

# L'INVOLUCRO TRASPARENTE

## prospettive di ricerca e sviluppo nel settore del vetro

**Enrico Sergio Mazzucchelli**

*Dip. ABC - Politecnico di Milano*

L'utilizzo del vetro nell'involucro edilizio ha avuto una notevole crescita negli ultimi anni, grazie alla caratteristica di trasparenza e all'aspirazione di molti progettisti di ridefinire l'idea di una demarcazione netta tra spazi interni ed esterni. La tendenza dell'architettura contemporanea verso la "smaterializzazione" vede il vetro quale naturale protagonista, non solo per la sua caratteristica intrinseca di trasparenza, ma anche per i riflessi e i cambiamenti di colore, la valenza architettonica e l'interazione sempre mutevole con l'ambiente circostante.



*Figura 01 – The Shard, Londra, RPBW Architects.*

Progressi tecnologici, avanzamento della ricerca, immaginazione architettonica ed esigenze economiche e sociali stanno spostando ogni giorno di più i limiti di ciò che si può fare con il vetro nell'ambiente costruito, ben oltre la sua originaria funzione di semplice elemento di chiusura trasparente.

Gli edifici con involucro trasparente non sono una novità recente, ma il passaggio a geometrie di facciata sempre più complesse, libere e fantasiose crea nuove sfide nella realizzazione di componenti che siano validi dal punto di vista estetico, tecnico ed anche economicamente competitivi. Vetri curvati a freddo, vetri interattivi, vetri ultra sottili e resistenti, in precedenza limitati

principalmente ad applicazioni specifiche e di ridotte dimensioni, sono ormai disponibili nelle dimensioni utili per il settore edilizio e possono portare allo sviluppo di componenti leggeri e con curvature interessanti per l'architettura.

Strutture avanzate, in cui il vetro è stato utilizzato anche come elemento portante, hanno iniziato ad essere esplorate più a fondo sin dall'inizio degli anni '90, affrontando grandi sfide in termini di sicurezza strutturale a causa della natura fragile del vetro. Inoltre, mentre per altri materiali strutturali tali aspetti sono già ampiamente regolamentati nei codici di progettazione armonizzati, per il vetro essi sono ancora in fase di sviluppo. La recente CEN/TS 19100:2021 "Design of glass structures" ha facilitato la progettazione e la verifica della sicurezza di strutture in vetro e può essere considerata una svolta fondamentale verso un design sicuro e competitivo. Quando il vetro è utilizzato come elemento portante, come nel caso di vetri non intelaiati o travi in vetro si parla di vetro strutturale: il "vetro strutturale" non è un particolare tipo di vetro, ma piuttosto un particolare tipo di applicazione.



*Figura 02 – On the Wave, Sopot (PL) (Fonte: <https://www.presglass.com/3dglass>).*

Nell'intento di ovviare alla sua tipica fragilità, frequente è il ricorso al vetro multistrato, capace di garantire una resistenza meccanica significativa per le possibilità architettoniche, specie nel caso di facciate strutturali e di elementi portanti di edifici interamente vetrati. Il vetro stratificato è composto da almeno due lastre di vetro con uno strato intermedio (interlayer) di un polimero di sintesi, aderente su tutta la superficie delle lastre. Normalmente si ricorre al polivinilbutirrale (PVB), elastico e di una trasparenza paragonabile a quella vitrea, ed eventualmente anche a più strati di PVB, in particolare per vetri stratificati di sicurezza. L'unione di singole lastre per formare una sezione composta può avvenire tramite incollaggio di vetro a vetro, incollaggio degli strati di vetro a profili metallici di correlazione, o correlazione localizzata degli strati con fissaggio per punti. E' possibile migliorare il comportamento fragile del vetro dotando il bordo delle lastre di elementi di materiale con una maggiore resistenza a trazione e duttilità, in grado di assorbire con sicurezza le forze di trazione indotte dalla flessione. In questi sistemi ibridi è importante valutare attentamente le caratteristiche meccaniche dei materiali (ad esempio il coefficiente di dilatazione termica) per assicurarne un'effettiva collaborazione strutturale.



Figura 03 – Esempio di facciata in vetro strutturale (<https://glazingcentre.co.uk>).

