

LA TECNOLOGIA DEI RIVESTIMENTI DI FACCIATA A SCHERMO AVANZATO: I SISTEMI ED I MATERIALI

Costanza Santoro

Estratto da tesi di dottorato

3.1. SISTEMI DI RIVESTIMENTO DI PARETE

Definizione e classificazione

Un sistema di rivestimento esterno di parete è un insieme, più o meno complesso di strati funzionali, parte delle chiusure verticali, aventi come funzione primaria quella di proteggere gli edifici dagli agenti atmosferici e dalle sollecitazioni esterne cui sono sottoposti nonché di garantire al sistema di chiusura una uniformità di aspetto con eventuale non ultima, funzione decorativa e rappresentativa.

Molto spesso ai termini di rivestimento e finitura viene attribuito lo stesso significato: per essere più precisi si può parlare di *rivestimento* quando ci si riferisce all'applicazione su di un supporto esistente di un qualsiasi materiale di spessore determinato, mentre la *finitura* consiste nell'applicazione di uno strato corticale sottile sul quale si possono eseguire eventuali ulteriori trattamenti di tinteggiatura.

I rivestimenti esterni possono essere realizzati con una vasta gamma di prodotti (si va dai materiali lapidei ai metallici, ai ceramici ai plastici) che oltre alle funzioni base sopra citate, a seconda del sistema utilizzato per la messa in opera, possono assolverne altre più specifiche quali quelle di contribuire all'innalzamento dei parametri di isolamento termico e/o acustico.

Ognuno dei materiali elencati, al momento della posa in opera come ultimo strato del rivestimento di facciata viene a far parte di un sistema che concorre a determinare il comportamento complessivo dell'edificio nella sua interezza.

I sistemi oggi in uso negli interventi di recupero delle facciate sono molto numerosi, costituiti, esemplificando e partendo dall'esterno del sistema, dall'elemento di rivestimento, dalla struttura di collegamento e aggrappo, dall'elemento isolante (non sempre presente a seconda che la facciata su cui si interviene possieda o meno caratteristiche efficaci di isolamento termico)* e dalla struttura di supporto, diversificati in base all'accostamento dei vari materiali che lo compongono, del tipo di materiale, del numero degli strati funzionali nonché della successione degli strati definita in fase di progetto in funzione degli obiettivi progettuali e prestazionali di volta in volta prefissati.

Tutti gli elementi del sistema interagiscono tra loro e devono necessariamente essere tra loro compatibili oppure resi tali. Questo è un aspetto di importanza fondamentale: l'intervento sul costruito presuppone la necessità di interfacciare il nuovo rivestimento con le strutture preesistenti.

Visti i numerosi elementi e prodotti che concorrono alla realizzazione dei vari sistemi, risulta difficile raggrupparli sotto una unica classificazione. Molti di essi vengono progettati di volta in volta in base a specifiche esigenze formali, rappresentative, funzionali e prestazionali nonché a seconda dell'impegno finanziario e non ultima, della destinazione d'uso dell'edificio.

La progettazione talvolta può essere parziale, interessare cioè soltanto alcuni particolari (ad esempio solo gli elementi di fissaggio) di un sistema standard oppure può riguardare l'intero sistema, come avviene ad esempio nel caso di interventi in edifici particolari in cui è necessario progettare ad hoc ogni elemento costituente il sistema a causa di variabili fisse non modificabili proprie del singolo intervento.

3.2. ANALISI PRESTAZIONALE: FUNZIONI ESSENZIALI E FUNZIONI COMPLEMENTARI

I sistemi di rivestimenti delle pareti esterne concorrono a determinare il comportamento complessivo dell'edificio.

Per rispondere a esigenze di resistenza, di sicurezza, di benessere igrotermico ed acustico, di aspetto e durabilità devono avere particolari requisiti di stabilità di resistenza al vento, agli urti, al fuoco, di tenuta all'acqua e all'aria.

La norma UNI 7959 definisce i requisiti che interessano le pareti perimetrali verticali nel loro complesso, in cui sono compresi tutti gli strati funzionali, individuandoli in base a classi di esigenza.

REQUISITI PRESTAZIONALI DELLE PARETI PERIMETRALI VERTICALI

PARETI PERIMETRALI VERTICALI UNI 7959

REQUISITI DI SICUREZZA	REQUISITI DI FRUIBILITA'
------------------------	--------------------------

* Si precisa che il problema del confort termico è relativo per lo più al parco immobili costruito precedentemente alla normativa di riferimento. La legge 373 "Contenimento dei consumi energetici" è solo del '76 sostituita in seguito dalla Legge 10/91.

Assenza di emissione di sostanze nocive	Attrezzabilità
Resistenza al fuoco	
Resistenza meccanica	REQUISITI DI ASPETTO
Resistenza agli urti	Regolarità delle finiture
Resistenza al vento	Controllo della regolarità geometrica
Limitazione delle temperature superficiali	
REQUISITI DI BENESSERE	REQUISITI DI GESTIONE
Controllo della condensa interstiziale	Resistenza agli agenti chimici
Controllo della condensa superficiale	Resistenza agli attacchi biologici
Controllo dell'inerzia termica	Resistenza al gelo
Isolamento termico	Resistenza ai carichi sospesi
Tenuta all'acqua	Resistenza agli urti
Permeabilità all'aria	Resistenza a strappo
Isolamento acustico	Resistenza all'acqua

3.3. IL SISTEMA CHIUSURA VERTICALE : MODELLO FUNZIONALE DEGLI ELEMENTI DEL SISTEMA

3.3.0 PREMESSA E DEFINIZIONI

La norma UNI 8979 fa un'analisi dettagliata degli strati, compreso quello di rivestimento esterno che devono essere presi in considerazione nella progettazione delle pareti perimetrali esterne. Naturalmente non tutti gli strati analizzati sono sempre presenti in ogni sistema di rivestimento e non seguono la medesima successione nell'accostamento dato che è compito della progettazione la creazione delle varie soluzioni specifiche.

Qui l'analisi si limita alla definizione dei tre strati principali ed alla descrizione della loro funzione:

A) Elemento portante

E' la struttura alla quale vengono ancorate con diversi sistemi di aggancio le altre stratificazioni del sistema di rivestimento.

Può essere un elemento strutturale oppure a sua volta solo di tamponamento.

Deve essere sempre presente e la sua funzione consiste :

- se è portante nel sopportare i carichi dovuti al peso degli strati ad esso vincolati, i sovraccarichi dovuti alla pressione e depressione del vento ed i carichi dovuti agli urti accidentali che si possono produrre sull'interno o sull'esterno della parete stessa;
- se è portante oltre alle funzioni precedenti deve avere funzioni statiche rispetto all'equilibrio complessivo dell'edificio, deve cioè sopportare i carichi propri e di esercizio statici e dinamici complessivi della costruzione.

B) Elemento di ancoraggio

E' l'elemento o l'insieme degli elementi e dei dispositivi che hanno la funzione di assicurare il fissaggio dei diversi strati tra loro e all'elemento portante.

La progettazione dei sistemi di rivestimento, dai tipi tradizionali a quelli più innovativi, vede il suo punto centrale nel collegamento tra l'elemento di rivestimento e la struttura di supporto.

E' progettato per assolvere alla funzione di controllo dei movimenti differenziali tra gli elementi a contatto e delle sollecitazioni di qualsiasi natura a cui è sottoposta la parete, impedendone la trasmissione agli altri strati.

E' costituito da prodotti applicati a umido (malte o collanti a base di resine) o a secco (profili, zanche, rivetti) la cui scelta va fatta considerando le numerose variabili del sistema e tenendo presente che tutti gli elementi adottati devono essere tra loro compatibili.

Particolare importanza assumono i dispositivi di ancoraggio a secco che devono essere scelti e calcolati in funzione del tipo di superficie muraria (tipo di preesistenza, tipo di materiale, caratteristiche statiche e strutturali), dei carichi accidentali e permanenti in esercizio, del tipo di rivestimento e della distanza tra questo e la struttura di supporto.

Ogni sistema di ancoraggio a secco deve avere nei confronti degli elementi di rivestimento attraverso l'utilizzo di uno o più dispositivi, la funzione di sostegno e ritegno nella posizione voluta, di aggiustaggio nelle tre direzioni spaziali, di trasferimento dei carichi orizzontali e verticali, di assorbimento degli assestamenti e delle dilatazioni differenziali.

Per ogni progetto si individuano i dispositivi tra quelli seriali che offre la produzione, a meno che non siano già presenti sull'elemento prefabbricato: in alcuni casi si rende necessario progettare e realizzare su misura alcuni di essi.

I calcoli dei carichi vengono eseguiti sempre più spesso dalla stessa ditta che fornisce i dispositivi di ancoraggio.

Vengono verificati i carichi agenti sul rivestimento (peso di ogni elemento, azioni del vento e sismiche ecc.) rispetto agli ancoraggi che lo devono sostenere e la resistenza a rottura, a flessione e a strappo del perno (tassello) fissato alla struttura di supporto.

C) Strato di rivestimento esterno

E' lo strato che ha la funzione di soddisfare le esigenze di protezione, aspetto e finitura della parete.

In relazione ai materiali che lo costituiscono può assolvere anche ad altre funzioni, ad esempio quelle di regolarizzazione, di barriera al vapore e di isolamento termico e/o acustico.

Le altre stratificazioni da tenere in considerazione sono: lo strato di barriera al vapore, di tenuta all'aria e all'acqua, di isolamento termico ed acustico, di ventilazione, di diffusione del vapore, di irrigidimento, di regolarizzazione e di protezione al fuoco.

Per ognuno di essi la normativa *definisce i principi generali con i quali si possono realizzare le varie soluzioni tecniche compatibili, attraverso la definizione dei criteri di adozione, della posizione più idonea al fine di assicurare il corretto funzionamento, delle eventuali funzioni integrative che alcuni strati specifici sono in grado di assolvere e del tipo di materiale con cui ogni strato può essere realizzato.

3.3.1 SISTEMA DI RIVESTIMENTO CONTINUO DEFINIZIONE

I sistemi di rivestimento possono essere classificati in diverse maniere; in primo luogo è possibile distinguere i sistemi di rivestimento di tipo continuo, dai sistemi di rivestimento non continui, ad elementi.

Il sistema è **continuo**, quando il rivestimento è caratterizzato da elementi di grandi dimensioni con giunti distanziati unidirezionali come avviene per la posa di grandi lastre e di pannelli, ne rappresenta un esempio il rivestimento ad intonaco a legante cementizio o polimerico su isolante (cappotto).

3.3.1.A SISTEMA DI RIVESTIMENTO A VINCOLO CONTINUO SENZA INTERCAPEDINE CON ISOLANTE (CAPPOTTO)

I sistemi di rivestimento ad elementi a vincolo continuo di tipo chimico o misto chimico-meccanico sono quelli tradizionali, utilizzano elementi di tenuta in materiali dei più vari, dai prodotti di tipo ceramico (laterizi, clinker ecc.) alla pietra naturale o artificiale e le lastre in metallo di varie dimensioni (dai 20 mm a 1200 mm ed oltre) e sono vincolati alla parete di supporto senza realizzare, di fatto, alcuna intercapedine.

Il sistema di rivestimento esterno con intonaco sottile su isolante comunemente noto come "cappotto" sta conoscendo in Italia una rapida crescita, sulla scorta dell'esempio del mercato nord europeo (tedesco, austriaco e francese) presso cui rappresenta una tecnica ormai da tempo consolidata.

E' un sistema caratterizzato da un rivestimento sottile di intonaco su isolante. Si presenta in lastre leggere di polistirene espanso rigido o in materassini di lana di vetro che vengono applicati alla muratura con collanti o fissaggi meccanici utilizzati soprattutto quando la natura del supporto non assicura l'adesione del collante.

Lo strato di isolamento viene quindi rivestito esternamente da un primo strato di malta di alcuni mm e da un'armatura di rinforzo in fibra di vetro che viene coperta da una seconda rasatura e infine da uno strato sottile di intonaco di finitura che deve avere buona idrorepellenza e contemporaneamente elevata permeabilità al vapore.

E' impiegato su edifici esistenti quale soluzione di alcune patologie ricorrenti riscontrabili sul patrimonio edilizio, ad esempio:

* Si rimanda al paragrafo 3.2 per approfondimenti sull'analisi prestazionale degli elementi del sistema ed al capitolo IV per la normativa sulle facciate a schermo avanzato.

- 1) Ponti termici con conseguenti fenomeni di condense locali, variazione di colore del rivestimento esterno, elevate dispersioni termiche.
- 2) Condense e conseguente crescita di muffe sulla superficie interna delle murature d'ambito a causa di temperature non sufficientemente elevate nella massa o sulla superficie interna del muro.
- 3) Fessurazioni in corrispondenza del giunto tamponamento-struttura a causa dei movimenti termici ed igrometrici dei diversi materiali.
- 4) Degrado delle superfici verticali con intonaco o calcestruzzo a vista a causa dell'azione combinata dei diversi agenti atmosferici.
- 5) Degrado di pareti verticali realizzate con pannelli prefabbricati, normalmente causato dal movimento termico ed igrometrico dei singoli elementi con conseguenti fenomeni di cedimento dei giunti ed infiltrazioni d'acqua.

Per i casi sopradescritti di degrado delle facciate verticali, il sistema a cappotto rappresenta una valida soluzione per la messa in sicurezza, risanamento e riqualificazione delle superfici. Ovviamente il ciclo deve essere preceduto da una opportuna preparazione del supporto che consiste nella eventuale demolizione delle porzioni pericolanti, consolidamento e/o ricostruzione del fondo in toto o parzialmente.

Relativamente al risanamento dell'opera il sistema a cappotto consente di ottenere:

- 1) stabilità termica della muratura sottostante, così non più soggetta a pericolosi movimenti di dilatazione e/o ritiro;
- 2) Rivestimento esterno con un basso coefficiente di assorbimento capillare ($K_a < 120$ gr/mq). Vengono così eliminati i fenomeni legati all'assorbimento capillare di acque meteoriche;
- 3) Innalzamento delle temperature medie della muratura, riducendo i pericoli di condensa e relativi fenomeni di trasporto di sali solubili e rilassamento dei materiali;
- 4) La tassellatura dello strato di isolamento e l'impiego di rete di armatura in fibra di vetro nello strato finale garantiscono la totale messa in sicurezza del supporto sottostante.

Tutti gli strati che compongono il sistema devono opporre una sufficiente barriera fisica al passaggio dell'aria ed alla penetrazione della pioggia e contemporaneamente offrire una limitata resistenza al passaggio del vapore. Per evitare che la condensazione confluisca nello spessore dell'isolante è preferibile utilizzare un materiale che trattiene pochissima acqua che, eliminata nella stagione calda, ha poca influenza sulle caratteristiche meccaniche e sul potere coibente del sistema.

Bisogna inoltre fare molta attenzione all'impiego di intonaci e di rivestimenti plastici che non garantiscono una sufficiente conducibilità al passaggio del vapore favorendo quindi l'insorgenza di patologie che si traducono in rigonfiamenti e scollature.

Oltre i 30 metri di altezza è bene verificare che il rivestimento non sia sottoposto a pioggia battente di forte intensità condizione che può verificarsi sulle facciate degli edifici esposti verso il mare.

La struttura di supporto può essere portante o non portante, in blocchi, in cls gettato in opera, in pannelli prefabbricati in cls.

Le operazioni di posa prevedono una superficie asciutta e pulita, priva di residui e perfettamente piana: in caso contrario ogni sporgenza impedirebbe la perfetta adesione del materiale isolante e comprometterebbe il risultato estetico finale.

I pannelli di dimensioni ridotte (di solito 60x120) sono da preferire per ridurre al minimo il pericolo di dilatazioni che si vanno a ripercuotere sull'intonaco sottoponendolo a pressioni.

Per assicurare un buon comportamento al fuoco è consigliato l'utilizzo di pannelli in polistirene a ritardata propagazione di fiamma (RF).

L'esecuzione in apparenza semplice, comporta in realtà una attenta osservanza di vari fattori per la buona riuscita del sistema, che vanno dall'accurata conoscenza e scelta dei componenti che devono essere tra loro compatibili e resistere all'azione degli agenti esterni, all'impiego corretto degli stessi.

Per questi motivi il rivestimento a cappotto viene prodotto a sistema e messo in opera da personale specializzato messo a disposizione dalle stesse ditte produttrici.

Una garanzia in questo senso è offerta dalle ditte che forniscono sistemi che soddisfano le direttive UE Atc: le relative attestazioni sono rilasciate in Italia dall'Icrite, organo del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Il sistema presenta costi superiori rispetto agli altri metodi di isolamento perché richiede la predisposizione di ponteggi, l'utilizzo di manodopera specializzata, sequenze operative ritmate e

controllate : costi che vengono ammortizzati in breve ma nello stesso tempo intervenendo con il sistema a cappotto non è necessaria la demolizione e ricostruzione completa del fondo, ma soltanto di quelle parti effettivamente pericolanti.

