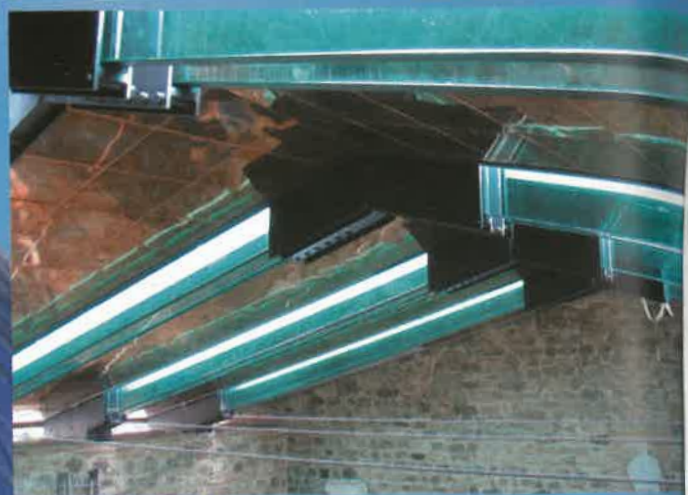


Superata la fase sperimentale, si propone come materiale innovativo a prestazioni eccellenti.  
Caratteristiche generali, nodi tipici e "istruzioni per l'uso"



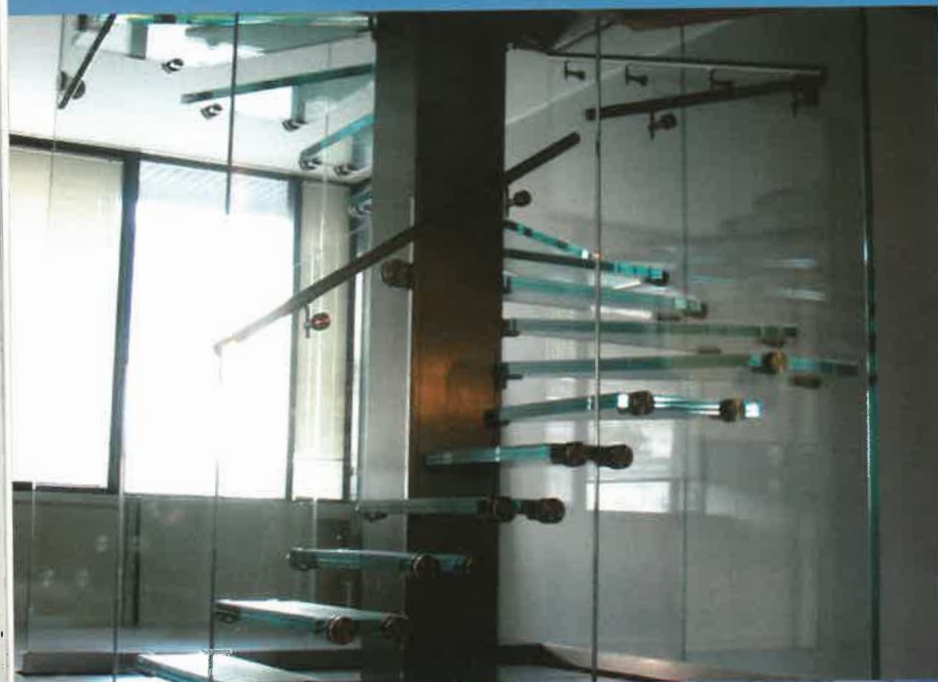
## PORTANTE E TRASPARENTE

Dominique Palumbo

**E** dalla fine degli anni '80 che vedono la luce le prime sperimentazioni in vetro strutturale, in cui il vetro diventa portante, sotto forma di travi, pilastri, lastre piane a grande dimensione, e assume il profilo progettuale del legno o dell'acciaio. Con in più la trasparenza. La sperimentabilità ha pian piano formulato e confermato delle ipotesi di calcolo, sono state fatte prove, la produzione ha messo a punto semilavorati affidabili, si configura così oggi una realtà progettuale accessibile, di utilizzo relativamente semplice, fermo restando che concezione statica e calcolo dei dettagli devono essere affidati a specialisti.

