

La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro

14. QUALITA' OTTICA E INDICI DI TOLLERABILITA'

Quando si parla di qualità ottiche del vetro usato in edilizia c'è molta confusione su quale siano le norme a cui fare riferimento. In questo capitolo cercheremo di fare chiarezza procedendo dapprima all'individuazione della norma corretta da applicare a seconda dei casi e poi, esaminando brevemente il contenuto di tali norme.

14.1. VETRATE ISOLANTI

Se ci riferiamo ad una vetrata isolante destinata all'impiego in edilizia (sia essa formata da vetro stratificato, da vetri float o da vetri temperati o induriti) il documento a cui fare riferimento è l'UNI TR 11404/2011.

Il documento discrimina tra aspetti visibili che non costituiscono difetto perché derivano dalle caratteristiche fisiche dei materiali ed altri che invece sono da considerarsi come della difettosità, fissando per questi ultimi i limiti ammissibili sulle vetrate.



ATTENZIONE

Il rapporto tecnico UNI TR 11404 del 2011 **NON** si applica:

- Alla valutazione della qualità visiva e di lavorazione dei bordi per i vetri non interamente intelaiati.
- Alle vetrate impiegate in facciate continue.

14.1.1. METODO DI ESAME

La posizione dell'osservatore è ad un metro dalla vetrata (distanza questa che migliora il livello di qualità rispetto a quella prevista dalle norme), osservando dall'interno verso l'esterno, in posizione ortogonale all'elemento esaminato.



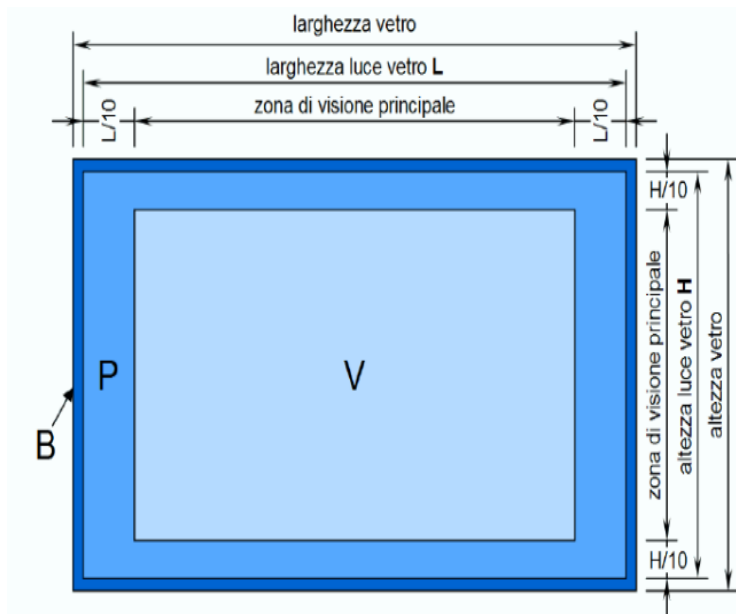
NOTA

L'eventuale presenza di puntini, bollicine, graffi, corpi estranei o sporcizia in generale, non visibile in queste condizioni, non può essere considerata difetto.

La vetrata va inoltre esaminata in trasparenza, osservando quindi lo sfondo e non la superficie. In sede di valutazione non devono essere evidenziate sulla superficie, le porzioni oggetto di contestazione. La valutazione delle difettosità va effettuata in condizioni di luce naturale diffusa (overcast sky) senza irraggiamento diretto e senza la presenza di luce artificiale.

La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro



Anche le vetrate poste all'interno vanno valutate con luce diffusa.

Al fine di valutare il grado di percezione del difetto, la vetrata dovrà essere scomposta, secondo lo schema di figura, in tre "zone":

zona di battuta (B): Larghezza 18mm (ad eccezione di danneggiamenti meccanici di bordi, nessuna restrizione);

zona bordo (P-perimetrale): Superficie 10% dell'altezza e della larghezza del vetro in luce (valutazione meno severa) Nel caso di vetrate con superficie $> 4 \text{ m}^2$, superficie 15% dell'altezza e della lunghezza del vetro in luce;

zona principale (V di visione): valutazione molto severa.

