

3₂

Calcolo degli spessori

Il metodo di dimensionamento dei vetri nelle applicazioni trattate in questo Manuale è conforme alle norme in vigore al momento della redazione.

Formola generale

Lo spessore teorico minimo ammesso per le lastre di vetro piane monolitiche sottoposte a una pressione uniformemente ripartita può essere calcolato mediante la formula di TIMOSHENKO:

$$e = l \cdot \beta \cdot \sqrt{\frac{P \cdot k}{R}}$$

Quando sono di scarsa importanza, le frecce si calcolano nel modo seguente:

$$f = \alpha \cdot P \cdot \frac{l^4}{E \cdot e^3}$$

e = spessore nominale di fabbricazione del vetro (mm)

f = freccia al centro del vetro (mm)

l = lato minore del vetro (m) (o bordo libero per i vetri appoggiati su 3 lati o distanza tra gli appoggi per i vetri appoggiati su 2 lati opposti)

P = pressione ripartita uniformemente, in Pa (compreso il peso proprio del vetro se la vetrata è inclinata)

k = coefficiente di sicurezza

R = tensione di rottura (N/m²)

E = modulo di Young

α e β = coefficienti senza dimensione dipendenti dal rapporto tra lato maggiore "L" e lato minore "l" e dal numero di lati che costituiscono gli appoggi.

La tabella a pag. 416 riporta i valori dei coefficienti α e β .

- Il dimensionamento delle lastre di vetro si determina nei casi applicativi più semplici di lastre rettangolari vincolate sui bordi per appoggio o sollecitate da carico di vento e/o neve tramite la relazione Timoshenko precedentemente illustrata. E' necessario fare riferimento al DM del 16 gennaio 1996 e al decreto applicativo del 4 luglio N° 156 AA.GG.STC.
- Al fine di permettere un calcolo indicativo, nella tabella seguente viene determinato il valore Σ ottenuto dal rapporto $\frac{K}{R}$ adottato abitualmente nei calcoli per le applicazioni più comuni.

Calcolo degli spessori

Sollecitazioni di lavoro ammessa in MPa (N/mm ²)		
Tipo di vetro	Carichi temporanei (vetro...)	Carichi permanenti (peso proprio neve, acquario...)
Ricotto SGG PLANILUX, SGG PARSOL, SGG ANTELIO...	20	10
Temprato SGG SECURIT	50	40
Indurito SGG PLANIDUR	35	20
Smaltato SGG EMALIT	25	
Stratificato SGG STADIP	20	10
Stampato ricotto SGG DECORGLASS/SGG MASTERGLASS	18	9
Stampato ricotto SGG DECORGLASS ARMATO	16	8
Stampato temprato SGG SECURIT	40	30
Stampato smaltato temprato SGG EMALIT CONTRAST	30	20
Vetri per acquari	-	Vedi capitolo

Sulle sollecitazioni di lavoro ammesse, verrà applicato un coefficiente di riduzione di 0,8 nel caso che la superficie di vetro in estensione sia lavorata con sottrazione di materiale (incisione con acido, 422atura superficiale, ecc.)

Determinazione degli spessori per altri tipi di vetro

“e” lo si moltiplica per il coefficiente di equivalenza “ε” indicata in tabella:

$$e_t = \epsilon \times e$$

Determinato lo spessore teorico

Tipo di vetro	ε
Armato	1,20
Float indurito	0,90
Float temprato se $P < 900$ Pa	0,80
Float temprato se $P \geq 900$ Pa	0,75
Float stratificato con due lastre	1,30
Float stratificato con tre lastre	1,60
Vetrata isolante mono-camera (due lastre)	1,50
Vetrata isolante mono-camera (tre lastre)	1,70

3₂

Calcolo degli spessori

Spessore equivalente delle vetrate composte (in fase sperimentale)

Conoscendo lo spessore necessario per un vetro monolitico, si può determinare lo spessore equivalente e_{eq} di altri tipi di

vetrate per mezzo delle formule indicate nella tabella seguente.

