

ADEGUAMENTO DI EDIFICI RESIDENZIALI MEDIANTE TELAI IBRIDI VETRO-ACCIAIO

Relatori: Prof. Ing. *Mauro Sassu*, Prof. Ing. *Maurizio Froli*, Prof. Ing. *Anna De Falco*

Candidato: Dott. *Mario Lucio Puppio* (mariolucio.puppio@gmail.com)

Generalità

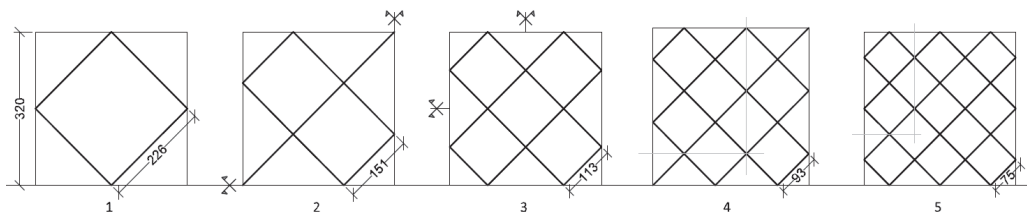
Da tempo ormai i progettisti si trovano a dare risposta ad una sempre maggiore richiesta di trasparenza e smaterializzazione delle strutture, esaltando le particolari peculiarità meccaniche del vetro quali la sua importante resistenza a compressione e fornendo risposte ingegneristiche alle insidie connesse all'impiego strutturale del *materiale fragile per antonomasia*.

Le facciate trasparenti sono oggi realizzate in vetro detto "strutturale", le lastre rispondono a determinati requisiti di sicurezza e sono spesso libere da telai. Restano però elementi secondari essendo l'ossatura portante, resistente alle azioni verticali ed orizzontali dell'edificio, realizzata con materiali e tecnologie tradizionali.

E' possibile realizzare un sistema ibrido in vetro-acciaio, in cui le lastre in vetro strutturale abbiano un ruolo da protagonista e non siano solo elementi portati?

La tesi prende le mosse dalla ricerca di una opportuna geometria di progetto ispirata a requisiti di *regolarità*, *simmetria*, *modularità*. Nascono così delle soluzioni con campi diagonali di forma quadrata che consentono un'ottimizzazione delle superfici esposte e della disposizione degli organismi resistenti.

Queste suddivisioni, con la combinazione di elementi triangolari isosceli e quadrati, possono adattarsi a diverse geometrie di progetto ed avere varie prestazioni meccaniche.



Possibili suddivisioni in campi diagonali

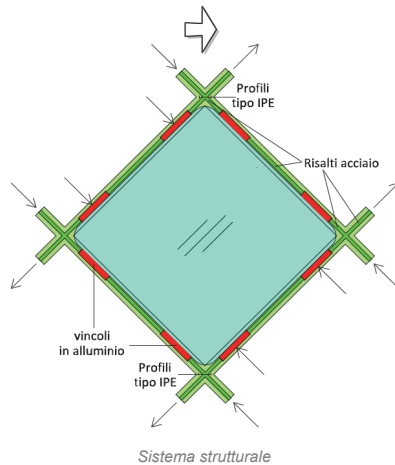
Il pacchetto di controvento progettato presenta, oltre che simmetrie assiali, anche una simmetria piana. Un doppio strato di vetro di sicurezza consente di realizzare un organismo resistente dotato altresì di una discreta inerzia termica con la possibilità, in caso di interventi di retrofit su pareti cieche di edifici esistenti, di realizzare un'intercapedine ventilata.

La soluzione progettuale si basa su concetti chiave nell'ambito sia della progettazione sismica che della progettazione degli elementi in vetro (così come codificate rispettivamente nell'Eurocodice 8 e nelle istruzioni sperimentali CNR DT 210/2012) ed in particolare su principi quali *gerarchia*, *robustezza*, *ridondanza strutturale* e *rottura protetta (fail safe)*.

L'applicazione di questi principi consente di ottenere, "a livello di struttura, quella duttilità mancante a livello di materiale e di singolo elemento strutturale".

Descrizione del sistema

La struttura resistente è composta da un doppio ordine di elementi che lavorano in parallelo. Elementi diagonali in acciaio (tesi e compressi) e lastre in vetro (semplicemente compresse). La simbiosi tra acciaio e vetro diminuisce le tensioni di compressione nei puntoni favorendo un migliore sfruttamento dei materiali e limitando problemi di instabilità.



