.

I tre decreti, nel loro insieme, hanno dato vita ad una rivoluzione del quadro legislativo nazionale in materia di prestazione e certificazione energetica degli edifici, e rappresentano un pilastro importante per l'attuazione del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e sue successive modificazioni.

I documenti legislativi pubblicati dal Ministero dello Sviluppo Economico sono:

- Decreto 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- Decreto 26 giugno 2015 - Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.
- Decreto 26 giugno 2015 - Adeguamento del decreto del Ministero dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Se si analizza il nuovo quadro legislativo dal punto di vista dell'impatto sulla progettazione edilizia, il Decreto "Requisiti Minimi", è sicuramente quello più importante, avendo introdotto novità significative in relazione a:

- definizione delle tipologie di intervento edilizio;
- metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche globali degli edifici;
- parametri e requisiti per la valutazione delle prestazioni dell'involucro opaco e trasparente;
- definizione di edificio a energia quasi zero (nZEB).

Per quanto riguarda il calcolo delle prestazioni termiche delle strutture di involucro, nelle appendici A e B di tale decreto, sono presenti le tabelle con i valori di trasmittanza termica U di riferimento e trasmittanza termica U massima, da applicare a seconda della categoria di intervento:

1. Nuova costruzione, Demolizione e Ricostruzione;
2. Ampliamento superiore al 15% del volume esistente o di almeno 500 mc;
3. Ristrutturazione importante - 1° livello (l'intervento, oltre a interessare l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 50 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio, comprende anche la ristrutturazione dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio);
4. Ristrutturazione importante - 2° livello (l'intervento interessa l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 25 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e può interessare l'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva);
5. Riqualficazione energetica (quelli non riconducibili ai casi precedenti e che hanno, comunque, un impatto sulla prestazione energetica dell'edificio. Tali interventi coinvolgono quindi una superficie inferiore o uguale al 25 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e/o consistono nella nuova installazione, nella ristrutturazione di un impianto termico asservito all'edificio o di altri interventi parziali, ivi compresa la sostituzione del generatore.

Tabella di riferimento per caso 1, 2, 3

Zona climatica	$U_{\text{riferimento}}$ [W/m ² K]* Dal 1° gennaio 2019/21**		
	Pareti verticali	Coperture	Pavimenti
A e B	0,43	0,35	0,44
C	0,34	0,33	0,38
D	0,29	0,26	0,29
E	0,26	0,22	0,26
F	0,24	0,20	0,24

D.M. "Requisiti Minimi" 26 giugno 2015 Tabelle 1-2-3, Appendice A

* Trasmittanza termica U, comprensiva dell'effetto dei ponti termici, da applicare nel calcolo per l'edificio di riferimento.

** Dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici. Inoltre gli stessi valori devono essere utilizzati nel calcolo per l'edificio di riferimento quando si intendono rispettare i requisiti che definiscono un edificio ad energia quasi zero (NZEB). Per la regione Lombardia, secondo il DDUO 6480-2015, i valori previsti al 2019/2021 sono in vigore dal 1° gennaio 2016.

Tabella di riferimento per caso 4,5

Zona climatica	$U_{\text{riferimento}}$ [W/m ² K]* Dal 1° gennaio 2019/21**		
	Pareti verticali	Coperture	Pavimenti
A e B	0,43	0,35	0,44
C	0,34	0,33	0,38
D	0,29	0,26	0,29
E	0,26	0,22	0,26
F	0,24	0,20	0,24

D.M. "Requisiti Minimi" 26 giugno 2015 Tabelle 1-2-3, Appendice B

* Trasmittanza termica U, comprensiva dell'effetto dei ponti termici all'interno delle strutture oggetto di riqualificazione.

** Dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici. Per la regione Lombardia, secondo il DDUO 6480-2015, i valori previsti al 2019/2021 sono in vigore dal 1° gennaio 2016.

Deroga: in caso di interventi di riqualificazione energetica dell'involucro opaco che prevedano l'isolamento termico dall'interno o l'isolamento termico in intercapedine, indipendentemente dall'entità della superficie coinvolta, i valori delle trasmittanze di cui alle tabelle da 1 a 4 dell'Appendice B sono incrementati del 30%.

Figura 1 - Tabella dei valori di trasmittanza termica dal 1° gennaio 2019/2021, come indicato nel D.M. 26 giugno 2015

La EPBD III - Direttiva UE 2018/844 sulla prestazione energetica nell'edilizia ha modificato la direttiva 2010/31/UE, mentre la Direttiva UE 2018/2002, entrata in vigore il 24 dicembre 2018 ha modificato la direttiva 2012/27/UE, il principale strumento legislativo sull'efficienza energetica in vigore nell'UE. A livello nazionale, il D.Lgs. n. 48/2020 ha attuato la Direttiva UE 2018/844 sulla prestazione energetica degli edifici modificando il D.Lgs. 192/2005. Infine, il 14 marzo 2023 il Parlamento Europeo ha approvato la nuova Direttiva EPBD, nota come "Direttiva casa green". Le nuove disposizioni puntano entro il 2030 a edificare solo edifici ad emissioni zero (per gli edifici esistenti si proroga il raggiungimento dell'obiettivo emissioni zero al 2050). Per gli interventi di ristrutturazione sono previste nuove soglie di prestazione minima, in base alle quali si dovrà riqualificare il 15% del parco immobiliare meno efficiente di ciascuno Stato membro. Anche per gli edifici esistenti è prevista l'introduzione da parte degli Stati membri di soglie minime prestazionali. In particolare, per gli edifici non residenziali e pubblici è previsto il

raggiungimento della classe energetica E entro il 2027 e della classe D entro il 2030; per gli edifici residenziali è previsto il raggiungimento della classe energetica E entro il 2030 e della classe D entro il 2033.

Per una panoramica più dettagliata dei contenuti sopra descritti e le implicazioni dal punto di vista progettuale si raccomanda di consultare il testo integrale di Direttive EPBD e Decreti sopra richiamati.

In definitiva, lo spessore dell'isolamento termico di un sistema di rivestimento a cappotto dovrà essere determinato al fine di garantire almeno il raggiungimento della prestazione minima richiesta, in relazione alle specifiche zone climatiche.

Al fine di limitare il fabbisogno nella stagione estiva e di limitare la temperatura interna degli ambienti, è opportuno verificare il comportamento inerziale della chiusura. Durante la stagione estiva, inoltre, il calcolo degli apporti solari attraverso la chiusura opaca può assumere un significativo contributo nel bilancio energetico complessivo. Il buon comportamento termico in condizioni non stazionarie è strettamente legato alla massa superficiale della soluzione di chiusura e alla posizione dell'isolamento termico all'interno della sua stratigrafia (lato esterno, in intercapedine, lato interno). Questo comportamento è valutabile mediante quantificazione del fattore di attenuazione e del coefficiente di sfasamento termico (per maggiori indicazioni al riguardo si rimanda alla normativa UNI EN ISO 13786:2018 – "Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo"). Il fattore di attenuazione è uguale al rapporto tra il massimo flusso attraverso la parete capacitiva ed il massimo flusso della parete a massa termica nulla: esso qualifica la riduzione di ampiezza dell'onda termica nel passaggio dall'esterno all'interno dell'ambiente attraverso la struttura in esame. Il coefficiente di sfasamento (espresso in ore) rappresenta il ritardo temporale del picco di flusso termico della parete capacitiva rispetto a quello istantaneo, nel passaggio dall'esterno all'interno dell'ambiente attraverso la struttura in esame.

A seguito dei flussi termici entranti attraverso le chiusure, i picchi di flusso termico risultanti in ambiente possono essere governati dalle masse interne a contatto con l'aria dell'ambiente. Gli effetti dell'inerzia termica ambientale sono in genere riconducibili a: attenuazione delle fluttuazioni di temperatura all'interno dell'ambiente dovute alle variazioni cicliche dei flussi termici entranti nella stagione estiva, spostamento temporale dei picchi di domanda dell'impianto di climatizzazione in ore in cui l'uso degli ambienti provoca condizioni di carico meno gravose grazie all'accumulo di energia nella massa dei componenti dell'edificio. Nei climi caldi, o comunque nella stagione estiva, le chiusure dotate di elevata capacità termica accumulano calore durante il giorno e lo possono rilasciare durante le ore più fresche della notte. La posizione in cui viene inserito l'isolante termico nella stratigrafia di chiusura ha ripercussioni sulla dinamica dello scambio termico. Posizionando l'isolamento sul lato interno di una chiusura, se ne separa la massa, ovvero lo strato maggiormente in grado di accumulare calore, dall'ambiente interno. In questo modo esso potrà essere portato a regime molto più rapidamente da un impianto di climatizzazione, così come si allontanerà velocemente dalle condizioni di equilibrio raggiunte una volta che l'impianto sarà spento. Se l'isolamento termico viene posto sul lato esterno di una chiusura, come nel caso dei rivestimenti a cappotto, la massa efficace della chiusura rimane a stretto contatto con l'ambiente interno. In questo modo le fluttuazioni della temperatura dell'aria e della temperatura superficiale risultano attenuate e l'ambiente impiega più tempo a riscaldarsi e raffreddarsi rispetto al caso precedente.

Tale comportamento deve essere attentamente valutato con riferimento alla stagione estiva, dove diviene fondamentale evitare, tramite appositi dispositivi di schermatura solare, che gli ambienti interni si surriscaldino. In tal caso, infatti, la particolare posizione dello strato di isolamento termico renderebbe estremamente difficoltosa l'eliminazione del calore accumulato dalle masse interne dell'edificio.

In sintesi, il comportamento dal punto di vista energetico di involucri opachi di facciata dotati di un rivestimento a cappotto assicura indubbi vantaggi nel raggiungimento di elevati standard di risparmio energetico e nella realizzazione di edifici NZEB (ovvero ad energia quasi zero), in quanto vi è la possibilità di:

- realizzare uno strato di isolamento termico omogeneo e continuo, facilmente raccordabile alle linee di imposta dei telai delle chiusure trasparenti, per il totale controllo dei ponti termici sui vari fronti di facciata, mantenendo la struttura di supporto in una condizione di "quiete termica". Particolare attenzione deve essere posta nella posa del coibente, al fine di realizzare uno strato continuo, ben aderente e connesso con il supporto, privo di discontinuità e/o vuoti;
- adottare spessori tali da conferire all'edificio un comportamento energetico molto conservativo, minimizzando quindi le dispersioni e privilegiando l'accumulo termico e, in definitiva, riducendo ai minimi termini il fabbisogno energetico.

B. Controllo dei ponti termici

Il ponte termico è una zona di limitata estensione che presenta una densità di flusso termico sensibilmente più elevata con conseguente calo della temperatura superficiale rispetto alle aree adiacenti.

Esso può dare luogo a extra perdite di calore e/o a formazioni di condensa, soprattutto nel caso in cui l'umidità dell'aria all'interno degli ambienti sia mantenuta su livelli eccessivamente elevati rispetto a quelli di progetto. In tale evenienza, vi può essere un rilevante scadimento delle condizioni igieniche e di salubrità richieste agli ambienti interni che, nelle situazioni più gravi, viene evidenziato dalla formazione di muffe in corrispondenza della superficie a minore temperatura, nonché dalla percezione di scarsa qualità dell'aria derivante dalla carenza o assenza del necessario ricambio d'aria in ambiente.

I ponti termici possono essere dovuti a:

- disomogeneità geometrica:
 - differenza tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e su quello esterno dell'involucro edilizio, come avviene per esempio nelle linee di spigolo ai nodi tra: pareti di facciata, tra pareti di facciata e solette, intermedie o di chiusura, ove la superficie disperdente aumenta considerevolmente, passando dall'interno all'esterno dell'edificio, e le curve isoterme (superfici a eguale temperatura con giacitura perpendicolare all'andamento del flusso termico) presentano irregolarità più o meno accentuate a seconda della consistenza del ponte termico;
 - riduzione dello spessore dei materiali costituenti il pacchetto d'involucro in corrispondenza di punti singolari, quali cavedi, nicchie, vani tecnici, canne fumarie, ecc.;
- disomogeneità materica:
 - differenze di conducibilità termica in corrispondenza dell'accostamento, della sovrapposizione o della compenetrazione totale o parziale di strati costituiti da materiali con conduttività termica diversa (pilastrini, setti, travi e cordoli, chiodi di fissaggio dell'isolante esterno, elementi di collegamento di balconi, sovrastrutture esterne, attacchi per tende, scurettili, tettoie, mensole, ecc.).

I ponti termici possono essere inoltre classificati in base alla loro estensione e tipologia in:

- lineari quali: cordoli, travi, aggetti, pilastrini (nello sviluppo verticale), davanzali passanti, ecc.,
- puntuali come: pilastrini (attacco a pavimento e a soffitto), fissaggi meccanici dei pannelli isolanti, travi a sbalzo, ancoraggi di strutture esterne, ecc.

Per quanto concerne la quantificazione degli effetti dei ponti termici si può ricorrere a metodi di tipo tabellare o analitico, che si distinguono per l'esito che forniscono ed il relativo grado di precisione che permettono di ottenere:

1. impiego di coefficienti standardizzati derivati da un abaco dei ponti termici secondo UNI EN ISO 14683:2018 – "Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento";
2. calcolo del flusso termico bidimensionale e tridimensionale: UNI EN ISO 10211:2018 – "Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati";
3. metodi di analisi numerica con specifici software di elevata precisione.

Una buona progettazione degli edifici è bene sia mirata, oltre che alla riduzione dei valori di trasmittanza termica, a limitare il più possibile la presenza di ponti termici nell'involucro in modo da contemperare gli obiettivi del risparmio energetico e della garanzia delle migliori condizioni di comfort, di igiene e di salubrità negli ambienti interni¹.

Riguardo alla problematica dei ponti termici, i sistemi di rivestimento a cappotto offrono l'indubbio vantaggio della possibilità e facilità di collocare lo strato isolante sulla faccia esterna della muratura di tamponamento, realizzando così una coibentazione che, se opportunamente dimensionata, neutralizza gli effetti termici sfavorevoli derivanti dalle eterogeneità geometriche e materiche presenti nella costruzione.

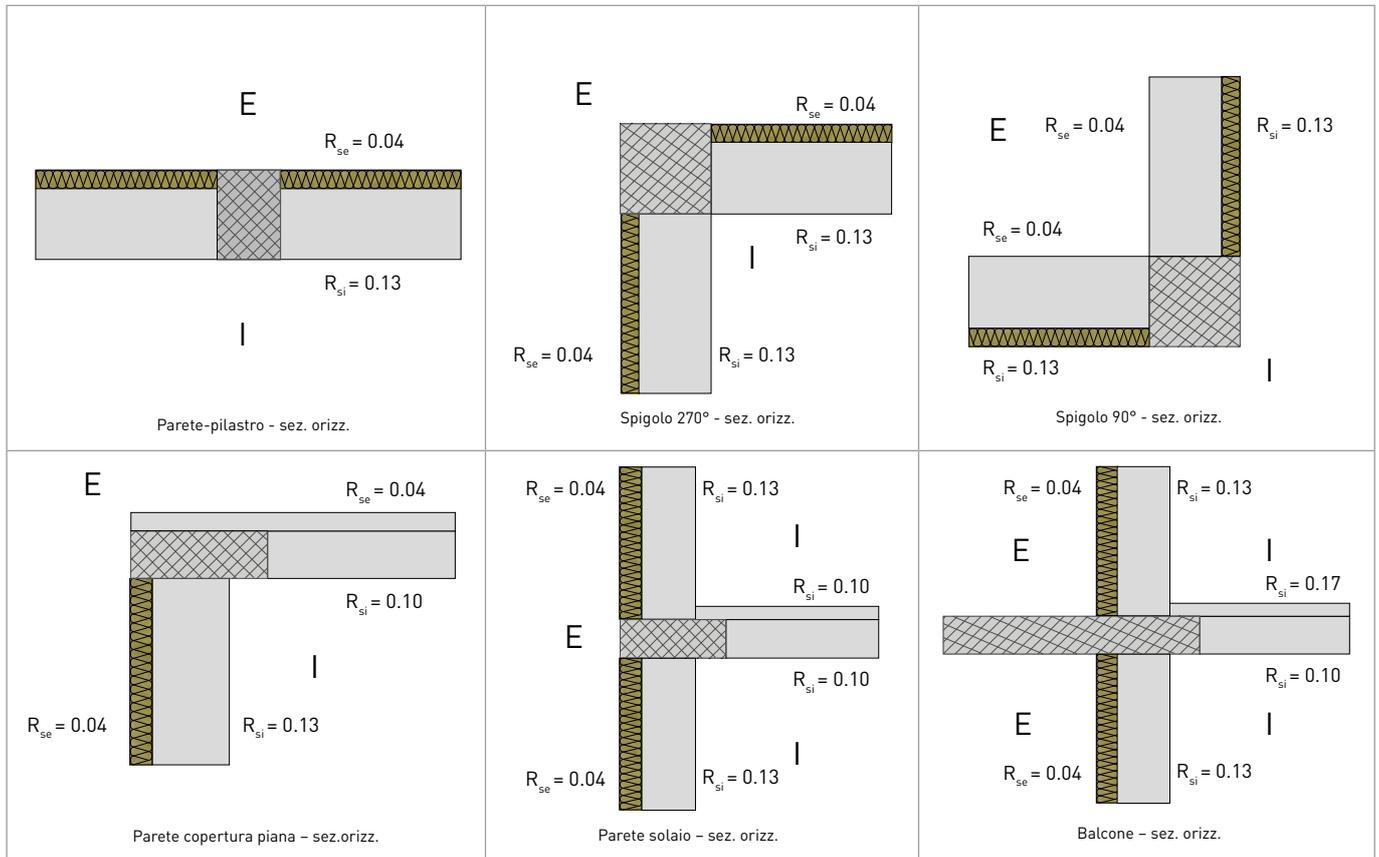


Figura 2 - Schematizzazione delle principali tipologie di ponte termico. Ampia casistica al riguardo è fornita dalla norma UNI EN ISO 14683:2018

¹ Per mantenere le condizioni di igiene e comfort negli ambienti interni è di fondamentale importanza anche il regolare apporto di adeguati ricambi dell'aria.

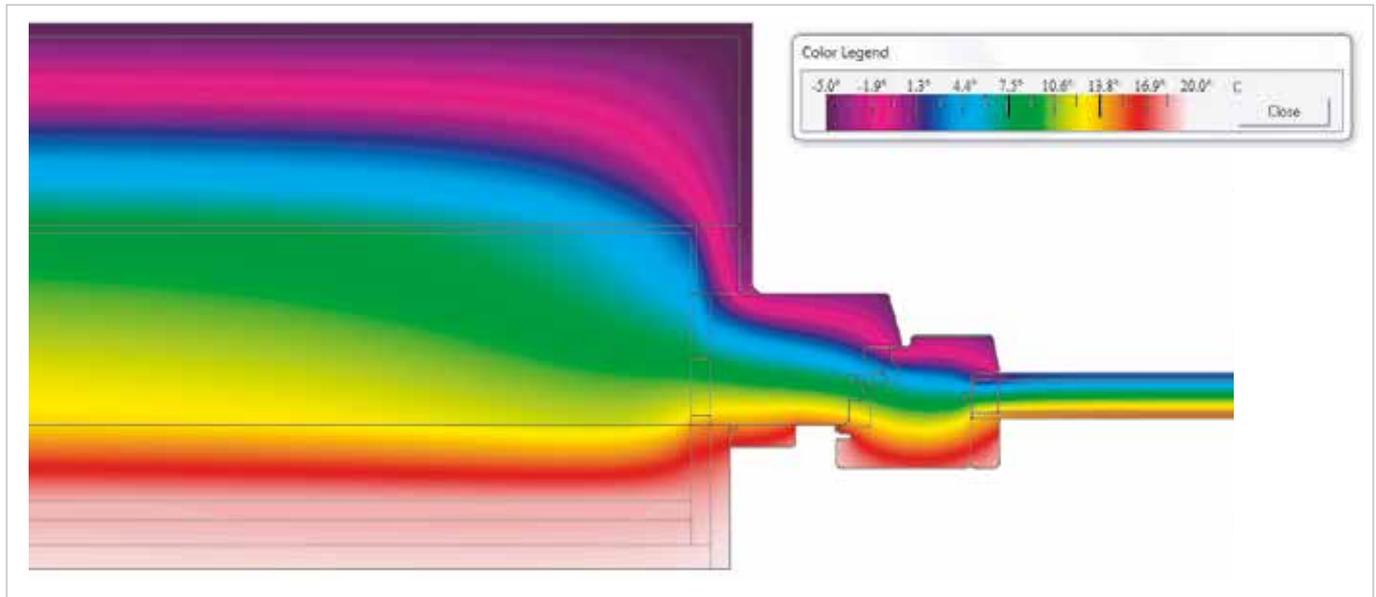


Figura 3 - Modellazione agli elementi finiti del nodo orizzontale cappotto-serramento su edificio in legno realizzato con pannelli in CLT (Cross Laminated Timber). Tale configurazione permette la realizzazione ottimale del nodo evitando la presenza di ponti termici

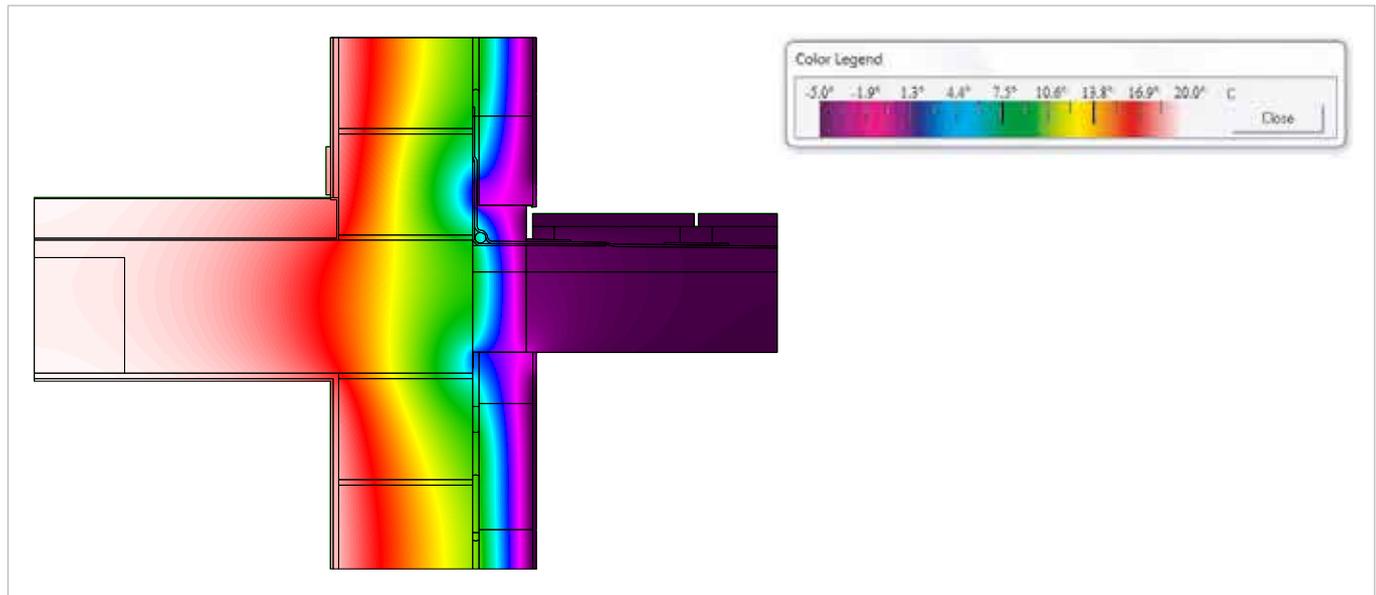


Figura 4 - Modellazione agli elementi finiti del nodo di aggancio soletta balcone-trave perimetrale su edificio di nuova realizzazione, di tipo tradizionale ottimizzato, con struttura in c.a. e tamponamenti in laterizi alveolari. Il dettaglio, che prevede l'utilizzo un elemento di taglio termico tra soletta balcone e trave, consente la realizzazione ottimale evitando la presenza di ponti termici

C. Comportamento meccanico

È necessaria un'opportuna resistenza meccanica nelle applicazioni a cappotto affinché il sistema risponda in modo adeguato a tutte le sollecitazioni cui può essere soggetta la facciata di un edificio, come ad esempio le azioni determinate dal vento, dalla grandine, dalla pioggia e quelle generate da eventuali urti. L'opera in generale deve pertanto essere concepita e costruita in modo che i carichi cui può essere sottoposta durante la costruzione e l'uso non provochino: il crollo dell'intera opera o di una sua parte, deformazioni gravi di importanza inammissibile, danni ad altre parti dell'opera o alle attrezzature e impianti principali o accessori in seguito a una deformazione di primaria importanza degli elementi portanti, danni di gravità sproporzionata rispetto alla causa che li ha provocati.

A titolo esemplificativo si ricordano le normative con le quali poter valutare le azioni agenti in facciata:

- D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- CNR-DT 207/2008 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni .

Per quanto riguarda invece il problema della resistenza meccanica del rivestimento quando soggetto ad urti significativi (urti accidentali dovuti al passaggio di pedoni, cicli o motocicli, traslochi, ecc.), in fase di progettazione devono essere applicate tutte le contromisure necessarie ad evitarne il danneggiamento.

Di norma il progettista può ricorrere all'impiego di differenti strategie di realizzazione e/o finitura del cappotto, quali:

- impiego localizzato di rasature con doppia rete di armatura, oppure rasature con singola rete di armatura di maggiore grammatura;
- impiego di una zoccolatura della base del cappotto realizzata mediante posa in opera di una fascia di rivestimento in materiale lapideo o similare;

Nelle porzioni di facciata in corrispondenza della zoccolatura, ovvero in parti a contatto con il terreno o esposte a spruzzi d'acqua, i componenti previsti dal fornitore del sistema devono essere installati ed integrati tra loro tenendo conto delle sollecitazioni meccaniche e dell'umidità.

D. Comportamento al fuoco

Analogamente a quanto avviene per ogni altra parte dell'edificio, anche l'involucro deve garantire un adeguato comportamento in caso d'incendio, limitando la sua propagazione e le pericolose conseguenze che ne derivano, al fine di assicurare incolumità e sicurezza agli utenti ed ai soccorritori.

L'incendio è una reazione ossidativa (o combustione) non controllata che si sviluppa senza limitazioni nello spazio producendo calore, fumo, gas, ecc. Affinché un incendio si origini e propaghi è necessario che siano presenti contemporaneamente un innesco, del comburente e del combustibile (sia esso in forma solida, liquida o gassosa).

Statisticamente le perdite di vite umane causate da incendio di edifici sono da attribuire per la maggior parte all'inalazione di fumi e gas tossici di combustione, quali CO₂, CO, idrogeno solforato, anidride solforica, acido cianidrico, acido cloridrico, ammoniaca, ecc., e non alla temperatura o all'azione diretta delle fiamme. Il maggiore pericolo per gli occupanti di un edificio durante un incendio consiste infatti nella presenza di fumo, e di particelle solide e liquide incombuste che, oltre a provocare problemi respiratori, oscurano l'aria ed ostacolano la visibilità e l'esodo verso le vie di fuga, nonché l'intervento dei soccorritori.

Densità, consistenza e opacità del fumo dipendono direttamente dal tipo di materiali combustibili coinvolti nell'incendio. Le elevate temperature agiscono invece sugli elementi costruttivi e sulle strutture degli edifici, danneggiandoli in modo tanto più grave quanto maggiore è il tempo di esposizione.

La prolungata esposizione al calore degrada e consuma qualunque tipologia di materiale costituente murature, solai e strutture portanti, siano essi realizzati in calcestruzzo armato, acciaio, laterizio, ecc.

Nel corso degli anni, sono stati messi a punto provvedimenti, normative e procedure atte ad evitare o quantomeno ridurre al minimo, il rischio di sviluppo e propagazione d'incendio, al fine di salvaguardare in primis la vita umana e secondariamente i danni alle strutture. Si è assistito inoltre ad una progressiva evoluzione della filosofia normativa specifica verso una progettazione meno rigidamente prescrittiva ma di tipo prestazionale, come anche rilevabile nel D.M. 3 agosto 2015 "Norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139" e sue successive modifiche ed integrazioni.

L'approccio alla valutazione probabilistico - ingegneristica del rischio è ad oggi una valida modalità di valutazione ed individuazione delle più adatte misure di sicurezza antincendio. Si cita ad esempio la sezione G 3 del Codice di prevenzione incendi che identifica il rischio delle attività mediante tre indicatori semplificati per valutare il rischio incendio (R_{vita} , R_{beni} , $R_{ambiente}$) al fine di salvaguardare la vita umana, i beni economici e l'ambiente dagli effetti dell'incendio.

Per mitigare il rischio di incendio è quindi necessario applicare un'adeguata strategia antincendio composta da misure di prevenzione, di protezione e gestionali. Il progettista definisce per ogni attività tutte le misure antincendio, stabilendo per ciascuna i relativi livelli di prestazione in funzione degli obiettivi di sicurezza da raggiungere e della valutazione del rischio dell'attività al fine di ridurre tale rischio ad una soglia considerata accettabile.

Utilizzando tale modalità di valutazione diviene più semplice e sicuro identificare e quantificare il rischio di accadimento di un incendio, con la relazione:

$$\text{rischio} = \text{frequenza} * \text{magnitudo}$$

dove:

- frequenza indica la probabilità che un evento accada,
- magnitudo indica l'entità (o quantificazione) dei danni prodotti.

Ogni situazione, progetto, edificio esistente, attività ecc., può essere classificata in base all'indice di rischio; maggiore è l'indice tanto maggiori dovranno essere le misure da adottare per evitare l'innesco e la propagazione dell'incendio. Per realizzare edifici e/o ambienti sicuri due sono le strade percorribili, spesso tra loro strettamente correlate, al fine di abbattere il fattore di rischio, ossia: misure di prevenzione e di protezione antincendio. Queste ultime, a loro volta, si distinguono tra misure di protezione passiva e attiva.

