

INFORMAZIONI SUL PRODOTTO PI 036

Tolleranze vetri curvi

Fabbricazione e geometria

Come regola generale, si utilizza il principio della curvatura per gravità. Il pezzo grezzo di vetro piano float viene posto su uno stampo di curvatura e riscaldato da 550 a 620°C in un forno.

Dopo aver raggiunto la fase di fluidificazione, il pezzo grezzo affonda nello stampo di curvatura per effetto della gravità o, nel caso di uno stampo di curvatura convesso, vi si adagia sopra. La successiva fase di raffreddamento determina le proprietà del prodotto finale. L'applicabilità della geometria di curvatura desiderata alla struttura di vetro selezionata - eventualmente con rivestimento – dipende quindi anche dalla produzione, motivo per cui è possibile disporre solo in misura limitata di dati di base su possibili raggi di curvatura e strutture di vetro. In linea di principio, tuttavia, si può dire che le geometrie complesse, come le curvature sferiche, sono generalmente ottenibili solo come vetro float.

Prodotti per edilizia

Generalità:

Di seguito sono elencati i vari prodotti curvi secondo le norme europee per il vetro piano. Inoltre, vengono illustrate le differenze e le caratteristiche speciali dei vetri curvi.

Il prodotto di partenza per il vetro float curvo è descritto nella norma EN 572-2. Inoltre, possono essere fabbricati come prodotti curvi anche altri prodotti di vetro di base secondo la norma EN 572, come ad esempio il vetro ornamentale, il vetro armato, il cristallo armato, il vetro profilato.

Vetro di sicurezza temprato termicamente (ESG) curvo

La norma di prodotto EN 12150-1 descrive solo il vetro di sicurezza temprato (ESG) piano. Per questo motivo nella parte informativa della presente norma (Allegato B) è formulato quanto segue: non è parte integrante della presente norma perché non sono disponibili dati sufficienti per la normazione. Indipendentemente da ciò, le informazioni della presente norma relative agli spessori, alla finitura dei bordi e alla struttura di frammentazione possono essere applicate anche al vetro di sicurezza temprato termicamente sodo-calcico curvo.”

Vetro indurito (TVG) curvo

La norma di prodotto EN 1863-1 descrive solo il vetro indurito (TVG) piano. Per questo motivo, nella parte informativa della presente norma (Allegato B) è formulato quanto segue: non è parte integrante della presente norma perché non sono disponibili dati sufficienti per la normazione. Indipendentemente da ciò, le informazioni della presente norma relative agli spessori, alla finitura dei bordi e alla struttura di frammentazione possono essere applicate anche al vetro indurito sodo-calcico curvo“. Va notato che, in particolare, il modello di frammentazione del vetro indurito (TVG) piano non è esattamente trasferibile al vetro indurito (TVG) curvo.

Vetro stratificato curvo e stratificato di sicurezza curvo

La norma di prodotto EN 14449 descrive solo il vetro stratificato (VG) piano e il vetro stratificato di sicurezza (VSG) piano. Il vetro stratificato di sicurezza è un prodotto con interposti film in polivinilbutirrale (PVB) o altre tipologie di film la cui utilizzabilità è stata dimostrata.

Il vetro stratificato, invece, è un prodotto per edilizia con altre tipologie di film intermedi le cui proprietà non sono state dimostrate.

Vetro isolante curvo

La norma di prodotto EN 1279 è applicabile limitatamente ai vetri isolanti curvi. Nella parte 1 della norma EN 1279, nella sezione è formulato quanto segue:

„Le unità con raggio di curvatura > 1000 mm sono conformi a questa norma senza essere state sottoposte alle prove supplementari per i campioni curvi.

Le unità con un raggio di curvatura ≥ 1000 mm sono conformi a questa norma se sottoposte a prove con campioni curvi con lo stesso raggio di curvatura o con un raggio di curvatura inferiore e il risultato rispetta i requisiti per la diffusione del vapore acqueo della norma EN 1279-2 I modelli per il test devono essere curvati con l'asse di flessione parallelo al lato più lungo“.

In linea di principio, anche il vetro isolante triplo può essere realizzato come vetro curvo. Tuttavia, devono essere discusse le fattibilità (dimensioni, strutture vetrate, tipi di vetro, valori tecnici, ecc.) e le tolleranze.

Realizzazione con vetro curvo

In linea di principio il vetro curvo è ad esempio realizzabile con smalti, stampa serigrafica o digitale, pellicole stampate, sabbiatura, fusione, rivestimenti parziali.

