



## Il vetro e la sicurezza

Resistenza alle azioni  
esterne

*Bollettino tecnico*



PILKINGTON

# Introduzione

## Concetto di sicurezza

Il concetto di “sicurezza” nel campo delle applicazioni vetrarie comprende principalmente due ambiti, generalmente descritti tramite quest’unico termine: la sicurezza nei confronti delle azioni accidentali (urti, cadute, rotture spontanee improvvise) e la protezione da azioni volontarie di terzi (lancio di oggetti, azione di scasso, utilizzo di armi da fuoco, ecc.).

## Resistenza alle azioni esterne

Con riferimento al secondo aspetto, le implicazioni del concetto di “sicurezza” sono talmente ampie da rendere impossibile affrontarle tutte in dettaglio. La sicurezza comprenderà anche una certa resistenza al fuoco secondo quello che dovrebbe essere un approccio sistematico in base al quale tutti i prodotti e le parti del sistema vetrato devono contribuire a garantire questo tipo di protezione.

Vista l’ampiezza dell’argomento, ci si limiterà in questa pubblicazione ad affrontare quelle che sono le performance del vetro nei confronti dell’attacco manuale, della resistenza all’azione di armi da fuoco, delle esplosioni, alla protezione dei dati e al controllo dell’immagine (vetri unidirezionali). La trattazione riguarderà anche informazioni sul montaggio necessarie a garantire che il vetro eserciti le proprie funzioni.



Applicazioni	Antinfortunio	Azioni di terzi
Impatto umano (vetrate)	•	
Impatto umano (arredamento)	•	
Vetrate in copertura	•	
Protezione dalla caduta nel vuoto	•	
Vetro antieffrazione		•
Vetro antiproiettile		•
Vetro antiesplorazione		•
Protezione di dati		•
Visione unidirezionale		•
Manifestazioni	•	

# Attacco manuale

In certe applicazioni risulta appropriato installare prodotti che garantiscano una certa resistenza nei confronti dell'attacco manuale.

Il tipo di attacco può spaziare da semplici atti vandalici isolati (ragazzini che tirano sassi semplicemente allo scopo di rompere il vetro) fino ad azioni premeditate di effrazione da parte di ladri attraverso l'uso di attrezzi da scasso (asce, mazze, ecc.) allo scopo di accedere a zone ad alta sicurezza. Questa pubblicazione non si occupa del vandalismo casuale, quanto di valutare le applicazioni e la progettazione di vetrate che riescano a impedire l'accesso a zone off limit.

Uno dei problemi principali con cui il progettista si deve confrontare quando questo tipo di resistenza viene richiesto è come valutare il tipo di carico, vista la particolare ingegnosità umana nel inventare un sistema d'attacco. Lo scassinatore potrebbe tentare di utilizzare le mani, o i piedi, potrebbe impugnare un oggetto (un mattone, una pietra, un pezzo di legno) o arrivare già equipaggiato di un martello, o un'ascia, o una mazza, ecc. In nessuno di questi casi risulta semplice quantificare le forze applicate al vetro.

## Performance richieste

Dal momento che nessuno dei metodi di attacco è facile da definire, un calcolo ingegnerizzato diventa parecchio impreciso. Il modo più semplice di cercare una soluzione al problema è quello di idealizzare le forze agenti e definire dei test che permettano di classificare il vetro.

## Metodi di test

Un metodo semplice di test d'impatto, che può essere effettuato abbastanza facilmente è la caduta di oggetti pesanti sul vetro. La concretizzazione di questi test è l'uso di impattatori d'acciaio di un peso fino a 5 kg, che vengono fatti cadere da un'altezza sufficiente da simulare l'energia sviluppata da un aggressore.

La UNI EN 356 "Prove e classificazione di resistenza contro l'attacco manuale" stabilisce le prove proprio in questo modo: il campione di vetro deve sopravvivere (nel senso di non venire attraversato) a tre impatti da parte di una sfera del peso di 4.1 kg lasciata cadere da altezze diverse. A seconda dell'altezza di caduta che il campione sopporta il vetro viene classificato. La vecchia normativa italiana UNI 9186 prevedeva un'unica altezza di caduta (6.22 m) ed un'unica classe (vetro classificato "antivandalismo").

L'utilizzo di oggetti aventi un bordo tagliente e roteati tramite un manico provoca un tipo di danneggiamento molto differente rispetto al lancio di oggetti pressoché smussati. La massa dell'impattatore può essere minore ma la velocità d'impatto è molto più alta di quella che un oggetto lanciato potrebbe avere. Aumentare semplicemente l'altezza di caduta della sfera per simulare un'azione più violenta non è appropriato e può risultare fuorviante. E' dunque necessario classificare i prodotti vetrari tramite altri tipi di test.



*Photograph courtesy of the Laminated Glass Information Centre.*

## Valutazione del rischio

Dal momento che un vetro “antivandalismo” può essere disponibile in varie composizioni, con livelli di resistenza differenti, è necessario innanzitutto valutare le intenzioni di un aggressore.

L’obiettivo del malintenzionato, ed il tempo a sua disposizione per cercare di entrare in una zona protetta dal vetro, giocano un ruolo importante nel determinare il tipo di resistenza che dev’essere garantita. Perfino un vetro armato (Pilkington **Pyroshield**<sup>TM</sup>), che ha una scarsa resistenza all’impatto, può agire da vetro di sicurezza dal momento che la presenza della rete metallica rappresenta un deterrente contro l’attacco manuale. Un semplice vetro laminato 6.4 non è considerato un vetro di sicurezza contro azioni esterne, eppure può scoraggiare un ladro che tenti di entrare in una casa quando questi si accorge che non riesce a sfondarlo immediatamente, tenuto conto dell’incertezza del bottino e che ci potrebbe essere un accesso più facile da qualche altra parte. Ma ci possono essere circostanze in cui una resistenza più alta è desiderabile e necessaria.

Ad ogni modo i costi e prestazioni devono essere confrontati sulla base di un sistema di classificazione che parta da prodotti più economici e con un livello di resistenza più basso, e arrivi a vetri più costosi capaci di resistere ad azioni molto più violente.

