

Una vetrina sul mondo

Le vetrine rappresentano elementi architettonici di indubbio impatto visivo e sempre più spesso le loro dimensioni vengono scelte dai progettisti più per trasmettere un “concept” che per necessarie esigenze di esposizione e vendita. In questo articolo ci siamo occupati di vetrine e pareti vetrate in vetro stratificato; per quanto riguarda le attenzioni progettuali relative a vetrine realizzate con vetrocamere, queste saranno oggetto di un prossimo articolo

Ing. Michel Palumbo, progettista di strutture in vetro
michel.palumbo@vetrostrutturale.it

Estratto della tabella 3.1.

L'NTC 2018 relativo ai carichi orizzontali da prevedere in fase di progettazione per vetrine e pareti (interne ed esterne)

Non bisogna dimenticare, però, che il ruolo delle vetrine non è solo quello estetico, ma le stesse si configurano in tutto e per tutto come tamponamenti di sicurezza spesso impiegati anche a protezione dal rischio di caduta nel vuoto. Le vetrine, dunque, richiedono un'attenta progettazione che tenga conto di tutte le criticità cui, per la loro funzione, possono essere soggette in caso di necessità. La progettazione di una vetrina espositiva coinvolge quindi due livelli progettuali:

- 1) un livello funzionale;
- 2) un livello di calcolo.

Progettazione funzionale

Le prime scelte da compiere per la realizzazione di una vetrina devono soddisfare le richieste riportate nel prospetto 1 punto 3 alla voce **Vetrine** della Norma **UNI 7697:2015** che, con il titolo esplicito di “Criteri di sicurezza per le applicazioni vetrarie” definisce i “*Requisiti minimi necessari per la sicurezza degli utilizzatori*”. Le scelte devono dunque ricadere su soluzioni e materiali che garantiscano:

Cat.	Descrizione	H _k	1,5xH _k
		Valore del carico lineare	Valore del carico lineare per le prove e le verifiche
		kg/ml	kg/ml
A B C ₁	Ambienti ad uso residenziale. Uffici.	100	150
	Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento.		
C ₂	Scale comuni, balconi e ballatoi in Cat. A, B, C ₁	200	300
	Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne.	200	300
C ₃ C ₄ C ₅	Scale comuni, balconi e ballatoi in Cat. C ₂	200	300
	Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad altri di stazioni ferroviarie.	300	450
	Sale da ballo, palestre, palcoscenici.		
	Sale da concerto, palazzetti dello sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.		
	Scale comuni, balconi e ballatoi in Cat. C ₃ C ₄ C ₅	300	450
D	Ambienti ad uso commerciale	200	300

Figura 1 Effetto della temperatura sul modulo di taglio (G) del PVB

Figura 2 e 2a Vetro stratificato sottoposto a prova di impatto da corpo semirigido (prima e dopo la prova). Posto un differenziale di quota di 1,2 m il vetro ha presentato un comportamento coerente con la classe 1B1

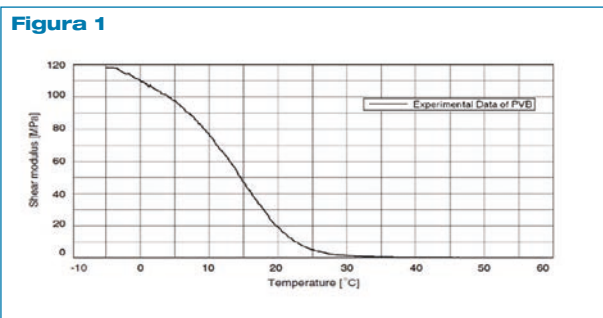


Figura 2

a) la sicurezza per l'utente (si deve impiegare esclusivamente un vetro stratificato di classe 1B1 secondo la EN 12600: 2004 - Vetro per edilizia - Prova del pendolo - Metodo della prova di impatto e classificazione per il vetro piano);

b) l'incolumità di eventuali persone che dovesse trovarsi nelle strette adiacenze del manufatto in caso di rottura accidentale di quest'ultimo.

