

Prove di qualificazione di vetri per uso strutturale

Ennio Mognato¹, Alessandra Barbieri, Matteo Schiavonato

Stazione Sperimentale del Vetro S.c.p.A.

INTRODUZIONE

Il vetro con funzione strutturale è già ampiamente usato nelle costruzioni, soprattutto nell'architettura moderna. In Europa non è stato ancora formulato un Eurocodice che specifichi le procedure di calcolo per tali applicazioni; è al lavoro un comitato normativo - CEN 250 - che se ne sta occupando.

In Italia è in fase di finalizzazione l'inchiesta pubblica un documento tecnico da parte del CNR DT 210/2012 "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Costruzioni con Elementi Strutturali di Vetro" che potrebbe essere assunto a documento di riferimento in materia secondo quanto indicato nel D.M. Infrastrutture 14/01/2008 (NTC 2008): Nuove norme tecniche per le costruzioni e la Circolare Infrastrutture 02/02/2009. Infatti nelle NTC 2008 nel Cap. 12 *Riferimenti tecnici*: "... Inoltre, in mancanza di specifiche indicazioni, a integrazione delle presenti norme e per quanto con esse non in contrasto, possono essere utilizzati i documenti di seguito indicati che costituiscono riferimenti di comprovata validità:

- Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida del Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e successive modificazioni del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, come licenziate dal consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e ss. mm. ii.;
- Istruzioni e documenti tecnici del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.). "

Vale anche la pena ricordare quanto riportato sempre nelle NTC 2008 al Cap. 4, par. 4.6 *Costruzioni di altri materiali*: "I materiali non tradizionali o non trattati nelle presenti norme tecniche potranno essere utilizzati per la realizzazione di elementi strutturali od opere, previa autorizzazione del Servizio Tecnico Centrale su parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, autorizzazione che riguarderà l'utilizzo del materiale nelle specifiche tipologie strutturali proposte sulla base di procedure definite dal Servizio Tecnico Centrale. Si intende qui riferirsi a materiali quali ... vetro strutturale...".

Che il vetro sia un materiale "non tradizionale" è certamente inteso solo riferito a tale specifico uso, perchè dai fenici in poi di vetro se n'è visto abbastanza...

Alla stesura del documento CNR DT 210/2012 hanno lavorato anche tecnici della SSV con prove sui materiali e contribuendo alla definizione dei parametri di calcolo, inoltre, in modo particolare, ci si è occupati del capitolo 9 "Procedure di identificazione, qualificazione e accettazione dei materiali", elaborato con il contributo attivo di un gruppo di lavoro ad hoc di ASSO VETRO. Questa nota intende riferirsi ai contenuti di tale capitolo nella convinzione che non si possa mai prescindere da un serio controllo dei materiali senza il quale, in caso di incertezza sugli stessi, qualsiasi ipotesi progettuale può incontrare problematicità o essere vanificata.

Il documento UNI/TR 11463 "Vetro per l'edilizia: determinazione della capacità portante di lastre di vetro piano applicate come elementi aventi funzione di tamponamento - Procedura di calcolo", anch'esso redatto con il concorso di SSV ispirato alla ex prEN 13474, ora prEN 16612, completa il quadro dei riferimenti a disposizione di progettisti ed operatori, fornendo una procedura più semplificata, sebbene sempre

¹ Responsabile Settore Vetro Piano
Membro TC 129 / ISO TC 160
Chairman SG09 / GNB

rigorosa, per il dimensionamento degli elementi in vetro ascrivibili alla classe di conseguenza CC0 in cui rientrano i vetri di normale uso (finestre, porte e le facciate) ma non presente negli Eurocodici.

Le caratteristiche meccaniche e la composizione chimica dei vetri float sono qualificate dalla marcatura CE dei prodotti vetrari. Nel DT 210/2012 vengono proposte delle procedure adatte a certificare la costanza delle caratteristiche del materiale, fermo restando che la marcatura CE deve essere considerata un requisito essenziale. La procedura di qualificazione, tuttavia non riguarda il solo vetro ma interessa tutti i materiali che concorrono a formare l'elemento strutturale: l'intercalare, le guarnizioni ed i materiali per gli incollaggi strutturali. Per i materiali con cui sono realizzati telai e strutture di ancoraggio si ritiene valido quanto contenuto nelle norme specifiche.

