

Facciata a schermo avanzato con rivestimento in legno

Giulia BARTOLINI, Vincenzo DI NASO, Maurizio ORLANDO, Cecilia CIACCI, Frida BAZZOCCHI

SOMMARIO

La sostenibilità ambientale ed energetica delle costruzioni è oramai divenuta da diversi anni un punto focale nel settore dell'edilizia, viste anche le recenti normative in materia di energia ed emissioni emanate a livello sia europeo sia nazionale. Attualmente, l'impatto ambientale legato all'intero ciclo di vita degli edifici rappresenta il 39% delle emissioni globali di CO₂; di conseguenza, per ottenere un'economia *carbon-free* entro il 2050 così come auspicato dall'Accordo di Parigi e nell'ottica della realizzazione di edifici *nZEB* (*Nearly Zero Energy Buildings*), è evidente come sia fondamentale il contributo del mondo delle costruzioni per combattere il cogente problema del riscaldamento globale, attraverso la riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera, durante sia la fase di produzione dei materiali e realizzazione della costruzione sia la fase di esercizio ed utilizzo dell'edificio. Risulta quindi di primaria importanza sensibilizzare a questi temi i progettisti che operano nel settore, in quanto la progettazione edilizia sostenibile non deve essere vista e vissuta come un obbligo, bensì come un atto di salvaguardia e di rispetto nei confronti del nostro pianeta e delle generazioni future.

Questo approccio si ottiene sicuramente attraverso un processo di progettazione integrata sostenibile che ha come obiettivi primari la riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera, producendo energia da fonti energetiche rinnovabili, ed il risparmio energetico durante la fase di gestione degli edifici; ma anche utilizzando nuove tecniche, soluzioni tecnologiche e materiali ottenuti da processi produttivi sostenibili ed a basso impatto ambientale. Questo tipo di approccio è ovviamente applicabile sia alla costruzione di nuovi edifici energeticamente performanti sia alla riqualificazione energetica di quelli esistenti.

Il contributo è incentrato sul definire una nuova soluzione tecnologica per un sistema di rivestimento di chiusura verticale da applicare sia a edifici di nuova realizzazione sia alle costruzioni esistenti quando si presenta la necessità di riqualificare energeticamente ed esteticamente l'involucro esterno.

L'articolo presenta, esplicitando tutti gli elementi che lo compongono e le relative verifiche, un esempio innovativo e valido di sistema di facciata a schermo avanzato che utilizza il legno come materiale di rivestimento sostenibile ed un sistema di sottostruttura metallica tecnologicamente avanzato, ideato per rispondere alle esigenze prestazionali ed estetiche richieste dal mercato di riferimento per tale categoria di prodotti. Il fine è quello di ottenere un pacchetto di rivestimento esterno a basso impatto ambientale, modulare, completamente industrializzato e prefabbricabile, di pratica realizzazione e di veloce messa in opera durante la costruzione dell'edificio, non presente al momento sul mercato.

Infatti, la diffusione di facciate ventilate o, più in generale, di sistemi a schermo avanzato che utilizzino come rivestimento il legno ad oggi non è estremamente ampia, in quanto se analizziamo il mercato di

ABSTRACT

Since several years the environmental and energy sustainability of buildings has become a key point in the construction sector, also due to the recent regulations on energy and emissions issued at both European and national level. Currently, the environmental impact related to the whole life cycle of buildings accounts for 39% of global CO₂ emissions; consequently, in order to achieve a carbon-free economy by 2050 as desired by the Paris Agreement and in the context of the construction of *nZEB* (*Nearly Zero Energy Buildings*), it is clear that the contribution of the construction world is essential to tackle the binding issue of global warming, through the reduction of greenhouse gas emissions into the atmosphere, during both the production of materials and the construction and operation of the building.

Therefore, it is of primary importance to raise awareness of these issues among designers operating in the sector, as sustainable building design should not be seen and experienced as a duty, but rather as an act of protection and respect for our planet and future generations.

This approach is certainly achieved through a process of integrated sustainable design that has as its primary aims the reduction of greenhouse gas emissions into the atmosphere, producing energy from renewables, and energy saving during the management of buildings, but also using new techniques, technological solutions and materials obtained from sustainable and environmental-friendly production processes. This kind of approach is obviously applicable to both the construction of new energy efficient buildings and the energy requalification of the existing ones.

The contribution is focused on the definition of a new technological solution for a vertical closure cladding system to be applied to both new buildings and existing ones when there is the need to requalify the external envelope energetically and aesthetically.

The paper shows, explaining all the elements that compose it and the related verifications, an innovative and valid example of advanced screen façade system that uses wood as a sustainable cladding material and a technologically advanced metal substructure system, designed to meet the performance and aesthetic requirements required by the market for this category of products. The aim is to obtain an external cladding stratigraphy with low environmental impact, modular, fully industrialized and prefabricated, practical and quick to implement during the construction of the building, not currently available on the market.

Besides, the diffusion of ventilated facades or, more generally, of rainscreen systems that use wood as a coating is not extremely wide, because if we analyse the market of this specific sector, we can see that it is difficult to find a technological solution that meets all the requirements and performances expected from this technology. Many of the marketed solutions are handcrafted products made of solid wood, which are manufactured and assembled on site with very long lead times and an above standard labour cost compared

tale specifico settore, si denota come sia difficile trovare una soluzione tecnologica che soddisfi tutti i requisiti e le prestazioni che ci si aspettano da tale tecnologia. Molte delle soluzioni commercializzate sono prodotti artigianali in legno massiccio, che vengono realizzati e montati in opera con tempi di realizzazione molto lunghi e un costo di manodopera sopra gli standard rispetto ai rivestimenti prefabbricati di altri materiali (quali per esempio il legno composito artificiale).

In particolare, le caratteristiche reputate fondamentali per questo nuovo prodotto qui presentato sono:

- la possibilità di rendere il sistema prefabbricabile, andando ad abbattere significativamente i costi di produzione e di montaggio;
- la regolabilità del sistema, intesa come la possibilità di gestire le tolleranze costruttive nelle tre direzioni dello spazio per garantire la massima precisione di montaggio, anche nel caso in cui il supporto edilizio di base possa essere affetto da errori di carattere costruttivo;
- la durabilità, in quanto da una facciata ventilata ci si aspetta che garantisca una vita fino a 50 anni senza problemi strutturali ed estetici;
- l'applicabilità su edifici di grandi dimensioni ed architettonicamente complessi.

LE FACCIATE A SCHERMO AVANZATO

Le facciate a schermo avanzato presentano il modello funzionale tipico delle pareti isolate all'esterno caratterizzato dai seguenti strati funzionali (esterno-interno) così come indicato nella UNI 8979: 1987 "Edilizia. Pareti Perimetrali Verticali. Analisi degli strati funzionali": strato di rivestimento esterno, strato di ventilazione, strato di isolamento termico, possibile strato di regolarizzazione, strato resistente e strato di rivestimento interno (Figura 1). Sono facciate a tecnologia avanzata ampiamente utilizzate e diffuse nel settore dell'edilizia da diversi anni e soddisfano i requisiti di una parete perimetrale verticale (PPV) così come definiti dalla UNI 7959: 1988 "Edilizia. Pareti perimetrali verticali. Analisi dei requisiti" e concorrono a garantirne i corretti livelli prestazionali.

Le facciate a schermo avanzato, talvolta dette anche facciate microventilate (si ritiene generalmente che lo spessore dell'intercapedine di aria sia minore di 3 cm), sono una tipologia di rivestimento per la finitura esterna della parete perimetrale verticale (PPV) degli edifici, che può essere realizzata con pannelli di rivestimento di vario genere, dimensione e materiale a seconda delle esigenze architettoniche del progetto. La caratteristica fondamentale di questa tecnologia è la presenza di un'intercapedine di aria, di dimensione variabile, tra lo strato di isolamento termico della PPV ed il lato interno delle lastre di rivestimento esterno. Lo strato di isolamento ha la funzione di incrementare le prestazioni termiche dell'edificio, garantendo insieme agli altri strati funzionali almeno la minima trasmittanza termica richiesta dalla vigente normativa italiana in materia di energia (Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015: Decreto Requisiti Minimi), migliorando il comportamento ener-

to prefabricated claddings made of other materials (such as artificial composite wood).

In particular, the features considered fundamental for this new product showed here are:

- the possibility of making the system prefabricated, going to significantly reduce production and assembly costs;
- the adjustability of the system, intended as the possibility to manage the constructive tolerances in the three directions of the space in order to guarantee the maximum precision of assembly, also in the case in which the basic building support could be affected by errors of constructive nature;
- the durability, as a ventilated facade is expected to guarantee a life of up to 50 years without structural and aesthetic issues;
- the applicability on large and architecturally complex buildings.

tico dell'edificio e di conseguenza il comfort interno dei fruitori sia in estate sia in inverno, e mantenendo i livelli prestazionali e le appropriate condizioni termometriche interne.

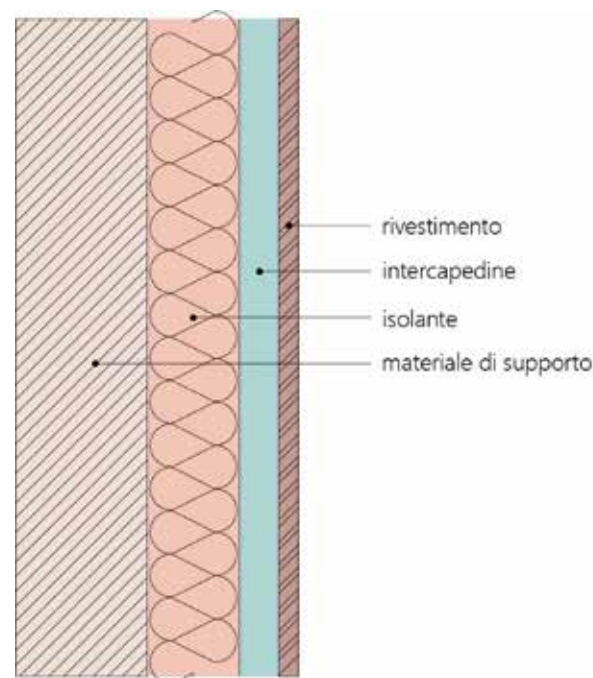


Figura 1. Modello funzionale della facciata a schermo avanzato o microventilata.