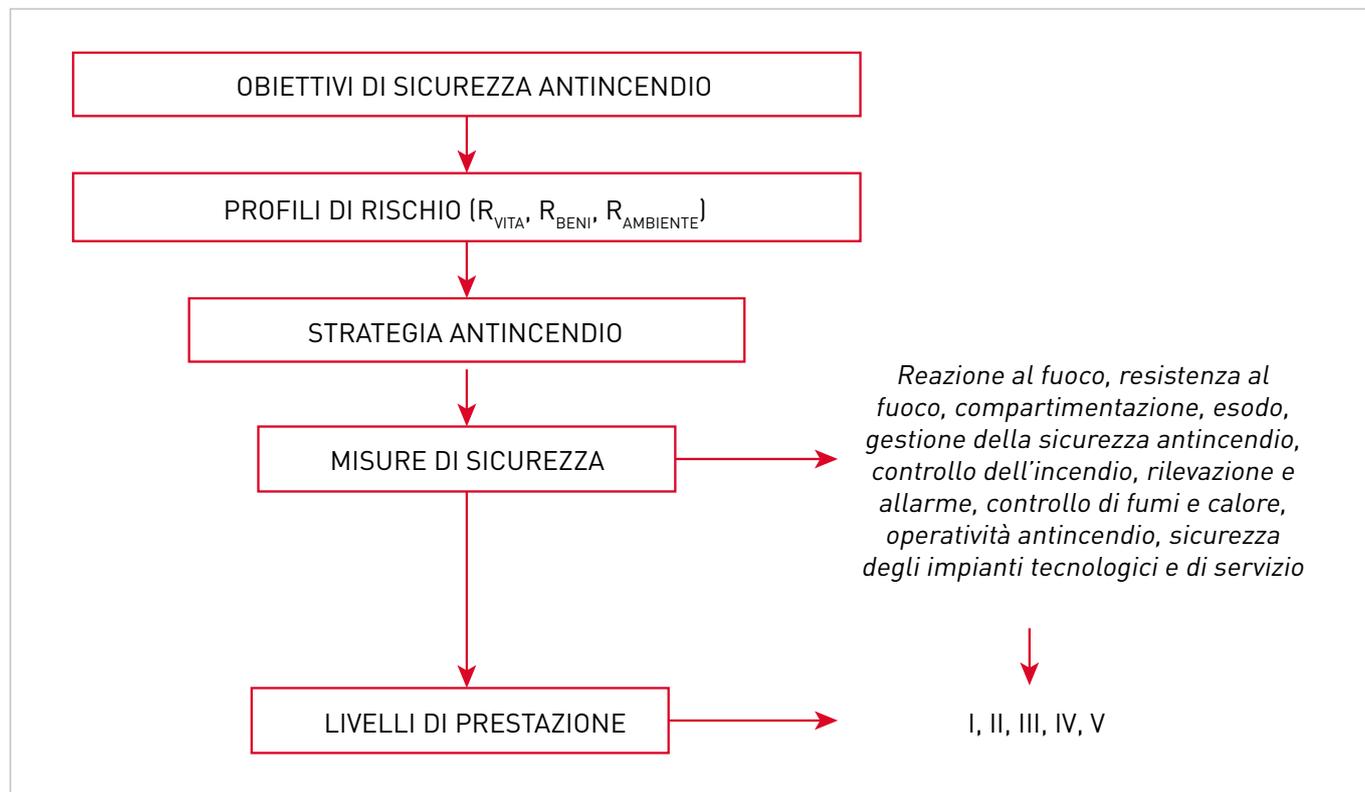


Figura 5 - Diagramma di flusso per la mitigazione del rischio d'incendio, così come proposto dal D.M. 3 agosto 2015

La protezione attiva, si basa sul principio dell'immediato riconoscimento dell'incendio (rilevazione) ed una tempestiva attivazione di impianti adibiti al suo spegnimento (impianto ad idranti, impianto sprinkler, watermist, ecc.). Ciò al fine di evitare il raggiungimento del punto di flash-over. La protezione passiva mira invece alla salvaguardia della sicurezza dell'edificio mediante la scelta di materiali e strategie progettuali atte a contenere lo sviluppo di un incendio; ciò si traduce nella realizzazione di adeguati elementi di compartimentazione in grado di resistere, per un determinato periodo di tempo, sotto l'azione del fuoco, garantendo la capacità portante (R), la tenuta al passaggio di fiamme, vapori, fumi e gas (E) e l'isolamento termico (I). Pertanto, a seconda delle caratteristiche e dei requisiti delle soluzioni di chiusura e partizione verticale/orizzontale, viene loro assegnata una sigla (R, RE, EI, REI) abbinata ad un numero che indica l'effettivo tempo (espresso in minuti) di mantenimento delle prestazioni durante un incendio. Fondamentale è inoltre l'aspetto relativo al grado di partecipazione di un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto. Per tutti quelli dotati di marcatura CE, la classe di reazione al fuoco, in accordo alla norma europea UNI EN 13501-1:2019, è un parametro che viene riportato all'interno della Dichiarazione di Prestazione del singolo prodotto.

L'utilizzo di materiali non combustibili determina vantaggi considerevoli in caso di incendio, in quanto riduce l'entità dell'evento (danni materiali e prodotti di combustione) e il rischio di perdita di vite umane, implementando la facilità delle operazioni di soccorso.

Proprio in prospettiva di Prevenzione Incendi degli edifici, e con particolare attenzione all'involucro che li costituisce, nel marzo 2022 è stata rilasciata la Regola Tecnica Verticale numero 13, come aggiunta al Codice di prevenzione incendi. Tale regola tecnica, obbligatoria per la maggior parte delle destinazioni d'uso civili, descrive le caratteristiche minime dal punto di vista materico e geometrico che devono avere alcune zone delle "Chiusure d'ambito degli edifici civili". Sempre in ottica di prevenzione incendi, nel maggio 2022 è stata emanata la Regola Tecnica Verticale numero 14, specifica per gli edifici adibiti

a civile abitazione. Tale RTV tratta gli aspetti di progettazione interna degli edifici che rientrano nell'ambito applicativo della regola tecnica in questione, come ad esempio la reazione al fuoco dei materiali, la resistenza al fuoco degli elementi strutturali, la compartimentazione, ecc.

La RTV 13 è applicabile a tutti gli edifici civili, siano essi pubblici o privati, destinati ad attività commerciali o di utilità sociale, siti produttivi o residenziali e si pone i seguenti obiettivi di sicurezza antincendio:

- limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'interno dell'edificio, attraverso le sue chiusure d'ambito;
- limitare la probabilità di propagazione di un incendio originato all'esterno dell'edificio, attraverso le sue chiusure d'ambito;
- evitare o limitare la caduta di parti della chiusura d'ambito dell'edificio in caso d'incendio, che possano compromettere l'esodo degli occupanti o l'operatività delle squadre di soccorso.

È indispensabile sottolineare che tale regola tecnica considera non solo gli aspetti progettuali derivanti da scenari d'incendio con sviluppo interno al fabbricato, ma si concentra proprio su quelle caratteristiche dell'involucro esterno degli edifici che è indispensabile garantire al fine dell'ottenimento della salvaguardia della vita umana, dei beni e dell'ambiente.

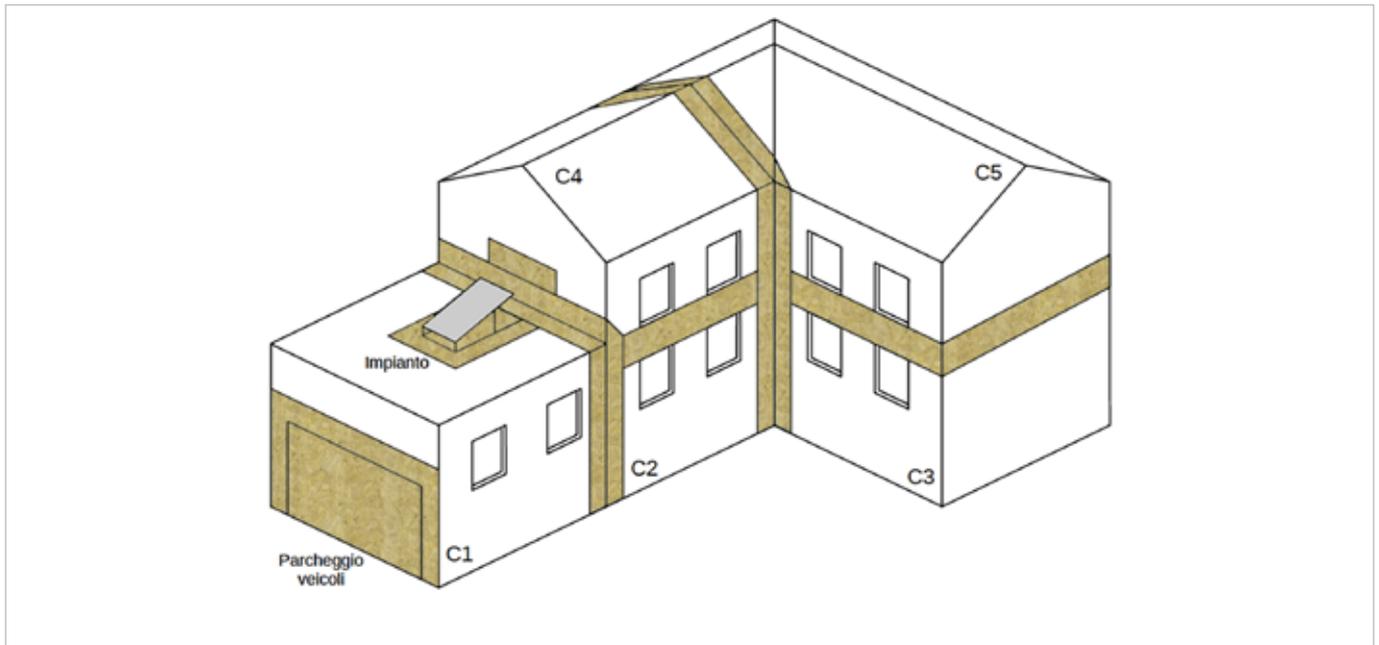


Figura 6 – Esempio di fasce di separazione e proiezioni per impianti e combustibili (Illustrazione V.13-1), Capitolo V.13.4.2 Codice di prevenzione incendi

Nella sezione 5 vengono descritte, per i vari elementi tecnici costituenti le chiusure d'ambito, le caratteristiche materiche e geometriche delle fasce di separazione da realizzare per garantire la sicurezza antincendio secondo le modalità d'applicazione precedentemente descritte.

Dal punto di vista geometrico invece le fasce di separazione devono garantire delle dimensioni minime, come di seguito riportato.

Elementi interessati	Caratteristiche geometriche delle fasce di separazione
Copertura	La fascia di separazione tra compartimenti limita la propagazione orizzontale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno sviluppo $\geq 1,00$ m (come esplicitato visivamente nell'illustrazione V.13-3 riportata di seguito, vista in sezione verticale).
Facciata separazione orizzontale	La fascia di separazione orizzontale tra compartimenti limita la propagazione verticale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno sviluppo $\geq 1,00$ m in totale (come esplicitato visivamente nell'illustrazione V.13-2 riportata di seguito, vista in sezione verticale).
Facciata separazione verticale	La fascia di separazione verticale tra compartimenti limita la propagazione orizzontale dell'incendio ed è realizzata garantendo uno sviluppo $\geq 1,00$ m (come esplicitato visivamente nell'illustrazione V.13-3 riportata di seguito, vista in sezione orizzontale). Se la separazione forma un diedro di ampiezza $\alpha < 90^\circ$, lo sviluppo deve avere larghezza $\geq 1,00 + (dS.3 - 1) * \cos \alpha$, espressa in metri, con dS.3 distanza di separazione tra i compartimenti in metri calcolata secondo paragrafo S.3.11.

Figura 7 – Caratteristiche geometriche delle fasce di separazione

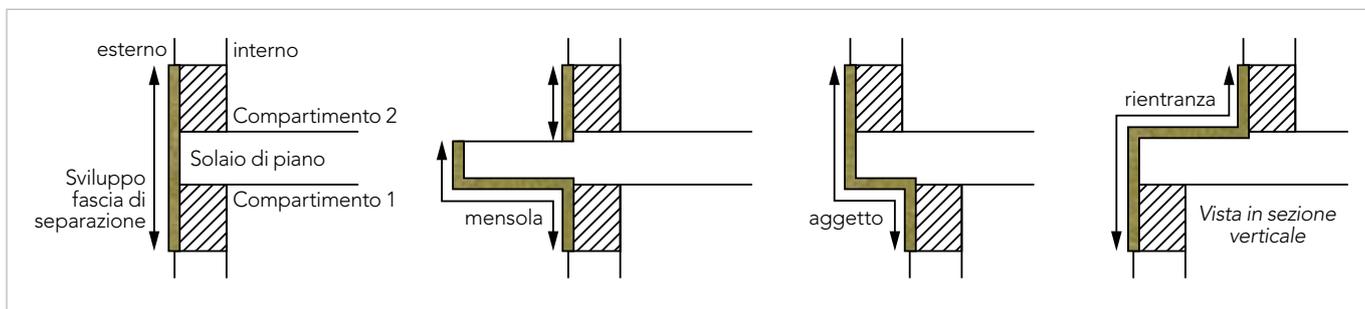


Figura 8 – Esempi di fascia di separazione orizzontale in facciata (Illustrazione V.13-2), Capitolo V.13.5.2 Codice di prevenzione incendi

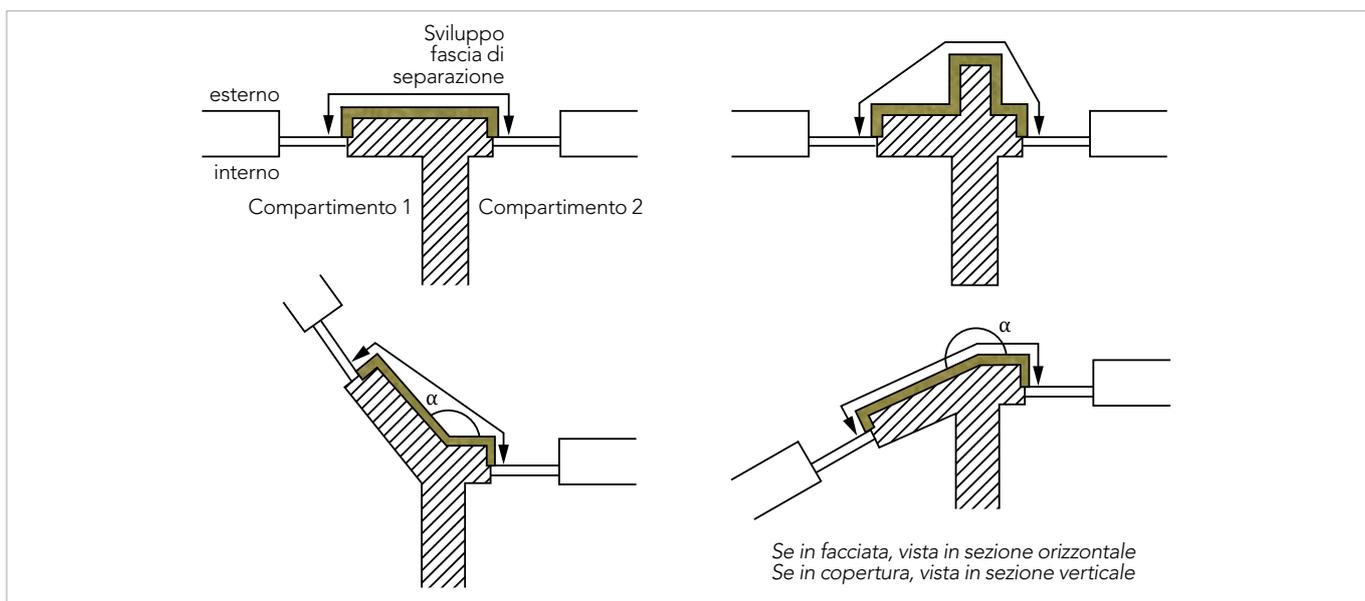


Figura 8 – Esempi di fascia di separazione verticale in facciata o in copertura (Illustrazione V.13-3), Capitolo V.13.5.2 Codice di prevenzione incendi

A differenza delle strutture, i sistemi di rivestimento a cappotto svolgono come funzione primaria la protezione dalle intemperie e la connotazione architettonica dell'edificio. In caso d'incendio tale sistema di finitura non risente particolarmente del problema fuoco qualora la parete di tamponamento abbia resistenza al fuoco E 60 e-f (o→i) (dove "e-f" significa "fuoco esterno" e "(o→i)" rappresenta l'esposizione al fuoco dall'esterno all'interno) ed i suoi vari componenti (isolante, tasselli di fissaggio, rasatura armata e finitura) appartengano a famiglie di materiali incombustibili.

Una progettazione accurata e l'adozione di strategie volte a limitare il rischio d'incendio risultano di fondamentale importanza per assicurare un adeguato grado di sicurezza degli edifici in caso di incendio. Nel rispetto di tale guida, una corretta soluzione progettuale consiste nell'utilizzare un materiale isolante non combustibile, al fine di limitare e rallentare la propagazione delle fiamme in facciata. I pannelli in lana di roccia ROCKWOOL, in quanto materiali incombustibili di classe di reazione al fuoco A1, rispettano pienamente i requisiti tecnici della Regola Tecnica Verticale 13, oltre ad essere elementi che, quando sottoposti ad incendio, non generano gocciolamento e non rilasciano in ambiente sostanze inquinanti e/o tossiche.

La garanzia di sistema è data dalla presenza di un kit certificato, in cui i singoli prodotti componenti il cappotto termico sono stati precedentemente studiati e testati per lavorare assieme. Il primo passo da compiere al fine di realizzare un cappotto termico di qualità è infatti quello di scegliere esclusivamente sistemi a cappotto forniti e certificati come kit dai produttori, dotati di certificato di Valutazione Tecnica Europea ETA e di marcatura CE di sistema. Solo i sistemi certificati, e non i cappotti assemblati con componenti di diversa provenienza, sono in grado di garantire prestazioni specifiche quali il comportamento termoigrometrico, la durabilità, la resistenza agli urti e il comportamento al fuoco.

E. Comportamento acustico

Sia in fase di progettazione che di realizzazione, deve essere posta particolare attenzione al controllo del benessere acustico negli ambienti interni. Il rispetto di tale requisito è divenuto cogente (per gli edifici di nuova costruzione e per quelli interamente rinnovati, quali: residenze, scuole, ospedali, alberghi, uffici, ecc.) con l'entrata in vigore del D.P.C.M. 05 dicembre 1997. Per gli appalti pubblici, ai limiti del suddetto D.P.C.M. si aggiungono le prescrizioni del D.M. 23 giugno 2022 sui "Criteri Ambientali Minimi" (CAM). Il decreto impone il raggiungimento della Classe acustica II, come definita nella norma UNI 11367, e il rispetto di parametri per la qualità acustica interna. Ospedali e case di cura soddisfano il livello di "prestazione superiore" riportato nel prospetto A.1 dell'Appendice A di tale norma e rispettano, inoltre, i valori caratterizzati come "prestazione buona" nel prospetto B.1 dell'Appendice B di tale norma. Le scuole soddisfano almeno i valori di riferimento di requisiti acustici passivi e comfort acustico interno indicati nella UNI 11532-2. Gli ambienti interni, ad esclusione delle scuole, rispettano i valori indicati nell'appendice C della UNI 11367. Nel caso in cui i criteri espressi nei CAM e quelli riportati nel D.P.C.M. 05 dicembre 1997 prevedano il raggiungimento di prestazioni differenti per lo stesso indicatore, sono da considerarsi, quali valori da conseguire, quelli che prevedano le prestazioni più restrittive tra i due.

Secondo il D.P.C.M. 05 dicembre 1997 n. 297, alla facciata è richiesta, in particolare, una prestazione minima complessiva delle parti opache e trasparenti espressa dall'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, $D_{2m,nT,w}$. L'indice è definito come la differenza fra il livello di pressione sonora misurato all'esterno, alla distanza di 2 m dalla facciata, ed il livello di pressione sonora nell'ambiente ricevente. La valutazione del potere fonoisolante è espressa dalla formula:

$$D_{2m,nT,w} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \cdot \log\left(\frac{T}{T_0}\right) \text{ [dB]}$$

dove:

- $L_{1,2m}$ è il livello di pressione sonora alla distanza di 2 m dalla facciata [dB];
- L_2 è il livello di pressione sonora medio nell'ambiente ricevente [dB];
- T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente [s];
- T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento, pari a 0,5 [s].

Le misure verranno eseguite per bande d'ottava, con frequenza di centro banda compresa fra 125 Hz e 2000 Hz, oppure per bande di un terzo d'ottava, con frequenza di centro banda compresa tra 100 Hz e 3150 Hz. Dai valori in frequenza si ottiene l'indice di valutazione $D_{2m,nT,w}$ secondo il procedimento indicato nella norma UNI EN ISO 717-1, che prevede l'impiego di due differenti metodi per la misurazione dell'isolamento al rumore aereo di una facciata: il metodo globale con traffico stradale oppure quello con altoparlante. Il primo è preferibile quando si valutano le prestazioni complessive di una facciata, inclusi i percorsi laterali, mentre il secondo è normalmente utilizzato quando la sorgente di rumore reale non può essere usata.

L'isolamento acustico tra l'ambiente esterno e quello interno dipende dal potere fonoisolante dei singoli componenti (opachi e trasparenti) che costituiscono la chiusura e dal tempo di riverberazione complessivo dell'ambiente in cui si effettua la misura.

Il potere fonoisolante (R) misura, al variare della frequenza (f) considerata, l'efficacia con la quale un componente impedisce la trasmissione del suono tra i due ambienti che separa ed è definito, come anche indicato nella UNI 12354-3

$$R(f) = 10 \cdot \log \frac{W_{i,e}}{W_{t,i}} \text{ [dB]}$$

dove:

- $W_{i,e}$ è la potenza sonora incidente [W]
- $W_{t,i}$ è la potenza sonora trasmessa [W]

Posto che le prestazioni acustiche variano al variare della frequenza considerata, è altresì possibile quantificare la prestazione complessiva attraverso l'indice R_w , che fornisce un unico valore indicativo.

La valutazione dell'indice R_w avviene sovrapponendo alla curva sperimentale quella di riferimento, data dalla norma UNI EN ISO 717-1, e facendo poi scorrere quest'ultima per passi di 1 dB in modo tale che la somma degli scarti sfavorevoli (ovvero il valore in decibel degli scostamenti negativi sulle frequenze per le quali la curva sperimentale R cade al di sotto della curva di riferimento) sia la più grande possibile, ma comunque non superiore a 32 dB se la misura è in 16 bande di un terzo di ottava, o a 10 dB se la misura è in 5 bande d'ottava. Trovato in tal modo il giusto punto di sovrapposizione tra le curve suddette, il valore alla frequenza di 500 Hz della curva di riferimento corrisponde all'indice R_w del potere fonoisolante dell'elemento.

Per definire l'isolamento acustico di una campitura di facciata composta da più elementi, opachi e/o trasparenti, dal diverso potere fonoisolante, è necessario determinare il suo potere fonoisolante apparente composto (R'_w), calcolato in funzione delle grandezze pertinenti dei singoli elementi che compongono la parte di facciata corrispondente all'ambiente interno, prendendo in considerazione anche i "piccoli elementi" quali prese d'aria, ventilatori, condotti elettrici, ecc. L'indice R'_w è calcolato tramite la formula logaritmica seguente, riportata nella UNI 11175-1:

$$R'_w = -10 \cdot \log \left(\sum_{j=1}^n \frac{S_j}{S} \cdot 10^{\frac{-R_{wj}}{10}} + \frac{l_0}{S} \sum_{k=1}^m l_{s,k} \cdot 10^{\frac{-R_{s,wk}}{10}} + \sum_{i=1}^p \frac{A_0}{S} \cdot 10^{\frac{-D_{n,e,w,i}}{10}} \right) - K \text{ [dB]}$$

dove:

- S_j è l'area dell'elemento j-esimo [m^2];
- S è l'area totale della facciata, vista dall'interno (cioè la somma delle aree di tutti gli elementi) [m^2];
- R_{wj} è l'indice di valutazione del potere fonoisolante dell'elemento j-esimo [dB] ricavato sperimentalmente, da dati disponibili in letteratura, o calcolato secondo le modalità descritte per l'isolamento ai rumori aerei;
- l_0 è la lunghezza di riferimento di 1 [m];
- $l_{s,k}$ è la lunghezza dell'elemento k-esimo [m];
- $R_{s,wk}$ è l'indice di valutazione del potere fonoisolante della fessura o del giunto k-esimo, [dB], non facenti parte di determinati sistemi costruttivi oggetto di prova secondo le relative norme di prodotto (ad esempio, i serramenti, il cui potere fonoisolante misurato tiene tipicamente conto degli effetti della sigillatura perimetrale);
- A_0 è l'area di assorbimento acustico equivalente di riferimento, per le abitazioni pari a 10 [m^2];
- $D_{n,e,w,i}$ è l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente del "piccolo elemento" i-esimo [dB];
- K è la correzione relativa al contributo della trasmissione laterale, pari a 0 per elementi di facciata non connessi e pari a 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi.

Seguendo tale approccio, l'isolamento acustico di facciata si ottiene utilizzando la seguente relazione:

$$D_{nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \cdot \log \left(\frac{C_{sab} \cdot V}{T_0 \cdot S} \right) \text{ [dB]}$$

dove:

- R'_w è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di facciata [dB]
- ΔL_{fs} è il fattore correttivo dovuto alla forma della facciata
- C_{sab} è la costante di Sabine, assunta pari a 0,16 [s/m]
- V è il volume dell'ambiente ricevente [m^3]
- T_0 è il tempo di riverberazione standardizzato e pari a 0,5 [sec]
- S è l'area totale della facciata vista dall'interno [m^2]

Il termine ΔL_{fs} dipende dalla forma della facciata, dall'assorbimento acustico delle superfici aggettanti (balconi) e dalla direzione del campo sonoro.

La normativa UNI EN ISO 12354-3 fornisce gli schemi per il calcolo di ΔL_{fs} in funzione della forma della facciata, dell'assorbimento di parapetti e balconi e dell'altezza tra il piano del pavimento e la congiungente della linea di vista della sorgente sonora sul piano di facciata.

La trasmissione dei rumori aerei attraverso un elemento di chiusura non è facilmente stimabile con strumenti analitici semplici, in quanto le leggi fisiche da utilizzare nella modellazione della trasmissione delle vibrazioni nell'aria non sono sempre riconducibili a formule elementari ed i modelli sono fortemente influenzati da: dettagli della chiusura, continuità degli strati assorbenti e di quelli di tenuta all'aria, discontinuità degli strati di separazione (ponti acustici in grado di compromettere la prestazione prevista) e dalla tipologia di parete.

I pacchetti di chiusura possono essere classificati acusticamente in tre categorie:

- elementi singoli o monostrato, con unico elemento massivo relativamente omogeneo, il cui potere fonoisolante è ragionevolmente prevedibile attraverso l'utilizzo della "legge di massa" (proporzionalità tra prestazione e logaritmo della massa superficiale), quali ad esempio: pareti in laterizi pieni, semipieni, forati, alveolari, pannelli prefabbricati in calcestruzzo armato, ecc.;
- elementi doppi con interposta camera d'aria, tipo murature o tamponamenti stratificati a secco separati da un'intercapedine d'aria, per i quali esistono formule empiriche semplificate che ne permettono valutazioni previsionali piuttosto approssimative e che, specialmente nel caso di strutture e manufatti con elementi in laterizio, possono presentare differenze sostanziali rispetto alle reali;
- elementi multistrato, realizzati con strati aventi massa media o anche elevata, intervallati da elementi fonoassorbenti, smorzanti e di scollegamento. In questa tipologia di chiusura rientrano le pareti a doppio paramento con intercapedine chiusa, con o senza isolante termico interposto. In tal caso le formule precedentemente accennate divengono ancor più approssimative, ragion per cui per una più precisa valutazione dell'effettiva prestazione acustica della parete può essere opportuno ricorrere a prove di laboratorio, con dimensioni al vero del sistema tamponamento + rivestimento.

Le soluzioni di rivestimento a cappotto possono contribuire in maniera significativa all'abbattimento del rumore garantendo adeguati livelli di comfort all'interno degli edifici. Dal punto di vista acustico, infatti, il sistema di isolamento a cappotto definisce una stratigrafia costituita da un paramento di base e da una massa esterna. Le due masse costituite dalla parete di base e dallo strato di rivestimento (rasatura armata e finitura) con interposto uno strato resiliente in lana di roccia generano il noto effetto "massa-molla-massa". La molla è in questo caso rappresentata dai pannelli isolanti (ad esempio i pannelli in lana di roccia ROCKWOOL i quali, grazie alla struttura fibrosa a celle aperte caratterizzata da bassi valori di rigidità dinamica, permettono di ottenere elevati valori di isolamento acustico). Tale effetto porta ad un incremento del valore del potere fonoisolante della parete di base, dipendente oltre che dalla tipologia di isolante utilizzato, anche dallo spessore e dalla massa superficiale dello strato di finitura.

Per frequenze inferiori a quella di risonanza, entrambe le masse (parete ed intonaco) oscillano in fase e non si percepiscono differenze acustiche rispetto a soluzioni senza cappotto. Nell'intervallo della frequenza di risonanza le masse oscillano a fasi contrapposte, mentre superata tale frequenza tra le masse si crea un disaccoppiamento attraverso lo strato isolante interposto, incrementando l'isolamento acustico della parete di base.

Si riporta a titolo d'esempio l'andamento in frequenza del potere fonoisolante di una parete in laterizio di spessore 250 mm con intonaco da 15 mm su entrambi i lati con e senza rivestimento a cappotto in lana di roccia ROCKWOOL. Il test in laboratorio evidenzia che la frequenza di risonanza del sistema a cappotto cade nella parte sinistra del grafico, ovvero alle basse frequenze. Si nota come la curva relativa alla parete di base (colore blu) si trovi sempre al di sotto della curva della parete con sistema a cappotto (colore rosso), da cui ne consegue un generale incremento della prestazione acustica della chiusura verticale. In termini di indice del potere fonoisolante R_w si ha un incremento di 14 dB, passando da 47 dB per la parete di base a 61 dB per il sistema a cappotto.

