

# LA MATERIA VETRO

GIANNI ROYER CARFAGNI  
VALENTINA BEATINI

Il termine materia (dal latino materia o materies), corrisponde al greco ὕλη, letteralmente *selva* e quindi legna-legname e, per estensione, materiale da costruzione. Lo scopo di questo contributo sarà quello di illustrare le peculiarità del vetro rispetto ad altre materie più tradizionalmente utilizzate nell'edilizia, limitandoci però soltanto alle sue proprietà come materiale da costruzione e non affrontando, per ovvi motivi di brevità, gli aspetti legati al soddisfacimento dei requisiti termici, d'illuminazione, acustici o energetici del pacchetto vetrato.

Qualità essenziale del vetro (dal latino *video*, vedere) è la sua trasparenza e, con essa, la capacità di realizzare costruzioni dal minimo impatto visivo. Ci sono altri materiali trasparenti, come quelli a base polimerica, ma la loro scarsa durezza li rende adatti solo ad opere temporanee al contrario del vetro che, unico!, sa coniugare estetica e durabilità.

Caratteristica importante per un buon materiale da costruzione è la *ductilità*, ovvero la capacità di deformarsi plasticamente sotto carico prima di giungere a rottura. Essa permette di mantenere tolleranze di lavorazione, di arrestare la propagazione delle fratture, di dare avvisaglie di pericolo prima del collasso consentendo la sostituzione di un elemento danneggiato o altre contromisure. Un materiale fragile, al contrario, non può mitigare possibili concentrazioni di sforzo intorno a fori, angoli e spigoli ed è altamente vulnerabile, in quanto una frattura

locale si propaga quasi istantaneamente provocando la crisi catastrofica, rendendo pertanto difficile anche l'evacuazione degli ambienti interessati dal pericolo.

Il vetro è il materiale fragile per antonomasia e richiede perciò una progettazione condotta secondo criteri diversi da quelli usati nelle strutture in acciaio o calcestruzzo armato: aumentare le dimensioni di una trave in vetro, ad esempio, non significa affatto renderla più sicura. Nelle strutture in vetro non si può mai escludere la rottura, sia per un atto vandalico, sia per fratture spontanee dovute alle caratteristiche intrinseche del materiale. L'unico approccio corretto alla progettazione è pertanto quello del *fail-safe design*, un termine derivato dalla progettazione aeronautica dove si accetta che alcuni componenti possano crollare in situazioni estreme, ma questo non deve compromettere la stabilità globale del sistema. Le famose facciate delle Grandes Serres nel parco de *La Villette* a Parigi sono costituite da lastre in vetro temperato appese l'una all'altra con un fissaggio a rotule in corrispondenza degli angoli. Nel progetto, Peter Rice deve preoccuparsi di prevedere possibili percorsi alternativi per i carichi appesi in caso di rottura di una lastra, progettando l'aggancio in modo che le lastre rimaste integre possono equilibrare il carico di quelle contigue. Da quel rivoluzionario progetto del 1986 si è lavorato molto per rendere il vetro intrinsecamente migliore,

# GLASS AS MATERIAL

GIANNI ROYER CARFAGNI  
VALENTINA BEATINI

The word "material" (from Latin, materia o materies) corresponds to the Greek ὕλη, literally *woods*, hence wood-lumber, and by extension, a building material. This article's purpose is to illustrate the special qualities of glass compared to other materials more traditionally used in buildings. Here, we are focusing only on its properties as a building material, and, for the obvious reason of limited space, are not discussing its aspects related to its meeting thermal, lighting, acoustic and energy demands in a glass package.

One of the most fundamental qualities of glass (the Italian word "*vetro*" comes from Latin *video*, to see) is its transparency and its resulting ability to make buildings that have a minimum visual impact. There are other transparent materials such as polymer-based ones, but their poor hardness makes them suitable only for temporary projects, whereas glass is alone in its ability to combine appearance and durability. An important feature of a good construction material is *ductility* or the ability to deform plastically under loads without breaking. This gives it manufacturing tolerances, stops crack progression, shows signs of danger before collapse so that a damaged piece can be replaced or other measures taken. In contrast, a fragile material cannot mitigate stress concentration around holes, corners and edges. It is highly vulnerable, as a local breakage can spread almost instantaneously, causing a