Quest'ultimo criterio di progettazione, seppure non formalizzato dalla UNI 7697 con il requisito PR, è comunque un implicito requisito progettuale soprattutto nel caso di vetrine ad ampia specchiatura. È necessario garantire che il "sistema vetrina" offra un comportamento, in caso di rottura, tale da evitare che si verifichi un immediato collasso del sandwich "vetro - plastico di stratifica - vetro" alle temperature di progetto.

La UNI 7697:2015 dedica un intero capitolo (cap. 9) alle indicazioni per una corretta progettazione degli elementi vetrati, quindi anche delle vetrine. In esso vengono messe in evidenza le ipotesi da rispettare per realizzare una progettazione affidabile sia per la definizione della tipologia di vetro da utilizzare sia degli

spessori necessari a sopportare i carichi di progetto, al fine di garantire sicurezza e comfort.

Calcoli e verifiche

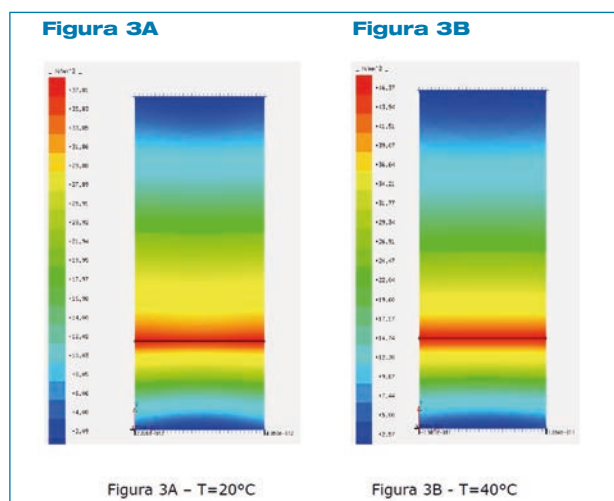
Ipotesi per il calcolo

Le prime scelte progettuali da operare riguardano la tipologia di vincolo (profili continui, fissaggi puntuali...) e l'individuazione dell'ambiente in cui il manufatto deve essere installato.

Sulla base dell'ambiente di installazione verranno determinati:

- I) il valore del **carico statico** lineare da applicare all'altezza di 1,2 m dal piano calpestabile desumendolo dalla tabella 3.1.1 del Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni" (da qui in avanti NTC 2018) della quale si riporta uno stralcio. Se la destinazione d'uso dell'ambiente in cui devono essere installate le vetrine o le pareti vetrate serve a determinare la categoria di riferimento per l'individuazione dei carichi agenti, è necessario valutare anche il contesto globale in cui detti manufatti si verranno a trovare. Ad esempio: la vetrina di un esercizio commerciale dovrebbe appartenere alla classe D (D1 o D2 sono caratterizzati da un carico lineare caratteristico di 200 kgf/m), ma se questa vetrina si affaccia su un ambiente privo di ostacoli al movimento delle persone soggetto a potenziale affollamento come una piazza, allora la classe di appartenenza della vetrina potrebbe essere ragionevolmente la C5, caratterizzata da un carico lineare caratteristico di 300 Kgf/m.
 - II) il carico distribuito da applicare all'intera specchiatura è basato sul carico impulsivo e medio del **vento**. Questi valori vanno determinati secondo quanto riportato nella UNI 11463:2016 Vetro per edilizia - Determinazione della capacità portante di lastre di vetro piano applicate come elementi aventi funzione di tamponamento - Procedura di calcolo. Un ulteriore documento di comprovata affidabilità è il DT CNR 207:2008 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.
 - III) la temperatura massima che il sistema può raggiungere una volta installato;
 - IV) il plastico di stratifica, la cui scelta deve essere funzione del suo comportamento alla temperatura di impiego e alla presenza di umidità.
- È importante mettere in evidenza che il "sistema vetri-

Figura 3A
T=20°C; **Figura 3B**
T=40°C
Andamento degli sforzi stimati nella lastra più sollecitata come conseguenza dell'effetto del carico antropico, al variare della temperatura, in due simulazioni identiche per composizione stratigrafica, carico e sistema di vincolo



na" (vetro stratificato, profilo di metallo, relativo ferma-vetro e gomme di interfaccia) coinvolge una molteplicità di materiali molto differenti tra loro chiamati, nelle loro enormi differenze, ad interagire efficacemente:

- a) alluminio o acciaio:
cristallino - elastico lineare - duttile - invariante con la temperatura;
- b) vetro:
amorfo - elastico lineare - fragile - invariante con la temperatura;
- c) polimeri di stratifica:
amorfi - viscoelastici - duttili - fortemente sensibili alla temperatura.