Le seguenti tre procedure consentono di definire un materiale o un prodotto idonei all'applicazione strutturale:

1. identificazione: univocamente a cura del produttore;
2. qualificazione: sotto la responsabilità del produttore;
3. accettazione: effettuata dal direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali.

Al fine di attribuire al vetro l'idoneità all'uso quale materiale "strutturale", si prevedono diversi gradi di controllo in funzione del tipo di applicazione, distinguendoli in due categorie:

- Controlli di Tipo A, per tutti i prodotti destinati alle strutture di prima classe (classe di conseguenze CC1).
- Controlli di Tipo B, per quelli destinati alle strutture di seconda e terza classe (classi di conseguenza CC2 e CC3).

L'indicazione della classe è demandata al progettista, in accordo con il Direttore dei Lavori.

Occorre precisare quando un sistema di vetro sia strutturale. Se da un lato una trave, una colonna, una pinna, una scala o un solaio/copertura possono essere ascritti alla categoria degli elementi strutturali con ragione, l'attribuzione di questa prestazione non è adeguata per elementi di facciata e controversa in funzione del sistema di vincolo per i parapetti.

PRINCIPI E REQUISITI DELLA QUALIFICAZIONE

Le prove di qualificazione del vetro strutturale si basano su dei **principi formatori**, di seguito elencati:

1. Il valore numerico di un qualsiasi parametro meccanico ha senso solo se corredato del frattile probabilistico associato nonché della procedura statistica con cui è stato determinato; la qualificazione del vetro strutturale non può trascurare l'aspetto probabilistico.
2. La resistenza meccanica del vetro è correlata allo stato della superficie, determinato dalle varie fasi di trasformazione da materiale base da grande lastra a prodotto finito, e pertanto essa deve essere valutata nelle condizioni più prossime a quelle del prodotto finale.
3. La Marcatura CE dei materiali e componenti, prevista dal CPR 305/11, è un requisito di base.
4. Materiali e componenti innovativi o alternativi, non disciplinati da una normativa armonizzata ai sensi del CPR 305/11, possono essere utilizzati solo se il produttore perviene alla Marcatura CE in conformità ai Benestare Tecnici Europei (ETA), ove disponibili, ovvero se in possesso di Certificato di Idoneità Tecnica all'impiego rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.
5. A seconda delle classi di conseguenza, controlli del ciclo produttivo e prove sui prodotti, comunque sempre relazionati alle Norme Europee armonizzate, vengono notevolmente intensificati.

Da questi quattro principi si sono elaborati i **requisiti generali** che sottendono i controlli specifici per ogni tipo di prodotto, di seguito riportati:

1. La produzione dei materiali di base (vetro e intercalare) e dei prodotti trasformati deve essere verificata da un sistema permanente di controllo che assicuri il mantenimento della conformità del prodotto finito.
 - a. Il Produttore del vetro di base deve implementare un sistema di certificazione del processo con controllo esterno e controllare permanentemente i parametri meccanici del prodotto.
 - b. I produttori di vetro trasformato devono implementare un sistema di certificazione del processo a livello 1:
 - per prodotti di CC1 controllo annuale;
 - per prodotti di CC2 e CC3 controllo per singolo progetto.
2. I materiali trasformati prodotti serialmente in stabilimento devono essere qualificati mediante i valori nominali degli enti resistenti come indicato nella tabelle 1 e 2 secondo la classe di conseguenza assegnata.
3. Il produttore/trasformatore deve qualificare il prodotto a seguito del trattamento di rafforzamento impresso, classificandolo sulla base delle prestazioni attese in termini di resistenza meccanica. Le prestazioni devono essere attestate nella specifica "Dichiarazione di Conformità"², in cui si indicano le caratteristiche prestazionali del materiale prima e dopo i trattamenti di rafforzamento, indicando l'incremento di resistenza a trazione per flessione in termini di valore nominale.

Appare evidente che la filiera dalla quale ciascun materiale e ciascun prodotto scaturisce deve essere identificabile e rintracciabile, dalle origini sino all'ultimo trasformatore.

CERTIFICAZIONI DEI PRODOTTI

Soggetti terzi incaricati devono controllare periodicamente le aziende produttrici di vetro di base e trasformato da applicarsi in ambito strutturale, verificando anche le misure dichiarate dal Produttore, le procedure di controllo e le macchine di prova utilizzate.