Una sottocategoria delle facciate a schermo avanzato sono le facciate ventilate (si ritiene generalmente che lo spessore dell'intercapedine di aria sia maggiore di 3 cm). Come suggerisce il nome, questa tipologia di sistema presenta un'intercapedine di aria di spessore maggiore rispetto alle precedenti dove, oltre allo strato isolante, è presente una camera di ventilazione dimensionata in modo tale che

al suo interno si possa attivare un moto convettivo di aerazione dovuto alla differenza di temperatura o di pressione. A seconda delle necessità, il moto del flusso d'aria in direzione verticale può avvenire sia in modo naturale (effetto camino) sia tramite ventilazione meccanica. Esiste una normazione esclusivamente per le facciate ventilate con rivestimento ceramico e lapideo. La norma ha carattere volontario ed è la UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) 11018: 2013 *“Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico – istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione”*.

I pannelli del rivestimento esterno vengono sostenuti per mezzo di una sottostruttura generalmente in metallo, solitamente realizzata in alluminio o acciaio inox, costituita da un'orditura o più di profili, dimensionati in funzione delle azioni orizzontali e verticali agenti sulla facciata. La sezione dei profili che costituiscono la sottostruttura viene determinata in base al tipo di rivestimento impiegato in quanto ogni lastra di materiale diverso è caratterizzata da una specifica e idonea tecnologia di installazione. La sottostruttura metallica è a sua volta fissata alla struttura principale dell'edificio ed allo strato portante della parete mediante delle staffe.

Generalmente, i pannelli di rivestimento delle facciate a schermo avanzato sono messi in opera tramite fissaggi di tipo meccanico, che possono essere classificati in due macro-gruppi: i fissaggi a scomparsa, disposti sul retro della lastra o entro scanalature ricavate sul bordo, ed i fissaggi a vista, collocati sui bordi della lastra.

All'interno dell'intercapedine, lo strato di isolamento termico viene applicato direttamente sullo strato funzionale portante della PPV dell'edificio mediante appositi elementi di ancoraggio meccanico o per incollaggio e deve possedere due fondamentali caratteristiche: bassa reazione al fuoco, per evitare la trasmissione delle fiamme attraverso l'intercapedine in caso di incendio; un comportamento non idrofilo, per far sì che non venga deteriorato dall'acqua di condensa e meteorica.

Un sistema di rivestimento a schermo avanzato applicato all'involucro edilizio è in grado di garantire l'assenza di ponti termici, ciò grazie alla possibilità di poter posizionare lo strato di isolamento termico sulla faccia esterna di ciascuna porzione della PPV e degli elementi strutturali dell'edificio, consentendo di ottenere un'importante riduzione dei consumi energetici tramite una diminuzione delle dispersioni termiche, questo risulta essere particolarmente rilevante nei nostri climi soprattutto durante la stagione invernale. In inverno, grazie alla presenza della lama d'aria, la temperatura superficiale all'interno della cavità non si riduce eccessivamente; questo consente di limitare le perdite di calore per differenza di temperatura

tra l'aria interna ed esterna e conseguentemente di garantire una riduzione del fabbisogno di energia per il riscaldamento. Inoltre, il moto convettivo che si crea consente in primo luogo di eliminare il vapore acqueo proveniente dall'ambiente interno, evitando la formazione di condensa interstiziale che potrebbe causare il degrado dello strato isolante, ed in secondo luogo permette di rimuovere eventuali infiltrazioni di acqua meteorica attraverso lo strato di rivestimento.

In estate invece, la presenza della lama d'aria e del moto convettivo ascendente dell'aria per effetto camino, innescato dall'irraggiamento solare che induce una differenza di densità dell'aria nell'intercapedine, riduce la quantità di calore dovuto alla radiazione solare diretta che investe la PPV. Questo permette di diminuire la quantità di calore che attraversa per conduzione e convezione la parete dell'edificio dall'esterno all'interno.

Nonostante sia comune il pensiero che utilizzare una soluzione di rivestimento a schermo avanzato per donare una nuova identità ad un edificio possa essere una soluzione economicamente più sconsigliata rispetto alla realizzazione di un semplice cappotto, è invece utile andare a considerare i fattori che a lungo termine facciano percepire i reali vantaggi di questa soluzione (durabilità e manutenzione), permettendo di ampliare il numero degli elementi di carattere finanziario per valutare l'investimento iniziale.

Le facciate a schermo avanzato, se progettate a regola d'arte, non hanno solo la funzione di isolamento termico della PPV, ma contribuiscono anche a migliorare la qualità della costruzione sotto altri importanti punti di vista. Infatti, oltre a consentire la diminuzione della domanda di energia primaria dell'edificio durante la stagione sia estiva sia invernale, tale soluzione di PPV permette un innalzamento della protezione acustica dell'edificio da rumori esterni grazie all'incremento del potere fonoisolante delle pareti, inoltre consente la protezione del coibente dalle infiltrazioni dell'acqua e dall'umidità evitando il degrado del materiale isolante, e quindi garantiscono una durata nel tempo di gran lunga superiore rispetto al semplice cappotto termico.

Infine, la regola tecnica verticale sulle chiusure d'ambito¹, approvata dal Comitato Centrale Tecnico dei Vigili del Fuoco il 15 giugno 2021 e che a breve entrerà a far parte del Codice di prevenzione incendi emanato nel 2015, definisce questa tipologia di PPV come *facciata a doppia pelle ventilata*² e indica

1. Per chiusura d'ambito di un edificio civile si intende: *“la frontiera esterna dell'edificio civile ad andamento orizzontale o verticale”*.

2. Per facciata a doppia pelle ventilata si intende: *“una facciata a doppia pelle con circolazione d'aria nell'intercapedine di tipo meccanico o naturale”*.

le prescrizioni riguardanti la resistenza al fuoco e la compartimentazione da rispettare a seconda dell'ispezionabilità, le caratteristiche dell'intercapedine e la resistenza al fuoco delle pelli tenendo in considerazione le caratteristiche dell'edificio nel quale viene installata la facciata (altezza, affollamento e compartimentazione).

STATO DELL'ARTE

Ad oggi le soluzioni proposte dal mercato per realizzare le facciate a schermo avanzato sono molteplici e in grado di permettere l'applicazione di molti materiali di rivestimento e tipologie di sottostrutture differenti, consentendo di realizzare molteplici configurazioni progettuali del rivestimento.

La definizione di un sistema di facciata nasce nella maggior parte dei casi da un'esigenza di carattere estetico, dal progetto architettonico dei prospetti che individua sin dalla prima concezione dell'edificio quale sia il materiale di rivestimento che si debba impiegare. Solo in una fase successiva si definirà la soluzione tecnologica più idonea alla realizzazione della PPV.

Quindi i primi elementi che si definiscono sono il materiale del rivestimento, la modularità indicativa della facciata ed il tipo di fissaggio delle lastre, a vista o a scomparsa, mentre in seguito si individuerà la sottostruttura più adatta.

Tra i materiali più comunemente impiegati per la realizzazione dei pannelli di rivestimento vi sono sia materiali classici, come ad esempio metallo, terracotta, ceramica e pietra, sia materiali artificiali, come il fibrocemento, costituito da una matrice di cemento e fibre che risulta molto leggero, resistente alla corrosione, alla temperatura e all'usura, l'HPL (High Pressure Laminate), ottenuto pressando diversi strati di materiale impregnati con resine fenoliche o melamminiche composto da uno strato protettivo esterno, un foglio con una stampa decorativa o colorato a tinte unite ed un retro costituito da uno o più strati di carta fenolica chiamata kraft, il fibrogesso, materiale formato da una miscela di gesso rinforzata con fibra di cellulosa sottoposta ad alta pressione per ottenere la forma di lastre che vengono poi rasate e integgiate per richiamare visivamente la finitura ad intonaco ed il materiale composito, un elemento sandwich costituito da due lamiere sottili di alluminio fissate a fusione su entrambi i lati di un'anima in materiale altamente resistente.

Il fissaggio del rivestimento a vista può avvenire tramite rivetto, se la lastra presenta la possibilità di essere forata, con clips posizionate sul bordo a sostegno della lastra, oppure con fissaggi allocati in scanalature sul bordo della lastra (kerf). Mentre il fissaggio a scomparsa può essere realizzato me-

diate graffe fissate con tasselli sul retro della lastra, con pioli alloggiati in fori ricavati sui lati della lastra, con perni ai quali si aggancia direttamente la lastra sagomata con un'apposita forma oppure tramite clips poste in scanalature ricavate sul retro della lastra.

Per ogni tipologia di fissaggio esiste un'appropriata sottostruttura metallica (alluminio o acciaio inox) di supporto che può essere realizzata da staffe direttamente ancorate allo strato portante, montanti, traversi oppure montanti e traversi. La soluzione con una sola orditura o più orditure dipende essenzialmente dalla tipologia di fissaggio del rivestimento. Per tutti i sistemi è comunque di fondamentale importanza che la sottostruttura abbia la possibilità di essere regolata nelle 3 direzioni spaziali in modo tale da permettere al sistema di assorbire le tolleranze costruttive degli elementi a supporto della facciata, garantendo sempre all'elemento di rivestimento una perfetta planarità di posa.