Fisica dei materiali e metodi di costruzione

Isolamento termico e protezione solare

I requisiti di cui sopra vanno rispettati in egual misura per vetri curvi e piani, utilizzando adeguati trattamenti per l'isolamento termico e per la protezione solare. Oltre ai requisiti funzionali, sono importanti anche gli effetti estetici (ad es. il riflesso del vetro rivestito, la colorazione conferita dal rivestimento o anche il substrato di vetro), in particolare nell'applicazione di trattamenti per la protezione solare.

Al fine di determinare le proprietà ottiche, dovrebbero essere utilizzati fin dall'inizio dei campioni aventi la stratigrafia equivalente al prodotto finale, specialmente per i progetti di grandi dimensioni, in modo da potere verificare se la qualità estetica è quella prevista. Occorre caso per caso definire le possibilità di trattamento a seconda della geometria, della struttura del vetro, delle dimensioni, ecc. Una definizione generale dei valori U_g e valori g raggiungibili ecc. non è possibile a causa del gran numero di parametri sopra menzionati. I valori U_g , così come i valori delle caratteristiche illuminotecniche e di irraggiamento-fisiche sono di solito indicati per vetrate piane aventi la stessa struttura del vetro. La determinazione viene effettuata secondo le norme EN 673 e EN 410.

Isolamento acustico

La trasferibilità ai vetri curvi è possibile solo in misura limitata, poiché la superficie radiante è più grande di quella di lastre piane comparabili. In questo caso, si raccomanda di effettuare un test presso un istituto di prova idoneo.

Qualità visiva

In linea di principio, si applica la „Direttiva sulla valutazione della qualità visiva del vetro destinato all'uso nell'edilizia“. Oltre ai difetti

ammessi dalla direttiva, per il vetro curvo sono ammessi anche inclusioni, difetti nel trattamento e impronte superficiali.

Il test viene effettuato in luce diurna diffusa (ad es. cielo nuvoloso) senza luce solare diretta o artificiale e da una distanza di almeno 3

m dall'interno verso l'esterno e da un angolo di osservazione corrispondente al normale uso dell'ambiente.

La visione e l'impressione cromatica sono influenzate dalla curvatura del vetro, perché il riflesso del vetro curvo è sempre diverso

da quello del vetro piano a causa delle leggi dell'ottica. Il comportamento di riflessione è influenzato dai seguenti criteri:

- la riflessione intrinseca del vetro di base
- trattamenti
- raggio di curvatura
- ampio angolo di curvatura (ad es. superiore a 90°)
- transizioni tangenziali
- spessore del vetro

La produzione di campioni di lastre è raccomandata per ottenere una prima impressione della qualità ottica e dell'effetto visivo.

In caso di ampie dimensioni, è opportuno consultare il produttore. Le tolleranze specificate devono essere applicate a tutte le finiture dei bordi. La qualità della lavorazione dei bordi è almeno «filo lucido». Tutte le altre finiture dei bordi devono essere concordate per iscritto prima del conferimento dell'ordine.

Tolleranze

Le seguenti tolleranze si applicano al vetro curvo cilindrico. Le tolleranze della Tabella 1 sono stabilite per una lunghezza massima del bordo di 4000 mm e un angolo di piegatura massimo di 90°. Tutte le tolleranze indicate si riferiscono ai bordi del vetro.

Tabella 1: Tolleranze

	Spessore del vetro (T)	Vetro float	Vetro di sicurezza temprato termicamente	Vetro stratificato (VG)/stratificato di sicurezza (VSG)*	Vetro isolante doppio	
Sviluppo (A) / Altezza (L) ≤ 2000 mm	≤ 12 mm	+/-2	+/-2	+/-2	+/-2	mm
Sviluppo (A) / Altezza (L) ≤ 2000 mm	> 12 mm	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm
Sviluppo (A) / Altezza (L) > 2000 mm	< 12 mm	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm
Sviluppo (A) / Altezza (L) > 2000 mm	> 12 mm	+/-4	+/-4	+/-4	+/-4	mm
Fedeltà die contorni (PC)**		+/- 3 mm/m Valore assoluto: min. 2 mm, max. 4 mm		+/- 3 mm/m Valore assoluto: min. 2 mm, max. 5 mm		
Rettilineità del bordo (RB)	≤ 12 mm	+/-2	+/-2	+/-2	+/-2	mm per m.l.
Rettilineità del bordo (RB)	> 12 mm	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	mm per m.l.
Torsione (V) ***	-	+/-3	+/-3	+/-3	+/-3	Mm per m.l.
Disallineamento (d)**** ≤ 5 m²	-	-	-	+/-2	+/-3	mm
Disallineamento (d)**** > 5 m²	-	-	-	+/-3	+/-4	mm
Posizione foratura	-	-	EN 12150	EN 12150	-	mm
Tolleranza spessore vetro	-	EN 572	EN 572	-	-	mm