Tuttavia, anche se il vetro strutturale è principalmente sfruttato nell'architettura moderna nella sua forma bidimensionale, si è iniziato a prestare maggiore attenzione anche alle sue potenzialità in elementi tridimensionali. La tecnica del "cast glass" (letteralmente vetro colato) è un processo di fabbricazione utilizzato nella produzione di blocchi di vetro di forma tridimensionale. Comunemente utilizzato per scopi artistici o ornamentali, questo processo può trovare applicazione anche nella costruzione di blocchi di vetro di tipo strutturale. In particolare, per tali applicazioni non esiste alcuno standard specifico sul metodo di produzione, e quindi gli elementi sono solitamente progettati su misura.



Figura 04 – The Crystal House by MVRDV, dettaglio dell'esterno e dell'interno della facciata. (fonte: [www.metalocus.es](http://www.metalocus.es)).

I mattoni di vetro colati ad incastro (interlocking cast glass bricks) sono elementi esteticamente gradevoli, semplici da assemblare e disassemblare (e, di conseguenza, facili da riciclare). Essi possono essere utilizzati come prodotti da costruzione completamente trasparenti anche per la realizzazione di strutture portanti. Generalmente, i "cast glass bricks" vengono sovrapposti l'uno sull'altro, con l'interposizione di uno strato intermedio incolore in grado di compensare le tolleranze dimensionali dovute al metodo di produzione. Il particolare processo di produzione consente la realizzazione di componenti più complessi, più resi-

stenti e con uno spessore maggiore rispetto al normale vetro piano. Lo stato dell'arte di questa tecnologia (regole di progettazione, metodi di produzione e software di progettazione) è costantemente arricchito dalla ricerca e attraverso il progetto di elementi in vetro con funzione portante.



Figura 05 – Esempio di componenti “cast glass”: assemblaggio tipico in zona d’angolo (photo by Faidra Oikonomopoulou).

Un sistema ad incastro di elementi in vetro presenta alcuni aspetti vantaggiosi in termini di prestazioni strutturali e di economia circolare, ottenibili grazie alla particolare modalità di assemblaggio a secco. In questo caso, la stabilità complessiva è ottenuta attraverso la compressione fornita dalla combinazione del peso proprio della costruzione con la geometria ad incastro, che offre i vincoli necessari ai movimenti laterali. Attraverso una geometria ad incastro, gli elementi di sviluppo più recente non richiedono l'impiego di adesivi, utilizzando uno strato intermedio incolore e posato a secco. Oltre a prevenire le concentrazioni di sollecitazioni dovute al contatto tra vetro e vetro, tale strato può anche adattarsi alle inevitabili tolleranze dimensionali nelle dimensioni degli elementi. Inoltre, lo strato intermedio a secco consente la realizzazione di un sistema in grado di essere disassemblato e garantisce l'utilizzo circolare dei materiali. Infatti, l'impiego di vetro di scarto nei componenti fusi può essere un modo per reintrodurre i materiali di rifiuto nella catena di approvvigionamento. Gli elementi di vetro fuso, a causa della loro elevata sezione trasversale, possono tollerare un grado più elevato di impurità e quindi possono essere prodotti utilizzando vetro di scarto come materia prima, senza necessariamente comprometterne le proprietà meccaniche o estetiche. Diverse geometrie di componenti sono state sviluppate nel corso degli ultimi anni, prodotte e valutate in termini

di capacità di interconnessione meccanica, distribuzione di massa e facilità di fabbricazione. Diverse sono le possibili geometrie ad incastro degli elementi in vetro colato che sono state sviluppate e studiate. In particolare, poiché il vetro non si concilia con le forme squadrate (a causa delle tensioni differenziali generate durante la fase di ricottura) sono stati sviluppati elementi con superfici più organiche e lisce, e l'opzione migliore si è rivelata essere una forma osteomorfa. Questo tipo di sistema di incastro tra blocchi consente un pieno contatto tra gli elementi, con una conseguente omogenea distribuzione dei carichi e limita i movimenti relativi sia in senso assiale che trasversale.



Figura 06 – Esempio di vetrata elettrocromica (<https://www.glassonweb.com>).