La procedura di qualificazione pone tra gli attori principali del processo di qualificazione un organismo terzo, ovvero un organismo indipendente accreditato e notificato per la certificazione di prodotto nel settore vetro per costruzioni e che utilizzi laboratori di prova, ufficiali o accreditati, e notificati. Questo ente è anche soggetto abilitato a compiere controlli in stabilimento, a verificare quanto dichiarato dal produttore; anche con prove sperimentali condotte presso idonei laboratori. La verifica non si limita alle procedure adottate e alla loro conformità con quanto prescritto nelle Norme, ma entra anche nel merito delle grandezze ingegneristiche (valore caratteristico, frattile, tolleranza) dichiarate e della loro attendibilità. L'attività di controllo viene documentata attraverso un rapporto di audit, parte integrante del "Documento di identificazione del Materiale".

Elemento di novità nella procedura di controllo è rappresentato appunto dal "Documento di Identificazione del materiale" che rappresenta la carta d'identità del prodotto vetrario. In esso deve contenere delle specifiche informazioni quali:

- i dati necessari per la valutazione statistica delle proprietà meccaniche e gli esiti delle prove di durabilità e/o proxy tests.
- il nome commerciale, tipo di vetro, eventuale tipo di intercalare, tecnologia di produzione, tipologia di trattamento post-produzione, marchiatura, caratterizzazione geometrica e fisica, tolleranze dimensionali.
- indicazioni sulle condizioni di stoccaggio e su precauzioni d'uso e di sicurezza.

Inoltre, aspetto estremamente importante, esso deve essere sempre allegato al prodotto ed elencare le principali proprietà meccaniche degli elementi strutturali, sempre nel rispetto delle norme di prodotto.

PROCEDURE DI PROVA DEI MATERIALI

² Quanto alla DoP prevista allo CPR può intendersi a ciò soddisfacente

Il DT 210/2012 contiene tutte le indicazioni sulle prove che devono essere condotte per attestare un prodotto in vetro quale elemento strutturale e si rimanda al testo per una descrizione esaustiva.

Occorre rilevare come esse interessino tutti i materiali che costituiscono l'elemento strutturale (vetro, intercalare, adesivo, sigillante e guarnizione), sia per le prove iniziali che per quelle di controllo della produzione. Le procedure si rifanno a quanto prescritto nelle norme vigenti a livello europeo (EN) in funzione del tipo di prodotto vetrario.

Vi è la possibilità, se le norme di prodotto lo ammettono, di eseguire "proxy test". Questi possono essere utilizzati con le modalità previste dalle norme stesse. Quindi se un produttore/trasformatore desidera impiegare un metodo di prova/valutazione diverso, dovrà sotto la sua responsabilità pre disporre una documentazione idonea che le descriva congiuntamente alla correlazione con il metodo raccomandato per garantire che le caratteristiche appropriate.

Un aspetto di rilievo, rispetto alla qualificazione del vetro per applicazioni non strutturali, consiste nella valutazione statistica delle grandezze meccaniche, in particolare della resistenza a flessione del vetro base o trasformato. Le misure effettuate dovranno essere elaborate mediante la statistica di Weibull, coerentemente con le seguenti normative:

- UNI EN 12603: 2004 Vetro per edilizia - Procedure di validità dell'aggiustamento e intervalli di confidenza dei dati di resistenza del vetro per mezzo della legge di Weibull.
- ASTM 1239-06A Standard Practice for Reporting Uniaxial Strength Data and Estimating Weibull Distribution Parameters for Advanced Ceramics.
- ISO 20501: 2003 Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) - Weibull statistics for strength data

Fondamentale è la scelta di incrementare i controlli e le prove previste³ per la marcatura CE sia per il vetro temprato termicamente (Tab. 1) sia per il vetro stratificato (Tab. 2).

Tabella 1. Controlli su vetro temprato termicamente

Controllo	Elementi in Classe 2 e 3	Elementi in Classe 1
Controllo di parte terza FPC	Per singolo progetto	1 volta all'anno
Misura della compressione superficiale secondo UNI-EN 12150 parte 2 (punto B.1.2) sulla produzione corrente durante FPC (per singola tipologia di vetro prodotto)	<p>sul 100% fino a 10 pezzi prodotti</p> <p>su 10 pezzi, da 11 a 20 pezzi prodotti</p> <p>sul 50% oltre i 20 pezzi prodotti</p>	<p>sul 4% del numero di pezzi prodotti</p> <p>con un minimo di 4</p> <p>per singola tipologia di ogni ordine</p>