Effetto della temperatura

Se il comportamento di vetro e di alluminio (o acciaio) può ritenersi insensibile alle temperature di impiego, non può essere sottaciuta la stretta correlazione del comportamento del vetro stratificato (un sandwich vetro - plastico - vetro) con la temperatura. In tal senso la prEN 16612:2017 fornisce interessanti soglie di temperatura di riferimento. Si riporta di seguito, a titolo di esempio, la capacità di fare collaborare i vetri di stratifica del PVB (polivinilbutirale) al variare della temperatura (Modulo di taglio - G [MPa] in funzione della Temperatura [°C]). Dal grafico (Figura 1) si deduce facilmente come, passando da +5°C a +40°C (temperature tutt'altro che eccezionali per una vetrina), il valore del Modulo di taglio (G) del PVB passa da 100 MPa a 0,02 MPa, ovvero si riduce di circa 10.000 volte. Queste informazioni consentono

di spiegare la contemporanea perdita di rigidità e di resistenza del vetro stratificato a causa del fatto che le lastre di vetro collaborano sempre meno al crescere della temperatura.

Al fine di consentire una migliore comprensione degli effetti della temperatura si riportano due immagini relative al comportamento stimato di una vetrina vincolata su due lati (al piede ed in sommità) in maniera effettivamente continua a differenti temperature. È evidente che, a parità di tutte le altre condizioni (stratifica, vincolo e carico applicato), passando da +20°C a +40°C il comportamento dello stratificato cambia in maniera considerevole e le sollecitazioni nelle singole lastre di vetro aumentano sensibilmente, in ragione della perdita di rigidità del plastico di stratifica.

Per quanto concerne la validazione di un tamponamento vetrato, premessa la classificazione in classe 1B1 (vedere prospetto 1 e prospetto 2 della UNI 7697:2015), due sono gli aspetti da valutare (Figura 2 e 2A):

- 1) la resistenza (parametro connesso alla sicurezza) da valutare allo Stato Limite Ultimo (SLU);
- 2) la deflessione (parametro connesso alla performance) da valutare allo Stato Limite di Esercizio (SLE) (figura 3A e 3B).

Verifiche

Il progetto che deve precedere la realizzazione e l'installazione di una vetrina deve essere condotto alla luce di documenti tecnici indicati dalle NTC 2018, che al capitolo XII elenca i Documenti di Comprovata Affidabilità che possono essere impiegati, nel nostro caso, per la progettazione del vetro portante. Fra questi vengono annoverati:

- i) i documenti tecnici pubblicati dal Consiglio Nazionale delle Ricerche come il DT CNR210:2013: Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di costruzioni con elementi strutturali di vetro;
- ii) le norme tecniche UNI come la UNI 11463:2016 Vetro per edilizia - Determinazione della capacità portante di lastre di vetro piano applicate come elementi aventi funzione di tamponamento - Procedura di calcolo.

Si ricorre al DT CNR210 quando i vetri servono a preservare dal rischio di caduta nel vuoto (Classe di Conseguenza 1: C.C. 1).

Si ricorre alla UNI 11463 se ci si trova in classe di conseguenza 0 (C.C.0).

