

Il vetro strutturale

Autor(en): **Paronesso, Antonio / Passera, Rinaldo**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica =
Swiss review of architecture, engineering and urban planning**

Band (Jahr): - **(2002)**

Heft 6

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-132471>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Il vetro strutturale

Antonio Paronesso,
Rinaldo Passera

Passera&Pedretti - Consulting Engineers

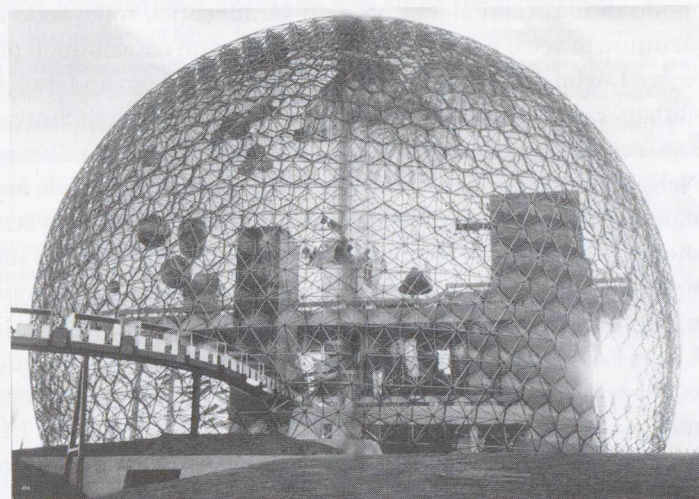
1. Introduzione

Le rinnovate richieste architettoniche di sempre più grandi e caratterizzanti superfici vetrate, hanno spinto gli ingegneri strutturisti e le industrie vetrarie ad intensificare le ricerche per lo sviluppo di tecnologie e prodotti applicativi altrettanto innovativi. A tal fine si impone l'uso del vetro nel modo più trasparente e spettacolare, ovvero l'uso di lastre prive di intelaiature metalliche e di massicce strutture portanti. Già nel passato il vetro era impiegato principalmente per elementi staticamente subordinati, o terziari, di una struttura portante. La mancanza di sufficienti conoscenze sul comportamento di questo materiale e sul suo trattamento tecnico di sicurezza ne impedivano il suo impiego come elemento primario o secondario. Esso veniva considerato «troppo fragile» per poter assumere funzioni portanti. Tuttavia opere spettacolari sono state realizzate anche nel passato come per esempio il palazzo di cristallo di Londra ideato da Paxton nel 1851 o la copertura del tetto in vetro della galleria Vittorio Emanuele II a Milano costruita nel 1867. Altro esempio è fornito dalla cupola in vetro della sede della borsa di Parigi costruita molto prima nel 1811. Un'altra costruzione più recente è la cupola del padiglione USA per l'Expo di Montreal nel 1967 e progettata da Buckminster Fuller (fig. 1).

Le strutture reticolari con riempimento in vetro del passato erano tuttavia delle forme matematicamente regolari. Solo più recentemente ingegneri come Frei Otto e poi Jörg Schlaich seppero sviluppare strutture in filigrana di forma libera sempre più ardite e leggere ottenendo il massimo della trasparenza ed il minimo impiego di elementi di acciaio. La rigidità, che nel passato era ottenuta con strutture metalliche importanti ma che andavano a scapito della trasparenza, poté essere raggiunta usando cavi fini disposti sulla diagonale (fig. 2).

La leggerezza della struttura scaturisce così dall'interazione degli sforzi di trazione e compressione con il momento flettente quasi eliminato.