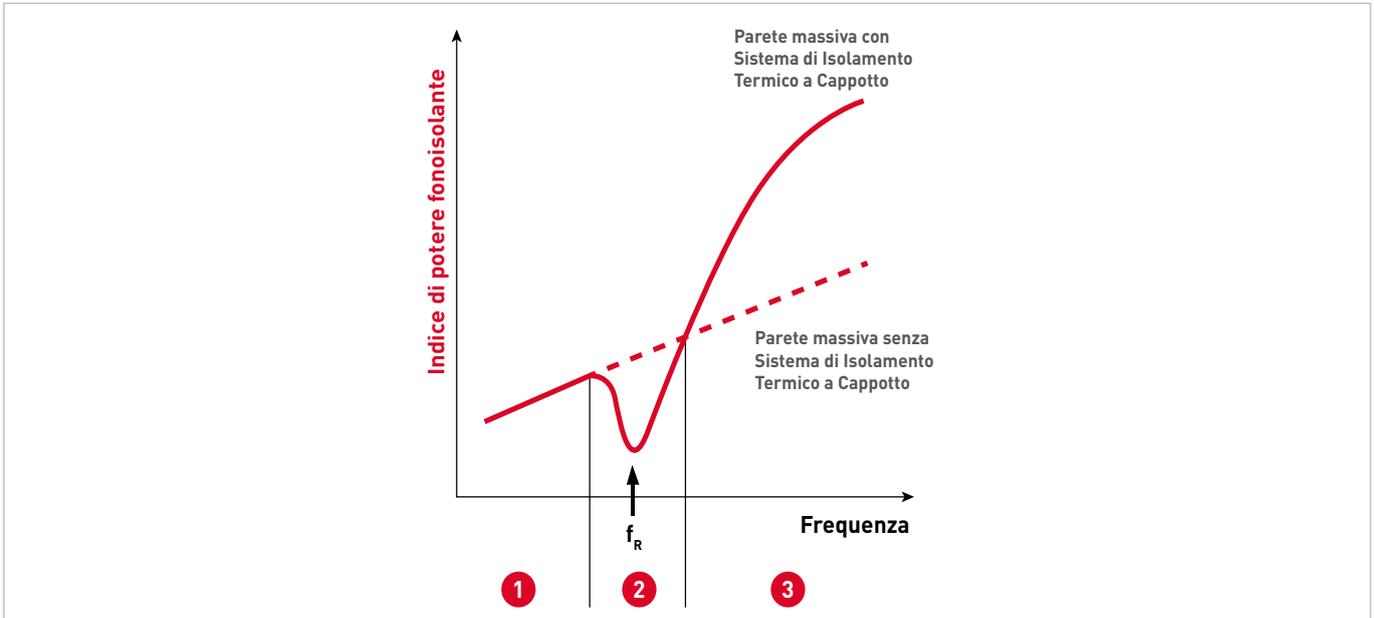


Figura 9 - Prestazione acustica di un involucro di tipo massivo dotato di sistema di rivestimento a cappotto, sfruttamento dell'effetto massa-molla-massa

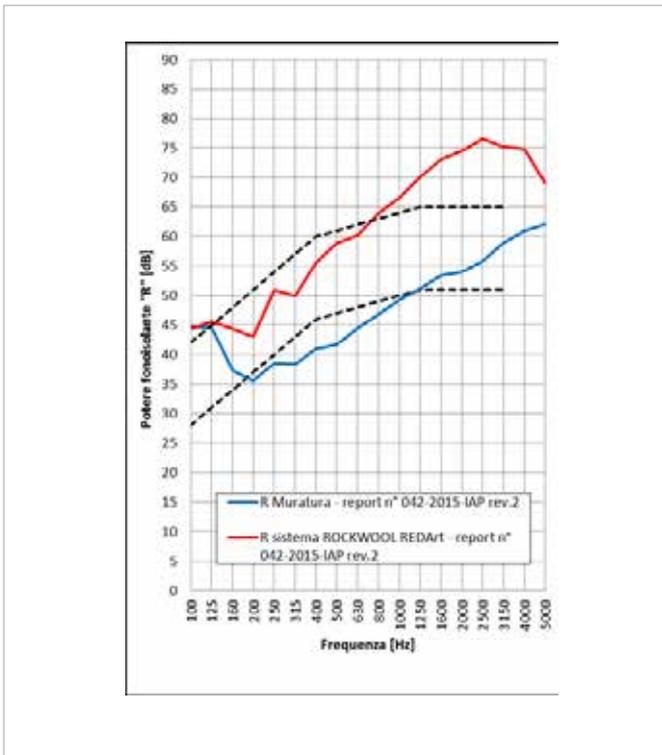


Figura 10 - Confronto della risposta acustica, eseguita in laboratorio, tra una muratura semplice e la medesima dotata di sistema di rivestimento a cappotto.

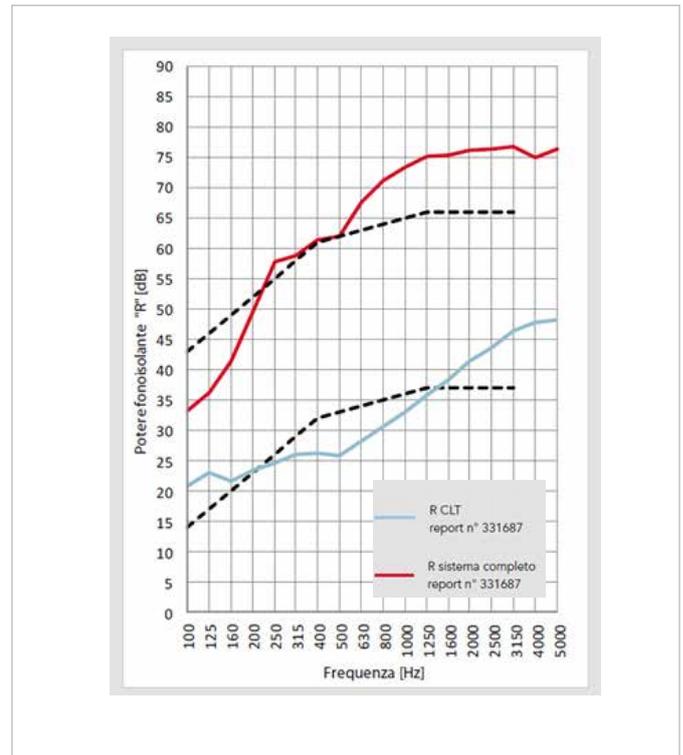


Figura 11 - Confronto della risposta acustica, eseguita in laboratorio, tra una parete in CLT e la medesima dotata di sistema di rivestimento a cappotto e controparete interna.

Il miglioramento del potere fonoisolante ΔR_w può essere rappresentato come somma di diversi fattori di influenza:

$$\Delta R_w = \Delta R_{w,S} + K_{tassello} + K_{incollaggio} + K_{parete\ portante}$$

dove:

- $\Delta R_{w,S}$ è il valore iniziale del miglioramento del potere fonoisolante, determinato in funzione della frequenza di risonanza
- $K_{tassello}$ è la correzione da considerare per gli effetti dovuti alla presenza dei tasselli (in numero di 4 per metro quadro)
- $K_{incollaggio}$ è la correzione da considerare per gli effetti dell'incollaggio
- $K_{parete\ portante}$ è la correzione da considerare per gli effetti dovuti a diverse pareti portanti

Nella progettazione dei sistemi a cappotto è opportuno abbassare il valore della frequenza di risonanza. I fattori che la influenzano sono la rigidità dinamica (s') del materiale isolante adottato nel sistema (minore è il valore della rigidità dinamica migliore è il comportamento acustico del materiale) e la massa superficiale della rasatura esterna.

Altri fattori che possono influenzare il comportamento acustico sono l'incollaggio e la tassellatura dei pannelli isolanti.

L'applicazione di tasselli può influire nel comportamento acustico generale, costituendo essi un punto di fissaggio e un potenziale ponte acustico tra le due masse del sistema.

Anche la superficie incollata può influenzare il comportamento del sistema. Ciò è dovuto al fatto che l'aumento della superficie dell'isolante rigidamente fissata al supporto ha come effetto un aumento della frequenza di risonanza del sistema.

Per quanto concerne infine le differenze costruttive degli edifici in legno rispetto a quelli in muratura, i primi impongono una particolare attenzione sia in fase di progettazione che in fase di posa in opera. In particolare, l'elevato grado di prefabbricazione rende necessaria una progettazione integrata dell'edificio sia dalla sua concezione. La scelta di realizzare anche una controparete interna con pannelli isolanti (ad esempio di tipo ROCKWOOL Acoustic 225 Plus) posati tra i montanti della controparete stessa concorre al raggiungimento di elevati valori di fonoisolamento. I test di laboratorio evidenziano come la curva relativa alla parete di base (colore blu) si trovi sempre al di sotto della curva della parete con sistema a cappotto e controparete interna (colore rosso), da cui ne consegue un generale incremento della prestazione acustica della chiusura verticale. In termini di indice del potere fonoisolante R_w si ha un incremento di 36 dB, passando da 26 dB per la parete di base a 62 dB per il sistema di rivestimento a cappotto e controparete interna.

F. Comportamento igrometrico

Un aspetto essenziale del comportamento delle soluzioni tecniche d'involucro è quello del controllo delle formazioni di condensazione superficiale ed interstiziale che, oltre ad influire sulle condizioni di igiene e salubrità degli ambienti, può avere influenza sulla prestazione energetica, nonché sulla durabilità e sull'aspetto estetico delle soluzioni stesse. Al riguardo va tenuto presente che la formazione di condensa avviene quando il flusso di vapore acqueo che lambisce ed eventualmente anche permea un componente edilizio, a seguito della progressiva diminuzione della temperatura, giunge a saturazione e subisce una transizione di fase da vapore a liquido. Qualora la formazione di condensa avvenga su una delle due facce della parete si parla di condensazione superficiale (ciò si manifesta quando la temperatura superficiale interna o esterna della parete è inferiore a quella di rugiada). Se invece la transizione di fase avviene all'interfaccia tra due strati, oppure all'interno dei pori di uno dei materiali costituenti la parete di facciata, la condensazione si dice interstiziale.

Sulla superficie interna di una parete si ha la formazione di condensa quando la sua temperatura è inferiore a quella di rugiada per l'aria che la lambisce giacché il valore della temperatura di rugiada non è fisso ma funzione della temperatura e dell'umidità relativa dall'aria presente nell'ambiente.

Ad esempio, in un locale con aria a 20°C e umidità relativa (U.R.) al 50% e che si trovi a livello del mare, la temperatura di rugiada (trug) è di 9,19°C; qualora nello stesso ambiente l'U.R. salga dal 50% al 70% o addirittura all'80%, ad esempio a seguito della stesa di biancheria senza l'attivazione di un adeguato ricambio d'aria, la temperatura di rugiada aumenterà rispettivamente a 14,33°C ed a 16,40°C, avvicinandosi molto alla temperatura superficiale interna della parete di facciata, nel caso la temperatura esterna sia molto rigida, ed il cui valore dipende, ovviamente, dalla trasmittanza termica di questo elemento d'involucro.

Anche nel caso di parete molto ben isolata, nel pieno dell'inverno e se l'aria interna è mantenuta a 20°C, la sua temperatura superficiale, non sarà comunque superiore ai 19°C e sarà ancora più bassa in corrispondenza delle linee di ponte termico di tipo geometrico. Ne consegue che se nell'ambiente suddetto il riscaldamento venisse interrotto per varie ore, la temperatura dell'aria e di riflesso anche quella della faccia interna degli elementi d'involucro, si abbasserebbero, facendo salire ulteriormente l'umidità relativa e, in caso di apporto continuo di vapore, anche il valore della temperatura di rugiada, generando in tal modo la possibilità di formazione di condensa sulle superfici interne¹, specialmente sulla faccia interna di elementi trasparenti e in corrispondenza di ponti termici di tipo geometrico, dove la temperatura superficiale è di norma più bassa della temperatura superficiale interna della parete di facciata. Ciò significa che, se gli ambienti interni non vengono adeguatamente ventilati e riscaldati in rapporto ai fabbisogni reali, si può avere formazione di condensa anche quando l'involucro sia ben isolato termicamente. All'interno degli ambienti abitati la condensazione del vapor d'acqua può essere tollerata occasionalmente solo quando essa si formi su superfici impermeabili (quali piastrelle di bagni o cucine o sui serramenti). Nel caso ciò avvenga invece costantemente (nella stagione fredda) su superfici porose essa causa formazione di muffe ed un conseguente scadimento delle condizioni igieniche degli ambienti interessati che non possono essere abitualmente tollerate.

La normativa 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" - impone perciò che la temperatura superficiale non scenda mai al di sotto dei valori critici, fermo restando che, come sopra spiegato, tali valori vanno riferiti ad un tasso di umidità relativa non anomalo da conseguirsi, ovviamente, per il tramite di adeguati ricambi d'aria.

La formazione di condensa interstiziale si verifica invece nel momento in cui in una porzione di parete la portata massica diffusiva di vapore entrante supera quella di vapore uscente², come conseguenza del fatto che in questa stessa porzione la pressione di vapore supera quella di saturazione. Ciò può portare ad un accumulo di condensato nello spessore di parete con possibile precoce degrado dei materiali in cui lo stesso si va ad accumulare, oltre che a una riduzione delle prestazioni di isolamento termico complessivo della chiusura sin tanto che la stessa non ha smaltito tale contenuto di umidità.

¹ Al riguardo si consideri che diminuendo da 20°C a 19°C la temperatura di un'aria con U.R. 80% il suo tasso di umidità sale all'84.9%, mentre il valore della temperatura di rugiada rimane sempre di 16,40°C. Qualora invece si considerasse anche una prolungata immissione di vapore acqueo in ambiente (ad esempio a seguito della stesa di bucato), si verificherebbe un contemporaneo incremento sia dei valori di U.R. sia dei valori della temperatura di rugiada.

² Un flusso di vapore ha luogo quando si crea una differenza di pressione tra due ambienti tra loro confinanti, solitamente l'interno e l'esterno; il verso di migrazione del flusso va dagli ambienti più caldi a quelli più freddi, ovvero da quelli a concentrazione maggiore a quelli a concentrazione minore.

In particolare, nel paragrafo 2.3 dell'Allegato 1 del D.M. 26 giugno 2015 "Requisiti Minimi" (a cui si rimanda per ulteriori dettagli e approfondimenti), è previsto che, in conformità alla normativa tecnica vigente (UNI EN ISO 13788:2013), si procede alla verifica dell'assenza di:

- rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- condensazioni interstiziali.

Le condizioni interne di utilizzazione sono quelle previste nell'appendice della norma UNI EN ISO 13788:2013 stessa, secondo il metodo delle classi di concentrazione. Le medesime verifiche possono essere effettuate con riferimento a condizioni diverse, qualora esista un sistema di controllo dell'umidità interna e se ne tenga conto nella determinazione dei fabbisogni di energia primaria per riscaldamento e raffrescamento.

Questa prescrizione sulla totale assenza di condensa interstiziale appare fortemente restrittiva, tenendo conto del fatto che la norma citata nel decreto (UNI EN ISO 13788:2013) riporta un metodo di calcolo semplificato in regime stazionario che tende a sovrastimare il rischio di formazione di condensa interstiziale dovuta alla sola diffusione mentre non considera altri fenomeni fisici che interessano le strutture tra i quali il movimento di umidità per capillarità, la capacità igroscopica dei materiali, ecc. Nella norma UNI EN ISO 13788:2013 è tuttavia precisato nell'introduzione che, se si possono trascurare pioggia e convenzione, *"I metodi di calcolo utilizzati forniscono in genere risultati cautelativi e quindi, se una struttura non risulta idonea secondo questi in base ad un criterio di progettazione specificato, possono essere utilizzati metodi più accurati che ne dimostrino l'idoneità"*. Tali metodi sono reperibili nella norma UNI EN 15026:2008, che descrive in modo compiuto il comportamento di una struttura considerando la migrazione dell'umidità in regime variabile secondo due meccanismi di trasporto: la migrazione per diffusione causata dalla differenza di pressione parziale e la migrazione per capillarità causata dalla differente umidità relativa interna e di assorbimento d'acqua dei vari materiali.

Tali metodi di tipo dinamico, certamente più complessi ma anche più precisi, consentono di modellare in modo più realistico il comportamento di una struttura considerando i fenomeni fisici non considerati dalla UNI EN ISO 13788:2013 e possono essere utilizzati per le verifiche di legge previste.

G. Comportamento agli agenti climatici ed atmosferici, durabilità, manutenibilità e sostenibilità

In un sistema a cappotto correttamente progettato ed eseguito, ogni singolo materiale ha la funzione di proteggere e garantire un'elevata durabilità anche in condizioni climatiche estreme. Considerando ad esempio l'irraggiamento solare, ciò è possibile se vengono rispettati alcuni requisiti tecnici, con particolare riferimento alla scelta del colore. Ad esempio, i colori chiari permettono di evitare un eccessivo surriscaldamento delle superfici del sistema, mentre la scelta di colori scuri può accentuare gli stress termici dovuti all'alternanza di giorno e notte, un improvviso acquazzone nella stagione estiva, un'ombra su facciata assoluta in clima invernale. Per limitare gli effetti dovuti dal surriscaldamento eccessivo della superficie del sistema è consigliabile l'utilizzo di colori con un indice di riflessione IR superiore al 30%. Attraverso l'uso di pannelli isolanti in lana di roccia ROCKWOOL (dimensionalmente stabili in quanto non subiscono variazioni dimensionali o prestazionali al variare delle condizioni termiche e igrometriche dell'ambiente), e specifici prodotti (rasanti, fissativi e finiture) è invece possibile raggiungere indici di riflessioni anche sotto della soglia minima ammessa equivalente al 20%. La realizzazione a regola d'arte del sistema garantisce inoltre delle ottime prestazioni anche sotto gli aspetti della tenuta all'acqua, all'aria e all'azione del vento. Le attuali conoscenze, empiriche e scientifiche, abbinate a modelli di calcolo ed a strumenti di modellazione analitica del comportamento in servizio di elementi e apparecchi costituenti il sistema di rivestimento a cappotto, nonché gli innumerevoli dati e informazioni ormai oggi disponibili, derivanti dalle numerose applicazioni, consentono di programmare e valutare, con un certo grado di precisione, la vita utile di queste soluzioni di facciata.

L'evoluzione tecnico-prestazionale di materiali e prodotti, l'impiego di software per la modellazione in grado di simulare nel tempo il degrado prestazionale, fisico e materico dei materiali da costruzione, nonché le prove di laboratorio sui materiali (utili per riconoscerne i comportamenti e le resistenze alle azioni di degrado) permettono di valutare ogni singolo caso applicativo e definire la o le soluzioni che meglio rispondono alle specifiche esigenze, optando quindi per la scelta di quella, in termini di prestazioni, estetica e durata maggiormente vantaggiosa. Oggi si possono realizzare rivestimenti a cappotto la cui vita utile di servizio (considerando eventuali interventi di manutenzione periodica per quanto concerne la tinteggiatura di finitura superficiale) è pressoché pari a quella richiesta all'edificio (50 anni circa) oppure con vita più breve, ad esempio per motivi commerciali di restyling della connotazione architettonica e prestazionale dell'immobile. Idonee valutazioni al riguardo devono essere pertanto svolte fin dalle prime fasi progettuali, così da ottimizzare le prestazioni e la configurazione tecnica nel modo più appropriato e conveniente. La durata e i cicli di rinnovo di un sistema a cappotto dipendono da diversi fattori. Tuttavia, fondamentale per una lunga durata di un sistema a cappotto, così come per qualsiasi altro elemento costruttivo, è la qualità dei componenti scelti, la posa accurata e la cura e la manutenzione dello stesso negli anni. A tal riguardo, per i sistemi a cappotto dotati di ETA (*European Technical Assessment*, definita dal CPR 305/2011 come "la valutazione documentata della prestazione di un prodotto da costruzione, in relazione alle sue caratteristiche essenziali, conformemente al rispettivo documento per la valutazione europea") è possibile verificare l'esito delle prove effettuate all'interno di una camera climatica che sottopone il sistema a cappotto stesso a cicli di calore/pioggia, calore/freddo o gelo/disgelo, simulando un invecchiamento pari a 25 anni. L'ETA permette poi di marcare CE il sistema, con controllo da parte di un Organismo per la Valutazione Tecnica (TAB - *Technical Assessment Body*).

L'attenzione alla sostenibilità (riuso e/o riciclo dei materiali) e all'eco-compatibilità è anch'esso un aspetto di grande rilievo e sempre più importante per evitare un consumo eccessivo delle risorse (materie prime) che, come noto, non sono illimitate. I prodotti prefabbricati di origine industriale possono avere un basso contenuto di energia grigia (energia spesa per la trasformazione dei materiali e la realizzazione dei prodotti) facilmente quantificabile durante l'intero ciclo di produzione. ROCKWOOL propone al mercato prodotti per applicazione a cappotto creati a partire dalla roccia basaltica, elemento naturale, riciclabile e praticamente inesauribile. Tali prodotti isolanti contengono in media il 23% di materiale non vergine, e utilizzano rifiuti di altri settori, come le scorie dell'industria siderurgica. I residui dei processi di produzione vengono trasformati e riutilizzati come materie prime, mentre i prodotti possono essere facilmente rimossi e riciclati in nuovi prodotti, senza perdita di prestazioni.



A construction worker wearing a white hard hat and a blue vest over a light blue shirt is shown in profile, looking towards the left. He is holding a large sheet of white paper, likely blueprints. The background is a blurred construction site with a red metal structure and a building under construction under a clear blue sky. A red rectangular graphic element is positioned above the text.

**Configurazione
delle soluzioni**

3. Configurazione delle soluzioni

A. Tipologie di supporto

La funzione principale di un sistema di rivestimento a cappotto è quella di aumentare l'isolamento termico di una facciata al fine di ridurre sensibilmente il consumo di energia per il mantenimento del comfort negli ambienti interni, oltre a fornire un'adeguata protezione dagli agenti atmosferici alle pareti di chiusura perimetrale. Tale sistema di rivestimento può essere impiegato sulla maggior parte degli edifici esistenti e su una buona parte di quelli di nuova realizzazione. Ciò grazie alla possibilità di adattarsi a differenti tipologie di chiusura, quali ad esempio: murature tradizionali in laterizio, murature in blocchi o elementi in pietra, facciate realizzate con pannelli di legno a fibre incrociate (CLT - *Cross Laminated Timber*), oppure strutture di legno intelaiate (Timber Frame).

La nascita del sistema di rivestimento a cappotto avviene a seguito delle due grandi crisi energetiche degli anni '70 e '80, le quali hanno progressivamente spinto e indirizzato progettisti, costruttori e proprietari di edifici a ridurre il fabbisogno energetico per il riscaldamento invernale e, solo più di recente, anche per il raffrescamento estivo, per il mantenimento di adeguate condizioni di comfort interno. La spinta verso il risparmio energetico ha pertanto creato le condizioni adatte per la nascita, lo sviluppo e la diffusione su larga scala dei sistemi di isolamento termico, tra cui quello a cappotto. Inizialmente impiegato soprattutto per i notevoli benefici d'isolamento termico, i materiali costituenti il sistema di rivestimento a cappotto, così come la sua stratigrafia, sono stati continuamente sviluppati al fine di ottimizzare al massimo le loro differenti caratteristiche e prestazioni, fino a renderlo oggi il sistema di isolamento termico per l'involucro di facciata più diffuso e impiegato. Elevate prestazioni d'isolamento termico, possibile miglioramento dell'isolamento acustico di facciata, sicurezza in caso d'incendio (quando si utilizzano isolanti che per loro natura non contribuiscono alla propagazione del fuoco, come ad esempio i pannelli in lana di roccia), leggerezza dell'intero pacchetto di rivestimento (isolante + rasatura e finitura, se confrontato con il retrostante elemento di tamponamento qualunque esso sia), controllo della permeabilità/diffusione al vapore, buona resistenza meccanica, protezione del supporto dall'azione combinata di pioggia e vento, elevata durabilità, adattabilità alla maggior parte delle facciate degli edifici e possibilità di forte connotazione architettonica dell'edificio, sono solo alcune delle caratteristiche primarie di un sistema di rivestimento a cappotto che lo rendono largamente impiegato nella realizzazione di edifici a basso consumo energetico e ridotte emissioni di CO₂.

A seconda della tipologia di supporto, ovvero dei materiali e della tecnologia impiegata per la loro realizzazione, molteplici e diverse sono le variabili, le configurazioni ed i problemi da affrontare e risolvere per disporre di una valida soluzione di rivestimento in grado di garantire prestazioni elevate e costanti nel tempo.

Supporto tradizionale in laterizio: classico e di moderna concezione

Con "supporto murario di tipo tradizionale" è prassi comune identificare un elemento di divisione, o paramento murario, con funzione portante o non portante, realizzato con materiali più o meno tipici e rappresentativi della tradizione costruttiva locale, quali ad esempio: laterizi pieni, semipieni, forati, alveolari, ecc., assemblati e tra loro vincolati con leganti a base cemento oppure, solo più recentemente, con specifici collanti. Essi sono e sono stati impiegati per la realizzazione di murature della maggior parte degli edifici oggi presenti sul territorio italiano. Pertanto, si identifica come tecnologia costruttiva tradizionale la realizzazione di un edificio con telaio in calcestruzzo armato e murature in laterizio poste in luce alle strutture portanti e di elevazione. La muratura diviene l'elemento di separazione tra gli ambienti interni e lo spazio esterno e perciò essa deve essere dotata di: adeguata resistenza meccanica, elevata tenuta all'aria e all'acqua, buon isolamento termico e permeabilità al vapore,

buon isolamento acustico, elevata affidabilità, durabilità, sicurezza in caso di incendio e di sisma (da valutare all'interno del comportamento complessivo dell'edificio: struttura e murature).

La realizzazione di un cappotto su un paramento murario di tipo tradizionale non può e non deve discostarsi dalle basilari regole per la sua corretta realizzazione. Occorre quindi considerare la tipologia di intervento (nuova realizzazione oppure riqualificazione energetica di immobili esistenti), la tipologia di supporto murario sul quale vincolare il rivestimento, la scelta dei materiali più adatti allo scopo (anche in relazione al rapporto costi/prestazioni), l'impiego di maestranze debitamente formate, l'esecuzione di accurati controlli in fase di realizzazione, ecc.

Per edifici realizzati con telaio in calcestruzzo armato e murature di tamponamento in laterizio, data la differente complessità realizzativa delle diverse tipologie di muratura e le numerose interfacce con altri sistemi ed elementi costituenti l'organismo edilizio (quali ad esempio sistemi di impermeabilizzazione, attraversamenti impiantistici, serramenti, strutture verticali e orizzontali, sistemi di oscuramento ed ombreggiamento, ecc.), risulta di fondamentale importanza avere una completa conoscenza del progetto e/o dell'edificio per definire al meglio il sistema di rivestimento a cappotto. Ciò anche in funzione della particolare modalità costruttiva con la quale l'edificio è stato o verrà realizzato: soluzioni tradizionali classiche oppure soluzioni tradizionali di nuova concezione (ovvero una rivisitazione ed ottimizzazione delle tradizionali introducendo piccole modifiche, di seguito analizzate, che comportano miglioramenti nella realizzazione di un sistema a cappotto).

Punti singoli e di interfaccia con altri elementi costituenti l'edificio devono necessariamente trovare un'ottimale soluzione per permettere il corretto funzionamento del sistema. Muratura e rivestimento sono pertanto strettamente interconnessi, sia dal punto di vista funzionale che da quello prestazionale: la muratura deve sostenere e assicurare un adeguato supporto per il rivestimento il quale, a sua volta, deve garantire adeguata protezione alla muratura retrostante.

Analizzando più in dettaglio le due modalità costruttive di tipo tradizionale, classica e di nuova concezione (o rivisitata/ottimizzata) si possono notare differenze significative nella realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto.

La modalità costruttiva tradizionale classica, tipica degli anni passati ma ancora oggi impiegata, prevede che l'edificio venga costruito con la seguente sequenza operativa, caratterizzata dalla realizzazione di: struttura a telaio in calcestruzzo armato, solai di piano e di copertura in latero-cemento, solette di balcone di notevole spessore (quali piastre in calcestruzzo armato considerate come un proseguimento delle travi perimetrali), murature in elementi in laterizio (generalmente di tipo forato/alveolare) posati a malta e messe in luce al telaio strutturale. I serramenti sono posizionati quasi sempre sulla mezzera dello spessore murario, la soletta di copertura è in aggetto dal filo di facciata e vi può essere o meno uno strato di intonaco di regolarizzazione della faccia esterna dei tamponamenti perimetrali. Tale modalità costruttiva comporta lo studio di una serie di punti singoli per definire come il sistema di rivestimento a cappotto debba essere realizzato e raccordato a tutti gli altri elementi presenti in facciata.

La modalità costruttiva tradizionale di nuova concezione (rivisitata/ottimizzata) presenta piccole differenze che producono tuttavia notevoli benefici e vantaggi rispetto a quella tradizionale classica. Le principali differenze, che non interessano la struttura dell'edificio, la realizzazione/posizionamento delle murature di tamponamento o le solette di piano e di copertura, consistono in: presenza di intonaco di rivestimento e regolarizzazione della faccia esterna delle murature, impiego di elementi a taglio termico interposti tra le travi perimetrali e le solette di balcone, riduzione dello spessore delle solette piene dei balconi in calcestruzzo armato, collocazione dei serramenti sul lato interno della muratura di tamponamento, utilizzo di elevati spessori di isolamento termico anche nelle imbotti dei serramenti (risolto del cappotto o ricorso a imbotti prefabbricate fortemente isolate), impiego di sistemi d'ombreggiamento e/o oscuramento dei serramenti collocati in posizione ottimale per il raccordo con la muratura ed il sistema di rivestimento a cappotto (grazie anche all'arretramento dei serramenti rispetto al filo esterno di facciata).

Il ricorso a tali modifiche permette una notevole semplificazione di alcuni nodi di dettaglio in corrispondenza dei balconi oppure dei serramenti, una maggior velocità delle operazioni di messa in opera del rivestimento, un migliore governo e controllo delle lavorazioni e della loro qualità, un più semplice controllo dei ponti termici, una maggiore affidabilità, durabilità e sicurezza del rivestimento. Tutto questo in aggiunta ad ulteriori vantaggi oggettivamente riscontrabili in cantiere, quali:

- balconi realizzati con solette in calcestruzzo armato di spessori inferiori, con conseguente vantaggio in termini di peso e di risparmio di materiale, nonché benefici a livello estetico/architettonico della facciata dell'edificio;

- solette di balcone non più rivestite con isolante termico all'intradosso, all'estradosso e lungo tutto il bordo perimetrale per attenuare/annullare il ponte termico ad essi correlato. La presenza dell'elemento di taglio termico interposto tra soletta e trave perimetrale dell'edificio consente infatti di controllare il ponte termico in modo più efficace. Questo comporta anche lavorazioni più veloci ed una notevole semplificazione del nodo cappotto-balcone (risolto impermeabilizzazioni, realizzazione pavimentazione, finitura soletta);
- continuità dell'isolamento termico e mantenimento dello stesso livello prestazionale su tutta la superficie di facciata;
- garanzia di prestazioni equivalenti tra facciata e spallette di serramento (in corrispondenza delle imbotti), grazie all'impiego di serramenti preaccoppiati ad imbotti altamente isolate termicamente oppure alla possibilità di risvoltare il cappotto sull'intero perimetro del vano serramento senza riduzione dello spessore dell'isolante termico;
- possibilità di inserire all'interno dell'imbotte un sistema di oscuramento dei serramenti dotato di adeguato isolamento termico, la cui prestazione termica è pari a quella del cappotto. Inoltre, una maggiore profondità d'imbotte può produrre vantaggiosi effetti di ombreggiamento dei serramenti nel periodo estivo con conseguente diminuzione dei carichi termici entranti negli ambienti interni.

Le modifiche di alcuni dettagli o delle modalità di realizzazione di porzioni dell'edificio secondo la tecnologia costruttiva tradizionale di nuova concezione (rivisitata/ottimizzata), hanno introdotto dei miglioramenti, quali: uniformità di prestazione termica dell'intera facciata (anche in corrispondenza di balconi, spallette serramenti, copertura, ecc.), maggior velocità di realizzazione dell'opera (nel suo complesso e nella realizzazione di dettagli esecutivi), riduzione delle lavorazioni ad umido (ad esempio riduzione degli spessori dei massetti di pendenza dei balconi), generale contenimento dei costi di realizzazione dell'opera, ecc.