I sistemi a cappotto sono normalmente installati con le seguenti operazioni:

- a) eventuali preparazioni delle superfici da isolare
- b) incollaggio delle lastre isolanti (in polistirene espanso sinterizzato o in lana di roccia)
- c) battitura delle lastre per curarne la planarità
- d) eventuale tassellatura, minimo 1 tassello ad ogni intersezione delle lastre (4 tasselli/m²), consigliati 1-2 tasselli mediani (tot.6-8 tasselli/m²)
- e) posizionamento e incollaggio dei paraspigoli
- f) stendimento del primo strato di intonaco sottile, con immediato allettamento dei teli di rete di rinforzo e seguente secondo strato d'intonaco
- g) eventuale mano di fondo pigmentato
- h) applicazione del rivestimento continuo di finitura.

La planarità della superficie isolante, viene verificata con la staggiatura delle lastre incollate di fresco. Si utilizza cioè lo spessore del collante del cordolo e delle pasticche come cuscinetto comprimibile.

Le lastre isolanti devono essere ben pressate sulla parete per consentire al cordolo ed alle pasticche di collante di allargarsi, aumentando l'area e quindi la resistenza dell'incollaggio.

Contenere la pressione, per superare frecce negative della parete, corrisponde ad un incollaggio su aree molto più piccole.

Al contrario per superare frecce positive di parete si agisce, dopo l'essiccazione dell'incollaggio, con rasatura sull'isolante, quindi con riduzione del potere d'isolamento.

Nella grande maggioranza dei casi si riscontrano queste frecce positive sulle strutture portanti in c.a. alla loro congiunzione con i tamponamenti.

La tassellatura non ha preminenti funzioni migliorative dell'incollaggio. Serve per assorbire gli sforzi di taglio causati dal peso e dalle sollecitazioni del sistema d'isolamento, che altrimenti si scaricherebbero sull'intonaco sottostante con pericolo di sfaldamento dello stesso nel suo spessore o dalla struttura portante.

L'operazione viene svolta perforando alle intersezioni delle lastre, quindi in punti ben determinati. Se la struttura portante è in forati può capitare che la punta del trapano fratturi il laterizio e quindi formi una cavità irregolare. Il tassello inserito non trova ancoraggio e di conseguenza non ha tenuta. Le raccomandazioni di operare solo con punte ben affilate e con trapani a velocità regolabile, vengono spesso ignorate in cantiere.

Le prescrizioni di posizionare 6-8 tasselli/m², dettate anche per aumentare la probabilità di avere vincoli efficaci, sono a volte disattese adducendo motivi di maggior costo.

Oltre al sistema a cappotto descritto, esiste un altro tipo di applicazione denominata "cappotto ventilato", che racchiude le proprietà del cappotto e vi aggiunge quelle della presenza di un'intercapedine ventilata.

I pannelli isolanti attentati orizzontalmente tutti nello stesso senso e scanalati verticalmente da un lato, sono incollati al muro nel primo strato e fissati tra loro con appositi tasselli. Una successiva rete portaintonaco, malta e relativa finitura plastica completano l'applicazione.

I canali formatisi permettono di ventilare l'isolante con i vantaggi propri ad un costo economico nettamente inferiore.

3.3.1.B TECNOLOGIA VENEER ¹WALL

Si tratta di una tecnologia ancora non molto diffusa in Italia che ha trovato varie applicazioni in Europa come sistema di rivestimento per la riqualificazione delle facciate.

La stessa terminologia utilizzata per la sua classificazione riconduce all'ambito culturale di ricerca del doppio involucro ed attesta in concreto come la problematica della riqualificazione facciate sia molto sentita anche all'estero.

Aspetti normativi di applicazione unitamente ad una scarsa sperimentazione limitano ad oggi l'utilizzo di questi sistemi in Italia sebbene la linea di tendenza porti comunque verso la loro adozione ed applicazione.

Un' applicazione italiana riconducibile per alcuni aspetti alla tecnologia veneer wall è il sistema di rivestimento utilizzato dal prof. Giovanni Brino per la riqualificazione estetico-formale di un edificio

¹ *Veneer wall* indica letteralmente una facciata posticcia, una facciata "maschera" che nasconde una struttura sottostante realizzata con materiali diversi.

residenziale a Torino¹ : è stata realizzata una cortina andante in mattoni tipo "paramano" faccia a vista posati di piatto (determinando un aumento di spessore del pacchetto chiusura verticale pari a cm 12 + 1) che ha rivestito tutte le facciate ed i terrazzi dell' edificio. Il nuovo rivestimento è stato realizzato in aderenza alla muratura esistente alla quale è stato staffato con zanche a coda di rondine come prevede la prescritta regola dell' arte per la realizzazione dei muri a doppio folio.

Non è stata prevista alcuna intercapedine tra la muratura esistente e il nuovo rivestimento messo in opera. Questo ha fatto sì che la nuova cortina a mattoni diventasse un tuttuno con la muratura sottostante determinando anche un leggero aumento di inerzia termica.²

Il sistema di rivestimento veneer wall propriamente detto prevede oltre alla cortina andante in mattoni faccia a vista la possibilità di creare un 'intercapedine areata tra la muratura esistente ed il nuovo rivestimento.

A seconda della tecnica utilizzata per l' ancoraggio del nuovo rivestimento alla muratura esistente si può operare un' ulteriore articolazione del sistema con classificazione in muratura precompressa e muratura staffata.

3.3.1.B1 MURATURA PRECOMPRESSA

Questo sistema prevede l' utilizzo di pannellature in mattoni sodi prefabbricate e montate in cantiere. Si tratta di pannelli di altezza massima di 2 metri costituiti di mattoni pieni in cui è stata operata una foratura per l'alloggiamento di tondini in acciaio da 6 mm.

La testa dei tondini che fuoriesce dal pannello in mattoni viene inserita in una squadretta in acciaio delle dimensioni di 120 x 120 mm direttamente ancorata alla muratura del fabbricato sottostante e bloccata con dei bulloni sagomati a freddo e dunque post-tesa in opera mediante l' utilizzo di chiavi dinamometriche in grado di controllare la tensione indotta nel materiale³.

Un sistema alternativo di realizzazione e montaggio utilizzato in alcuni interventi in Italia a livello sperimentale, prevede la presenza di un pannello costruito in opera da agganciare alla struttura preesistente in corrispondenza delle partizioni orizzontali mediante delle squadrette in acciaio.

Il sistema piuttosto complesso, prevede l' utilizzo di una doppia lamiera in alluminio irrigidita mediante l' utilizzo di profili in acciaio sulla quale con l'utilizzo di staffe di sospensione poste ad intervalli di 50 cm circa, vengono messi in opera i mattoni *post-compressi* dalla messa in opera delle staffe di sospensione superiori.

Il sistema, ancora in via sperimentale presenta gli svantaggi di un elevato costo di realizzazione e montaggio unitamente a lunghi tempi di cantieramento.

3.3.1.B2 MURATURA STAFFATA

A differenza del sistema precompresso questa tipologia prevede l'utilizzo di mattoni pieni murati come se si trattasse di una tipica muratura a cassetta con intercapedine frammessa.

A seconda delle necessità progettuali ed in funzione delle variabili prestazionali della chiusura verticale esterna da *controllare*, viene posto un pannello di coibentazione (a spessore variabile) direttamente incollato sulla muratura esistente. Viene costruito il rivestimento a mattoni faccia a vista lasciando o meno un'intercapedine areata.

Il nuovo rivestimento è reso solidale con la muratura retrostante mediante l'applicazione di staffe in acciaio di ancoraggio "a zeta" che vengono applicate a più ricorsi, in numero di 6-8 a mq di rivestimento.

Aspetti normativi impediscono di realizzare grandi superfici con questa tipologia di rivestimento. La regola dell' arte (o meglio l'applicazione della normativa prevista dalla legge sismica) prevede che ogni 4 metri lineari di altezza sia prevista un' interruzione della muratura e l' inserimento di un elemento cerchiante.⁴ Il rivestimento viene interrotto a livello dei nodi infissi, gronda e primo piano e rifinito mediante l' utilizzo e la messa in opera di discossaline in lamiera zincata o rame.

¹ Confronta i *casì studio* nella *parte quinta* per il dettaglio.

² Confronta le caratteristiche termiche ed idrometriche dei componenti opachi capitolo 7.3.3.1

³ Risulta evidente che la tensione indotta non deve comunque superare la sigma ammissibile a compressione del laterizio.

⁴ C'è da precisare che la regola esposta vale per le chiusure costruite in muratura di mattoni e mista pietra-mattoni. La traslazione di riflesso anche ai rivestimenti (veneer wall) sottintende la considerazione di questi ultimi alla stregua di vere e proprie "murature".

Sono sistemi di rivestimento in grado di conferire all' edificio un miglioramento sostanziale delle caratteristiche prestazionali¹ ed un abbattimento dei costi manutentivi e gestionali ma prevedono un considerevole aumento del volume lordo dell' edificio non sempre consentito, unitamente ad iniziali elevati costi di realizzazione.

3.3.2 SISTEMA DI RIVESTIMENTO DISCONTINUO AD ELEMENTI

DEFINIZIONE

Il sistema è **discontinuo** quando il rivestimento è costituito da elementi di piccole o medie dimensioni con giunti ravvicinati e pluridimensionali, regolari oppure irregolari.

Per quanto riguarda i sistemi di rivestimento discontinui ad elementi, si possono distinguere le seguenti due principali tipologie:

Ventilato

- Ad elementi a vincolo meccanico puntuale su supporto continuo o su telaio (in legno, in metallo)realizzanti intercapedine.

Traspirante

- Ad elementi a vincolo continuo di tipo chimico, o misto chimico-meccanico, non realizzanti intercapedine.

Questo tipo di sistemi di rivestimento comprende quelli più semplicemente detti "appesi" in cui gli elementi che costituiscono lo strato esterno di tenuta sono vincolati al supporto con sistemi di vincolo di tipo meccanico di vario tipo e lo strato di tenuta realizza un'intercapedine che può essere continua o discontinua, stagna o più o meno ventilata, a seconda dei casi.

Secondo una classificazione non ufficiale ma di fatto in uso nel settore dei prodotti per l'edilizia francese, tali sistemi di rivestimento, possono essere distinti in tre categorie principali:

<i>Bardage</i>	Sistema di rivestimento esterno appeso tramite struttura portante, con strato isolante non integrato negli elementi di tenuta. Presenta semplicemente un'intercapedine che può essere ventilata per effetto camino o per effetto del vento oppure microventilata, quasi mai a tenuta, per ovvi problemi di controllo della condensazione interstiziale (le facciate ventilate sono, per lo più, dei <i>bardage</i>).
<i>Veture</i>	Sistema di rivestimento esterno realizzato utilizzando elementi che integrano, già assemblato, lo strato isolante e sono fissati al supporto senza l'ausilio di una struttura portante. L'intercapedine, che può essere molto ridotta, è posta tra l'elemento di tenuta ed il supporto ed ha essenzialmente la funzione di diffusione del vapore e di microventilazione.
<i>Vetage</i>	Sistema di rivestimento esterno ad elementi fissati al supporto senza l'ausilio di una struttura portante, simili alla <i>veture</i> ma privi di strato isolante. Essi realizzano sempre uno strato di microventilazione, anche non continuo, che ha anche la funzione di migliorare la tenuta all'acqua del sistema.

Esiste anche un quarto tipo di rivestimento per il quale però non esistono ancora significative applicazioni di riferimento nell' ambito del recupero delle facciate corrispondente ad un sistema tipo *veture* in cui però gli elementi di tenuta non vengono preassemblati allo strato isolante, ma vincolati a questo per attrito grazie a scanalature in quest'ultimo ed una particolare conformazione dei primi.

Secondo la tecnica di posa si può operare una ulteriore classificazione distinguendo i rivestimenti applicati :

- a umido, per mezzo di collante cementizio o resine : sono di tipo fisso perché la posa assicura il rivestimento al supporto in modo difficilmente reversibile.
- a secco, per mezzo di tecniche di assemblaggio che vedono l'utilizzo di elementi di fissaggio come tasselli ad espansione, profili metallici, staffe e zancature : sono di tipo mobile perché il rivestimento è facilmente smontabile, consentendo la intercambiabilità con altri materiali.

¹ Confronta Capitolo 7.3.3. *Confronto prestazionali tra le diverse tipologie di sistemi di facciata.*

Non si può comunque procedere ad una classificazione per parti, perché è necessario esaminare l'insieme complessivo di tutti gli strati che costituiscono il sistema funzionale al fine di definirne il comportamento d'insieme.

Tra le varie soluzioni possibili si va dai sistemi d'insieme cosiddetti tradizionali, sino ai sistemi d'insieme ad alto contenuto progettuale e innovativo sia per quanto riguarda i materiali impiegati che per la tecnica di assemblaggio degli strati funzionali.

Molto importante è l'analisi della struttura di supporto che può essere molto varia: si va dalle pareti perimetrali verticali portanti, quando fanno parte dei sistemi strutturali in elevazione, i quali si dividono in continui e puntiformi e le pareti perimetrali portate, in cemento armato gettato in opera, a pannelli prefabbricati portanti, sino alle strutture a telaio in cemento armato o in acciaio completate da elementi di tamponamento.

E' chiaro che, soprattutto oggi che si tendono a privilegiare le tecnologie leggere, il tamponamento assume un ruolo molto importante, sia per i rivestimenti che vengono applicati direttamente ad esso, sia nel caso in cui esso stesso inglobi più funzioni, rivestimento compreso: anche in questo caso è abbastanza difficile il tentativo di classificarne i vari tipi esistenti. La divisione fondamentale consiste nel separare i tamponamenti realizzati in muratura portante o di tamponamento da quelli costituiti da pannelli prefabbricati di tipo pesante o di tipo leggero.

Un'ulteriore classificazione è quella che si può fare in base alla posizione degli elementi di tamponamento rispetto alla struttura portante dell'edificio.

Il rapporto tra gli elementi strutturali e gli elementi che costituiscono la tamponatura determina tre diversi tipi di parete:

- passante o continua, quando il tamponamento si trova completamente all'esterno della struttura portante. All'interno dell'edificio si avranno gli oggetti delle travi e dei pilastri. Se è passante solo rispetto ai solai e inserita tra due muri o pilastri si ha la facciata continua inserita verticalmente;
- semipassante, quando una parte del suo spessore è interna e una parte è esterna rispetto alla struttura portante.
La chiusura costituisce una parete a semicortina, in cui lo strato interno è inserito tra i solai e quello esterno è continuo rispetto a solai e pilastri ed è messo in opera attraverso i procedimenti delle facciate continue. Anche questa può essere inserita solo verticalmente.
- interrotta o inserita, quando è arretrata o semiarretrata rispetto agli elementi strutturali. Può essere completamente arretrata rispetto agli elementi verticali e orizzontali oppure essere arretrata solo rispetto ai solai ed essere a filo, passante o arretrata rispetto agli elementi verticali.

3.3.2.A SISTEMA DI RIVESTIMENTO DISCONTINUO A VINCOLO MECCANICO SU SOTTOSTRUTTURA A TELAIO E INTERCAPEDINE CON ISOLANTE NON INCORPORATO

3.3.2.A SISTEMA DI RIVESTIMENTO VENTILATO (BARDAGE)

Le facciate ventilate sono sistemi di rivestimento a *bardage* caratterizzati da uno strato di tenuta non permeabile o debolmente permeabile all'aria che realizzano un'intercapedine continua tra questo e gli strati di supporto che aperta in due o più sezioni, viene naturalmente ventilata per effetto camino nonché, eventualmente grazie alla spinta dinamica del vento.

Tale sistema è costituito da due parti principali: lo *strato di tenuta*, generalmente realizzato con elementi piani medio-grandi ed una sottostruttura alla quale tali elementi di tenuta vengono "appesi".

L'espressione "*facciata ventilata*" è piuttosto diffusa in edilizia. Nell'evoluzione storica delle tecnologie edilizie, la facciata ventilata riprende l'archetipo funzionale dei rivestimenti esterni in lastre di pietra o doghe in legno di certe architetture vernacolari e rappresenta la generalizzazione delle cosiddette "facciate continue", ancorabile su pareti di tipo tradizionale.