Rispetto a quanto detto fino ad ora si denota però una carenza relativa alle facciate a schermo avanzato disponibili ad oggi sul mercato: si tratta dell'uso del legno come materiale di rivestimento associato ad un sistema che sia tecnologicamente avanzato, come lo è la sottostruttura di una facciata microventilata.

I sistemi di rivestimento ad oggi in uso che impiegano doghe in legno sono prodotti artigianali e realizzati il più delle volte completamente in opera. Vengono generalmente realizzati fissando ciascun listello a montanti lignei ancorati direttamente allo strato portante della parete, e richiedono inevitabilmente lunghi tempi di cantierizzazione ed in seguito tempi per manutenzione ordinaria e straordinaria considerevoli.

La realizzazione del sistema, avvenendo praticamente esclusivamente in cantiere, non è facilmente controllabile e dipende quasi unicamente dalle abilità dell'operatore che installa la facciata e questo può ovviamente comportare imprevisti ed errori di posa, imperfezioni ed un rivestimento che potrebbe non soddisfare il requisito di planarità.

Inoltre, per tali sistemi di rivestimento in legno, emerge la difficoltà di essere adattati a edifici di elevata complessità architettonica o che presentino irregolarità costruttive dello strato portante, perché la sottostruttura non consente regolazioni nelle tre direzioni spaziali. In caso, ad esempio, di eventuali irregolarità della superficie di base, queste si ripercuoterebbero inevitabilmente sul rivestimento trasformandosi in difetti indesiderati a livello estetico e formale.

Queste criticità, in aggiunta al problema della breve durata in ambienti esterni di un legno non trattato, sono state fino ad oggi un deterrente alla scelta di rivestire un edificio con un paramento di materiale ligneo, e hanno portato a privilegiare la scelta di altri tipi di rivestimento per i quali già esiste un processo

di produzione industrializzato che, oltre a garantire un risultato qualitativamente migliore, permette l'abbattimento di costi e tempi realizzativi.

È proprio da queste riflessioni che è nata l'idea di definire un sistema di facciata a schermo avanzato ingegnerizzato con rivestimento in legno che fosse commercialmente e tecnologicamente competitivo rispetto alle più comuni soluzioni presenti nel mercato attuale. I punti cardine alla base del lavoro che hanno portato alla definizione della nuova soluzione tecnologica di facciata e che risolvono i problemi emersi dallo studio dei sistemi di facciata a schermo avanzato in legno ad oggi presenti sul mercato sono i seguenti: la scelta di un legno con le migliori caratteristiche di durata, stabilità e resistenza se installato in ambienti esterni non riparati ed esposto quindi direttamente agli agenti atmosferici; la progettazione di un sistema di rivestimento standardizzato ed industrializzato e quindi prefabbricabile in ogni sua componente (pannello di rivestimento e sottostruttura), la definizione di un pannello che fosse realizzabile in maniera sistematica dal produttore e che rispondesse alle esigenze estetiche richieste dal mercato e che al contempo fosse caratterizzato da una sottostruttura che consentisse di ottenere una buona planarità e regolarità nel rispetto dei requisiti richiesti dalla UNI 7959: 1988 "Edilizia. Pareti perimetrali verticali. Analisi dei requisiti".

Infine per rendere agevole la progettazione del sistema di facciata a schermo avanzato da parte dei progettisti, il pannello e la sottostruttura sono stati verificati strutturalmente considerando azioni verticali ed orizzontali in base alle possibili casistiche (intervalli di pressione del vento in base alle zone di vento, dimensione dei pannelli, materiale costitutivo dello strato portante dell'edificio) e sono state delineate delle tabelle di aiuto e supporto al progettista durante la fase di progettazione e verifica del sistema in modo da permettere un rapido ed immediato dimensionamento.

LA TECNOLOGIA

Il legno come materiale di rivestimento

La tecnologia presentata in questo articolo è composta da due sottosistemi (sottostruttura in alluminio e pannello di rivestimento in legno) nell'ottica di creare una tecnologia commercialmente competitiva rispetto ad altre facciate a schermo avanzato, che sia modulare, prefabbricata ed a basso impatto ambientale. I pannelli sono realizzati in legno trattato Accoya e la sottostruttura in alluminio è composta interamente da elementi in catalogo Hilti (Figura 2).

Partendo dall'esterno, il pannello è composto da doghe lignee orizzontali con sezione a parallelogrammo a interasse 0.08 m e lunghezza fino a 2.00 m, fissate

dall'esterno su montanti lignei retrostanti attraverso viti con testa a scomparsa (Figura 3). I montanti hanno sezione 0.065 m x 0.09 m, altezza 1.20 m e possono essere o due o tre per ciascun pannello, a seconda del carico dato dalla pressione del vento che agisce nel luogo in oggetto sia più o meno elevato. Ad ogni montante sono fissati, tramite viti a testa troncoconica, due graffe in alluminio che servono per fissare il pannello alla sottostruttura realizzata in cantiere. Il pannello così composto ha quindi una dimensione massima di 2.00 m per 1.20 m e può essere ridotto in base alle necessità architettoniche del progetto.

La configurazione del pannello fa sì che sia possibile utilizzarlo anche come frangisole andando semplicemente ad alternare un traverso ed un vuoto anziché traversi consecutivi. Si ottiene così un elemento di rivestimento che funge all'occorrenza anche da schermatura solare, ma allo stesso tempo non oscurante in quanto consente di far filtrare la luce naturale all'interno degli ambienti interni.

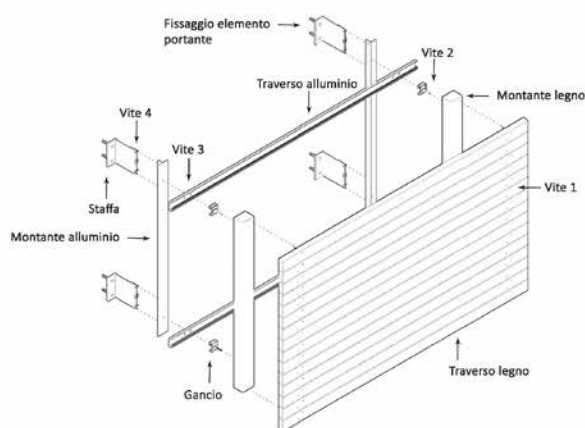


Figura 2. Composizione del sistema di facciata a schermo avanzato con rivestimento esterno ligneo e sottostruttura in alluminio.

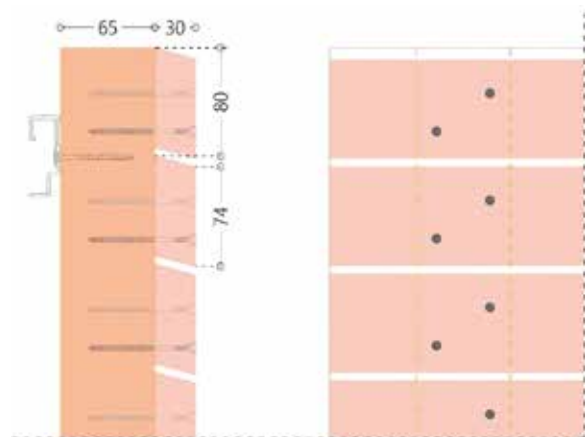


Figura 3. Sezione e prospetto su parte alta del pannello ligneo di rivestimento esterno. Le quote presenti nel disegno sono in millimetri.

La sottostruttura (Figura 4) è in alluminio ENAW-6063 T66 (appartenente alle leghe alluminio-silicio-magnesio) e viene realizzata completamente in opera. L'alluminio è un materiale leggero che semplifica sicuramente le fasi di trasporto e montaggio, riducendo i tempi di posa per la maggiore maneggevolezza, è resistente alla corrosione ed è versatile in quanto il processo di estrusione con il quale i profili vengono prodotti consente di ottenere una qualsiasi forma. Partendo dalla parete dell'edificio, i primi elementi di cui si compone la sottostruttura metallica sono mensole in alluminio dotate di taglio termico in polipropilene (lunghezza variabile in un intervallo compreso tra 0.065 m a 0.275 m). A seconda della posizione in cui si trovano, le mensole fungono da sostegno fisso (cerniera) o mobile (carrello) alla prima orditura verticale di profili costituita da montanti in alluminio con sezione ad L.

Ai montanti è fissata una seconda orditura di traversi orizzontali in alluminio, caratterizzati da una sezione aperta sagomata per alloggiare i ganci posizionati sul retro del pannello per il fissaggio a scomparsa. La presenza della sottostruttura offre la possibilità di regolare il rivestimento esterno di facciata di tipo ligneo nelle tre direzioni spaziali per assorbire tolleranze ed errori di costruzione e di variare lo spessore dell'isolamento termico e dell'intercapedine d'aria a seconda dei requisiti progettuali.

I tempi di posa in opera si riducono notevolmente rispetto a quelli che caratterizzano una facciata lignea di tipo artigianale in quanto, una volta preparati in stabilimento, i pannelli vengono trasportati in cantiere, sollevati, appesi al traverso della sottostruttura precedentemente montata in opera tramite le graffe presenti sul retro del pannello e successivamente fissati con viti di sicurezza. La velocità di montaggio implica ovviamente anche un importante incremento della sicurezza delle lavorazioni in cantiere andando a ridurre i rischi di infortunio ed i costi per la manodopera in cantiere.

I pannelli sono realizzati in legno trattato Accoya, un pregiato materiale ad alte prestazioni, che presenta ottime caratteristiche di durabilità. Il termine Accoya indica il trattamento atossico di acetilazione subito dal legno massiccio che consiste in un processo chimico di impregnazione che cambia la struttura del legno modificando le sue caratteristiche fisiche e meccaniche e che consente di mantenere la versatilità e l'aspetto del materiale originario e allo stesso tempo garantisce eccezionali prestazioni di stabilità, durata e resistenza ai fattori climatici.