14.1.2. ASPETTI VISIVI TOLLERABILI

Colore intrinseco: Tutti i materiali utilizzati per le vetrate hanno un colore intrinseco che diventa più visibile con l'aumento dello spessore. Le variazioni di colore dovute allo spessore e al colore intrinseco non sono un difetto.

Aspetto dell'intercapedine: L'intercapedine della vetrata isolante non deve presentare impurità oltre i limiti ammessi nel prospetto che segue. Nell'intercapedine inoltre possono essere presenti esigue quantità di sali disidratanti dovute al processo produttivo.

Il distanziatore può essere tagliato e giuntato con angolari o piegato. Nel caso di distanziatore piegato, la curvatura o lo schiacciamento derivanti da lavorazioni meccaniche non sono un difetto, ma una caratteristica migliorativa.

Inoltre su ogni vetrata possono essere presenti fori per l'inserimento del gas e giunzioni che non sono difetti in quanto necessari al processo produttivo.

Sigillatura perimetrale delle vetrate isolanti: Se per motivi di montaggio la sigillatura perimetrale della vetrata isolante in uno o più punti non venisse coperta dal telaio, è possibile che nella zona della sigillatura perimetrale si vedano segni residui dovuti al processo di produzione i quali non costituiscono difetto.

La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro

Zona	Difetti ammissibili per unità	
B	Difetti superficiali sul lato esterno della zona di battuta (comunemente definiti "conchiglie", residui di scaglie) che non pregiudichino la resistenza del vetro e che non si estendano oltre la zona di sigillatura perimetrale	
	Conchiglie sul lato interno della zona di battuta, senza schegge mobili, riempite dal materiale di sigillatura	
	Residui, puntiformi e superficiali e graffi – senza limiti	
P	Inclusioni, bolle, punti, macchie, ecc.	
	Superficie lastra (m²)	Unità ammissibili
	≤ 1	max. 4 unità, di cui non più di 2 unità sullo stesso lato perimetrale, ciascuna ≥ 0,5 mm e ≤ 2 mm
	> 1 e ≤ 2,5	max. 5 unità ciascuna ≥ 0,5 mm e ≤ 2 mm
	> 2,5 e ≤ 4	max. 6 unità ciascuna ≥ 0,5 mm e ≤ 3 mm
	> 4	max 1 unità ogni metro lineare di perimetro
	Residui puntiformi nell'intercapedine di vetrate isolanti	
	Superficie lastra (m²)	Unità ammissibili
	≤ 1	max. 4 unità, di cui non più di 2 unità sullo stesso lato perimetrale, ciascuna ≥ 0,5 mm e ≤ 2 mm
	> 1 e ≤ 2,5	max. 5 unità ciascuna ≥ 0,5 mm e ≤ 2 mm
	> 2,5 e ≤ 4	max. 6 unità ciascuna ≥ 0,5 mm e ≤ 3 mm,
	> 4	max 1 unità ogni metro lineare di perimetro
	Residui superficiali (macchie) nell'intercapedine di colore bianco-grigiastro trasparente	
	Superficie lastra (m²)	Unità ammissibili
	≤ 1	max. 1 unità ≤ 3 cm ²
	> 1 e ≤ 2,5	max. 2 unità ≤ 3 cm ²
	> 2,5 e ≤ 4	max. 3 unità ≤ 3 cm ²