### Trattamenti del vetro

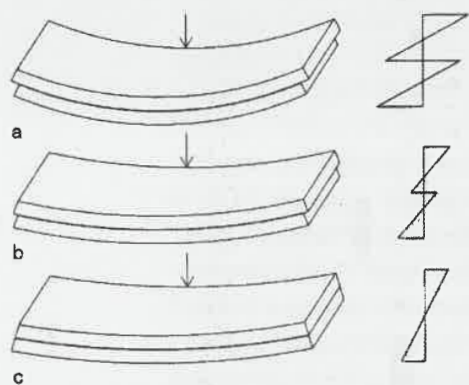
I vetri strutturali (portanti carichi) sono vetri multistrato: due o più lastre di vetro sono accoppiate con uno o più strati di polivinilbutirrale (PVB)



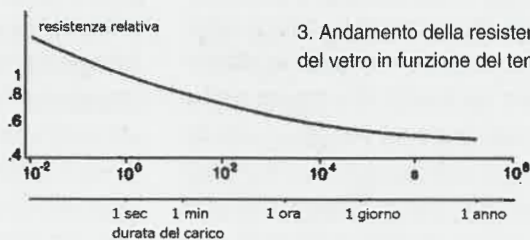
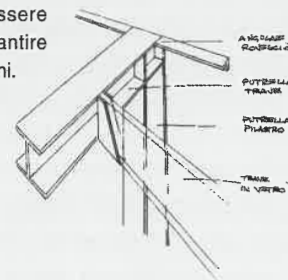


## Comportamento del vetro e sistemi di connessione

Schematizzazione del comportamento a piastra di: (a) due lastre di vetro appoggiate, (b) un vetro multistrato con intercalare a base PVB, (c) un vetro monolitico o due lastre rigidamente adese.



I supporti metallici costituiscono l'interfaccia tra vetro e contesto esistente e devono essere dimensionati in modo adeguato per garantire stabilità in equilibrio di carichi e sollecitazioni.



dando luogo ad un vetro detto "di sicurezza". Il vetro comunemente prodotto è detto vetro float, esso può ritenersi privo di tensioni residue, in uno stato di equilibrio puntuale. Al fine di incrementare la resistenza meccanica del vetro è possibile sottoporlo a un trattamento di tempra che lo sottopone ad un carico di precompressione. È molto comune la convinzione che il vetro temprato, avendo una maggiore resistenza meccanica, sia quello più idoneo all'applicazione strutturale, tuttavia pochi sanno che la differenza di rottura di un vetro float e di un vetro temprato è di primaria valutazione nell'impiego del vetro stratificato. Il vetro float rompe a grandi pezzi con lunghe fessurazioni mentre il vetro temprato una volta rotto si frantuma in migliaia di pezzi. Questa caratteristica è un vantaggio nei vetri monolitici poiché non genera grandi lame acuminate e pericolose ma diventa uno svantaggio in alcune applicazioni strutturali in cui, in caso di collasso, più strati di vetro laminato sminuzzandosi danno origine ad una sorta di tessuto di vetro senza alcuna accensione portante residua. Non a caso i vetri di banche e gioiellerie (vetro strutturale come da noi inteso a livello embrionale) non vengono temprati proprio per evitare questo fenomeno che faciliterebbe significativamente le effrazioni. Solo un corretto studio del singolo caso porta alla scelta di uno stratificato che contenga vetri



di un genere, dell'altro o di entrambi. Pertanto queste diverse tipologie di vetro non risultano tra loro alternative ma possono coesistere nell'ambito del vetro portante.

### Criteri di progettazione: dimensionamento

Un primo dimensionamento di massima, condotto secondo i principi della Scienza delle Costruzioni come per qualsiasi altro materiale strutturale, consente di mettere in rilievo la presenza di regioni caricate in maniera particolare.

Successivamente si introducono nel dimensionamento valutazioni tipiche della

fisica del vetro come la resistenza che dipende dalla velocità di carico,

la cui conseguenza è un fenomeno detto della Fatica

Statica. Esiste un valore

soglia del fattore di intensificazione degli

sforzi al di sotto del

quale ( $K_{Ith}$ ) non si ha propa-

gazione della cricca (microdifetto);

naturalmente tale fattore dipende dalla natura del vetro. All'evidente concetto di sicurezza si affianca l'idea non già di eliminare la presenza

di difetti, ma di ricondurli ad una dimensione nota e costante (in questo assume un valore fondamentale il ruolo della molatura dei bordi