I moderni mezzi di calcolo come il metodo agli elementi finiti (MEF) permettono oggi la progettazione



1 – Cupola padiglione USA per l'Expo di Montreal nel 1967
Fonte: Krausse, Lichtenstein, R. Buckminster Fuller⁷



2 – Copertura cortile museo di storia di Amburgo
Fonte: Schlaich, Schober, *Filigrane Kuppeln*⁵

e lo sviluppo di forme strutturali una volta impensabili. Le conoscenze teoriche e sperimentali oggi acquisite sul vetro inerenti le caratteristiche di resistenza meccanica e sicurezza e le particolari tecniche di tempra, stratificazione e controllo hanno permesso di trasformare questo prodotto, da sempre ritenuto fragile e pericoloso, in elemento strutturale di indubbia affidabilità e sicurezza. Il vetro strutturale va però impiegato in modo corretto senza prescindere dalle peculiarità proprie del materiale base. Infatti il diagramma tensioni-deformazioni che descrive il comportamento del vetro sotto carico crescente passa subitaneamente dalle condizioni di deformazione elastica a quella di rottura senza esibire alcun ramo plastico o di snervamento (fig. 3). Per tale motivo estrema attenzione va posta ai vincoli puntuali delle lastre di vetro, alle loro tolleranze dimensionali, alle loro dilatazioni termiche differenziali rispetto agli elementi strutturali con i quali esse si trovano ad interagire. Ciò premesso il vetro, utilizzato entro opportuni limiti di elasticità, risponde correttamente a tutte le esigenze imposte dalle condizioni di servizio e sicurezza previste dalle attuali normative.

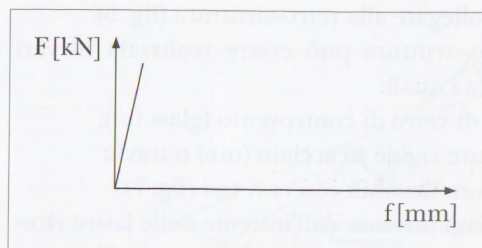
Le tensioni determinate in base alla teoria delle piccole deformazioni (teoria primo ordine) sono solitamente più elevate nelle lastre di dimensioni maggiori di quelle calcolate secondo la teoria delle grandi deformazioni. Ciò è dovuto al fatto che in quest'ultimo calcolo vengono considerati gli effetti membranali nella lastra ai quali sono in generale associate minori sollecitazioni a flessione. La teoria lineare non considerando questo fenomeno conduce a spessori maggiori delle lastre.

Oggi giorno, nel realizzare appoggi per facciate e per coperture di tetti orizzontali o inclinati in vetro vengono sempre più impiegati sistemi di fissaggio puntuali detti a «zampe di ragno» che permettono di vincolare le lastre alle strutture retrostanti. Quest'ultime in genere possono essere di tipo alleggerito realizzate con elementi metallici (strutture di cavi e deviatori intermedi) oppure possono essere formate da travi a loro volta realizzate in vetro stratificato di sicurezza (Glass fins, Glass beams e Glass columns) (fig. 4 e 5).

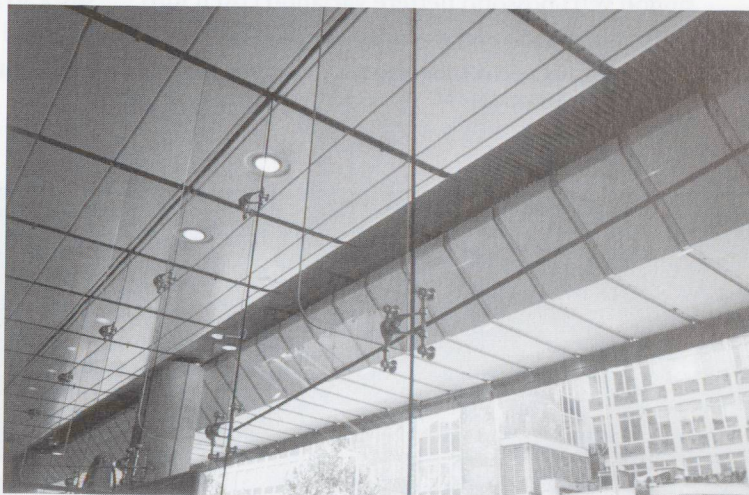
Queste vetrate strutturali generano una sensazione di grande leggerezza e spaziosità dell'ambiente da esse delimitato.