Supporti realizzati in legno

Il legno, materiale da sempre presente sul territorio italiano, di semplice utilizzo in quanto facilmente lavorabile per realizzare elementi e componenti edilizi, è stato sin dall'antichità utilizzato dall'uomo per la costruzione delle proprie abitazioni. In edilizia, in particolare fino alla fine dell'Ottocento, esso era utilizzato in abbinamento a pietra, graticci di rami intrecciati finiti in superficie con sabbia e argilla, ecc., per la realizzazione di edifici. Successivamente, con un processo avvenuto su larga scala, esso è stato sostituito con l'avvento prima dell'acciaio e poi del calcestruzzo armato, anche se in alcuni contesti geografici, soprattutto montani, esso è rimasto il materiale d'eccellenza nel settore delle costruzioni. Negli ultimi anni il legno è tornato alla ribalta per la riscoperta delle sue caratteristiche distintive: elevata resistenza meccanica abbinata ad un basso peso specifico (il calcestruzzo armato pesa circa cinque volte in più del legno), facilità di lavorazione e trasformazione, elevata adattabilità in forme anche molto complesse, vantaggioso rapporto costo/prestazioni, intrinseca capacità d'isolamento termico, buona resistenza al fuoco¹ della stratigrafia di parete (se i materiali che la costituiscono nonché le connessioni e le modalità di messa in opera, oltre ad essere appropriate, considerano tale aspetto), ottimo comportamento in caso di sisma (grazie alla leggerezza e alla individuazione di zone dissipative nei nodi e nei collegamenti abbinati ad una progettazione accurata dell'intera costruzione), ecc. La riscoperta e il suo utilizzo, al giorno d'oggi, è stato possibile grazie a differenti fattori tra cui:

- necessità di riduzione delle emissioni di CO₂, per le quali il settore delle costruzioni ha una rilevanza significativa. Sotto questo punto di vista il legno è, ad esempio, un materiale con una impronta ecologica minore rispetto all'acciaio e al calcestruzzo armato, se si considera l'intero ciclo di vita;
- necessità di realizzare edifici dalle elevate prestazioni abbinati a consumi energetici ridotti (edifici ad energia quasi zero) dal vantaggioso rapporto costo/prestazioni/tempi di costruzione;
- necessità di realizzare edifici con bassissima vulnerabilità sismica ed elevata sicurezza per gli occupanti;

¹ Gli edifici in legno realizzati impiegando pannelli in CTL oppure in Timber Frame, oggi giungono ad un elevato grado di resistenza in caso d'incendio; ciò è possibile grazie ad un'accurata progettazione abbinata a nuovi materiali oggi disponibili sul mercato. Attualmente in commercio vi sono alcune soluzioni di parete realizzate con pannelli in CLT e Timber Frame che possiedono certificazioni di resistenza al fuoco superiori a 120 minuti.

- sviluppo e messa a punto di nuovi macchinari a controllo numerico con i quali configurare le nuove linee di produzione degli elementi in legno (segati, elementi lamellari, pannelli, pannelli a fibre incrociate, ecc.);
- sviluppo di nuove tecnologie costruttive, avvenuto grazie a innovative modalità di fabbricazione di elementi e componenti in legno (pannelli multistrato, pannelli OSB – Oriented Strand Board, pannelli a fibre incrociate quali CLT, ecc.), che permettono la realizzazione di edifici dalle forme articolate, rilevanti altezze e notevoli dimensioni;
- sviluppo di appositi prodotti per l'unione, la chiusura, la sigillatura dei giunti tra diversi pannelli e/o elementi costituenti la struttura dell'edificio (nastri, guarnizioni, materassini, accessori per attraversamenti impiantistici, in grado di garantire adeguata tenuta all'aria e all'acqua);
- sviluppo di specifici teli dall'elevata compatibilità chimico-fisica con funzione di freno o barriera vapore, tenuta all'aria, barriera al vento, ecc.

In Italia l'utilizzo del legno per la realizzazione di edifici, che sul finire degli anni '90 ha trovato un favorevole campo di applicazione per coperture di grandi dimensioni, ha avuto un forte impulso sul mercato a seguito delle esperienze di ricostruzione dopo il sisma che nel 2009 ha colpito il territorio della città dell'Aquila. Gli edifici in legno realizzati in tale contesto sono stati ampiamente apprezzati per diversi aspetti, tra cui: velocità di realizzazione e installazione, vantaggioso rapporto comfort/risparmio energetico (grazie all'impiego ed integrazione di materiali e sistemi d'isolamento termico ed acustico), leggerezza abbinata ad elevata capacità portante del materiale legno, possibilità di realizzare affidabili e durature connessioni a secco, ecc.

Il mercato delle costruzioni in legno, siano essi realizzati con pannelli a fibre incrociate CLT oppure con struttura intelaiata (Timber Frame), attualmente risulta ancora in fase di crescita e sviluppo. In definitiva, tale modalità costruttiva sta ampliando il suo raggio d'azione geografico e tipologico, trovando ampio spazio sul mercato anche grazie alle caratteristiche, già sopra richiamate, che la contraddistinguono: elevate prestazioni (meccaniche, acustiche, termiche, ecc.), buon comportamento in caso di sisma, elevato grado di prefabbricazione, velocità di installazione, ecc. Tutto ciò è accompagnato da un basso impatto ambientale in quanto il materiale, se correttamente inserito all'interno di un ciclo di rigenerazione forestale, oltre ad essere di tipo rinnovabile, si potrebbe definire quasi inesauribile. Inoltre, la rapida diffusione dei concetti di biofilia, bioedilizia e biocompatibilità, rispetto del territorio inteso come minore consumo di risorse per la realizzazione e la gestione degli edifici, recupero e riciclo di materiali e componenti degli edifici a fine vita, hanno contribuito alla diffusione del legno per la costruzione degli edifici.

Ulteriori punti di forza sono i seguenti:

- elevatissimo livello di industrializzazione e prefabbricazione raggiungibile. Ciò ha comportato un rapido avanzamento del settore della produzione, trasferendo delle lavorazioni tipicamente da cantiere all'interno del ciclo produttivo in stabilimento;
- progressiva crescita della qualità degli elementi prodotti, se paragonati con quelli realizzati/assemblati in cantiere a fronte di una maggiore durata delle lavorazioni per la realizzazione di elementi prefabbricati in fase di produzione;
- incremento della rapidità di realizzazione e di posa in opera in cantiere di un elemento prefabbricato rispetto a quella di una costruzione eseguita con le tradizionali tecniche costruttive;
- possibilità di realizzare componenti, e di conseguenza edifici, dalle elevate prestazioni (meccanica, termica, acustica, sismica, ecc.), caratterizzati da un alto grado di affidabilità e durabilità, abbinata a una buona facilità di manutenzione;
- possibilità di realizzare edifici assemblati interamente a secco con altezze superiori ai dieci piani, dalle forme geometriche e dall'architettura anche notevolmente articolata.

I sistemi intelaiati oggi utilizzati sul territorio italiano sono un'evoluzione dei sistemi Platform Frame, i quali prevedono l'assemblaggio di ogni singolo componente (segati in legno, travi, pilastri, pannelli di rinforzo e collegamento, isolamento termico, finiture, elementi impiantistici, ecc.) direttamente in cantiere. Tale sistema, composto di una struttura in segati di

legno (con interposto un isolante termico), irrigidita e chiusa su ambo i lati con pannelli di tipo OSB (*Oriented Strand Board*), MDF (*Medium Density Fibreboard*) o multistrato, seppur interamente assemblato a secco, è comunque caratterizzato da una discreta velocità di realizzazione in opera. Tuttavia, grazie al trasferimento delle operazioni di assemblaggio dei componenti dal cantiere al sito di produzione è possibile realizzare veri e propri moduli prefabbricati di facciata e solaio, abbattendo i tempi di costruzione in opera di tali elementi (ciò è dovuto alla più efficace fase di montaggio in condizioni climatiche e di lavoro ottimali ed all'utilizzo di macchinari a supporto di tali operazioni, creando in tal modo una specifica linea di produzione). I moduli prefabbricati così realizzati possono essere prodotti al grezzo, ovvero fino alle pannellature di irrigidimento presenti su entrambi i lati, oppure già finiti all'esterno e prefiniti all'interno (inclusendo, in alcuni casi, anche i serramenti). I solai invece possono essere prodotti al grezzo, come struttura portante, oppure anch'essi finiti nella parte inferiore e prefiniti in quella superiore. Sia per i pannelli (di facciata e di partizione interna all'edificio), sia per i solai, le sole operazioni da eseguirsi in cantiere sono il posizionamento, la realizzazione delle connessioni meccaniche ed impiantistiche, il completamento delle finiture. In particolare, con un tale grado di prefabbricazione dei componenti dell'edificio, parte della dotazione impiantistica viene già predisposta ed installata all'interno dei pannelli prefabbricati in fase di produzione, mentre la rimanente viene posizionata nei controsoffitti e a pavimento direttamente in cantiere, dove vengono eseguite solo le operazioni di connessione con le reti impiantistiche principali.

I sistemi realizzati con pannelli a fibre incrociate CLT sono l'evoluzione dei sistemi Blockbau, costruzioni massicce realizzate con tronchi oppure segati di legno tra loro sovrapposti a formare le pareti (perimetrali e interne) di un edificio. La connessione tra i vari elementi avviene negli angoli, dove gli stessi sono sagomati e incastrati e/o vincolati meccanicamente l'uno con l'altro. Mantenendo l'idea di parete massiccia, i pannelli in CLT sono ottenuti tramite l'incollaggio di tre o più strati di tavole di legno a fibre incrociate (perpendicolari) tra strato e strato. In questo modo si realizzano dei pannelli in legno con numero di strati e spessori differenti, dalle elevate caratteristiche di resistenza meccanica e con comportamento omogeneo nelle due direzioni principali. Grazie alle macchine a controllo numerico, possono essere realizzati pannelli dalle più articolate forme geometriche, già dotati di asole, scanalature e accessori necessari sia ad una veloce posa in opera e rapido collegamento tra pannelli stessi, sia per l'integrazione impiantistica a servizio dell'edificio. Anche in questo caso il grado di prefabbricazione in officina può essere di differenti livelli. Possono essere realizzati pannelli grezzi, utilizzati come elementi strutturali dell'edificio e successivamente rivestiti e rifiniti in cantiere, oppure possono essere realizzati pannelli di facciata finiti sul lato esterno e prefiniti su quello interno (i pannelli divisori interni all'edificio possono essere già prefiniti su ambo i lati), limitando al cantiere le sole operazioni di posizionamento in opera e completamento delle finiture interne. Per quanto concerne gli impianti a servizio dell'edificio, anche in questo caso essi possono essere predisposti per buona parte in fase di produzione, riducendo le operazioni in cantiere alle sole connessioni tra i vari tratti impiantistici.

Sia per gli edifici di tipo Timber Frame che per quelli in CLT le operazioni di installazione e finitura in opera, ovvero di messa a servizio dell'edificio, se paragonate alle tradizionali modalità costruttive, risultano essere fino a dieci volte più rapide, in relazione al grado di prefabbricazione dei componenti che si intende utilizzare.

L'impiego per tutte le parti di un edificio di elementi ad elevato grado di prefabbricazione sta comportando un radicale cambiamento nella concezione del processo di costruzione di un immobile. Si sta progressivamente passando da una costruzione in opera ad un processo di assemblaggio, dove spesso la fase di progettazione si rivela più lunga rispetto alle fasi di assemblaggio e costruzione stessa.

B. I componenti del sistema: tipologie, caratteristiche e modalità di posa

Un sistema di rivestimento a cappotto, a prescindere dai materiali impiegati per la sua realizzazione, è composto da differenti elementi: i pannelli di isolamento termico (vincolati al supporto tramite colla e tasselli oppure solamente con collante o con fissaggio meccanico), la rasatura armata (strato d'intonaco sottile armato con rete in fibra di vetro alcalo-resistente, con spessore complessivo pari a circa 5 mm, applicato direttamente sullo strato isolante), lo strato di finitura applicato sulla rasatura armata, previo utilizzo di fissativo o primer quale promotore d'adesione.

Ogni singolo strato, oltre a possedere adeguate caratteristiche di resistenza meccanica e leggerezza, deve essere compatibile con i materiali con i quali si interfaccia. Pertanto, per evitare anomalie di funzionamento dovute alla non compatibilità tra materiali, i produttori generalmente forniscono uno specifico ciclo per la realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto.

ROCKWOOL, produttore leader di pannelli isolanti in lana di roccia, con ampia gamma di prodotti e specializzazione dei medesimi per differenti applicazioni (isolamento termico, acustico, protezione dal fuoco, ecc.), ha messo a punto uno specifico ciclo per la realizzazione di sistemi di rivestimento a cappotto, ideale per applicazioni su edifici di nuova costruzione oppure esistenti, realizzati con tecnologia tradizionale (struttura a telaio in calcestruzzo armato e murature in laterizio) oppure in legno (con assemblaggio a secco di pannelli a fibre incrociate CLT oppure sistemi intelaiati di tipo Timber Frame).

Di seguito vengono analizzate le caratteristiche, le modalità di posa e le funzioni di ogni singolo strato/elemento che compone il sistema a cappotto.

Strato isolante

Lo strato di isolamento termico, applicato sulla faccia esterna del supporto, è l'elemento funzionale al quale è affidata in primis la prestazione dal punto di vista termico della chiusura verticale. Diversi sono i materiali termoisolanti impiegabili al riguardo, in varie dimensioni (generalmente in pannelli con differenti formati) e con diverse caratteristiche fisico-meccaniche. Tra di essi, i prodotti in lana di roccia hanno dimostrato un'ottima propensione nell'impiego in sistemi di rivestimento a cappotto.

Generalmente lo strato isolante va posato in opera mediante incollaggio e fissaggio meccanico di ogni singolo pannello (colla + tasselli).

La posa in opera dei pannelli isolanti viene eseguita secondo una precisa sequenza operativa, pressoché comune a tutte le tipologie di pannelli isolanti. Essa consiste in:

- controllo del supporto prima di iniziare la posa del cappotto, verificando l'idoneità della superficie sulla quale verrà installato. Ad esempio, nel caso di supporto tradizionale, è possibile verificare la compattezza dell'intonaco mediante piccozzatura abbinata ad indagine termografica;
- verifica della planarità del supporto al quale vincolare i pannelli isolanti, mediante fili a piombo ed allineamenti orizzontali (detti anche traguardi), oppure tramite più semplici e rapidi controlli laser. Tale verifica permette di individuare eventuali porzioni o aree in cui il supporto presenta fuori piombo o mancanza di planarità, che possono essere facilmente attenuate con un riporto oppure con una rimozione dello spessore di materiale in mancante o in eccesso. Un tipico esempio sono i supporti murari di tipo tradizionale, i quali possono necessitare di un riporto di intonaco o l'asportazione di parte dello spessore dell'intonaco di regolarizzazione presente in facciata, specialmente nel caso in cui il cappotto venga realizzato su edifici esistenti;
- accurata pulizia del supporto per rimuovere polveri ed eventuali residui di prodotto derivanti da altre lavorazioni che potrebbero inficiare o alterare l'adesione del collante per il fissaggio dei pannelli al supporto;
- tracciamento del piano di posa dell'isolante mediante applicazione di fili a piombo verticali ed allineamenti orizzontali, avendo cura di posizzarli in corrispondenza di spigoli, vani serramento, volumi in aggetto alla facciata, oltre che in ogni ulteriore punto singolare che ne consigli/richieda l'utilizzo. L'impiego di un sistema di riferimento è indispensabile per posare i pannelli isolanti in modo preciso al fine di realizzare uno strato isolante planare e con gli spigoli a piombo;
- posa dei profili di partenza per conformare la linea di partenza del cappotto e garantirne al contempo la robustezza e l'orizzontalità rispetto all'edificio;



Figura 12 - Verifica della compattezza del supporto mediante piccozzatura



Figura 13 - Posa del profilo di partenza



Figura 14 - Dettaglio profilo di partenza di corrispondenza di uno spigolo di facciata

- preparazione e successiva applicazione del collante sul retro dei pannelli isolanti o direttamente sul supporto per alcuni specifici collanti e/o supporti, rispettando le indicazioni riportate nella scheda tecnica di prodotto.

Nel caso di stesura di collante su pannello isolante, esistono due modalità di applicazione. La prima consiste nella tecnica a cordoni perimetrali e plotte centrali, dove il collante è applicato localmente in quantitativo rilevante. La seconda consiste nella stesura in modo uniforme del collante con spatola dentata (spessori variabili a seconda della tipologia del materiale isolante) sul retro del pannello.



a



b



06



07

Figura 15 - a) incollaggio con tecnica a cordoni perimetrali e plotte; b) incollaggio a tutta superficie

La posa del pannello sul supporto deve avvenire avendo cura di far ben aderire i pannelli, sfalsandoli tra corso e corso ed in corrispondenza degli spigoli, facendo combaciare i bordi al fine di realizzare una superficie continua e planare, senza vuoti di materiale, adatta a ricevere la successiva rasatura di protezione. In entrambe le modalità di applicazione del collante sul retro dei pannelli, essi devono essere ben schiacciati contro il supporto e contemporaneamente mossi in orizzontale per distribuire in modo ottimale il collante tra supporto e pannello (in gergo cantieristico il collante deve "bagnare" sia il pannello sia il supporto). Per alcune tipologie di materiali isolanti, quali la lana di roccia in abbinamento ad un supporto di tipo tradizionale, prima dell'applicazione del collante sul retro-pannello è buona norma procedere con l'apprettatura, ovvero la stesura di un sottile strato di malta/collante sul pannello per garantire un adeguato "bagnamento" delle fibre e la successiva adesione ottimale del collante al pannello stesso.

Non devono essere presenti vuoti tra pannello e pannello, gli eccessi di collante/malta devono essere rimossi per evitare problemi a carico della rasatura, così come non devono essere installati pannelli di dimensioni troppo ridotte al fine di evitare problemi con il successivo fissaggio meccanico. Durante la posa dei pannelli è buona norma controllare la planarità della superficie con stagge, bolle e strumentazione laser;



Figura 16 - Incollaggio dei pannelli

- sigillatura dell'interfaccia tra strato isolante e altri elementi edilizi presenti in facciata quali: solette balconi, attraversamenti e/o terminali impiantistici, ecc. Tale lavorazione, che può essere eseguita utilizzando appositi nastri autoadesivi oppure prodotti in pasta (siliconi o similari), è necessaria per garantire adeguata tenuta all'acqua e all'aria nei punti di discontinuità del cappotto, oltre ad evitare l'intrusione di insetti;
- applicazione del fissaggio meccanico. Oltre allo strato di collante è necessario porre in opera specifici tasselli che vincolino i pannelli isolanti al retrostante supporto (murario e ligneo) attraverso opportuni schemi di posa in funzione del tipo di isolamento previsto. Normalmente, gli schemi di posa base utilizzati su supporto tradizionale sono quello a W (generalmente utilizzato per pannelli in lana di roccia) oppure a T. Nel caso specifico di pannelli isolanti in lana di roccia ROCKWOOL all'interno del ciclo REDArt, in combinazione con collante, lo schema di posa base (la cui conformità va valutata in funzione delle azioni sollecitanti) da adottare su supporto tradizionale (laterizio, calcestruzzo, ecc.) o supporto ligneo in pannelli di CLT è del tipo a W (n. 3 tasselli a pannello). Nel caso in cui il supporto sia una struttura in legno intelaiata Timber Frame, la posizione dei tasselli con ciclo REDArt di ROCKWOOL, nello schema base (la cui conformità va valutata in funzione delle azioni sollecitanti), è di n. 4 elementi a pannello isolante, e generalmente ricade in corrispondenza dei segati di legno verticali costituenti il pannello di tamponamento. In alcuni particolari casi, dettagliatamente definiti dal produttore del sistema di rivestimento a cappotto REDArt, è possibile utilizzare solamente i tasselli meccanici per vincolare lo strato isolante al supporto ligneo. In questo specifico caso e considerando lo schema base di tassellatura, per tamponamenti in CLT si utilizzano, n. 5 tasselli per pannello (uno posizionato centralmente e quattro vicino agli spigoli), mentre per strutture in Timber Frame si impiegano n. 4-6 tasselli a pannello isolante posti su due colonne generalmente in corrispondenza dei segati di legno costituenti la struttura del tamponamento.

Il numero di tasselli da utilizzare, dipendente anche dalla tipologia del materiale isolante considerato, risulta essere non inferiore a 5/6 elementi per metro quadrato di facciata. Il numero effettivo di tasselli (riferito al metro quadro di superficie o al singolo pannello) deve comunque sempre essere definito mediante apposito calcolo in relazione alle azioni sollecitanti in funzione delle specifiche progettuali.

La testa del tassello, nel caso di montaggio a filo, deve essere complanare alla superficie del pannello isolante, ciò per evitare

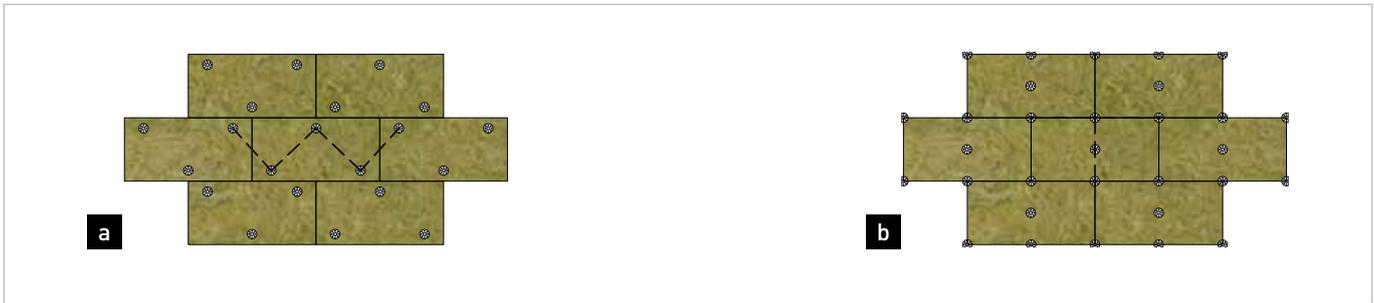


Figura 17 - Rappresentazione grafica dello schema di posa a W e T dei tasselli per il fissaggio dei pannelli isolanti al supporto. a) Schema di posa a W; b) Schema di posa a T

anomalie nel comportamento della rasatura. Un anomalo riempimento con rasante del vuoto creato dal tassello, qualora lo stesso sfondi il pannello isolante, oppure la difficoltà/impossibilità nella realizzazione della rasatura armata se la testa del tassello risulti distaccata dalla superficie del pannello (con inadeguata funzione di trattenimento del pannello isolante ad opera tassello), può comportare difetti di realizzazione, malfunzionamenti e danni a carico dell'intero sistema di rivestimento a cappotto. Va inoltre sottolineato che, qualora l'ingresso della vite lasci dello spazio vuoto dopo l'installazione del tassello, lo stesso non dovrà essere riempito da malta rasante bensì dovrà essere previsto un apposito tamponcino di chiusura.



Figura 18 - A sinistra e al centro, errori nel posizionamento dei tasselli di vincolo meccanico dell'isolante; a destra, corretta modalità di posa nel caso di montaggio a filo

In aggiunta a quanto sopra, esiste la possibilità di incrementare il diametro della testa del tassello mediante specifiche rondelle supplementari. Per rivestimenti ad elevate prestazioni è possibile impiegare tasselli dotati di apposita rondella e relativo tappo copri tassello.

Per applicazioni particolari, dove è previsto il solo impiego di un fissaggio di tipo meccanico del pannello isolante, occorre fare riferimento alle specifiche indicazioni fornite dal produttore del ciclo a cappotto, sia per le modalità di posa, sia per gli accorgimenti da adottare in fase realizzativa.

In generale, lo strato d'isolamento, oltre a svolgere la funzione principale di isolare termicamente l'edificio, può anche contribuire al miglioramento della prestazione acustica di facciata, ovvero dell'isolamento acustico standardizzato di facciata. Tale contributo, come descritto nel Capitolo 2, dipende dalla rigidità dinamica del materiale isolante impiegato: minore sarà il valore di rigidità dinamica, abbinato ad una corretta posa dei pannelli isolanti, e maggiore potrà essere il suo contributo a livello di isolamento acustico.

Strato di rivestimento – la rasatura sottile armata

La rasatura sottile armata, definita anche intonaco sottile armato su pannello isolante, è deputata a rivestire e proteggere l'isolamento termico sul quale è applicata. Tale strato è realizzato mediante l'applicazione di due mani di rasatura, con la tecnica del fresco su fresco, ed interposizione tra una mano e l'altra di una rete di armatura in fibra di vetro alcalo-resistente. La funzione della rete di armatura è quella di assorbire le sollecitazioni di trazione che, a causa delle continue variazioni climatiche esterne (temperatura e umidità relativa dipendenti da irraggiamento solare, agenti atmosferici, ecc.), sollecitano il sottile strato di rivestimento. Tale elemento di rinforzo è necessario per garantire caratteristiche di resistenza meccanica adeguate anche rispetto ad azioni di origine meccanica diretta, quali urti e colpi accidentali che potrebbero danneggiare rasatura e pannello isolante.

Per evitare difetti estetici (quali ad esempio mancanza di planarità, formazione di fessure, rilassamento) e danni a carico della rasatura (quali distacco, delaminazione, rigonfiamenti e rotture), la sequenza operativa da seguire per realizzare una buona rasatura armata è la seguente:

- preparazione del rasante seguendo scrupolosamente le indicazioni riportate nella scheda tecnica di prodotto, con particolare riferimento al quantitativo d'acqua d'impasto necessario, alle modalità e tempi di miscelazione, alle tempistiche e condizioni meteorologiche di impiego. Una corretta preparazione abbinata a giusti tempi di lavorazione e applicazione della malta rasante è la base per ottenere un rivestimento di qualità;
- posa in opera di profili di rinforzo, rinforzi localizzati, profili e pezzi speciali prima dell'esecuzione della rasatura armata. Tali elementi sono necessari per garantire una adeguata stabilità e resistenza meccanica di ogni punto singolare del cappotto potenzialmente soggetto ad azioni di maggiore entità. Tali aree/punti singolari generalmente si identificano con: spigoli verticali e orizzontali, contorno delle imbotti dei serramenti, cambi di inclinazione della facciata, giunti di dilatazione, ecc. Per una posa in opera ottimale dei rinforzi si procede nel seguente modo: taglio a misura del profilo e/o della rete di armatura, applicazione di una mano di rasante, posa/stesa del profilo e/o della rete sulla rasatura, annegamento della rete all'interno della malta rasante, riporto di un secondo strato di materiale rasante (verificando il completo ricoprimento del profilo e della rete), rimozione dell'eventuale materiale in eccesso;



Figura 19 - Esempi di posa di profili e rinforzi dei punti singolari del sistema a cappotto

- realizzazione della rasatura sottile armata sull'intera superficie dell'isolamento termico avendo cura di: stendere, per fasce verticali dal basso verso l'alto e con temperature idonee, un primo strato di rasante (nel caso ciclo REDArt con pannelli in lana di roccia ROCKWOOL, perché la rasatura sia efficace, è necessario effettuare precedentemente una apprettatura applicando uno strato sottile di malta in modo che il rasante penetri tra le fibre superficiali del pannello); apporre al di sopra del medesimo un foglio di rete di armatura in fibra di vetro alcalo-resistente annegandola all'interno (i differenti fogli della rete di armatura devono essere tra loro sovrapposti per almeno 10 cm, la rasatura non deve presentare ondulazioni, affioramenti della rete o grumi); ricoprire la superficie con una seconda applicazione di rasante per ottenere un intonaco sottile armato di spessore complessivo pari a circa 5 mm; procedere infine con la lisciatura superficiale con frattazzo. La rete di armatura deve essere collocata nella posizione più consona al materiale di isolamento adottato, ad esempio, per i pannelli in lana di roccia ROCKWOOL considerando il ciclo REDArt, la rete in fibra di vetro alcalo-resistente va posizionata nel terzo esterno dello spessore della rasatura, ciò per assorbire e distribuire in maniera ottimale gli sforzi di trazione ed evitare contemporaneamente il rischio di fessurazione. Inoltre, la rasatura armata deve essere eseguita con la tecnica del fresco su fresco, sia per garantire un'adeguata adesione tra i due strati di materiale, sia per inglobare al meglio la rete di armatura. Per l'esecuzione di tali lavorazioni si consiglia l'utilizzo di ponteggi dotati di teli di protezione in facciata e copertura della sommità del ponteggio al fine di minimizzare gli eventuali effetti negativi dovuti a condizioni meteorologiche non ottimali;

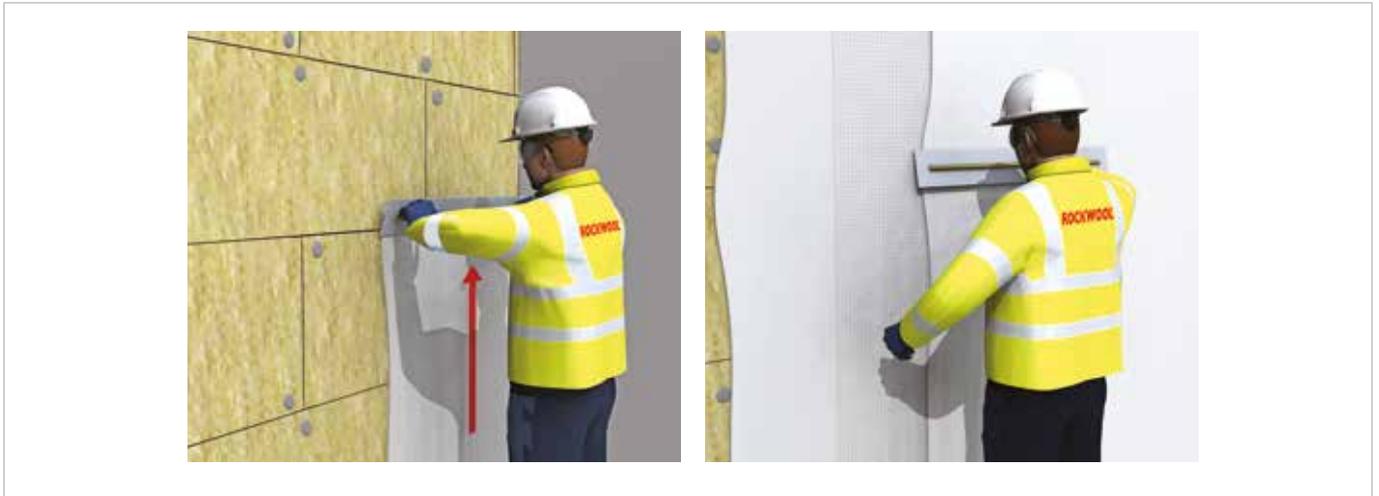


Figura 20 - Realizzazione della rasatura armata

- sigillatura dell'interfaccia tra rasatura armata ed altri elementi costruttivi. Per assicurare una adeguata tenuta all'acqua e all'aria del sistema, è buona norma prevedere la sigillatura con materiale in pasta (siliconi colorati oppure verniciabili) nelle zone d'interfaccia con altri elementi costruttivi quali: attraversamenti impiantistici, aggetti di solette di balcone, serramenti, ecc.