L'industria del vetro piano sta lavorando all'ulteriore miglioramento delle prestazioni di tipo meccanico: produrre vetri più sottili e leggeri è infatti un'altra priorità di sviluppo. Vetri più sottili, leggeri e resistenti, che svolgono già oggi un ruolo vitale nella decarbonizzazione dei trasporti, saranno in un prossimo futuro ugualmente rilevanti per la decarbonizzazione degli edifici. Oltre a ridurre la necessità di materie prime, questo miglioramento facilita l'installazione dei prodotti e può avere un impatto significativo sulle emissioni di carbonio nella fase di trasporto.

Dal punto di vista energetico, grazie ai continui miglioramenti delle prestazioni d'isolamento termico e dei metodi di controllo della radiazione solare e della trasmissione della luce, le vetrate ad alte prestazioni sono di fatto diventate sempre più essenziali per la realizzazione di edifici a basso consumo. Adattandosi alla radiazione solare in funzione delle condizioni meteorologiche e delle esigenze di comfort, vetri “dinamici” consentono una significativa riduzione sia della domanda di ener-

gia per il riscaldamento in inverno, sia del fabbisogno di energia per il raffrescamento in estate. Se integrate in sistemi di controllo e gestione automatizzati, queste soluzioni con vetri intelligenti forniscono un involucro dinamico all'edificio, in grado di adattarsi alle variazioni delle condizioni ambientali. Ad esempio, tra i prodotti disponibili, i vetri elettrocromici offrono agli utenti la possibilità di modificare la trasmissione della luce e di schermare la radiazione solare su richiesta.



Figura 07 – Esempio di vetro fotovoltaico (<https://www.solastra.in>).

Il contributo del vetro alla decarbonizzazione non si limita tuttavia alla realizzazione di chiusure verticali trasparenti: il vetro è infatti un materiale indispensabile nella realizzazione di pannelli fotovoltaici oppure come substrato per l'integrazione di celle fotovoltaiche trasparenti nella pelle degli edifici (BIPV). Grazie alla disponibilità di vetro di sicurezza in colori, forme e finiture diverse, i sistemi BIPV rispondono a tutte le esigenze di progettazione e sviluppo di edifici sostenibili e sicuri. A differenza degli altri ambiti applicativi dove il focus è essenzialmente legato all'efficienza, nel BIPV è necessario considerare fattori tra cui: il peso, la semitrasparenza e la adattabilità a diverse condizioni di posa e di luminosità nonché alla necessità di integrare cablaggi, inverter, ecc. con gli altri impianti dell'edificio. E' anche importante notare come il settore edilizio sia caratterizzato da una forte variabilità di condizioni climatiche sia in termini di temperatura, che di irraggiamento e di tipologia di abitato. Di conseguenza, la scelta della tecnologia più adatta è fortemente legata al contesto

in cui deve essere integrata e non può essere rigidamente standard.

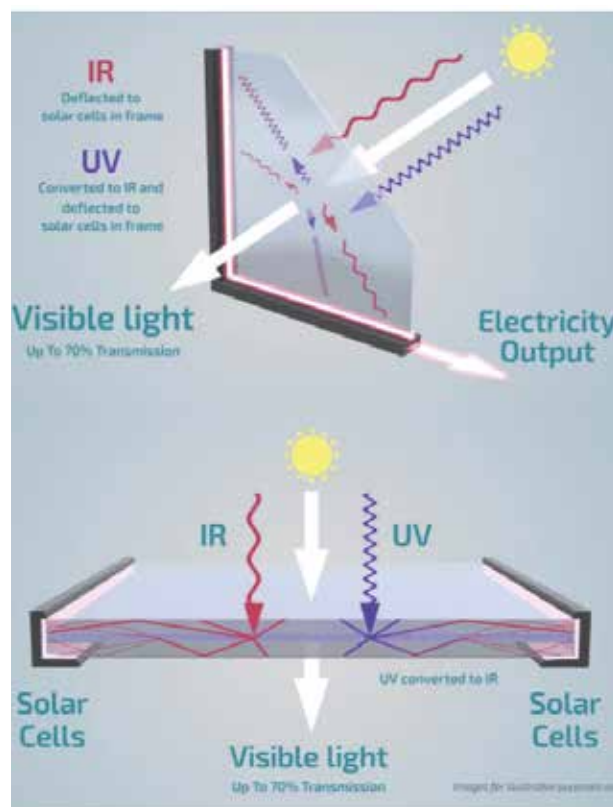


Figura 08 – Schema di funzionamento di concentratori solari luminescenti (<https://pv-magazine-usa.com>).