La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro

	> 4	max. 5 unità $\leq 3 \text{ cm}^2$
	Graffi	
	Superficie lastra (m²)	Unità ammissibili
	≤ 1	somma della lunghezza dei singoli graffi max. 60 mm - lunghezza singolo graffio max. 30 mm
	$> 1 \text{ e } \leq 2,5$	somma della lunghezza dei singoli graffi max. 90 mm - lunghezza singolo graffio max. 30 mm
	$> 2,5 \text{ e } \leq 4$	somma della lunghezza dei singoli graffi max. 120 mm - lunghezza singolo graffio max. 30 mm
	> 4	max 160 mm come somma e max 30 mm come singolo graffio
	Graffi capillari	
	ammessi se non concentrati da apparire all'esame visivo come macchie	
V	Inclusioni, bolle, difetti puntiformi, macchie ecc.	
	Superficie lastra (m²)	Unità ammissibili
	≤ 1	max. 2 unità, ciascuna $\geq 0,5 \text{ mm}$ e $\leq 2 \text{ mm}$
	$> 1 \text{ e } \leq 2,5$	max. 3 unità ciascuna $\geq 0,5 \text{ mm}$ e $\leq 2 \text{ mm}$
	$> 2,5 \text{ e } \leq 4$	max. 5 unità ciascuna $\geq 0,5 \text{ mm}$ e $\leq 2 \text{ mm}$
	> 4	si applica il parametro precedente con incremento di max 1 unità ogni ulteriore m ² , ciascuna $\geq 0,5 \text{ mm}$ e $\leq 2 \text{ mm}$
	Graffi	
	Superficie lastra (m²)	Unità ammissibili
	≤ 1	somma della lunghezza dei singoli graffi max. 30 mm - lunghezza singolo graffio max. 15 mm
	$> 1 \text{ e } \leq 2,5$	somma della lunghezza dei singoli graffi max. 45 mm - lunghezza singolo graffio max. 15 mm
	$> 2,5 \text{ e } \leq 4$	somma della lunghezza dei singoli graffi max. 60 mm - lunghezza singolo graffio max. 15 mm
	> 4	si applica il parametro precedente con incremento di ulteriori 20 mm come somma delle lunghezze dei singoli graffi per ogni ulteriore m ² – lunghezza singolo graffio max 15 mm
	Graffi capillari	
	ammessi se non concentrati da apparire all'esame visivo come macchie	

La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro

P+V	<p>La valutazione delle zone P e V non deve essere effettuata in sommatoria dei valori delle singole zone. Il numero complessivo di difetti ammessi nelle zone P+V non deve superare il numero massimo ammesso per la zona P.</p> <p>Inclusioni, bolle, difetti puntiformi, macchie, ecc. di dimensioni comprese tra 0,5 mm e 1 mm sono consentiti oltre il limite imposto dal capoverso precedente, eccetto nel caso in cui siano presenti in concentrazioni elevate. Per concentrazioni elevate si intende la presenza di almeno 4 unità tra inclusioni, bolle, difetti puntiformi, macchie, ecc. concentrati in un'area il cui diametro sia inferiore o uguale a 20 cm</p>
------------	---



ATTENZIONE

Per il vetro stratificato e stratificato di sicurezza le tolleranze delle zone P e V, relativamente al numero massimo di unità, vengono aumentate del 50% per ogni unità di vetro stratificato.



NOTA

Per la vetrata isolante tripla le tolleranze di cui alla Tabella 1 aumentano del 50%. Per la vetrata isolante quadrupla le tolleranze di cui alla Tabella 1 aumentano del 100%.



ATTENZIONE

Difetti di dimensioni maggiori di 2 mm non sono ammessi né nella zona V (zona principale di visione), né nella zona P.



ATTENZIONE

I difetti minori di 0.5 mm, in linea con quanto indicato dalla UNI EN 572 del 2004, non vengono considerati.

14.1.3. FENOMENI FISICI E CRITERI DI ACCETTAZIONE

Fenomeni di interferenza: frange di Brewster (come da norma UNI EN 1279-1)

Quando le superfici delle lastre di vetro sono parallele in modo quasi perfetto e la qualità della superficie è alta, il vetro isolante evidenzia colori di interferenza. Questi consistono in righe di colore variabile come conseguenza della scomposizione dello spettro della luce. Se la fonte di luce è il sole, i colori variano dal rosso al blu. Questo fenomeno non è un difetto, è intrinseco alla costruzione della vetrata isolante.

Effetti tipici delle vetrate multiple (come da norma UNI EN 1279-1)

Le variazioni di temperature dello spazio riempito con aria e/o gas e le variazioni della pressione barometrica dell'atmosfera e l'altitudine, fanno contrarre o espandere l'aria e/o il gas nell'intercapedine e di conseguenza, si verificano flessioni della lastra di vetro che provocano la distorsione delle immagini riflesse. Queste flessioni, che non possono essere eliminate, mostrano variazioni in funzione delle condizioni climatiche e possibili fenomeni di distorsione ottica.