* Nel vetro stratificato (VG)/stratificato di sicurezza (VSG) lo spessore del vetro è la somma dei singoli spessori di vetro senza strato intermedio. Le tolleranze si applicano al vetro stratificato/stratificato di sicurezza in vetro float, vetro di sicurezza temprato termicamente (ESG) o vetro indurito (TVG).

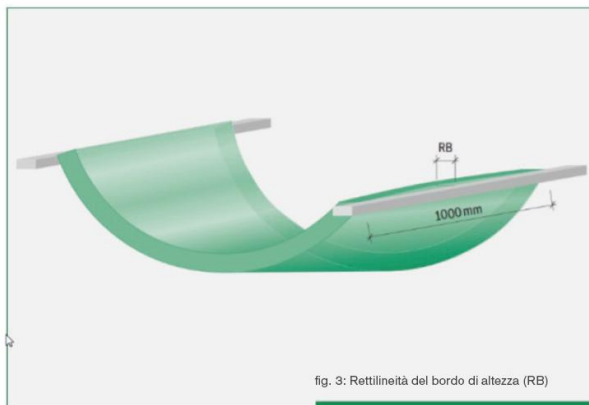
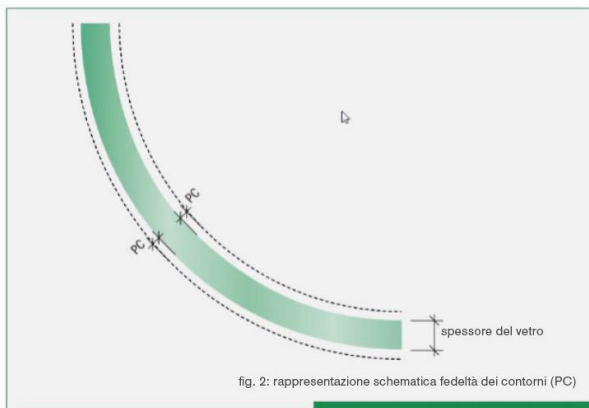
** Nel vetro curvo sono sempre prevedibili transizioni tangenziali come pure rigonfiamenti del bordo dello sviluppo.

*** Riferito ai bordi più lunghi del modulo di vetratura

**** In relazione al bordo rettilineo e di sviluppo, il dato si applica a tutte le finiture dei bordi, il disallineamento delle forature per il vetro stratificato/stratificato di sicurezza si basa su questa tolleranza.

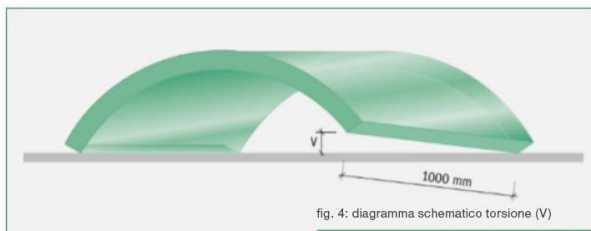
Fedeltà dei contorni (PC)

La precisione dei contorni definisce l'accuratezza di una curvatura. Tutti i bordi del contorno sono sfalsati di 3 mm verso l'interno/ esterno. Il contorno di curvatura non deve discostarsi dal contorno nominale in misura superiore a tale dimensione (vedi fig. 2). Per il controllo della precisione dei contorni, è possibile utilizzare un valore medio all'interno di questo contorno nominale.



Torsione (V)

La torsione descrive la precisione del parallelismo dei bordi allo stato curvo. La torsione non deve superare +/- 3 mm per metro lineare per il vetro curvo. (Filo piatto) (vedi Fig. 4). A tale scopo, il vetro deve essere posizionato con i bordi su una superficie piana e poi controllato (posizione convessa o posizione N).



Estensioni diritte

Una tangente è una retta che tocca una curva data in un punto determinato. La tangente è perpendicolare al raggio corrispondente.

Senza un passaggio tangenziale, una lastra di vetro curva sarebbe piegata a gomito! Ciò è tecnicamente possibile, ma non raccomandato. Nel punto di piega le tolleranze sono maggiori rispetto ad un passaggio tangenziale.

