

Progettare un parapetto in vetro

I parapetti in vetro rappresentano elementi architettonici di indubbio impatto visivo e sempre più spesso vengono scelti dai progettisti per realizzazioni moderne ed eleganti in diversi ambiti di applicazione: residenziale, pubblico, restauro e riqualificazione

di Ing. Michel Palumbo, progettista di strutture in vetro

Non bisogna dimenticare che il ruolo dei parapetti in vetro non è solo quello estetico, ma gli stessi si configurano in tutto e per tutto come presidi di sicurezza contro il rischio di caduta nel vuoto e come tali devono essere trattati. I parapetti, dunque, richiedono un'attenta progettazione che tenga conto di tutte le criticità cui, per la loro funzione, possono essere soggetti in caso di necessità.

La progettazione di un parapetto 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 un parapetto in vetro devono soddisfare le richieste riportate nel prospetto 1, punto 5, alla voce Parapetti e balaustre in vetro 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 la sicurezza per l'utente (si deve impiegare 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) e l'incolumità di eventuali persone che dovessero trovarsi al di sotto del manufatto in caso di rottura accidentale di quest'ultimo (si deve garantire che il "sistema parapetto" offra un comportamento post rottura tale da assicurare che non si verifichi un immediato collasso del sandwich "vetro - plastico di stratifica - vetro" alle temperature di progetto). La norma stessa dedica poi un intero capitolo (Cap. 9) alle indicazioni per una corretta progettazione degli elementi vetrati, quindi anche dei parapetti in vetro. 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 al bordo superiore desumendolo dalla Tabella 3.1.11 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;
- II) il valore del carico dinamico da applicare (a simulare l'urto dovuto all'impatto di una persona), secondo le indicazioni delle Norme UNI EN 12600:2004: Vetro per edilizia - Prova del pendolo - Metodo della prova di impatto e classificazione per il vetro piano e UNI 11678:2017: Vetro per edilizia - Elementi di tamponamento in vetro aventi funzione anticaduta - Resistenza al carico statico lineare ed al carico dinamico - Metodi di prova.

Si ricorda che tanto il carico statico (spinta) quanto quello dinamico (impatto) rivestono pari importanza nella valutazione della sicurezza e quindi entrambi gli ambiti di progettazione devono necessariamente essere verificati.

Non è possibile proporre sul mercato un parapetto che non verifichi le condizioni di progetto statiche e contemporaneamente le condizioni di progetto dinamiche;

- III) la temperatura massima che il sistema può raggiungere una volta installato;
- IV) il plastico di stratifica, la cui scelta dev'essere funzione del suo comportamento alla temperatura di impiego e alla presenza di umidità.

È importante mettere in evidenza che il "sistema parapetto" in vetro coinvolge una molteplicità di materiali molto differenti tra loro chiamati, nelle loro enormi differenze, ad interagire efficacemente:

- a) alluminio o acciaio: cristallino - elastico lineare - dut-

Tabella 3.1.11 NTC 2018

Cat.	Descrizione	II, Valore del carico lineare	I, S _{Ed} , Valore del carico lineare per le prove e le verifiche
		kg/m	kg/m
A/B/C ₁	Ambienti ad uso residenziale (UMI). Aree con tavoli, quali: scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento. Scale comuni, balconi e ballatoi in Cat. A, B, C ₁	100	150
C ₂	Aree con posti a sedere fissi, quali: chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e aule, sale universitarie e aule magna. Scale comuni, balconi e ballatoi in Cat. C ₂	200	300
C ₃ /C ₄	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. Sale da ballo, palestre, palestre. 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	700	300

Estratto della Tabella 3.1.11 NTC 2018 relativo ai carichi orizzontali da prevedere in fase di progettazione per parapetti

Cantiere del negozio Sephora

Corso Vittorio Emanuele II, 24-28.
General Contractor: Sosete, Società di Servizi Tecnici.
Realizzazione: Vetreria F.lli Galbusera Snc di Galbusera S. & C.