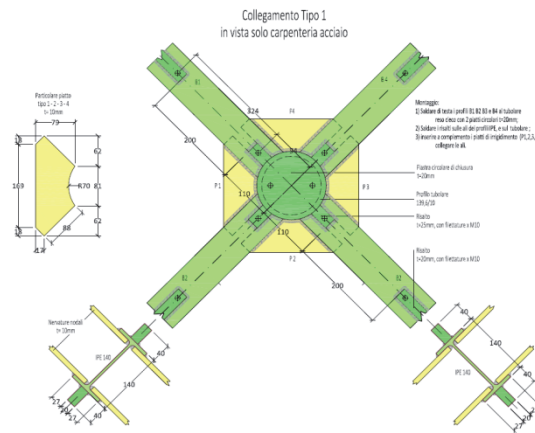
Ciò viene assicurato impegnando a compressione il vetro mediante vincoli monolateri. L'assieme viene pensato attraverso una *delocalizzazione* dei nodi. Questo permette una maggiore semplicità costruttiva ed inoltre consente di mettere in forza i vetri ed assicurare un efficace cinematiso del sistema senza ricorrere alla precompressione.

Particolari costruttivi

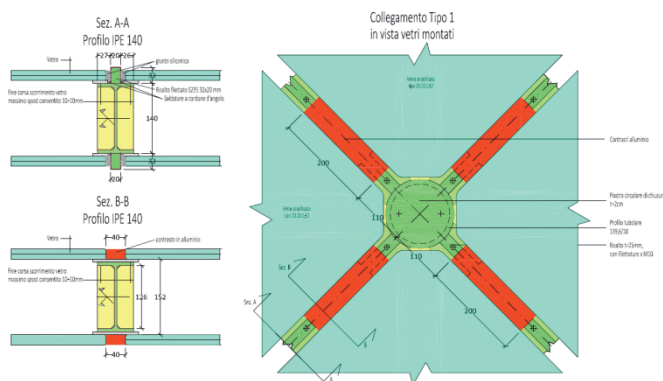
La realizzazione di questo organismo resistente è concretizzata attraverso lo sviluppo dei dettagli costruttivi, con particolare riferimento ai nodi. Questi devono consentire l'integrazione tra vetro ed acciaio garantendo opportune condizioni di vincolo alle lastre e consentendo piccoli scorrimenti, in maniera tale da non inflettere i profili di acciaio che risultano semplicemente tesi e compressi.

Il tutto è progettato con particolare attenzione a criteri di *gerarchia e fail safe*.

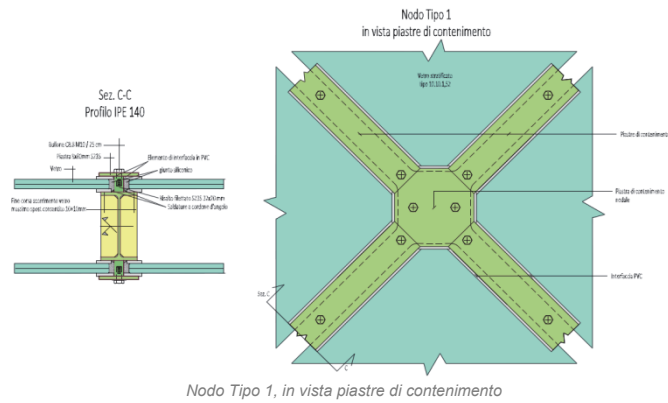
In quest'ottica viene realizzata una cornice rigida con elementi triangolari isosceli di irrigidimento che assicurano un corretto cinematiso nella risposta alle azioni orizzontali ed il richiesto grado di sicurezza del sistema. Di seguito alcuni particolari costruttivi rappresentati in diverse fasi di montaggio:



Nodo Tipo 1, in vista carpenteria acciaio

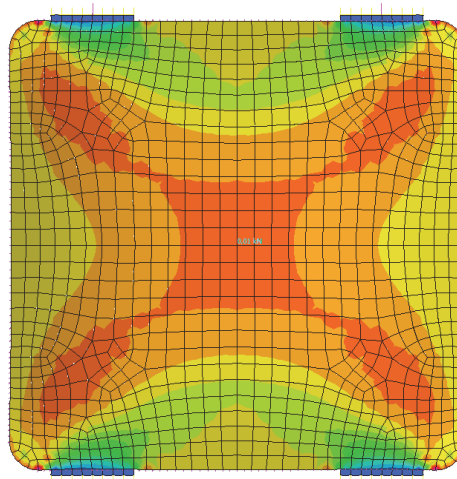


Nodo Tipo 1, in vista vetri montati



Le lastre di vetro risultano così in diretto contatto meccanico a mezzo di vincoli di alluminio, gli scorrimenti sono invece consentiti mediante interfaccia in materiale polimerico.