Per alcune applicazioni particolari, dove è richiesta un maggiore resistenza agli urti da parte dell'intonaco sottile armato, ovvero in corrispondenza della parte bassa dell'edificio, nelle zone di passaggio ciclo-pedonale, sulle porzioni di facciata in corrispondenza di balconi e terrazze, ecc., è possibile prevedere una rasatura armata con doppia rete. Ciò comporta l'applicazione di un ulteriore strato di materiale rasante tra due reti di armatura in fibra di vetro alcalo-resistente, in tal modo si ottiene uno strato protettivo dell'isolante più robusto.

Strato di finitura e protezione

Lo strato di finitura del sistema di rivestimento a cappotto è l'elemento deputato alla protezione dall'acqua della rasatura armata e dello strato d'isolamento termico, oltre che l'elemento atto a connotare l'aspetto finale dell'edificio grazie alla varietà di colori e alla trama superficiale che si può ottenere con le differenti tecniche di lavorazione superficiale. Caratteristica dello strato di finitura è l'essere configurato come una pasta granulosa dalle elevate caratteristiche di adesione, idrorepellenza e resistenza agli agenti atmosferici, perciò adatto all'uso in esterno. Per sfruttare al meglio le caratteristiche dello strato di finitura, prima di procedere con la sua applicazione, è indispensabile che la rasatura armata sia stata completata in ogni sua parte, che lo strato di rasatura sia asciutto in maniera omogenea, che siano state eseguite le sigillature tra rasatura ed elementi con essa interfacciati.

Le operazioni necessarie per la realizzazione di un ottimale strato di finitura sono:

- eventuale applicazione di fissativo (primer), a rullo, pennello o spruzzo, sull'intera superficie della rasatura armata quale promotore di adesione, al fine di preparare il supporto per l'applicazione della finitura. Si consiglia di impiegare un primer di colore simile a quello della finitura (oppure trasparente);
- dopo l'asciugatura del fissativo (in genere 24 – 48 ore circa dall'applicazione), procedere con la posa in opera dello strato di finitura. La posa deve avvenire con frattazzo liscio in acciaio eseguendo movimenti circolari, avendo cura di stendere uno strato continuo e di uguale spessore. Procedere infine alla lavorazione superficiale della finitura, ancora umida, con frattazzo in plastica per creare la trama superficiale desiderata. Anche in questo caso le condizioni meteorologiche devono essere adeguate e non devono verificarsi piogge e gelate nelle successive ore dall'applicazione (generalmente occorrono 48 ore), ciò per evitare di compromettere il corretto funzionamento del rivestimento durante la sua vita utile. Buona norma per la realizzazione è l'impiego di ponteggio, pulito da polveri o residui di lavorazioni precedenti (che potrebbero influire sulla corretta posa della finitura), dotato di teli e di copertura in sommità per attenuare gli effetti di condizioni meteorologiche non ottimali che potrebbero interferire con la corretta maturazione della finitura. Per edifici pluripiano si consiglia di realizzare un bindello (ossia una fascia orizzontale di altezza di almeno 2 cm) in corrispondenza di ogni piano. Ciò può aiutare a mascherare ed attenuare gli effetti di lievi differenze di colorazione dovute a tempistiche di applicazione del prodotto successive e a semplificare eventuali interventi di tinteggiatura localizzati della facciata a seguito di sporcamenti differenziali o attività di manutenzione straordinaria;



Figura 21 - Applicazione del fissativo (primer) sulla rasatura armata



Figura 22 - Applicazione della finitura sulla rasatura armata trattata con fissativo (primer)

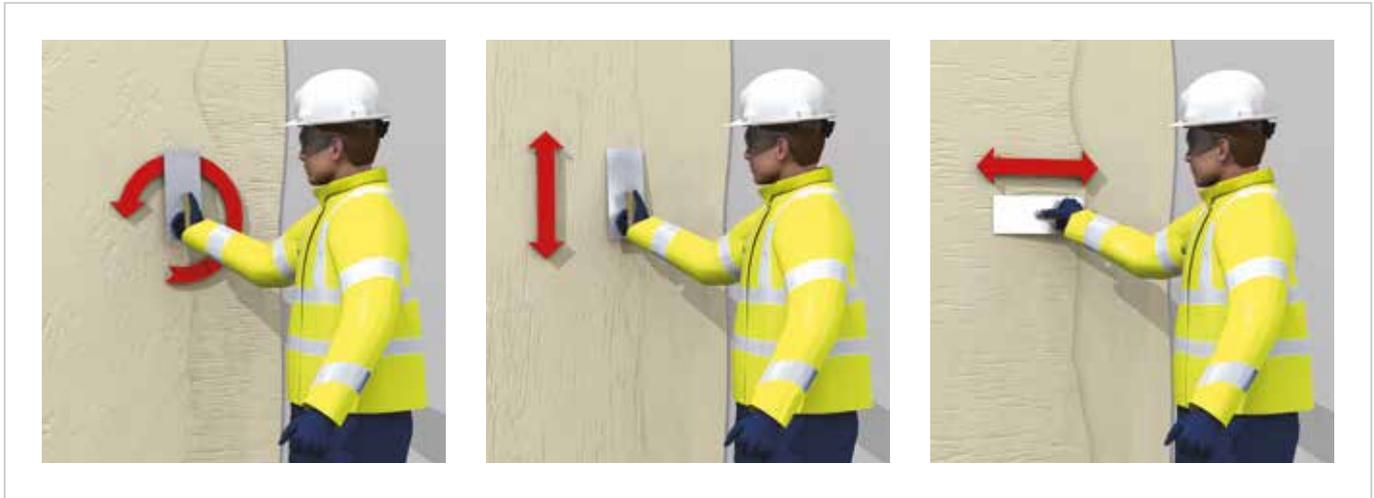


Figura 23 - Lavorazioni superficiali della finitura per ottenere l'effetto voluto

- eventuale tinteggiatura dello strato di finitura. Di norma questo strato non richiede l'applicazione di ulteriori prodotti protettivi in quanto è un prodotto già appositamente formulato per l'impiego in esterno. Comunque, è possibile prevedere una sua tinteggiatura superficiale con apposito prodotto, per aumentarne la resa cromatica, l'omogeneità e la durabilità. Si suggerisce in ogni caso di confrontarsi con il produttore del ciclo a cappotto per valutare l'eventuale applicazione dello strato protettivo. Tale trattamento riduce la porosità superficiale ed il rischio di formazione di sporco sul rivestimento e può implementare le prestazioni di protezione all'acqua del rivestimento medesimo. La tinteggiatura può essere applicata a pennello, rullo o spruzzo, con una o più mani a seconda delle differenti necessità e tipologia del prodotto utilizzato.

Lo strato di finitura diviene pertanto l'elemento di protezione e sacrificio del sistema di rivestimento a cappotto. A distanza di anni dalla sua applicazione esso, come tutti gli elementi di finitura di una facciata, potrebbe necessitare di una specifica manutenzione al fine di ripristinare le proprie caratteristiche iniziali. Tali operazioni di manutenzione consistono nella verifica della presenza o meno di eventuali danneggiamenti alla rasatura sottile armata abbinata all'applicazione di specifica tinteggiatura colorata (in una o più mani) con effetto riempitivo e consolidante dello strato di finitura medesimo per ripristinare protezione e colorazione delle facciate.

Un cappotto ben realizzato e adeguatamente mantenuto nel tempo, con regolari e appropriati interventi manutentivi, può avere una vita utile compresa tra i 25 ed i 50 anni, ovvero paragonabile alla vita utile dell'edificio.





**Progettazione e
realizzazione**

4. Progettazione e realizzazione

Partendo dal presupposto che ogni singolo edificio è un caso a sé stante, la realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto, sebbene sia caratterizzata da similari modalità di esecuzione, materiali impiegati e procedure di messa in opera, possiede alcune caratteristiche connotanti che la differenziano da applicazione ad applicazione. Basti pensare, ad esempio, alla particolare configurazione geometrica di un immobile, alla presenza di singolarità materiche e di integrazione impiantistica, alle differenti condizioni ambientali nonché allo specifico contesto di edificazione. La progettazione di un sistema di rivestimento a cappotto è pertanto un'articolata concatenazione di scelte, controlli, modifiche e successive nuove verifiche, che porta a delineare, alla fine di questo iter, quella soluzione che meglio si addice al particolare caso di studio.

I fattori principali che influiscono sulla definizione di una soluzione di rivestimento a cappotto, orientando le scelte del progettista, sono i seguenti:

- a. Tipologia di edificio. Il sistema di rivestimento a cappotto è parte di un progetto di un nuovo edificio oppure è parte di un intervento di riqualificazione architettonico-energetica di un edificio esistente? Questo primo aspetto può influire in modo assai rilevante sulla fase di progettazione. Infatti, qualora il cappotto sia previsto su di un edificio di nuova costruzione il progettista conosce in dettaglio la stratigrafia del supporto e le sue caratteristiche e prestazioni. Nel caso di un edificio esistente il progettista ha invece la necessità di indagare il supporto per ricavare ed individuare tutte quelle caratteristiche e prestazioni necessarie per la corretta progettazione del sistema di rivestimento stesso. In entrambi i casi la soluzione di rivestimento deve essere definita per raggiungere le prestazioni richieste al fine del contenimento delle dispersioni energetiche, della protezione del retrostante tamponamento di facciata e della connotazione architettonica dell'immobile.
- b. Tipologia di supporto. Il supporto, oltre ad essere uno degli elementi che costituiscono il sistema involucro, è l'elemento a cui andrà vincolato il rivestimento di facciata. Esso può essere realizzato con svariati materiali, quali ad esempio laterizi (provvisi o meno di intonaco di regolarizzazione sulla faccia esterna), blocchi di pietra naturale o artificiale (calcari e basalti, calcestruzzo cellulare autoclavato e similari), stratigrafie a secco a base legno, ecc. Le tipologie di supporto di un sistema di rivestimento a cappotto possono essere suddivise in due grandi famiglie: nella prima rientrano i supporti di tipo tradizionale (classico oppure rivisitato ed ottimizzato), mentre nella seconda sono ricompresi i supporti considerati più innovativi, tra i quali si ricordano i tamponamenti in legno realizzati con pannelli in CLT oppure di tipo Timber Frame. La tipologia di supporto ha una forte influenza sia sulla scelta dei materiali costituenti il sistema di rivestimento (in particolar modo sul materiale costituente i pannelli isolanti, il collante o malta ed i tasselli meccanici), sia sulla modalità di posa in opera dei medesimi. Per edifici provvisti di supporti murari ricompresi nella prima categoria la posa dei pannelli isolanti (i cui spessori medi per tali applicazioni sono normalmente compresi tra 8 e 20 cm) viene effettuata tramite incollaggio e fissaggio meccanico. Per altri tipi di supporto, quali ad esempio pannelli in legno di tipo CLT, oltre alla modalità di applicazione tramite colla e tasselli meccanici, per particolari applicazioni (i cui limiti di impiego sono delineati con precisione dai produttori) i pannelli isolanti possono essere fissati solo tramite fissaggio meccanico oppure tramite il solo incollaggio. Il sistema REDArt cappotto di ROCKWOOL prevede, come unica alternativa alla posa di pannelli isolanti in lana di roccia tramite colla e tasselli, il solo fissaggio meccanico nel caso di CLT o Timber Frame in accordo ai limiti previsti nella documentazione tecnica. Diviene pertanto fondamentale conoscere in modo approfondito e dettagliato le caratteristiche e le peculiarità del supporto sul quale andare a posare il sistema di rivestimento a cappotto, dal momento che la sua progettazione deve definire la migliore soluzione in grado di garantire le prestazioni richieste, un elevato livello di affidabilità e adeguata vita utile del rivestimento (se paragonata a quella dell'edificio), con un ragionevole e conveniente rapporto costo/prestazioni.

- c. Materiali da utilizzare nella realizzazione del rivestimento. Diversi sono i materiali che occorre utilizzare per la realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto: collanti e malte, pannelli isolanti e relativi tasselli meccanici di fissaggio, rasatura e reti di armatura, fissativi (primer) e finitura, profili accessori, ecc. La loro scelta è una fase assai delicata poiché i materiali individuati, oltre a garantire le prestazioni in opera a loro richieste, dovranno essere assolutamente compatibili tra di loro per scongiurare qualsiasi problematica, malfunzionamento, guasti e danni, sia a loro stessi ma anche al retrostante supporto. La scelta arbitraria dei singoli materiali costituenti i differenti strati di un sistema di rivestimento a cappotto può essere risultare non necessaria qualora si faccia riferimento a specifici cicli o kit completi, forniti per intero direttamente dai produttori. Ciò garantisce un'elevata garanzia di qualità e prestazione grazie anche alle Valutazioni Tecniche Europee (ETA) di cui molti sistemi di rivestimento a cappotto dispongono. Ciò consente al progettista di basare principalmente la scelta del sistema di rivestimento a cappotto su quella del materiale costituente lo strato d'isolamento termico.
- d. Complessità della facciata. Morfologia e geometria delle facciate, singolarità geometriche, materiche e di integrazione impiantistica, ecc., delineano la complessità di un sistema di rivestimento a cappotto. Esso, per funzionare correttamente, dovrà conformarsi all'edificio come se fosse un abito su misura. Per far sì che il rivestimento ben si adatti al supporto e possa garantire il raggiungimento delle prestazioni volute, il progettista deve definire puntualmente, per via grafica e scritta, dettagli e modalità di realizzazione in ogni punto singolare. Ciò comporta da un lato una precisa ed approfondita conoscenza di tale tecnologia di rivestimento, dall'altro la definizione di dettaglio del sistema e delle relative modalità di realizzazione per evitare che nulla venga lasciato al caso o alla decisione e abilità operativa delle maestranze.

A. Progettazione di un sistema di rivestimento a cappotto

La realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto comporta alcuni aspetti vantaggiosi per quanto concerne le chiusure opache verticali, tra i quali si sottolineano:

- possibilità di raggiungere elevate prestazioni per quanto concerne l'isolamento termico della soluzione di facciata, con conseguente riduzione del fabbisogno di energia primaria necessaria per il riscaldamento invernale. In tal senso, la posizione dell'isolante termico sul lato esterno consente inoltre di contribuire positivamente all'accumulo di calore da parte degli strati più massivi di tamponamento, garantendo un miglior comportamento inerziale dell'edificio;
- riduzione/eliminazione dei ponti termici presenti in facciata. Il controllo dei ponti termici consente una riduzione dei consumi energetici, un miglior comfort e un minore rischio di insalubrità degli ambienti interni (eliminazione del rischio di formazione di muffe in corrispondenza dei ponti termici, strettamente dipendente alla formazione di condensa su superfici aventi temperatura inferiore alla temperatura di rugiada);
- possibilità di raggiungere elevate prestazioni anche nella stagione estiva, migliorando sfasamento termico e fattore di attenuazione della soluzione di chiusura verticale. Abbinato ad opportune soluzioni di schermatura solare, un sistema di rivestimento a cappotto può contribuire alla protezione dal surriscaldamento nella stagione calda. In particolare, in presenza di forte irraggiamento solare, è consigliabile adottare sistemi di isolamento a cappotto con finiture chiare, con alti indici di riflessione;
- in caso di intervento su edificio esistente, limitato impatto delle lavorazioni sulle attività che si svolgono all'interno dell'edificio. Infatti, essendo la posa in opera del cappotto eseguita prettamente dall'esterno (con l'ausilio di appositi ponteggi), si limita di molto il disturbo arrecato agli occupanti dell'edificio permettendo inoltre di non ridurre la superficie commerciale interna utile degli ambienti;
- riqualificazione architettonica dell'edificio. La realizzazione di un rivestimento a cappotto ripropone oppure modifica l'aspetto esteriore dell'edificio, ridandogli importanza, pulizia e senso d'ordine. Ciò è indispensabile per mantenere il valore intrinseco dell'immobile e il decoro del contesto in cui è inserito l'edificio stesso;

- possibilità di beneficiare di eventuali incentivi fiscali statali per il recupero di una parte della spesa per l'installazione di un rivestimento a cappotto su edifici esistenti.

Essendo il cappotto un intervento in grado di offrire dei vantaggi sotto molteplici aspetti, è fondamentale che l'iter progettuale sia affrontato in modo il più possibile sistematico. Esso può essere riassunto nei seguenti punti: analisi del contesto e definizione degli obiettivi prestazionali, scelta dei materiali, verifiche numeriche (anche tramite modellazioni, se necessario) della soluzione di rivestimento individuata, sviluppo dei dettagli costruttivi, descrizione accurata delle operazioni di posa in opera. Tutto ciò è necessario per poter disporre, a lavorazioni ultimate, di un involucro di facciata di qualità e prestazioni certe.

Più in dettaglio, tra le scelte ed i controlli che devono essere di volta in volta effettuati in fase di progettazione per definire il sistema di rivestimento a cappotto più adatto ad uno specifico edificio, si segnalano i seguenti:

- acquisizione di tutti i dati relativi al contesto ambientale e all'immobile stesso, quali ad esempio: azioni sollecitanti (ad esempio vento agente sulle facciate), presenza di edifici nell'area circostante, geometria e complessità della facciata, presenza di altre soluzioni di rivestimento di facciata (pareti ventilate, facciate continue a singola e doppia pelle, ecc.) che si interfacciano con il sistema di rivestimento a cappotto stesso;
- definizione/rilievo della tipologia del supporto su cui realizzare il rivestimento a cappotto e delle relative caratteristiche, quali ad esempio: resistenza meccanica, prestazione termica ed acustica, stato di conservazione in caso di edificio esistente, presenza o meno di intonaco di regolarizzazione, ecc.;
- definizione di dettaglio di tutte le specifiche prestazionali che il rivestimento dovrà fornire durante la propria vita utile;
- scelta del materiale e definizione dello spessore dei pannelli isolanti del sistema di rivestimento a cappotto, verificando il raggiungimento della prestazione d'isolamento termico in regime stazionario e in regime dinamico richieste, oltre che l'eventuale incremento di prestazione per quanto concerne l'isolamento acustico di facciata.
La scelta del materiale isolante, oltre a dipendere dalle caratteristiche di conducibilità termica, permeabilità al vapore e comportamento al fuoco, è influenzata anche da altre caratteristiche intrinseche del materiale stesso, ovvero: peso specifico, resistenza meccanica, caratteristiche dimensionali, assorbimento d'acqua, compatibilità chimico-fisica dei materiali a contatto con lo stesso (collante/malta e rasatura armata), ecc.
I supporti in muratura ben si prestano ad essere rivestiti con qualsiasi materiale isolante, a patto che quest'ultimo sia specifico per applicazioni da esterno. I supporti lignei prediligono l'impiego di isolanti di origine naturale e/o minerale (ad esempio i pannelli in lana di roccia), in quanto materiali ad esso più affini;
- verifica della permeabilità al vapore acqueo attraverso l'intera soluzione di chiusura verticale, al fine di escludere fenomeni di condensazione interstiziale. Nei casi in cui il supporto sia di tipo ligneo le verifiche di tenuta all'acqua e quelle igrometriche devono essere svolte con particolare attenzione ed i risultati analizzati accuratamente, in quanto un semplice errore, oltre a compromettere la prestazione termica, può innescare degradi a livello della struttura che con il tempo possono avere ripercussioni anche sulla sua resistenza meccanica. In particolare, per le strutture in Timber Frame diviene fondamentale controllare la diffusione di vapore attraverso l'impiego di appositi teli di freno a vapore e tenuta all'aria, al fine di evitare la formazione di condensato che potrebbe portare alla proliferazione di muffe, nonché al degrado delle strutture in legno, con conseguente decadimento prestazionale della soluzione di chiusura;
- scelta della tipologia più appropriata di tasselli di fissaggio meccanico dei pannelli isolanti in relazione alla tipologia di supporto. Per supporti in laterizio o similari si impiegano tasselli plastici e/o plastico-metallici generalmente ad espansione, mentre per supporti in legno si utilizzano tasselli plastico-metallici a vite. Il posizionamento dei tasselli dipende dalla tipologia di materiale isolante utilizzato (di norma si prevede un numero minimo di 5/6 tasselli a mq da verificare in ogni caso con le azioni sollecitanti in funzione del progetto specifico). In corrispondenza di zone critiche, quali coronamento, spigoli, ecc., il numero di elementi al metro quadro da utilizzare è generalmente superiore. L'effettivo numero dei tasselli va comunque calcolato in funzione del progetto specifico, della geometria e dell'esposizione dell'edificio, delle azioni sollecitanti considerando le normative vigenti, delle prestazioni meccaniche dell'isolante e del ciclo a cappotto e considerando le resistenze del tassello utilizzato.

- scelta degli altri materiali costituenti il sistema di rivestimento (colla o malta, rasatura e rete di armatura, fissativo e finitura). Il ricorso ad un ciclo/kit di rivestimento a cappotto specifico semplifica la scelta dei singoli materiali e pertanto il progettista dovrà identificare essenzialmente il materiale isolante che meglio risponde alle sue esigenze e la colorazione della finitura superficiale. Per la scelta di tutti i rimanenti materiali potrà affidarsi ai diversi cicli completi offerti dai produttori, senza tralasciare però l'importanza della tipologia di supporto retrostante;
- scelta della tipologia di armatura con la quale realizzare il rinforzo dello strato isolante. Per alcune zone maggiormente soggette ad urti, il progettista può decidere di ricorrere all'utilizzo di una rete di armatura della rasatura di grammatura superiore ai 160 g/mq generalmente utilizzati (rete standard), oppure prevedere l'inserimento di una doppia rete di armatura standard all'interno della rasatura stessa. A tali scelte deve naturalmente corrispondere una motivata e dettagliata descrizione della modalità di realizzazione;
- scelta degli elementi accessori (profili di partenza, confinamento laterale, rinforzo, nastri e/o paste di sigillatura dei punti di interfaccia tra cappotto e serramenti, attraversamenti impiantistici, ecc.) con particolare riferimento ai loro materiali costituenti. I profili d'angolo, generalmente in PVC, possono essere all'occorrenza anche in acciaio zincato. Ciò dipende sia dalle caratteristiche di resistenza meccanica necessarie, sia dalla tipologia di ciclo o kit a cappotto individuato. Inoltre, per la realizzazione dell'interfaccia rasatura-serramenti il progettista può decidere se realizzare tale connessione mediante l'impiego di appositi profili, oppure ricorrere ad una sigillatura realizzata con specifici prodotti in pasta. Anche in questo caso la scelta deriva sia dalla tipologia di ciclo/kit a cappotto, sia dalla complessità dell'interfaccia tra la rasatura ed i serramenti (per serramenti curvi è necessario ricorrere al sigillante);
- individuazione delle zone dove realizzare rinforzi localizzati della rasatura armata mediante raddoppio della rete di armatura (spigoli dei vani finestra, modanature, cambi d'inclinazione della facciata, ecc.). L'esigenza di implementare la resistenza meccanica del cappotto può derivare anche dalla presenza di altri fattori che possono dare luogo ad azioni di entità significativa (colpi ed urti dovuti a: passaggio di pedoni e/o ciclisti in spazi pubblici, gioco del calcio nelle immediate vicinanze della facciata, fronti fortemente esposti alle intemperie, grandinate di notevole entità, ecc.);
- definizione grafica di dettaglio di tutti i punti singolari del sistema di rivestimento a cappotto (ad esempio: attacco a terra e raccordo con eventuali sistemi di impermeabilizzazione presenti, spigoli di facciata, intradosso solette balcone e/o aggetti falda di copertura, coronamento edificio, nodi serramenti e relativi sistemi di ombreggiamento ed oscuramento, ecc.). La definizione dei nodi, illustrata secondo la sequenza di realizzazione del dettaglio, deve essere accompagnata anche da una breve ma dettagliata descrizione avente lo scopo di facilitare la realizzazione in opera del dettaglio da parte degli operatori, così come previsto e definito dal progettista;
- stesura del capitolato delle opere e del computo metrico per la raccolta dei preventivi, inserendo, se necessario, l'esecuzione di verifiche di corretta realizzazione del rivestimento a lavori terminati come ad esempio termografie e blower-door test (quest'ultima prova specifica per edifici in legno).

I contenuti minimi che il progetto di un sistema di rivestimento termoisolante opaco di facciata di tipo a cappotto deve contenere (escludendo i permessi e le varie pratiche di carattere amministrativo) sono pertanto:

- relazione di progetto, all'interno della quale si descrivono i componenti del sistema a cappotto, la sequenza operativa di realizzazione, la modalità di realizzazione dei nodi di dettaglio e dei punti singolari maggiormente critici;
- relazione di calcolo in base alla normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, Circolare 21 gennaio 2019 n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, CNR-DT 207/2008 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni);
- relazione di calcolo con relative verifiche in termini di isolamento termico e risparmio energetico (D.Lgs. 19 agosto 2005 n.

192 – Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, con s.m.i.; D.M. 26 giugno 2015 – Applicazione delle metodologie delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici; D.M. 26 giugno 2015 – Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici; D.M. 26 giugno 2015 – Adeguamento del D.M. del 26 giugno 2009 – Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici; UNI EN 15026:2008 – "Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio – Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica");

- relazione di calcolo previsionale del rispetto dei requisiti acustici passivi (UNI EN ISO 12354-1/3 – "Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti"; UNI 11175-1:2021 – "Linee guida per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici – Parte 1: Applicazione delle norme tecniche alla tipologia costruttiva nazionale" ; D.P.C.M. 5 Dicembre 1997 – "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici"), per edifici di nuova realizzazione o recupero di edifici esistenti;
- relazione sulla valutazione della sicurezza in caso d'incendio per edifici di nuova realizzazione oppure in caso di recupero integrale di edifici esistenti (D.M. 3 agosto 2015 – "Norme tecniche di prevenzione incendi" e s.m.i.);
- tavole progettuali riportanti sezioni verticali, sezioni orizzontali, prospetti del sistema di rivestimento, con indicazione delle caratteristiche, tipologie e spessori dei materiali da impiegare;
- tavole progettuali di dettaglio dei nodi costruttivi del sistema di rivestimento, con indicazione di tipologie e caratteristiche di componenti e materiali da utilizzare, nonché dettagliata descrizione di posa/realizzazione dei punti critici.

B. Tipologie d'intervento: nuova costruzione e riqualificazione architettonico-energetica di edifici esistenti

Come prima richiamato, un sistema di rivestimento a cappotto può essere abbinato a qualunque tipologia di edificio (con destinazione d'uso residenziale, terziaria, ecc.), sia esso di nuova realizzazione oppure esistente e necessitante di riqualificazione architettonico-prestazionale. A seconda che venga previsto su edifici di nuova costruzione oppure esistenti, il sistema di rivestimento a cappotto, data la sua semplice connotazione geometrico-materica, non varia la sua conformazione di base, anche se vi sono alcuni aspetti che ne determinano delle differenze nei due casi specifici. Tali differenze, dipendenti anche dalla tipologia di supporto presente, possono essere così riepilogate:

- la particolare tipologia di muratura (tradizionale classica oppure tradizionale rivisitata) con cui ci si deve confrontare, in caso di nuova costruzione o di riqualificazione, comporta alcune differenze. In particolare, la muratura di tipo rivisitato introduce alcune differenze costruttive a livello dei dettagli di serramenti e balconi che facilitano la realizzazione del cappotto e ne ottimizzano il rapporto costo/prestazioni;
- le tecnologie costruttive con pannelli di facciata in CLT e di tipo Timber Frame comportano la realizzazione di un rivestimento a cappotto con delle differenze significative nel posizionamento dei tasselli di vincolo dell'isolante rispetto al supporto stesso: per il CLT i tasselli possono essere posizionati sull'intera superficie del pannello, mentre per il Timber Frame il posizionamento del tassello è generalmente limitato alle porzioni in corrispondenza dei segati di legno costituenti la struttura del pannello di facciata;
- il recupero e/o adeguamento prestazionale architettonico di edifici esistenti già dotati di sistemi di rivestimento a cappotto giunti a fine vita oppure affetti da malfunzionamenti non sanabili con semplici operazioni di manutenzione ordinaria, è un argomento che oggi sta acquistando sempre maggior interesse, grazie all'idea di poter mantenere in opera il cappotto esistente rivestendolo con uno di nuova generazione. Tale applicazione richiede, come specificato nel seguito del capitolo, dei particolari accorgimenti in fase di progettazione e posa.

Il cappotto su supporto in muratura tradizionale - nuova realizzazione o esistente

La realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto su supporto in muratura tradizionale, sia essa di tipo classico oppure rivisitato/ottimizzato, prevede una procedura di messa in opera pressoché identica, anche se vi sono degli aspetti che introducono delle differenze in alcune delle fasi di progetto e realizzazione.

Il primo aspetto risiede nella conoscenza del supporto murario e delle sue caratteristiche. In caso si tratti di costruzione di un nuovo edificio, la muratura di tamponamento è integralmente definita e conosciuta dal progettista (spessori, materiali, caratteristiche e prestazioni). Qualora invece si tratti di edificio esistente tali informazioni non sono generalmente disponibili ed è pertanto necessario eseguire una campagna di raccolta dati al fine di poter disporre delle caratteristiche e delle prestazioni residue della muratura con il minor grado di incertezza possibile. Normalmente si esegue un'analisi del supporto murario che si compone di: rilievo geometrico, materico e dei degradi che affliggono la facciata, reperimento delle informazioni circa la realizzazione e/o gli interventi di manutenzione avvenuti in precedenza, esecuzione (se necessario) di indagini in loco consistenti in saggi della muratura (ad esempio tramite l'utilizzo di endoscopia entro fori appositamente predisposti, ecc.). Le indagini, seppur invasive, sono spesso indispensabili per la corretta definizione della stratigrafia esistente.

Un secondo aspetto, specifico per edifici esistenti con finitura in intonaco tipo civile, consiste nel controllo della compattezza del supporto al quale sarà incollato e vincolato lo strato isolante. Tale verifica può avvenire a ponteggio montato oppure con ausilio di autogrù con cestello. Prima di procedere con la posa del cappotto potrebbe essere necessario provvedere alla rimozione ed al rifacimento localizzato (o esteso), mediante appositi prodotti compatibili con le caratteristiche dei materiali presenti in opera, delle parti ammalorate o decoese, al fine di disporre di una superficie di compattezza e resistenza meccanica adeguata ed omogenea sull'intera facciata oggetto di intervento.

Il terzo aspetto, anch'esso specifico per edifici esistenti le cui facciate sono state finite con intonaco di tipo civile, consiste nella verifica della resistenza meccanica dell'intonaco tramite prove di strappo¹. L'esito di tali prove fornisce indicazioni fondamentali per le successive scelte progettuali: rimuovere e bonificare le sole porzioni di intonaco ammalorato, oppure provvedere all'integrale rimozione dell'intonaco di facciata poiché troppo compromesso e non più adeguato a svolgere la funzione di supporto del rivestimento.

Il quarto aspetto, valido sia per edifici di nuova costruzione che per quelli esistenti, consiste nella verifica della planarità del supporto. Tale controllo, attuato con bolle e stagge, fili a piombo e strumentazione laser è necessario per individuare le porzioni della facciata dove eventualmente sono presenti irregolarità di piano da eliminare poiché non compatibili con la corretta realizzazione del rivestimento. Si ricorda che piccole irregolarità del supporto murario sono compensabili con lo strato di malta/collante utilizzato per l'applicazione dei pannelli isolanti. Per irregolarità più accentuate si deve invece intervenire localmente mediante riporto di uno strato di intonaco o rimozione del materiale in eccesso. Lo spessore medio di malta/collante presente sul retro del pannello, una volta che lo stesso è stato messo in opera, è di circa 0,5÷1 cm se il supporto murario è dotato di intonaco di regolarizzazione oppure la muratura al rustico è realizzata con blocchi rettificati, mentre è di 1÷1,5 cm se il supporto murario non è provvisto di intonaco di regolarizzazione.