Vetrature fotovoltaiche consentono di sfruttare la superficie di involucro trasparente di un edificio per produrre energia elettrica. In particolare, possono essere utilizzati dei particolari pannelli fotovoltaici "Thin Film", ossia a pellicola sottile, che vengono inseriti tra due strati di vetro.

Le celle solari trasparenti utilizzano selettivamente la porzione dello spettro solare invisibile ad occhio nudo, consentendo il passaggio della normale luce visibile. Una ulteriore soluzione è stato lo sviluppo di concentratori solari luminescenti trasparenti (TLSC). I concentratori solari luminescenti (LSC), sviluppati con il supporto del MIT di Boston, sono costituiti da fogli di plastica colorata con proprietà speciali. I TLSC sono composti da sali organici progettati per assorbire specifiche lunghezze d'onda invisibili della luce ultravioletta e infrarossa, che vengono poi emesse come altre lunghezze d'onda invisibili. Questa nuova lunghezza d'onda viene inviata al bordo di plastica della finestra, dove una sottile striscia di celle solari fotovoltaiche la converte in elettricità.

Altri concentratori solari luminescenti trasparente sono costituiti da uno strato intermedio di PVB spettralmente selettivo inserito tra due lastre di vetro. La maggior parte della luce visibile viene trasmessa attraverso il vetro, ma la luce infrarossa viene deviata dalle particelle inorganiche presenti nello strato intermedio verso le celle solari inserite nel telaio. La componente UV della radiazione viene convertita in infrarossi e anch'essa indirizzata verso le celle sul perimetro della finestra.



Figura 09 – Esempio di vetrata di negozio interattiva (<https://idesigncafe.tumblr.com/>).

Essendo un componente essenziale per dispositivi intelligenti quali smartphone, tablet, laptop e altri display digitali, il vetro è anche un "invisibile" protagonista della transizione digitale. Le pellicole tattili interagiscono attraverso il vetro in una varietà di spazi pubblici. Il loro obiettivo è il coinvolgimento e l'interazione con l'utente, talvolta migliorando l'esperienza di acquisto. Le moderne tecnologie multitouch per grandi formati per il vetro possono arrivare ad oltre dieci punti di contatto simultanei. Essendo una tecnologia touch "attraverso il vetro", la lamina viene applicata su un lato del vetro mentre gli utenti toccano l'altro. Ciò significa che il sensore tattile non è soggetto ad usura ed è a prova di vandalismi.



Figura 10 – Esempio di vetrata interattiva su mezzo di trasporto (<https://www.hubner-group.com>).

Sul tema dell'impatto ambientale, occorre evidenziare che il settore europeo del vetro piano ha ridotto di oltre il 40% le sue emissioni di CO<sub>2</sub> dal 1990 all'inizio del decennio corrente (Glass for Europe, 2020). Tuttavia, numerose barriere tecnologiche devono ancora essere superate in vista degli obiettivi del 2050. Nonostante la produzione di vetro piano sia uno dei processi industriali a più alte temperature, essa rappresenta solo lo 0,65% delle emissioni industriali di CO<sub>2</sub> dell'UE (Glass for Europe, 2020). Temperature sino a 1.600°C sono necessarie per minimizzare i difetti che potrebbero alterare proprietà essenziali del materiale quali la trasmissione della luce e la trasparenza, ma anche esigenze proprie del cliente finale o criteri di sicurezza nelle costruzioni, nelle auto e nella produzione di pannelli ad energia solare. Il 75% delle emissioni di CO<sub>2</sub> deriva dall'uso di gas naturale nel processo di fusione. Il restante 25% delle emissioni deriva dal rilascio di CO<sub>2</sub> dei carbonati presenti nelle materie prime. Queste "emissioni di processo" difficilmente possono essere ridotte senza ridurre la quantità di materie prime vergini introdotte nel processo. L'uso del "cullet", cioè del vetro riciclato, come materia prima, è fondamentale per l'industria perché, abbassando il punto di fusione della miscela vetrificabile, riduce il fabbisogno di energia e le relative emissioni di CO<sub>2</sub>. Aiuta inoltre a limitare le "emissioni di processo", in quanto permette di ridurre la quantità di materie prime impiegate.