Tipo di vetrata	Spessori equivalenti
<p>Vetro stratificato</p> <ul style="list-style-type: none"> - simmetrico n° componenti di uno spessore e - asimmetrico e₁ e₂ e₃ ... e₁ = spessore maggiore 	$e_{eq} = e \sqrt{n}$ $e_{eq} = e_1 \sqrt{\frac{e_1^3 + e_2^3 + e_3^3 + \dots + e_n^3}{e_1^3}}$
<p>Vetrata isolante</p> <ul style="list-style-type: none"> - simmetrica - asimmetrica e₁ > e₂ 	$e_{eq} = e \sqrt{\frac{2}{1,33}} = 1,226 \cdot e$ $e_{eq} = e_1 \sqrt{\frac{e_1^3 + e_2^3}{1,33 \cdot e_1^3}}$

Vetri per acquari o oblò di piscine

Le lastre in vetro per acquari o per piscine sono sottoposte a carichi idrostatici, aumentati eventualmente da carichi ripartiti uniformemente. Esse sono considerate come elementi di tamponamento. Di conseguenza, non devono subire deformazioni dovute ai movimenti della struttura o del suolo.

Natura dei prodotti vetrari

Le lastre per acquari sono realizzate in vetro monolitico chiaro o colorato ricotto o indurito, oppure in vetro stratificato a più componenti di pari spessore. E' bene che i componenti delle lastre

stratificate, che partecipano alla ripartizione dei carichi, presentino prestazioni meccaniche identiche, poiché lo spessore della lastra viene calcolato sul componente con le proprietà meccaniche inferiori.

Le lastre sono sempre molate (filo, angoli).

Gli intercalari degli stratificati, in PVB, non vengono considerati nel calcolo della resistenza.

Calcolo degli spessori

Sicurezza

Lo spessore delle lastre per acquari è calcolato con un fattore di sicurezza pari a 3,5. Tale fattore di sicurezza tiene conto dei carichi permanenti con un coefficiente di "fatica" pari a 0,60.

Vetro monolitico indurito

In caso di rottura accidentale del vetro la vasca si svuota più o meno rapidamente a seconda della natura della rottura causando possibili danni in funzione del volume della vasca.

Si raccomanda quindi l'uso del vetro indurito solo per vasche a ridotta capacità (ad esempio a < 1 000 litri).

Vetro monolitico temprato

L'uso del vetro monolitico temprato è sconsigliato per questa applicazione. In caso di rottura, si ha la distruzione completa e istantanea della parete vetrata con una conseguente rapida fuoriuscita dell'acqua.

Vetro stratificato ricotto, indurito o temprato

È il prodotto ideale per questa applicazione. Visto l'elevato fattore di sicurezza di questi vetri, anche in caso di rottura di uno dei componenti, il restante è in grado di assicurare la tenuta del carico idrostatico.

Posa in opera

Vedi capitolo 3.3.

Sollecitazioni ammissibili

Le sollecitazioni ammissibili da prendere in considerazione tengono conto dei carichi permanenti.

Tipo di vetro	Sollecitazione ammissibili σ in MPa (N/mm ²)
Vetro ricotto	6
SGG PLANIDUR	12
SGG SECURIT	30
SGG SECURIPOINT	50

Frecce ammissibili

La freccia al centro del volume vetrario, sotto carico di servizio, non dovrà superare 1/200 della dimensione minore del volume stesso.

Metodo di calcolo

Lo spessore della lastra di vetro è funzione:

- dell'altezza dell'acqua;
- del numero di appoggi;

con:

- n = numero di componenti dello stratificato
 $n = 1$ per un vetro monolitico;
- e_c = spessore minimo calcolato di uno dei componenti (mm);
- e_n = spessore commerciale di uno dei componenti (mm);

Tutti i componenti hanno lo stesso spessore.

- $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = coefficienti di Timoshenko dipendenti dal rapporto lunghezza/larghezza;
- q = altezza dell'acqua misurata dalla base della parte in vista della lastra (m);
- a = altezza della lastra (dimensione della parte in vista in m);
- b = lunghezza della lastra (dimensione della parte in vista in m);
- σ = sollecitazione ammessa in MPa (N/mm²).