catastrophic collapse, possibly even making it difficult to evacuate rooms put in danger. Glass is the fragile material par excellence. This means it has to be designed with different criteria than that for steel or reinforced concrete structures. For example, increasing the size of a glass beam certainly doesn't mean making it more secure. For glass structures, you can never assume breakage won't happen, whether by vandalism or spontaneous breakage because of the material's intrinsic nature. The only proper approach to designing with it is *fail-safe design*, a term which comes from aeronautic design, recognizing that though some components could collapse in extreme situations, this must not compromise the system's overall stability. The glazed façades of the Grandes Serres in the *La Villette* park in Paris are made of tempered glass panels suspended on each other with rotule fixings at the corners. For its design, Peter Rice had to envision different possible alternative path for the suspended loads if a panel broke. He designed the attachment so that still-intact panels could balance the load of those next to them. Since that breaking-through 1986 project, much has been done to make glass inherently better, developing different manufacturing techniques and quality tests. However, the risk of spontaneous breakage can only be somewhat controlled, never eliminated. The entrance canopy of the Yurakucho line of the Tokyo subway forms a cantilever of about







2

sviluppando diverse tecniche di lavorazione e test di qualità, ma i pericoli di una rottura spontanea possono essere parzialmente controllati, mai esclusi.

La pensilina d'ingresso alla linea Yurakucho della metropolitana di Tokio forma uno sbalzo di circa 10m con lastre incernierate fra loro secondo uno schema che ricorda le traviature Fink. Il progettista, Tim MacFarlane, si preoccupa di verificare che in caso di crisi di un elemento non si abbia un collasso improvviso, conducendo particolari test a rottura in prossimità dei fori e perni passanti. Dello stesso progettista anche il nuovo padiglione della casa-museo di John Keats a Hampstead, interessante per le connessioni travi-colonna realizzate senza alcun inserto metallico usando solo incollaggi, che riducono i rischi di rottura perché minimizzano le concentrazioni di tensione in quanto il vetro è privo di fori e contatti con perni passanti.

Le ampie superfici vetrate che caratterizzano molti edifici alti sono tensostrutture formate da vetro e cavi. La duttilità globale del sistema è qui ottenuta collegando le lastre in vetro ad elementi metallici, la cui riserva plastica compensa, almeno in parte, la fragilità del vetro, naturalmente a patto che il collegamento sia idoneo. Per la copertura della piazza interna della Rhoen Clinic a Bad Neustadt, Werner Sobek propone tra i primi una "pelle" composta da una rete metallica di supporto ricoperta da squame in vetro. L'attacco tra i due materiali