Figura 4_

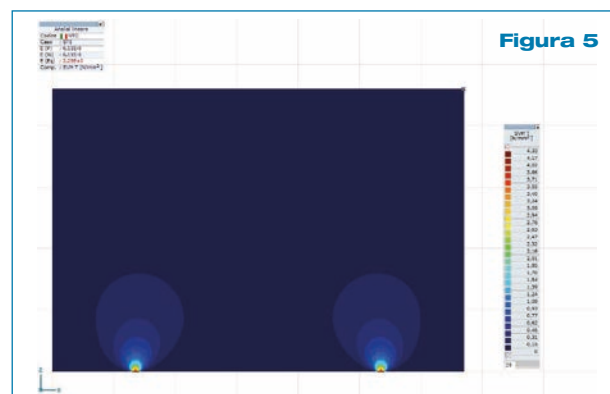
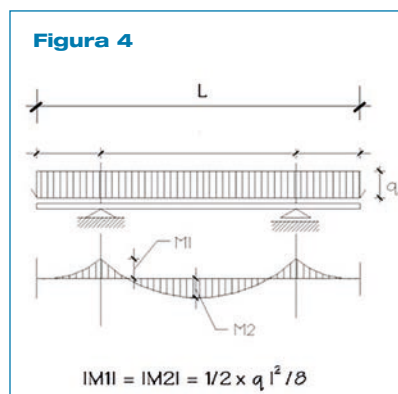
Andamento ottimale del momento flettente indotto nella vetrina nell'ipotesi di appoggi opportunamente posizionati



Figura 6_ Vetro stratificato tagliato e sfrangiature di bordo

Figura 5_

Andamento degli sforzi indotti nella vetrina in corrispondenza di appoggi opportunamente posizionati



Entrambi i documenti permettono di determinare, con procedimenti simili ma non uguali, il valore di progetto della resistenza del vetro in funzione dei molti parametri fisici che ne determinano il comportamento reale:

- 1) tipo di vincolo;
- 2) temperatura;
- 3) tempo di carico;
- 4) grado di finitura del bordo;
- 5) misure della lastra;
- 6) misure dei lati liberi;
- 7) rischio connesso al luogo di applicazione...

La resistenza del vetro e successivamente dello stratificato viene parametrizzata con coefficienti di sicurezza che devono poi essere, a loro volta, adeguati dell'effettiva natura del sistema di vincolo.

In prima battuta la resistenza del vetro desunta dal calcolo può apparire ridondante o, peggio ancora, penalizzante rispetto alle prime evidenze sperimentali, ma è fuori dubbio che la significatività di una prova "una tantum" non ha rilevanza statistica mentre la cautela del calcolo garantisce implicitamente il livello di sicurezza atteso e preteso.

Il tipo di vincolo che normalmente viene adottato per sostenere i **carichi orizzontali** di vetrine e pareti vetrate può essere, nella maggior parte dei casi, ritenuto effettivamente continuo. L'appoggio del vetro sul fianco dei serramenti è effettivamente continuo e mediato da opportuna guarnizione.

Per sostenere i **carichi verticali** (peso proprio ed eventuali carichi permanenti portati) i punti di scarico sono sempre due per evitare reazioni iperstatiche. Per garantire la stabilità delle vetrine e delle pareti vetrate di fondamentale importanza, soprattutto su vetrate di

grandi dimensioni, risultano essere:

- 1) la posizione degli appoggi del vetro;
- 2) la tipologia degli appoggi del vetro;
- 3) il grado di finitura superficiale dei bordi in appoggio.

La posizione degli appoggi deve essere determinata in via analitica in modo da ridurre al minimo le sollecitazioni indotte sul vetro, in corrispondenza degli appoggi stessi, dai carichi flessionali. Questo aspetto è di particolare importanza sulle vetrine di lunghezza particolarmente ampia (Figura 4).

Per vetrine di grande peso, la durezza del tipo di appoggio e la sua composizione richiedono un'attenta definizione per evitare fenomeni di intensificazione degli sforzi e innesco di fratture/rotture a taglio (Figura 5).

Per minimizzare il rischio di innesco delle cricche in corrispondenza dei punti di appoggio è necessario molare (almeno il bordo di appoggio) il perimetro delle lastre, meglio se la molatura è a filo lucido (m.f.l. secondo *UNI 11649:2016 - Vetro per edilizia - Lavorazioni del bordo delle lastre in vetro piano - Termini e definizioni*).