L'acetilazione è un trattamento che può essere fatto su qualsiasi tipo di legno, ma la resa finale è direttamente proporzionale alla facilità con cui esso si essicca. Per questo motivo il trattamento viene solitamente eseguito su pino radiata che, oltre ad essere capace di essiccarsi fino a percentuali molto basse,

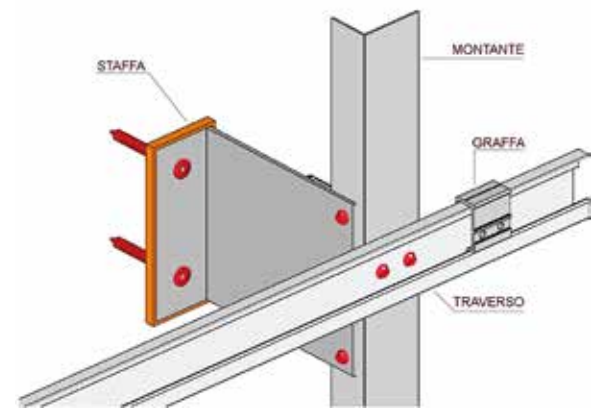


Figura 4. Sottostruttura in alluminio della facciata a schermo avanzato.

è una specie a rapido accrescimento che garantisce quindi la sostenibilità ambientale del materiale.

Come qualsiasi altro tipo di legno esposto all'esterno, anche il legno Accoya con il passare degli anni acquisisce una colorazione tendente al grigio principalmente dovuta ai raggi UV che ne degradano la finitura superficiale, ma contrariamente ai legni non trattati, in questo caso la variazione di colore non è preludio di marcescenza in quanto il legno all'interno si mantiene sano.

Queste caratteristiche fanno sì che il legno Accoya possa raggiungere una durata in ambienti esterni riparati fino a 50 anni e in ambienti esterni non riparati fino a 25 anni e lo rendono ideale per qualsiasi applicazione *outdoor* come ad esempio le facciate dove è richiesto l'utilizzo di un materiale che rimanga dimensionalmente stabile (ovvero non soggetto a deformazioni, fessure, rigonfiamento), resistente agli attacchi di insetti e funghi e in grado di sostenere l'alternanza dei rigori di diverse condizioni climatiche.

Inoltre il legno Accoya è uno dei pochi prodotti sul mercato che ha ottenuto la certificazione *Cradle to Cradle MBDC (McDonough Braungart Design Chemistry)* di livello *Gold* e di livello *Platinum* per la categoria "*Material Health*", ovvero che si tratta di un prodotto a basso impatto ambientale tenendo presente nella valutazione del suo ciclo di vita non solo il prodotto finale ma anche il processo di produzione, partendo dalle materie prime utilizzate, l'energia e l'acqua necessarie e la gestione dei rifiuti e degli scarti di produzione. Infine, il legno Accoya essendo atossico non richiede particolari misure per il suo smaltimento e può essere utilizzato per produrre energia mediante incenerimento oppure essere considerato per la procedura di compostaggio.

Le tolleranze costruttive

Talvolta errori umani di montaggio o imperfezioni presenti sul piano dello strato portante (come, ad

esempio, pareti non sottosquadro) possono impedire la buona riuscita di una facciata ventilata o a schermo avanzato, dando luogo a irregolarità estetiche, imperfezioni e disallineamenti.

La possibilità di agire sulle regolazioni per ridurre gli errori di montaggio sulla sottostruttura nelle tre direzioni spaziali permette di risolvere il problema delle imperfezioni e quindi di ottenere una base perfettamente planare dove fissare il pannello ligneo di rivestimento.

In questo sistema è possibile intervenire a livello sia della sottostruttura sia del pannello.

Le prime operazioni di registro si compiono sulla sottostruttura ed è possibile agire in tre direzioni spaziali (Figura 5):

- in direzione orizzontale sistemando la posizione delle mensole le quali scorrono a destra e a sinistra rispetto alla parete grazie ai fori asolati;
- in profondità (ortogonalmente alla parete) regolando la maggiore o minore sporgenza del montante in alluminio rispetto alle mensole. La molla di sostegno presente sulla mensola consente di posizionare l'elemento verticale nella posizione corretta prima del suo fissaggio tramite viti;
- in direzione verticale regolando la posizione in verticale del traverso in alluminio fino a raggiungere l'altezza corretta, prima di fissarlo con le viti.

Posta in opera la sottostruttura è possibile eseguire operazioni di registro anche in fase di posa del pannello di rivestimento (Figura 6):

- la posizione di ogni pannello di rivestimento è variabile in direzione orizzontale grazie alle graffe che scorrono lungo i traversi senza avere alcun limite;
- una volta montato il pannello, le viti micrometriche poste sulle graffe superiori permettono la correzione in direzione verticale di possibili piccole imperfezioni finali.

La manutenzione

La manutenzione del sistema progettato risulta molto agevole in quanto è possibile rimuovere un singolo pannello alla volta senza necessariamente dover smontare tutta la fila verticale di pannelli. Ciò è reso possibile grazie ad uno storno di 20 mm, ovvero uno spazio di manovra che consente di sollevare un singolo pannello per svincolarlo dall'incastro fornito dal fissaggio con il traverso per poi estrarlo (Figura 7).

DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA

Il sistema di rivestimento a schermo avanzato con pannello in legno e sottostruttura metallica in alluminio è stato dimensionato considerando le azioni statiche, quali peso proprio e pressione del vento. Le

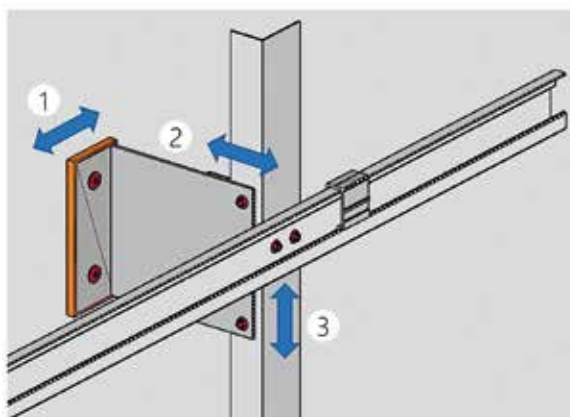


Figura 5. Regolazioni della sottostruttura metallica della facciata a schermo avanzato nelle 3 direzioni spaziali.

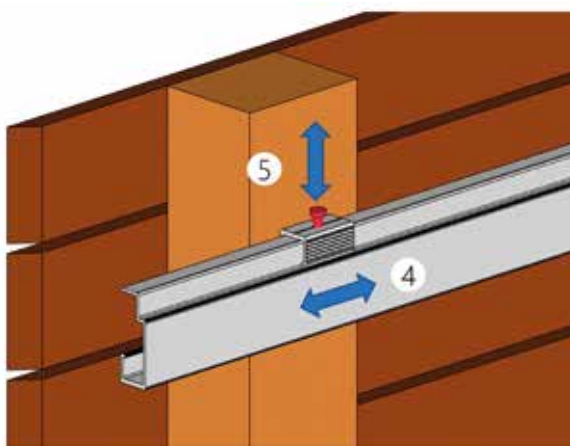


Figura 6. Regolazioni del pannello ligneo della facciata a schermo avanzato in direzione verticale ed orizzontale.

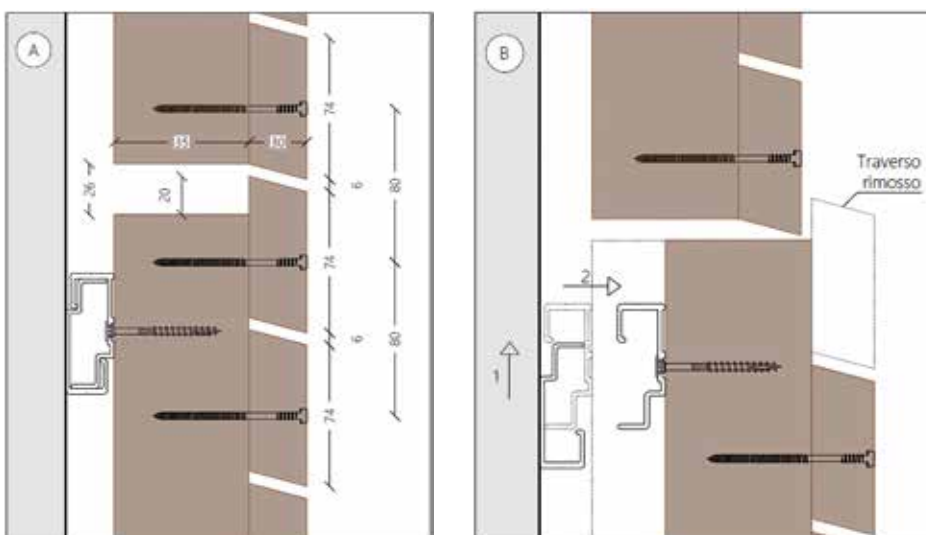


Figura 7. Storno per consentire la rimozione di un singolo pannello della facciata a schermo avanzato.

verifiche sono state condotte partendo dall'elemento più esterno, il pannello in legno, per poi passare alla sottostruttura e finendo con l'elemento più interno, l'ancoraggio allo strato portante.

Pannello

Le verifiche sul rivestimento sono state eseguite secondo Eurocodice 5 “*Progettazione delle strutture di legno*” considerando una configurazione standard del pannello, che è anche la dimensione massima che può essere supportata dal sistema (2.00 m x 1.20 m). Così, la riduzione delle dimensioni del modulo secondo le diverse necessità progettuali risulta comunque a favore di sicurezza. Le dimensioni del pannello sono riportate nella **Figura 8**.