NOTA

La portata dipende in parte dalla resistenza a flessione e dalle dimensioni delle lastre di vetro e anche dalla larghezza dell'intercapedine. Dimensioni piccole, vetri spessi e/o intercapedini piccole riducono tali flessioni in maniera significativa.



ATTENZIONE

Al momento dell'ordine della vetrata isolante è opportuno verificare l'altitudine del luogo di installazione della vetrata stessa ed eventualmente prevedere i dovuti accorgimenti tecnici vedi paragrafo 4.5.4

In corrispondenza delle superfici delle vetrate inoltre possono verificarsi riflessi multipli con vari gradi di intensità; tali riflessi risultano particolarmente evidenti nel caso in cui lo sfondo visibile attraverso la vetrata sia scuro (effetto "specchio") o le lastre siano coatizzate. Si tratta di una conseguenza di natura fisica e pertanto non rappresenta un difetto.

Anelli di Newton (come da norma UNI EN 1279-1)

La vetrata isolante deve essere composta da elementi di adeguato spessore ed intercapedine, al fine di evitare che le lastre stesse possano venire a contatto o quasi contatto, generando l'effetto ottico degli anelli di Newton. Tale effetto ottico si manifesta con una serie di anelli colorati concentrici, con il centro nel

La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro

punto di contatto/quasi contatto delle due lastre. Gli anelli sono approssimativamente circolari o ellittici. Si tratta di effetto non accettabile, pertanto rappresenta un difetto.

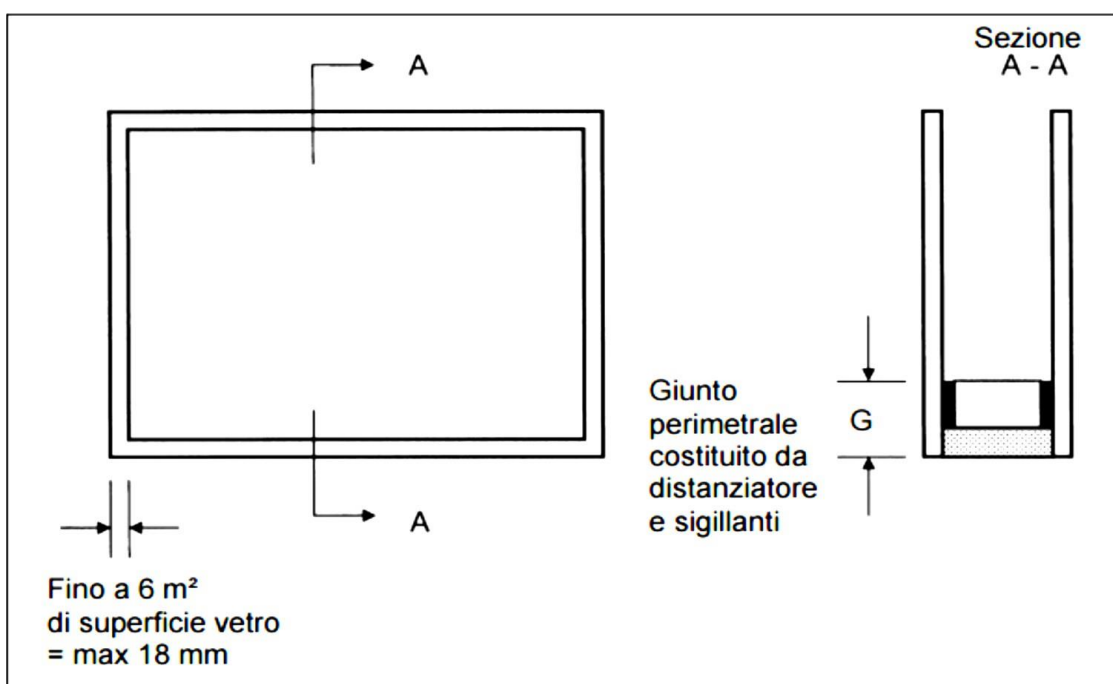
“Wettability”

Quando le superfici esterne della vetrata sono interessate da condensa, pioggia o acqua per la pulizia, possono emergere tracce o impronte riconducibili ad esempio a rulli, impronte digitali, etichette, grana di carta, ventose, residui di sigillanti, sostanze lucidanti, lubrificanti, smog o altri fattori ambientali. Si tratta di un fenomeno accettabile se transitorio, cioè limitato alla permanenza delle condizioni di condensa, pioggia o acqua. Se il fenomeno persiste è da considerarsi difetto.