I bordi sfilettati sono fortemente sconsigliati. Il grado di finitura superficiale ha una ricaduta di grande rilievo nella resistenza del vetro e la richiesta della molatura del vetro non è un mero capriccio estetico, soprattutto sul bordo di appoggio; la molatura dei bordi consente di regolarizzare la difettosità intrinseca dei bordi tagliati riducendo sensibilmente la profondità delle microcricche indotte dall'operazione di "taglio del vetro".

Ricordiamo a tale proposito che il vetro non viene effettivamente tagliato, ma viene inciso e aperto: da qui le sfrangiature e le cricche da taglio che indeboliscono enormemente la resistenza del vetro.

La sfilettatura non rimuove questi difetti di bordo e di con-

Figura 7 Esempio di pareti vetrate senza serramento (Castello di Carmagnola, Clusane - BS).

Vetrostrutturale Srl

Figura 8 Esempio di vetrine stratificate in vetro ricotto, antisfondamento con trattamento antiriflesso (Gioielleria Jahan, Ginevra).
Vetrostrutturale Srl



sequenza il vetro rimane sensibile alle sollecitazioni, anche alle più modeste quali quelle dovute al peso proprio o le sollecitazioni termiche dovute a differenziali di temperatura (Figura 6).

Un aspetto fondamentale che troppo spesso viene trascurato (spesso colpevolmente) è il rischio di stress termico cui possono essere soggette le vetrine.

Il riscaldamento differenziale del vetro, dovuto ad esempio a:

- ombre parziali;
- vetrofanie troppo assorbenti (dell'irraggiamento solare);
- surriscaldamento dovuto ad assenza di ventilazione (tendaggi o arredi posti in adiacenza al vetro tali da impedire la circolazione naturale dell'aria);
- flussi di aria fredda (climatizzazione forzata) orientati sul vetro;
- eccetera

induce una dilatazione differenziale delle zone del vetro diversamente riscaldate, al punto da generare uno stress tra le regioni più calde e le regioni più fredde in grado di indurre, a partire dal bordo (il distretto più debole del vetro a partire da vetri da 5 millimetri di spessore), l'insorgenza di rotture.

Per ovviare al problema si può ricorrere all'impiego di vetro trattato termicamente (temprato o indurito); tuttavia, tale soluzione potrebbe non essere sempre gradita per la possibile conseguente insorgenza di distorsioni ottiche dovute al processo stesso di tempra o indurimento.

Volendo rimanere nell'ambito del vetro ricotto, per ridurre la possibilità di lesioni per stress termico è necessario operare una molatura a filo lucido sui bordi e rispettare le indicazioni del "Vademecum" di Assovetro "Sollecitazione di natura termica del vetro. Rischio di rottura in finestre e facciate" facilmente reperibile nel web.

Scelta dei materiali

Il modulo in vetro stratificato di sicurezza (in Italia non è ammesso l'impiego di vetro monolitico) deve essere dotato di **marcatura CE**.

Si mette in evidenza che:

- a) il vetro di partenza;
 - b) il vetro trattato termicamente (indurito o temprato ed eventualmente trattato HST);
 - c) il vetro finale stratificato;
- devono obbligatoriamente essere marcati CE, secondo le rispettive norme di prodotto:

- **UNI EN 572-9** Valutazione della conformità/Norma di prodotto;
- **UNI EN 1863-2** Vetro per edilizia indurito termicamente. Valutazione della conformità/Norma di prodotto;
- **UNI EN 12150-2** Vetro per edilizia temprato termicamente. Valutazione di conformità/Norma di prodotto;
- **UNI EN 14179-2** Vetro per edilizia - Vetro di sicurezza di silicato sodio calcico temprato termicamente e sottoposto a "heat soak test" - Parte 2: Valutazione della conformità/Norma di prodotto;
- **UNI EN 14449** Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza. Valutazione della conformità/Norma di prodotto.

Il vetro

L'impiego di vetro ricotto per la realizzazione di vetrine è comunemente preso in considerazione.

Per il suo utilizzo non vanno tuttavia dimenticate le seguenti considerazioni:

- la resistenza del vetro ricotto è sensibilmente inferiore a quella dei vetri induriti o temprati;
- in caso di vincolo solo su due o tre lati il valore di resistenza

Figura 9 _Esempio di vetrine di sicurezza in vetro temprato stratificato senza trattamento antiriflesso (Facoltà di Giurisprudenza, Brescia).
Vetrostrutturale Srl



Il limite del vetro ricotto secondo la Norma UNI 11463:2016 viene ridotto del 20% rispetto alla situazione di vincolo continuo su 4 lati.