Ipotesi di calcolo:

1. A favore di sicurezza, per tenere conto di diversi fattori di incertezza non prevedibili (quali ad esempio nodi, fessure, tasche di resina, etc.) che si possono riscontrare in una unione con elementi lignei, a livello di verifica è stata considerata una sola vite in ogni nodo³ legno-legno e legno-alluminio, nonostante ne siano presenti due.

3. Per nodo si intende il punto di intersezione tra il traverso in legno ed il montante in legno ed il punto di fissaggio della graffa in alluminio al montante in legno.

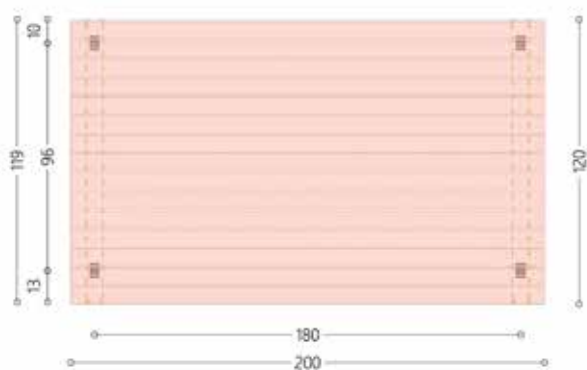


Figura 8. Dimensioni principali del pannello in legno della facciata a schermo avanzato. Le quote presenti nel disegno sono in centimetri.

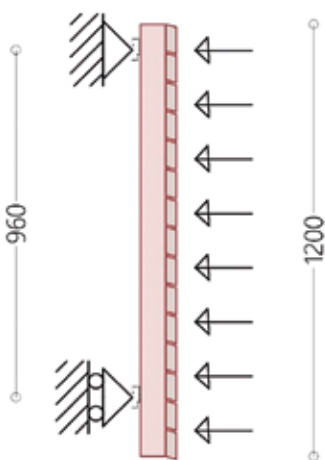


Figura 10. Schema statico considerato per il dimensionamento dei montanti in legno del pannello di rivestimento (le quote sono in mm).

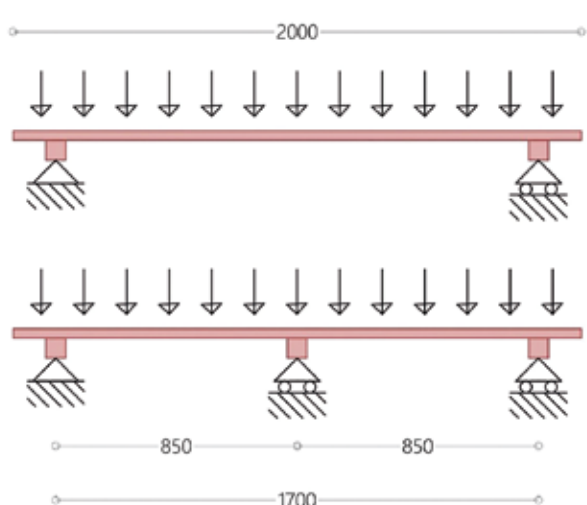


Figura 9. Schema statico considerato per il dimensionamento dei traversi in legno del pannello di rivestimento (le quote sono in mm).

2. Considerando lo schema della distribuzione delle graffe sul pannello (due superiori e due inferiori) e la possibilità che il pannello possa non poggiare in maniera omogenea su tutti e quattro gli appoggi, il carico verticale di ciascun pannello è stato attribuito solo alle due graffe superiori, tenendo sempre in considerazione l'ipotesi n.1 di presenza di una sola vite per ciascuna graffa.
3. I carichi orizzontali sono stati attribuiti a tutte le quattro graffe presenti sul pannello, tenendo sempre in considerazione l'ipotesi n.1 di presenza di una sola vite per ciascuna graffa.

Sugli elementi in legno le verifiche sono state eseguite considerando le diverse sezioni. Sia per il traverso sia per il montante sono state eseguite le verifiche di resistenza e di deformabilità richieste dalla vigente normativa.

Lo schema statico considerato per il traverso in legno è una trave su due appoggi per le condizioni di pressione del vento più deboli e come trave su tre appoggi per quelle più elevate ed il vento è stato applicato come carico uniformemente distribuito (**Figura 9**).

Lo schema statico considerato per il montante in legno è una trave doppiamente appoggiata soggetta a un carico uniformemente distribuito (**Figura 10**).

Sia per il traverso sia per il montante la verifica più gravosa è risultata essere quella della deformabilità. Dopo aver verificato le sezioni dei traversi e dei montanti sono state verificate le unioni per quanto riguarda:

- taglio: Johansen (lato legno) – rifollamento (lato alluminio) – taglio (lato acciaio);
- trazione estrazione del filetto (lato legno) – punzonamento (lato alluminio) - capacità assiale (lato acciaio);
- distanza dai bordi.

Per le viti da legno, è necessario inserire un preforo del legno in quanto questo permette di avere una distanza maggiore tra vite-vite e vite-bordo rispetto ad una unione senza preforo, così come indicato nell'Eurocodice 5 al prospetto 8.2, e di limitare errori di giunzione tra gli elementi; infatti effettuare un preforo ed inserire la vite consente di avere più precisione rispetto ad inserire la vite a legno integro e lasciare che questa si autofiletti.

Sottostruttura

Per l'esecuzione dei calcoli strutturali sulla sottostruttura sono state portate avanti due casistiche: una di progettazione libera e una di ottimizzazione al fine di risparmiare il materiale utilizzato (**Figura 11**).

Progettazione libera

Per progettazione libera si intende un approccio progettuale che consente di mantenere il dimensionamento della sottostruttura indipendentemente dalla posizione e dalla dimensione dei pannelli in facciata. Questa situazione rappresenta l'approccio più libero

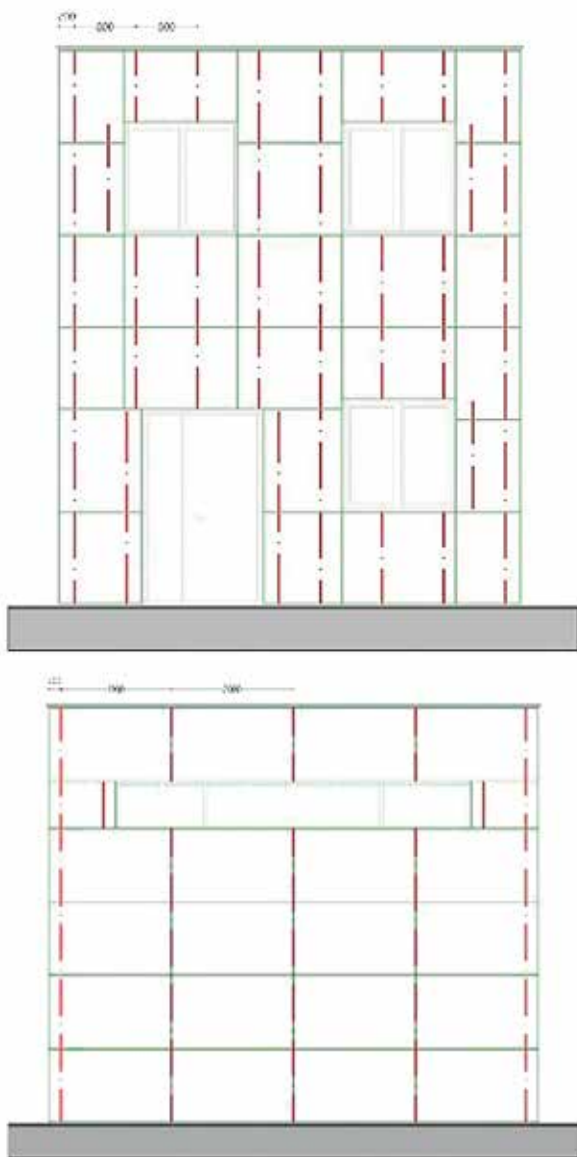


Figura 11. Montanti lignei disposti in facciata secondo il caso di progettazione libera e quello di progettazione ottimizzata.

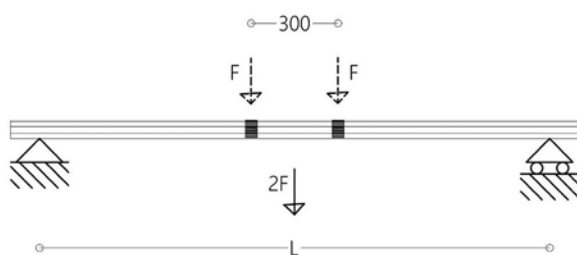


Figura 12. Schema statico dei traversi in alluminio della sottostruttura considerando la configurazione libera.

e versatile poiché svincola completamente la posizione degli elementi della sottostruttura dalla disposizione e dalla forma dei pannelli di rivestimento.

Questo modus operandi è indicato quando:

- i pannelli di una facciata devono essere disposti in maniera sfalsata;
- i pannelli hanno dimensioni diversificate l'uno rispetto all'altro per cui risulta difficile trovare una regolarità compositiva;

- l'edificio da rivestire presenta molte aperture (porte o finestre) prive di ordine o simmetria.

Inoltre, viene incontro a esigenze temporali e cantieristiche nei casi in cui è utile che la sottostruttura ed il pannello di rivestimento restino due elementi distinti. Non essendoci un legame tra la geometria dei pannelli e la disposizione della sottostruttura, è possibile definire in ultima istanza il layout compositivo della facciata.

La posizione dei traversi sui montanti rappresenta comunque una variabile fissa in quanto gli elementi orizzontali devono ripetersi a intervallo costante pari all'interasse dei ganci sul pannello.

I dati da dimensionare sono quindi l'interasse massimo tra i montanti ed il numero e l'interasse delle staffe.

Le verifiche sulla sottostruttura sono state condotte secondo la CNR-DT 208/2011 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Alluminio" partendo dall'elemento più esterno, il traverso, fino ad arrivare al montante e poi alla staffa.

