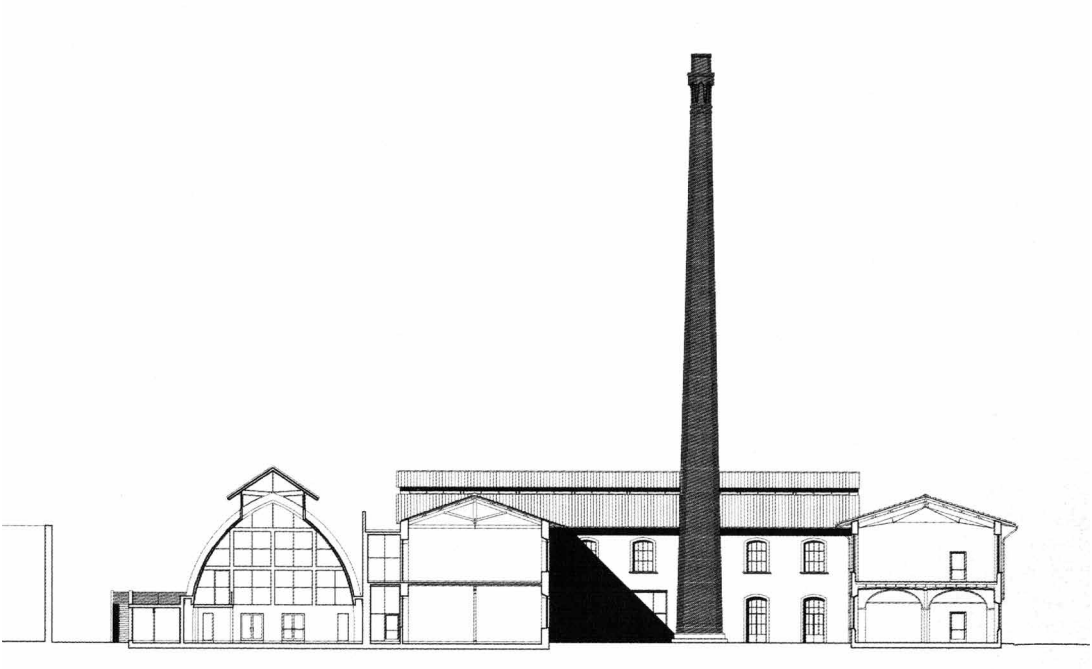
GIUSEPPE ALBERTO CENTAURO

# Conservazione e rigenerazione dell'architettura industriale moderna

*Atti della Giornata di Studio «Il restauro del Moderno. Il patrimonio dell'industria pratese del '900. Dalla conservazione alla rigenerazione delle funzioni»*





La serie di pubblicazioni scientifiche **Ricerche | architettura, design, territorio** ha l'obiettivo di diffondere i risultati delle ricerche e dei progetti realizzati dal Dipartimento di Architettura DIDA dell'Università degli Studi di Firenze in ambito nazionale e internazionale.
Ogni volume è soggetto ad una procedura di accettazione e valutazione qualitativa basata sul giudizio tra pari affidata al Comitato Scientifico Editoriale del Dipartimento di Architettura. Tutte le pubblicazioni sono inoltre *open access* sul Web, per favorire non solo la diffusione ma anche una valutazione aperta a tutta la comunità scientifica internazionale.
Il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze promuove e sostiene questa collana per offrire un contributo alla ricerca internazionale sul progetto sia sul piano teorico-critico che operativo.