2. Cenni sulla facciata puntuale

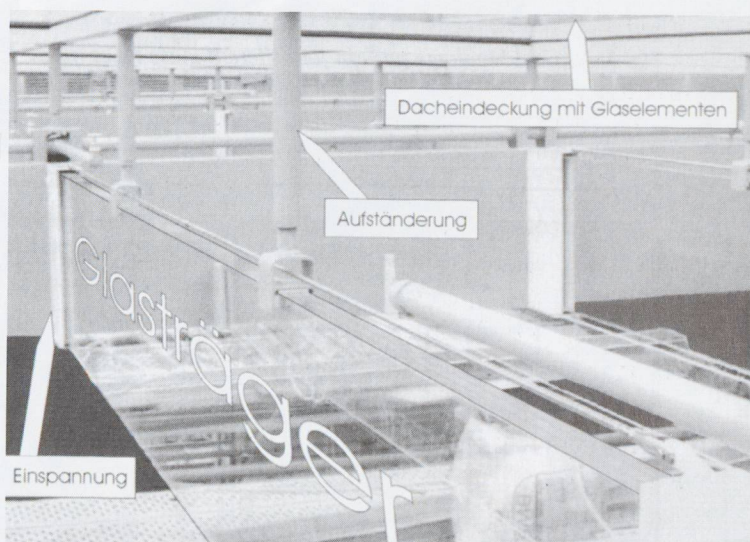
Nel sistema a facciata puntuale, ogni lastra è sostenuta con perni passanti alloggiati in fori situati in corrispondenza dei quattro angoli del pannello. I perni sono a loro volta calettati attraverso rotule alle «zampe di ragno», normalmente a forma di



3 – Diagramma tensione-deformazione del vetro



4 – Stazione di Londra



5 – Trave in vetro quale elemento strutturale dell'ossatura portante del tetto della Cassa di Risparmio di Düsseldorf
Fonte: Laufs, Mohren, *Neuartige Stahl-Glas-Konstruktionen mit Tragwirkung in Scheibenebenen*⁶

croce, collegate alla retro-struttura (fig. 6).

La retro-struttura può essere realizzata in vari modi, tra i quali:

- lastre di vetro di controvento (glass fin);
- strutture rigide in acciaio (tubi o travi);
- strutture flessibili con cavi tesi (fig. 7).

La facciata formata dall'insieme delle lastre riceve il carico del vento e lo trasferisce alla retro-struttura mediante le rotule e le «zampe di ragno».

Essendo il sistema non completamente rigido, i singoli vetri possono flettere variando così il loro assetto. Il giunto sferico posto nelle rotule, permettendo un certo movimento dei pannelli, eli-

mina la trasmissione di pericolosi momenti flettenti agli angoli delle vetrate che potrebbero pregiudicare l'integrità del vetro in queste zone. Tra le lastre di vetro viene lasciato un giunto di dilatazione siliconato, opportunamente dimensionato, che permette i movimenti dei singoli vetri e la flessione della facciata sotto carico. Il silicone ha il compito d'isolare dall'aria e dall'acqua l'interno della facciata e, data la sua alta elasticità, di compensare i movimenti fra i pannelli.

Il peso proprio della facciata viene generalmente sospeso ad un telaio rigido mediante:

- tiranti in corrispondenza dei giunti;
- elementi in vetro sospesi e agganciati con molle.



6 - Dettaglio «zampe di ragno»

3. Criteri di progettazione della facciata del Casino Kursaal a Lugano

La decisione della Kursaal SA di eliminare il cilindro e la cupola del preesistente teatro e di aumentare di un piano il blocco centrale dell'edificio ha comportato una nuova progettazione della facciata vetrata prospiciente via Stauffacher originariamente prevista con un'altezza di 11 m ed una struttura portante delle lastre di vetro composta da otto colonne poste ad un'interasse di ca. 2.70 m. Le nuove esigenze imponevano un nuovo tipo di struttura. In collaborazione con gli architetti abbiamo quindi sviluppato e progettato una facciata vetrata puntuale. Dopo diverse proposte di soluzioni statiche il progettista ha scelto la soluzione di una facciata in vetro con retro-struttura flessibile realizzata con cavi tesi d'acciaio inossidabile e deviatori intermedi (fig. 8).