Questo sistema di rivestimento ha subito una certa diffusione a partire dagli anni sessanta successivamente agli *choc* petroliferi, periodo in cui, tra l'altro, la "ventilazione" della facciata è stata venduta come attributo da cui derivavano un efficace controllo delle dispersioni ed elevate condizioni di comfort negli ambienti confinati¹. La diffusione delle facciate ventilate e

¹In condizioni invernali la ventilazione dell'intercapedine tra la parete ed il rivestimento è un fattore positivo per il controllo della condensazione interstiziale ma ciò va a scapito delle dispersioni aumentando, seppure relativamente, il flusso netto di calore verso l'esterno. In condizioni estive, la ventilazione dell'intercapedine ha un effetto positivo sui carichi termici e può ridurre il flusso di calore che attraversa la parete, lo stesso "miglioramento", tuttavia è ottenibile semplicemente aumentando o aggiungendo uno spessore di isolante.

dei sistemi di rivestimento in generale, tuttavia non deriva dalla ventilazione dell'intercapedine che realizzano, ma, piuttosto, dalla loro versatilità ed adattabilità alle situazioni più diversificate. Questi sistemi infatti, offrono numerosi tipi di finitura esterna, possono offrire i più svariati livelli di isolamento (basta programmarlo in fase progettuale) e soprattutto, possono essere messi in opera - con opportuni accorgimenti - su qualsiasi supporto murario o strutturale, ragione per cui, insieme al sistema a *cappotto*, si propongono come sistema ottimale di riqualificazione energetica e formale di edifici esistenti.

Lo studio di fattibilità dell'impiego di un rivestimento esterno a facciata ventilata nel recupero delle facciate presuppone in preciso orientamento iniziale in merito all'integrazione termica delle stesse. La scelta dell'isolamento nel rivestimento finale delle pareti risulta un elemento fondamentale ai fini dell'individuazione del tipo di rivestimento e della relativa tecnologia di installazione. Le soluzioni nei casi di recupero energetico o di ristrutturazione dell'esistente prevedono sostanzialmente due possibilità

- 1 Isolamento messo in opera sulla superficie esterna del sistema murario.
- 2 Isolamento posto all'interno di intercapedini eventualmente presenti nel sistema stesso.

L'analisi dei risultati ottenuti nei due casi porta alla scelta del sistema di isolamento esterno perché:

- a) Con l'isolamento dall'esterno non si interferisce con il normale svolgimento della vita all'interno di un edificio e non si danneggiano finiture esterne esistenti.
- b) L'isolamento fornisce le migliori prestazioni termoisolometriche proprio se è posizionato all'esterno dell'involucro edilizio.

Con questa tecnologia si ha:

- 1) Eliminazione dei ponti termici ed una maggiore protezione delle strutture murarie.

I ponti termici, cioè le disomogenee distribuzioni delle temperature superficiali, sono tipici dell'edificio moderno che è appunto discontinuo per forma ed eterogeneità dei materiali con la conseguente presenza di zone più fredde che possono creare condense e muffe.

Con l'isolamento installato all'esterno si ottiene l'eliminazione del problema: l'edificio viene avvolto con un paramento di resistenza termica omogenea.

La correzione dei ponti termici consente una riduzione delle dispersioni globali di notevole rilevanza (anche 30%), permettendo sensibili vantaggi di tipo energetico.

L'isolamento esterno determina una riduzione delle escursioni termiche sulla struttura muraria, l'eliminazione dell'irraggiamento diretto e quindi una maggiore protezione dell'involucro dell'edificio.

- 2) Eliminazione del problema condensa.

Tra due ambienti (separati da una muratura) con diversa temperatura ed umidità relativa, il vapore acqueo tende a muoversi verso l'ambiente con più bassa pressione effettiva.

Se durante tale movimento la pressione di vapore effettivo decresce (a seguito dell'abbassamento della temperatura) meno lentamente della pressione di saturazione, si ha condensa. La formazione di condensa in funzione del posizionamento dell'isolamento su una muratura generica può essere evidenziata con il diagramma di Glaser.

Con tale diagramma è possibile verificare come nel caso di isolamento dall'esterno le due curve delle pressioni suddette non si incontrino e quindi non si abbia formazione di condensa.

- 3) Sfasamento e smorzamento dell'onda termica

L'inerzia termica dei muri ha molta importanza ai fini del comfort termico abitativo: a tal fine la temperatura superficiale delle pareti dei muri deve essere il più possibile vicina a quella dell'aria dei locali interni.

Una parete isolata dall'esterno immagazzina molto calore quando viene posto in funzione l'impianto di riscaldamento, poiché la sua temperatura raggiunge valori molto prossimi a quelli dell'ambiente interno.

Quindi l'isolamento esterno tende in inverno a mantenere elevata la temperatura superficiale interna, limitando i pericoli di condensa e sensazioni di malessere per la bassa temperatura radiante.

La temperatura interna non risente né delle interruzioni del riscaldamento durante la notte, né delle punte delle oscillazioni della temperatura esterna invernale.

Ne deriva un migliore comfort abitativo ed una migliore regolazione della temperatura nei locali. In estate il sistema ha un debole accumulo di calore che può essere efficacemente smaltito nel periodo notturno.

L'onda termica viene trasmessa all'interno più attenuata per cui si riducono gli effetti dell'irraggiamento solare.

Quindi il posizionamento dell'isolamento all'esterno a parità del fattore K complessivo della parete ed a parità di massa, provoca uno sfasamento ed uno smorzamento dell'onda termica molto maggiore che nel caso d'isolamento all'interno o in intercapedine.

In questo caso tra isolante termico (quello a contatto con la muratura dell'edificio) e paramento esterno di protezione è lasciata un'intercapedine che attiva la ventilazione naturale.

La parete ventilata possiede oltre ai vantaggi elencati come sistema d'isolamento esterno anche altri vantaggi tipicamente propri come per esempio "l'effetto camino". Tale effetto è innescato dal riscaldamento del paramento esterno che provoca variazione della densità della lama d'aria dell'intercapedine rispetto all'aria ambiente con conseguente moto ascensionale.

Tale effetto ha soprattutto un significato estivo perché permette di smaltire la quantità di calore che non viene riflessa dal paramento esterno. Perciò il comportamento stagionale della parete, da un punto di vista igrotermico, si può così sintetizzare:

-Estate: gran parte del calore radiante incidente viene riflesso all'esterno.

La parte di calore che comunque entra attiva l'effetto camino, così solo una parte del flusso di calore viene assorbita dall'edificio.

Tale effetto di riflessione si può aumentare utilizzando colori chiari del paramento.

-Inverno: lo scorrimento di una lama d'aria sull'isolante in inverno porta ad una certa penalizzazione degli effetti isolanti del coibente. Tale penalizzazione non assume valori importanti dato che l'effetto camino in inverno è poco sensibile.

Infatti, in mancanza di un forte calore incidente che riscaldi il paramento esterno, l'aria esterna ambiente e l'aria interna all'intercapedine sono circa alla stessa temperatura e densità. Quindi effetto camino molto limitato.

La scelta del paramento esterno si rivela altresì importante, sia per quanto riguarda la sua affidabilità ed il suo mantenimento, sia per il suo carattere formale ed estetico.

a) IL MONTAGGIO DEL SISTEMA

La progettazione di un sistema di rivestimento a facciata ventilata, richiede un'accurata conoscenza delle compatibilità meccaniche con materiali di origine diversa (supporto murario, alluminio o acciaio per la struttura portante, ceramica, lapideo, metallo, laminati o compositi per il rivestimento) ma soprattutto l'utilizzo di una struttura affidabile sotto tutti gli aspetti di sicurezza, durabilità e flessibilità.

Superati i vincoli di ordine strutturale, quali il calcolo della tenuta della struttura al vento in funzione dell'altezza dell'edificio, della zona climatica e delle caratteristiche dimensionali del rivestimento utilizzato, occorre analizzare, approfondire (e risolvere) tutte quelle situazioni particolari di conflittualità tra oggetti, sporgenze, rientranze, aperture dell'edificio e la struttura portante della facciata ventilata che tecnicamente vengono definiti "nodi critici" e che corrispondono alla progettazione del dettaglio.

Le problematiche progettuali che devono essere risolte possono essere sintetizzate in:

- 1) Armonizzazione della modularità
In funzione delle campiture di facciata esistenti, non sempre multiple del modulo del rivestimento prescelto.
- 2) Adeguamento alle realtà di cantiere
Spesso si riscontrano allineamenti discontinui del tamponamento esterno che se poco percepibili nello stato di fatto, sarebbero esaltati con il montaggio di un sistema a facciata ventilata.
- 3) Adeguamento della struttura non solo alle superficie verticali in facciata ma anche ai numerosi elementi decorativi aggettanti sintetizzabili in : marcapiani di differenti sporgenze, timpani, balconcini, piani piloti o sottobalconi caratteristici dello stato di fatto.

Eseguito il rilievo della facciata, si procede con il posizionamento delle staffe portanti i montanti verticali, viene definito l'interasse dei montanti, i profili speciali per il coronamento dei vani finestre o degli spigoli ventilati: tutto viene trasferito graficamente nel progetto esecutivo in scala 1:50 che diventa, di fatto uno strumento operativo per l'installatore.

Per la risoluzione dei dettagli, una volta effettuato il rilievo del particolare in cantiere, viene sviluppata una prima bozza puramente cartacea nella quale si evidenziano le difficoltà applicative e dimensionali a fronte delle quali, utilizzando i differenti componenti del sistema o progettandone altri ex novo, si verifica l'adattabilità e funzionalità sino ad arrivare alla stesura definitiva del progetto del dettaglio.

In alcuni casi, dettagli architettonici particolari quali ad esempio la necessità di raccordare pareti sfalsate determinano un'intercapedine ventilata anche superiore ai 40 cm che deve necessariamente essere risolta in senso orizzontale con il rispetto dei punti "fissi" e "scorrevoli" delle staffe di sostegno dei montanti. In questi casi vengono progettate delle particolari staffe di dimensioni adeguate, rinforzate mediante l'utilizzo di squadrette angolari.

C'è da considerare che quando si progetta un nuovo elemento non ci si limita alla sua definizione svincolata da tutto il resto ma tutto il sistema viene riprogettato nella sua interezza.

Il sistema in ogni caso deve adeguarsi sia alle volontà espressive del progettista sia alle diverse specificità delle preesistenze.

Il montaggio prevede le seguenti fasi:

1) posa in opera delle staffe di fissaggio della struttura

Si tratta di angolari ad L in alluminio dello spessore di 3 mm di differente profondità ed altezza, dimensionati in funzione dello spessore dello strato di coibentazione e delle caratteristiche tipologiche della parete¹.

Gli angolari sono dotati di fori ed asole per il fissaggio di punti fissi o di scorrimento.

La connessione fra i profilati in alluminio e le staffe avviene mediante viti autoforanti in acciaio inox AISI complete di doppia rondella separatrice in acciaio e gomma vulcanizzata per evitare fenomeni di corrosione o da rivetti a strappo dolce in alluminio con chiodo in acciaio inox. Il peso di ogni singolo profilato è sostenuto dalla staffa nel punto fisso mentre le staffe poste nei punti scorrevoli contrastano l'azione del vento e permettono la dilatazione termica del profilo grazie ad asole verticali.

Particolari staffe possono essere realizzate in funzione del progetto in esame, in corrispondenza dei vani porta e finestra e negli spigoli dell'edificio.

2) Il fissaggio sull' edificio

Risulta fondamentale in fase di progettazione verificare di che materiali è composto il muro, in che condizioni statiche si trova.

A seconda dei casi si possono avere:

1) Tasselli meccanici, ideali per conglomerato cementizio o mattoni pieni.

2) Tasselli chimici sostituiti da barra filettata acciaio M8 e malta di resine poliesteri bicomponenti e sabbia di quarzo indurente, ideali per mattoni forati, foratoni etc.

3) Allorché esista la convenienza si procede annegando nel muro guide e profili metallici per poter fissare le staffe mediante bulloni con testa a martello.

Il tipo di tassello (diametro, lunghezza, tipologia) viene sempre definito dopo prove di strappo eseguite sul muro o sul materiale che si vuole rivestire.

1) La posa in opera dell'isolamento termico

Il pannello isolante è autoportante in lana di vetro appositamente studiato per l'impiego in sistemi a facciata ventilata. Grazie alla natura completamente inorganica della lana di vetro le caratteristiche fisiche del pannello si mantengono inalterate nel tempo garantendo la costanza delle prestazioni termiche e l'assenza di fenomeni degenerativi.

La presenza di un velo di vetro sulla faccia esposta evita effetti di erosione meccanica dovuti allo scorrimento dell'aria.

Esemplificazione del variare della resistenza al variare dello spessore:

SPESORE MM	RES.TERMICA $\frac{m^2 \times K}{w}$	RES.TERMICA $\frac{m^2 \times h \times ^\circ C}{Kcal}$
40	1,20	1,39
50	1,50	1,74
60	1,80	2,09

L'isolante è posato sul muro mediante appositi tasselli in nylon a testa larga.

Parlando di isolamento esterno ricordiamo come tra 2 ambienti con temperatura ed umidità relativa differenti il vapore acqueo tende a muoversi verso l'ambiente che presenta la pressione effettiva più bassa.

Mediante il diagramma di Glaser si può evidenziare come nel caso di isolamento esterno non si formi condensa perché la curva della pressione del vapore di acqua in ambiente saturo non intercetta quella generata dalla pressione esercitata dal vapore d'acqua in ambiente umido ma non saturo.

L'intercapedine o lama d'aria alle spalle del paramento deve essere mediamente pari a 5 cm.

4) L'aggrappo del paramento esterno

¹ In funzione del progetto le misure possono mutare.

A seconda delle scelte di progetto, il paramento può essere montato in modo diretto oppure indiretto a seconda della presenza o meno di una sottostruttura ausiliaria. L'aggrappo può essere realizzato *a vista* oppure *non a vista*.

Le lastre che costituiscono il paramento esterno, sono agganciate mediante l'utilizzo di clips di fissaggio in acciaio inox che saranno di tipo diverso a seconda che siano *di partenza*, alla base del rivestimento e dopo ogni giunto di dilatazione, o *standard*, utilizzate all'incrocio di quattro lastre con funzione di contenimento delle due lastre inferiori e portante delle due lastre superiori.

I sistemi commercialmente presenti sono tre: il più semplice è costituito da staffe in alluminio *portanti* e di *contenimento*, profili tubolari in alluminio e clips in acciaio inox per il fissaggio delle lastre. Le clips sono diverse a seconda che siano di base o intermedie e vengono centrate sulle fughe.

Tutte le clips sono dotate di tre fori per il fissaggio alla sottostruttura mediante rivetti di alluminio del diametro di 5 mm.

Occorre ricordare che le clips dovranno essere fissate in modo da consentire un gioco di circa 2 mm sulla parte superiore delle lastre al fine di permettere eventuali dilatazioni termiche del materiale.

In fase di posa del sistema è opportuno stendere nell'interfaccia lastra-profilo un cordone di sigillante siliconico o poliuretano monocomponente con la doppia funzione di eliminare ogni possibile vibrazione delle lastre di rivestimento in presenza di vento e di consentire anche in caso di rottura delle lastre stesse, il loro ancoraggio *in situ* fino al momento della loro sostituzione. Ciò incrementa ulteriormente la messa in sicurezza del sistema.

Il secondo sistema di sottostruttura ingloba già le clips di aggancio. In questo caso mentre le staffe di aggancio della sottostruttura alla parete restano le stesse, così come i tasselli di fissaggio (meccanici o chimici che siano) si modificano radicalmente i profili verticali.

Tali profili ospitano all'interno della gola sia le clips che una guarnizione che evita le vibrazioni della lastra sul profilo.

Le clips sono normalmente verniciate in colori analoghi a quelli delle lastre.

La fuga viene realizzata interponendo appositi spessori tra le clips che permettono fughe da 4 a 8 mm.

Esiste una variante di questo sistema utilizzata solo per edifici di altezza inferiore ai 20 m e con lastre di rivestimento di grande formato che utilizza profili a T e staffe a L.

Il terzo sistema si sottostruttura con aggancio a vista. È molto simile a quanto descritto al punto precedente ma strutturalmente più pesante, adatto per rivestimenti di grandi dimensioni dove sono maggiori i pesi e le sollecitazioni indotte.

Anche questo sistema è costituito da staffe portanti e di contenimento, profili e clips di aggancio che consentono una facile rimozione di ogni singola lastra.

Questa possibilità è una rilevante prerogativa del sistema

Gli aggrappi non a vista presenti sul mercato sono sostanzialmente di due tipi: il primo prevede la realizzazione di fresature a coda di rondine sul retro delle lastre in cui vengono inserite le molle di accoppiamento alla sottostruttura.