Come prima ricordato, il 75% delle emissioni dei forni di vetro piano derivano dall'utilizzo di combustibili fossili per la fusione delle materie prime. Il passaggio ad una fonte di energia a zero emissioni nette di carbonio presenta un importante potenziale di riduzione che potrà concretizzarsi solo in presenza di una tecnologia dei forni adatta all'utilizzo di nuove fonti di energia e che deve ancora essere sviluppata e testata. Inoltre, le nuove fonti di energia alternativa dovranno essere disponibili in qualità e quantità sufficiente e ad un costo ragionevole. Infine, la cattura del carbonio potrebbe permettere l'eliminazione delle emissioni di processo (25% delle emissioni odierne), che non possono essere evitate con il passaggio ad una fonte di energia rinnovabile per la produzione. Tuttavia, rimangono ancora una serie di ostacoli per poter considerare la cattura del carbonio un'opzione percorribile (ad esempio la creazione di vaste infrastrutture di trasporto e stoccaggio). Fortunatamente, i dati di impatto ambientale relativi ai prodotti in vetro piano sono in crescita e sempre più

accessibili. I nuovi prodotti in genere hanno etichette o possono essere dotati di "chip", sensori che raccolgono dati sulle prestazioni della vetratura e memorizzano anche informazioni su dove è stato fabbricato un prodotto, da chi e ancora altre specifiche che sarebbe importante conoscere durante la fase di riciclo del materiale. La comunicazione e la consapevolezza tra produttori, clienti e progettisti sulle qualità e sugli impatti ambientali stanno migliorando.

E' ampiamente riconosciuto che i prodotti in vetro piano rappresentano obiettivi interessanti per la ricerca del "design for disassembly". Sono disponibili soluzioni di attrezzature per disassemblare i prodotti per facciate e preparare il vetro per il riciclo. Sviluppando processi di disassemblaggio e strategie di progettazione favorevoli al riciclo o al riutilizzo, il vetro architettonico avrà maggiori potenzialità per rimanere all'interno dello stesso mercato e quindi contribuire alla sua decarbonizzazione. Tuttavia, il vetro ancora oggi difficilmente viene riutilizzato o riciclato per impieghi in edilizia a causa dei requisiti di alta prestazione oggi richiesti all'industria di produzione. Infatti, nonostante la sua riciclabilità al 100%, il limite principale nel suo riutilizzo è dovuto all'elevata possibilità di contaminazione del materiale, ad esempio nel caso di operazioni di retrofit e demolizione, dove il vetro è spesso miscelato con altri materiali da costruzione. Per questo motivo, uno

degli obiettivi più importanti oggi è creare la possibilità di riciclare il vetro piano, cosa che potrebbe modificare in modo significativo la quantità di energia e di materie prime utilizzate nell'industria del vetro. I requisiti di qualità che il vetro riciclato deve avere per essere riutilizzato nella produzione di vetro piano sono unici in tutta l'industria vetraria. Le caratteristiche di sicurezza e di prestazione del prodotto finale (ad es. caratteristiche ottiche di sicurezza per il vetro dell'automotive) permettono solo l'utilizzo di vetro riciclato omogeneo e della più alta qualità.

Un ultimo spunto di riflessione riguarda gli effetti dei cambiamenti climatici in atto. I rischi derivanti da un clima sempre più imprevedibile rendono necessaria una progettazione sempre più attenta, così come l'adozione di sistemi costruttivi in grado di garantire l'integrità degli edifici in condizioni meteorologiche estreme. L'obiettivo principale è quello di prevenire e limitare i danni alle persone e alle proprietà e, in questo contesto, gioca un ruolo fondamentale l'involucro edilizio a cui è demandata la funzione di proteggere e separare l'ambiente interno da quello esterno. Le soluzioni di involucro attualmente utilizzate dimostrano una buona propensione alla resistenza agli effetti delle ondate di calore, mentre appaiono più vulnerabili alle conseguenze di eventi meteorologici di breve durata ma elevata intensità.