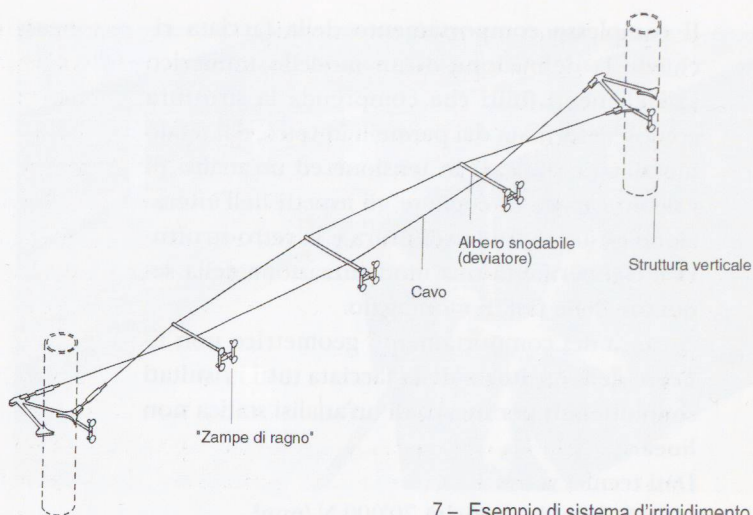
La facciata vetrata è appesa mediante tiranti d'acciaio ad un portale in profilati tubolari metallici formato da due colonne e una traversa, mentre che i cavi sono ancorati in corrispondenza delle due pareti perimetrali esistenti (fig. 9 e 10).

La facciata, di larghezza 21.80 m ed altezza 15.80 m, è composta da 72 lastre di vetro stratificato disposte su otto file orizzontali. Le dimensioni medie del singolo pannello sono di circa 2741x1734 mm. L'intera facciata è connessa a una serie di travi orizzontali realizzate, come accennato in precedenza, con cavi pretesi che assorbono la spinta e alla sottospinta (risucchio) del vento. I cavi sono collegati alle strutture laterali, opportunamente dimensionate per sopportare le azioni di tiro puntuale ad esse applicate. I cavi utilizzati sono continui e cioè lunghi quanto l'intera larghezza del vano occupato dalla facciata compreso tra i muri perimetrali. Questa condizione permette una flessione ottimale di tutto il sistema sotto l'azione dei carichi.

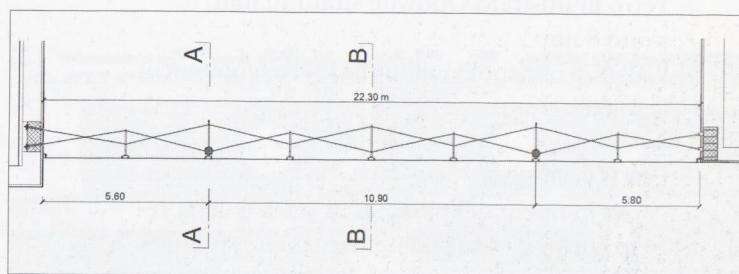
Per assicurare una corretta tesatura ogni deviatore intermedio (barra articolata d'acciaio inossidabile) è corredato di cuscinetto a rullini. Questo dispositivo evita il possibile grippaggio per attrito del cavo all'interno della cava dell'albero durante le operazioni di tiro e permette al cavo stesso di cambiare direzione senza alcuna perdita di tensione.