Tale sistema è composto da:

- 1) Staffe in alluminio anodizzato con opportuna sagomatura per consentire il fissaggio alla parete con tasselli meccanici d'acciaio o chimici e accoppiamento con i montanti verticali.
- 2) Montanti verticali in alluminio estruso anodizzato aventi sezione a C in modo da consentire l'inserimento dei cursori.
- 3) I cursori sono in acciaio inox e vengono premortati ai passi richiesti dai vari formati già in stabilimento. La precisione di accoppiamento con i correnti orizzontali è garantita da un elemento di centraggio sporgente dal cursore. Vi sono delle staffe che bloccano sopra e sotto i correnti orizzontali. Rigature di stampaggio sia sul cursore sia sulle staffe contribuiscono ad incrementare l'attrito radente tra le parti in contatto e ad assicurare, a serraggio avvenuto, la presa nel tempo.
- 4) I correnti orizzontali sono in alluminio estruso anodizzato a profilo, adatto ad accogliere le clips e ad accoppiarsi con i cursori.
- 5) Le clips sono in acciaio inox armonico; grazie alla loro forma si inseriscono nelle fresature ottenute sul retro delle lastre e si vanno a bloccare nelle gole del corrente orizzontale, creando un accoppiamento atto a sopportare sollecitazioni anche gravose nelle tre direzioni ed in grado di

assorbire punte di carico di natura eolica o sismica. Questo consente anche di assorbire le diverse dilatazioni termiche che possano intervenire tra i materiali di struttura e quelli di rivestimento.

Il secondo sistema non a vista adotta una tecnica di fissaggio che prevede di realizzare sul retro delle lastre dei fori ciechi opportunamente svasati entro cui inserire i *tasselli ad espansione* che consentono l'accoppiamento alla sottostruttura.

Tale sistema è costituito da:

- 1) Staffe con sezione a C e montanti tubolari a sezione rettangolare ottenuti da estrusione di lega di alluminio rispondenti alle norme DIN 1745, dello stesso spessore minimo di 2 mm.
- 2) Correnti orizzontali di opportuno disegno, asolati nella direzione della lunghezza, fissati ai montanti mediante rivetti normalizzati in modo da ottenere un reticolo a maglia ortogonale; i correnti orizzontali sono di norma ogni due file di lastre.
- 3) Clips in alluminio opportunamente sagomate per l'accoppiamento ai correnti orizzontali, di norma 4 per ogni lastra, di cui due portanti e due di contenimento; le clips portanti presentano una vite micrometrica di regolazione ed un sistema di fissaggio al corrente orizzontale.
- 4) Tasselli ad espansione per il fissaggio alle lastre delle clips di accoppiamento alla struttura.

L'operazione di foratura è un'operazione che deve essere eseguita in stabilimento. I fori sul retro vengono eseguiti con utensili particolari che permettono di realizzare anche un *sottosquadro* al quale si adagia il tassello opportunamente sagomato il quale, una volta espanso, consente delle resistenze a strappo di 1,7-1,8 KN. I profili hanno una lunghezza massima di 6 metri. Il profilo orizzontale è asolato nella direzione della sua lunghezza in modo da consentire fissaggi "a punto mobile" per consentire le dilatazioni dello stesso dovute all'irraggiamento solare.

Vengono previsti anche in orizzontale giunti di dilatazione tra un profilo e l'altro dell'ordine del centimetro.

I montanti verticali della sottostruttura vengono posizionati e distanziati tra di loro in funzione del tipo e dell'intensità di sollecitazione del vento che dovranno subire.¹

3.3.2.B SISTEMA DI RIVESTIMENTO DISCONTINUO A VINCOLO MECCANICO PUNTUALE SU SUPPORTO CONTINUO E INTERCAPEDINE

La sperimentazione di materiali innovativi ottenuti dall'unione di due o più componenti di natura diversa ha permesso la produzione di prodotti con caratteristiche prestazionali e qualitative particolari, superiori rispetto a quelle che si possono ottenere dai singoli componenti che trovano largo impiego nella riqualificazione di facciate.

In genere sono caratterizzati da alte resistenze meccaniche a fronte della leggerezza, compattezza, omogeneità, resistenza a flessione, al gelo, alle escursioni termiche. Presentano facilità di movimentazione, posa e manutenzione nel tempo.

La produzione è caratterizzata da una vasta gamma di materiali. Per organicità di trattazione si sono distinti in *sistemi con isolante incorporato* e *sistemi senza isolante*.

B1 SISTEMA DI RIVESTIMENTO CON ISOLANTE INCORPORATO (VETURE)

Si tratta di un sistema di rivestimento costituito da componenti leggeri prefabbricati, modulari, generalmente di formato ridotto, realizzati con materiale isolante rigido a cui viene sovrapposto in fase di produzione uno strato di rivestimento in lastra che può essere di vari materiali: metallo, pietra sottile, fibrocemento, poliestere rinforzato, PVC estruso, alluminio preverniciato, acciaio plastificato o inossidabile, intonaco armato.

Questa tecnica, utilizzata inizialmente in Francia ha trovato in Italia la sua ideale applicazione soprattutto nell'edilizia di tipo industriale e commerciale e nella riqualificazione delle facciate in genere poiché il rivestimento esterno offre la possibilità di progettare differenti soluzioni estetiche e contribuisce all'innalzamento delle prestazioni termico-igrometriche.

La posa in opera è legata alla geometria ed alle dimensioni degli elementi di cui bisogna seguire la modularità risolvendo i problemi dei raccordi alle aperture, gli aggetti e tutte le caratteristiche formali proprie dell'edificio.

Il sistema risulta di facile applicazione grazie alla conformazione ad incastro o per sovrapposizione delle giunzioni degli elementi che vengono fissati a secco per mezzo di dispositivi appositi: la conformazione dei giunti permette una buona tenuta all'acqua.

¹ Viene definita in fase di progetto.

Nel caso in cui i pannelli non siano preassemblati si esegue prima il fissaggio dell' isolante con un procedimento molto simile a quello seguito per il sistema a cappotto, poi si passa all' applicazione dell' elemento rigido di tenuta.

Il pannello isolante è solitamente in polistirene espanso, caratterizzato da un basso assorbimento d'acqua: può essere del tipo con superficie esterna sagomata che permette la creazione di una microventilazione tra il pannello isolante e il rivestimento, con funzione di controllo della condensazione interna che potrebbe essere provocata soprattutto dal rivestimento poco permeabile.

B2 SISTEMA DI RIVESTIMENTO SENZA ISOLANTE

Sono i sistemi di rivestimento realizzati con l'utilizzo di pannelli scatolari, a doghe o a lastre.

Tra i sistemi a lastre vi sono:

Un primo sistema che presenta un pannello ricavato per pressopiegatura da una lastra di alluminio preverniciato, con dimensioni che variano a richiesta secondo la modularità che si vuole adottare, in funzione delle luci verticali ed orizzontali volute.

Presenta un'orditura di sostegno composta da profili verticali che vengono agganciati a staffe o a profili a sezione quadrata (fissate precedentemente alla parete) per mezzo di bulloni e da profili orizzontali fissati a quelli verticali per mezzo di viti.

Sui profili orizzontali vengono posati i pannelli facendoli alloggiare nell'incavo della guarnizione di tenuta inserita sui correnti verticali ed orizzontali.

Il sistema è completo di squadrette per il bloccaggio dei pannelli nel lato inferiore per la risoluzione degli angoli, per i raccordi verticali delle finestre e di scossaline per la protezione dell'ultima lastra, per il gocciolatoio e da posizionare alla base e alla fine dell'edificio nella realizzazione di facciate a doppio involucro.

Il secondo sistema è caratterizzato da pannelli in alluminio preverniciato, sagomabili in forme diverse:

Una prima tipologia prevede un pannello realizzato operando opportune fresature sulla lastra secondo linee di piegatura e risvoltando ogni bordo verso l'interno in modo da ottenere una forma scatolare provvista di asole per mezzo delle quali il pannello viene agganciato alla sottostruttura per mezzo di spinotti in acciaio. La sottostruttura è costituita da profilati a U che vengono fissati alle staffe a regolazione tridimensionale, che a loro volta vengono applicate al supporto murario con tasselli ad espansione.

Lo stesso tipo di pannello può essere fissato meccanicamente, tramite elementi a morsetto o viti, su profili a omega. I pannelli possono essere semplicemente accostati creando una intercapedine areata oppure il giunto può essere risolto da una guarnizione estrusa in neoprene o da una sigillatura con silicone strutturale verniciabile.

Un secondo esempio è rappresentato da pannelli di 6 mm di spessore che sono riquadrati e presentano fresature di testa sui quattro bordi perimetrali attraverso le quali vengono inseriti in profili estrusi in alluminio e fissati con silicone.

Altre tipologie presentano come variante il metodo di collegamento tra i pannelli, rappresentato dal fissaggio che rimane a vista, mentre gli altri elementi del sistema rimangono invariati.

I pannelli a doghe sono generalmente caratterizzati da sistemi modulari che prevedono il fissaggio a scatto degli elementi su traversine in alluminio. L'applicazione delle doghe viene eseguita inserendo contemporaneamente i bordi nelle sedi predisposte nelle traversine, che possono avere forme diverse.

Le doghe rimangono fissate per effetto della particolare conformazione dei lati. Tra i vari sistemi, una prima tipologia è caratterizzata da doghe in alluminio preverniciato, di 15-20-25-30 cm di larghezza che possono essere posate a modularità unica o combinata. Vengono applicate ad una sottostruttura costituita da traversine in alluminio preverniciato provviste di asole per l'applicazione delle doghe, fissata alla muratura per mezzo di tasselli ad espansione.

Le traversine devono essere fissate mantenendo almeno una distanza di 2 cm dalla parete di supporto. E' possibile realizzare in cantiere doghe d'angolo verticali, piegando un pannello diritto per mezzo di appositi strumenti.

Nel caso di doghe poste orizzontalmente lo spigolo deve essere risolto predisponendo una scossalina sostenuta da una staffa idonea per la chiusura del giunto.

Una seconda tipologia è costituita da doghe in alluminio preverniciato di 8,4 cm di larghezza, profondità di 1,6 cm spessore di 0,6 mm e lunghezza fino a 6 metri, applicata a traversine in alluminio di varie forme, predisposte per l'aggancio dei pannelli, che vengono applicate a profili in acciaio o alluminio fissati alla parete per mezzo di tasselli ad espansione. Il sistema è completo di pannelli curvi;

3.3.3 TIPOLOGIE DI PRODOTTI

CLASSIFICAZIONE

Una classificazione dei vari sistemi utilizzati per il rivestimento delle facciate può essere fatta in base ai materiali utilizzati per la realizzazione del rivestimento.

Si analizzano i prodotti adatti ai rivestimenti facendone una prima classificazione generale e procedendo l'analisi con lo studio di ogni famiglia di materiali e delle tipologie di prodotto più utilizzate presenti sul mercato.

Vengono presi in considerazione i materiali lapidei, in laterizio e metallici.

I rivestimenti esterni possono anche essere realizzati in legno ma in Italia questo materiale trova poche applicazioni nel recupero delle facciate e in vetro.

Per la posa dei rivestimenti di facciata va prestata particolare attenzione verso tutte quelle componenti progettuali e tecnologiche che concorrono a fornire e a mantenere i requisiti richiesti. Si è già più volte precisato che ogni progetto di recupero facciate presenta peculiarità e caratteristiche proprie che ne fanno una esperienza unica difficilmente ripetibile.

Per ogni tipologia di materiali vanno rispettati i criteri di scelta, i suggerimenti progettuali, le operazioni di posa in relazione al tipo di struttura, alla natura del supporto, al materiale di collegamento.

Per tutte le tipologie di rivestimento è la corretta posa in opera che garantisce una ottima durabilità nel tempo.

Bisogna prestare attenzione ai seguenti parametri:

- La scelta dei materiali in relazione al comportamento in opera (compatibilità rispetto agli altri materiali ed elementi del sistema con i quali vengono a contatto)
- Il tipo e la natura del supporto
- Le condizioni della sottostruttura
- Le tolleranze rispetto alla complanarità del supporto consentite dal tipo di struttura, dal tipo di rivestimento e dal tipo di collegamento adottati.
- La tipologia di ancoraggio e di aggrappo
- La progettazione e realizzazione dei giunti
- Le ricadute del progetto sull'organizzazione del cantiere in termini di stoccaggio dei materiali, scarico, movimentazione, sollevamento ai piani, tempi di posa.

3.3.3.1 I MATERIALI LAPIDEI

a) PROPRIETÀ E CARATTERISTICHE

Oggi esiste una elevata affidabilità dei materiali lapidei rispetto alle esigenze dell'industrializzazione in genere e di quella edilizia in particolare raggiunta attraverso la determinazione rigorosa delle loro caratteristiche fisico-meccaniche che permette di valutarne in modo univoco la capacità d'impiego in particolare nei casi in cui il materiale viene a trovarsi soggetto ad azioni statiche e dinamiche di notevole intensità

Le proprietà più importanti da considerare per i materiali da utilizzare per il rivestimento delle facciate sono determinate dalle prove di laboratorio e sono:

- Il peso di volume (densità) caratterizzato dal peso della roccia compresi gli spazi interni che determina la compattezza da cui derivano resistenza e durabilità
- La resistenza a compressione una delle caratteristiche più importanti delle rocce in generale assume particolare rilievo per i rivestimenti esterni solitamente soggetti al peso degli elementi sovrastanti e alle dilatazioni termiche. Varia in funzione della composizione mineralogica, della struttura e della tessitura: infatti a parità di composizione mineralogica la struttura microcristallina è più resistente di quella macrocristallina e la tessitura porfirica è più resistente di quella granitica.
Le varie tipologie dei materiali lapidei presentano generalmente una resistenza a compressione pari ad un valore dalle 10 alle 30 volte superiore alla resistenza a trazione che è piuttosto scarsa.
- La resistenza a flessione detta anche a trazione indiretta è molto bassa e determina la tensione di rottura a trazione causata soprattutto dall'azione dei carichi laterali tra i quali fondamentali sono le spinte prodotte dal vento sia in pressione che in aspirazione: è particolarmente importante per le lastre a spessori sottili che vengono sottoposte a sollecitazioni flessionali e quindi a tensioni interne di trazione sempre più elevate.
- La resistenza all'acqua ed ai vapori: il coefficiente di imbibizione che è massimo nei materiali a struttura porosa e minimo in quelli a struttura compatta determina i valori di assorbimento d'acqua e umidità da parte delle rocce. Il fenomeno aumenta sia il peso che il volume delle rocce e se l'acqua rimane a lungo al loro interno sotto forma di umidità ne compromette la resistenza meccanica e chimica. Non esistono comunque rocce completamente impermeabili: sono poco permeabili le rocce compatte (purché non presentino microfessurazioni) come i graniti, le sieniti e tutte le rocce sedimentarie e metamorfiche compatte mentre quelle porose sono permeabili. Una roccia compatta con pori piccoli che presenta umidità al suo interno è sottoposta a tempi più lunghi di evaporazione rispetto ad una roccia molto porosa.
- La lucidatura chiudendo molto i pori conferisce al materiale più resistenza al passaggio dell'acqua e delle sostanze aggressive requisiti che si possono ottenere anche attraverso la stesura di vernici o cere che svolgono una buona azione protettiva.

- La gelività che è dovuta ai cicli ravvicinati di gelo-disgelo in presenza di acqua provocati dalle forti escursioni termiche tra giorno e notte in grado di deteriorare il materiale. La gelività viene determinata attraverso prove di compressione e se un materiale risulta accentuatamente gelivo lo si esclude dall'impiego esterno làdove le variazioni di temperatura quotidiane o stagionali superino certi limiti. I materiali che possiedono un'alta capacità di imbibizione sono esposti ad un maggiore degrado fisico e inoltre vedono notevolmente diminuita la loro resistenza a flessione quando agli effetti dell'assorbimento sono uniti quelli dovuti al gelo; in questo caso si possono manifestare riduzioni della resistenza a flessione superiore al 20% dello stesso valore ottenuto con prove di laboratorio su materiale non sottoposto a queste sollecitazioni. Generalmente vengono definiti materiali gelivi i tufi vulcanici e calcarei, i calcari teneri e marnosi, le arenarie a cementazione argillosa: questo però non è sempre vero perché rocce compatte con pori piccoli che attraverso fessurazioni lascino infiltrarsi dell'acqua che congela, presentano più problemi di quanto possa avvenire in alcuni materiali porosi o cavi dove l'acqua evapora più in fretta e l'aumento del volume dell'acqua congelata trova più spazio e provoca di conseguenza meno tensioni nel materiale.
- La dilatazione termica lineare è abbastanza sensibile : presenta valori intermedi tra quelli dei metalli e quelli del legno. Se a questo si aggiunge la caratteristica di rigidità di tutte le rocce (il modulo di elasticità è molto elevato) e la bassa conducibilità termica vi sono le condizioni che favoriscono la creazione di tensioni interne al materiale che possono risolversi in fessurazioni, scheggiature o distacchi soprattutto in presenza delle sollecitazioni provocate dall'irraggiamento solare, sollecitazioni che sono maggiori se il rivestimento presenta una colorazione scura che ha la caratteristica di assorbire più calore. Anche le forti escursioni termiche circadiane possono provocare danni irreversibili al materiale.

b) LA POSA IN OPERA

Per quanto riguarda la posa in opera, i rivestimenti in materiale lapideo sono tra quelli ai quali è necessario prestare maggiore attenzione perché essendo sistemi progettati di volta in volta, presentano fattori quali le tecniche esecutive, le difficoltà di realizzazione, tempi e soprattutto costi economici che sono specifici di ciascun progetto e influiscono in modo più o meno significativo sulle diverse fasi del processo di posa in opera.