Dimensionamento

Norme e regolamenti:

La norma di progettazione del vetro DIN 18008 non disciplina le strutture con vetri curvi.

Caratteristiche statiche rispetto alle lastre di vetro piano

Effetto portante del vetro curvo

Il calcolo delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle lastre di vetro curvo deve essere effettuato con un modello di elementi finiti adeguato secondo la teoria dei gusci.

Un calcolo semplificato delle lastre di vetro curve considerate come lastre di vetro piano induce inevitabilmente a false sollecitazioni e deformazioni.

Carichi climatici in presenza di vetri isolanti curvi

Nel caso di vetri isolanti, è assolutamente necessario tenere conto della curvatura del vetro, in quanto la maggiore rigidità alla flessione può ingenerare carichi climatici molto elevati (carichi interni). Il vantaggio dell'effetto portante dei singoli vetri curvi è inferiore nella versione vetro isolante rispetto alla versione vetro singolo.

I moduli per vetri isolanti curvi con elementi di fissaggio piatti sono da considerare in modo particolare in sede di calcolo degli spessori, in quanto l'area piana è sensibilmente più flessibile del settore curvo.

Il carico sul bordo del vetrocamera è maggiore di quello esercitato sul vetrocamera piano a causa dei maggiori carichi climatici in presenza di vetro isolante curvo. Il bordo deve essere configurato di conseguenza. Ciò può a sua volta influire sulla larghezza dei bordi del vetrocamera o sulla necessaria profondità di appoggio del vetro. Di ciò occorre tenere conto già in sede di pianificazione e progettazione.

Per un progetto preliminare, possono essere utilizzati le caratteristiche resistenze a trazione per flessione f_k secondo la tabella.

Tabella 2: Resistenze caratteristiche alla flessione per trazione basata su (4)

Tipo di vetro	f_k (N/mm ²)	
	Area vetrata	Bordo vetro
Vetro float curvo	40	32
Vetro indurito (TVG) curvo	55	55
Vetro temprato curvo	105	105

Limiti di inflessione della vetrata

L'inflessione del vetro curvo è limitata in modo da garantire che esso non scivoli fuori dagli appoggi del vetro e che siano soddisfatti i criteri di idoneità all'uso.

Limiti di inflessione della sottostruttura

Le specifiche per le vetrate piane non sono trasferibili alle vetrate curve, poiché lievi deformazioni della sottostruttura hanno effetti molto maggiori sui vetri curvi rispetto alle lastre di vetro piane comparabili. Il comportamento della sottostruttura deve quindi essere preso in considerazione in sede di progettazione statica.

Stoccaggio e trasporto

Gli elementi in vetro devono essere immagazzinati e trasportati in posizione verticale a bassa sollecitazione secondo la propria geometria. Devono essere rispettate le specifiche del costruttore.

I basamenti e i sostegni contro il ribaltamento non devono causare danni al bordo del vetrocamera o al vetro. Quando il vetro isolante viene trasportato ad altitudini superiori al livello del mare, può essere necessario utilizzare una valvola di compensazione della pressione a causa delle possibili differenze di pressione tra lo spazio tra i vetri e il clima ambiente (a seconda dell'altitudine sul livello del mare nel luogo di produzione). Questo deve essere specificato al momento dell'ordine.

Vetrate

Generalità:

Le linee guida formulate per le vetrate piane possono in linea di principio essere applicate anche alle vetrate curve. A causa del particolare comportamento del vetro curvo, è necessario osservare le istruzioni aggiuntive del produttore. La profondità di appoggio al bordo per vetri isolanti è di 12 - 15 mm.

Note costruttive

A causa della sua elevata rigidità, le tolleranze del vetro curvo devono essere prese in considerazione nella progettazione per garantire un'installazione e uno stoccaggio liberi da costrizioni. Lo stoccaggio libero da costrizioni è necessario per evitare la rottura dei vetri o, nel caso di vetrocamera curvato, sovraccarichi del bordo.

La sottostruttura deve soddisfare i requisiti speciali per le vetrate curve. A tal fine sono necessarie scanalature sufficientemente dimensionate per costruzioni intelaiate o facciate.

Spessoramento

I principi fondamentali dello spessoramento sono descritti nella norma per vetri isolanti 01. Lo spessoramento deve trasferire in sicurezza il carico del modulo vetrato nella sottostruttura. Di norma i moduli vetrati non devono sopportare alcun carico trasmesso dalla costruzione. Se dei carichi devono essere sistematicamente assorbiti dalla costruzione, di questo deve essere tenuto conto in sede di progettazione strutturale.