delle lastre di vetro), risalire cioè al tempo necessario a che il difetto di dimensioni "a" raggiunga la dimensione critica, ricavare cioè il

tempo di sopravvivenza del campione sottopo-

sto alla data sollecitazione in presenza di una data dimensione iniziale della cricca più dannosa. Un corretto dimensionamento specifico va eseguito in relazione alla natura specifica del vetro. Una volta superata la verifica (condotta a mezzo di una tecnica ibrida) è possibile considerare dimensionato l'elemento strutturale richiesto. In sostanza il concetto di invecchiamento, preso comunemente in considerazione ad esempio per l'ossidazione dei metalli, solitamente (ed erroneamente) non viene analizzato nel vetro, poiché non visibile ad occhio nudo: così come una putrella di acciaio perde prestazione nel tempo arrugginandosi così il vetro, aggredito dall'atmosfera ambientale, si indebolisce col passare degli anni. Per questo motivo bisogna ipotizzare nei calcoli il tempo di vita del manufatto. A titolo esemplificativo è possibile prendere in considerazione schemi strutturali tipici di pilastri, travi e capriate, prendendo nota che si presentano in genere particolarmente snelli, a sezione rettangolare, con un lato di dimensioni decisamente maggiori dell'altro; questo perché sono costituiti da strati di vetro piano, di dimensioni opportune e intercalate da un plastico, solitamente PVB, anch'esso dimensionato per la tipologia di vetro impiegata (float, temprato, ricotto etc.). L'eccellente resistenza agli agenti atmosferici del componente primario

protegge lo strato plastico da deterioramento, abrasione e sporcizia, mentre quest'ultimo conferisce la capacità di assorbire elevati livelli di energia di impatto e soprattutto trattiene le schegge eventualmente formatesi a seguito di urto. Altri plastici usati anche se più raramente nella laminazione sono l' EVA e SGP con caratteristiche meccaniche e costi superiori. Gli spessori complessivi del laminato variano all'incirca fra tre a i sei cm di vetro, ma possono raggiungere anche dimensioni maggiori in caso di spinte elevate o carichi particolari (come la pressione cui possono essere sottoposti nelle piscine). I pilastri possono avere anche forma triangolare o a croce ma la necessità di solidarizzare rigidamente i singoli moduli che compongono queste figure geometriche a mezzo di collanti rende queste strutture particolarmente delicate e inoltre non impiegabili in esterni (poiché non esistono certificazioni di tenuta per gli adesivi in esterni), si adottano quindi principalmente a scopo estetico formale. Nel caso delle travi le larghezze variano tra i 15 e i 60 cm di, in base alle luci da coprire e in base alle campate ipotizzate. Non vi è un rapporto costante tra lunghezza e sezione poiché lo stesso varia in base alle condizioni di carico, in base alla collocazione del manufatto in interni o esterni, se è soggetto a vento, neve, alla presenza di umidità e

## Sistema trasparente

L'ultima frontiera del vetro strutturale, in grado di dare una garanzia effettiva alla portanza del sistema trasparente anche nell'eventualità di rottura del vetro è il Brevetto VTRS (Vetrostrutturale Srl). Il comunque indesiderabile collasso dell'elemento strutturale trasparente a seguito di rottura viene scongiurato in questo caso dall'applicazione di una barriera di carbonio, o altri materiali idonei più rigidi del vetro, nella regione sottostante la trave, in spessore, che ripartiscano il carico sulle porzioni di vetro rimaste integre. Gli elementi strutturali in vetro e rinforzati con Brevetto VTRS presentano, rispetto ad un multistrato convenzionale, vantaggi di: redistribuzione delle sollecitazioni esterne operata dal rinforzo il quale collabora con la struttura in ogni fase di carico e protezione dall'ambiente esterno della regione della trave sottoposta alla massima sollecitazione. Ciò permette di garantire l'adozione di una tecnologia produttiva raffinata al servizio di un dimensionamento strutturale innovativo senza inficiare la trasparenza del vetro come si evince nella realizzazione delle capriate in vetro messa in atto ad Arquà Petrarca nel 2005 presso la Loggia dei Vicari da Vetrostrutturale. Le potenzialità espresse da queste tecnologie consentono di dimensionare pavimenti in vetro dalla civile abitazione 200 kg/m<sup>2</sup> alla folla compatta 400 kg/m<sup>2</sup> come una comune soletta in c.a.