La valutazione del rischio va lasciata al personale specializzato che può fare valutazioni basate sull’esperienza.

Per la maggior parte delle applicazioni, dove non c’è un “bottino” già definito per chi tenti un’effrazione, è probabile che un laminato semplice sia sufficiente.

## Prestazioni del prodotto

Una soluzione che potrebbe essere considerata è l’impiego di vetro temprato, dal momento che risulta molto più resistente rispetto al comune vetro ricotto. Però il vetro temprato è particolarmente sensibile agli impatti con oggetti appuntiti, che possono provocare rotture profonde che attraversano la zona esterna in compressione arrivando fino a quella interna in tensione, mandando la lastra in frantumi. Questa caratteristica del vetro temprato è sfruttata dalle autorità in materia di azioni antincendio quando debbano studiare gli accessi per i vigili del fuoco dal momento che un colpo d’ascia potrà fornire un accesso rapido e sicuro attraverso queste vetrate. Al contrario questo comportamento non può essere considerato adatto quando si voglia impedire l’ingresso. Perfino il vetro ricotto comune è preferibile dal momento che se non altro lascia frammenti taglienti e frastagliati incastrati nel telaio, rendendo difficoltoso e pericoloso il passaggio per l’intruso in modo particolare in finestre piccole. E’ chiaro che in lastre grandi questo non rappresenta più un reale deterrente.

Il vetro laminato Pilkington **Optilam**<sup>TM</sup>, arriva a fornire una resistenza considerevole alla penetrazione per effetto dell'intercalare plastico che è difficile da tagliare in particolare se non ci sono a disposizione attrezzi o armi ma solo oggetti smussati per tentare di romperlo.

La resistenza alla penetrazione è dovuta principalmente allo spessore e al numero di plastici presenti. Mentre un laminato Pilkington **Optilam**<sup>TM</sup> 6.4 darà una certa resistenza contro un rapinatore d'appartamenti "improvvisato", una vetrina di negozio può richiedere un vetro più resistente (ad esempio un 8.8 o 10.8 o 11.5, ecc.). Per aree in cui una sicurezza più elevata dev'essere garantita, si ricorre a laminati di spessore più elevato e con un numero maggiore di intercalari plastici.

## Installazione

Il sistema telaio-serramento per un vetro antivandalismo o antieffrazione dev'essere considerato con una certa cura. Non ha significato utilizzare un vetro dalle elevate performance quando chi voglia forzarlo deve semplicemente sfilare o forzare il fermavetro e rimuovere la lastra intatta. Lo stesso serramento, il sistema di fissaggio del serramento alla struttura ed il sistema di assemblaggio del vetro all'interno del serramento devono essere progettati per resistere al tipo di attacco previsto. Le finestre apribili devono poter resistere ad un'azione di leva fatta dall'esterno. I cardini e le maniglie delle porte e dei serramenti apribili devono avere una robustezza adeguata.



# Attacco balistico

Ci sono altre occasioni nelle quali si vuole fornire protezione contro le armi da fuoco. Questa necessità si ha generalmente per scongiurare tentativi di rapina a mano armata o attentati. La gamma di armi può essere molto varia, spaziando da pistole, a fucili, a mitragliatori.

In prima analisi il vetro non è il materiale ideale a partire dal quale formare pannelli antiproiettile, per il fatto che non si deforma plasticamente e per le sua vulnerabilità agli sforzi localizzati, e questo è certamente il caso del vetro utilizzato in lastra monolitica. Invece, quando opportunamente laminato con intercalari plastici in grado di assorbire energia e comportarsi in maniera duttile, il vetro può formare un efficace barriera contro le armi da fuoco.

## Normative e test

Sebbene l'energia sviluppata dall'impatto di un proiettile possa essere calcolata e si possa progettare un vetro che resista ad una particolare combinazione arma/pallottola, il modo più comune di valutare la prestazione antiproiettile è quello di procedere ad un test sperimentale. Questi test sono stati sviluppati in varie parti del mondo e sono tutti leggermente differenti, anche se il principio base è a grandi linee lo stesso.

## Specifiche di prova

I test richiedono campioni di una particolare misura ed armi e munizioni specifiche selezionate come rappresentative per una particolare categoria di armi da fuoco. Le normative definiscono anche le modalità di prova (ad esempio numero di colpi per ogni campione e dove devono essere diretti). Per ottenere la ripetibilità nei test, le armi scelte possono essere modificate e le munizioni usate attentamente selezionate o trattate in modo da raggiungere un particolare peso ed una particolare velocità d'impatto entro certe tolleranze.

Le armi selezionate per i test variano da comuni pistole di varia potenza a fucili militari e da caccia. La definizione della potenza delle armi rappresenta la base per il sistema di classificazione secondo il quale i vetri antiproiettile vengono testati.

Il criterio di passaggio ha due componenti principali. Uno è ovvio: il vetro non deve lasciar passare il proiettile. D'altro canto va sottolineato il fatto che l'impatto col proiettile può far staccare delle schegge di vetro dal lato opposto della lastra, le quali possono essere proiettate con una forza considerevole provocare ferite a persone poste in prossimità del vetro.



Un secondo criterio può di conseguenza venire definito sulla base della natura dei frammenti proiettati dalla faccia opposta del vetro. Esso definisce tre categorie:

- **Nessuna scheggia.** Non ci sono frammenti rilasciati dalla superficie opposta da quella d'impatto. Questo significa che la parte retrostante della vetrata deve restare integra.
- **Schegge limitate.** Un certo numero di schegge di piccole dimensioni sono consentite. Questo in genere è verificato tramite il posizionamento di un foglio sottile non distante dal vetro e verificando su di esso la presenza di fori dopo la prova. Nessun foro è consentito.
- **Schegge consentite.** Qualunque quantità di schegge è accettata.