- tile - 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 del vetro e dell'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 1 si deduce facilmente come, passando da +5°C a +40°C (temperature tutt'altro che eccezionali per un parapetto applicato in esterno), il valore del modulo di taglio del PVB passa da 100 MPa a 0,02 MPa, ovve-

ro si riduce di circa 10.000 volte. Questo a significare un abbattimento sensibile della resistenza teorica del vetro stratificato stante il 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 (A e B) relative al comportamento stimato di un parapetto vincolato al piede 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 ma-

Figura A - T = 20°C

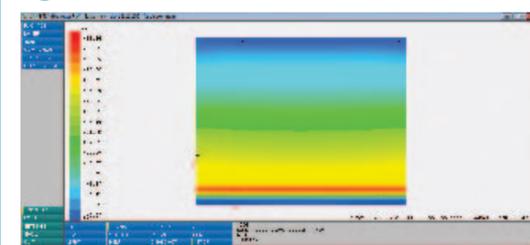
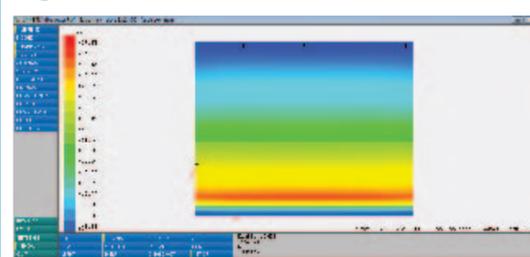
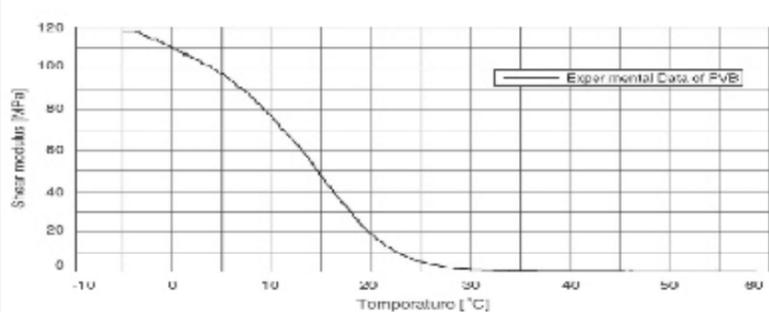


Figura B - T = 40°C



Andamento degli sforzi stimati nella lastra più sollecitata al variare della temperatura in due simulazioni identiche per composizione stratigrafica, carico e sistema di vincolo. Figura A - T = 20°C, Figura B - T = 40°C

Grafico 1



niera considerevole e le sollecitazioni nelle singole lastre di vetro aumentano sensibilmente, in ragione della perdita di rigidità del plastico di stratifica.

Verifiche

Il progetto che deve precedere la realizzazione e l'installazione di un parapetto in vetro deve essere condotto alla luce di documenti tecnici indicati dalle NTC 2018 che al capitolo XI elencano i Documenti di comprovata affidabilità che possono essere impiegati, nel nostro caso, per la progettazione del vetro portante.

Fra questi vengono annoverati i documenti tecnici pubblicati dal Consiglio Nazionale delle Ricerche come il DT CNR 210:2013: "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di costruzioni con elementi strutturali di vetro". In esso, facendo riferimento ai Capitoli 6 e 7, sono riportati i criteri da seguire per una progettazione coerente con la natura specifica del vetro.

Il valore di progetto della resistenza del vetro viene definito in funzione dei molti parametri presenti:

- 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...

Esso viene parametrizzato con coefficienti di sicurezza che devono poi essere, a loro volta, adeguati all'effettiva natura del sistema di vincolo.

Gli stessi possono in prima battuta apparire ridondanti o peggio ancora penalizzanti rispetto alle prime evidenze sperimentali, ma è fuori dubbio che rispetto ad una prova "una tantum", la cautela del calcolo garantisce implicitamente il livello di sicurezza atteso e preteso.

Il tipo di vincolo che si è scelto di utilizzare influenza in maniera sensibile il grado di sollecitazione locale del vetro e questo è ben rappresentato dalle Figure a, b e c). È da tenere presente che i vincoli apparentemente lineari non sempre risultano essere effettivamente tali (dal punto di vista statico).