52



3

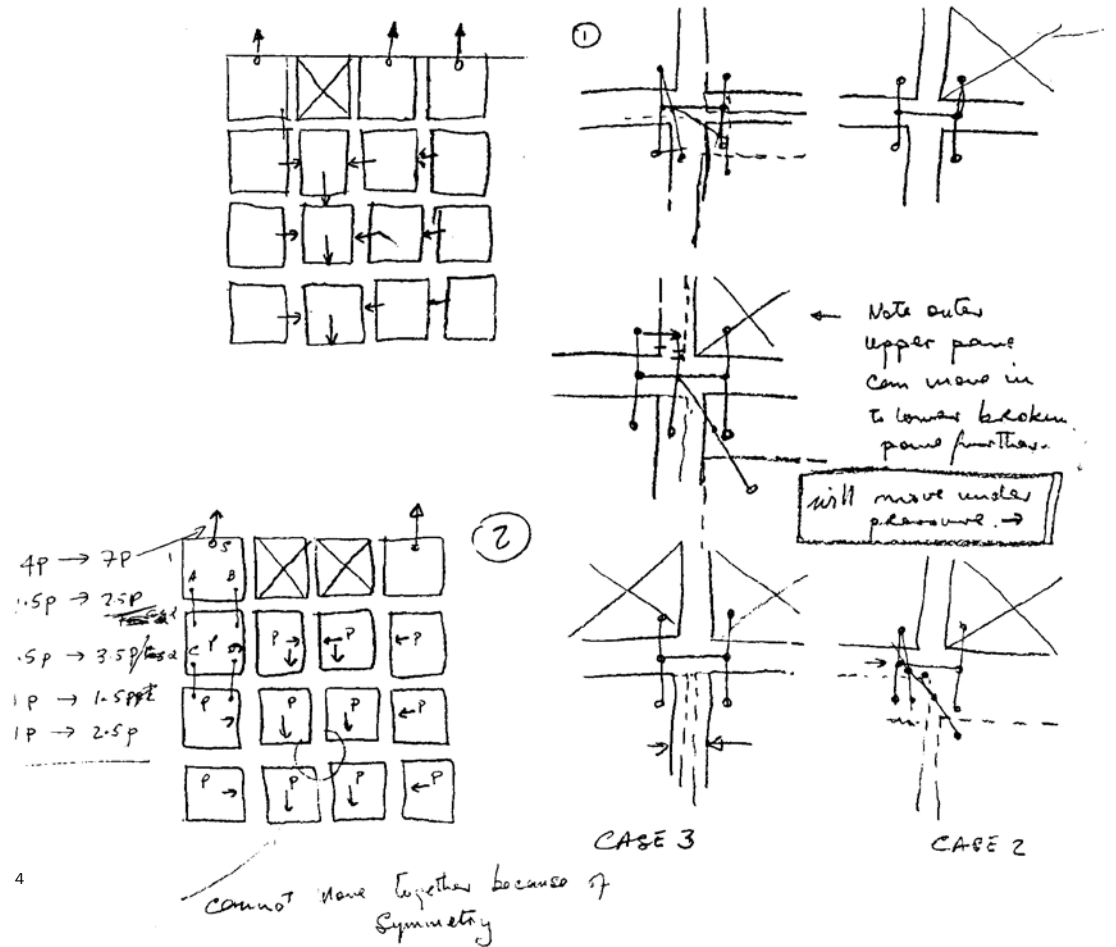
10m with panels hinged together in a pattern reminiscent of the Fink trusses. The - designer, Tim MacFarlane, took care that if there were a problem with one component, there wouldn't be a sudden collapse, conducting special breakage tests near the holes and passing-through studs. MacFarlane also designed the new hall of the John Keats house-museum in Hampstead. It features interesting beam-column connections with no metal inserts using only adhesive. This reduces breakage risks because it minimizes stress concentrations as the glass has no holes or contact with through studs.

The large glass surfaces typical of many tall buildings are tensile structures of glass and cables. Here, the system's overall ductility is achieved by connecting glass panels to metal components whose plasticity margin at least partly compensates for glass's fragility, only, of course, if the connection is suitable. For the roof of the inner square of Rhoen Clinic in Bad Neustadt, Werner Sobek was among the first to use a "skin" made of a metal support covered with glass scales. The attachment between the two materials is highly original, using folded metal bars that wrap around the panes at their edge. For the structure shown in figure 7, designed by Ludwig & Weiler for Maximilianmuseum in Augsburg, the entire system's stability is provided by cable stays anchored to the surrounding buildings. Here the panels have no metal frames around them, being simply placed together at

1 Ohlhausen DuBois  
Architects, ampliamento  
della casa Klein a Santa Fe

2-3 Esempi di tensostrutture  
formate da vetro e cavi

4 Peter Rice, schizzi di studio  
per le facciate in vetro delle  
Grandes Serres nel parco de  
La Villette a Parigi



1 Ohlhausen DuBois  
Architects, expansion of the  
Klein House in Santa Fe

2-3 Examples of tensile  
structures made of glass  
and cables

4 Peter Rice, schizzi di studio  
per le facciate in vetro delle  
Grandes Serres nel parco de  
La Villette a Parigi

their corners. This could be called one of the boldest designs ever built.

The pursuit of extreme transparency leads to minimizing as far as possible the size of the metal supports. Here, the plasticity margins have to be given to the glass itself, combined with transparent polymer interlayers, which, if there is a breakage, hold the glass fragments like an enclosing membrane, in order to prevent catastrophic collapses. Excellent post-breakage performance can be achieved with new generation of ionoplast polymers. Their mechanical characteristics are far and away superior to those of the more traditional polyvinyl butyral (PVB), giving the laminated package residential bearing capacity even after the glass is completely broken. This makes it possible to build transparent structures in which the glass panel becomes a structural material in its own right, as was seen in the graceful spiral staircase in the Apple Store in Osaka.