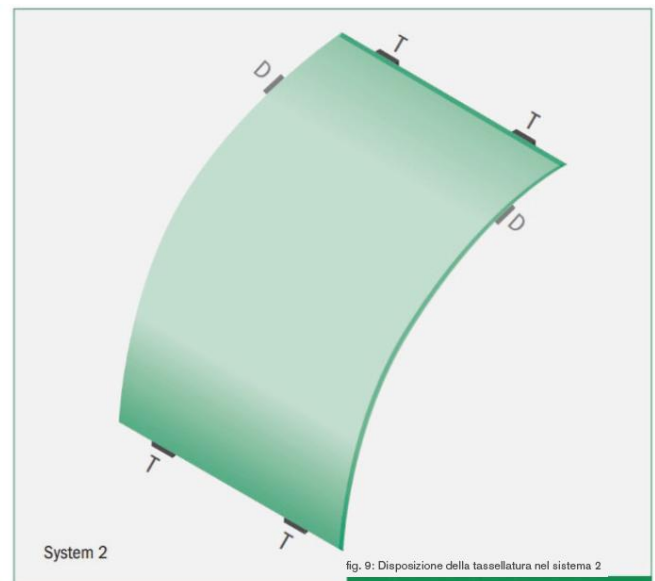
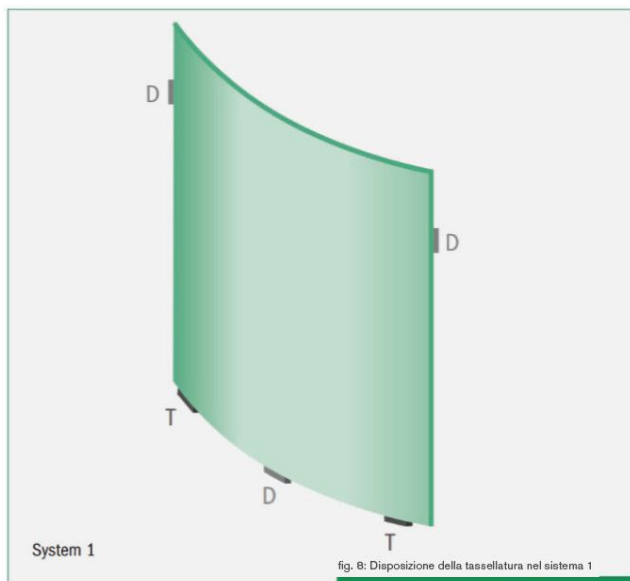
In tutti i sistemi con vetro curvo, è necessario garantire l'equalizzazione della tensione di vapore circolante e il drenaggio permanente della base della scanalatura.

I vetri singoli curvi o vetri isolanti in installazione verticale devono essere spessorati come le lastre di vetro piane. Con il sistema 1, il peso del vetro viene trasferito al bordo inferiore curvo del vetro attraverso gli spessori di supporto alla costruzione intelaiata e quindi alla struttura portante.

Nel sistema 2, il peso del vetro e il carico del vento sono distribuiti sul bordo del vetro. Questo deve essere tenuto in particolare considerazione in sede di scelta degli appoggi. Le esecuzioni rappresentano solo una selezione di situazioni possibili. In altre situazioni, come la curvatura sferica, i profili incassati nel bordo del vetrocamera o in caso di impiego nelle costruzioni in vetro strutturali, è sempre necessario contattare il produttore.

Lo spessoramento deve essere realizzato in modo che il vetro sia in equilibrio e non possa slittare.

La distanza dall'angolo di vetro deve corrispondere alla distanza standard di 100 mm.



Rilievo metrico

Per produrre il prodotto finale desiderato, è molto importante realizzare un rilievo metrico estremamente accurato in caso di vetro curvo oltre a diverse informazioni sulle dimensioni, ecc.

Nel caso di vetro curvo cilindrico, indipendentemente dal tipo di vetro previsto, devono essere specificati i seguenti parametri per determinare una soluzione tecnicamente fattibile ed economica.

Devono essere specificati almeno due dei valori di seguito menzionati:

- sviluppo
- raggio di curvatura
- freccia (interna o esterna)
- angolo di apertura

Inoltre, devono essere indicati la lunghezza del filo piatto come pure il numero di lastre.

// Fonte: Flachglas (Schweiz) AG // Edizione: agosto 2019