Al contrario gli altri tipi di rivestimento presentano sequenze di posa abbastanza semplici e codificate quasi da manuale.

La prima operazione da compiere consiste nella verifica preventiva di eventuali difetti intrinseci del materiale già presenti dall'estrazione in cava che potrebbero determinare l'insorgenza di patologie a posa avvenuta.

E' necessario verificare i quantitativi disponibili in cava in modo da garantire una produzione sufficiente anche nei casi di grande fabbisogno di materia prima.

Altro aspetto da considerare è che se si vogliono realizzare rivestimenti di facciata mediante utilizzo di grandi formati, solo pochi marmi presentano assenza completa di difetti meccanici sulle grandi dimensioni. Tanto maggiore è la dimensione, tanto più si impone una selezione del materiale da utilizzare. Importante anche la verifica del laboratorio di segagione : i difetti in questa fase sono irrimediabili con conseguenze dirette sul prodotto finale.

c) MODALITA' ESECUTIVE E METODI DI ANCORAGGIO

Tra le realizzazioni più significative si possono distinguere due diverse modalità di posa in opera:

- il primo è quello che utilizza le lastre di diversa dimensione ancorate con collanti o con tasselli puntuali (almeno 3 per lastra)
- il secondo prevede l'assemblaggio delle lastre su pannelli in cls armato o su telaio metallico.

I pannelli caratterizzati dall'assemblaggio degli elementi lapidei su cls o su telaio metallico prevedono una posa in opera semplicissima.

Vengono sollevati con mezzi meccanici e fissati mediante dispositivi di ancoraggio già previsti sul pannello che vanno a collegarsi a quelli predisposti sulla struttura portante: alcuni prevedono procedimenti simili a quelli utilizzati per l'applicazione dei pannelli prefabbricati in cls. I pannelli vengono completati in opera per mezzo dello strato isolante e dello strato di controtamponamento interno.

Possono avere dimensioni che vanno da solaio a solaio o da pilastro a pilastro e quelli a telaio possono comprendere lo strato di rivestimento esterno, i serramenti e lo strato di finitura interno.

L'esecuzione della posa in opera è molto rapida e razionale facilitata anche dalle operazioni di sollevamento che possono avvenire anche in cantieri dove lo spazio è piuttosto limitato.

Inoltre sia i pannelli semplici sia i sandwich avendo tutti gli elementi preassemblati in stabilimento sono caratterizzati da un maggiore livello di prestazioni e di compatibilità tra gli elementi oltre ad una elevata affidabilità del sistema che in questo modo può essere sottoposto a controlli più precisi e puntuali circa la sicurezza.

I pannelli vengono fissati agli elementi di sostegno per mezzo di zanche, bulloni, viti autofilettanti inseriti sul retro del pannello, rivetti, silicone strutturale o per mezzo dell'incastro dei bordi, operazioni che vengono eseguite quasi del tutto in stabilimento.

I giunti possono essere aperti o chiusi. La posa di facciate totalmente a giunti chiusi è realizzabile solo su pareti di piccola superficie e di altezza limitata soprattutto perché l'utilizzo di materiali a spessore sottile e l'elasticità delle strutture attuali concedono margini di tolleranza minimi o nulli rispetto agli effetti di assetamento provocati dai movimenti e dalle dilatazioni termiche cui il sistema è sottoposto.

La posa a giunti chiusi deve comunque sempre prevedere almeno un giunto aperto orizzontale di 15-20 mm ad ogni soletta che permette di posizionare le staffe portanti soltanto in corrispondenza della prima lastra sopra il giunto aperto prevedendo per tutte le altre lastre interpieno le staffe di solo trattenimento per cui il peso delle lastre intermedie si scarica sull'unica lastra portante.

Generalmente viene consigliato l'impiego di giunti aperti orizzontali di almeno 6 mm che non sono percepibili per ragioni estetiche già a poca distanza in modo da consentire al peso proprio di ogni elemento di scaricarsi sulle staffe portanti.

La soluzione migliore resta quando le esigenze dettate da motivi estetici o di completamento di un modulo esistente lo consentono quella di predisporre giunti aperti su tutti i lati degli elementi di rivestimento.

La posa a giunti aperti comporta facilitazioni date dalla possibilità di applicare elementi con i lati non perfettamente tagliati e di prestare minore accuratezza e precisione nell'applicazione dei dispositivi di ancoraggio che si riflette sul risparmio dei tempi di posa.

3.3.3.2 I MATERIALI LATERIZI

a) PROPRIETA' E CARATTERISTICHE

I rivestimenti di facciata realizzati in laterizio possiedono tutte quelle caratteristiche che permettono di offrire ottime prestazioni sia tecniche che estetiche.

I livelli tecnologici raggiunti nella produzione del materiale¹ hanno permesso un ritorno a grande scala sull'utilizzo di questo materiale come rivestimento esterno. (Tutti i recenti progetti di R.Piano (Lodi, Berlino) hanno previsto come rivestimento l'utilizzo di laterizio).

I prodotti in laterizio infatti offrono elevate caratteristiche di resistenza meccanica, agli agenti atmosferici, agli agenti aggressivi ed agli urti;

Il coefficiente di dilatazione è basso, la resistenza a flessione superiore ai 300 Kg/cm² ed il comportamento al fuoco ottimo.

I prodotti adatti ai rivestimenti esterni sono soprattutto quelli a pasta compatta caratterizzati da bassa porosità

¹ E' possibile anche controllarne la porosità e impedire le efflorescenze. Mediante un particolare processo produttivo che modificando la struttura capillare del materiale, impedisce all'acqua di veicolare i sali in superficie.

Con l'impiego del laterizio in facciata si raggiungono ottimi livelli espressivi, grazie alla vasta gamma di trattamenti superficiali (texture), tipologie di montaggio e formati. Il laterizio offre la possibilità di utilizzare varie tipologie di sottostruttura e materiali, acciaio, legno, alluminio, in funzione delle esigenze e del tipo di costruzione da rivestire.

B) LA POSA IN OPERA DEI MATERIALI IN LATERIZIO

L' utilizzo di elementi in laterizio per i rivestimenti di facciata a umido non presenta particolari problemi essendo un metodo codificato da tempo.

Particolare rilevanza invece assumono alcune tecniche a secco che prevedono la presenza di una sottostruttura metallica e degli aggrappaggi puntuali .

C) MODALITÀ ESECUTIVE E METODI DI ANCORAGGIO

Accanto alla tradizionale ed ormai consolidata posa in opera a umido, mediante l'utilizzo di malte e collanti esiste una serie di metodi ancora sperimentali che prevedono la posa in opera a secco.

Gli elementi cavi o sagomati in laterizio vengono applicati singolarmente per sovrapposizione o ad incastro.

I pannelli caratterizzati da mattoni preassemblati su telaio metallico in alluminio vengono applicati, per mezzo di profili in acciaio a C ad un pannello in c.a. alleggerito, a sua volta fissato alla struttura portante dell'edificio mediante profili in acciaio a L.

I sistemi di rivestimento a secco con lastre in ceramica di grandi dimensioni, sebbene rappresentino metodi nuovi per l'applicazione di questo materiale, tuttavia hanno alle spalle alcuni anni di sperimentazione. Possono essere realizzati con tecniche di fissaggio che prevedono che gli elementi di aggancio delle piastrelle alla sottostruttura rimangano in vista o nascosti. Il sistema di posa più frequente è quello a parete ventilata.

Le lastre, provviste sul retro di una rete di sicurezza in fibra di vetro tessile, vengono fissate ad un'orditura che è diversa in relazione al tipo di aggancio:

- il fissaggio a vista viene realizzato mediante l'applicazione di ganci o graffe metalliche, predisposte per l'aggancio dei bordi di quattro piastrelle, che vengono rivettate a profili verticali in alluminio fissati a sistemi di staffatura provvisti di fori e asole che vengono applicati alla parete con dispositivi idonei al tipo di supporto. I formati sono generalmente di 59,2x59,2 cm e 11 mm di spessore, 60x60,60x90, 120x120 cm e 8 cm di spessore.
- L'applicazione di silicone o altro prodotto analogo tra la superficie d'appoggio del laterizio e la graffa in metallo permette di evitare i rumori prodotti dalle vibrazioni di vario genere e di mantenere la piastrella nelle sue sedi nel caso di rottura trasversale.
- Per l' applicazione di lastre con fissaggio a scomparsa vengono utilizzate piastrelle che, oltre alla rete di sicurezza, presentano dispositivi di ancoraggio fissati sul retro.

L'orditura è composta da montanti verticali e guide orizzontali in alluminio o acciaio, provviste di asole, fissate alla struttura con dispositivi di fissaggio idonei al tipo di supporto.

L'applicazione delle lastre avviene per mezzo di staffe dotate di regolazione a vite che vengono fissate, mediante dadi autobloccanti in acciaio ai quattro tasselli provvisti di bullone predisposti sul retro, quindi agganciate e bloccate alle guide orizzontali della sotto struttura.

Un altro sistema prevede il fissaggio della lastra per mezzo di quattro rondelle in ceramica, dotate di una vite in acciaio incorporata, applicare al retro della lastra per mezzo di materiale adesivo: ad ogni vite sporgente viene applicata una staffa, fissata alla lastra con un dado autobloccante e provvista di sistema di regolazione per la posa, che va ad agganciarsi nelle scanalature della guida orizzontale dell'orditura di supporto e che viene fissata con un sistema di arresto che permette di evitare lo slittamento della lastra.

Tutti i sistemi descritti sono provvisti di pannelli isolanti fissati alla struttura di supporto per mezzo di collanti e/o dispositivi meccanici.

3.3.3.3 I MATERIALI METALLICI

a) PROPRIETA' E CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI

I metalli in genere presentano un'elevata resistenza meccanica e altissima conduttività termica. Nell'ambito dei sistemi di facciata la maggior parte dei metalli è utilizzata sotto forma di leghe: l'aggiunta in percentuale di piccole quantità di altri metalli modifica alcune delle proprietà accentuandone le caratteristiche fondamentali o correggendone altre.

Le caratteristiche meccaniche subiscono delle variazioni anche in relazione ai trattamenti meccanici e termici cui viene sottoposto il metallo.

Per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche i metalli utilizzati per i sistemi di rivestimento di facciata vengono sottoposti a prove di trazione, durezza, resilienza, scorrimento, urto, fatica.

Acciaio

L'acciaio presenta elevata resistenza a trazione, a compressione e a sforzi longitudinali o trasversali (flessione, taglio, torsione). Ha struttura compatta e non è soggetto a fenomeni di disgregazione.

Nei sistemi di facciata l'acciaio è utilizzato soprattutto per le sue caratteristiche di resistenza meccanica e di tenacità

La presenza di cromo in una quantità che va dal 13 al 18% conferisce all'acciaio inossidabile un'alta resistenza agli agenti chimici, in particolare alla corrosione conservando lucentezza nel tempo: un grado più elevato di resistenza alla corrosione è la caratteristica degli acciai denominati con la sigla 18-8, in cui al 18% di cromo corrisponde l'8% di nichel, impiegati per usi esterni.

La caratteristica di inossidabilità degli acciai al cromo-nichel 18-8 può essere persa nelle operazioni di saldatura, nel punto in cui il giunto viene saldato: si può risolvere il problema garantendo un lento e graduale raffreddamento nel punto precedentemente scaldato.

Alluminio

L'alluminio è caratterizzato da leggerezza, durezza, buona plasticità e formabilità che consentono di ottenere prodotti diversi, con strette tolleranze dimensionali ed alta precisione nel montaggio.

La scarsa resistenza meccanica viene migliorata attraverso trattamenti metallurgici. Il suo vasto utilizzo nei rivestimenti esterni è dovuto alla elevata resistenza agli agenti atmosferici ed alla corrosione: a contatto con l'ossigeno si passiva coprendosi di ossido che lo protegge dalla corrosione, protezione che può essere prodotta anche artificialmente attraverso il processo di ossidazione elettrolitica.

Tra le numerose leghe, quelle che interessano i prodotti per i rivestimenti esterni sono quelle in alluminio-magnesio che attraverso la giusta percentuale di magnesio presentano caratteristiche meccaniche abbastanza elevate pur mantenendo una buona duttilità

Zinco

Leghe a base di zinco vengono utilizzate per i rivestimenti esterni data la forte resistenza agli agenti atmosferici ed alla corrosione.

Rheinzink è un materiale piuttosto recente, utilizzato soprattutto per i rivestimenti esterni e in lattoneria, la cui lega a base di zinco è costituita da zinco puro elettrolitico la cui purezza raggiunge il 99,995% e da rame e titanio come leganti.

Questo materiale, prodotto in lastre laminate con larghezza massima di 1 m e spessore da 0,5 a 1,5 mm ha caratteristiche di resistenza agli agenti atmosferici (in particolare al gelo e all'umidità) e alla corrosione grazie alla patina protettiva che si forma sulla superficie messa a contatto con l'atmosfera, è idrorepellente e stagno al vapore, non è inquinante né tossico, è molto durabile, non richiede manutenzione ed è riciclabile.

Teme la corrosione umida e per questo motivo è meglio evitare il contatto con altri metalli per evitare il formarsi di fenomeni di corrosione elettrochimica.

La finitura superficiale può essere lucida da laminatoio o prepatinata, sempre di colore grigio-zinco.

I prodotti utilizzati nei sistemi di rivestimento di facciata vanno dalla semplice lamiera completata se necessario da uno spessore isolante ai pannelli completi di isolamento e rivestimento esterno.

Oltre allo spessore ed al peso importante per assicurare maggiore robustezza è la forma molto varia degli elementi che può essere appositamente studiata per assorbire i movimenti dovuti alle deformazioni.

Le tipologie si suddividono in base alla forma degli elementi in lamiere grecate, nervate, ondulate, doghe curve o sagomate, lastre piane, pannelli piani o sagomati. In base al tipo, al numero ed al diverso accostamento degli strati si hanno i vari tipi di pannelli semplici o compositi.

Pannelli semplici

I pannelli semplici, costituiti da un solo strato di materiale omogeneo, sono le lamiere, le lastre, le doghe e gli elementi scatolati:

Lamiere

Quando sono destinati al rivestimento delle chiusure verticali di tipo tradizionale, i pannelli sono costituiti da una semplice lamiera in acciaio o in alluminio abbinata, se necessario ad un pannello isolante. Le lamiere possono essere grecate, nervate, ondulate, con diversi tipi di finitura esterna: porcellanata, verniciata, plastificata, ecc.

La piegatura delle lamiere assume varie forme ed altezze ed è caratterizzata da un passo tale che la parte piana tra una piegatura e la successiva non denuncia alla vista antiestetiche ingobbature o irregolarità. Le lamiere presenti sul mercato generalmente hanno larghezze che non scendono al di sotto di 1-2 m e lunghezze di 3-4-5 m che possono arrivare anche a 18 m e più.

Questi pannelli vengono applicati direttamente alla struttura, oppure ad un'orditura intermedia per mezzo di chiodi, viti autofilettanti, colle. Se le dimensioni superano il metro quadrato è consigliabile applicare all'interno un elemento con funzione di irrigidimento.

Doghe

Le doghe sono elementi lunghi di larghezza limitata (15-30-40-50 cm circa) e spessori sottili (da 0,6 a 1,0 mm circa), in alluminio preverniciato e bordi sagomati a maschio e femmina per permettere l'unione dei vari elementi tra loro e la tenuta all'acqua, oppure con sagomatura simmetrica sui due lati (la larghezza di questo tipo va in genere da 8 A 13 CM).

Vengono applicate a scatto su traversine in alluminio fissate precedentemente alla parete o a un'orditura intermedia in alluminio.

Elementi scatolati

Vengono chiamati scatolati per la conformazione che prevede i quattro lati ripiegati. Presentano un sistema modulare di pannelli di forma, altezza e colori differenziati agganciati su una intelaiatura unificata.

La possibilità di distanziare il rivestimento dalla parete consente di ottenere una intercapedine ventilata

b) LA POSA IN OPERA

Il rivestimento delle facciate con materiali metallici viene utilizzato generalmente nel recupero di edifici pubblici o industriali e sempre più spesso nella ristrutturazione di pareti degradate grazie ai minori costi rispetto ad un intervento di recupero tradizionale.

La possibilità di poter eseguire modifiche del rivestimento con estrema facilità interessa soprattutto gli edifici industriali soggetti a continui interventi di tipo manutentivo e quelli sempre più numerosi che hanno la necessità di intervenire sull'involucro per ragioni strettamente legate ad una comunicazione d'immagine e rappresentatività.