14.1.4. SIGILLATURA PERIMETRALE

Altro fattore da considerare nel valutare la qualità ottica delle vetrate è la sigillatura perimetrale della vetrata isolante e l'allineamento del distanziatore. Per quest'ultimo sono stati definiti i criteri di accettabilità in funzione del materiale, dello spessore di cui è composto e della lunghezza del bordo della vetrata.

Il materiale sigillante della vetrata isolante può sbordare al massimo di 2 mm, oltre il giunto perimetrale (G) all'interno dell'intercapedine e sulla lastra di vetro. Il giunto può essere al massimo di 18 mm se la vetrata è inferiore a 6 m² (ad eccezione di composizioni speciali, così come composizioni che richiedono particolari calcoli statici).



La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro

L'intercapedine della vetrata isolante non deve presentare impurità rilevanti.



ATTENZIONE

Tracce di impurità fino a 2 mm o puntiformi, così come irregolarità superficiali del coating fino a un diametro massimo di 0,6 mm, non sono da considerarsi rilevanti.

Nell'intercapedine inoltre possono essere presenti esigue quantità di sali disidratanti dovute al processo produttivo. Il canalino può essere tagliato e giuntato con angolari o piegato. Nel caso di canalino piegato, la curvatura o lo schiacciamento derivanti da lavorazioni meccaniche automatiche, costituiscono caratteristica performante e non difetto. Su ogni vetrata possono essere presenti fori per l'inserimento del gas, nonché giunzioni, le quali, sia angolari che sui lati, sono tipiche del processo produttivo e non costituiscono difettosità.

Materiale del distanziatore	Lunghezza bordo minore o uguale a 2m	Lunghezza bordo > 2m	
alluminio e acciaio	3mm	3mm + 1mm ogni ulteriore metro	al max. 5mm
acciaio inox con spessore $\geq 0,2\text{mm}$	3mm	3mm + 1mm ogni ulteriore metro	al max. 5mm
acciaio inox con spessore $< 0,2\text{mm}$	4mm	4mm + 1,5mm ogni ulteriore metro	al max. 6mm
materiale plastico	4mm	4mm + 1,5mm ogni ulteriore metro	al max. 6mm

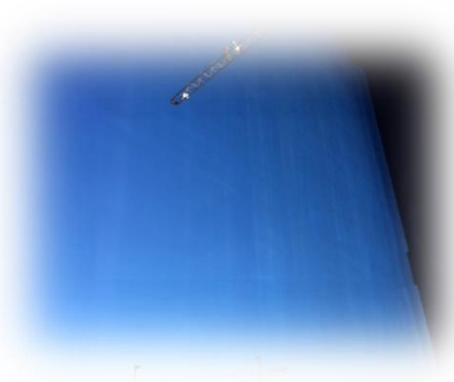
14.2. VERIFICA OTTICA E DIFETTOLOGICA DEL VETRO TEMPRATO

La norma esaminata sopra è riferibile anche al vetro temprato quando esso sia completamente intelaiato, ma se consideriamo per esempio un parapetto fatto con vetro temprato, allora la norma alla quale fare riferimento non sarà più l'UNI TR 11404, ma la UNI EN 12150-1. Dal punto di vista delle caratteristiche ottiche e delle difettologie, la 12150-1 prende in considerazione i seguenti fenomeni:

La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro

14.2.1. ONDE DEL RULLO



Durante il processo di tempra orizzontale quando il vetro caldo è a contatto con i rulli, si produce una distorsione superficiale, nota come "onda del rullo". L'onda del rullo si evidenzia normalmente per riflessione. Le lastre di vetro con spessore maggiore di 8 mm possono evidenziare tracce di piccole impronte del rullo sulla superficie.