Un quinto ed ultimo aspetto che può comportare delle differenze a carico del rivestimento a cappotto, realizzato su edificio di nuova edificazione oppure esistente, è la necessità o meno di realizzare una specifica zoccolatura al piede dell'edificio. Di norma il cappotto viene impostato alla quota di circa + 30 cm dal piano zero, ciò per evitare: interferenze con il sistema di impermeabilizzazione, problemi di bagnamento (diretto, indiretto e per risalita capillare), formazione di sporco sulla parte inferiore a seguito di acqua di rimbalzo, danni dovuti a colpi ed urti accidentali. Per esigenze architettoniche, o di protezione dagli urti della base del rivestimento, è possibile realizzare una zoccolatura/rivestimento in pietra (per un'altezza indicativa di 60 cm circa). Tale rivestimento può essere realizzato al di sotto del profilo di partenza del cappotto, con conseguente innalzamento della quota di partenza del medesimo, oppure essere riportato davanti al cappotto. In questo secondo caso la modalità di vincolo della zoccolatura dovrà essere adeguatamente definita per evitare interazioni con il cappotto (la buona pratica prevede di non incollare solamente il rivestimento lapideo al cappotto ma di integrare il fissaggio degli elementi di zoccolatura con appositi apparecchi di tipo meccanico).

¹ Le prove di strappo dell'intonaco di facciata per edifici esistenti devono essere eseguite in numero statisticamente valido, (di norma ne vengono effettuate 5 e tralasciando la migliore e la peggiore se ne riscontra il valore medio) eseguite in modo uniformemente distribuito sull'edificio.

Cappotto su edifici in legno di nuova realizzazione

Nel caso di edifici di nuova realizzazione in legno con chiusura in pannelli in CLT o di tipo Timber Frame (cioè elementi spesso prefabbricati in officina ed assemblati in cantiere), vi sono ulteriori aspetti della progettazione e della realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto che differiscono rispetto al caso di supporto tradizionale in muratura.

Più in dettaglio, tali aspetti sono:

- presenza di un piano di posa dello strato isolante sostanzialmente privo di irregolarità. I pannelli di facciata in legno, grazie all'elevato grado di precisione produttiva (dovuto alla produzione in officina con macchinari a controllo numerico) e costruttiva (a seguito di posa in opera dei pannelli a casellario), consentono la realizzazione di superfici di facciata caratterizzate da una elevata planarità. Tali superfici, le cui tolleranze di posa sono nell'ordine del millimetro, rappresentano un piano ideale sul quale vincolare lo strato isolante. Nel caso di impiego di pannelli isolanti in lana di roccia ROCKWOOL, utilizzati nel ciclo a cappotto REDArt, si utilizzano collanti applicati direttamente al supporto ligneo tramite spatola dentata con cave di profondità pari a 5-6 mm. Il pannello isolante verrà poi posato sul supporto, leggermente mosso in orizzontale per consentire un'ottimale distribuzione della colla su tutto il retro del pannello. Questa particolare modalità operativa, possibile grazie alla regolarità del supporto, velocizza le operazioni di incollaggio dei pannelli in facciata, garantisce una migliore qualità di realizzazione e, di conseguenza, delle prestazioni erogate dal rivestimento;
- modalità di realizzazione del vincolo meccanico dei pannelli isolanti. I pannelli isolanti sono vincolati al supporto ligneo anche mediante appositi tasselli a vite, la cui profondità di ancoraggio dipende dal tipo di supporto e tassello utilizzato. Nel caso di pannelli isolanti ROCKWOOL considerando il ciclo a cappotto REDArt, il numero dei tasselli, nello schema base (la cui conformità va valutata in funzione delle azioni sollecitanti), da porre in opera in combinazione con l'apposito collante è generalmente pari a n. 5/6 a mq, con schema di distribuzione a W se il cappotto è applicato su pannelli in CLT. Nel caso invece di struttura in Timber Frame con ciclo a cappotto REDArt, i tasselli in combinazione con apposito collante vengono posizionati generalmente in corrispondenza dei segati in legno in un numero minimo pari a 4 tasselli per pannello considerando lo schema base. In entrambi i casi l'effettivo numero di tasselli da impiegare va valutato in funzione della tipologia di azione sollecitante considerata. Per alcune applicazioni particolari, dettate principalmente dalle caratteristiche dell'edificio e per le quali il produttore del sistema di rivestimento a cappotto ne stabilisce i precisi limiti applicativi, lo strato isolante può essere vincolato al supporto ligneo solamente tramite fissaggio meccanico;
- elevata impermeabilità all'acqua del rivestimento per la protezione dello strato isolante e del retrostante tamponamento ligneo. Il tamponamento di facciata, realizzato integralmente con elementi, profili e pannelli in legno (opportunamente connessi con idonee viti), le cui caratteristiche igroscopiche ed i relativi problemi di attacchi biologici ad opera di muffe e funghi sono note, necessita di un'adeguata protezione all'acqua al fine di scongiurare l'insorgere di malfunzionamenti, guasti e danni. In questo caso, ancor più rispetto ad un tamponamento in muratura, è importante la realizzazione di: una rasatura armata, adeguatamente sigillata nelle sue interfacce, dotata di uno strato di finitura superficiale compatto ed altamente protettivo, oltre che di adeguate scossaline accessorie di protezione di eventuali punti critici singolari del rivestimento;
- controllo della diffusione al vapore. Anche per questo aspetto, così come previsto dalle specifiche normative (vedi ad esempio la UNI EN ISO 13788:2013), la verifica dell'assenza di condensazione all'interno della stratigrafia di parete è indispensabile per evitare malfunzionamenti, degrading e danni sia a carico del supporto ligneo sia del rivestimento a cappotto. Il controllo della migrazione di vapore senza fenomeni condensativi deve essere attentamente analizzato e controllato in fase di progetto e durante la realizzazione del tamponamento, ad esempio mediante l'utilizzo di barriere o freni al vapore da collocare nell'eventuale controparete interna, se presente, in caso di struttura di tipo Timber Frame;
- presenza di giunti di dilatazione e/o accostamento. Per edifici interamente realizzati in legno con pannelli di facciata (sia che siano realizzati in CLT oppure con struttura di tipo Timber Frame) prefiniti sulla faccia esterna con un sistema di rivestimento a cappotto, diviene estremamente importante verificare che in corrispondenza dei giunti tra i singoli pannelli, e di conseguenza tra le differenti campiture di facciata costituenti il cappotto, vi sia un adeguato raccordo a tenuta all'acqua e all'aria, realizzabile tramite appositi profili di unione, conformati o solamente completati in concomitanza delle lavorazioni di finitura in opera.

Riqualificazione di un rivestimento a cappotto con la tecnica del "cappotto su cappotto"

Il tema della riqualificazione prestazionale ed architettonica di edifici esistenti già dotati di sistema di rivestimento a cappotto è assai recente e di particolare rilevanza in ragione dei sempre più elevati requisiti di efficientamento energetico del patrimonio costruito. Stante la scarsa disponibilità di specifiche normative o manuali di corretta esecuzione che analizzino tale circostanza e definiscano le strategie d'intervento, risulta indispensabile affrontare il tema in modo cauto, senza azzardi di sorta, poiché non si dispone ad oggi di dati affidabili e statisticamente rilevanti per valutare prestazioni, efficacia e durabilità dell'intervento che comunemente viene chiamato "cappotto su cappotto".

È ragionevole presumere che l'attuale richiesta di riqualificare e/o di integrare le prestazioni (termiche, acustiche, ecc.) delle facciate di un edificio già provvisto di sistemi di rivestimento a cappotto assuma sempre maggiore importanza nel prossimo futuro, sia in ragione della diffusa presenza di edifici dotati di rivestimento a cappotto le cui prestazioni risultano non essere più in linea con le attuali richieste normative dal punto di vista energetico, sia della presenza di rivestimenti a cappotto che, sebbene di recente realizzazione, risultano già affetti da patologie e guasti causati da errori progettuali e/o realizzativi.

Ad oggi, in Italia, gli interventi di "cappotto su cappotto" sono rari, ciò anche a causa della scarsità di riferimenti normativi a riguardo. Tale tipologia di interventi viene unicamente menzionata, peraltro a carattere puramente orientativo, nella UNI/TR 11715:2018. La scelta di intraprendere una riqualificazione di un sistema a cappotto deve pertanto essere accuratamente valutata sotto tutti gli aspetti che caratterizzano l'intervento ed il rivestimento stesso, ovvero la fattibilità, il raggiungimento delle prestazioni progettualmente definite, l'affidabilità e la durabilità della soluzione, il vantaggio nel rapporto costo/prestazioni rispetto ad un intervento di rimozione e rifacimento integrale, ecc.

Basandosi sull'esperienza in ambito internazionale, si sottopongono di seguito al progettista alcune indicazioni operative utili alla valutazione di tale tipologia di intervento:

- a. rilievo geometrico, materico e del degrado del sistema di rivestimento a cappotto le cui prestazioni devono essere integrate. Tale fase, prettamente diagnostica e conoscitiva del supporto sul quale vincolare il nuovo rivestimento, deve essere svolta con estrema cura per identificare le varie criticità che potrebbero anche far propendere per un'integrale rimozione e rifacimento ex novo del rivestimento. In tale fase deve essere altresì verificato a campione lo stato di conservazione e prestazionale del retrostante supporto (muratura, calcestruzzo, ecc.) su cui è applicato il rivestimento a cappotto esistente;
- b. ricerca documentale e/o saggi per la determinazione di proprietà, caratteristiche e spessori dei materiali utilizzati per la realizzazione del sistema di rivestimento a cappotto già presente in facciata;
- c. realizzazione di rilievo termografico al fine di individuare numero e posizione dei tasselli di fissaggio meccanico dello strato isolante, compresa la verifica dell'adeguatezza del fissaggio stesso;
- d. esecuzione di specifici sondaggi, distribuiti in più posizioni (piede, coronamento, spigolo, interfaccia con serramenti, ecc.) ed in numero statisticamente rilevante, per verificare materiali, spessori ed eventuali malfunzionamenti e/o guasti presenti a carico del cappotto esistente. Tale fase è necessaria per conoscere e caratterizzare in modo approfondito e certo il rivestimento che fungerà da base e supporto del nuovo sistema a cappotto;
- e. esecuzione di specifiche prove necessarie ad individuare le caratteristiche meccaniche del cappotto presente in facciata. Tra le prove di cui si consiglia l'esecuzione si ricordano: prove di resistenza a compressione dell'intero pacchetto, prove di strappo della rasatura armata dal retrostante strato isolante, prove di pull-out dei tasselli meccanici di fissaggio, verifica della rigidità e della relativa deformazione degli spigoli del rivestimento soggetto a pressione perpendicolare oppure inclinata rispetto al piano di facciata, ecc. Tali prove, da svolgersi su differenti porzioni di facciata, devono essere in numero statisticamente rilevante, comunque non inferiore a 5 e scartando i valori maggiore e minore;
- f. scelta del materiale isolante e dei relativi prodotti complementari, tasselli, collante, rasatura, ecc., ovvero del ciclo di sistema a cappotto proposto dai produttori, in funzione delle specifiche esigenze di progetto (implementazione delle prestazioni termiche, acustiche, di sicurezza al fuoco, ecc.). Vista la particolare rilevanza nel caso di specie, si cita ad esempio la scelta

dei più idonei tasselli (lunghezza e rispetto alla tipologia di supporto presente) al fine di vincolare in maniera stabile il nuovo rivestimento a cappotto al supporto murario. In tal senso, per conferire maggiore stabilità e resistenza meccanica alla soluzione "cappotto su cappotto", potrebbe essere opportuno prevedere la posa di almeno una parte dei tasselli in modo che la testa risulti posizionata tra la rete di armatura ed il secondo strato di rasatura, cosicché la rete di armatura eserciti un più efficace contenimento sia dei pannelli isolanti di nuova fornitura che del cappotto sottostante.

- g. definizione e calcolo della prestazione igrotermica ed acustica del nuovo pacchetto di finitura, valutando le eventuali differenze di prestazione tra sezione corrente di facciata e sezione in corrispondenza dei serramenti;
- h. definizione grafica di dettaglio di tutti i punti singolari costituenti il nuovo "doppio cappotto" e relativa descrizione delle modalità di realizzazione dei medesimi, dettagliando anche le eventuali lavorazioni propedeutiche da eseguirsi prima della realizzazione del nuovo rivestimento;
- i. realizzazione di mock-up su una porzione limitata della superficie di intervento per verificare la fattibilità e l'adeguatezza delle lavorazioni e dei prodotti previsti, eventuali criticità esecutive e l'aspetto estetico finale;
- j. eventuale esecuzione di prove sperimentali analoghe alle precedenti (vedi punto e.) sul mock-up realizzato al fine di assicurare un livello di sicurezza statica al pari di quanto previsto per i sistemi a cappotto convenzionali.

È infine onere del progettista la valutazione della convenienza economica, in termini di rapporto costo/prestazioni/tempi di esecuzione, del mantenimento in opera del rivestimento a cappotto esistente su cui realizzare un nuovo cappotto (qualora le condizioni lo consentano) rispetto alla rimozione integrale del cappotto esistente e la formazione di un nuovo cappotto, previo incremento dello spessore dei pannelli isolanti e/o impiego di materiali più performanti rispetto a quelli presenti in opera.

C. Cantierizzazione e movimentazione materiali

L'aspetto della cantierizzazione per la realizzazione di sistemi di rivestimento a cappotto di elevati standard e qualità, risulta essere di fondamentale importanza, in quanto operazioni di stoccaggio o movimentazione errate possono compromettere alcune delle caratteristiche dei materiali impiegati che, a loro volta, possono ripercuotersi negativamente sull'esito finale dell'opera.

Pioggia, neve, irraggiamento solare diretto, esposizione alle alte o basse temperature, ecc., possono danneggiare, modificare oppure alterare i materiali componenti il sistema di rivestimento a cappotto. Si citano ad esempio i materiali secchi in polvere (collanti e/o rasanti) i quali, se bagnati, cambiano il loro stato materico da polvere a elemento solido in blocco, divenendo così inutilizzabili, oppure il fissativo e la finitura superficiale, che, se esposti ad alte o basse temperature (i cui limiti sono riportati nelle schede tecniche dei produttori), possono subire alterazioni delle proprie caratteristiche. Diviene pertanto fondamentale stoccare correttamente ed in aree adeguatamente protette i differenti materiali con i quali realizzare un rivestimento a cappotto. Le dimensioni delle aree di stoccaggio dipendono sia dalla tipologia di elementi da stoccare, sia dalle tempistiche di approvvigionamento (giornaliere, settimanali, quindicinali o mensili). In cantiere vi deve essere comunque un quantitativo di materiali minimo tale da non pregiudicare il regolare avanzamento delle operazioni di posa in opera del rivestimento in caso di mancato approvvigionamento per cause di forza maggiore.

È consigliabile che le aree di stoccaggio, la cui definizione, localizzazione, gestione ed eventuale evoluzione vengono gestite dal direttore tecnico di cantiere e dal coordinatore della sicurezza, non creino interferenze con le lavorazioni previste in cantiere, siano protette dagli agenti atmosferici e siano facilmente raggiungibili dai mezzi di approvvigionamento e da quelli di movimentazione interna al cantiere (muletti, gru, ecc.).

I materiali costituenti il rivestimento a cappotto vengono generalmente approvvigionati nei seguenti formati:

- pannelli isolanti: imballati con adeguato materiale e forniti su bancali;
- collante, rasatura, fissativo e finitura: contenuti all'interno di sacchi (qualora forniti sotto forma di polveri) oppure in contenitori plastici con coperchio e posizionati su bancali;
- tasselli: alloggiati in apposite scatole di cartone e, a seconda del quantitativo, in scatoloni oppure su bancali;
- rotoli di rete di armatura: singolarmente rivestiti da film protettivo o all'interno di scatola di cartone, sono forniti singolarmente oppure su bancali;
- profili accessori (la cui lunghezza media è pari a 250÷300 cm a seconda della tipologia), sono forniti in appositi imballi di cartone contenenti un preciso numero di pezzi per singolo imballo ed eventualmente disposti su bancali fuori formato.

In tutti i casi la fornitura di materiali su bancali prevede il rivestimento degli stessi mediante apposito film plastico, la cui funzione è quella di mantenere stabile il carico e di proteggerlo dalle avverse condizioni meteorologiche.

La movimentazione e il tiro al piano dei materiali costituenti il rivestimento, siano essi ancora imballati, oppure già lavorati in apposita stazione/area di lavorazione (zona di preparazione del collante, della rasatura e di miscelazione della finitura, ecc.), può avvenire mediante mezzi di cantiere con braccio allungabile, gru di cantiere, argano deputato allo scopo, ecc. Il bancale oppure i singoli materiali, dopo essere stati opportunamente e saldamente assicurati, vengono portati in quota e posizionati in apposite aree di carico predisposte sul ponteggio. Sarà poi compito degli operatori prelevare e smistare gli elementi ove necessario. A tal riguardo si ricorda l'importanza di eseguire movimentazioni e spostamenti dei materiali con la massima cura, ciò al fine di evitare il danneggiamento dei materiali stessi e delle parti o porzioni di rivestimento già completati.

D. Punti singolari: i nodi di dettaglio

La definizione dei nodi di dettaglio di un sistema di rivestimento a cappotto in corrispondenza dei punti singolari rappresenta una parte del progetto particolarmente importante, in quanto permette di definire la modalità di realizzazione di tali punti critici, avere un riscontro puntuale del progetto, governare le criticità intrinseche del sistema di rivestimento, delineando la soluzione che meglio si addice alle esigenze prestazionali ed architettoniche di cui si vuole dotare l'edificio.

Un elenco indicativo, ma non esaustivo, dei dettagli grafici di progetto da sviluppare (in relazione alla specificità dello stesso) è di seguito riportato:

- sezione orizzontale della stratigrafia completa di parete;
- sezione verticale della stratigrafia completa di parete;
- sezione orizzontale di tutti gli spigoli presenti in facciata, siano essi a 90°, 270° o di altra angolatura;
- sezione verticale in corrispondenza di modanature, se presenti in facciata;
- sezione verticale in corrispondenza del serramento, comprensivo di sistema di ombreggiamento e/o oscuramento;
- sezione orizzontale in corrispondenza del serramento;
- sezione verticale in corrispondenza del piede dell'edificio e/o del rivestimento;
- sezione verticale della sommità del rivestimento (in corrispondenza di parapetto oppure aggetto soletta di copertura a falda);
- sezione verticale in corrispondenza della soletta di balcone (sia in presenza di tamponamento, sia in presenza di soglia porta finestra) con interfaccia del manto di tenuta all'acqua;
- sezione orizzontale in corrispondenza del fianco della soletta del balcone;
- sezione verticale in corrispondenza di terrazzo o copertura piana, tetto giardino, ecc.;
- sezione orizzontale dell'attacco dei pluviali presenti in facciata al retrostante supporto,
- sezione verticale e/o orizzontale in corrispondenza del giunto strutturale e/o di dilatazione;
- sezione verticale ed orizzontale in corrispondenza di volumi aggettanti in facciata e delle logge;
- sezione verticale e/o orizzontale in corrispondenza di componenti impiantistici o altri elementi presenti in facciata, quali ad esempio: tratte di rete gas metano, cartelli ed insegne, supporti per tende da sole, frangisole, unità moto condensanti, impianto elettrico esterno muro, prese d'aria per cucine, esalazioni cappe d'aspirazione cucine, ecc.;
- sezione verticale e/o orizzontale dell'interfaccia tra cappotto ed altri sistemi di rivestimento/finitura di facciata di tipo opaco o trasparente;
- sezione verticale e/o orizzontale in corrispondenza di eventuali sistemi di manutenzione facciate;
- ecc.

Per i nodi particolarmente complessi, in termini di realizzazione o funzionamento, si consiglia di realizzare una modellazione 3D per individuare con precisione fattibilità ed eventuali criticità di assemblaggio dei vari componenti.

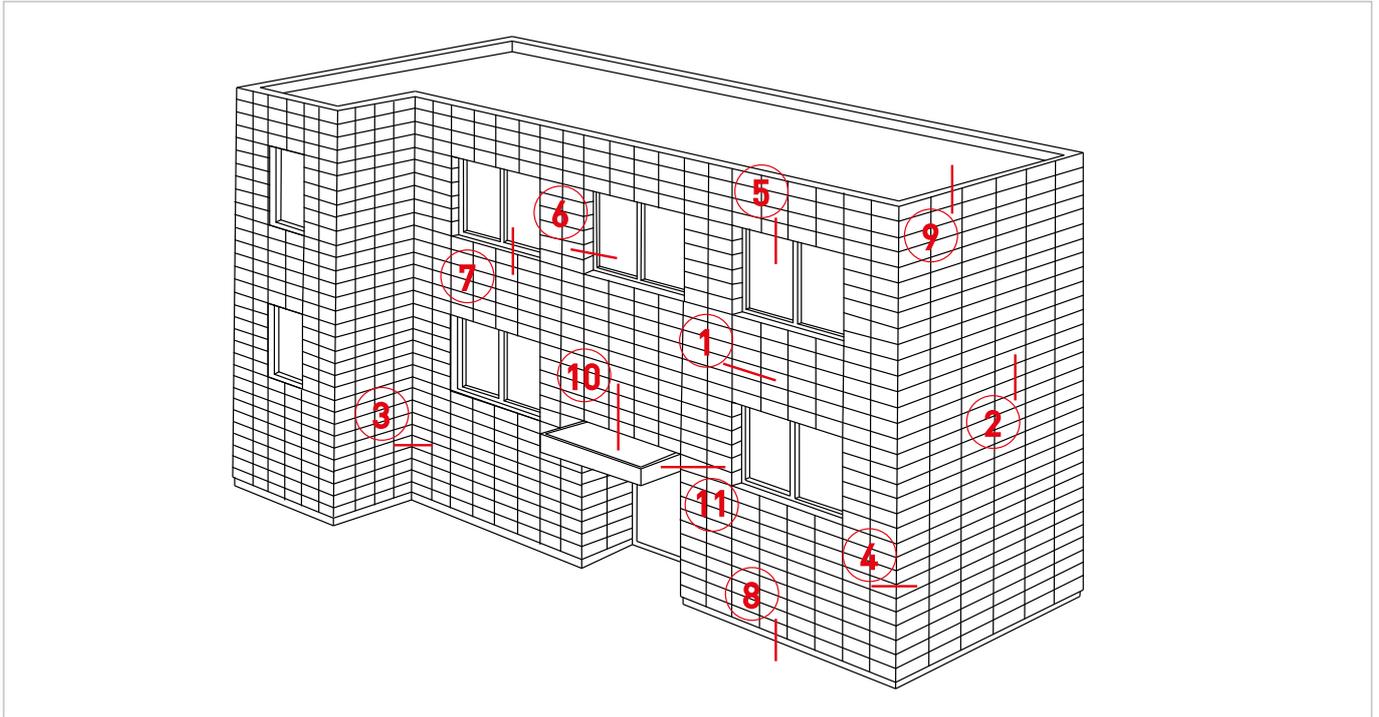
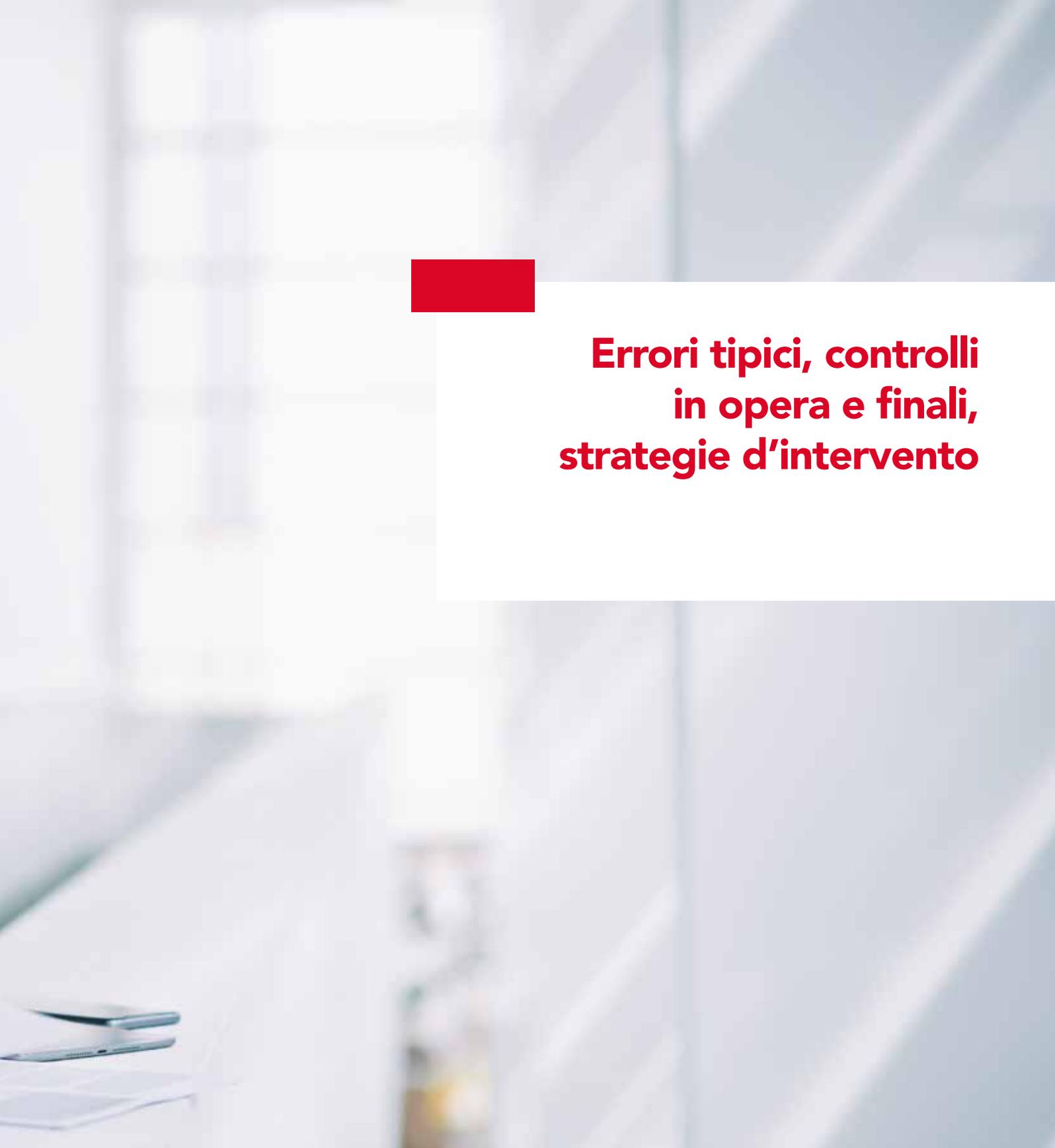


Figura 24 - Indicazione di alcuni dei principali nodi di dettaglio del rivestimento da sviluppare nel progetto. In dettaglio devono essere sviluppati i seguenti nodi : nodo 1, sezione orizzontale corrente; nodo 2, sezione verticale corrente; nodo 3, spigolo 90°; nodo 4, spigolo 270°; nodo 5, sezione verticale superiore del serramento; nodo 6, sezione orizzontale del serramento; nodo 7, sezione verticale inferiore del serramento; nodo 8, piede del rivestimento; nodo 9, coronamento del rivestimento; nodo 10, sezione verticale in corrispondenza di aggetto, pensilina, soletta balcone, ecc.; nodo 11, sezione orizzontale in corrispondenza di aggetto, pensilina, soletta balcone; ecc.

Durante le fasi di analisi, studio e sviluppo dei nodi di dettaglio, è buona norma, in particolare per edifici di elevata altezza e complessa forma geometrica, che il progettista consideri ogni aspetto legato alla manutenzione del rivestimento, valutando la modalità di accesso alle superfici di facciata in modo semplice e sicuro, al fine di agevolare le operazioni di manutenzione ordinaria, così come di eventuali interventi di manutenzione straordinaria.





**Errori tipici, controlli
in opera e finali,
strategie d'intervento**

5. Errori tipici, controlli in opera e finali, strategie d'intervento

Malfunzionamenti e difetti a carico dei componenti dell'involucro di facciata, ivi inclusi quelli del sistema di rivestimento a cappotto, possono derivare sia da non corrette valutazioni ed inaccuratezze in fase di progettazione, sia da errori di realizzazione/posa delle soluzioni di rivestimento individuate. Completezza progettuale e definizione grafica di dettaglio di ogni punto singolare del rivestimento a cappotto evitano che nulla venga lasciato al caso oppure demandato alla sola abilità delle maestranze nel risolvere problemi, imprevisi o situazioni critiche che possono manifestarsi in fase di esecuzione. Ciò vale in particolar modo nella risoluzione di punti critici e/o interfacce non di semplice ed immediata configurazione (quali ad esempio: accostamento tra differenti materiali, complessità geometrica, dettagli con sequenza di lavorazione obbligata, ecc.) che spesso, se non debitamente approfonditi in fase di progetto, possono trovare una soluzione approssimativa in cantiere, divenendo causa di malfunzionamenti che generano a loro volta problemi all'intero sistema di facciata.

Il progettista deve pertanto definire gli obiettivi progettuali e le prestazioni che il sistema di rivestimento a cappotto, abbinato al supporto presente, deve garantire, così come individuare i materiali più appropriati allo scopo e definire le corrette modalità di realizzazione del sistema stesso. Il direttore lavori, figura che spesso coincide con quella del progettista, deve a sua volta verificare che le modalità di esecuzione e i materiali impiegati siano quelli effettivamente indicati e previsti in fase di progetto. Ciò mediante visite periodiche durante tutta la durata del cantiere, accompagnate dalla stesura dei relativi verbali di sopralluogo e dalla redazione di un report fotografico di dettaglio a testimonianza di quanto realizzato. All'interno dei verbali devono essere altresì annotate tutte le eventuali modifiche o variazioni tra quanto previsto in fase di progetto e quanto realizzato, motivandone le cause. Tali modifiche andranno poi riportate sulle tavole as-built al fine di disporre di informazioni certe circa le modalità di realizzazione dell'opera.

Buona norma prevede che analogo approccio venga mantenuto dall'impresa che esegue le lavorazioni (in particolare è bene che venga tenuta copia della documentazione di progetto e dei verbali di ispezione/controllo, creato un archivio fotografico delle lavorazioni eseguite, così come è fondamentale la redazione delle tavole as-built contenenti le annotazioni di eventuali variazioni o modifiche concordate rispetto a quanto previsto in progetto) al fine di poter disporre di tutte le informazioni aggiornate sulla realizzazione dell'opera in caso di necessità.