Le normative in alcune nazioni tendono a considerare soltanto uno dei primi due criteri dal momento che l'obiettivo di entrambi è limitare il rischio di ferite almeno a quelle superficiali. La terza categoria può essere ammessa per particolari standards ma i prodotti classificati secondo questa classe dovrebbero venire utilizzati esclusivamente in situazioni in cui sia improbabile che qualcuno si trovi dietro al vetro al momento di un ipotetico sparo.

Un metodo per limitare i frammenti consiste nell'utilizzare come ultima lastra uno strato di vetro molto sottile. Qualora questo si rompa e tenda a staccarsi, il suo peso ridotto consente alla forza di adesione del PVB di impedire il distacco e mantenerlo in posizione. Le prestazioni di questo sottile vetro antischeggia possono essere considerevolmente incrementate utilizzando la tempra chimica.

La normativa europea EN 1063 "Classificazione e prove di resistenza ai proiettili" considera che vengano esplosi contro il campione di vetro tre colpi ai vertici di un triangolo equilatero di 100 mm di lato. Un foglio testimone in alluminio consente di classificare con la sigla "NS" il vetro antiproiettile antischeggia e come "S" l'antiproiettile semplice. Le 7 classi di appartenenza dipendono dal tipo di arma utilizzata.

**Tabella 1. Classificazione delle armi**

Classe	Arma	Calibro
BR1	Fucile	0.22 L
BR2	Pistola	9 mm Luger
BR3	Pistola	0.357 Magnum
BR4	Pistola	0.44 Rem. Magnum
BR5	Fucile	5.56 x 45
BR6	Fucile	7.62 X 51
BR7	Fucile	7.62 X 51 con nucleo in acciaio

## Installazione

L'installazione di un vetro antiproiettile richiede che il resto dello schermo o del sistema protettivo sia resistente allo stesso modo alle armi da fuoco: sebbene ciò appaia ovvio, viene talvolta trascurato. Bisogna inoltre evitare che siano creabili aperture attraverso le quali la protezione antiproiettile possa essere bypassata.

I vetri antiproiettile dovrebbero essere preferibilmente montati con tutti i lati protetti da robusti fermavetro che non devono poter essere rimossi con una leva creando una fessura, così come gli elementi di sostegno non devono essere accessibili all'aggressore. Anche il sistema di fissaggio dev'essere sufficientemente robusto tanto da evitare che il vetro possa essere spinto fuori dal telaio.

I principi base sul montaggio delle vetrate sono definiti dalla UNI 6534 "Vetrazioni in opere edilizie – Progettazione, materiali e posa in opera".

## Prestazioni dei prodotti

Le prestazioni dei vetri antiproiettile dipendono dalla composizione: ad esempio numero e spessore degli strati di vetro, numero e spessore degli strati di intercalare. La composizione dipende anche dal tipo di performance richieste, es. assenza di schegge o schegge ammesse. La tabella 1 fornisce dei possibili range di spessori per vetri antiproiettile resistenti a determinati tipi di arma.

**Tabella 2. Vetri resistenti ai proiettili**

9mm Parabellum	20-30mm vetro laminato
.44 Magnum revolver	40-60mm vetro laminato
N.A.T.O. fucile (proiettile blindato)	50-80mm vetro laminato
Fucile da caccia	40-50mm vetro laminato



*Bullet Resistant Glass*

# Resistenza all'esplosione

## Cause di esplosione

Le esplosioni sono sempre il risultato di un accumulo di sostanze esplosive. Ma possono avere cause accidentali o deliberate.

### **Esplosioni accidentali**

Ci sono molte sostanze potenzialmente esplosive. La lista è molto lunga ma include ovviamente i materiali più noti come munizioni, prodotti petroliferi ad altre sostanze chimiche organiche. Queste, in particolari situazioni critiche, possono generare esplosioni (uno scoppio a causa del gas in un'abitazione, la rottura di una bombola di propano, l'incidente ad una cisterna di petrolio, un'esplosione in uno stabilimento chimico, ecc.).

Il numero di rischi possibili è molto alto. Pochi edifici non hanno all'interno, o nelle zone circostanti, materiali potenzialmente esplosivi. D'altra parte la maggior parte delle persone sono piuttosto attente nell'utilizzo di questi prodotti e allo scopo di prevenire incidenti appositi codici e standard siano stati definiti per lo stoccaggio, il trattamento ed il trasporto di tali materiali.

### **Esplosioni provocate deliberatamente**

Molte esplosioni vengono provocate volontariamente, ma la maggior parte di esse avvengono a scopi pacifici durante il lavoro in miniera, operazioni di demolizione, prove particolari.

Precauzioni per limitare i danni e proteggere gli individui vengono sempre predisposte.

C'è anche un piccolo numero di esplosioni deliberate provocate da terroristi con l'obiettivo di infliggere danni sia alle persone che alle cose.

### **Livelli di esplosione**

Ogniquale volta un'esplosione avviene, la forza sviluppata dallo scoppio è direttamente proporzionale alla quantità di esplosivo ed inversamente proporzionale alla distanza dal punto in cui essa avviene.

Un'esplosione è essenzialmente un'onda di pressione nell'aria che prende la forma di impulso di pressione seguito da uno di depressione (vuoto parziale) che si propagano lungo una superficie sferica a partire dal punto in cui avviene lo scoppio. Un modo di descrivere questo effetto consiste nel valutare la sovrappressione e il tempo per il quale essa perdura. La sovrappressione si riduce con l'aumentare della distanza dall'esplosione mentre la durata cresce con la dissipazione dell'impulso di pressione (vedi tabella). Ci sono altri modi per descrivere un'esplosione, come impulso di carico per esempio, dal momento che il suo effetto non è poi dissimile da un impatto.

Se la causa di un'esplosione può essere prevista, è possibile stimare la sovrappressione e la durata per ciascuna distanza dal punto di scoppio. Di conseguenza gli effetti di un incidente in un'industria chimica possono essere valutati preventivamente, e perfino le conseguenze di un atto terroristico possono essere a grandi linee stimate. Purtroppo il tipo di conoscenza necessaria a compiere queste stime non è generalmente disponibile.