Transparent adhesives and new interlayers make it possible to build "all glass" systems (what the Germans call *Ganzglas*). For example, the expansion of the Klein house in Santa Fe is all glass: laminated glass panels support the metal roof alone (without pillars or other supports). The structural design provided that two adjacent panels could collapse without compromising the stability of the whole. Ionoplast polymers can also be laminated

directly to metals just like glass. The three materials (glass, polymer and steel) can be therefore joined in autoclaves to create a composite product. This ability is the basis of the "Gecko" connection system in which the interlayer is bent at a right angle at the corners of the sheet and then laminated, with the glass, to metal winglets, which can be connected easily to the back structure. Without bolts or through studs, the metallic elements are minimized, as seen on the façade supported by a single-cable tensile structure in Figure 10. The panels used in this system have quite impressive post-breakage performance. Even if the panels are completely broken, the interlayer both holds the fragments and stays connected to the bearing substructure, acting like a structural membrane.

Glass can also be used to make curved surfaces. If heated to the softening point, glass can be laid on a surface and hardened to the desired shape. This technique, called hot forming, makes curved panes with predetermined radii of curvature. However, architectural design explores curved surfaces that are as general as possible (free form), hard to limited by only having a set number of molds. Cold forming, a technique developed in Holland, based on architectural input, can make use of the great flexibility of a thin flat plate to mechanically force the glass to the back-structure in the desired form. Rather than



è molto originale essendo realizzato con barre metalliche piegate che avvolgono le lastra in corrispondenza del bordo. Nella struttura della figura 7, progettata da Ludwig & Weiler per il Maximilianmuseum di Augusta, la stabilità dell'intero sistema è affidata alle funi traenti ancorate agli edifici circostanti, ma qui le lastre sono prive di telai metallici di contorno e sono semplicemente accostate l'una all'altra in corrispondenza degli spigoli. Questo progetto è forse uno dei più "arditi" mai realizzati. La ricerca di una trasparenza estrema spinge a ridurre al minimo le dimensioni dei supporti metallici. In questo caso le riserve di duttilità devono essere affidate allo stesso vetro in combinazione con intercalari polimerici trasparenti i quali, in caso di rottura, trattengono i frammenti di vetro come una membrana di confinamento, evitando così cadute catastrofiche. Ottime prestazioni post-rottura si possono ottenere con polimeri ionoplastici di nuova generazione che, presentando caratteristiche meccaniche di un ordine di grandezza superiori a quelle del più tradizionale polivinilbutirrale (PVB), assicurano al pacchetto stratificato una capacità portante residua anche dopo la rottura totale del vetro. È possibile allora costruire strutture trasparenti nelle quali la lastra vetrata diviene materia strutturale di per sé, come nell'elegante scala a spirale dell'Apple Store di Osaka. Gli incollaggi trasparenti e i nuovi intercalari rendono possibile realizzare sistemi a "tutto

vetro" (quello che i tedeschi definiscono *Ganzglas*). È a tutto vetro l'ampliamento della casa Klein a Santa Fe: pannelli in vetro laminato sostengono da soli (senza pilastri o altro) la copertura metallica e, nel progetto strutturale, è stato previsto che due pannelli contigui possano collassare senza compromettere la stabilità dell'insieme.

I polimeri ionoplastici, inoltre, sono laminabili direttamente ai metalli proprio come il vetro. Pertanto, le tre materie (vetro, polimero ed acciaio) possono essere rese solidali in autoclave per fornire un prodotto composito. Questa possibilità è alla base del sistema di connessione Geco, nel quale l'intercalare è piegato ad angolo retto in corrispondenza degli angoli della lastra e quindi laminato, insieme al vetro, ad alette metalliche facilmente collegabili alla retrostruttura. Senza bulloni o elementi passanti, gli elementi metallici sono ridotti al minimo, come nella facciata su tensostruttura monocavo della figura 10. Il comportamento post-rottura di pannelli che utilizzino questo sistema è veramente notevole: se anche i vetri fossero completamente frammentati, l'intercalare non solo tratterrebbe i frammenti, ma resterebbe connesso al retro-telaio portante agendo come una membrana strutturale. Col vetro si possono anche realizzare superfici curve. Se riscaldato fino al punto di rammollimento, il vetro può essere adagiato e fatto indurire su superfici della forma voluta. Con questa tecnica, detta sagomatura a caldo

5 Werner Sobek, copertura della piazza interna della Rhoen Clinic a Bad Neustadt

6 La scala a spirale dell'Apple Store di Osaka

7 Ludwig & Weiler, copertura in vetro nel Maximilianmuseum di Augusta



5 Werner Sobek, roof of the inner square of Rhoen Clinic in Bad Neustadt

6 The spiral staircase in the Apple Store in Osaka

7 Ludwig & Weiler, glass roof in the Maximilianmuseum in Augsburg





varying the molds, the forces applied are varied, which means that each pane can take on infinite curvatures, as shown in the designs in Fig. 8 and 9.