Il dimensionamento della sottostruttura è stato eseguito per tre diverse altezze del montante 1.20, 2.40 e 3.60 m che equivalgono a considerare uno, due o tre pannelli in direzione verticale sostenuti da montanti monolitici.

Sia per il traverso sia per il montante sono state effettuate le verifiche di resistenza e deformabilità richieste dalla vigente normativa.

Le verifiche sul traverso in alluminio servono a determinare la distanza massima che può intercorrere tra due montanti consecutivi.

Lo schema statico assunto è stato quello di trave su due appoggi dove questi sono rappresentati proprio dai montanti della sottostruttura. Il carico della pressione del vento viene trasferito dal pannello ai traversi della sottostruttura tramite le graffe ed è stato quindi considerato un carico puntuale in mezzzeria (Figura 12).

Il traverso è sollecitato su due piani, nel piano orizzontale dall'azione orizzontale del vento e nel piano verticale dal peso proprio, di conseguenza le verifiche sono state eseguite sommando le due azioni.

Sul traverso la verifica più gravosa che ha determinato la lunghezza dell'elemento è stata quella di deformabilità.

Le verifiche sul montante in alluminio servono per determinare la distanza massima che può intercorrere tra due staffe consecutive, e di conseguenza consentono di determinare il numero minimo di staffe per montante. Anche in questo caso la luce massima sopportata dai montanti in alluminio è stata verificata con lo schema statico di trave su due appoggi dove il vincolo è rappresentato dalle staffe. L'azione del vento trasferito dal pannello al montante tramite i traversi è schematizzata come carico concentrato in mezzzeria (Figura 13).

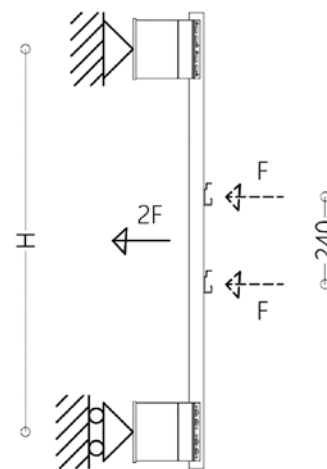


Figura 13. Schema statico dei montanti in alluminio della sottostruttura considerando la configurazione libera.

Sul montante la verifica più gravosa che ha determinato la lunghezza dell'elemento è stata la verifica di resistenza a flessione con le sollecitazioni indotte alla pressione del vento.

Impiegando uno schema statico a doppio appoggio con carico concentrato in mezzzeria si ottiene un sistema verificato per la casistica più sfavorevole e tutte le restanti combinazioni risultano a favore di sicurezza.

La lunghezza delle staffe è stata dimensionata considerando la somma dello spessore del coibente e della camera di ventilazione (Figura 14). Una volta determinata la dimensione delle staffe, è possibile verificarle assumendo come valore di carico massimo ammissibile i dati di tenuta forniti dal produttore. Infine, le verifiche sulle unioni hanno previsto:

- taglio: rottura del gambo – rifollamento;
- trazione: capacità assiale – punzonamento.

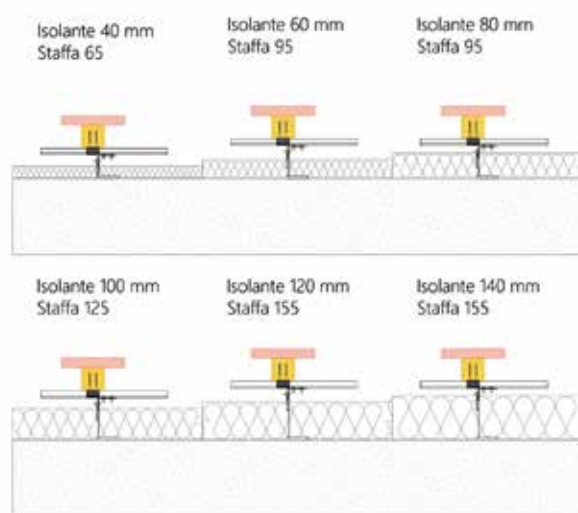


Figura 14. Combinazione tra la dimensione della staffa di ancoraggio e lo spessore di isolante.

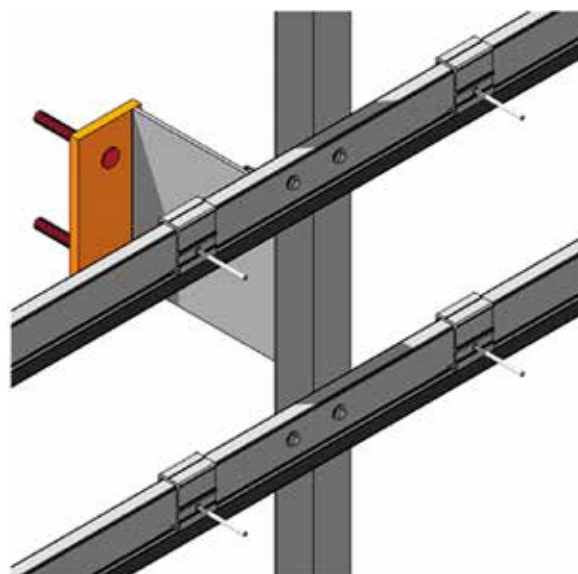


Figura 16. Nodo della struttura per la progettazione ottimizzata (vista 3D).

Progettazione ottimizzata

La progettazione ottimizzata è un approccio progettuale volto invece a massimizzare il risparmio di materiale che sarà utilizzato e quindi necessita di un maggiore controllo in fase di progettazione. Questo perché per ottimizzare il numero degli elementi strutturali, e quindi il costo al metro quadrato dell'opera, la posizione degli elementi della sottostruttura è strettamente legata alla posizione dei montanti in legno dei pannelli di rivestimento.

Per seguire questa strategia è fondamentale per prima cosa avere ben definito il layout di distribuzione dei pannelli in facciata e solo in seguito effettuare il calcolo sulla sottostruttura. Da questa caratteristica si evince che, una volta intrapreso questo approccio e definito il layout di facciata, non è possibile apportare modifiche successive alla distribuzione dei pannelli in facciata.

Denominando “nodo” il punto in cui convergono gli angoli di 4 pannelli (Figura 15), l'ottimizzazione della sottostruttura si ottiene disponendo il montante in alluminio in corrispondenza dell'asse centrale del nodo e la staffa in posizione centrale rispetto al nodo (Figura 16).

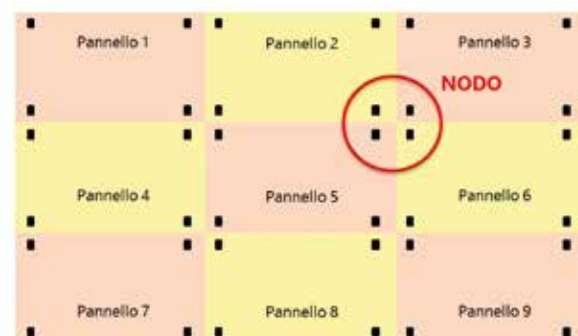


Figura 15. Nodo della struttura considerando la progettazione ottimizzata.

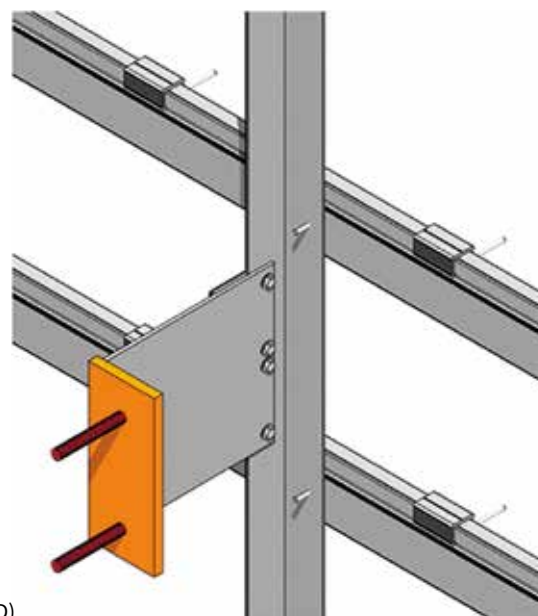




Figura 17. Schema statico per il dimensionamento dei traversi in alluminio della sottostruttura considerando la configurazione ottimizzata.

La staffa all'interno del nodo diventa un elemento di cruciale importanza perché ciascuna staffa si assume il carico assorbito da un'area di influenza pari a quella di un intero pannello e la sua dimensione è maggiore rispetto al caso standard.

Anche i montanti vengono irrobustiti impiegando un montante a T anziché ad L perché, riducendone il numero, aumenta il carico sopportato da ciascuno di essi.

Disponendo gli elementi della sottostruttura così come descritto si verificano due condizioni:

1. tramite le quattro graffe il pannello scarica sempre le azioni sui tratti del traverso adiacenti al nodo in corrispondenza del vincolo e mai in mezzzeria (Figura 17);
2. sul montante l'azione del vento è scaricata dalle graffe direttamente sull'asse centrale del nodo, e quindi sul vincolo, senza che sia presente un braccio tra l'azione ed il vincolo (Figura 18).

Evitando la presenza del carico puntuale nella mezzzeria dei profili si riduce il problema della freccia massima ammissibile sul traverso che risultava essere la causa di crisi della struttura, determinante nella progettazione libera.