L'ipotesi di calcolo di una lastra semplicemente incastrata al piede non è rappresentativa della realtà, giacché il vetro stratificato necessariamente interagisce con i vincoli appoggiandosi in due regioni (come evidenziato dalle Figure

Figura a

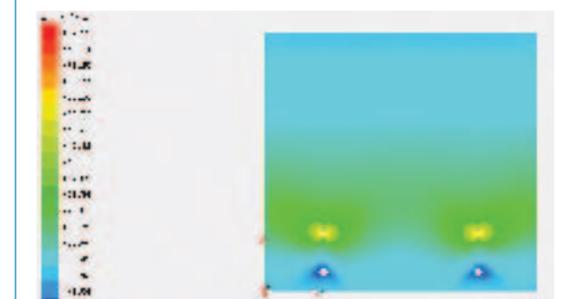


Figura b

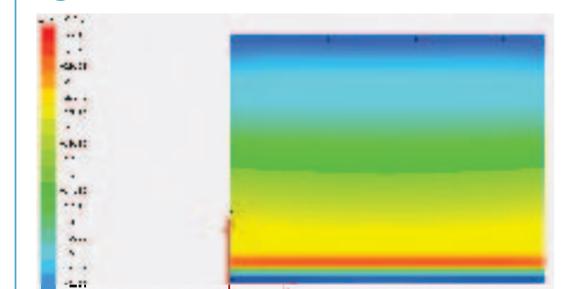
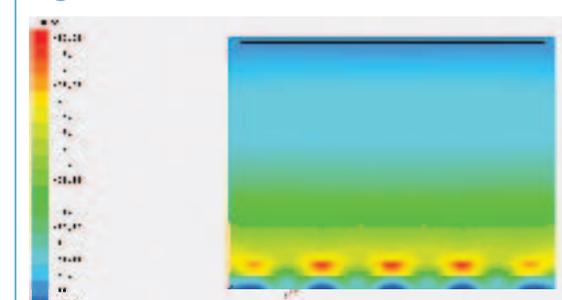


Figura c



A parità di carico agente (secondo Tab. 3.1. Il NTC 2018) si può notare che la presenza di attacchi puntuali induce un'altissima sollecitazione del vetro (a) rispetto all'ipotesi di un vincolo effettivamente continuo (b). La soluzione con blocchi di serraggio si pone in una condizione di sovrassollecitazione del vetro intermedia (c) alle soluzioni precedenti

a, b, c) e non si comporta come si comporterebbe una lamiera di acciaio saldata con continuità alla base. Per questo motivo non è possibile dimensionare un parapetto con semplici calcoli, ma servono simulazioni che rendano il "sistema parapetto" da dimensionare più aderente alla realtà.

Scelta dei materiali

Il modulo in vetro stratificato di sicurezza (in Italia non è ammesso l'impiego di vetro monolitico) dev'essere do-

tato di marcatura CE.

Si mette in evidenza che:

- a) il vetro di partenza;
 - b) il vetro trattato termicamente (indurito o temprato e 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 temperato 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.

Per quanto riguarda l'intercalare di stratifica per parapetti esso deve essere qualificato e, in caso di accoppiamento di due vetri temprati, è necessario un intercalare appartenente alla famiglia 2 della prEN 16613: 2016.

La scelta del 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. Non si ritiene che l'impiego di vetro ricotto possa essere adatto all'applicazione nei parapetti per i seguenti motivi:

- la resistenza del vetro ricotto è sensibilmente inferiore a quella dei vetri induriti o temprati;
- stante la ridotta resistenza del vetro gli spessori del multistrato da impiegare risultano essere elevati ma, come indicato nel CNR DT 210, aumentare lo spessore non costituisce ridondanza. Per garantire ridondanza è necessario aumentare il numero di lastre di vetro impiegato;
- la nostra diffidenza nasce dalla constatazione che la resistenza del vetro ricotto è altamente sensibile alla presenza di graffi o difetti superficiali. Ogni vetraio sa che il vetro non viene tagliato, ma "inciso e aperto" ad indicare quanto la resistenza del vetro ricotto sia sensibile ai graffi e ai difetti superficiali. Ne consegue una forte criticità dovuta alla sensibilità del difetto di bordo: basta un piccolo graffio sul vetro (che può avvenire facilmente anche in fase di posa



o anche durante la vita del manufatto) per provocare certamente un innesco di lesione sotto carico e arrivare a indurre un collasso molto pericoloso per il concreto rischio di taglio e lacerazione del plastico di stratifica.