Il rivestimento può essere eseguito per mezzo di semplici lamiere, di pannelli assemblati in opera e di pannelli prefabbricati che possono essere applicati su qualsiasi tipo di struttura: la varietà delle proposte presenti sul mercato consente massima libertà nella progettazione del rivestimento, rapidità e facilità di impiego, peso ridotto, robustezza e resistenza agli agenti atmosferici nonché facilità di manutenzione.

Dal punto di vista progettuale le dimensioni e la forma degli elementi rispondono ad una diversa gerarchia di esigenze, tipica dei rivestimenti esterni, dove la prima scelta viene quasi sempre fatta in relazione all'estetica.

In fase di progettazione è necessario considerare:

- l'inserimento degli aggetti e delle finestre presenti
- considerare che l'utilizzo di pannelli di notevoli dimensioni consente la riduzione delle giunzioni, delle sovrapposizioni, dei fissaggi e del numero delle manovre necessarie per la posa in opera, senza trascurare le esigenze di trasporto e di montaggio.
- Ricordare che se le dimensioni delle lamiere superano il metro quadrato e gli spessori sono molto sottili è meglio applicare sul retro un elemento di irrigidimento che, se necessario, può anche essere un pannello isolante rigido.
- Definire la posizione delle eventuali giunzioni delle lastre o dei pannelli lungo la parete facendo attenzione che siano disposti secondo un criterio tecnico, funzionale ed estetico.
- Controllare se il materiale scelto permette aggiustamenti in opera (taglio delle lamiere) o sia costituito da elementi standard predimensionati che creano forti vincoli al progetto.
- Considerare che i rivestimenti posti a diretto contatto con la parete possono presentare problemi perché i metalli in genere sono buoni conduttori, caratteristica che può assumere più o meno importanza in relazione alla capacità riflettente degli elementi.
- Per esempio la lamiera zincata ha una buona capacità di riflettere i raggi del sole ma quando viene verniciata il suo potere riflettente risulta modificato in misura più o meno sensibile a seconda del colore adottato: i colori chiari riflettono sino all'80% dell'irraggiamento termico diretto del sole, a differenza dei colori scuri che hanno maggiore potere assorbente.
- E' buona norma adottare la posa in opera che preveda un'intercapedine ventilata che permette, attraverso un buon isolamento, di ridurre il problema al minimo.

c) MODALITA' ESECUTIVE E METODI DI ANCORAGGIO

Gli elementi in lamiera, in alluminio o in acciaio vengono applicati direttamente alla struttura dell'edificio o ad una orditura intermedia di sostegno per mezzo di fissaggi meccanici, chiodi, viti autofilettanti, rivetti, bulloni.

La distanza tra i correnti della struttura di sostegno e il numero e tipo di fissaggi sono in funzione della capacità portante della lamiera e delle sollecitazioni indotte dal vento.

La sovrapposizione delle lamiere deve sempre essere fatta in corrispondenza degli elementi verticali dell'orditura.

Si inizia solitamente posando le prime lamiere a partire contemporaneamente dal piede e dal lato della parete, operazione che permette il perfetto sormonto laterale delle lamiere successive: se si prevede la posa di una successiva lamiera sormontata, si fissa ogni lamiera posata ad accezione del lato in alto. Si fissano quindi le scossaline dei davanzali, dei gocciolatoi, dei risvolti ai lati delle aperture e le eventuali scossaline di raccordo tra la parete e la copertura, oltre ai profili sugli angoli e sui giunti: alcuni sistemi sono provvisti di pezzi speciali di raccordo dalla forma curva che permettono di realizzare particolari soluzioni architettoniche.

Se l'orditura è in acciaio, come avviene sempre più spesso, il fissaggio può essere realizzato con viti autofilettanti o rivetti a seconda dello spessore dell'orditura di sostegno sia > 0 o $<$ di 4 mm.

I fissaggi visibili devono essere posti in opera secondo un ordine regolare dettato da motivi estetici; le viti in acciaio inox possono rimanere in vista anche se spesso vengono coperte da elementi speciali fissati a scatto con funzione protettiva ed estetica.

La soluzione che prevede la presenza dell'orditura intermedia tra rivestimento e struttura di supporto consente la realizzazione di rivestimenti a parete ventilata che proteggono soprattutto dal calore trasmesso dalla lamiera per conduzione.

La difficoltà che incontrano alcuni prodotti e componenti nell'affermarsi su larga scala soprattutto nell'edilizia residenziale è da ricercarsi non tanto nelle difficoltà applicative in sé quanto soprattutto nella carenza di norme nella mancata ricerca e acquisizione di consulenza tecnica adeguata e comunque nella sua interpretazione e trasferimento un modo corretto sia rispetto al momento progettuale che soprattutto in quello esecutivo e nella mancanza di conoscenze relative al comportamento nel tempo.

**LA NORMATIVA DEI SISTEMI DI RIVESTIMENTI DI FACCIATA
I MATERIALI ED I SISTEMI**

4.0. PREMESSA

Il quadro legislativo di riferimento è rappresentato dalle seguenti direttive che si enunciano per grandi linee:

- **Direttiva 92/50 Fornitura servizi**

Applicabile a servizi di progettazione, gestione e manutenzione, è recepita in Italia con Dlgs 17-03-1999 n. 157.

- **Direttiva 93/36 Appalti pubblici di forniture prodotti e componenti**

Applicabile agli appalti di fornitura beni, quali apparecchiature, ecc., è recepita in Italia con Dpcm del 29-04-1994. La fornitura di beni può comportare, a titolo accessorio, lavori di posa e installazione

- **Direttiva 93/37 Appalti pubblici di lavori**

Applicabile agli appalti di lavori pubblici, i suoi principi sono recepiti con Dlgs 19-12-1991, n. 406 e nella Legge Quadro in materia di Lavori pubblici (Legge 11-02-1994, n. 109, e successive modifiche e integrazioni).

- **Direttiva 89/106 Prodotti da costruzione**

Applicabile a materiali, prodotti e componenti edilizi destinati ad essere permanentemente incorporati in edifici e opere di ingegneria civile, recepita in Italia con Dpr 21-04-1993, n. 246

- **Direttiva 92/57 Sicurezza nei cantieri mobili**

Applicabile a tutti i cantieri di costruzione, manutenzione e demolizione con presenza prevista di oltre 100 uomini giorno, recepita con Dlgs 14-08-1996, n. 494 e successivo D.lgs 528/99.

Oltre agli atti di recepimento delle direttive comunitarie sopra esplicitate, bisogna anche ricordare:

il Decreto ministeriale 16-01-1996, "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi."

Stabilisce le norme tecniche relative a verifica di sicurezza e carichi e sovraccarichi a integrale sostituzione di quelle di cui al precedente decreto 12-02-1982. I metodi di verifica ammessi sono il metodo degli stati limite ed il metodo delle tensioni ammissibili. Gli aggiornamenti apportati sono di notevole rilevanza, soprattutto per quanto concerne i sovraccarichi variabili, il carico neve e l'azione del vento.

La legge 26-10-1995, n. 447 "Legge quadro sull'inquinamento acustico"

Stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo, definito come ogni ambiente interno a un edificio destinato alla permanenza di persone o di comunità e utilizzato per le diverse attività umane, dall'inquinamento acustico

Legge 9-01-1991, n. 10 "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia d'uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia"

Prevede per la sua attuazione l'emanazione di un'ampia serie di provvedimenti e decreti amministrativi.

In affiancamento a questo quadro legislativo (obbligatorio), esistono tutta una serie di norme (volontarie) di riferimento che disciplinano l'attività di produttori e progettisti:

Le norme, in generale, non sono vincolanti o cogenti; possono diventare parte di un contratto e di conseguenza possono divenire obbliganti solo se entrambi i contraenti le accettano. Le norme sono un utile strumento volontario d'accordo fra le parti: invece di dettagliare un contratto di fornitura o d'appalto le caratteristiche di un materiale da fornire, si può liberamente scegliere di fare riferimento alla norma UNI XXX; Bisogna ricordare inoltre che in generale un materiale, un sistema o una procedura "a norma" non è obbligatoriamente migliore di un materiale, un sistema o una procedura analoghi ma "non a norma".

Lo scopo delle norme è l'unificazione di prodotti e procedure, non la certificazione di qualità detta unificazione favorisce poi la standardizzazione di altri prodotti e procedure, in un circolo virtuoso che porta benefici indotti agli utenti. Al contrario, l'unificazione troppo spinta può creare una sclerosi nelle innovazioni ed un ritardo nella tecnologia.

Il quadro normativo (volontario) sui sistemi di facciata risulta ancora privo di una organica sistematicità che ne consenta una reale utilizzazione.

Dalle ricerche svolte e dai colloqui intercorsi con gli operatori di settore, sono emersi sostanzialmente tre aspetti principali:

- **il primo** è rappresentato dalla totale assenza di una norma univoca di riferimento valida per i sistemi di rivestimento di facciata;
- **il secondo** è dato dalla frammentarietà della normativa¹ che prende in considerazione tutti gli elementi costituenti il sistema, li analizza, li sottopone a verifiche e li *norma*, manca però

¹ Anche la norma UNI EN ISO 9001 che rappresenta l'espressione più completa di un sistema di certificazione e qualità, pur includendo le attività di progettazione e sviluppo del singolo prodotto,

il riferimento normativo al sistema inteso nella sua interezza, nella globalità di funzionamento¹.

- **Il terzo** è rappresentato dalla necessità delle aziende italiane di adeguarsi ai diversi sistemi normativi dei Paesi dove di volta in volta vanno ad operare. Questo comporta l' onere per ciascuna azienda di ottenere ogni volta il riconoscimento normativo (qualitativo) del proprio prodotto (sempre uguale) secondo la normativa straniera, pena l'impossibilità di poter lavorare o partecipare alle gare.

Le norme UNI che interessano il campo dei rivestimenti di facciata sono troppo generali per chiarire almeno alcuni aspetti elementari rispetto al funzionamento delle diverse soluzioni tecnologiche.²

Mentre la norma UNI 8369 fa una classificazione e definisce i termini fondamentali delle chiusure verticali con particolare riferimento agli elementi tecnici che la compongono, la (norma) UNI 7959, oltre a definire i requisiti delle pareti perimetrali verticali e a fornire indicazioni rispetto ai criteri di valutazione delle relative prestazioni, mette in luce le correlazioni esistenti tra il requisito e le stratificazioni funzionali del sistema di chiusura, tra quelle che più contribuiscono al suo soddisfacimento.

Una terza norma di carattere generale, la UNI 8979, classifica e definisce la funzione di ogni strato che compone il pacchetto delle chiusure verticali.

Per quanto riguarda l'incidenza del vento³, l'attuale normativa, di recente approvazione (D.M.16-01-96 relativo alle "norme tecniche in riferimento ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di vento", completata da una circolare esplicativa del 16-09-96), fa sostanziale riferimento ai criteri di calcolo proposti dalla UNI 1991/4 (Eurocodice "Azioni"). La norma, che sostituisce integralmente il precedente D.M. del 1982, recepisce le esperienze acquisite negli ultimi anni e, nello specifico, aumenta i carichi di vento effettivi rispetto agli usi consolidati. La sua applicazione, inoltre, risulta più completa con l'aumento delle zone di vento da cinque a nove, al fine di una maggiore attenzione per le zone situate ad altitudini elevate. Anche i coefficienti empirici per la valutazione della pressione cinetica di riferimento sono aumentati da uno a tre allo scopo di una stima più precisa delle varie componenti in gioco⁴.

processo, produzione, commercializzazione ed assistenza, manca di un riferimento al sistema nella sua interezza.

¹ Questo secondo aspetto è stato al centro del 3° Deutschen Fassadentag convegno tenutosi a Berlino nel febbraio 1998 durante il quale, tra gli altri argomenti, è stato dibattuto della necessità di arrivare alla stesura di una normativa organica ed univoca tale da raggruppare tutte le norme frammentarie presenti. Durante questo convegno il prof. Jurgen Bosecke ha presentato la bozza della nuova ATV DIN 18351 Fassadenarbeiten con la previsione di pubblicarla ufficialmente nel maggio 1999. Come campo di applicazione si riferisce ai sistemi di facciata da realizzarsi su grandi superfici. Non rappresenta una nuova Norma bensì racchiude i riferimenti alle altre norme (DIN) specifiche.

² Va precisato che le Norme UNI non hanno carattere di coerenza ma sono "solo" raccomandazioni.

³ Lo studio dell'azione del vento è di grande importanza nel progetto di un edificio, non solo per quanto riguarda il dimensionamento della struttura portante ma anche in relazione alla verifica funzionale delle sue varie componenti che trasmettono l'azione del vento alla struttura, come, ad esempio pareti perimetrali, coperture, serramenti, rivestimenti, accessori di facciata, parapetti ed altro. Nel calcolo delle strutture le verifiche sono relative al raggiungimento di stati limite di sicurezza che nel caso dei componenti sono molto elevati (anche mille volte superiori). Più è piccolo l'elemento considerato, più le azioni del vento possono essere gravose poiché aumenta proporzionalmente la sua sensibilità ai picchi tanto quanto è minore l'energia necessaria per fargli raggiungere lo stato limite. Quando il vento soffia su un edificio, in modo più o meno ortogonale rispetto ad una delle sue facciate, viene rallentato creando sulla parete interessata una sovrappressione; contemporaneamente viene deviato ed accelerato lungo le facciate laterali e dal tetto dove si generano sacche di vuoto che esercitano sulle superfici sottovento delle depressioni. Quanto maggiore è l'accelerazione del vento su tali superfici, tanto maggiori saranno le depressioni a questa dovute. In linea di principio la sovrappressione sulle facciate tende ad essere massima nella zona centrale e a diminuire verso i margini. Le depressioni maggiori invece si verificano in corrispondenza degli spigoli e lungo i bordi delle pareti e dei tetti: parti in cui il fissaggio degli elementi di rivestimento e del manto di copertura deve essere realizzato con particolare attenzione.

⁴ Il vento, la cui direzione si considera di regola orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo provocando in generale effetti dinamici. Per gli edifici tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti. Nel caso di edifici di grande altezza o lunghezza, il vento può dare luogo ad effetti la cui valutazione richiede l'applicazione di specifici procedimenti analitici, numerici o sperimentali più complessi ed adeguatamente comprovati. Le azioni del vento si traducono in compressioni e depressioni agenti perpendicolarmente alle superfici esterne ed interne degli elementi componenti la costruzione. Si considerano positive le compressioni e negative le depressioni. L'azione del vento sul singolo elemento viene determinato considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla sua superficie. Nel caso di costruzioni ad elementi di grande dimensione, si deve tener conto anche delle azioni tangenti esercitate dal vento sulle superfici. Le modalità di calcolo considerano la velocità di riferimento del vento mediato su un intervallo di tempo minimo di dieci minuti. Sulla base della velocità di riferimento si calcola la pressione del vento attraverso la seguente formula:

$p = Q_{ref} \times C_e \times C_p \times C_d$ dove

p è la pressione del vento

4.1 LA NORMATIVA ITALIANA

Precisato quanto in premessa, la normativa italiana futura si basa sull'attività di gruppi di lavoro agenti all'interno di una struttura ramificata dell'UNI. In particolare le prossime norme di procedura riguardanti i sistemi di facciata saranno proposte dal Gruppo di lavoro 15 8 (Sistemi di ancoraggio meccanico di facciata) della Sottocommissione 4 (Rivestimenti verticali e orizzontali) della Commissione edilizia.

Il titolo della prima di questa serie di norme è *"Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di sistemi d'ancoraggio dei rivestimenti di facciata a montaggio meccanico"* e sarà applicabile a edifici di nuova costruzione o assimilabili.

Si tratterà di vere e proprie istruzioni e raccomandazioni che consentiranno ai neofiti dei sistemi di facciata di capire e valutare in modo indipendente quel che è loro proposto dagli esperti di settore; istruzioni che consentiranno a quegli stessi esperti di progettare sulla base di norme comuni a tutti.

È un progetto di norma innovativo, soprattutto per l'Italia, dove nel settore non esiste nulla di simile: uno strumento operativo, pratico, snello, basato su esempi grafici, liste di controllo, schede per la scelta dei componenti variabili, indicazioni delle prestazioni da raggiungere e delle funzioni da svolgere per ogni elemento.

Ad esempio, si propone una formula di semplice uso per determinare lo spessore della lama d'aria in funzione di poche dati, si dà una sintesi degli errori da evitare, si indica un piano dei controlli di qualità sugli schemi di montaggio, sui materiali da impiegare.

Attualmente le norme di riferimento che riguardano le costruzioni in generale ma che si ritiene possano essere valide per estensione anche per le facciate sono le seguenti:¹

- La norma UNI 7979, *"Serramenti esterni verticali – Classificazione in base alla permeabilità all'aria, tenuta all'acqua e resistenza al vento"*;
- La norma UNI EN 77, *"Metodi di prova delle finestre – Prova di resistenza al vento"*, che definisce le prove statiche su campioni previste per i serramenti, che possono essere utili per la verifica della resistenza del rivestimento e del collegamento all'orditura;
- La norma UNI EN 86, *"Metodi di prova per le finestre – prova di tenuta all'acqua sotto pressione statica"*, le cui prove possono essere utilizzate per la determinazione della tenuta all'acqua e alla pioggia battente.