Tabella 2. Controlli su vetro stratificato

Controllo	Elementi in classe 2 e 3	Elementi in classe 1
Controllo di parte terza FPC	Per singolo progetto	1 volta all'anno
Alta temperatura e umidità Prove durante F.P.C per singola tipologia di ogni ordine	<p>n. 1 prova fino a 20 pezzi prodotti</p> <p>n. 2 prove da 21 a 100 pezzi</p>	<p>n. 1 prova fino a 50 pezzi prodotti</p> <p>n. 2 prove oltre i 50 pezzi</p>

³ Occorre ricordare che sono in vigore in Italia, come negli altri paesi europei Marchi Volontari di Qualità (es Marchio UNI) che collocano i licenziatari già a tale livello di controlli.

	prodotti n. 4 prove da 101 a 250 pezzi prodotti n. 8 prove oltre i 250 pezzi	n. 4 prove oltre i 100 pezzi
Prova meccanica durante F.P.C	n. 1 prova ogni ciclo di autoclave	n. 1 prova fino a 50 pezzi prodotti n. 2 prove oltre i 50 pezzi n. 4 prove oltre i 100 pezzi

I materiali diversi dal vetro quali ad esempio gli intercalari ma che sono parte integrante dell'elemento strutturale finale devono essere qualificati dal rispettivo produttore mediante la certificazione delle proprietà fisiche e meccaniche, determinate attraverso prove sperimentali realizzate su campioni rappresentativi, ad intervalli di tempo prefissati nel corso del ciclo produttivo e nel rispetto delle norme di riferimento.

Anche questi prodotti devono essere dotati del "Documento di Identificazione del materiale".

CONTROLLI IN CANTIERE

Nel caso di utilizzo del vetro strutturale i controlli non si limitano alla sola fase produttiva e/o di trasformazione. I materiali ed i componenti devono essere accettati dal Direttore dei Lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di accompagnamento, in particolare del "Documento di identificazione del materiale" che ne attesta le caratteristiche, oppure mediante eventuali prove sperimentali di verifica. La documentazione deve includere le attestazioni di Soggetti terzi incaricati per le applicazioni in CC2 e CC3 relativi al singolo progetto e quelle periodiche per le applicazioni in CC1.

Il Direttore dei Lavori e il Collaudatore accettano il vetro strutturale e le strutture di vetro solo se materiali e prodotti derivano da processi realizzativi noti e individuabili, ciascuno dei quali dotato di un adeguato controllo di qualità certificato. In caso contrario il Direttore dei Lavori e il Collaudatore non devono accettare il prodotto, in mancanza del "Documento di identificazione" vistato da un organismo terzo, è facoltà del Direttore dei lavori procedere ad un controllo diretto del materiale. In questo caso sarà lo stesso Direttore dei Lavori che provvederà a far eseguire le prove sperimentali presso un laboratorio ufficiale o accreditato, notificato per i materiali da costruzione, confrontando statisticamente i valori ottenuti con quelli contenuti nel "Documento di Identificazione del Materiale"⁴. Tuttavia, si evidenzia che il Direttore dei lavori ha comunque la facoltà di eseguire dei controlli sul materiale fornito in cantiere, anche attraverso prove di laboratorio.

Il Committente, il Costruttore, il Direttore dei Lavori, il Collaudatore, i Produttori e i successivi intermediari devono archiviare la documentazione di accompagnamento, garantendone la disponibilità per un numero anni conforme con le disposizioni legislative in materia. Inoltre materiali e componenti devono essere contemplati dal "Piano di Manutenzione".

PROCEDURE DI ACCETTAZIONE

Le procedure di accettazioni sono differenziate a seconda del soggetto a cui vengono riferite.

I **produttori e/o i fornitori** devono garantire che la produzione dei materiali di base e trasformati sia costantemente soggetta a controllo della qualità e che tutte le procedure e le disposizioni adottate siano documentate e siano a disposizione dei soggetti che per competenza ne siano coinvolti.

I prodotti di base e trasformati devono essere qualificati non solo mediante prove iniziali di tipo (ITT) generiche; le stesse ITT devono essere "centrate" per specifico prodotto.

⁴ Tale procedura è comunque di difficile attuazione sul prodotto finito in quanto tale; infatti i test più rappresentativi devono "intercettare" i prodotti nelle diverse fasi di lavorazione.

I produttori devono, inoltre, fornire evidenza delle ulteriori prove e verifiche effettuate per assicurare la rispondenza di ogni lotto di fabbricazione con le specifiche dichiarate.