14.2.2. ANISOTROPIA (IRIDESCENZA)

Il processo di trattamento termico (tempra termica) produce zone diversamente tensionate nella sezione trasversale del vetro. Queste zone tensionate producono un effetto birifrangente nel vetro, visibile alla luce polarizzata. Quando si guarda il vetro di silicato sodio-calcico di sicurezza temprato termicamente alla luce polarizzata, le zone tensionate appaiono come zone colorate, talvolta note come "macchie di leopardo". Nella normale luce diurna si ha luce polarizzata. L'entità di luce polarizzata dipende dalle condizioni atmosferiche e dall'angolazione del sole. L'effetto birifrangente è più evidente se visto con forte angolazione oppure attraverso lenti polarizzate. Si tratta di un fenomeno dovuto al processo di produzione (tempra termica) e pertanto non costituisce difetto.



14.2.3. INCURVAMENTO

La deformazione delle lastre temperate è uno dei maggiori motivi di deformazione delle vetrate. La norma UNI EN 12150-1 (Vetro per edilizia - Vetro di silicato sodio-calcico di sicurezza temprato termicamente) attesta che "per effetto della sua natura, il processo di indurimento termico non può dare un prodotto piano come il vetro ricotto"; le distorsioni previste dalla norma possono essere sia di "incurvamento globale o generale" che di "incurvamento localizzato".

La norma specifica come margine di tolleranza 0,003 mm/mm per l'incurvamento globale (ovvero 3 mm ogni 1000 mm) e 0,5 mm/300 mm per l'incurvamento localizzato. Per la trattazione dell'incurvamento si rimanda al paragrafo relativo al vetro temprato 4.4 del presente manuale.

14.3. VERIFICA OTTICA E DIFETTOLOGICA DEL VETRO STRATIFICATO

La norma esaminata sopra è riferibile anche al vetro stratificato quando esso sia completamente intelaiato, ma se consideriamo per esempio un parapetto fatto con vetro stratificato, allora la norma alla quale fare riferimento non sarà più l'UNI TR 11404, ma la UNI EN 12543-5 e 12543-6.

I gradi di finitura del bordo sono regolati da UNI EN ISO 12543 parte 5; essa definisce:

- Scostamenti sullo spessore dell'intercalare;
- Tolleranze dimensionali e di ortogonalità;
- Limiti dei disallineamenti delle lastre componenti lo stratificato;
- Qualità e grado di finitura dei bordi.

Scostamento limite sullo spessore degli intercalari

Spessore dell'intercalare	Scostamento limite
< 1	± 0,4
da ≥ 1 a < 2	± 0,5
da ≥ 2 a < 3	± 0,6
≥ 3	± 0,7

Tolleranze dimensionali in funzione di spessore e dimensioni della lastra

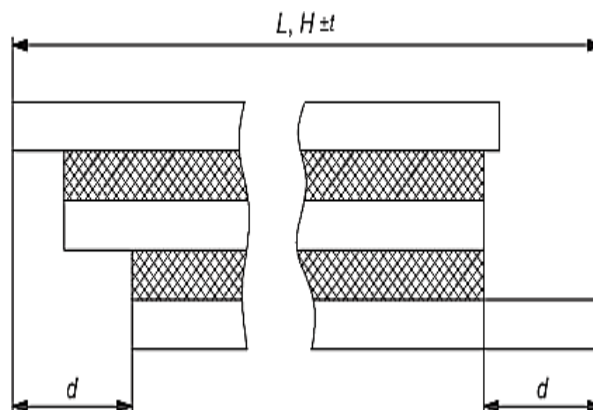
Dimensione nominale <i>L</i> oppure <i>H</i>	Spessore nominale del vetro stratificato ≤ 8 mm	Spessore nominale del vetro stratificato > 8 mm	
		Ogni lastra di vetro con < 10 mm di spessore nominale	Almeno una lastra di vetro ≥ 10 mm di spessore nominale
≤ 2000	+ 3,0 - 2,0	+ 3,5 - 2,0	+ 5,0 - 3,5
≤ 3000	+ 4,5 - 2,5	+ 5,0 - 3,0	+ 6,0 - 4,0
> 3000	+ 5,0 - 3,0	+ 6,0 - 4,0	+ 7,0 - 5,0