## Effetti incidentali

In aggiunta all'onda di pressione vera e propria, le forze che quest'ultima può generare causano la disintegrazione di materiali e riescono a proiettare oggetti a velocità molto alta. Questi frammenti possono a loro volta causare danni e sono spesso i responsabili delle ferite subite dalle persone.

Le ferite possono essere di tre tipi:

- Bruciature dovute al calore generato dall'esplosione,
- Ferite causate direttamente dall'onda di pressione – tipicamente in parti del corpo in vicinanza dell'esplosione
- Ferite da schegge – il vetro è uno dei materiali più a rischio.

## Dissipazione di un'onda di pressione causata da esplosione

Le onde di pressione si dissipano mano a mano che si allontanano dal luogo dell'esplosione.

Un'analogia può essere quella del suono di un tuono. Se il lampo è direttamente sopra la testa, il rumore del tuono è estremamente forte ma di breve durata. E' uno "schiocco". Allontanandosi dal punto in cui il fulmine si è formato, il rumore del tuono è meno forte per due ragioni. La più ovvia è che il suono si diffonde in un'area molto più vasta, per cui viene proporzionalmente ridotta la sua intensità. L'altra ragione è dovuta al fatto che l'onda tende ad allungarsi nella direzione in cui si muove, e il movimento nell'aria tende ad estenderla, sicché il rumore diventa un "rombo" che dura per un tempo più lungo.

L'onda di pressione causata da un'esplosione viene dissipata in modo simile.

## Progettare il vetro per resistere all'esplosione

### Informazioni sul progetto

Le informazioni richieste per studiare un vetro che resista ad esplosione possono essere ottenute soltanto tramite prove. Queste possono essere sia veri e propri test di esplosione (che possono essere effettuati solo da enti autorizzati) o prove di pressione che simulano l'evento esplosivo.

I dati ottenuti da test con esplosioni reali contengono informazioni su tipologie, dimensioni, combinazioni e caratteristiche del telaio, a vari valori di sovrappressione e di durata. Queste informazioni sono disponibili solo per le autorità ufficiali e per alcuni individui a cui è consentito di assistere alla prova.

I dati per la simulazione di esplosioni sono in genere limitati alla classificazione del materiale e forniscono piccole informazioni sulle prestazioni di finestre di misure, tipo e telaio diversi.

### Pressione di scoppio

Allo scopo di progettare un vetro che resista effettivamente all'esplosione, sono richiesti i dati seguenti:

- Sovrappressione stimata per lo scoppio ( $\text{kN/m}^2$ )
- Durata dello scoppio. Questa è tipicamente dell'ordine dei millisecondi, in un range comunemente compreso tra i 10 e i 100.

Le informazioni citate possono essere fornite soltanto da dipartimenti governativi e da alcune compagnie chimiche.

E' molto comune il caso in cui un committente sa che per una certa applicazione si va incontro al rischio di esplosione, ma non è in grado di quantificarne le caratteristiche.

Va notato che la pressione di scoppio è accompagnata da una depressione successiva, di valore all'incirca due terzi della sovrappressione positiva, per cui il sistema di supporto dovrà essere adeguato a sostenerla.

### Basi per il progetto

Possono essere seguite due vie per il progetto di vetrate resistenti all'esplosione. Si può considerare che il vetro debba restare intatto o che il vetro rimanga in sede nella finestra anche dopo che si è rotto.

### Vetro studiato per restare integro

E' possibile, se informazioni dettagliate sulle esplosioni sono disponibili, progettare la vetrata affinché il vetro non si rompa con lo scoppio. Qualora la sovrappressione sia relativamente elevata ( $> 10 \text{ kN/m}^2$ ) questo porterà il vetro temprato ad essere prescritto.

Pressioni al di sotto dei  $10 \text{ kN/m}^2$  rappresentano un'onda di pressione un po' più alta della pressione prevista per il vento in condizioni severe (ad esempio nel caso di zone soggette a tifoni o uragani la pressione del vento giunge non di rado a  $8 \text{ kN/m}^2$ ) e può conseguentemente essere considerata.

Sebbene sia possibile progettare un'unica lastra di vetro temprato per resistere ad una sovrappressione da scoppio, l'esplosione spesso proietta rottami e macerie che vengono trasportati dall'onda di pressione.

Se una scheggia dovesse colpire il vetro temprato, l'impatto potrebbe penetrare lo strato superficiale in compressione e causare la rottura del vetro. Per mantenere la finestra intatta, uno spessore extra di vetro temprato può essere laminato al vetro che può così resistere anche alla sovrappressione attraverso uno strato sacrificabile.

Il vetro laminato temprato, opportunamente dimensionato, può sopportare un'esplosione, anche in presenza di schegge, e mantiene la sua piena funzionalità fatta eccezione per casi in cui i rottami scagliati contro il vetro arrivano a danneggiarne l'intercalare.

Se il vetro rimanente integro, l'intera onda di pressione verrà trasmessa alla struttura di supporto. Anche quest'ultima richiederà dunque di essere opportunamente studiata per resistere alle forze applicate.

## Vetro studiato per restare in posizione anche dopo rottura

Questa è in genere la soluzione più economica per ottenere resistenza all'esplosione dal momento che al vetro non viene più richiesto di non rompersi.

Il principio di questa applicazione è l'utilizzo di intercalari plastici, come il PVB, che possono assorbire una quantità considerevole di energia. La deformazione dell'intercalare può essere studiata in maniera da assorbire l'energia dell'esplosione e da consentire al vetro di restare al suo posto nel telaio dopo lo scoppio. I pezzi di vetro rotto restano incollati al plastico e si evita in questo modo che diventino pericolose schegge vaganti.

Laddove si utilizzi una vetrata isolante, un vetro di sicurezza Pilkington dovrebbe essere utilizzato dalla parte opposta rispetto a quella prevista per un'eventuale esplosione (generalmente il lato interno). L'altra lastra può essere costituita da un qualsiasi tipo di vetro, dal momento che ogni frammento formato da essa verrà comunque fermato dal vetro di sicurezza. La presenza di questi frammenti non pregiudica il comportamento del vetro laminato; infatti la presenza di una lastra addizionale, sebbene debole, comunque incrementa le performance del vetro laminato.