Sui prodotti deve essere riportata una marchiatura che ne permetta la completa rintracciabilità o essi devono essere accompagnati da etichette o cartellini riportanti tutte le informazioni.

I fornitori di sistemi completi devono fornire, oltre alle caratteristiche meccaniche e fisiche dei singoli componenti, anche le caratteristiche meccaniche del sistema completo, supportati da prove sperimentali effettuate in laboratorio o in situ e documentate da dettagliati rapporti di prova.

Il **progettista** deve indicare chiaramente la qualità e le caratteristiche dei costituenti il sistema vetrato specificandone, dove necessario, i requisiti per l'accettazione, comprese le classi di conseguenza.

Nel caso di sistemi completi (vetri + sistemi di connessione), egli deve prescrivere, oltre alle caratteristiche meccaniche e fisiche dei singoli componenti, anche le caratteristiche meccaniche del sistema completo stesso.

Le **imprese appaltatrici** e gli **applicatori** devono fornire il materiale indicato dal progettista, approvvigionandosi da produttori e/o fornitori che assicurino la qualità dei prodotti; devono verificare che i prodotti siano conformi alle prescrizioni indicate e devono concordare possibili alternative sempre con il progettista e/o con il direttore dei lavori. Hanno inoltre il dovere di verificare che i prodotti siano accompagnati da schede tecniche adeguate, riportanti i valori delle caratteristiche meccaniche e fisiche, ed eventualmente i certificati di prova in laboratorio (Documento di Identificazione del Materiale, Marcatura CE etc.).

Il **Direttore dei Lavori**, che riveste un ruolo decisionale all'accettazione, deve verificare, sia in fase di appalto delle forniture che al momento della consegna, la rispondenza del materiale fornito con le prescrizioni del progettista, la provenienza del materiale fornito, le caratteristiche meccaniche e fisiche dei prodotti, mediante i certificati di prova in accompagnamento della fornitura e la marcatura/etichettatura CE e la presenza del Documento di Identificazione del Materiale.

Inoltre, come già anticipato, egli può richiedere l'esecuzione di ulteriori prove sperimentali per valutare la qualità dei materiali e verificare la corrispondenza dei risultati con i valori forniti dal produttore, in base all'importanza ed all'entità dell'applicazione. Mentre nel caso di applicazioni in CC1, è sua facoltà richiedere prove di accettazione del sistema installato, nel caso di applicazioni in CC2 o CC3, il direttore dei lavori dovrà richiedere una serie di prove ad hoc per il controllo del prodotto finito e della qualità dell'installazione, in relazione alle specificità del progetto.

Gli **Organismi di certificazione, ispezione e i laboratori di prova** devono essere organismi notificati, di provata esperienza nella caratterizzazione del vetro, dei materiali a base polimerica e siliconica, oltre ad essere dotati delle attrezzature di misura e di prova adeguate.

Le prove sperimentali devono essere condotte da tali organismi secondo le procedure indicate nelle norme specifiche per i materiali pertinenti. Al termine delle indagini sperimentali e dei controlli in stabilimento, essi devono emettere dei dettagliati rapporti di prova e di audit.

Il **collaudatore**, oltre ai controlli abituali descritti nella normativa vigente, deve verificare la qualità dei materiali impiegati mediante i certificati di accompagnamento delle forniture, verificando l'accettazione dei materiali da parte del direttore dei lavori ed i risultati delle eventuali prove sperimentali richieste dal Direttore dei Lavori.

Nell'ambito delle procedure di accettazione non bisogna trascurare le modalità di trasporto, stoccaggio, utilizzo e conservazione dei materiali di base e del prodotto finito. Queste fasi sono importanti per garantire che le proprietà dei singoli componenti non risultino alterate, oltre al rispetto delle norme di sicurezza:

- durante la fase di trasporto, i costituenti del sistema vetrato devono essere confezionati e trasportati in modo opportuno, nel rispetto degli eventuali regolamenti applicabili;

- durante la fase di stoccaggio, i costituenti devono essere conservati osservando le raccomandazioni del fornitore e/o del produttore, al fine di preservare le proprietà del sistema vetrato;

Nella filiera del vetro per uso strutturale ogni soggetto ha il suo compito al fine di garantire un prodotto sicuro non solo dal punto di vista dell'utilizzo (ER4 "Sicurezza in uso") ma anche delle prestazioni meccaniche richieste per garantire la sicurezza strutturale dell'elemento nei confronti delle azioni esterne (ER1 "Resistenza meccanica").