La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro

Spostamento – Cattivo allineamento dei bordi

Dimensione nominale L oppure H	Spostamento massimo ammissibile d
$L, H \leq 1\,000$	2,0
$1\,000 < L, H \leq 2\,000$	3,0
$2\,000 < L, H \leq 4\,000$	4,0
$L, H > 4\,000$	6,0



Dal punto di vista delle caratteristiche ottiche e delle difettologie la UNI EN ISO 12150-6 definisce con chiarezza:

- Tipologia di difetti e loro criteri di ammissibilità;
- Metodo di osservazione del difetto.

Metodo di osservazione del vetro stratificato

Il vetro stratificato è posto in posizione verticale, di fronte e parallelamente ad uno schermo grigio opaco ed è illuminato da luce diurna diffusa o equivalente.

Il vetro stratificato è sottoposto ad esame visivo osservandolo perpendicolarmente ad una distanza di 2 m dal vetro con lo schermo opaco sull'altro lato del vetro.

Tutti i difetti che rechino disturbo durante l'osservazione, devono essere marcati.



NOTA

La distanza di un'osservazione di un vetro stratificato definita nella UNI EN ISO 12543-6 è di 2 metri invece che il metro previsto nell'UNI TR 11404

Tipologie dei difetti

difetto puntuale: Tipo di difetto che comprende punti opachi, bolle e corpi estranei.

difetto lineare: Tipo di difetto che comprende corpi estranei, graffi e abrasioni.

altri difetti: Difetti del vetro come crepe e difetti dell'intercalare, come pieghe, ritiro e striature.

punto opaco: Difetto visibile nel vetro stratificato.

La guida del vetro

Guida pratica alla conoscenza, progettazione e utilizzo del vetro

Descrizione dei difetti

bolla: Solitamente d'aria, nel vetro o nell'intercalare.

corpo estraneo: Elemento non desiderato introdotto nel vetro stratificato durante la lavorazione.

graffio: Difetto lineare sulla superficie esterna del vetro stratificato.

abrasione: Difetto sulla superficie esterna del vetro stratificato.

crepe: Screpolature chiuse o fessure filanti che corrono all'interno del vetro partendo da un bordo.

piega: Distorsione introdotta nell'intercalare da piegature visibili dopo la lavorazione.

stria dovuta alla disomogeneità dell'intercalare: Distorsione nell'intercalare causata da difetti di lavorazione dell'intercalare, che sono visibili dopo la lavorazione.

area del bordo: Perimetro della lastra, generalmente contenuto nel sistema di vetratura.

Limiti di accettabilità

prospetto 1 Difetti puntuali ammissibili nella zona di visione

Dimensione del difetto d' mm		$0,5 < d' \leq 1,0$	$1,0 < d' \leq 3,0$			
			Dimensione della lastra A m^2			
		Per tutte le dimensioni	$A \leq 1$	$1 < A \leq 2$	$2 < A \leq 8$	$A > 8$
Numero o densità di difetti ammissibili	2 lastre	Nessuna limitazione; in ogni caso nessuna concentrazione di difetti	1	2	$1/m^2$	$1,2/m^2$
	3 lastre		2	3	$1,5/m^2$	$1,8/m^2$
	4 lastre		3	4	$2/m^2$	$2,4/m^2$
	≥ 5 lastre		4	5	$2,5/m^2$	$3/m^2$

Nota: Si ha concentrazione di difetti quando quattro o più difetti si trovano ad una distanza < 200 mm l'uno dall'altro. Questa distanza si riduce a 180 mm per il vetro stratificato composto da tre lastre, a 150 mm per il vetro stratificato composto da quattro lastre ed a 100 mm per il vetro stratificato composto da cinque o più lastre

Un'iniziativa di:

Massimo Belleri

A cura di:

Dott.ssa Elena Piccinelli e Alessio Piccinelli

Con la collaborazione di:

Ennio Mognato – Stazione Sperimentale del Vetro

Ing. Michel Palumbo e Ing. M. Teresa Mazzucchelli – Programmavetro