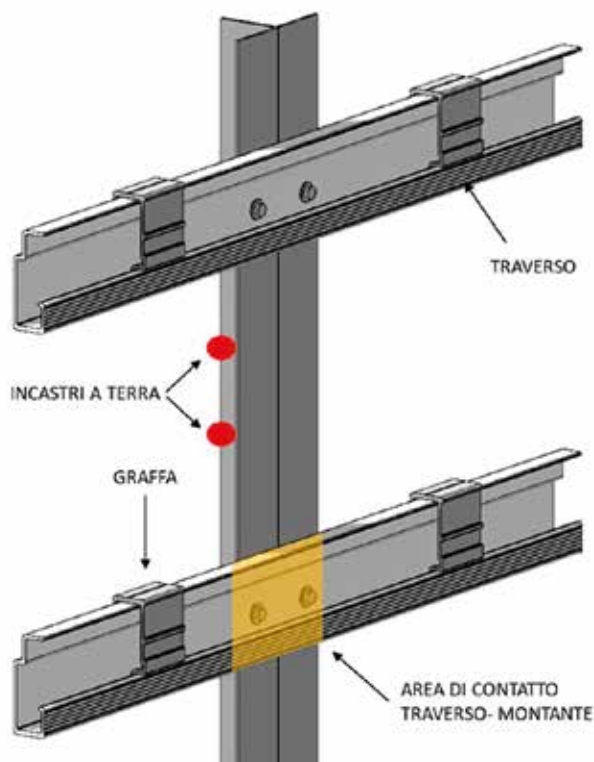


Figura 19. Rappresentazione del nodo della sottostruttura con modello agli elementi finiti realizzato con SAP2000.

Il focus strutturale si trasferisce sul nodo, punto di massima concentrazione delle tensioni risultanti dai carichi esterni e per valutare la corretta distribuzione delle sollecitazioni sugli elementi di alluminio diventa fondamentale studiarne il comportamento in maniera tridimensionale. Per farlo si può ricorrere ad un modello agli elementi finiti (Figura 19) tramite il quale si possono leggere le tensioni di Von Mises risultanti sulle superfici di alluminio.

Ancoraggio

Il fissaggio della sottostruttura al supporto edilizio di base deve essere realizzato con un ancoraggio idoneo e certificato rispetto al materiale che costituisce il supporto. In linea generale una soluzione può essere quella di impiegare un tassello meccanico per fissaggi su calcestruzzo, pannello prefabbricato in calcestruzzo e calcestruzzo cellulare, un fissaggio chimico per la muratura piena e il laterizio alveolato ed una vite da legno per l'x-lam (cross laminated timber).

In ogni situazione vengono calcolate le azioni agenti su un numero di ancoraggi derivante dal numero di staffe ottenuto nel corso del dimensionamento della sottostruttura; se il numero dei punti di fissaggio risulta insufficiente, basta aumentare il numero di staffe secondo due possibilità: infittendo il numero su ciascun montante oppure avvicinando i montanti per inserirne uno supplementare.

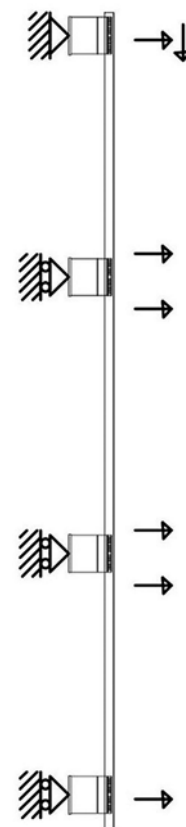


Figura 18. Schema statico per il dimensionamento dei montanti in alluminio della sottostruttura considerando la configurazione ottimizzata.

		PRESSIONE DEL VENTO
INTERVALLI PRESSIONE DI VENTO	A	$\leq 0,8$ kN/m ²
	B	$\geq 0,9$ $\leq 1,0$ kN/m ³
	C	$\geq 1,1$ $\leq 1,3$ kN/m ³
	D	$\geq 1,4$ $\leq 1,6$ kN/m ²
	E	$\geq 1,7$ $\leq 2,0$ kN/m ²
	F	$\geq 2,1$ $\leq 2,5$ kN/m ²
	G	$\geq 2,6$ $\leq 3,2$ kN/m ²

Figura 20. Intervalli di pressione del vento considerando le zone di vento italiane.

TABULAZIONE DELLA SOLUZIONE

Dopo aver portato a termine la progettazione integrale di un sistema di questo tipo grazie all'ausilio di fogli di calcolo, è possibile schematizzare i risultati ottenuti in prospetti riepilogativi che ne permettano un veloce dimensionamento.

I prospetti possono essere tabelle in cui a determinate informazioni in entrata relative ai dati progettuali noti, corrisponde in uscita il dimensionamento degli elementi costituenti il sistema.

I dati progettuali noti sono i seguenti:

1. dimensione dei pannelli in funzione del layout architettonico;
2. materiale costituente lo strato portante dell'involucro edilizio;
3. pressione del vento.

Il valore della pressione del vento è il dato fondamentale per la progettazione di tale rivestimento esterno di facciata perché rappresenta il carico principale agente. La pressione del vento deve essere calcolata in funzione del luogo geografico su cui sorge il fabbricato ed anche in funzione dell'altezza dal suolo dell'edificio. Una volta trovato il valore di progetto si può classificare il progetto all'interno di una scala di sette intervalli (Figura 20).

Gli intervalli consentono di coprire la quasi totalità dei casi che possono verificarsi in territorio italiano, dato che i valori di pressione del vento pari a 3.2 kN/m² equivalenti a circa 326 kg/m², sono raramente oltrepassati.

Iter progettuale

STEP 1:

DIMENSIONAMENTO DEL PANNELLO IN LEGNO

Una volta noti i dati di progetto è possibile determinare le caratteristiche del pannello di rivestimento in legno mediante il prospetto n°I (Figura 21). Questo permette di determinare quanti montanti in legno sono

		PROSPETTO I			
		DIMENSIONAMENTO PANNELLO IN LEGNO			
INTERVALLI PRESSIONE DI VENTO	PRESSIONE DEL VENTO	L = LUNGHEZZA MASSIMA PANNELLO		H = ALTEZZA STANDARD PANNELLO	
		con 2 montanti in legno	con 3 montanti in legno		
		A	$\leq 2,0$ kN/m ²		2000 mm
B					
C					
D					
E					
F	$\geq 2,1$ $\leq 3,2$ kN/m ²	1800 mm	2000 mm		
G					

Figura 21. Prospetto I. Determinazione del numero di montanti lignei del pannello di rivestimento in legno a seconda degli intervalli di pressione di vento.

necessari per realizzare il pannello, in funzione di:

- pressione del vento;
- lunghezza del pannello.

Dalla tabella si evince che per condizioni di vento comprese tra gli intervalli A ed E è possibile realizzare pannelli di lunghezza fino a 2.00 m con 2 montanti in legno a sostegno dei traversi. Per gli intervalli di vento F e G è possibile realizzare pannelli sostenuti da 2 montanti in legno solo fino ad una lunghezza di 1.80 m, mentre per ottenere una lunghezza pari a 2.00 m sarà necessario inserire un terzo montante di supporto.

STEP 2:

DIMENSIONAMENTO DELLA SOTTOSTRUTTURA IN ALLUMINIO

Per il dimensionamento della sottostruttura in alluminio sono utili i prospetti n° II ed i n°III.a, III.b e III.c a partire da:

- pressione del vento;
- altezza del montante in alluminio.

Il prospetto n°II fornisce un'indicazione progettuale sull'interasse massimo da rispettare tra i montanti in alluminio e tra le staffe della sottostruttura (Figura 22). I prospetti n°III.a, III.b e III.c (relativi rispettivamente a montanti di altezza 3.6 m, 2.4 m e 1.2 m) forniscono informazioni specifiche sul numero e sulla disposizione delle staffe in riferimento alla lunghezza del montante (Figura 23).

STEP 3:

DIMENSIONAMENTO DEL FISSAGGIO SULL'ELEMENTO PORTANTE

I prospetti n°III riportano nelle colonne finali il carico di taglio e di trazione che la configurazione ottenuta conferisce ai punti di ancoraggio sul materiale base. Per ultimare la progettazione dell'ancoraggio sul supporto edilizio si ricorre ai prospetti n° IV.a, IV.b e IV.c che mettono in relazione (Figura 24):

- sollecitazione ottenuta sul singolo fissaggio;
- tenuta dell'ancorante più idoneo al materiale portante secondo scheda tecnica.

		PROSPETTO II		
INTERVALLI PRESSIONE DI VENTO	PRESSIONE DEL VENTO	INTERASSE MONTANTI IN ALLUMINIO	PASSO STAFFE MASSIMO	
		B		
		A	$\leq 0,8$ kN/m ²	950 mm
B	$\geq 0,9$ $\leq 1,0$ kN/m ³	900 mm	1400 mm	
C	$\geq 1,1$ $\leq 1,3$ kN/m ³	800 mm	1200 mm	
D	$\geq 1,4$ $\leq 1,6$ kN/m ²	750 mm	1000 mm	
E	$\geq 1,7$ $\leq 2,0$ kN/m ²	700 mm	900 mm	
F	$\geq 2,1$ $\leq 2,5$ kN/m ²	650 mm	750 mm	
G	$\geq 2,6$ $\leq 3,2$ kN/m ²	600 mm	650 mm	

Figura 22. Prospetto II. Determinazione dell'interasse massimo tra i montanti in alluminio ed il passo delle staffe di ancoraggio in base agli intervalli di pressione del vento.