*The **Research | architecture, design, and territory** series of scientific publications has the purpose of disseminating the results of national and international research and project carried out by the Department of Architecture of the University of Florence (DIDA).*
*The volumes are subject to a qualitative process of acceptance and evaluation based on peer review, which is entrusted to the Scientific Publications Committee of the Department of Architecture. Furthermore, all publications are available on an open-access basis on the Internet, which not only favors their diffusion, but also fosters an effective evaluation from the entire international scientific community.*
*The Department of Architecture of the University of Florence promotes and supports this series in order to offer a useful contribution to international research on architectural design, both at the theoretico-critical and operative levels.*

**Editor-in-Chief**
**Saverio Mecca** | University of Florence, Italy

**Scientific Board**
**Gianpiero Alfarano** | University of Florence, Italy; **Mario Bevilacqua** | University of Florence, Italy; **Daniela Bosia** | Politecnico di Torino, Italy; **Susanna Caccia Gherardini** | University of Florence, Italy; **Maria De Santis** | University of Florence, Italy; **Letizia Dipasquale** | University of Florence, Italy; **Giulio Giovannoni** | University of Florence, Italy; **Lamia Hadda** | University of Florence, Italy; **Anna Lambertini** | University of Florence, Italy; **Tomaso Monestiroli** | Politecnico di Milano, Italy; **Francesca Mugnai** | University of Florence, Italy; **Paola Puma** | University of Florence, Italy; **Ombretta Romice** | University of Strathclyde, United Kingdom; **Luisa Rovero** | University of Florence, Italy; **Marco Tanganelli** | University of Florence, Italy

**International Scientific Board**
**Francesco Saverio Fera** | University of Bologna, Italy; **Pablo Rodríguez Navarro** | Universitat Politècnica de València, Spain; **Nicola Braghieri** | EPFL - Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne, Switzerland; **Lucina Caravaggi** | University of Rome La Sapienza, Italy; **Federico Cinquepalmi** | ISPRA, The Italian Institute for Environmental Protection and Research, Italy; **Margaret Crawford,** University of California Berkeley, United States; **Maria Grazia D'Amelio** | University of Rome Tor Vergata, Italy; **Carlo Francini** | Comune di Firenze, Italy; **Sebastian Garcia Garrido** | University of Malaga, Spain; **Xiaoning Hua** | NanJing University, China; **Medina Lasansky** | Cornell University, United States; **Jesus Leache** | University of Zaragoza, Spain; **Heater Hyde Minor** | University of Notre Dame, France; **Danilo Palazzo** | University of Cincinnati, United States; **Silvia Ross** | University College Cork, Ireland; **Monica Rossi** | Leipzig University of Applied Sciences, Germany; **Jolanta Sroczynska** | Cracow University of Technology, Poland

GIUSEPPE ALBERTO CENTAURO

# Conservazione e rigenerazione dell'architettura industriale moderna

*Atti della Giornata di Studio «Il restauro del Moderno. Il patrimonio dell'industria pratese del '900. Dalla conservazione alla rigenerazione delle funzioni»*

**Questo volume è stato pubblicato con il contributo della Fondazione Cassa di Risparmio di Prato, ottenuto dall'Ordine degli Architetti PPC della Provincia di Prato**
**Con il patrocinio di SIRA - Società Italiana per il restauro dell'Architettura**

**Il volume è l'esito di un progetto di ricerca condotto dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze.**
La pubblicazione è stata oggetto di una procedura di accettazione e valutazione qualitativa basata sul giudizio tra pari affidata dal Comitato Scientifico del Dipartimento DIDA con il sistema di *blind review*.
Tutte le pubblicazioni del Dipartimento di Architettura DIDA sono *open access* sul web, favorendo una valutazione effettiva aperta a tutta la comunità scientifica internazionale.