La scelta dell'eventuale tipo di trattamento termico, operata dal progettista strutturista, viene dettata dalla diversa risorsa di resistenza del vetro e dalla diversa modalità di rottura dello stesso.

La risorsa di "post rottura" non viene espressamente richiesta dalla Norma UNI 7697:2015, ma risulta essere un indubbio valore aggiunto se non una necessità progettuale per la sicurezza.

A tale proposito si ritiene che l'impiego di un vetro stratificato con due vetri induriti rappresenti una scelta in grado di fornire garanzia di sicurezza non solo per l'utente, ma anche per l'esercente, stante la ben nota risorsa post rottura che uno stratificato indurito è in grado di garantire.

Il plastico di stratifica

Per quanto riguarda l'intercalare di stratifica esso deve essere qualificato e, in caso di accoppiamento di due vetri temprati, è auspicabile un intercalare appartenente alla famiglia 2 secondo la prEN 16613: 2016 che resti tale alla temperatura di impiego, soprattutto quando si tratta di lastre di grandi dimensioni e vincolate solo su due lati.

Prestazioni aggiuntive

A completamento della presente trattazione si specifica che per vetrine con esigenze prestazionali aggiuntive anti-effrazione o antiproiettile si deve fare riferimento al prospetto 2 della Norma UNI 7697:2015.

Responsabilità

Anche per la realizzazione delle vetrine le responsabilità ricadono su chi ha operato le scelte progettuali sopra descritte. Fondamentale è la definizione, sin dall'inizio, di tutte le richie-

ste della committenza in modo tale che il progetto nasca integrato, nelle sue specificità, sin dall'inizio.

Chi ha deciso la soluzione di vincolo da utilizzare?

Chi ha determinato la stratifica?

Chi ha definito le tipologie di tasselli da adottare?

Ognuno di questi elementi progettuali deve essere deciso e sottoscritto da un professionista abilitato.

Fermo restando che chi installa deve seguire le indicazioni del progetto, la firma del professionista in calce al progetto trasferisce a quest'ultimo, di conseguenza, l'insieme delle responsabilità progettuali. Qualora mancasse il progetto o il progetto non fosse sottoscritto dal professionista abilitato, la responsabilità ricade automaticamente su chi ha deciso ed installato.

Conclusioni

In questo scritto ci siamo occupati di vetrine e pareti vetrinate in vetro stratificato (per quanto riguarda le attenzioni progettuali relative a vetrine realizzate con vetrocamere, queste saranno oggetto di un prossimo articolo) e, in sintesi, le principali informazioni messe in evidenza sono le seguenti:

- 1) le vetrine devono essere dimensionate nel loro insieme in quanto "sistema" e i principali documenti di riferimento sono:
NTC 2018, UNI 7697:2015, CNR DT210:2013, UNI 11678:2017;
- 2) i criteri di progettazione di una vetrina non sono solo meccanici, ma anche funzionali ed estetici ed esigono contestuali valutazioni dei fenomeni di distorsioni ottiche e di stress termico;
- 3) le vetrine possono richiedere valutazioni per necessità prestazionali aggiuntive, non secondarie, quali: presenza di trattamento antiriflesso, isolamento acustico, sicurezza all'effrazione, proprietà balistiche eccetera di cui il progettista deve tenere conto perché il soddisfacimento di ciascuna esigenza può comportare una completa rivisitazione e rivalutazione delle soluzioni tecniche da effettuate;
- 4) la resistenza del vetro ricotto (non trattato termicamente) è fortemente influenzata dal grado di molatura e dalla presenza di graffi superficiali e di bordo. Il valore di resistenza del vetro, se la vetrina presenta un lato libero, viene abbattuto del 20% (rif. UNI 11678:2017);
- 5) la responsabilità dell'installazione ricade, ancora una volta, su chi compie le scelte progettuali. ■