Questa situazione tuttavia non assolve gli operatori del settore dalla responsabilità che deriva dal loro lavoro. In attesa di procedure codificate di cui si sente non solo la mancanza ma che diventano urgenti in un campo così delicato, l'unica possibilità è rappresentata dalla normativa estera e dall'esperienza che sempre più si sta accumulando in questo campo e che è documentata in alcune pubblicazioni anche se in modo incompleto e frammentario e da alcune imprese private attraverso regolamentazioni specifiche interne.

L'assenza di normative specifiche porta quindi gli operatori a rifarsi a quanto contenuto in normative estere tra le quali le DIN tedesche di cui si ricorda la norma DIN 18516/1 del 1990 denominata *"Rivestimenti di parete ventilata – requisiti e prove"* che oltre a definire i requisiti dei materiali e dei componenti del sistema e ad analizzare il comportamento agli agenti atmosferici, fornisce le indicazioni rispetto alla loro realizzazione.

Viene trattato in particolare l'argomento che riguarda i dispositivi di ancoraggio perché la produzione di questi elementi è in Germania particolarmente evoluta sia dal punto di vista tipologico che tecnologico: tutti gli elementi vengono analizzati e definiti in modo molto particolareggiato attraverso numerosi rimandi ad altre norme di carattere specifico.

La direttiva CEE (89/106/CEE) relativa al riavvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri, concernenti i prodotti da costruzione, oltre a definire i sei requisiti essenziali cui i prodotti devono soddisfare, introduce la definizione dei marchi CE di conformità dei prodotti alle relative norme nazionali armonizzate con quelle comunitarie.

Qref è la pressione cinetica che dipende dalla zona di vento e dall'altitudine

Ce è il coefficiente di esposizione
Cp è il coefficiente di forma dell'edificio in esame

Cd è il coefficiente dinamico.

¹ Riguardano i più importanti tra i requisiti prestazionali di una facciata che vengono verificati soprattutto attraverso i carichi di esercizio.

I nuovi aspetti e sviluppi della normativa dovrebbero configurarsi in una tendenza verso l'aumento del fattore "qualità" che già si riscontra nella continua richiesta da parte della committenza e che dovrebbe portare a una forte spinta verso prodotti dalla qualità allargata con particolare riferimento agli aspetti che riguardano la sicurezza, la semplicità di messa in opera, l'affidabilità prestazionale per ottenere un prodotto caratterizzato da una specifica idoneità d'uso.

4.1.1 NORME DI CARATTERE GENERALE

Si riportano di seguito i riferimenti alle principali norme relative ai sistemi di facciata:

- UNI 8290/1 del 9/81 "Sistema tecnologico: classificazione e terminologia"
- UNI 8290/2 del 6/83 "Sistema tecnologico – Analisi dei requisiti"
- UNI 8369/1 del 9/88 "Chiusure verticali: classificazione e terminologia"
- UNI 8369/2 del 6/87 "Pareti perimetrali verticali: classificazione e terminologia"
- UNI 7959 del 5/88 "Pareti perimetrali verticali: analisi dei requisiti"
- UNI 8979 del 3/87 "Pareti perimetrali verticali: analisi degli strati funzionali"

Esistono anche alcune norme emanate da organismi di normalizzazione riconosciuti a livello europeo come l'UEAtc (*Union Europeen pour l'Agrément technique dans la construction*) e l'ICITE (Istituto italiano per la certificazione di idoneità tecnica nell'edilizia) e altre internazionali dell'ISO (*International for Standardisation Organization*).

- UEAtc Icite 1982, "Direttive comuni per l'agrément tecnico in materia di urti su elementi verticali opachi";
- UEAtc Icite 1982, "Direttive comuni per l'agrément tecnico degli elementi di tamponamento";
- UEAtc Icite 1988, "Direttive comuni per l'agrément tecnico delle facciate leggere";
- UEAtc Icite 1988, "Direttive comuni per l'agrément tecnico dei sistemi di isolamento esterno delle facciate con intonaco sottile su isolante in polistirolo espanso";
- UEAtc Icite 1988, "Direttive comuni per l'agrément tecnico dei sistemi d'isolamento esterno delle facciate (vetures);
- ISO 7727, "Joint dans le bâtiment – Principes de jonction des composants de bâtiment Aptitude à l'accommodation à des écarts dimensionnels en cours de construction"

4.2 I MATERIALI IN CERAMICA

Il quadro normativo dei materiali ceramici è completo grazie al recepimento delle norme europee EN (emanate negli anni 1984-85) destinate a sostituire quelle nazionali che si presentano disomogenee e scarsamente attinenti alla realtà produttiva ed alle esigenze di un mercato in rapida evoluzione in cui gran parte della produzione è destinata all'esportazione.

Interessano tutti i tipi di piastrelle di prima scelta e si riferiscono a quelle pressate e trafilate, smaltate e non smaltate, di qualunque formato. Si esprimono sulla terminologia, sulla classificazione, sulla determinazione delle caratteristiche dimensionali e di aspetto, sulle proprietà fisiche e chimiche. Classificano le piastrelle e stabiliscono, in particolare, i valori di resistenza a flessione richiesti in relazione ai livelli di assorbimento d'acqua.

La norma UEAtc Icite 1979, "Direttive comuni per l'agrément tecnico degli adesivi per i rivestimenti ceramici".

Per quanto riguarda gli altri materiali non vi sono norme specifiche che interessano i prodotti finiti da rivestimento.

norma	titolo
• UNI EN 87	Piastrelle in ceramica per rivestimento di pavimenti e pareti Definizioni, classificazione, caratteristiche e contrassegno

• UNI EN 98	Piastrelle in ceramica. Determinazione delle caratteristiche dimensionali e di aspetto
• UNI EN 100	Piastrelle in ceramica. Determinazione della resistenza a flessione
• UNI EN 103	Piastrelle in ceramica. Determinazione della dilatazione termica lineare
• UNI EN 104	Piastrelle in ceramica. Determinazione della resistenza agli sbalzi termici
• UNI EN 106	Piastrelle in ceramica. Determinazione della resistenza chimica
• UNI EN 100	Piastrelle in ceramica. Determinazione della resistenza a flessione
• UNI EN 121	Piastrelle in ceramica. Piastrelle estruse con basso assorbimento d'acqua (E<3%). Gruppo A1
• UNI EN 122	Piastrelle in ceramica. Determinazione della resistenza chimica. Piastrelle smaltate
• UNI EN 159	Piastrelle in ceramica. Piastrelle pressate a secco con assorbimento d'acqua (E>10%). Gruppo B III
• UNI EN 163	Piastrelle in ceramica. Comportamento e criteri di accettazione
• UNI EN 176	Piastrelle in ceramica. Piastrelle pressate a secco con basso assorbimento d'acqua (E<3%). Gruppo B I
• UNI EN 177	Piastrelle in ceramica. Piastrelle pressate a secco con assorbimento d'acqua (3%<E<6%). Gruppo B II a.
• UNI EN 178	Piastrelle in ceramica. Piastrelle pressate a secco con assorbimento d'acqua (6%<E<10%). Gruppo B II b
• UNI EN 186-1	Piastrelle in ceramica. Piastrelle estruse con assorbimento d'acqua (3%<E<6%). Gruppo AII a. Parte1
• UNI EN 186-2	Piastrelle in ceramica. Piastrelle estruse con assorbimento d'acqua (3%<E<6%). Gruppo AII a. Parte2
• UNI EN 187-1	Piastrelle in ceramica. Piastrelle estruse con assorbimento d'acqua (6%<E<10%). Gruppo AII b. Parte1
• UNI EN 187-2	Piastrelle in ceramica. Piastrelle estruse con assorbimento d'acqua (6%<E<10%). Gruppo AII b. Parte 2
• UNI EN 188	Piastrelle in ceramica. Piastrelle estruse con assorbimento d'acqua (E>10%). Gruppo A III
• UNI EN 202	Piastrelle in ceramica. Determinazione della resistenza al gelo

4.2 MATERIALI CERAMICI

4.2.1. PROVE SUL MATERIALE

Le lastre di materiale ceramico che rientrano nel campo di applicazione di queste istruzioni devono essere sottoposte a prove sul materiale come di seguito specificato; i risultati dovranno essere indicati in un certificato di prova, non precedente a tre anni, emesso da un istituto di prova accreditato.

- **Resistenza alla flessione delle piastrelle.**
La prova di resistenza alla flessione deve essere condotta in accordo alla UNI EN 100 (flessione e taglio)
- **Resistenza all' estrazione di fissaggi.**
Ove la prestazione della ceramica non sia già stata stabilita in pratica, la sua resistenza all' estrazione dei fissaggi deve essere dimostrata o determinata sperimentalmente o in accordo con metodi esistenti.
- **Resistenza all' invecchiamento.**
Ove la prestazione della ceramica non sia stata già stabilita in pratica, la sua resistenza all'invecchiamento deve essere dimostrata o determinata sperimentalmente.

4.2.2 PROGETTAZIONE DELLE LASTRE

Le piastrelle in ceramica devono essere verificate rispetto ad un' adeguata resistenza alla flessione ed all' estrazione dei fissaggi (ad esempio secondo i metodi dell' analisi strutturale).

Lo spessore delle piastrelle quando queste sono installate con una pendenza >60°, deve essere ≥ 7,5 mm; con una pendenza < 60° deve essere ≥ 10 mm.

La resistenza ammissibile alla flessione ed all' estrazione dei fissaggi desunta dai certificati di prova deve essere determinata tramite valutazione statistica (usando il 5° percentile ad un livello di affidabilità del 75% ed un fattore di sicurezza pari a 3) dei risultati da almeno 20 campioni.

- **Piastrelle orizzontali o inclinate.**
Nel caso di piastrelle installate orizzontalmente o con pendenza < 30° , il peso proprio deve essere moltiplicato per un fattore di 2,5 per considerare la riduzione nella resistenza ammissibile alla flessione ed all' estrazione dei fissaggi come risultato di carichi permanenti o dinamici.
Se le prove mostrano che la resistenza all' estrazione (perpendicolare alla superficie della lastra) è < 200N, deve essere usato un fattore di 3,5.

Questi fattori di correzione devono essere usati solo per la componente del peso proprio agente perpendicolarmente alla superficie della lastra.

- **Piastrelle d' intradosso.** Può essere permesso di fissare meccanicamente piastrelle d'intradosso ad altre lastre (tipicamente, a lastre verticali adiacenti). Qualsiasi collegamento con cemento, mastice o stucco non deve essere tenuto in conto ai fini della progettazione.
- **Inflessione.** L' inflessione risultante dalla componente del peso proprio agente ad angolo retto rispetto alla superficie della piastrella deve essere $< 1/500$ della luce. Ove non è noto il modulo di elasticità, l' inflessione deve essere determinata con prove sperimentali.
- **Carichi addizionali.**
La temperatura delle singole unità di rivestimento che siano rigidamente connesse tra loro (ad esempio per mezzo di tasselli fissati con malta in strutture adiacenti) può essere assunta che vari di $\pm 35^\circ$ rispetto alla temperatura al momento di installazione, per tener conto dello spostamento delle teste dei tasselli.
Il coefficiente d' espansione delle piastrelle αT deve essere assunto pari a $0.00001 \text{ mm}/(\text{mm}^\circ\text{C})$ che tiene conto anche della curvatura.

Ove le piastrelle non siano rigidamente connesse, la forza di frizione risultante dalla componente del peso proprio della lastra agente sul tassello deve essere presa in considerazione nella progettazione del tassello.

4.3 I MATERIALI LAPIDEI

Le norme di prodotto italiane esistono da anni e sono numerose, perché è stato relativamente facile standardizzare i metodi per determinare le caratteristiche di un manufatto;

norma	titolo
• UNI 8458	Prodotti lapidei – Terminologia e classificazione
• UNI 9724 P.1	Materiali lapidei – Descrizione petrografica
• UNI 9724 P.2	Materiali lapidei – Determinazione della massa volumica apparente e del coefficiente d'imbibizione
• UNI 9724 P.3	Materiali lapidei – Determinazione della resistenza a compressione semplice
• UNI 9724 P.4	Materiali lapidei – Confezionamento sezioni sottili e lucide
• UNI 9724 P.5	Materiali lapidei – Determinazione della resistenza a flessione
• UNI 9724 P.6	Materiali lapidei – Determinazione della microdurezza knoop
• UNI 9724 P.7	Materiali lapidei – Determinazione della massa volumica reale e della porosità totale e accessibile
• UNI 9724 P.8	Materiali lapidei – Determinazione del modulo elastico semplice (monoassiale)
• UNI 9725	Prodotti lapidei – Criteri d'accettazione
• UNI 9726	Prodotti lapidei (grezzi e lavorati) Criteri per l'informazione tecnica
• UNI 10330	Prodotti lapidei agglomerati – Terminologia e classificazione
• UNI 10442	Prodotti lapidei agglomerati – Determinazione delle resistenze all'urto
• UNI 10443	Prodotti lapidei agglomerati – Determinazione della resistenza a flessione
• UNI 10444	Prodotti lapidei agglomerati – Determinazione della massa volumica apparente e dell'assorbimento d'acqua
• Pr.UNI U32.07.248.0	Materiali lapidei. Determinazione della resistenza all'urto

4.3.1. PROVE SUL MATERIALE

Le lastre di materiale lapideo che rientrano nel campo di applicazione di queste istruzioni devono essere sottoposte a prove sul materiale come di seguito specificato; i risultati dovranno essere indicati in un certificato di prova non precedente a tre anni emesso da un istituto di prova accreditato e riconosciuto.

- **Resistenza alla flessione delle lastre.**
La prova di resistenza alla flessione deve essere condotta in accordo alla UNI 9724 Parte 5 (flessione e taglio) o, preferibilmente con la DIN 52112 con due carichi distanziati o con la ASTM C880(flessione pura)
- **Resistenza all' estrazione di fissaggi.**
Ove la prestazione della pietra naturale o rinforzata non sia già stata stabilita in pratica, la sua resistenza all' estrazione dei fissaggi deve essere dimostrata o determinata sperimentalmente o in accordo con metodi esistenti (ad esempio, con la Guideline for determining the pull-out strength of fixings in natural stone slabs⁸).
- **Resistenza all' invecchiamento.**
Ove la prestazione della pietra naturale o rinforzata non sia stata già stabilita in pratica, la sua resistenza all' invecchiamento deve essere dimostrata o determinata sperimentalmente.

4.3.2 PROGETTAZIONE DELLE LASTRE

Le lastre in pietra naturale o rinforzata devono essere verificate rispetto ad un'adeguata resistenza alla flessione ed all' estrazione dei fissaggi (ad esempio secondo i metodi dell'analisi strutturale e secondo *Le nuove espressioni del marmo* -SEI, prima parte - I rivestimenti esterni⁹).

Lo spessore delle lastre naturali quando queste sono installate con una pendenza >60°, deve essere ≥ 15 mm; con una pendenza < 60° deve essere ≥ 20 mm.

Lo spessore delle lastre rinforzate deve essere rispettivamente ≥ 10 mm e ≥ 13 mm.

La resistenza ammissibile alla flessione ed all' estrazione dei fissaggi desunta dai certificati di prova deve essere determinata tramite valutazione statistica (usando il 5° percentile ad un livello di affidabilità del 75% ed un fattore di sicurezza pari a 3) dei risultati da almeno 40 campioni.

Se lo spessore delle lastre con pendenza ≥ 60° è ≥ 30 mm (≥ 20 mm per quelle rinforzate), e quello delle lastre con pendenza < 60° è ≥ 40 mm (≥ 26 mm per quelle rinforzate), è ammessa la valutazione statistica dei risultati a partire da almeno 10 campioni.

- **Lastre orizzontali o inclinate.**

Nel caso di lastre installate orizzontalmente o con pendenza < 30° , il peso proprio deve essere moltiplicato per un fattore di 2,5 per considerare la riduzione nella resistenza ammissibile alla flessione ed all' estrazione dei fissaggi come risultato di carichi permanenti o dinamici.

Se le prove mostrano che la resistenza all' estrazione (perpendicolare alla superficie della lastra) è < 400N, deve essere usato un fattore di 3,5.

Questi fattori di correzione devono essere usati solo per la componente del peso proprio agente perpendicolarmente alla superficie della lastra.