PROSPETTO III.a					
MONTANTE di h. 3,6 m					
N.staffe*	passo staffe	distanza bordo superiore	distanza bordo inferiore	sollecitazione fissaggio su elemento portante	
	A	A'	A''	V _{ed}	N _{ed}
3	1600 mm	150 mm	200 mm	0,77 kN	1,62 kN
4	1060 mm	150 mm	170 mm	0,73 kN	1,32 kN
				0,66 kN	1,39 kN
5	800 mm	150 mm	150 mm	0,53 kN	1,20 kN
				0,58 kN	1,32 kN
6	640 mm	150 mm	150 mm	0,54 kN	1,22 kN
				0,50 kN	1,38 kN

* di cui una cerniera fissa e il resto carrelli scorrevoli

PROSPETTO III.b					
MONTANTE di h. 2,4 m					
N.staffe*	passo staffe	distanza bordo superiore	distanza bordo inferiore	sollecitazione fissaggio su elemento portante	
	A	A'	A''	V _{ed}	N _{ed}
3	1000 mm	200 mm	150 mm	0,26 kN	0,81 kN
				0,25 kN	0,88 kN
				0,22 kN	0,92 kN
				0,21 kN	1,00 kN
4	650 mm	200 mm	200 mm	0,19 kN	0,88 kN
				0,18 kN	0,98 kN
				0,17 kN	1,10 kN

* di cui una cerniera fissa e il resto carrelli scorrevoli

PROSPETTO III.c					
MONTANTE di h. 1,2 m					
N.staffe*	passo staffe	distanza bordo superiore	distanza bordo inferiore	sollecitazione fissaggio su elemento portante	
	A	A'	A''	V _{ed}	N _{ed}
2	850 mm	150 mm	150 mm	0,26 kN	0,81 kN
				0,25 kN	0,88 kN
				0,22 kN	0,92 kN
				0,21 kN	1,00 kN
3	500 mm	150 mm	50 mm	0,20 kN	1,10 kN
				0,19 kN	0,81 kN
				0,17 kN	0,92 kN

* di cui una cerniera fissa e il resto carrelli scorrevoli

PROSPETTO IV.a															
ELEMENTO PORTANTE E TIPO DI FISSAGGIO															
MONTANTE h. 3,6 m		cls C 25/30		gasbeton		manifera piena		ponotop		x-lam		CLS prefabbricato			
		sp. 400 mm	sp. 400 mm	sp. 250 mm	sp. 400 mm	sp. 200 mm	sp. 200 mm	HRD-HR 30x300	HUS-HR 10x55	HIT-HY 270 + HIT-V 8.8	HIT-HY 270 + HIT-V 8.8	KXF5300	HRD-HR 10x80		
		TAGLIO	TRAZIONE	TAGLIO	TRAZIONE	TAGLIO	TRAZIONE	TAGLIO	TRAZIONE	TAGLIO	TRAZIONE	TAGLIO	TRAZIONE		
		4,7	8,1	6,3	15,7	2,4	2,4	3	3	1,17	1,48	4,7 kN	6,1 kN		
INTERVALLI PRESSIONE DI VENTO	A	1	M	2	S	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	non verifica	verifica	verifica
	B	1	M	3	S	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica
	C	1	M	3	S	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica
	D	1	M	4	S	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica
	E	1	M	4	S	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica
	F	1	M	5	S	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica
	G	1	M	5	S	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica	verifica

Figura 24. Prospetto IV. Determinazione della sollecitazione su ogni singolo fissaggio e determinazione dell'ancorante a seconda degli intervalli di pressione di vento, l'altezza del montante ed il tipo di strato funzionale portante.

Figura 23. Prospetto III. Determinazione del numero e disposizione delle staffe rispetto all'altezza del montante e relativi carichi di taglio e di trazione a seconda dell'intervallo di pressione di vento.

In rosso è indicata la tenuta degli ancoranti secondo scheda tecnica⁴.

Nel prospetto IV.a relativo alla configurazione con montante alto 3.60 m risulta che solo in un caso, quello evidenziato in giallo, il numero di fissaggi a trazione non è sufficiente. Risulta quindi necessario aggiungere tante staffe-carrello quante ne sono necessarie per soddisfare la verifica, alle due già previste.

I prospetti IV.b e IV.c confermano che il numero minimo di staffe derivante dai prospetti III.b e III.c è sufficiente per verificare l'ancoraggio sull'elemento portante.

Se l'elemento portante dell'edificio sul quale viene eseguita la progettazione non rientra nelle casistiche dichiarate nelle schede tecniche dei produttori dei fissaggi, e quindi non risulta coperto da certificazioni, si deve ricorrere alla determinazione sperimentale della resistenza dell'ancoraggio mediante prove di trazione in situ che ne verifichino la resistenza. Una volta determinata sperimentalmente la tenuta del fissaggio è possibile confrontarla con le sollecitazioni indicate nei prospetti III e valutare se il numero minimo di fissaggi sia sufficiente o se sia necessario integrarne altri.

STEP 4:

DIMENSIONAMENTO DELLA LUNGHEZZA DELLE STAFFE

L'ultimo passaggio è il dimensionamento della lunghezza delle staffe. Questo avviene in funzione dello spessore di isolante termico determinato in funzione della trasmittanza termica che si vuole ottenere a seconda della zona climatica in cui è situato l'edificio. Per ogni spessore di isolante esiste la corretta dimensione della staffa.

Il sistema è stato verificato per la staffa con il massimo braccio facendo sì che qualsiasi staffa più corta risulti a favore di sicurezza.

Il sistema di facciata a schermo avanzato con rivestimento in legno presentato nell'articolo ed il relativo procedimento di posa in opera sono oggetto di un brevetto per invenzione industriale rilasciato dall'Ufficio Italiano Brevetti e Marchi in data 9/11/2021⁵. Le seguenti figure 25 e 26 rappresentano il prototipo della facciata a schermo avanzato con rivestimento in legno realizzato appositamente da Arredoline Costruzioni S.R.L.

4. I valori di tenuta degli ancoranti sono stati tratti da schede tecniche di prodotti marchio Hilti.

5. Brevetto n. 10201900022227 dal titolo Sistema di facciata prefabbricata modulare con rivestimento in materiale ligneo e relativo procedimento di posa in opera, classificazione E04F. Inventori: Bartolini Giulia, Bazzocchi Frida, Orlando Maurizio, Di Naso Vincenzo, Gabicchini Michele. Titolari: Università degli Studi di Firenze (80%) e ARREDOLINE Costruzioni S.R.L. (20%).



Figura 25. Prototipo del sistema di facciata a schermo avanzato con rivestimento ligneo (realizzato da Arredoline Costruzioni S.R.L.).



Figura 26. Prova di applicazione della facciata a schermo avanzato con rivestimento ligneo (realizzata da Arredoline Costruzioni S.R.L.).

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano l'Ing. Michele Gabiccini dell'azienda Arredoline Costruzioni S.R.L. per il supporto fornito durante la progettazione e l'azienda Hilti Italia S.p.A. per la consulenza fornita nella scelta degli elementi strutturali utilizzati nella soluzione individuata.

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- Bazzocchi, F. (2002). Le facciate ventilate. Architettura, prestazioni e tecnologie. Alinea.
- CNR-DT 208. (2011). Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Alluminio.
- D.M. 26 giugno. (2015). Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- Hilti. (s.d.). Ventilated facade. Technical manual.
- Regione Toscana - UniFi DICeA - CNR-IVALSA. (2009). Linee guida per l'edilizia in legno in Toscana.
- D.M. 3 agosto. (2015). Codice di prevenzione incendi. Sezione V Regole tecniche verticali del Capitolo V.12 Chiusure d'ambito degli edifici civili (bozza in fase di emanazione).
- UNI 11018. (2003). Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione - Rivestimenti lapidei e ceramici.
- UNI 11035-1. (2010). Classificazione a vista dei legnami secondo la resistenza meccanica.
- UNI 7959. (1988). Pareti perimetrali verticali - Analisi dei requisiti.

- UNI 8979. (1987). Pareti perimetrali verticali - Analisi degli strati funzionali.
- UNI EN 1912. (2012). Legno strutturale - Classi di resistenza - Assegnazione delle categorie visuali sulle specie.
- UNI EN 338. (2016). Legno strutturale - Classi di resistenza.
- Bringing embodied carbon upfront, coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon - World Green Building Council (WorldGBC)

Giulia BARTOLINI, nata a Pistoia (PT) nel 1991, laureata nel 2019 in ingegneria Edile presso l'Università di Firenze. Ad oggi è progettista di strutture modulari in acciaio all'interno di un'azienda leader nel settore dell'edilizia, che si occupa anche di progettazione di ancoraggi e di facciate ventilate.

Vincenzo DI NASO, nato a Prato (PO) nel 1975, laureato nel 2000 in Ingegneria Civile presso l'Università di Firenze, è Professore Associato di Architettura Tecnica presso la Scuola di Ingegneria dell'Università di Firenze. La sua attività di ricerca è principalmente focalizzata sull'innovazione tecnologica degli involucri, sui metodi per la riabilitazione degli edifici esistenti e per quelli di nuova costruzione finalizzati alla sostenibilità energetica, allo studio e al recupero del patrimonio edilizio moderno.

Maurizio ORLANDO, nato a Locri (RC) nel 1969, laureato nel 1993 in Ingegneria Civile presso l'Università di Firenze, è Professore Associato di Tecnica delle Costruzioni presso la Scuola di Ingegneria dell'Università di Firenze. Tra i suoi interessi di ricerca si segnalano l'analisi statica e sismica di strutture esistenti in c.a. o in muratura e di strutture leggere in acciaio formato a freddo.

Cecilia CIACCI, nata a Castel del Piano (GR) nel 1987, laureata nel 2016 in Ingegneria Edile presso l'Università di Firenze, è assegnista e docente a contratto presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale della Scuola di Ingegneria dell'Università di Firenze. Le principali tematiche affrontate nelle attività di ricerca riguardano la sostenibilità energetica ed ambientale di edifici di nuova costruzione ed esistenti oggetto di riqualificazione.

Frida BAZZOCCHI, architetto è Professore Ordinario di Architettura Tecnica presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze. Ha sviluppato ricerche ed è autore di numerose pubblicazioni riguardanti gli ambiti della sostenibilità energetica degli edifici, dell'innovazione tecnologica e dei processi progettuali e costruttivi di opere del patrimonio edilizio Moderno.