Calcolo degli spessori

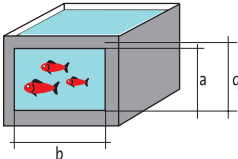
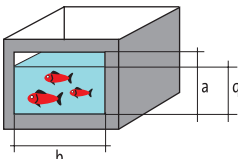
La freccia della lastra di vetro è calcolata:

- al centro della lastra per i casi con altezza dell'acqua superiore all'altezza del vetro;
- nel punto dove la freccia è massima quando l'altezza dell'acqua è uguale a quella del vetro;

con:

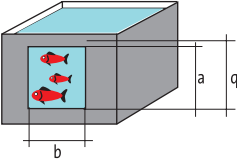
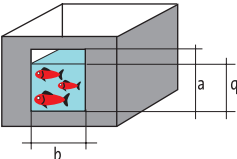
- f = freccia massima o freccia al centro del vetro (m);
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_3'$ et α_4 = coefficienti di Timoshenko dipendenti dal rapporto lunghezza/larghezza.

Lo spessore di ciascun componente in funzione della sollecitazione ammissibile e della freccia è dato, secondo il tipo di lastra, dalle relazioni descritte nelle pagine seguenti. Se la freccia è superiore alla freccia ammissibile, si deve aumentare lo spessore della lastra.

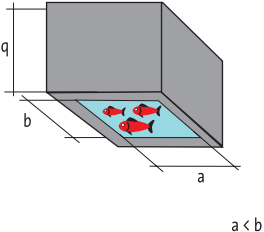
Lastra rettangolare verticale con appoggio sui 4 lati Lunghezza maggiore dell'altezza	
<p>Altezza dell'acqua superiore all'altezza del vetro</p> 	<p>Spessore di un componente</p> $e_c = a \cdot \sqrt{\frac{\beta_2 \cdot 10^3 \cdot a + \beta_1 \cdot 10^3 \cdot (q-a)}{n \cdot \sigma}}$ <p>Freccia massima della lastra</p> $f = \frac{1,6 \cdot a^4}{e_n^3 \cdot n} \cdot (\alpha_2 \cdot a + \alpha_1 \cdot (q-a))$
<p>Altezza dell'acqua inferiore all'altezza del vetro*</p> 	<p>Spessore di un componente</p> $e_c = a \cdot \sqrt{\frac{\beta_2 \cdot 10^3 \cdot a}{n \cdot \sigma}}$ <p>Freccia massima della lastra</p> $f = \frac{1,6 \cdot \alpha_2 \cdot a^4}{e_n^3 \cdot n} \cdot q$

*In questo caso, i calcoli sono effettuati come se l'altezza dell'acqua fosse almeno uguale all'altezza del vetro.

Calcolo degli spessori

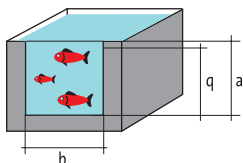
Lastra rettangolare verticale con appoggio sui 4 lati Altezza maggiore della lunghezza	
<p>Altezza dell'acqua superiore all'altezza del vetro</p> 	<p>Spessore di un componente</p> $e_c = b \cdot \sqrt{\frac{\beta_3 \cdot 10^3 \cdot a + \beta_1 \cdot 10^3 \cdot (q-a)}{n \cdot \sigma}}$ <p>Freccia massima della lastra</p> $f = \frac{1.6 \cdot b^4}{e_n^3 \cdot n} \cdot (\alpha_3 \cdot a + \alpha_1 \cdot (q-a))$
<p>Altezza dell'acqua inferiore all'altezza del vetro*</p> 	<p>Spessore di un componente</p> $e_c = b \cdot \sqrt{\frac{\beta_3 \cdot 10^3 \cdot a}{n \cdot \sigma}}$ <p>Freccia massima della lastra</p> $f = \frac{1.6 \cdot \alpha'_3 \cdot b^4 \cdot a}{e_n^3 \cdot n}$

*In questo caso, i calcoli sono effettuati come se l'altezza dell'acqua fosse almeno uguale all'altezza del vetro.