1. Dettaglio di una capriata durante le operazioni di posa.
2. Prova di carico effettuata presso i laboratori della Facoltà di Ingegneria di Brescia su trave in vetro Brevetto VTRS Vetrostrutturale (tesi di laurea Ugo Balestrieri - Livio Bartoli).
3. Copertura in rame sostenuta da quattro capriate in vetro strutturale portante rinforzato con Brevetto VTRS prog Vetrostrutturale.



Schema riassuntivo			
	Lunghezza max (cm)	Altezza Min/Max(cm)	Spessore Min/Max (cm)
Travi	600/830 ordinario/special	15/60-80	3/6-8
Pilastrini	600/830 ordinario/special	30/60-80	3/6-8
Volte	600/830 ordinario/special	30/280	1,2/2,5
Capriate	600/830 ordinario/special	30/60-80	3/6-8

varia anche in base al tempo di vita per il quale è stato progettato (variabile importantissima nella progettazione del vetro ma anche recentemente avvalorata dalla normativa). Solitamente il passo dei portali, costituiti da travi e pilastrini, o anche solo delle travi non supera il metro e ottanta ma anche questa condizione varia se si tratti di un manufatto sottoposto ad esempio alla spinta del vento. La lunghezza di dette strutture in vetro portante hanno limiti prevalentemente commerciali, infatti per dimensioni comprese nel modulo base della comune produzione (cm 600 x 321) tolte le cimose non ci sono grosse difficoltà di produzione, anche se i forni di tempera e le autoclavi di laminazione non superano di norma i 5,00/5,50 m. La questione è essenzialmente tecnologica: alcune realtà produttive in Europa superano i suddetti limiti dimensionali essendo anche in grado di fornire moduli base fino a 7,00/8,50 m. ma si tratta di casi particolari, che implicano costi elevati e proporzionate difficoltà di trasporto e posa in opera. Anche le stesse operazioni di posa e movimentazione dovranno essere concepite a priori dal progettista al pari della portata della struttura stessa. Questo infatti è un limite non secondario infatti quand'anche è possibile proporre realizzazioni con grandi luci in lastra unica l'ostacolo principale può essere costituito dalla difficoltà di tiro in quota, accesso dalle aperture finestrate e posizionamento in opera del manufatto, (anche pensando al considerevole peso e la delicatezza del vetro stratificato) implicando ingegnose ideazioni di supporti, paranchi, tiranteria posticcia oppure obbligando la scelta verso moduli inferiori. Naturalmente l'obiettivo dei progettisti del vetro portante è quello di proporre moduli di dimensioni quanto più ampie possibili (limitando al massimo quindi, tagli, fughe etc) con spessori quanto più esigui possibili, compatibilmente con le variabili di movimentazione citate.

Il calcolo dimensionale pertanto consente di avere uno stratificato opportuno sia negli spessori sia nelle luci, quindi senza eccessive fughe né spessori ridondanti perché calcolati per la specifica portata richiesta, sicuro perché garantito dalla firma di un professionista qualificato e specializzato nel settore del vetro portante.

### Connessioni

L'interfaccia tra vetro e contesto esistente è usualmente costituito da supporti metallici. Anche questi devono essere dimensionati nello spessore e nell'estensione dei fianchi affinché l'elemento sia ben ancorato alla muratura, non instabilizzi e lavori quindi in equilibrio di carichi e sollecitazioni. Il contatto del vetro con materiali più duri rischia di provocare scheggiature e cricche che possono dare origine alla vera rottura dell'elemento, a tale scopo viene impiegato del plastico, solitamente pvc o neoprene di consistenza variabile che svolga funzione di cuscinetto all'interno della staffa. Spessori, quantità, qualità, posizionamenti ed estensioni di questi materiali vengono stabiliti a seconda della situazione contingente (carichi, inclinazioni...). Solitamente viene utilizzato acciaio zincato e verniciato, con ottime caratteristiche di lavorabilità e di resistenza oppure acciaio inossidabile, meno facilmente lavorabile ma con un effetto estetico ragguardevole. Infine i siliconi, a coadiuvo delle staffe metalliche, svolgono un ruolo fondamentale nella funzione di giuntare i moduli tra loro, garantire la tenuta all'acqua, fungere da guarnizione e da finitura. Ne esistono di varie qualità a seconda dell'impiego in interni od esterni, a seconda dell'invecchiamento del polimero e della funzione portante o meno a cui è chiamato. Molto usato nel settore il cosiddetto silicone strutturale, solitamente nero o grigio, con ottime caratteristiche di tenuta meccanica. La conoscenza del comportamento di questi siliconi, del loro uso nel ventaglio possibile delle applicazioni, è elemento di progetto del vetro portante a rischio, ad esempio, di favorire la pericolosa delaminazione dello stratificato.