Valore delle prove sperimentali

Uno dei motivi per i quali non è possibile intendere esauritivo il risultato di una prova sperimentale risiede nel fatto che il vetro è un materiale fragile e quindi fortemente influenzato dal grado di finitura dei bordi. Infatti, se per potere caratterizzare un manufatto in acciaio sono sufficienti poche prove sperimentali, per potere caratterizzare in maniera affidabile un sistema basato su vetro soggetto a carichi è necessaria una significatività statistica molto elevata. Poche prove sperimentali non sono in grado di descrivere in maniera esaustiva, dal punto di vista statistico, il comportamento di un vetro stratificato al quale è demandato un ruolo così importante come quello di garantire la sicurezza. A conferma di quanto detto la Norma UNI 11678:2017: Vetro per edilizia - Ele-

Responsabilità e coinvolgimento dei vari attori nella realizzazione di parapetti vetrati

Attività / Fase / Processo	Completate	Progettista Architettonico	Progettista Strutturista	Collaudatore (C.I.L.)	Collaboratore	Economico / Impresa appaltatrice	Fornitore / Sistema di sicurezza	Installatore del vetro	Responsabile del "Sistema Parapetto"
Progettista Preliminare architettonico	x	x							
Dimensionamento del "sistema parapetto" e redazione di calcolo			x						
Progettista Esecutivo		x	x						
Assai allegri consentiti si coinvolgono nel progettista architettonico per approvazione			x						
Approvazione del progetto	x								
Fornitura campionata al vero per prove di carico (se richiesta)			x	x					
Fornitura viti e ancoraggi							x		
Fornitura modelli in vetro stratificato di sicurezza								x	
Pesi in opera del "sistema parapetto"									x
Accettazione materiali	x			x	x	x			
Controllo cantieri				x	x	x			
Collaudo	x			x	x				

CONCLUSIONI

In conclusione si può asserire che:

- 1) i parapetti in vetro, essendo presidi di sicurezza, devono essere dimensionati nel loro insieme in quanto "sistema parapetto" e i principali documenti di riferimento sono: NTC 2018, UNI 7697:2015, CNR DT210:2013, UNI 11678:2017;
- 2) le prove sperimentali possono essere un valido ausilio per il progettista, ma non rappresentano "(...) una valuta-

- zione di idoneità all'uso né un certificato di conformità del prodotto" come riportato dalla UNI 11678:2017;
- 3) la resistenza del vetro ricotto (non trattato termicamente) è fortemente influenzata dal grado di molatura e dalla presenza di graffi superficiali e di bordo. Non si ritiene che l'utilizzo di semplice vetro ricotto sia congeniale alla funzionalità ed alla sicurezza richieste a un parapetto in vetro la cui vita utile di progetto è di molti anni;
- 4) la responsabilità dell'installazione ricade su chi compie le scelte progettuali.

menti di tamponamento in vetro aventi funzione anti-caduta - Resistenza al carico statico lineare ed al carico dinamico - Metodi di prova, documento di riferimento steso nel 2017 per uniformare le modalità e le regole di prova dei parapetti in vetro, richiede esplicitamente che il report di prova riporti la seguente dicitura: "Questo rapporto di prova non rappresenta una valutazione di idoneità all'uso né un certificato di conformità del prodotto. I risultati ottenuti si riferiscono unicamente al/ ai campione/i sottoposto/i a prova e descrivono il comportamento del prodotto nelle specifiche condizioni di prova". Questa affermazione si pone a ulteriore conferma del fatto che il risultato di una prova sperimentale può essere inteso come conferma di una progettazione fatta, ma di certo non generalizzabile in termini di rappresentatività quanto una progettazione completa.

Responsabilità

È palese che le responsabilità ricadono su chi ha operato le scelte progettuali sopra descritte. 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 le responsabilità progettuali. Qualora mancasse il progetto o il progetto non fosse sottoscritto dal professionista abilitato, la responsabilità ricade automaticamente su chi ha deciso e installato. ■