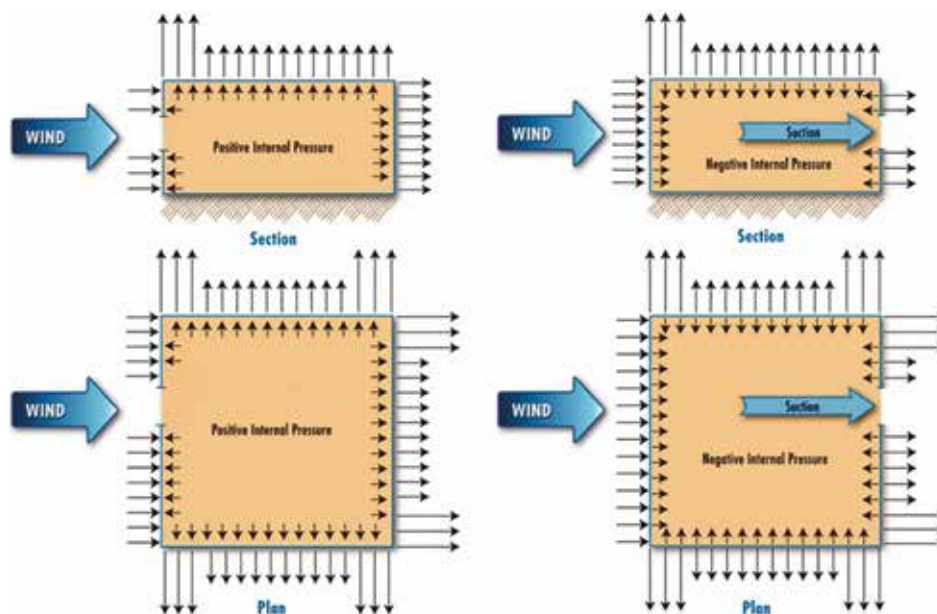


Figura 11 – Schema delle pressioni agenti sull'involucro in caso di rottura di un elemento di facciata.

Le esperienze ed i report di analisi di danni causati da eventi estremi hanno rivelato che la sola valutazione dell'azione dovuta alla pressione del vento non è sufficiente per definire la capacità dei rivestimenti di resistere e di avere prestazioni sufficienti in caso di tali eventi. In effetti, le campiture vetrate impiegate nei sistemi di involucro, ma anche i sistemi di rivestimento opaco per chiusure verticali e di copertura, sono soggetti ad analisi meccaniche che garantiscono un elevato grado di sicurezza e resistenza a valori di pressione/depressione del vento tipici di una tempesta. Tuttavia, l'integrità dell'involucro non è garantita quando esso viene colpito da detriti trasportati dal vento stesso (flying debris), il che evidenzia che il superamento complessivo del limite di carico da vento (raffica, vento cumulato, ciclone, etc.) rispetto al valore nominale impiegato nella fase di calcolo e progetto non è l'unico motivo di danno ad una facciata.

In particolare, la rottura di campiture trasparenti è particolarmente insidiosa perché può provocare un aumento della pressione interna dovuta al vento e compromettere, di conseguenza, la tenuta all'acqua dell'involucro edilizio stesso (si evidenzia che spesso gli eventi estremi sono caratterizzati dalla combinazio-

ne di pioggia/vento). Test condotti su mock-up hanno evidenziato che sia vetri ricotti, sia vetri temprati, hanno ridotte prestazioni dal punto di vista della resistenza rispetto agli effetti di detriti volanti. Viceversa, nel caso di vetro stratificato, la rottura si registra normalmente solo sulla lastra esterna della campitura vetrata, preservando quindi l'integrità di quella/e interne.

Per migliorare il comportamento di facciate vetrate in caso di forti tempeste e potenziale minaccia da parte di detriti esistono essenzialmente due possibilità: incrementare la resistenza dei singoli componenti e aumentare la protezione degli stessi, introducendo sistemi di schermatura esterni.

In generale, in contesti particolarmente soggetti a tali eventi, è preferibile l'impiego di lastre stratificate di sicurezza. I vetri stratificati (che in Italia sono impiegati principalmente per migliorare le performance acustiche di facciata), oltre che di sicurezza in servizio (veda- si UNI 7697 "Criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrate"), nascono negli Stati Uniti al fine di resistere agli impatti di corpi esterni durante le tempeste. In caso di rottura, l'interlayer mantiene in posizione i frammenti, evitando la formazione di aperture e danni a persone



Figura 12 – Esempio di danni provocati da un uragano su una facciata continua.

e/o cose. L'interlayer più utilizzato è il PVB, ma si stanno studiando e testando nuove soluzioni in grado di garantire una maggiore resistenza all'impatto di detriti volanti in aree soggette ad eventi estremi.