### Caratteristiche del vetro: resistenza

#### Resistenza meccanica

Dal punto di vista teorico il vetro sodico-calcico presenta una resistenza a rottura di circa 35 GPa, mentre osservazioni sperimentali mostrano resistenze non superiori a 70 MPa. La resi-

stenza del vetro, così come avviene per tutti i materiali fragili, è fortemente influenzata, al ribasso, dalla presenza di microdifetti che causano concentrazioni di sforzo locali tali da superare il valore di resistenza teorico sopra citato. La qualità del vetro, dal punto di vista della sua resistenza meccanica, dipende cioè dallo stato di finitura superficiale, oltre che dalla presenza in seno al manufatto di eventuali microdifetti occulti. La finitura superficiale dei bordi induce, per definizione di molatura, la presenza di microdifetti (rugosità, microcricche) contenuti all'interno di un ben noto intervallo di tolleranza. La molatura a filo lucido, caratteristica dei prodotti descritti nella presente relazione, fornisce garanzia di elevata affidabilità meccanica dei manufatti così realizzati: i "microdifetti" indotti dalla lavorazione di molatura sono di entità tale da essere rilevabili solo mediante un'analisi microscopica particolarmente spinta. I materiali che non presentano fenomeni di plasticizzazione come il vetro, vedono la loro resistenza fortemente legata alla meccanica della frattura anziché alla sollecitazione massima agente, criterio base della Scienza delle Costruzioni; la resistenza della struttura sottostà cioè alla difettosità del manufatto ("defect-controlled strength"). Il comportamento della struttura è quindi funzione della tenacità del materiale (proprietà oggettiva) e della difettosità del manufatto (proprietà relativa). Fenomeni di concentrazione degli sforzi all'apice delle microcricche inevitabilmente presenti (come prima descritto) lungo i bordi degli elementi strutturali in vetro causano il procedere del difetto in seno al materiale. La dimensione del difetto maggiore funge da anello debole della resistenza della struttura e ne limita quindi l'impiego. Un altro aspetto che deve assolutamente essere preso in considerazione quando si dimensiona una struttura in vetro per applicazioni strutturali portanti è la dipendenza della resistenza dal tempo. Dal punto di vista causale il fenomeno si giustifica con l'aggressione che l'umidità presente nell'atmosfera esercita sul vetro.

#### *Protezione dei punti delicati*

Naturalmente il vetro impiegato in locali pubblici, soggetto quindi, a seguito ai movimenti di utenti e spostamenti di materiali, a impatti e urti accidentali. Per le sopradescritte questioni strutturali ma anche per questioni prettamente estetiche è assolutamente importante evitare scheggiature

## **Carpenteria celata**

Il D.lgs 311/06 ha spinto a introdurre i pannelli a taglio termico con diverse opzioni disponibili. Se le normali pannellature da 20 cm, tuttora in produzione, raggiungono un valore di trasmittanza termica pari a  $1,13\text{W/m}^2\text{K}$ , con gli spessori maggiorati a 25 o a 28cm e l' utilizzo di carpenterie di supporto speciali, i valori scendono fino a  $0,40$  o a  $0,32\text{W/m}^2\text{K}$  garantendo il rispetto delle restrizioni attuali e future.

(Guerrini Prefabbricati)



del vetro. Al fine di mantenere il massimo della leggerezza visiva, evitando quindi di fare uso di inestetici profili a protezione degli spigoli, è utile mettere in atto una protezione della singola lastra per evitare o diminuire la probabilità di rotture a seguito di urti. Detta protezione consiste nel eseguire una bisellatura nello spigolo vivo del vetro: una sorta di molatura a  $45^\circ$ , dell'estensione di un mm o due, lungo tutti gli spigoli di ciascuna lastra di vetro. Detta bisellatura, accostata con quella del vetro accanto, forma un incavo che funge da invito, da sede per la cordatura di silicone. Può essere utile, quando possibile, prendere in considerazione anche la soluzione della cosiddetta raggatura che, stondando gli angoli, offre meno il fianco alla sbecatura del vetro e quindi all'origine della cricca.