Lastra di fondo rettangolare	
	<p>Spessore di un componente</p> $e_c = a \cdot \sqrt{\frac{\beta_1 \cdot 10^3 \cdot q}{n \cdot \sigma}}$ <p>Freccia massima della lastra</p> $f = 1,6 \cdot \frac{\alpha_1 \cdot a^5}{e_n^3 \cdot n} \cdot a^4 \cdot q$

Calcolo degli spessori

Lastra rettangolare verticale con appoggio su 3 lati*



Spessore di un componente

$$e_c = b \cdot \sqrt{\frac{\beta_4 \cdot 10^3 \cdot q}{n \cdot \sigma}}$$

Freccia massima

$$f = \frac{1,6 \cdot \alpha_4 \cdot b^4 \cdot a}{e_n^3 \cdot n}$$

*In questo caso, i calcoli sono effettuati come se l'altezza dell'acqua fosse almeno uguale all'altezza del vetro.

Valori dei coefficienti α e β per il calcolo delle frecce

Lastra verticale appoggiata su 3 lati

Rapporto b/a	β_4	α_4
0.5	1.160	2.30
0.66	1.560	3.04
1.0	1.948	3.68
1.5	2.666	4.45
2.0	3.114	5.33
> 2	3.679	6.51

Determinazione dello spessore nominale (commerciale) di ciascun componente e_n

Spessore calcolato componente e_c	
(mm)	e_n
≤ 7.7	8
≤ 9.7	10
≤ 11.7	12
≤ 14.5	15
≤ 18	19

Determinazione dello spessore nominale dello stratificato e_f

$$e_f = e_n \times n$$

Lo spessore dell'intercalare è trascurabile.

Raccomandazioni speciali

I vetri devono essere assolutamente integri. Non si dovranno utilizzare lastre rigate o scheggiate. In caso di rigature successive alla posa, in particolare sulla faccia in estensione, lato del pubblico, è prudente sostituire i vetri senza indugio.

Calcolo degli spessori

Valori dei coefficienti α e β
per il calcolo delle frecce

Lastra verticale di larghezza maggiore dell'altezza con appoggio su 4 lati

Rapporto b/a	β_1 carico uniforme	β_2 carico triangolare	α_1 carico uniforme	α_2 carico triangolare
1.0	2.819	1.554	4.06	2.03
1.1	3.261	1.778	4.85	2.43
1.2	3.691	1.989	5.64	2.82
1.3	4.085	2.184	6.38	3.19
1.4	4.444	2.366	7.05	3.53
1.5	4.779	2.525	7.72	3.86
1.6	5.074	2.672	8.30	4.15
1.7	5.344	2.802	8.83	4.41
1.8	5.580	2.919	9.31	4.65
1.9	5.798	3.020	9.74	4.87
2.0	5.986	3.114	10.13	5.06
3.0	6.998	3.596	12.23	6.12
4.0	7.269	3.720	12.82	6.41
5.0	7.334	3.755	12.97	6.48
> 5.0	7.358	3.767	13.02	6.51

Lastra verticale di altezza maggiore della larghezza con appoggio su 4 lati

Rapporto a/b	β_1 carico uniforme	β_3 carico triangolare	α_1 carico uniforme	α_3 carico triangolare	α'_3 carico triangolare
1.0	2.819	1.554	4.06	2.02	2.02
1.1	3.261	1.678	4.85	2.43	2.45
1.2	3.691	1.901	5.64	2.82	2.86
1.3	4.085	2.119	6.38	3.19	3.25
1.4	4.444	2.331	7.05	3.53	3.63
1.5	4.779	2.519	7.72	3.86	3.99
1.6	5.074	2.690	8.30	4.15	4.32
1.7	5.344	2.855	8.83	4.41	4.63
1.8	5.580	2.996	9.31	4.65	4.91
1.9	5.798	3.137	9.74	4.87	5.18
2.0	5.986	3.261	10.13	5.06	5.42
3.0	6.998	4.208	12.23	6.12	7.07
4.0	7.269	4.827	12.82	6.41	8.32
5.0	7.334	5.162	12.97	6.48	9.65
> 5.0	7.358	5.515	13.02	6.51	9.76