Il funzionamento di Pilkington Security Glass è dovuto alla presenza dell'intercalare plastico e del vetro ad esso incollato che restano chiusi all'interno della scanalatura del telaio anche dopo rottura. Questo meccanismo di bloccaggio richiede che il sistema di fissaggio del vetro nel telaio sia adeguatamente profondo su tutti i quattro lati e può essere incrementato aumentando la pressione di fissaggio (solo per vetro monolitico) o utilizzando sigillanti adesivi.

Se la sovrappressione da esplosione e la sua durata sono state specificate, è possibile progettare un vetro di sicurezza in grado di sopportare quelle particolari condizioni.

Quando il vetro si rompe e consente al plastico di assorbire l'energia dall'esplosione, la forza trasferita al sistema di supporto viene ridotta in maniera significativa. Questo può consentire l'utilizzo di telai più leggeri rispetto a quelli che si dovrebbero prescrivere laddove il vetro dovesse restare integro.

### **Bloccaggio del vetro di sicurezza Pilkington all'interno del telaio**

Quando il vetro laminato si rompe, la lastra rotta risulta molto flessibile in quanto l'intercalare plastico non ha una propria resistenza a flessione ed il vetro andato in pezzi può dare solo un piccolo supporto in questo senso. Se gli è consentito, il vetro si piegherà dunque e uscirà dal telaio.

D'altro canto, la fuoriuscita dal telaio sarà possibile soltanto se il laminato rotto può flettere, e quindi non avverrà lungo la scanalatura del telaio ma solo lungo i lati non supportati dal telaio stesso. Se il plastico è in battuta su tutti i quattro lati, lo schiacciamento del vetro rotto dentro la battuta evita che il laminato esca fuori dagli angoli.

Questo comportamento può richiedere una battuta profonda, e possibilmente una certa pressione di fissaggio o l'uso di sigillanti adesivi, dal momento che se la flessione del vetro rotto al centro della lastra è sufficiente a tirarlo fuori dalla battuta al centro di un bordo, il vetro rotto non sarà più premuto all'interno e il laminato tenderà ad uscire fuori dagli angoli del telaio.



## Sistemi di fissaggio

Il tipo di supporto dato al vetro è un fattore importante per la resistenza del vetro alle onde di pressione.

### Fissaggio per vetro che debba restare integro

Laddove la vetrata sia stata progettata per restare integra (fatta eccezione per la lastra sacrificabile), il sistema di supporto può essere un tipo qualsiasi di telaio per vetro, ma dev'essere progettato in maniera da resistere alle forze che l'esplosione trasmette attraverso il vetro, ad esempio la sovrappressione, senza subire distorsioni significative e mantenendo il vetro in posizione.

Qualunque sistema di fissaggio progettato per questo dovrà avere delle caratteristiche di robustezza maggiori rispetto a quelli utilizzati per sopportare semplicemente la forza del vento. Ciò è particolarmente importante da sottolineare con riferimento ai serramenti convenzionali, dal momento che i serramenti stessi, il fissaggio del serramento all'edificio e la giunzione del fermavetro al serramento devono essere considerevolmente più resistenti del normale.

L'installazione di queste vetrate ha anche la conseguenza per la costruzione dal momento che l'esplosione verrà trasmessa alla struttura che dovrà essere opportunamente dimensionata per resistere ad essa.

Per questa ragione quest'opzione dovrebbe essere presa in esame soltanto per edifici nuovi. La robustezza del vetro e del telaio richiedono scelte costose.

### Fissaggio per vetro a cui sia consentito rompersi

Nei casi in cui sia previsto che il vetro possa giungere a rottura ma resti in opera nel telaio, è già stato spiegato come questo possa avvenire solo con vetrate che richiedono una profonda battuta su tutti i quattro lati. Il fermavetro che tiene la lastra in posizione deve rimanere intatto.

La flessibilità del vetro laminato rotto assorbe le forze agenti., riducendo i carichi trasferiti al telaio e alla struttura. Ad ogni modo, le forze saranno all'incirca dal 10% al 20% della sovrappressione totale creata dall'esplosione, per cui ad una sovrappressione di 50 kN/m<sup>2</sup> (che può essere sopportata da una lastra di laminato Pilkington da 7.5 mm nell'ambito di misure ragionevoli) corrisponderà una forza trasmessa al serramento e all'edificio pari a circa 5-10 kN/m<sup>2</sup>. Questo è un carico "eccezionale" ma l'aumento della forza applicata e l'effetto sulla struttura vanno valutati prima di scegliere questa opzione. La struttura preesistente potrebbe essere adeguata a sopportare questa forza ridotta.



Sebbene le caratteristiche di un telaio possano variare sensibilmente, in particolare dove test reali siano stati effettuati sulla vetrata, varie regole generali possono essere suggerite per assistere chi produca serramenti adatti allo scopo:

- La copertura del vetro sul bordo deve stare tra i 25 e i 35 mm
- Il fermavetro dovrebbe essere imbullonato ad intervalli frequenti
- Il fermavetro dovrebbe preferibilmente esercitare una pressione di fissaggio sul vetro monolitico
- Le vetrate isolanti non dovrebbero essere strette ma fissate con un sigillante siliconico per garantire adesione tra il serramento ed il vetro.

## Opzioni in cui il fissaggio e il telaio non possono essere alterati

Il caso di una completa sostituzione della vetrata, mantenendo il serramento, potrebbe non essere fattibile. Sostituire il vetro con un vetro di sicurezza Pilkington porterà ad avere una lastra in grado di mantenere insieme i pezzi di vetro dopo che la stessa sia giunta a rottura.

Il serramento esistente potrà però non consentire al vetro laminato di sviluppare tutta la sua potenziale resistenza, dal momento che potrebbe non essere sufficientemente fissato, o troppo inconsistente per restare fissato alla costruzione. Sebbene non sia possibile modificare la robustezza del telaio, può essere prudente migliorarne il fissaggio alla struttura.