#### *Resistenza al fuoco*

I vetri REI o EI sono pannelli di vetro multistrato realizzati con due o più lastre di vetro (float, ricotto o temprato) con interposta una soluzione reattiva al calore. Le potenzialità dei vetri tagliafuoco risultano decisamente interessanti in edilizia presentando tuttavia alcune controindicazioni nell'impiego strutturale. Reattivo alla gamma dei raggi ultravioletti il vetro REI tende ad attivare seppur molto lentamente, la reazione di intumescenza pregiudicando la limpidezza del vetro; deve inoltre essere sempre intelaiato in quanto richiesto dal sistema vetro/soluzione reattiva, anche a livello di certificazioni garantite dalle aziende produttrici. Pertanto con il vetro strutturale conviene principalmente muoversi in ambiti in cui non vi è obbligo di resistenza al fuoco anche perché ad oggi, le realizzazioni completamente in vetro portante riguardano principalmente realizzazioni di limitate dimensioni.

*Segue a pagina 1461*



Marotta (Pu)

## SPAZIO ESPOSITIVO

### STRUTTURALE RESISTENTE

Lo stabilimento Dreaming di Marotta nelle Marche, appartenente al gruppo Ferretti-Pershing, è stato progettato dall'Arch. Sandro Sartini di Firenze, in collaborazione con l'ing. Odine Manfroni di Rimini dello studio MEW per quanto concerne la facciata principale. L'aspetto sobrio e tecnologicamente innovativo dell'insolita facciata completamente vetrata ben si integra con il paesaggio circostante: trasparenza, eleganza e leggerezza la caratterizzano consentendo di migliorare illuminazione ed atmosfera dell'edificio, creando le condizioni ideali per l'esposizione dei meravigliosi yacht al suo interno.

Il vetro, elemento di discontinuità e fragilità in un complesso edilizio, qui rappresenta la continuità con l'ambiente circo-

stante ed ha funzione strutturale, dando immagine di forza e di vitalità.

La facciata è realizzata con vetri temperati e stratificati, costituiti da due lastre di 12 mm ciascuna incollate tra loro con 2,28 mm di plastico SGP, alle cui estremità sono incollati piattini di acciaio inossidabile con un foro filettato posto al centro dove si avvita una rotula.

Tale rotula è fissata a sua volta ai montanti verticali in vetro posti dietro alla facciata e composti da tre lastre temperate di 15mm ciascuna incollate tra loro con lo stesso plastico, la cui funzione è quella di trattenere il vetro di facciata in corrispondenza della mezzeria.

I montanti a loro volta sono stabilizzati tra loro da un doppio tondino in acciaio inox di diametro 10mm, fissato al giunto metallico posto al centro degli stessi, che attraversa la facciata disegnando una curva.

L'altezza massima dei montanti è di 7,2 m, la minima di 3,4 m; le lastre di facciata di maggiori dimensioni risultano di 3,4 x 1,6 m, le più piccole 1,5 x 1,5 m.

La rientranza della vetrata rispetto alla facciata dell'edificio, oltre a caratterizzarne l'involucro dal punto di vista formale, permette di risolvere, o per lo meno attenuare, parte dei problemi connessi all'impiego di questo genere di strutture, quali le eccessive perdite o incrementi di calore, l'abbagliamento solare, la protezione e



resistenza alle intemperie.

Le scelte progettuali, formali e materiche di questa facciata trovano fondamento nelle forme sinuose ed armoniose degli stessi yacht esposti, richiamando il mare, la leggerezza e la resistenza delle imbarcazioni che lo solcano: l'edificio si adegua così alla filosofia commerciale dell'azienda stessa rafforzandone l'immagine.



#### IL PROGETTO

**Oggetto:**

Stabilimento Dreaming

**Località:**

Marotta (Pu)

**Committente:**

Ferretti - Pershing

**Progetto:**

Arch. Sandro Sartini

**Progetto della facciata:**

Ing. Odine Manfroni

Studio MEW