Infine, è opportuno che copia della documentazione progettuale e delle tavole as-built, insieme ad un breve report fotografico, venga consegnata anche al proprietario o amministratore dell'immobile, al fine di disporre di una documentazione esaustiva, utile ad impostare futuri interventi di manutenzione.

Questo capitolo vuole essere un utile strumento per tutti gli operatori del settore (progettista, direttore lavori, imprese e maestranze) al fine di evitare i più frequenti errori, dalla fase di progettazione sino all'attività di collaudo, nella realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto.

Nel seguito è riportata una casistica dei più comuni errori da evitare, oltre ad un elenco delle modalità di controllo e verifica da attuare nelle fasi di progettazione, esecuzione e collaudo.

A. Errori tipici

Gli errori di realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto possono generare, nel breve o nel lungo periodo, malfunzionamenti in grado di provocare un degrado sia del rivestimento stesso che degli altri elementi costituenti la chiusura opaca (paramento murario, finiture interne, ecc.).

Ogni singola figura che interviene all'interno dell'articolato iter progettuale-realizzativo di un'opera più o meno complessa può incorrere in una scelta non ottimale oppure in un errore involontario, a volte per la sottovalutazione o per l'insufficiente conoscenza di un particolare aspetto di un problema o del comportamento di un materiale (o prodotto). Ciò può avere ripercussioni anche gravi sulle prestazioni, sulla durabilità e talvolta anche sulla sicurezza di un rivestimento a cappotto. Gli errori tipici possono essere ricondotti ad alcune principali famiglie di appartenenza: progettazione, cantierizzazione e posa in opera.

Errori di tipo progettuale

Tra le diverse scelte progettuali utili a definire nel suo complesso un sistema di rivestimento a cappotto, quella dell'individuazione e della scelta dei materiali da utilizzare è certamente una tra le più delicate, in quanto un errore o l'incompatibilità tra materiali può causare l'insorgere di malfunzionamenti sia del rivestimento che degli altri elementi che costituiscono la chiusura di facciata.

Uno dei principali aspetti che il progettista deve considerare in fase di definizione di un sistema di rivestimento a cappotto è il suo funzionamento, sia di insieme che di dettaglio. Ciò si traduce nella scelta e definizione del pacchetto di rivestimento, costituito da collante, isolamento termico, elementi di fissaggio, rasatura armata e finitura superficiale, avendo cura di verificare che ogni materiale sia compatibile con quello ad esso adiacente e che l'insieme dei materiali sia in grado di garantire le prestazioni volute, oltre a possedere adeguato comportamento durante la sua vita utile.

La scelta di materiali non ottimali nella realizzazione di un rivestimento a cappotto può tradursi nell'impiego di: isolanti non idonei, collanti e rasature sprovviste di polimeri in grado di renderli maggiormente flessibili rispetto ad una malta di tipo puramente cementizio, collanti e rasature inadeguate o non compatibili con il supporto presente oppure con il materiale costituente il pannello isolante, reti di armatura con grammatura troppo esigua oppure troppo elevata, con maglie di dimensioni eccessivamente ridotte oppure eccessivamente ampie (talvolta anche non alcalo-resistenti), finiture poco traspiranti oppure non idrorepellenti, e altri ancora.

La scelta di materiali inadeguati può provocare malfunzionamenti del sistema di rivestimento a cappotto, talvolta anche di grave entità. A tal riguardo si elencano le problematiche che si riscontrano più frequentemente:

- scelta di un collante inadeguato per il fissaggio dello strato isolante al supporto, con conseguente rischio di distacchi localizzati dello stesso. Ciò può avvenire quando si impiegano collanti sprovvisti di polimeri in grado di renderli maggiormente flessibili rispetto ad una malta puramente cementizia, oppure tipologie di collante non consone al supporto (un tipico esempio è la valutazione della tipologia di collante per supporti in legno);
- degrado fisico dell'isolante e/o del supporto retrostante nel caso di impiego di collanti incompatibili con gli altri materiali;
- visibilità della trama dei pannelli isolanti, a rasatura e finitura ultimate, a causa della scelta di un collante e di un fissaggio meccanico non idoneo specialmente se abbinati ad un materiale isolante non stabile dimensionalmente;
- formazione di condensa interstiziale, all'interfaccia pannello isolante - supporto;
- delaminazione della porzione esterna della rasatura nei casi in cui si impieghi una rete di armatura a maglie troppo fitte che, anziché comportarsi come elemento di unione e cucitura della rasatura, diviene un elemento di separazione/ostacolo all'adesione tra i due strati di rasante;
- difficoltà di stesa e ricoprimento con malta rasante di reti d'armatura non idonee per applicazione a cappotto oppure di grammatura eccessiva (normalmente vengono impiegate reti con grammatura di circa 160 g/mq). La scelta di un tale tipo

di armatura comporta il rischio di affioramento e ondulazione della rete e della rasatura, difetto legato al non ottimale funzionamento di ripartizione degli sforzi ad opera della rete di armatura all'interno del sottile strato di rasatura. Come conseguenza si ha la possibilità di formazione di lesioni, anche di notevole entità, nella rasatura e conseguenti infiltrazioni d'acqua, ciò abbinato a significativi difetti di tipo estetico della facciata (visibilità della trama della rete di armatura, presenza di ondulazioni della finitura, mancanza di planarità della facciata);

- visibilità della trama dei pannelli isolanti, a rasatura e finitura ultimate, a causa di errate indicazioni sul posizionamento della rete di armatura all'interno della rasatura armata.
- visibilità e facilità di individuazione, a rivestimento ultimato, dei bordi dei pannelli isolanti e delle teste dei tasselli. La mancanza di una adeguata presa dei tasselli nel supporto, così come la possibilità di un eccessivo movimento residuo dei tasselli, possono indurre un incremento delle sollecitazioni sulla rasatura armata che possono provocarne la fessurazione in punti già di per sé critici con conseguente possibilità di infiltrazione d'acqua in caso di pioggia;
- disgregazione della rasatura armata in caso di utilizzo di reti in fibra di vetro non alcalo-resistenti. Le reti in fibre di vetro, se non apprettate, possono degradarsi in breve tempo e consumarsi a causa dagli alcali contenuti all'interno dei rasanti cementizi. In tale situazione, venendo a mancare l'elemento deputato ad assorbire gli sforzi di trazione, la rasatura perde le sue caratteristiche di resistenza meccanica. Questo facilita sia la formazione di fessure, sia la possibilità di infiltrazioni di acqua in caso di pioggia, così come il rischio di successivi distacchi localizzati della rasatura medesima dallo strato isolante;
- formazione di cavillature/fessurazioni della rasatura e, nei casi peggiori strappo della rete di armatura, in caso di forti sollecitazioni da parte di agenti esterni. Ciò può avvenire soprattutto nel caso in cui siano impiegate reti di armatura con grammatura troppo esigua, caratterizzate da bassi valori di resistenza a rottura per trazione;
- esfoliazione della tinteggiatura e/o dello strato di finitura qualora non venga applicato un idoneo fissativo (primer) sulla rasatura, oppure qualora vi sia una incompatibilità chimica tra rasatura e finitura;
- attacco biologico dello strato di finitura per scarsa idrorepellenza o inadeguata composizione chimica della finitura medesima;
- ecc.

Un'ulteriore causa di possibili criticità a carico di un rivestimento a cappotto è l'inadeguato approfondimento e studio di dettagli e punti singolari. Ciò comporta una carenza di informazioni necessarie a risolvere correttamente tutti quei punti singolari che prescindono dalla stratigrafia in sezione corrente, con il rischio di demandare alla capacità specifica delle maestranze la risoluzione di tali nodi critici.

Una sommaria progettazione dei dettagli/nodi di facciata comporta l'impossibilità, da una parte, di ottenere un rivestimento di qualità certa e, dall'altra, la garanzia del raggiungimento di adeguate prestazioni e durabilità in opera.

Pertanto, oltre alla definizione di dettaglio del progetto, sarà di fondamentale importanza eseguire un'apposita attività di controllo tramite sopralluoghi atti a constatare l'avanzamento dei lavori e la risoluzione di problematiche e/o situazioni non prevedibili in fase di progetto.

A tal riguardo si ricorda come la mancanza a progetto dei giunti di dilatazione per superfici di facciata particolarmente estese può comportare la formazione di fessurazioni ed eventuali distacchi della rasatura armata e della finitura dai pannelli isolanti.

Errori di cantierizzazione (stoccaggio materiali, operazioni e organizzazione del cantiere)

Un'errata movimentazione e/o stoccaggio dei materiali in cantiere è un'ulteriore potenziale causa dell'insorgere di possibili malfunzionamenti e problemi a carico di un sistema di rivestimento a cappotto.

Tuttavia, oltre al danneggiamento dei materiali in fase di movimentazione (che può portare ad esempio a rotture e schiacciamenti dei pannelli isolanti, strappo dei rotoli di rete d'armatura in fibra di vetro, deformazione o rottura di profili di partenza ed angolari di rinforzo), tra le cause primarie di malfunzionamento di un rivestimento a cappotto vi è l'inadeguata modalità di

stoccaggio. In particolare, si segnalano gli aspetti qui di seguito elencati.

Pannelli termoisolanti. I pannelli isolanti devono essere riposti in ambienti protetti dalla pioggia poiché, a seconda del materiale di cui sono costituiti, vi può essere il rischio di assorbimento d'acqua (il quantitativo dipende dalle caratteristiche chimico-fisiche del materiale) da parte degli stessi. Assai critica è la diffusa prassi di smistare l'isolamento termico ai vari piani di ponteggio, iniziare le lavorazioni di posa in opera lasciando poi gli imballi aperti, per l'intera notte o per più giorni, con il rischio di bagnamento del materiale in caso di pioggia. Al riguardo va ricordato che l'impiego di pannelli bagnati, seppur anche solo sulla superficie, comporta alcune significative criticità, quali ad esempio variazioni dimensionali nel caso di utilizzo di materiali isolanti ad alta igroscopicità, alterazione localizzata dell'adesione colla-pannello oppure rasante-pannello (se lo stesso è già stato messo in opera). I rischi che ne derivano sono una inadeguata adesione del pannello al supporto (con conseguente possibilità di movimenti differenziali dei pannelli se sollecitati da forte pressione del vento), nascita e diffusione di cavillature e fessurazioni della rasatura con conseguenti infiltrazioni d'acqua in caso di pioggia, distacchi della rasatura dallo strato isolante a seguito di formazione di bolle e relativi afflosciamenti, ecc. L'insorgere di tali anomalie può provocare precoci e rapidi degradi abbinati ad una forte riduzione della quasi totalità delle prestazioni del rivestimento a cappotto.

Prodotti sciolti da lavorare. Per quanto riguarda invece materiali o prodotti che necessitano di specifiche lavorazioni (miscelazione o incorporazione di altri componenti) prima di essere applicati, quali ad esempio malte per incollaggio e rasanti, strato di finitura, tinteggiature e protettivi, risulta fondamentale che lo stoccaggio avvenga in aree protette dalle alte e basse temperature, dalla pioggia e dall'irraggiamento solare diretto. Questo in quanto tali prodotti, anche se confezionati e non ancora lavorati, possono degradarsi e/o alterare le proprie caratteristiche: temperature eccessivamente elevate o basse (generalmente superiori a +30-35°C e inferiori a +3°C) possono modificare irrimediabilmente i polimeri presenti, così come la pioggia può rendere inutilizzabile la componente secca in polvere di rasanti e collanti. I principali inconvenienti che possono derivare da tali errori di stoccaggio sono: variazioni di colore della finitura, esfoliazione della pittura, insufficiente idrorepellenza dello strato di finitura, distacco della finitura dalla rasatura sottile armata, riduzione della resistenza meccanica della rasatura armata con conseguente possibilità di formazione e diffusione di cavillature e fessure, mancanza di un'adeguata adesione del pannello isolante al supporto e/o della rasatura alla superficie dell'isolante, impossibilità di utilizzo del rasante o collante, ed altri ancora.

Il corretto stoccaggio dei materiali in idonei spazi all'interno del cantiere è pertanto una condizione necessaria per evitare che possano insorgere problemi al rivestimento causati da un anomalo degrado dei singoli materiali costituenti il sistema di rivestimento a cappotto. Un approvvigionamento continuo di materiali, strettamente legato alla velocità di posa in opera degli stessi, può essere una valida strategia di gestione del cantiere nonché un modo per ridurre la durata temporale e le superfici necessarie per lo stoccaggio dei materiali.

Errori derivanti da inadeguata preparazione delle aree di cantiere e "comuni prassi d'uso"

Disporre di aree di lavoro adeguate e protette dall'azione degli agenti atmosferici è un aspetto di fondamentale importanza per poter eseguire nel migliore dei modi le lavorazioni di preparazione e posa di un rivestimento a cappotto.

La presenza di un ponteggio dotato di teli di protezione, leggeri o pesanti a seconda della stagione, aiuta a creare uno spazio discretamente confinato in grado di mantenere un microclima adeguato all'applicazione di collanti e rasanti a basso spessore anche con condizioni meteorologiche non ideali. Nelle stagioni intermedie, quando le temperature non sono ancora così basse da implicare l'interruzione delle lavorazioni di realizzazione del cappotto, il telo di protezione del ponteggio abbinato ad un seppur lieve irraggiamento solare permette infatti di mantenere condizioni di temperatura accettabili durante buona parte della giornata. Nelle stagioni calde invece il telo si configura come una protezione/schermo in grado di limitare l'irraggiamento solare diretto.

Di norma non si applicano mai colle e rasanti al di sotto dei +5°C oppure al di sopra i +30°C (temperatura dell'aria e del supporto) e con valori di umidità relativa non idonei (ad esempio superiori al 90%), eccezione fatta per materiali speciali additivati con appositi componenti che ne permettono la posa anche al di fuori di queste condizioni climatiche. La realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto senza considerare tali aspetti di buona pratica, oltre ad essere classificabile come inadeguata, può essere causa di malfunzionamenti e conseguenti danni al rivestimento. A titolo esemplificativo si segnala come la rapida evaporazione dell'acqua di impasto della rasatura (a causa di elevate temperature, irraggiamento solare diretto, presenza di forte vento in facciata), non permette un adeguato grado di idratazione dei granuli di cemento del composto, generando

una sensibile riduzione della resistenza meccanica complessiva della rasatura abbinata allo sviluppo di cavillature (in gergo cantieristico tale comportamento si identifica come "rasatura bruciata").

Invece nelle stagioni fredde, con temperature eccessivamente basse e possibili gelate, specialmente nelle ore notturne, colle e rasature possono incontrare difficoltà ad asciugare, a sviluppare un adeguato grado di adesione e resistenza meccanica, oppure addirittura gelare (il tutto potrebbe poi essere peggiorato in caso di rivestimento bagnato da pioggia). In tal caso si è di fronte ad una rasatura compromessa, spesso con la necessità di integrale rimozione e rifacimento.

L'utilizzo di un ponteggio dotato di telo e di copertura può ridurre il rischio di bagnamento, in differenti fasi di lavorazione, del supporto, della faccia esterna dello strato di isolamento termico, della rasatura armata e dello strato di finitura, diminuendo così i rischi di malfunzionamenti e danni derivanti da condizioni meteorologiche critiche. Tali semplici e veloci accorgimenti diventano pertanto elementi indispensabili per la corretta realizzazione di un rivestimento a cappotto.

Errori di posa in opera

Un'ulteriore categoria di errori che può condurre a malfunzionamenti e conseguenti danni a carico del rivestimento a cappotto è riconducibile alla modalità di realizzazione e posa in opera. Primo tra tutti è l'impiego di materiali o prodotti non idonei oppure non ottimali per tale applicazione. Questa tipologia di errori deriva da scelte progettuali non consone riguardo gli elementi/materiali che costituiscono il cappotto, ovvero collante, pannelli isolanti, tasselli di fissaggio meccanico, rasatura e rete di armatura, fissativo (primer), finitura superficiale, accessori, ecc. Per far fronte a tale tipologia di errori, riportati nel paragrafo "Errori di tipo progettuale", è necessario intervenire durante la realizzazione del rivestimento mediante sostituzione dei materiali inadeguati. In caso contrario se il rivestimento venisse realizzato con tali prodotti, a breve o lungo periodo, si genererebbero malfunzionamenti e gravi danni sia al rivestimento che al retrostante supporto, abbinati a decadimenti prestazionali dell'intero tamponamento.

Altro aspetto da considerare è l'utilizzo di maestranze non adeguatamente formate allo scopo; cioè non in grado di applicare i materiali in modo del tutto corretto e di configurare adeguatamente i dettagli critici.

Un'applicazione non correttamente eseguita ad opera delle maestranze può contenere diversi errori di realizzazione, i quali possono innescare malfunzionamenti che a loro volta generano degradi e danni al cappotto, ai componenti del supporto e agli elementi edilizi che si interfacciano con lo stesso.

A tal riguardo, tra gli errori più comuni in fase di posa in opera si segnalano:

- mancata verifica della planarità della superficie del supporto murario, presenza di rilevanti fuori piombo difficilmente compensabili con lo strato di collante per la posa dei pannelli isolanti, con il conseguente rischio di realizzazione di una superficie di facciata non planare;
- mancata verifica della compattezza e/o coesione e robustezza del supporto al quale vincolare lo strato isolante. Ciò può comportare un rischio di distacco del collante e del pannello isolante dal supporto, con conseguente sviluppo e diffusione di cavillature e fessure a carico della rasatura armata, nonché possibili distacchi localizzati di porzioni dell'intero rivestimento dal supporto (tale verifica è di particolare importanza se il cappotto viene applicato su un edificio esistente);
- mancata pulizia del supporto murario. Tale operazione può essere eseguita anche tramite lavaggio con idropulitrice, sconsigliato per supporti lignei, per rimuovere sporco e polveri. La presenza di polvere o sporco sulla superficie del supporto può comportare il rischio di avere uno sviluppo di adesione del collante sul paramento murario non adeguato, con possibili distacchi localizzati del rivestimento;
- mancata piombatura degli spigoli e degli allineamenti orizzontali (traguardi) della facciata con conseguente realizzazione di uno strato di isolante termico non planare. Ciò comporta il rischio di realizzare una linea degli spigoli oppure un piano di facciata con superficie non regolare;
- inadeguata preparazione del collante e/o dalla malta, dovuta all'impiego di una eccessiva quantità di acqua d'impasto oppure ad una miscelazione troppo veloce (in termini di tempo e di velocità dell'impastatrice). Ciò può comportare l'utilizzo

di un impasto con grumi e caratteristiche di adesione e resistenza meccanica non omogenee e differenti da quanto previsto in progetto;

- inadeguata modalità di incollaggio del pannello isolante al supporto retrostante. L'applicazione della colla sul retro del pannello con distribuzione non idonea o con quantità di collante non sufficiente all'incollaggio, a seconda della tipologia di materiale isolante impiegato, specialmente per pannelli non stabili dimensionalmente, può generare il rischio di distacchi localizzati o addirittura, deformazioni ed eventuali danneggiamenti del pannello stesso, oltre che la fessurazione della rasatura armata con conseguenti possibili infiltrazioni d'acqua in caso di pioggia;
- accostamento dei bordi dei singoli pannelli non corretto con conseguente rischio di fessurazione della rasatura, possibili infiltrazioni d'acqua in caso di pioggia, danneggiamento e degrado del rivestimento, riduzione della prestazione termica e della durabilità del sistema ;
- presenza di vuoti tra i bordi dei pannelli isolanti riempiti solamente con collante o rasante. In questi punti la malta di riempimento dei giunti funge da collegamento rigido tra supporto e rasatura. Ciò può provocare la fessurazione della rasatura e la possibilità d'infiltrazioni d'acqua in caso di pioggia ;
- mancanza dei profili di partenza, d'angolo, eventuale confinamento superiore e laterale del cappotto. In tal caso il rivestimento a cappotto presenta dei punti critici, meccanicamente deboli e maggiormente soggetti a deformazioni e rotture localizzate. Ciò può facilitare la formazione di fessurazioni e conseguenti infiltrazioni d'acqua in caso di pioggia oppure, nei casi peggiori, cedimenti localizzati dell'intero rivestimento se soggetto ad elevati valori di depressione del vento;
- posa di un numero insufficiente e/o utilizzo di tasselli meccanici in posizione non corretta, con rischio di movimenti residui dei pannelli isolanti e conseguente fessurazione della rasatura armata ed infiltrazioni di acqua. Nei casi peggiori si possono verificare anche il cedimento e il distacco dell'intero sistema di rivestimento se sollecitato da forze di estrazione da vento particolarmente elevate;

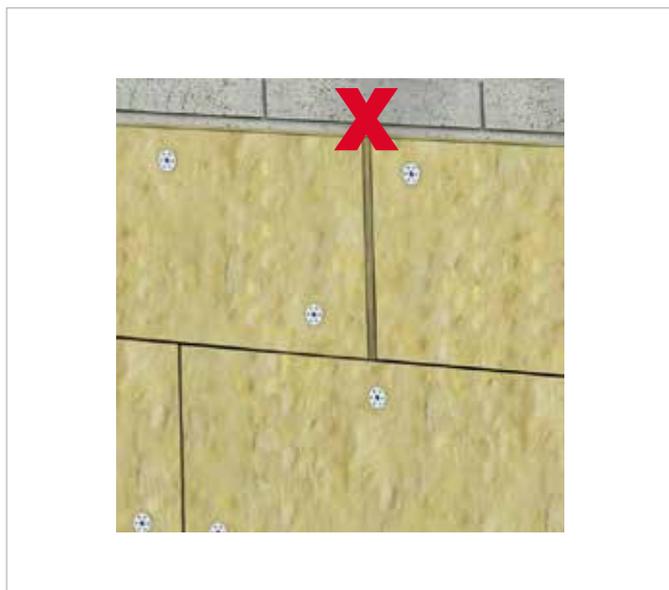


Figura 25 – Accostamento dei bordi dei singoli pannelli non corretto

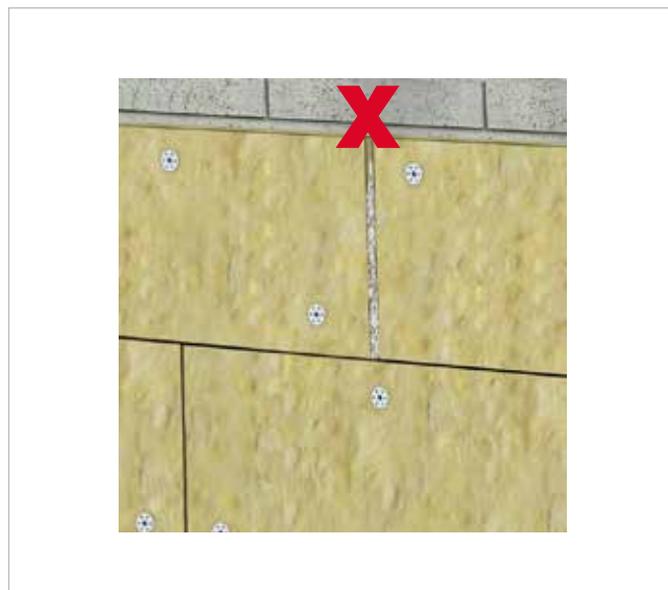


Figura 26 – Presenza di vuoti tra i bordi dei pannelli isolanti riempiti con collante o rasante

- errata posa dei tasselli di fissaggio dei pannelli isolanti al supporto. L'errore spesso consiste nell'eccesso di pressione esercitato dal tassello sulla faccia esterna del pannello isolante con conseguente rottura localizzata del medesimo, oppure nell'inadeguato accostamento della testa del tassello alla superficie del pannello isolante. Nel primo caso il tassello sfonda localmente il pannello e l'avvallamento che si viene a creare, di norma è compensato con un'abbondante applicazione di malta rasante che, nel tempo, oltre a divenire visibile può provocare una significativa fessurazione della rasatura. Nel secondo caso invece il tassello non vincola adeguatamente il pannello isolante al supporto, oltre ad essere un impedimento per la corretta realizzazione della rasatura e della finitura;
- inadeguata preparazione del rasante, dovuto all'impiego di una eccessiva quantità di acqua d'impasto oppure ad una miscelazione troppo veloce (in termini di tempo e di velocità dell'impastatrice). Ciò può comportare l'utilizzo di un impasto con grumi e caratteristiche di adesione e resistenza meccanica non omogenee e differenti da quanto previsto in progetto;
- mancata realizzazione di rinforzi localizzati (realizzati tramite raddoppio della rete di armatura) in corrispondenza degli spigoli di aperture e vani dei serramenti, di sporti o cambi di inclinazione della facciata, e in tutti quei punti in cui si possono concentrare elevate sollecitazioni nella rasatura armata. Ciò comporta l'innescare di ampie fessure della rasatura con conseguente possibile ingresso di acqua in caso di precipitazioni atmosferiche, e conseguente decadimento delle prestazioni e della durabilità del sistema di rivestimento;
- assenza di profili di giunto in corrispondenza dei giunti strutturali oppure dei giunti di dilatazione. Ciò comporta un elevato rischio di fessurazione della rasatura armata (nei casi peggiori strappo della rasatura) e conseguenti infiltrazioni di acqua in caso di pioggia, nonché precoce e repentino decadimento delle prestazioni e della durabilità del rivestimento a cappotto;
- posa di profili angolari orizzontali non dotati di elemento stacca goccia. La mancanza di tale accessorio non permette lo stacco dell'acqua che percola in facciata in caso di pioggia e, in corrispondenza dei voltini, consente che l'acqua possa bagnare la superficie del voltino stesso, provocando lunghi tempi di bagnamento abbinati al rischio di attacco biologico e di rapida formazione di sporco sulla finitura stessa;
- stesa della rete di armatura sulla superficie dei pannelli isolanti prima della realizzazione del primo strato di rasatura e successiva applicazione di rasante per inglobarla. Tale modalità di posa è da considerarsi scorretta e può provocare il distacco della rasatura dal supporto isolante a causa della mancanza di rasante sulla faccia della rete di armatura a contatto con i pannelli isolanti e conseguente riduzione della superficie di incollaggio tra rasatura e pannello. Questa modalità di posa può comportare anche la realizzazione di una rasatura con spessore minimo troppo esiguo e con un elevato rischio di affioramento in superficie della rete di armatura stessa, oltre a creare ondulazioni, rilassamenti e distacchi localizzati della rasatura dai pannelli isolanti. Inoltre, risulta di fondamentale importanza la posizione della rete e il corretto annegamento della stessa all'interno della rasatura al fine di assorbire in maniera idonea gli sforzi di tensione che si verificano all'interno della rasatura stessa ;
- inglobamento della rete solamente all'interno del primo strato di rasatura senza l'applicazione del secondo strato. Questa scorretta modalità di applicazione, oltre a non permettere il corretto inglobamento della rete di armatura nello strato di finitura, può provocare cavillatura e fessurazione della rasatura con conseguenti infiltrazioni d'acqua in caso di pioggia, affioramento in superficie

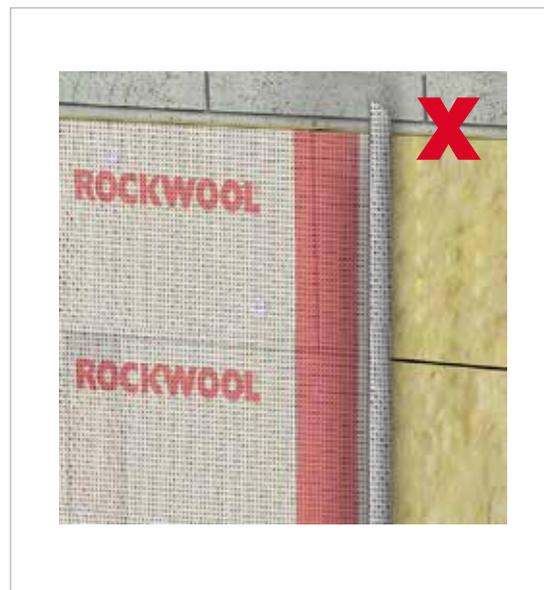


Figura 27 – Stesa della rete di armatura non corretta

della rete di armatura, sensibile riduzione della vita utile, delle prestazioni meccaniche e della durabilità dell'intero sistema di rivestimento a cappotto;

- insufficiente sovrapposizione dei fogli della rete di armatura (il sormonto minimo deve essere di almeno 10 cm), con conseguente elevato rischio di fessurazione della rasatura e, nei casi più gravi, di delaminazione e distacco localizzato dalla rasatura stessa. Ciò può comportare a un decadimento complessivo delle prestazioni, della durabilità e dell'aspetto estetico del rivestimento a cappotto ;
- errata tempistica nell'esecuzione della rasatura armata, in particolare l'intervallo di tempo eccessivamente lungo tra l'applicazione delle due mani di rasatura. Per far sì che i due strati di rasatura facciano corpo tra di loro, inglobando la rete di armatura, il secondo strato deve essere applicato sul primo con la tecnica del fresco su fresco, ovvero la prima rasatura deve iniziare a fare presa ma non essiccare completamente in quanto, se ciò accadesse, avverrebbe la completa polimerizzazione o reticolazione delle resine contenute nell'impasto che ostacolerebbe l'adesione del secondo strato al primo;
- mancanza di adeguato rivestimento dell'isolante in corrispondenza dei fori eseguiti per la realizzazione di attraversamenti impiantistici. I fori realizzati attraverso i pannelli isolanti devono essere opportunamente trattati al fine di evitare infiltrazioni d'acqua e intrusione di insetti;
- mancanza di sigillatura tra rasatura e serramenti (se non si impiega l'apposito profilo di interfaccia), attraversamenti impiantistici, cassette di derivazione, punti luce, fori aerazione locali bagni e/o cucina, fori espulsione aria cappa cucina, staffe di supporto tende da sole, staffe di supporto pensiline, staffe di supporto apparecchiature quali unità moto-condensanti e similari, ancoraggi frangisole, ancoraggi inferriate antieffrazione, ecc. La mancanza della sigillatura in tali zone crea potenziali punti di infiltrazione d'acqua con conseguente possibile danneggiamento della rasatura e della finitura, nonché diminuzione della durabilità del rivestimento a cappotto;
- mancanza di applicazione di fissativo (primer) tra rasatura armata e strato di finitura, con probabile rischio di distacco e/o delaminazione dello strato di finitura stesso dalla rasatura armata. Poiché la totale asciugatura della rasatura armata comporta la completa polimerizzazione delle resine in essa contenute, è fortemente consigliato l'impiego di apposito fissativo quale promotore di adesione tra i due strati;
- applicazione troppo tardiva della finitura sulla rasatura armata già trattata con fissativo. In tal caso vi è il rischio di adesione non ottimale della finitura sul fissativo con conseguenti possibili distacchi dello strato di finitura stesso;
- utilizzo di finitura non idrorepellente senza apposita tinteggiatura protettiva superficiale. Ciò può provocare il rischio di prolungati periodi di bagnamento, più o meno estesi e dipendenti dalla geometria di facciata, con conseguenti possibili attacchi biologici (formazione e proliferazione di muffe e muschi) oppure esfoliazione della finitura stessa, talvolta accompagnata da disgregazione della rasatura armata sottostante;
- protezione non adeguata del sistema di rivestimento a cappotto nelle parti sommitali dell'edificio. Ciò può provocare prolungati periodi di bagnamento e percolazioni d'acqua, con un elevato rischio di: attacco biologico, riduzione delle

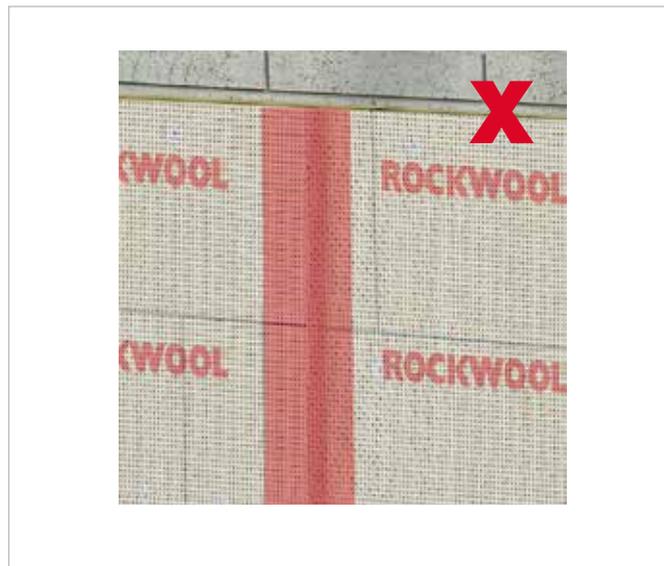


Figura 28 – Insufficiente sovrapposizione dei fogli della rete di armatura

prestazioni termoisolanti, decadimento della durabilità e possibilità di distacchi della rasatura dal pannello isolante. Per ovviare a tali problematiche l'utilizzo di scossaline metalliche rappresenta una valida soluzione;

- mancanza di scossaline di protezione e finitura delle parti orizzontali o sub-orizzontali di facciata, quali davanzali di finestra, modanature di facciata, volumi aggettanti dal piano facciata, ecc. Tali superfici, se non adeguatamente rivestite con scossaline metalliche o altri elementi impermeabili, sono soggette a prolungati cicli di bagnamento della finitura e della rasatura armata che, con il passare del tempo, possono portare al diffondersi di cavillature, fessure, infiltrazioni di acqua, nonché essere soggette a cicli di gelo e disgelo, fino ad arrivare al distacco della rasatura armata stessa;
- mancanza/inadeguata chiusura, sigillatura e finitura del sistema di rivestimento a cappotto in corrispondenza dei tasselli di ancoraggio del ponteggio. Di norma per vincolare un ponteggio alla facciata si utilizzano appositi tasselli in nylon oppure in metallo abbinati a vite con testa a golfare entro la quale inserire il gancio di vincolo del ponteggio. Tali ancoraggi sono gli ultimi elementi da rimuovere in fase di smontaggio del ponteggio; devono essere pertanto opportunamente finiti per evitare di lasciare delle discontinuità nel rivestimento a cappotto. Generalmente s'impiegano appositi tappi di chiusura in plastica la cui testa può essere tinteggiata o rasata con lo strato di finitura del cappotto (si consiglia di applicare del silicone sul perimetro del foro del tassello prima dell'inserimento del tappo per evitare possibili infiltrazioni di acqua). In alternativa all'impiego del tappo è possibile inserire un elemento di fondo giunto, sigillare il foro con apposito materiale siliconico, rifinire superficialmente la sigillatura riportando uno strato di finitura. In entrambi i casi occorre prestare particolare attenzione nell'applicazione della finitura per evitare che differenze di colore e/o tessitura in corrispondenza di tali punti singolari siano percepibili, nonché che gli stessi divengano punti d'infiltrazione acqua con conseguente decadimento prestazionale e danneggiamenti localizzati del rivestimento.