Perfino se il telaio resta intatto e fissato alla struttura, il fissaggio dei bordi del vetro potrebbe non essere sufficiente a mantenerlo in opera nel telaio se non per basse sovrappressioni.

Sostituire la lastra con un vetro di sicurezza Pilkington è meglio di niente quando il rischio di esplosione sia sensibile. A bassi livelli di sovrappressione questa risulta certamente una scelta efficace.

## Altre considerazioni

La protezione delle persone dagli effetti delle esplosioni ed in particolare dal pericolo di pezzi di vetro vaganti, può essere aumentata dall'applicazione sulla lastra di film resistenti all'esplosione o dall'uso di schermature particolari.

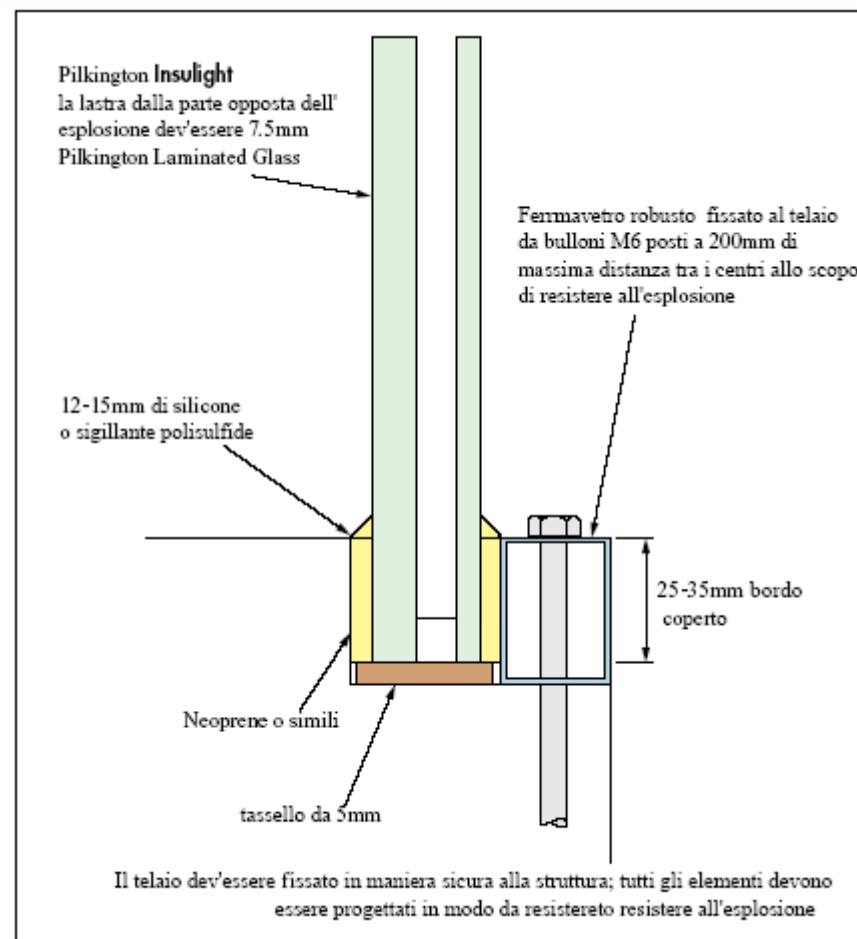
## Film resistenti all'esplosione

Le pellicole in questione fanno sì che il vetro si comporti in maniera simile al vetro laminato e richiedono le stesse precauzioni per la messa in opera. I film antiesplosione non rendono il vetro più resistente né contrastano la sua rottura.

La differenza principale tra l'utilizzo del vetro laminato e le pellicole resistenti all'esplosione è la durata. L'usura e l'umidità combinate con gli agenti atmosferici limitano la vita media in servizio di queste pellicole e ne richiedono la sostituzione ad intervalli di tempo regolari.

## Schermature antiesplosione

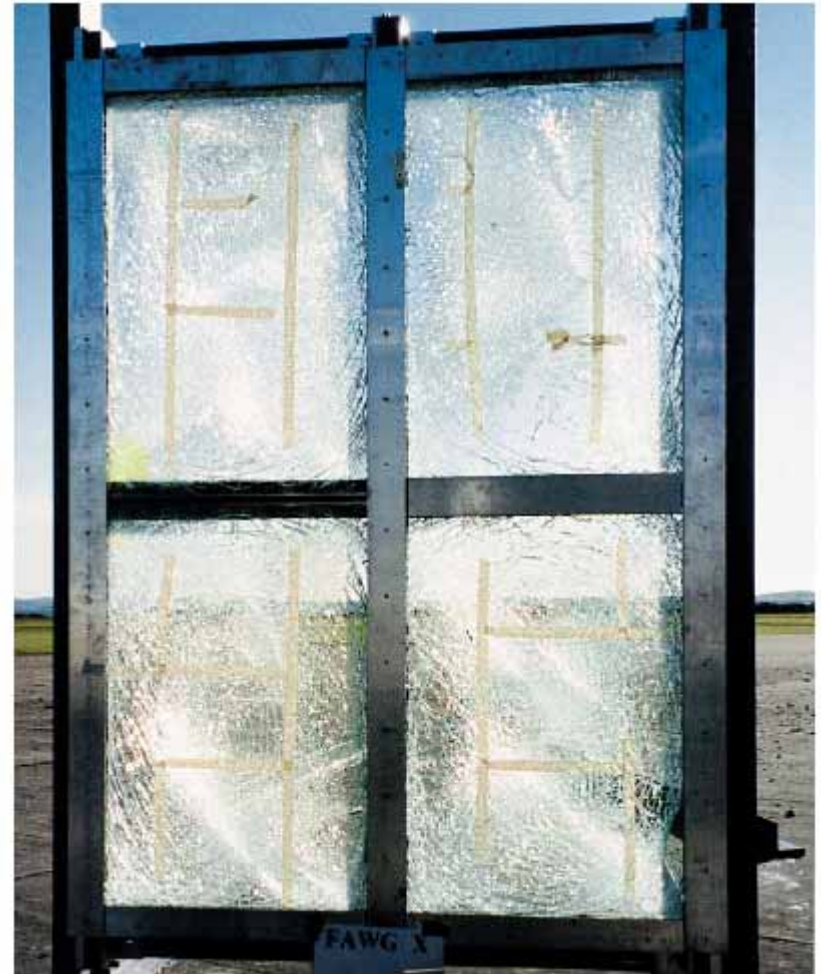
Le schermature antiesplosione sono progettate per avvolgere ed intercettare qualunque oggetto vagante che possa giungere dalla finestra. Questo include sia oggetti esterni che parti della finestra stessa. La flessibilità e la forza dei materiali della schermatura consentono di assorbire l'energia del frammento, avvolgendolo in un involucro relativamente soffice che lo rende meno pericoloso per le persone. Ad ogni modo le schermature antiesplosione non possono essere utilizzate da sole dietro ad un vetro ricotto semplice: le schegge potrebbero strappare la schermatura. Le schermature antiesplosione forniscono le loro prestazioni migliori quando utilizzate insieme a vetri laminati, temprati o muniti di film antiesplosione, che potrebbero venire rimossi a causa dell'esplosione dal telaio.