Agire solo sulla tipologia di vetro non è tuttavia sufficiente. E' necessario, infatti, adoperare anche sistemi di ritegno del vetro adeguati. La tecnologia ad incollaggio strutturale risponde meglio alle sollecitazioni meccaniche di vento, sisma e impatto perché il sigillante, allestito lungo tutto il perimetro del vetro, è in grado di accomodare le deformazioni indotte dai carichi. Devono comunque essere previsti ritegni meccanici di sicurezza, che, in caso di guasto del sigillante, garantiscano la stabilità del sistema. Qualora si scegliesse una soluzione con ritegno meccanico, si dovrà porre particolare attenzione al collegamento tra telaio e pressore. Infine, la scelta del telaio deve avvenire in funzione dell'affidabilità del sistema e delle modalità di rottura e conseguente sostituzione della vetrata. In quest'ottica, la tipologia a cellule consente una più facile manutenzione e garantisce una qualità maggiore del manufatto poiché gli elementi costituenti il sistema sono assemblati in officina. Qualora si prediligesse un sistema a montanti e traversi, la lunghezza dei montanti non dovrà eccedere la distanza interpiano e dovrà essere rinforzata la connessione tra gli elementi verticali e orizzontali. Le facciate continue a fissaggio puntuale sono, invece, da

In Europa, la progettazione dell'involucro sotto l'azione del vento segue l'Eurocodice 1, ma le configurazioni di carico estremo, inclusi gli eventi naturali, sono considerate solo marginalmente. Tuttavia, per alcuni fenomeni meteorologici straordinari del passato è stato dimostrato come i valori massimi di progetto siano talvolta inferiori rispetto alle velocità reali del vento. Ad oggi, gli Stati Uniti sono il paese con la più ampia e sviluppata normativa in merito. Nel codice statunitense delle costruzioni ASCE 7-16 è riportata una mappa suddivisa in aree a seconda della velocità del vento caratteristica e della probabilità di sviluppo di uragani. Lo standard riconosce, inoltre, come test di riferimento sugli elementi tecnici vetrati, colpiti da uragani o trombe d'aria, i protocolli stabiliti dalle norme ASTM E 1886 e ASTM E 1996. Questi, per la simulazione dell'azione combinata delle pressioni del vento agenti e dell'impatto dei detriti volanti sui sistemi costruttivi, prevedono l'esecuzione di due differenti test su mock-up a scala reale.



Figura 13 – Esecuzione di prova su mock-up di facciata (TCLab Envelope Testing, Università Mediterranea di Reggio Calabria).

Oggi la progettazione, specie nelle aree ambientali critiche o sensibili, tende ad aggiungere sempre più fasi volte alla comprensione delle dinamiche e alla verifica dell'applicabilità delle soluzioni ipotizzate prima delle fasi esecutive. Questa opportunità di ricerca, nelle sue diverse implicazioni, offre la possibilità strategica di supportare la previsione dei risultati attesi (o di calibrare meglio la configurazione) anche attraverso test sperimentali in grado di prevedere in anticipo gli effetti di possibili scenari futuri, arricchendo così il processo di una nuova capacità e competenza volta al controllo della dinamica delle prestazioni. L'attività di sperimentazione sul campo è intesa, in modo comune, come lo studio dal vero del comportamento degli edifici (sottoposti ad una riproduzione dei fenomeni connessi al cambiamento climatico) attraverso attività sperimentali e azioni di sperimentazione su modelli di prova a grandezza naturale. Nel settore edile, l'innovazione tecnologica si pone quindi come un fattore rilevante a supporto della ricerca progettuale, con processi, prodotti e tecniche in grado di incidere sulla qualità e realizzazione dei manufatti. Questa innovazione parte dalla sperimentazione in laboratorio attraverso attività di test, ed è proprio per questo che il ruolo degli strumenti di rilevazione fenomenologica e, soprattutto, dei centri che svolgono attività di test assumono particolare rilevanza e richiedono nuove metodologie e apparecchiature capaci di essere sempre in linea con le aspettative delineate dal settore delle costruzioni.