4. Aspetti strutturali e di calcolo

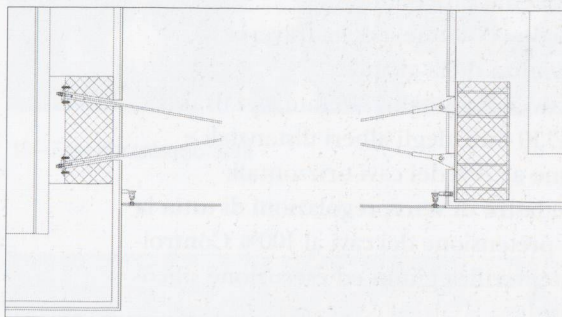
Il comportamento strutturale dell'opera è caratterizzato dall'interazione esistente tra la facciata in vetro e la retro-struttura. Al fine d'ottenere un chiaro ed efficiente meccanismo di trasmissione delle forze applicate dalle lastre di vetro agli elementi della retro-struttura, tutti i collegamenti e i fissaggi della facciata sono snodati.



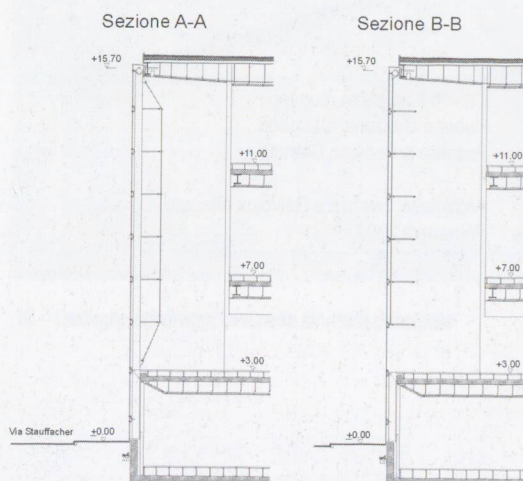
7 - Esempio di sistema d'irrigidimento



8 - Pianta sistema di irrigidimento



9 - Dettagli ancoraggi cavi nella struttura esistente



10 - Sezioni trasversali facciata

Il complesso comportamento della facciata richiede la definizione di un modello numerico agli elementi finiti che comprenda la struttura completa formata dai pannelli in vetro, dal telaio metallico e dai cavi in tensione ed un'analisi di calcolo capace di cogliere gli aspetti dell'interazione esistente fra la vetratura e la retro-struttura e che permetta una modellizzazione della sequenze delle fasi di montaggio.

A causa del comportamento geometrico non lineare della struttura della facciata tutti i risultati sono ottenuti per mezzo di un'analisi statica non lineare.

Dati tecnici vetro:

- E Modulo di elasticità $70'000 \text{ N/mm}^2$
- αT Dilatazione termica $9 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$
- Vetro multistrato Optiwite strato 10 mm strato 8 mm
- PVB 0.76 mm (polivinilbuttirale - termoplastico)
- Peso 50 kg/mq

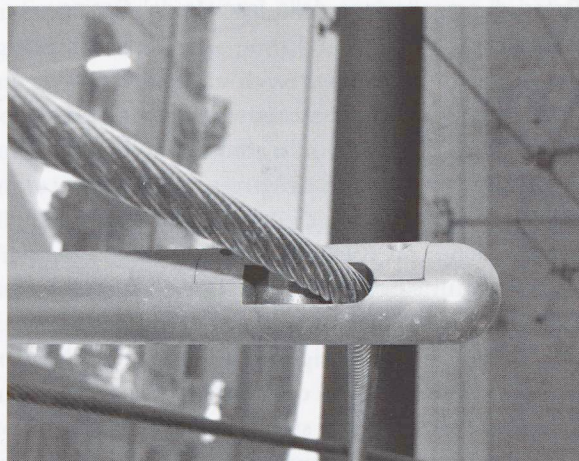
5. Fasi di montaggio

La posa in opera dei pannelli in vetro e della retro-struttura ha richiesto un particolare studio di intervento che ha tenuto conto dell'area di cantiere e dei mezzi di sollevamento a disposizione. Le operazioni di montaggio sono avvenute secondo la seguente procedura:

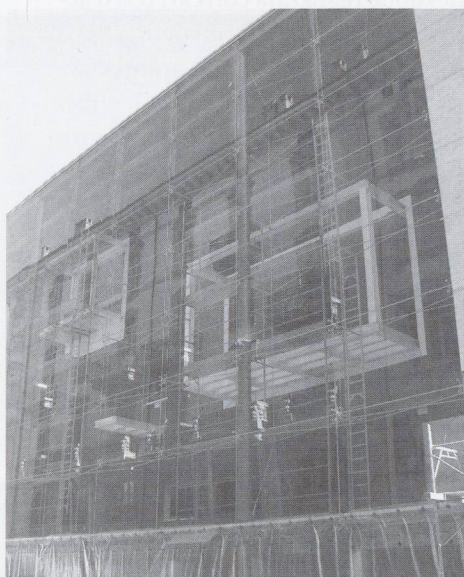
- posa delle due colonne e della traversa in corrispondenza della gronda;
- posa dei cavi orizzontali $\varnothing 16 \text{ mm}$, dei tiranti verticali $\varnothing 10 \text{ mm}$, degli alberi distanziali e pretensione al 70% dei cavi orizzontali;
- posa delle lastre di vetro, regolazioni di tutta la facciata e pretensione dei cavi al 100%. Controllo generale, verifica giunti ed esecuzione silicature.

La durata dei lavori di montaggio è stata di otto settimane. Il costo della facciata in vetro comprensiva di retro-struttura e ancoraggi laterali è di $1'600 \text{ Fr/m}^2$.

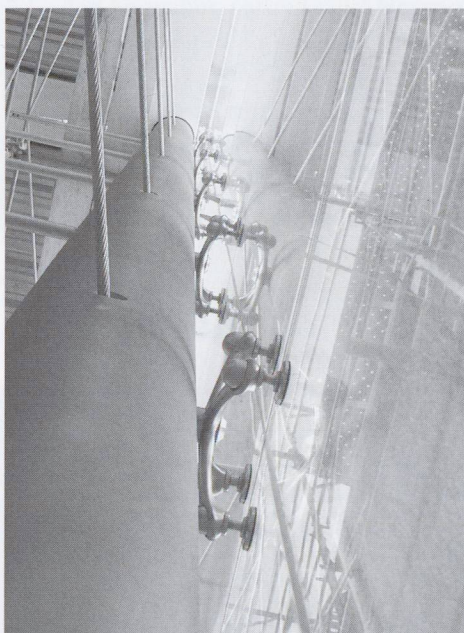
| | |
|---------------------------------|---|
| Committente: | Casino Kursaal SA, Lugano |
| Architetto: | Huber e Gazzaniga, Lugano |
| Ingegnere: | Passera & Pedretti, Grancia |
| Fornitura e montaggio facciata: | Archiglaze, Firenze e Galvolux, Bioggio |
| Periodo di costruzione: | Primavera 2002 |