**Figura 1. Possibile esempio di montaggio di vetrata isolante resistente all'esplosione**



**Campione di prova prima del test di esplosione**



**Campione di prova dopo il test di esplosione**

# Vetri unidirezionali

Uno specchio unidirezionale vero e proprio non esiste: la natura della luce è tale che la quantità di luce trasmessa da un oggetto o da un materiale sia la stessa in entrambe le direzioni. Ad ogni modo un effetto “one-way” si può raggiungere.

Un modo molto semplice per ottenere una visione unidirezionale è un’imposta che possa essere controllata da un lato solo, consentendo all’osservatore di vedere a propria discrezione. Un prodotto di questo tipo può comprendere pannelli multipli parzialmente opacizzati, in cui tramite un comando manuale una lastra può essere posizionata in maniera da coprire o lasciare libere le parti trasparenti consentendo o meno la visibilità attraverso il vetro. Peraltro questo tipo di visione unidirezionale non è certamente quello che salta per primo alla mente pensando al vetro. Ci sono due tecniche basilari attraverso le quali al vetro possono essere conferite caratteristiche di unidirezionalità. La prima è analoga all’utilizzo di tende a rete, la seconda consiste nell’impiego di uno specchio parzialmente riflettente. Entrambi gli effetti dipendono, in misura maggiore o minore, dal livello di illuminazione ai due lati del materiale interposto.

## L’effetto “tenda a rete”

L’effetto “tenda a rete” si basa su un reticolo di aree riflettenti alternate ad aree trasparenti. Quando la luce è ridotta su un lato, l’effetto della radiazione luminosa riflessa dal lato più illuminato è predominante rispetto a quello della radiazione luminosa trasmessa dal lato più buio, quando il materiale interposto sia guardato da una certa distanza. Durante il giorno, il livello di luce esterna è molto più elevato di quello interno ad un edificio, e questo fa sì che osservare dall’esterno verso l’interno sia molto difficile, almeno che l’osservatore non sia così vicino da poter ignorare la riflessione e da riuscire a vedere attraverso gli interstizi della maglia. D’altra parte un osservatore che si trovi all’interno dell’edificio (lato meno illuminato) percepisce una riflessione molto ridotta dal momento che l’intensa trasmissione luminosa proveniente dall’esterno è predominante rispetto a quella riflessa dall’interno, dando un effetto generale di buona visibilità.

L’effetto è evidente con queste tende a rete ma si applica anche a vetri con serigrafia a punti (di colore bianco o chiaro) o con decorazioni particolari sui plastici dei laminati. L’effetto può essere enfatizzato rendendo le aree opache poco riflettenti sul lato dell’osservatore, e molto riflettenti sul lato dell’osservato.

Questo tipo di effetto è utilizzato per le pareti dei campi da squash che sono stampati con punti bianchi dalla parte dei giocatori, e con una corrispondente matrice scura verso l'esterno. Con un appropriato rapporto di illuminazione, luce intensa nel campo da gioco e più tenue all'esterno, i giocatori percepiranno un muro bianco mentre il pubblico avrà una visione eccellente della partita.

Un altro sistema consiste nell'utilizzo di strisce argentate alternate a strisce chiare sul vetro. L'argento dovrà essere opportunamente protetto dalla corrosione per mezzo di una vernice opaca. Quando la lastra è guardata dal lato dell'osservato, l'aspetto sarà quello di uno specchio (la riflessione dell'argento tende a predominare sulla trasmissione dell'immagine attraverso le sottili strisce chiare. Sul lato opposto invece, la riflessione da parte della vernice opaca è ridotta e non disturba la trasmissione dell'immagine percepita dall'osservatore attraverso le parti trasparenti.

Questo tipo di applicazione fornisce un prodotto one-way anche quando il livello di illuminazione sia simile su entrambi i lati, a causa della diversità della riflessione delle finiture e le dimensioni relative delle strisce chiare e quelle opache.

## Specchio semiriflettente

Uno specchio parzialmente riflettente, come Pilkington **Mirropane™**, è un vetro coatizzato che ha una elevata riflessione da parte del coating e una trasmissione luminosa piuttosto bassa. La riflessione è normalmente simile per entrambi i lati e la trasmissione la stessa in entrambe le direzioni.

Il segreto del successo degli specchi semiriflettenti sta nel controllo dei livelli d'illuminazione su entrambi i lati del vetro.

Con qualunque vetro è possibile ottenere un effetto visivo one-way. L'effetto "specchio" avviene quando il rapporto tra la quantità di luce riflessa dal vetro supera la quantità di luce trasmessa attraverso il vetro di un fattore che è approssimativamente 25 o più.