- **Lastre d' intradosso.**
Può essere permesso di fissare meccanicamente lastre d' intradosso ad altre lastre (tipicamente, a lastre verticali adiacenti). Qualsiasi collegamento con cemento, mastice o stucco non deve essere tenuto in conto ai fini della progettazione.
- **Inflessione.** L' inflessione risultante dalla componente del peso proprio agente ad angolo retto rispetto alla superficie della lastra deve essere < 1/500 della luce. Ove non è noto il modulo di elasticità, l' inflessione deve essere determinata con prove sperimentali.
- **Carichi aggiuntivi.** La temperatura delle singole unità di rivestimento che siano rigidamente connesse tra loro (ad esempio per mezzo di tasselli fissati con malta in strutture adiacenti) può essere assunta che vari di ± 35° rispetto alla temperatura al momento di installazione, per tener conto dello spostamento delle teste dei tasselli. Il coefficiente d' espansione delle lastre deve essere assunto pari a 0.00001mm/(mm°C), che tiene conto anche della curvatura.

⁸ Ottenibile dallo Landesgewerbeanstalt Bayern, Zweigstelle Wurzburg, Dreikronenstrabe 31, D-97082 Wurzburg

⁹ Ottenibile dall' Internazionale Marmi e macchine Carrara, Viale Galileo Galilei 133, 54036 Marina di Carrara

Ove le lastre non siano rigidamente connesse, la forza di frizione risultante dalla componente del peso proprio della lastra agente sul tassello deve essere presa in considerazione nella progettazione del tassello.

4.4. SISTEMI DI COLLEGAMENTO E DI SUPPORTO DEI RIVESTIMENTI DI FACCIATA

Per gli ancoranti metallici a espansione (i cosiddetti tasselli a espansione) esistono da anni una norma ed una guida tecnica italiane, perché è stato relativamente facile standardizzare sia i metodi per determinare le caratteristiche sia i modi di impiego di questi prodotti applicati e quindi sperimentati da decenni per svariati impieghi in condizioni estremamente variabili nonché ottimizzati da grandi produttori.

NORMA	TITOLO
UNI 9811	Opere di ingegneria civile – ancoranti metallici a espansione- Criteri di accettazione
ICITE	Tasselli di fissaggio – guida tecnica UEAtc per calcestruzzo fessurato e non fessurato

Le norme di procedura al contrario sono rare anche a livello europeo in quanto non è stato facile standardizzare un metodo di progettazione: esistono una norma inglese e una norma tedesca (per consentire una panoramica il più possibile completa, sono riportati anche i titoli di una direttiva italiana, di una guida americana e di una nota d'informazione tecnica belga).

Tali norme sono i cosiddetti codici di pratica o istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di un elemento edilizio. Queste norme e indicazioni (anche le più recenti) mostrano fissaggi molto tradizionali, che esistono da decenni, spesso obsoleti;

	TITOLO
1 BS 8298	Natural stone cladding and lining. Code of Practice for Design and installation of.
2 DIN 18516 Part.3	Back-ventilated, non loadbearing, external enclosures of buildings, made from natural stone. Design and installation
3 Icite	Facciate leggere . Direttive comuni per l'Agrément tecnico
4 Astm C 1242	Exterior dimension stone anchors and anchoring system. Standard guide for Design, selection and installation of
5 Cstb	Bardages rapportés faisant l'objet d'un avis technique ou d'un constat de traditionalité. Règles generales de conception et de mise en œuvre de l'ossature métallique et de l'isolation thermique
6 Cstc n.i.t. 56	Les revêtements de facade en plaques de pierre naturelle. Conception et mise en œuvre.

4.4.1. ISTRUZIONI PER LA PROGETTAZIONE

Vanno calcolate prioritariamente le sollecitazioni e le deformazioni indotte dai carichi propri del rivestimento e di esercizio nel sistema meccanico di fissaggio.

Bisogna considerare i carichi agenti sulle costruzioni come da norme con particolare attenzione alle sollecitazioni prodotte dall'azione del vento.

Per il coefficiente di forma dell' edificio (o parti dell' edificio quali balconi, parapetti, gronde, sporti) bisogna fare riferimento alle norme o alle pubblicazioni specialistiche, ricordando però che in molti casi è prudente assumere tale coefficiente pari a 3 (o a 2 a seconda dei casi) almeno per le parti prevedibilmente più sollecitate.

Pur essendo ammesso il fissaggio di lastre a soffitto, di norma è raccomandato prima procedere con adeguata sperimentazione al vero e con test di resistenza nel tempo (eventualmente ottenuti con cicli di invecchiamento artificiale);

Se la sperimentazione ed i test saranno superati positivamente, sarà possibile proseguire con tranquillità nella progettazione ed installazione del fissaggio di lastre a soffitto, seppure con coefficienti di sicurezza maggiorati rispetto ai fissaggi a parete.

4.4.2 QUADRO AMBIENTALE

4.4.2.1. TIPO ED INTENSITA' DEGLI AGENTI SOLLECITANTI, A TEMPO T=0

- 1) Pesi propri dei materiali strutturali, carichi e sovraccarichi, carico neve, azioni del vento, variazioni termiche

Si rimanda alle Norme Tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" (D.M. 16.gennaio 1996)

2) **Aggressività dell'atmosfera**
 E' da tenere in conto nella scelta dei materiali dei singoli componenti del sistema di collegamento e supporto.

Si distingue in :

- a) marina
- b) industriale
- c) urbana
- d) rurale

3) **Situazioni d' esposizione locale**
 E' da valutare per scegliere le combinazioni di carico probabilmente più gravose, specie in termini di neve e/o vento.

Si distingue in :

- a) sito protetto : fondovalle circondato da colline e protetto nelle direzioni di provenienza dei venti più violenti.
- b) sito normale : terreno piano che può presentare dislivelli poco sensibili
- c) sito esposto : zona litorale vicino al mare, valli montane in cui sono presenti venti violenti, zone montane isolate ed esposte.

4.4.2.2. TIPO ED INTENSITA' DEGLI AGENTI SOLLECITANTI , A TEMPO $T>0$

Oltre a quanto sollecitante a tempo $T=0$ e fatte salve eventuali riduzioni (dovute ad esempio alla diminuzione dell' aggressività dell' atmosfera), avremo anche:

- assestamenti del suolo
- assestamenti delle strutture
- ritiro lento delle strutture
- fessurazione delle strutture (anche in accoppiamento con l' aggressività dell'atmosfera)
- degradazione o corrosione delle strutture
- cicli di carico affaticanti
- cicli di gelo/disgelo
- aggressione da materiali nocivi
- spostamenti di vincolo, difetti di montaggio
- eccentricità non voluta, imperfezioni geometriche e di carico

4.5 NORME PER LA PROGETTAZIONE, ESECUZIONE E MANUTENZIONE

N	TITOLO
Ministero dei Lavori Pubblici D.M. 9 Gennaio 1996	Norme tecniche per il calcolo, l' esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche
Ministero dei Lavori Pubblici D.M. 16 Gennaio 1996	Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.

Ministero dei Lavori Pubblici D.M. 16 Gennaio 1996	Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica
Ministero dei Lavori Pubblici Circ.su G.U 207 26 Novembre 1996	Istruzioni per l' applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l' esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le costruzioni metalliche" di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
Ministero dei Lavori Pubblici	Istruzioni per l' applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
UNI 3740 1965	Bulloneria d' acciaio - Prescrizioni tecniche
UNI 6900 Novembre 1971	Acciai inossidabili - Classificazione
UNI 7070 1972	Prodotti finiti d' acciaio d' uso generale laminati a caldo - Profilati, laminati mercantili, larghi e piatti, lamiere e nastri larghi aventi spessore $\geq 3\text{mm}$
UNI 8458 Marzo 1983*	Prodotti lapidei- Terminologia e classificazione
UNI 9379 Febbraio 1989*	Edilizia - Pavimenti lapidei - Terminologia e classificazione
UNI 9811 Gennaio 1991*	Opere di ingegneria civile - Ancoranti metallici ad espansione - Criteri di accettazione
UNI 10330	Prodotti lapidei agglomerati - Terminologia e classificazione
UNI EN 87 Luglio 1992*	Piastrelle di ceramica per rivestimento di pavimenti e pareti Definizioni, classificazione e contrassegno.

Tabella relativa alle indicazioni di peso massimo del rivestimento (Kg/mq) in funzione dello spessore e del tipo di rivestimento

Tipo di rivestimento	Spessore (mm)					
	9	13	20	30	45	70
Basalto e diorite granito, sienite ardesia, gneiss e marmo calcare compatto, dolomia e porfido quarzite	(questo tipo di rivestimento di norma non è usato a questi spessori)		60	90	135	210
Travertino, arenaria, calcare tenero	(questo tipo di rivestimento di norma non è usato a questi spessori)			72	108	168
Marmo rinforzato (con lamina di fibra di vetro sp. 1,5 mm)	25,5 (sp. 10mm)	(questo tipo di rivestimento di norma non è usato a questi spessori)				
Granito rinforzato (con lamina di fibra di vetro sp. 1,5 mm)	22,5	30,5 (Sp.12 mm)	43,8 (Sp.17mm)	(questo tipo di rivestimento di norma non è usato a questi spessori)		
Ceramica monocottura di grès atomizzato	22,5 Sp.10,5mm	29,5	(questo tipo di rivestimento di norma non è usato a questi spessori)			
Grès porcellanato	18	26	40	60	(non è usato a questi spessori)	
Cotto	(non è usato)	26	40	60	90	(non è usato)

* Ai fini di queste istruzioni , sono applicabili le definizioni date nelle UNI 9379 e 8458. La terminologia che ha rilevanza particolare in queste istruzioni è riprodotta qui di seguito, insieme con quella che ne è data nelle UNI 9379 e 8458.

-
-
-

	a questi spessori)					a questi spessori)
--	--------------------	--	--	--	--	--------------------

4.6. LA NORMATIVA BRITANNICA

La norma Britannica sulla progettazione e installazione dei rivestimenti esterni Bs 8298 del 1994 è un ottimo codice di pratica; fornisce molte linee-guida, esempi e dettagli pratici per la progettazione e l'installazione in facciata di lastre con ancoraggi meccanici, sia aggrappati ad un supporto retrostante sia inglobati in grandi pennellature di calcestruzzo armato prefabbricato. Dopo aver definito la terminologia ed i prodotti da impiegare, la norma fornisce le istruzioni per la progettazione riguardo all'isolamento termico, alla protezione dalle intemperie, alla scelta del materiale e del metodo di ancoraggio, ai dettagli di giunzione e sigillatura, ai sistemi d'assorbimento delle variazioni dimensionali ed altro. Si occupa delle lavorazioni in laboratorio ed in cantiere; infine dà istruzioni per la manutenzione, aspetto che sta diventando sempre più importante.

La revisione critica di carattere particolare fa notare quanto segue:

- Il materiale prescritto per il fissaggio è l'acciaio inossidabile o il rame e le sue leghe; non sono previsti l'acciaio zincato, l'alluminio e l'ottone;
- I fori sul retro delle lastre non sono considerati sebbene rappresentino una delle più alte potenzialità per l'uso massiccio di rivestimenti sottili dato che liberano dalla necessità di fresare o forare coste da 0,9 cm;
- Molti fissaggi sono aggrappati con malta alla struttura retrostante nonostante oggi la malta sia quasi completamente abbandonata;
- Sono riportati come standard i fissaggi di trattenuta realizzati in filo metallico ritorto, mentre ora il filo è usato solo se non vi sono assolutamente altre possibilità e in ogni modo per aree limitatissime (poche lastre su una intera facciata);
- In generale è ancora prevista poca regolazione esterno/interno; attualmente, per venire incontro alle esigenze d'ampie tolleranze di costruzione dell'impresa, si realizzano regolazioni di ± 3 cm;
- Sono riportati i fissaggi passanti attraverso lo spessore della lastra di rivestimento tramite viti a testa esagonale e dischetto di mascheratura; questi fissaggi sono ormai quasi del tutto abbandonati (salvo che siano l'unica estrema possibilità) dato che modificano gravemente l'estetica di facciata.

4.7. LA NORMATIVA TEDESCA

La norma tedesca sulla progettazione e installazione di sistemi di facciata *DIN 18516* parte 3 ha dato nel 1990 un primo buon esempio di guida alla progettazione e all'installazione, con una norma di settore di facile comprensione, chiara, lineare, univoca, che seleziona poche soluzioni standard; lascia la libertà al progettista, al fornitore e al posatore di operare scelte particolari cantiere per cantiere solo sulla base di adeguate dimostrazioni teoriche o pratiche (ovvero: verifiche accurate dello stato tensionale e deformazionale tramite calcolatore elettronico (verifiche al vero).

Operando una revisione critica si può notare:

- il materiale prescritto per il fissaggio è l'acciaio inossidabile Aisi 316; non sono previsti l'acciaio inossidabile Aisi 304, l'acciaio zincato, l'alluminio e l'ottone;
- sono riportati fissaggi pesanti attraverso lo spessore della lastra di rivestimento tramite viti a testa svasata; questi fissaggi sono ormai quasi del tutto abbandonati dato che modificano gravemente l'estetica di facciata;
- sono prevalentemente mostrati e descritti fissaggi sui fianchi delle lastre di rivestimento; questa locazione dei fissaggi è superata dato che crea torsioni anziché flessioni sul morsetto, aumenta la fatica per i posatori e tendenzialmente favorisce l'iperstaticità dei vincoli;
- anche quando i fissaggi sono sulle coste inferiore e superiore delle lastre, vi è una preferenza per fori sulle lastre e perni sui morsetti; i fori però rappresentano più elevati rischi di rotture in caso di gelo (dato il peggiore rapporto volume da espandere/superficie libera d'espansione) e potenziali problemi di disallineamento da una lastra all'altra;
- tutti gli aggrappi sulle strutture portanti retrostanti sono a malta; non sono mostrati i tasselli a espansione né tasselli chimici;

Conclusioni

Si è evidenziato come una norma tecnica sia un documento volontario, elaborato in modo consensuale dalle parti interessate e approvato da un organismo riconosciuto per legge che definisce lo stato dell'arte di prodotti, servizi e processi.

Le norme nascono come specifiche tecniche volontarie ma il loro valore "socioeconomico" può essere tale da indurre lo Stato a recepirle in provvedimenti legislativi: in questo caso l'osservanza della norma, diventata "regola tecnica", è obbligatoria.

Il concetto di normazione ha subito una sensibile evoluzione. Dal significato primitivo, basato essenzialmente sul concetto d'intercambiabilità si è passati ad accezioni via via più ampie. L'attività di normazione viene estesa dall'unificazione dimensionale e dalla descrizione delle caratteristiche dei prodotti alla definizione ed al controllo delle prestazioni dei prodotti, processi e servizi, acquisendo ben maggiore incisività e dinamicità

Da qui la rilevanza del ruolo socio-economico della normativa che si estrinseca nel:

- migliorare l'economicità del sistema produttivo attraverso la definizione e l'unificazione dei prodotti e dei processi, delle prestazioni e delle modalità di controllo di prova e di collaudo;
- migliorare la commerciabilità di prodotti e servizi
- facilitare la comunicazione tecnica per mezzo dell'unificazione dei simboli, dei codici e delle interfacce;
- promuovere la sicurezza dell'uomo e dell'ambiente attraverso la definizione dei requisiti di prodotti, processi e comportamenti;
- salvaguardare in generale gli interessi dei produttori, dei consumatori e della collettività
- migliorare in generale il livello qualitativo di prodotti, servizi e processi;

Le norme tecniche sono messe a punto con il consenso e la cooperazione di tutte le parti interessate, produttori, utenti, mondo della ricerca e autorità competenti ed esprimono quindi una soluzione concordata. La soluzione migliore in base al livello tecnologico del momento, alle ragioni economiche. La garanzia per il consumatore rispetto alla durata, quantità e qualità dei prodotti e rispetto alla loro sicurezza o ad altre caratteristiche di carattere collettivo.

L'attività di normazione costituisce un vantaggio anche per il produttore. Il contenuto delle norme è il risultato di ricerche e prove di laboratorio, studi e progettazioni diretti a semplificare e razionalizzare i processi produttivi, migliorandone l'economicità a ridurre gli interventi post-vendita e il contenzioso con i clienti per i prodotti difettosi.

Le norme devono:

- essere accessibili al pubblico per garantire a chiunque la possibilità di conoscerne l'esistenza e di avvalersi dei loro contenuti;
- essere messe a punto con la cooperazione e il consenso o l'approvazione generale di tutte le parti interessate (produttori, utenti, laboratori, autorità competenti), per non servire interessi particolari;
- essere fondate sui risultati congiunti della scienza, della tecnologia e dell'esperienza, per essere rappresentative dello "stato dell'arte", a sua volta definito come "stadio dello sviluppo raggiunto in un determinato momento dalle capacità tecniche relative a prodotti, processi o servizi basate su comprovati risultati scientifici, tecnologici o sperimentali";
- avere come scopo il vantaggio ottimale della comunità nel suo complesso, per essere uno strumento di progresso civile;
- essere approvate da un organismo qualificato e riconosciuto sul piano nazionale e/o internazionale, per avere validità oggettiva.