11 - Dettagli agganci cavo nel deviatore intermedio



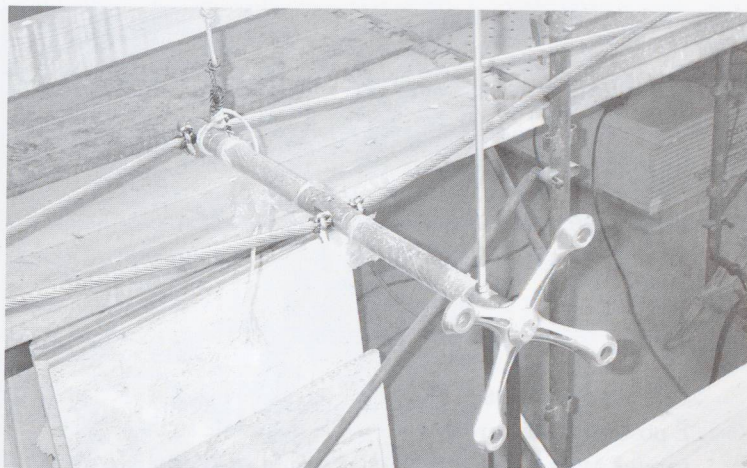
12 - Facciata lungo via Stauffacher



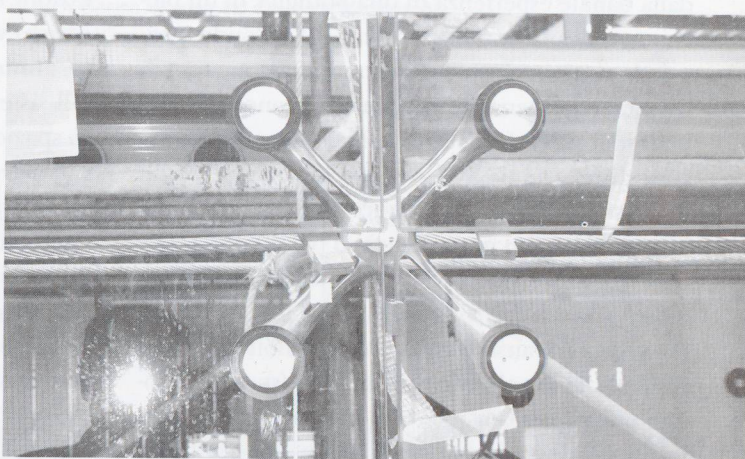
13 - Dettaglio fissaggio «zampe di ragno» lungo la colonna

Bibliografia

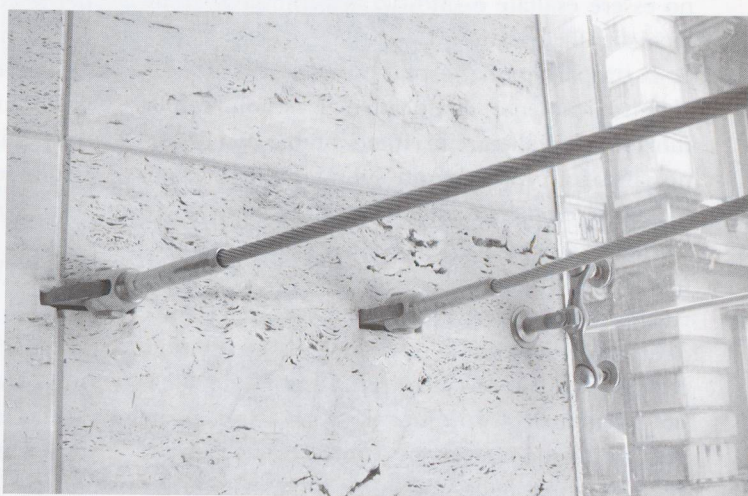
1. Schittich, Staib, Balkow, Schuler, Sobek, *Glasbau Atlas*, Birkhäuser Verlag, 1998
2. Knaack, U., *Konstruktiver Glasbau*, Verlagsges. Müller, 1998
3. Hess, R., *Glasdickenbemessung; Bemessung von einfach- und Isolierverglasungen unter Anwendung der Membranwirkung bei Rechteckplatten grosser Durchbiegung*, Institut für Hochbautechnik, ETH Zürich, Oktober 1986
4. Laufs, Mohren, *Neuartige Stahl-Glas-Konstruktionen mit Tragwirkung in Scheibenebenen*, Bautechnik, Heft 10, 2001
5. Schleich, Schober, *Filigrane Kuppeln*, Tec21, 12/2002
6. Laufs, Kasper, *Biegedrillknickenverhalten termisch vorgespannter Glasträger*, Bautechnik, Heft 5, 2001
7. Krause, Lichtenstein, R. *Buckminster Fuller*, Verlag Lars Müller, 1999



14 – Dettagli fase di montaggio cavi, deviatori e «zampe di ragno»



15 – Fase di montaggio lastre



16 – Dettaglio ancoraggi cavi nella struttura principale