Ulteriore criticità che può essere causa di rotture o danneggiamenti al rivestimento a cappotto, inficiandone prestazioni, durabilità ed aspetto estetico è riconducibile alla possibilità di urti accidentali durante le attività di cantiere. Tali danni si possono verificare in circostanze differenti, tra cui:

- movimentazione di materiali sul ponteggio. La movimentazione dei materiali sul ponteggio deve avvenire con accortezza, in quanto urtare lo strato d'isolamento termico o la rasatura armata di rivestimento potrebbe provocare danni al cappotto, quali strappi dei pannelli isolanti, rotture della rasatura armata e/o della finitura, ecc.;
- fase di smontaggio ponteggio (ad esempio errata manovra dell'operatore addetto allo smontaggio del ponteggio che con un cavalletto, tubo, plancia, o altro elemento di ponteggio urta accidentalmente la superficie del cappotto);
- fase di movimentazione di carichi sospesi mediante gru (ad esempio un'errata manovra può indurre il carico appeso a urtare la superficie di facciata);
- fase di movimentazione di materiali al piede dell'edificio (ad esempio una errata manovra dei materiali che urtano il rivestimento oppure un urto accidentale da parte di un automezzo di cantiere).

I danni arrecati al cappotto sono tanto più gravi quanto l'elemento urtante il rivestimento ha elevata massa e velocità. Il ripristino del danno spesso deve essere eseguito mediante completo rifacimento delle zone di rivestimento danneggiato. Diviene pertanto necessario prestare sempre la massima attenzione quando si eseguono lavorazioni o spostamento di materiali nelle vicinanze di un rivestimento a cappotto, sia esso già ultimato oppure in esecuzione.

B. Modalità di controllo

Al fine di evitare anomalie nel comportamento dei materiali, nella messa in opera e nel funzionamento dell'intero pacchetto di rivestimento a cappotto, diviene fondamentale gestire al meglio le verifiche e i controlli da eseguirsi nelle fasi che caratterizzano la realizzazione del rivestimento: progetto, cantierizzazione, esecuzione (o messa in opera). Per ognuna di queste fasi deve essere stilato un elenco delle procedure di controllo da effettuare con le relative modalità d'esecuzione. Talvolta tali controlli possono sembrare ridondanti, ma il loro scopo è finalizzato ad evitare di incorrere in dimenticanze ed errori dai quali potrebbero dipendere malfunzionamenti, guasti e danni a carico del rivestimento a cappotto una volta completato.

Di seguito si riportano i vari controlli da eseguirsi in ciascuna delle tre fasi e che si ritengono indispensabili per il buon esito della realizzazione del rivestimento.

Tra i controlli da eseguirsi in fase di progettazione, impiegando strumenti più o meno raffinati ma di esito certo, vi sono:

- controllo e verifica numerica, anche mediante simulazioni con software dedicati, delle prestazioni che la soluzione d'involucro di facciata, così come definita, è in grado di fornire. Nel dettaglio devono essere verificate le seguenti prestazioni della chiusura: isolamento termico, isolamento acustico, tenuta all'aria, tenuta all'acqua, controllo della diffusione del vapore (condensazione superficiale ed interstiziale), resistenza meccanica, comportamento al fuoco, affidabilità e durabilità;
- verifica della compatibilità chimico-fisica tra i materiali individuati a progetto mediante comparazione diretta tra le schede tecniche. Per la realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto di qualità è buona norma prevedere l'impiego di uno specifico kit o ciclo offerto dai vari produttori. Tale verifica assicura l'impiego di materiali tra loro perfettamente compatibili e di elevata affidabilità e durabilità. Il sistema REDArt di ROCKWOOL ne è un esempio;
- controllo della soluzione definita tramite l'analisi di "albero dei guasti" e "albero degli errori", ciò per prevenire l'insorgere ed il diffondersi di anomalie e/o malfunzionamenti che possono generare guasti al sistema di rivestimento a cappotto;
- verifica dello sviluppo di ogni dettaglio e/o punto singolare del sistema di rivestimento a cappotto relativo allo specifico caso progettuale, definizione grafica di dettaglio ed all'occorrenza descrizione della particolare procedura di esecuzione. La definizione della sola sezione corrente, verticale ed orizzontale, non assicura né un adeguato strumento di supporto alle maestranze, né tantomeno il raggiungimento della qualità e delle prestazioni progettualmente richieste;
- verifica della presenza all'interno del cronoprogramma lavori di attività di controllo specifico legate alle singole lavorazioni, il cui esito positivo consente di procedere con le lavorazioni successive;
- verifica del rispetto delle indicazioni contenute all'interno di specifici documenti inerenti ai sistemi di rivestimento a cappotto quali: schede tecniche, manuali di buona pratica, normative nazionali, ETA, DoP, ecc.

Tra i controlli che il direttore lavori dovrà eseguire durante le fasi di allestimento cantiere, si segnalano i seguenti:

- verifica della presenza di aree di stoccaggio adeguatamente protette dalle intemperie (specialmente per lo stoccaggio dei pannelli isolanti, componenti in polvere, fissativi, finiture ecc.) e sufficientemente ampie per ospitare i materiali necessari alla regolare e continuativa esecuzione delle lavorazioni;
- verifica della presenza di copertura del ponteggio per limitare al massimo, in caso di pioggia, il bagnamento della facciata durante la realizzazione del rivestimento;
- verifica della presenza sul fronte del ponteggio di adeguati teli di protezione per garantire le migliori e più adatte condizioni microclimatiche per l'esecuzione delle differenti lavorazioni;
- verifica di adeguata informazione delle maestranze per quanto concerne le modalità di stoccaggio e movimentazione dei materiali, al fine di prevenire possibili danneggiamenti degli stessi.

Per quanto concerne invece i controlli che il direttore lavori dovrà eseguire durante la realizzazione di un sistema di rivestimento a cappotto, si ricordano i seguenti:

- verifica della corrispondenza tra i materiali approvvigionati (collante, isolante, tasselli, rasante, rete di armatura, fissativo, finiture, accessori vari, ecc.) e quelli previsti in fase di progetto, tramite controllo documentale delle bolle di consegna e delle schede tecniche allegate. L'accettazione dei materiali in cantiere deve avvenire solo dopo l'esito positivo del controllo effettuato;
- verifica delle corrette modalità di stoccaggio dei materiali;
- verifica della presenza di adeguate condizioni microclimatiche per l'esecuzione delle lavorazioni;
- verifica dell'adeguata compattezza e/o robustezza del supporto murario al quale vincolare lo strato isolante, mediante strofinamento e battitura di massa metallica sulla superficie di facciata per individuare eventuali aree ammalorate che dovranno essere rimosse e ripristinate. Tale controllo è di fondamentale importanza in caso d'intervento su edificio esistente;
- esecuzione di prove di strappo dell'intonaco del supporto murario per verificarne i valori di resistenza meccanica, e successivo controllo della sua scabrezza superficiale onde poter garantire un adeguato aggrappo del collante dei pannelli isolanti. Tale controllo è di fondamentale importanza in caso d'intervento su edificio esistente;
- verifica della planarità del supporto murario di facciata, mediante piombature di spigolo e allineamenti orizzontali (traguardi), supportati anche da verifiche con strumentazione laser, al fine di individuare la necessità di eventuali compensazioni con specifici prodotti oppure di rimozione di eventuali eccedenze di materiale;
- verifica della pulizia del supporto murario prima della posa dei pannelli isolanti;
- verifica della corretta messa in opera dei profili di partenza (in particolare verifica del rispetto della distanza minima, pari a circa 3 mm, tra uno spezzone di profilo e l'altro, verifica della presenza di connettori plastici di collegamento tra spezzone e spezzone, ecc.);
- controllo della presenza di idonee condizioni climatiche per la realizzazione e la posa del collante. Evitare la posa del collante con temperature eccessivamente elevate oppure eccessivamente basse (generalmente superiori ai +30°C ed inferiori ai +5°C), valutare la possibilità di: gelo notturno o nel giorno successivo la posa, condizioni di pioggia battente e vento eccessivo che lambisce la facciata, presenza di neve sul ponteggio, ecc., ovvero condizioni meteorologiche che possono mettere a rischio la buona realizzazione della lavorazione;
- controllo, a campione, della corretta modalità di preparazione del collante, verificando i quantitativi d'acqua utilizzata, delle modalità e del tempo di miscelazione componenti, nonché delle relative tempistiche di utilizzo;
- a campione: verifica della corretta modalità di applicazione (incollaggio a cordoni e plotte oppure a tutta superficie), distribuzione e quantitativo di collante sul retro dei pannelli isolanti, controllo della corretta applicazione dei pannelli isolanti al supporto mediante sufficiente pressione e piccoli movimenti in orizzontale per assicurare una distribuzione ottimale del collante sul retro del pannello. Se si utilizzano pannelli isolanti in lana di roccia, affinché l'incollaggio sia efficace, è necessario che il collante penetri tra le fibre superficiali del pannello;
- nel caso di utilizzo di pannelli isolanti in lana di roccia a doppia densità, il collante deve essere applicato sul lato a densità inferiore (lato in cui non sono presenti scritte o marchiature nel caso di prodotto isolante specifico da cappotto ROCKWOOL);
- verifica del corretto accostamento dei bordi tra i pannelli isolanti;
- controllo dello sfalsamento tra i vari corsi dei pannelli isolanti posti in opera;

- verifica dell'assenza di giunti tra pannelli isolanti riempiti con solo collante;
- verifica della presenza e della corretta messa in opera dei profili di rinforzo d'angolo, di confinamento superiore e laterale, al fine di evitare la realizzazione di porzioni di rivestimento poco resistenti alle sollecitazioni agenti in facciata;
- verifica dell'uso dei più appropriati tasselli in relazione alla tipologia di supporto sul quale vincolare i pannelli isolanti, ivi incluse le prove di estrazione (pull out) per verificare le effettive prestazioni in opera dei tasselli;
- verifica del rispetto del numero minimo e della posizione dei tasselli meccanici, per ogni singolo pannello isolante, secondo quanto previsto a progetto;
- verifica della corretta modalità di posa dei singoli tasselli di ritegno dell'isolante al fine di evitare che la testa plastica possa incidere e sfondare localmente la superficie dei pannelli isolanti oppure rimanere non aderente alla medesima nel caso di tasselli con montaggio a filo isolante;
- verifica, a campione, della corretta modalità di preparazione del rasante tramite controllo del quantitativo d'acqua di impasto utilizzata, delle modalità e del tempo di miscelazione dei componenti, nonché delle relative tempistiche di utilizzo;
- verifica della presenza e della corretta messa in opera di rinforzi localizzati mediante raddoppio della rete di armatura in corrispondenza degli spigoli delle aperture dei serramenti (fazzoletto di opportuna dimensione posto a 45°), dei cambi di planarità e/o inclinazione della facciata, nonché in tutti i punti che si differenziano rispetto alla sezione corrente verticale ed orizzontale del rivestimento e che necessitano di una maggiore resistenza meccanica;
- verifica della presenza e della corretta messa in opera dei profili angolari verticali e orizzontali (per questi ultimi dotati di elemento stacca goccia) in corrispondenza degli spigoli di facciata, aperture, imbotti dei serramenti, ecc.;
- verifica della presenza e della corretta messa in opera dei profili con i quali realizzare i giunti di dilatazione (qualora previsti);
- controllo della presenza di idonee condizioni climatiche per la realizzazione e l'impiego del rasante. Evitare la realizzazione delle rasature con temperature eccessivamente elevate oppure eccessivamente basse (superiori ai +30°C ed inferiori ai +5°C se non adeguatamente formulati allo scopo), valutare il rischio di: gelo notturno o nel giorno successivo alla posa, condizioni di pioggia battente ed eccessivo vento che lambisce la facciata, nonché presenza di neve sul ponteggio, ecc., ovvero condizioni meteorologiche che possono mettere a rischio la buona realizzazione della lavorazione;
- verifica della corretta modalità di applicazione e stesura della prima mano di rasatura sui pannelli isolanti. Nel caso di impiego di pannelli in lana di roccia è fortemente consigliato effettuare l'apprettatura (prima di applicare la prima mano di rasatura) in modo che il rasante penetri tra le fibre superficiali del pannello;
- verifica della corretta modalità di stesa ed annegamento della rete di armatura all'interno della rasatura rispettando gli spessori e la posizione della rete previsti dal sistemista in funzione della tipologia di isolante e del ciclo utilizzato in base alle indicazioni presenti nella documentazione tecnica, controllando che non vi siano ondulamenti della rete o grumi della rasatura stessa;
- verifica dell'adeguata sovrapposizione tra i diversi fogli di rete di armatura, per almeno 10 cm, prima di procedere con l'inglobamento/ricoprimento con malta rasante;
- verifica della corretta modalità di applicazione e stesura della seconda mano di rasante al di sopra della rete di armatura, controllando che venga adottata la tecnica della posa fresco su fresco. Controllare inoltre che non vi siano ondulazioni della rete di armatura e grumi nella rasatura stessa;
- controllo del rispetto dei tempi massimi entro i quali applicare la malta rasante una volta preparata; superate tali tempistiche la malta deve essere eliminata e ne deve essere preparata di nuova;

- verificare che ogni singola porzione dello strato isolante sia stata rivestita con la rasatura armata, in particolare in corrispondenza di attraversamenti impiantistici e punti singolari, quali prese di aerazione locali cucina, prese d'aria o espulsione prodotti di combustione, ecc.;
- verifica della presenza e della corretta realizzazione delle sigillature in corrispondenza dell'interfaccia tra rasatura ed altri elementi edilizi quali: serramenti (in alternativa si può impiegare apposito profilo autoadesivo di collegamento), attraversamenti impiantistici, cassette di derivazione, punti luce, ecc.;
- verifica della corretta modalità di applicazione, e in quantitativo sufficiente, del fissativo, quale promotore di adesione sull'intera superficie della rasatura armata;
- controllo della presenza di idonee condizioni microclimatiche per la realizzazione e l'impiego del fissativo e della finitura. Evitare l'applicazione con temperature troppo elevate oppure troppo basse (superiori ai +30°C ed inferiori ai +5°C se non adeguatamente formulati allo scopo), valutare il rischio di: gelo notturno o nel giorno successivo alla posa, condizioni di pioggia battente ed eccessivo vento che lambisce la facciata, nonché presenza di neve sul ponteggio, ecc., ovvero condizioni meteorologiche che possono mettere a rischio la buona realizzazione della lavorazione;
- verifica della corretta modalità di preparazione (impasto e lavorazione) della finitura prima della sua messa in opera;
- verifica della corretta modalità di applicazione e lavorazione finale della finitura;
- verifica della corretta modalità di applicazione di eventuali tinteggiature protettive per enfatizzare la colorazione superficiale e diminuirne le porosità, riducendo il rischio di formazione di sporco;
- verifica della corretta messa in opera di eventuali scossaline metalliche di coronamento, raccordo e protezione del cappotto;
- verifica della più idonea modalità di smontaggio del ponteggio per evitare danneggiamenti accidentali del cappotto ultimato;
- verifica della chiusura, sigillatura e finitura del rivestimento (tramite apposito tappo o riempimento con fondo giunto e silicone) in corrispondenza dei tasselli di ancoraggio del ponteggio.

Per gestire al meglio l'intero iter realizzativo di un sistema di rivestimento a cappotto (dal progetto al collaudo), sia esso realizzato su edificio esistente oppure di nuova costruzione, i controlli e le verifiche da attuare nelle fasi di progetto, cantierizzazione e realizzazione, devono essere scrupolosi, ben eseguiti, temporalmente ben cadenzati; ciò al fine di evitare di incorrere in errori che possono provocare malfunzionamenti, guasti e di conseguenza danni al sistema di rivestimento a cappotto una volta ultimato.

C. Strategie d'intervento attuabili in sede di controllo

Per garantire la qualità e le prestazioni di un componente, sistema o subsistema edilizio, oltre ad un'attenta progettazione, diviene di fondamentale importanza poter disporre di maestranze competenti e specializzate. In aggiunta a ciò, controlli mirati e accurati ad opera della direzione lavori durante le varie fasi di realizzazione configurano uno scenario ottimale entro il quale poter installare un sistema di rivestimento a cappotto di elevato livello qualitativo e dalle prestazioni certe. Per ottenere ciò vi deve essere un adeguato raccordo tra la fase di progetto e quella di realizzazione. Un possibile strumento di raccordo può essere costituito da un breve documento, di semplice e facile lettura, in grado di accompagnare impresa e maestranze durante l'iter realizzativo della soluzione. Esso deve contenere le indicazioni delle caratteristiche e delle prestazioni che il cappotto dovrà garantire nel tempo, l'elenco dettagliato delle varie fasi di realizzazione, la sequenza operativa, la rappresentazione grafica dei nodi di dettaglio e l'elenco degli accorgimenti da adottare in fase esecutiva.

Accanto alle indicazioni specifiche sulla realizzazione del cappotto, che possono variare da realizzazione a realizzazione in base all'impiego di differenti materiali e diverse conformazioni geometriche di facciata, è buona norma predisporre ed impiegare una specifica scheda giornaliera di lavorazione.

La scheda di lavorazione giornaliera, compilata e firmata dal caposquadra, deve contenere precise informazioni quali: data, posizione di lavorazione (riferita alla facciata/piano dell'edificio), composizione della squadra di lavoro, condizioni climatiche della giornata, lavorazioni effettuate, difformità di realizzazione rispetto a quanto previsto in progetto, note varie. Questo semplice documento diviene uno strumento di rilevante importanza in quanto, da una parte consente a impresa e direttore lavori di mantenere sotto controllo l'andamento delle lavorazioni, l'individuazione di criticità di lavorazione o le difficoltà nell'esecuzione di alcuni nodi singolari, mentre dall'altra responsabilizza le maestranze stesse sulle lavorazioni che stanno eseguendo. Rispetto a quest'ultimo aspetto il vantaggio è duplice:

1. permette facilmente di individuare le aree di facciata sulle quali una determinata squadra ha operato, operazione particolarmente utile nel caso in cui si dovessero verificare malfunzionamenti e danni al rivestimento localizzati ma sistematici;
2. comporta una responsabilizzazione delle squadre di lavoro, dal momento che in caso di non ottimale realizzazione di una porzione di rivestimento la direzione lavori è in grado di risalire a chi e quando ha eseguito le lavorazioni, agendo da deterrente rispetto all'esecuzione di lavorazioni improvvisate o mal eseguite.

Cantiere di via _____ Impresa _____		
Sistema di rivestimento a cappotto, marca _____		
Scheda lavorazioni giornaliera n: _____		
Data _____	Indicazione grafica pianta/prospetto	Tavola progetto n: _____
Fronte _____		Varianti <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
Piano _____		se SI quali: _____
Condizioni meteo _____		_____
T max °C _____		_____
T min °C _____		_____
U.R. % _____	_____	_____
Composizione squadra di lavoro:	Lavorazioni eseguite:	
caposquadra _____	_____	
aiuto _____	_____	
aiuto _____	_____	
Note:	_____	

Firma responsabile squadra: _____		
Visto per approvazione D.L.	Visto per approvazione Impresa Costruzioni	
Data _____	Data _____	
Timbro e firma	Timbro e firma	

Figura 29 - Esempio di format di una scheda di lavorazione giornaliera

D. Controlli e certificazioni finali

I controlli finali dell'opera sono necessari a constatare l'ultimazione delle lavorazioni e ad attestarne la corretta esecuzione, intesa come rispetto delle indicazioni progettuali, corretta messa in opera dei materiali e componenti, effettivo raggiungimento delle prestazioni progettualmente definite.

Generalmente a lavorazioni ultimate un professionista rilascia un collaudo o certificato di corretta esecuzione dei lavori. Per procedere al rilascio di tale documentazione, specifico in questo caso per il sistema di rivestimento a cappotto, è necessario disporre di: documentazione di progetto, documentazione tecnica e bolle di consegna dei materiali approvvigionati ed impiegati, verbali di sopralluogo eseguiti durante le lavorazioni, report fotografico delle fasi salienti delle lavorazioni e tavole as-built dell'opera.

Il professionista che rilascia la dichiarazione è di norma il direttore lavori, il quale conoscendo in dettaglio l'opera ed avendo espletato accurati sopralluoghi e verifiche durante la realizzazione, prima di emettere il collaudo verifica che:

- il sistema di rivestimento a cappotto sia stato ultimato in tutte le sue parti;
- la colorazione della finitura sia omogenea;
- non sia stato danneggiato il rivestimento in fase di smontaggio ponteggio e disallestimento del cantiere;
- sia stata effettuata un'accurata pulizia delle aree di cantiere.

Dopo tali verifiche è in grado di rilasciare la dichiarazione di corretta esecuzione delle opere (o collaudo).

Al CSE (Coordinatore della Sicurezza in fase di Esecuzione) spetta invece la produzione/raccolta della documentazione da inserire nel Fascicolo dell'Opera.

È inoltre opportuno che una copia della documentazione tecnica raccolta ad opera del Direttore Lavori venga consegnata al proprietario oppure all'Amministratore dello stabile. Ciò diviene estremamente utile per impostare le future manutenzioni ordinarie e straordinarie delle facciate.

Nel caso in cui il professionista incaricato per il collaudo del rivestimento sia una figura terza rispetto al progettista o direttore lavori, i controlli da eseguirsi, in aggiunta a quelli sopra elencati, sono:

- sopralluoghi cadenzati, concordati con la direzione lavori, durante la realizzazione del sistema di rivestimento;
- raccolta e controllo di coerenza tra i documenti di progetto, i verbali rilasciati dalla direzione lavori e le tavole as-built.

Per ottenere un sistema di rivestimento a cappotto di elevata qualità, oltre a disporre di materiale idonei allo scopo, la strada che si deve percorrere è quella dell'accurata progettazione abbinata a idonee e corrette modalità di applicazione affiancate da meticolosi controlli, affinché nulla venga improvvisato.





Bibliografia

Bibliografia

Testi

- Talamona L. "Sintesi guidata delle Regole Tecniche Verticali 13 e 14 – Applicazione a un caso di studio", ROCKWOOL Italia S.p.A., Milano, 2023
- AA.VV. "Acustica in edilizia. Teoria metodi e applicazioni per l'isolamento acustico con lana di roccia", ROCKWOOL Italia S.p.A., Milano, 2021
- Talamona L. "Sintesi guidata del Decreto Ministeriale 03/08/2015 – Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi", ROCKWOOL Italia S.p.A., Milano, 2015
- AA.VV. "Soluzioni costruttive per edifici in legno" ROCKWOOL Italia S.p.A., Milano, 2015
- AA.VV. "Pareti ventilate ad alte prestazioni" ROCKWOOL Italia S.p.A., Milano, 2013
- AA.VV. "Coperture ad elevate prestazioni", ROCKWOOL Italia S.p.A., Milano, 2009
- Mazzucchelli E. S. "Sistemi costruttivi in legno. Tecnologie, soluzioni e strategie progettuali verso edifici Zero Energy" Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2016

Linee guida e regole tecniche

- *Manuale per applicazione del Sistema a Cappotto - CORTEXA (Consorzio per la cultura del sistema a cappotto)*
- *CNR-DT 207/2008 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*

Riferimenti legislativi

- *D.M. 03 agosto 2015 – Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi*
- *D.M. 30 marzo 2022 - Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le chiusure d'ambito degli edifici civili, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139*
- *D.M. 19 maggio 2022 "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per gli edifici di civile abitazione, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139"*
- *D.M. 10 marzo 2005 – Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso d'incendio, con s.m.i. previste dal:*
- *D.M. 14 ottobre 2022 – Modifiche al decreto 26 giugno 1984, concernente "Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi", al decreto del 10 marzo 2005, concernente "Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso d'incendio" e al decreto 3 agosto 2015 recante "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139"*
- *DPCM 5 dicembre 1997 – Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*
- *D.M. 26 giugno 2015 – Applicazione delle metodologie delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*
- *D.M. 26 giugno 2015 – Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici"*
- *D.M. 26 giugno 2015 – Adeguamento del D.M. del 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*
- *D.Lgs. 192/2005 – Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, con s.m.i. previste dal:*

- *D.Lgs. 311/2006 – Disposizioni correttive ed integrative al D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia, e dal:*
- *D.Lgs. 48/2020 – Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica;*
- *D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*
- *Circolare 21 gennaio 2019, n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*

Normative

- *UNI EN ISO 12354-1/3:2017 “Valutazione delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni dei prodotti”*
- *UNI EN ISO 717-1:2021 “Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 1: Isolamento acustico per via aerea”*
- *UNI 11175-1:2021 – “Linee guida per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici – Parte 1: Applicazione delle norme tecniche alla tipologia costruttiva nazionale e”*
- *UNI EN ISO 10211:2018 “Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati”*
- *UNI EN 13501-1:2019 “Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 1: Classificazione in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco”*
- *UNI EN 15026:2008 “Prestazione termoigrometrica dei componenti e degli elementi di edificio - Valutazione del trasferimento di umidità mediante una simulazione numerica”*
- *UNI EN ISO 13786:2018 “Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo”*
- *ISO 15099:2003 “Thermal performance of windows, doors and shading devices -- Detailed calculations”*
- *UNI EN ISO 14683:2018 “Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento”*
- *UNI EN 13792:2012 “Prestazione termica degli edifici - Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione - Metodi semplificati”*
- *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”*
- *UNI EN 12831-1:2018 “Prestazione energetica degli edifici - Metodo per il calcolo del carico termico di progetto - Parte 1: Carico termico per il riscaldamento degli ambienti”*
- *UNI EN ISO 13790:2008 “Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento”*
- *UNI TS 11300-1:2014 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”*
- *UNI EN 1998-3:2005 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici”*
- *UNI/TR 11715:2018 “Isolanti termici per edilizia. Progettazione e messa in opera dei sistemi isolanti termici per l'esterno (ETICS)”*
- *European Assessment Document EAD 040089-00-0404 (ETICS with renderings for the use on timber frame buildings), 2016*
- *European Assessment Document EAD 040465-00-0404 (ETICS with renderings on mono-layer or multi-layer wall made of timber), 2017*

Il Gruppo ROCKWOOL

ROCKWOOL Italia S.p.A. è parte del Gruppo ROCKWOOL. Con oltre 80 dipendenti, siamo l'organizzazione locale che offre sistemi di isolamento avanzati per l'edilizia.

Nel Gruppo ROCKWOOL ci dedichiamo ad arricchire la vita di tutti coloro che entrano in contatto con le nostre soluzioni. La nostra expertise si presta perfettamente a far fronte a molte delle principali sfide odierne in fatto di sostenibilità e sviluppo, dal consumo energetico all'inquinamento acustico, dalla resilienza al fuoco alla carenza idrica e alle alluvioni.

La nostra gamma di prodotti rispecchia la diversità di bisogni a livello mondiale e aiuta i nostri stakeholder a ridurre la propria impronta energetica.

La lana di roccia è un materiale versatile ed è la base di tutte le nostre attività. Con circa 12.400 colleghi appassionati in 40 Paesi, siamo il leader mondiale nelle soluzioni in lana di roccia: dall'isolamento degli edifici ai controsoffitti acustici, dai sistemi di rivestimento esterno alle soluzioni per l'orticoltura, dalle fibre speciali per uso industriale ai prodotti isolanti per il settore industria, marina e offshore.

ROCKWOOL Italia S.p.A.

Via Canova, 12
20145 Milano
Tel. 02.346.13.1

ISBN 978-88-908722-9-7



www.rockwool.com/it