Architectural ingenuity strives to overcome the pane's two-dimensional nature to make three-dimensional glass constructions. Figure 11 shows the 11-meter high tower of the 11M memorial in Madrid (structural design by Jörgen Schlaich), made of 15,600 solid glass "bricks" that are "laid" with resins. The structure's massive appearance is matched by its structural behavior. In the glass wall, the resin adhesive gives the bearing package a plasticity margin against breakage because of the resin film's containment effect. In many ways it works like a normal brick wall, in which, of course, it is the mortar to give plasticity to the whole.

There are still more expressive possibilities. For the restoration of the Menokin House in Virginia, partially ruined, Tim Macfarlane recently proposed rebuilding the missing part completely

in glass so that it is fully transparent. It became necessary to design the details with great care to be able to combine very dissimilar materials like wood-glass, brick-glass and stone-glass. Each missing piece, brick or rafter, was rebuilt in glass. The original remnants will be inserted in a transparent, impalpable wall-display case. We used these projects to try to show how glass can be more than a transparent material on the "sidelines" to become a construction material in its own right that requires an all-encompassing design approach. For glass as a material, perhaps more than other materials, it is absolutely necessary to forge the inseparable relationship between form and structure that has always been the heart of the art of building.





8

56



9



10

8-9 Examples of architectures that use glass panes curved by cold forming

10 Façade supported by a single-cable tensile structure

11 The high tower made of solid glass "bricks" of the 11M memorial in Madrid

8-9 Esempi di architetture che impiegano lastre curve in vetro, sagomate a freddo

10 Facciata su tensostruttura monocavo

11 La torre in "mattoni" pieni in vetro del monumento 11M a Madrid

(*hot forming*), si possono ottenere lastre curve con predeterminati raggi di curvatura. Il progetto d'architettura, però, esplora superfici curve le più generali possibili (*free form*), che con difficoltà possono essere costrette entro i vincoli imposti dall'avere solo un numero limitato di stampi. Con la sagomatura a freddo (*cold forming*), una tecnica sviluppata in Olanda proprio dall'input architettonico, è possibile sfruttare la grande flessibilità di una lastra piana sottile per forzare meccanicamente il vetro alla retro-struttura nella forma voluta. Non si variano gli stampi bensì le forze applicate e, pertanto, ciascuna lastra può assumere infinite curvature, come dimostrano i progetti riportati nelle immagini 8 e 9.

L'inventiva architettonica tende a superare anche il carattere bidimensionale della lastra proponendo costruzioni tridimensionali in vetro. La figura 11 mostra la torre alta 11 metri del monumento 11M a Madrid (progetto strutturale di Jörgen Schlaich) costruito da 15.600 "mattoni" pieni in vetro "murati" con resine. L'aspetto massivo del sistema corrisponde al suo comportamento strutturale. Nella muratura in vetro i commenti di resina garantiscono al pacchetto portante una riserva di duttilità a rottura grazie all'azione di contenimento che il film di resina può svolgere. Il funzionamento

(fig. 9b) è sotto molti aspetti simile a quello di una muratura ordinaria di laterizio, nella quale è ben noto che sono i commenti di malta ad assicurare la plasticità dell'insieme. Ma le possibilità espressive non si esauriscono qui. Per il restauro della Casa Menokin in Virginia, parzialmente diroccata, Tim Macfarlane ha recentemente proposto di ricostruire totalmente in vetro la parte mancante in modo che risulti completamente trasparente. Uno studio esasperato dei particolari si è reso necessario per poter associare fra loro materiali completamente eterogenei come legno-vetro, laterizio-vetro o pietra-vetro. Ogni elemento mancante, mattone o travicello, è stato ricostruito in vetro. I resti originali saranno inseriti in un muro-teca trasparente e impalpabile.

Attraverso questi progetti si è cercato di mostrare come il vetro non sia solo un materiale trasparente "di contorno", ma un vero e proprio materiale da costruzione, che impone una cultura del progetto omnicomprensiva. Per la materia vetro, forse più che per altre, si è pertanto costretti a realizzare quel rapporto inscindibile tra forma e struttura che caratterizza da sempre l'arte del costruire.