Studi analitici



Stato tensionale di una lastra da analisi non lineare

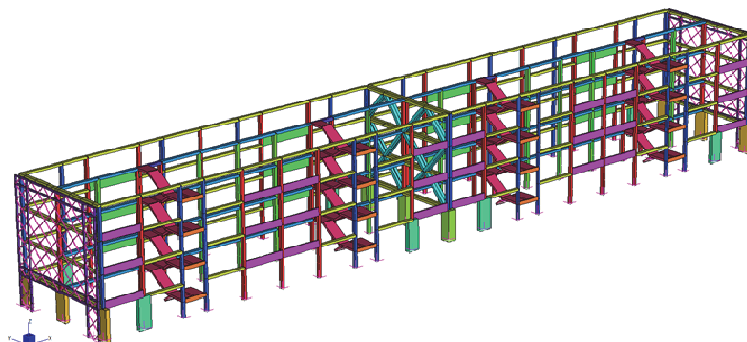
Sono stati eseguiti studi analitici (impiegando il codice *Straus 7 r2.4.4*) con diverso grado di dettaglio, sia sulle lastre singole che sull'intero sistema di controvento. Analisi numeriche sulle lastre singole hanno messo in luce importanti risorse dovute alle favorevoli condizioni di vincolo.

E' stata altresì valutata in modelli globali la possibilità di *rottura accidentale* di una o più lastre garantendo, mediante opportuni accorgimenti tecnologici, la formazioni di *percorsi resistenti alternativi*. Il grado di sicurezza del controvento ibrido è stato altresì valutato nell'ipotesi di vetri completamente danneggiati.

Caso studio

Il controvento ibrido ha avuto una prima applicazione progettuale su un caso studio concreto, un edificio CASALP anni '60 di edilizia economica e popolare sito nel quartiere *La Rosa* di Livorno.

La prova è risultata piuttosto impegnativa per il controvento ibrido in quanto le applicazioni sono state pensate su un edificio in linea di dimensioni 73,9x11,2m con piano debole.



Modello dell'edificio nello stato di progetto - Soluzione A

Sono state studiate due soluzioni progettuali, caratterizzate da diverso costo ed impatto.

La soluzione A (più economica) che consente il *miglioramento sismico* del fabbricato, progettando l'intervento in modo da integrare il sistema ibrido con tecniche tradizionali, e la soluzione B che realizza un ampliamento, con il soddisfacimento di nuovi standard architettonici, oltre che l'*adeguamento sismico* con il livello di sicurezza richiesto per gli edifici di nuova costruzione.

E' così possibile intervenire su edifici esistenti realizzando, oltre che un *adeguamento sismico* ed un *retrofit energetico*, un *restyling* dell'involucro dell'edificio con miglioramento della sua gradevolezza estetica.

Le soluzioni progettuali mettono in luce la possibilità del sistema di adattarsi a *geometrie e condizioni di fruibilità diverse*.

I pannelli di vetro con orientazione favorevole possono all'occorrenza ospitare *celle fotovoltaiche* trasformando il controvento in una piccola centrale energetica.



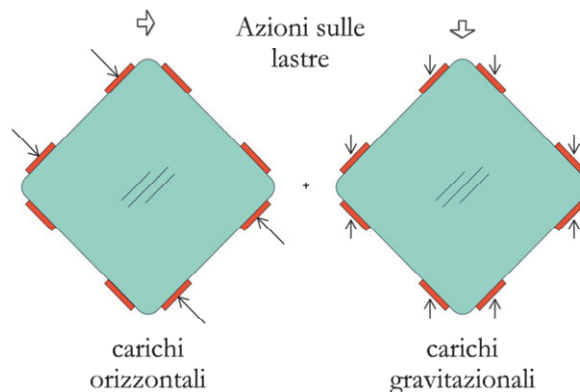
Vista della controvento di testata nella Soluzione A

Sviluppi futuri

Dato il contenuto innovativo le analisi sono state svolte con fattore di struttura unitario, considerando lo spettro elastico di progetto.

Tuttavia ci sono margini di miglioramento per cui, in futuri sviluppi del lavoro, è possibile intravedere applicazioni in campo dissipativo e la possibilità di realizzare aperture.

Queste caratteristiche fanno del controvento progettato un vero e proprio *sistema costruttivo* in grado di resistere ai carichi indotti dagli impalcati oltre che dalle azioni sismiche.



Schema di carico delle lastre

Si intravedono quindi possibili applicazioni anche nel campo di nuove realizzazioni oltre che di retrofit sull'esistente.