Guardando dall'interno di un edificio verso l'esterno attraverso una lastra di vetro chiaro di notte, in una zona non illuminata da luci stradali, si ha esattamente questo effetto, cioè nessuna percezione visiva se non la riflessione dell'interno della stanza. Un osservatore che si trovi all'esterno potrà invece vedere l'interno dell'edificio con grande facilità. Comunque, con molti tipi di vetro, il livello di illuminazione richiesto dalla parte dell'osservatore per creare l'effetto è talmente basso da essere improponibile per un ambiente lavorativo.

Per esempio, con una lastra di Pilkington **Optifloat™** Clear da 6 mm, il rapporto tra i livelli di illuminazione dovrebbe essere maggiore di 250:1. Ridurre la trasmissione luminosa del vetro aiuta molto. Una lastra di Pilkington **Optifloat™** Grey da 12 mm produce un effetto one-way con un rapporto di illuminazione 60:1. Ad ogni modo prodotti utilizzabili nella pratica richiedono una riflessione luminosa più elevata ottenuta tramite deposizione di un coating sulla superficie.

Ottimizzando le proprietà ottiche del vetro si riesce ad ottenere un comportamento unidirezionale utilizzando un rapporto di illuminazione che scende a 7:1. Pilkington **Mirropane™** è un prodotto che ha caratteristiche molto vicine a quelle ottimali e che funziona efficacemente con un rapporto d'illuminazione 7:1 tra il lato osservatore e il lato osservato. Con questo rapporto relativamente basso, un livello di illuminazione ragionevole per un ambiente lavorativo può essere mantenuto sul lato osservatore, evitando che quell'ambiente diventi una semplice postazione di osservazione.

Osservazioni ulteriori sugli schermi di sicurezza

L'efficacia di uno schermo di sicurezza può essere incrementata prendendo alcune ovvie precauzioni riguardo l'arredamento, la sistemazione e l'utilizzo delle stanze di osservazione.

L'utilizzo di elementi di arredamento opachi e più scuri possibile nella stanza di osservazione può contribuire a migliorare l'unidirezionalità.

Ogni luce dovrebbe essere schermata in maniera da non essere vista dall'ambiente osservato. Allo stesso modo i monitors dei computer o altre sorgenti luminose non dovrebbero venire rivolte verso il vetro.

Gli utilizzatori delle stanze di osservazione dovrebbero indossare abiti scuri piuttosto che chiari ed evitare di muoversi attraverso la stanza più di quanto richiesto dalle esigenze di lavoro.

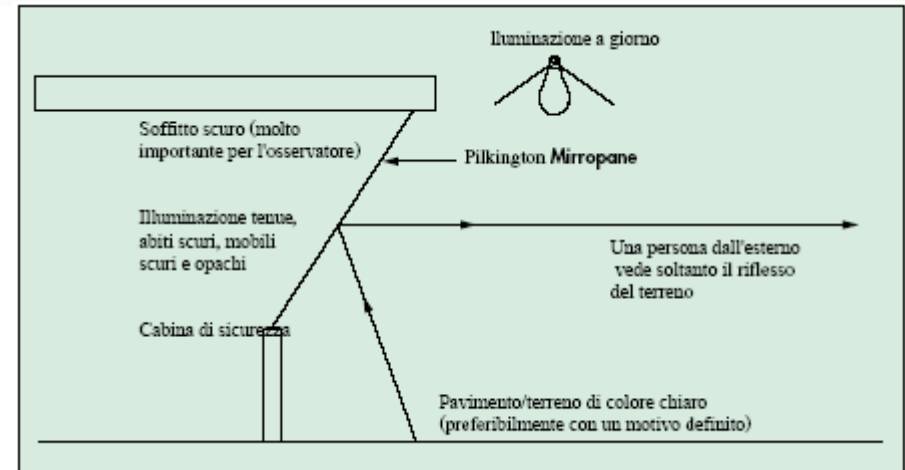


Pilkington Mirropane - Lato osservato

## Visione unidirezionale in finestre esterne

Dal momento che tutti i metodi di realizzazione della visione unidirezionale si basano sulla scelta di un rapporto d'illuminazione favorevole, essi funzionano meglio in condizioni di luminosità controllata. Capita però che sia desiderabile avere finestre di osservazione sulle mura esterne, ma questo crea il problema dell'incontrollabilità della luce naturale esterna. Durante il giorno, il vetro one-way può essere perfettamente efficace, ma durante la notte la situazione potrebbe venire completamente capovolta.

In cabine di osservazione di ingresso può essere possibile creare un effetto unidirezionale per tutto l'arco della giornata. Utilizzando una forte illuminazione a giorno e utilizzando Pilkington **Mirropane**<sup>TM</sup> con un'inclinazione verso l'esterno, è possibile creare le condizioni in cui non ci sia modo per l'osservatore esterno di vedere dentro alla cabina, sebbene il personale di sicurezza sia in grado di farlo dall'interno. Il livello di illuminazione all'interno della cabina dovrà essere determinato sperimentalmente e dovrà probabilmente poter essere modificato per bilanciare cambiamenti delle condizioni di illuminazione esterna.



**Figura 3. Visione unidirezionale verso l'esterno**

*Questa pubblicazione fornisce una descrizione generale del prodotto e dei materiali.  
E' responsabilità dell'utilizzatore di questo documento assicurare che il loro uso  
sia appropriato per ciascuna particolare applicazione e che tali applicazioni siano in accordo  
con tutte le norme legislative locali e nazionali, con le normative tecniche, con i  
codici pratici e gli altri requisiti.*

*Pilkington Italia Spa con la presente declina ogni responsabilità  
per qualunque errore od omissione proveniente da questa pubblicazione  
e per qualunque conseguenza da esso derivato.*

*I nomi dei prodotti Pilkington mostrati in **Futura Heavy** sono marchi  
registrati del Gruppo Pilkington.*



**PILKINGTON**

**Pilkington Italia Spa**

Via delle Industrie, 46 30175 Porto Marghera (Ve)

Tel 041 5334911 Fax 041 5317687