*coordinamento generale*
Giuseppe Alberto Centauro

*coordinamento del catalogo*
Giada Buti

*referenze fotografiche*
Se non diversamente indicato in didascalia le immagini sono dell'autore del saggio

*in copertina*
Ex cimatoria "L. Campolmi & Co.", *Progetto di recupero, sezione trasversale*
(Fonte: Mattei 2003, p. 39)

*progetto grafico*
dida**communicationlab**
Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze

**dida**press
Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze
via della Mattonaia, 8 Firenze 50121

© **2023**
ISBN 978-88-3338-186-2

Stampato su carta di pura cellulosa *Fedrigoni Arcoset*

# SOMMARIO

**Presentazione** 11
Lulghennet Teklè

**Prefazione** 15
Giuseppe Alberto Centauro

**Giornata di Studio**
Sessione mattutina

**Il restauro del moderno: status quaestionis** 31
Giuseppe Alberto Centauro

**Nascita dell'industria ed espansione urbanistica a Prato** 55
Giuseppe Guanci

**Materiali contemporanei per il consolidamento delle strutture moderne** 69
Silvio Van Riel

**Patrimonio industriale. Conoscenza per il riutilizzo** 85
Pietro Matracchi, Giorgio Verdiani, Milena Lorusso, Denise Fresu

**Il patrimonio della produzione come infrastruttura territoriale. L'Ecomuseo del Tessile per il territorio di Prato** 97
David Fanfani

**Patrimonio e patrimonializzazione dei luoghi del lavoro per la rigenerazione del territorio pratese** 119
Daniela Poli

**Le politiche urbane di Prato: pianificazione, urbanistica e progetto. Il caso della "Porta Nord" di Prato** 135
Valerio Barberis

Sessione pomeridiana

**L'Ordine degli Architetti e il progetto del restauro del Moderno** 155
Giada Buti

**Il restauro del Moderno: la sfida dei professionisti di oggi** 163
Cecilia Arianna Gelli

**La forma dell'esistente. Il restauro della nuova sede della Camera di Commercio di Prato** 179
Marcello Marchesini

**Possibili forme di rigenerazione urbana attraverso il recupero del patrimonio industriale dismesso. Il "Progetto di innovazione urbana P.I.U. Prato" al "Macrolotto Zero"** 193
Massimo Fabbri

**Usi temporanei degli edifici industriali dismessi. Sperimentazione di nuove funzioni, l'accompagnamento della valorizzazione e l'attivazione della loro rigenerazione** 209
Lorenzo Vacirca, Andrea Del Bono, Rita Duina, Marco Berni

**Seminario didattico sul Fabbricone di Prato**

**Didattica, ricerca, gestione dati e progetto** 225
Giuseppe Alberto Centauro, con i contributi di Giuseppe Guanci, Antonio Silvestri, Lorenzo Vacirca, Giada Buti

**Nuovi studi sul complesso industriale "il Fabbricone"** 245
Giuseppe Alberto Centauro

**Il modello di scheda "A-OA"** 248

**Esercitazioni** 253
*Elaborati degli studenti del Laboratorio di Restauro*

**Bibliografia generale** 283

**Ringraziamenti** 293
**Brevi note curriculari degli autori** 295

# MATERIALI CONTEMPORANEI PER IL CONSOLIDAMENTO DELLE STRUTTURE MODERNE

**Silvio Van Riel**
Università degli Studi di Firenze

***Abstract***

Questo contributo si inserisce in maniera organica nei temi trattati nel Laboratorio di Restauro tenuto dal Prof. Giuseppe Centauro su una problematica sempre a margine degli argomenti affrontati nel corso istituzionale, per ovvie ragioni di tempo, cioè quello del consolidamento delle strutture che caratterizzano l'architettura moderna. Lo spunto è stato offerto dal seminario sul "Fabbricone" di Prato che ha invitato gli studenti ed i docenti ad affrontare, per la prima volta, una ricognizione puntuale degli edifici che caratterizzano l'importante e storico insediamento produttivo e che, oggi, rappresenta un significativo nodo urbanistico e funzionale della comunità pratese.

All'interno degli edifici sono presenti tipologie strutturali del tutto innovative al momento della costruzione, basti pensare alle strutture in cemento armato che caratterizzano uno dei primi esempi nella storia della città, un sistema di copertura che utilizza *shed*, realizzati con materiali tradizionali come il legno massiccio abbinati all'acciaio ed alla ghisa e orientati in maniera di fornire agli operatori tessili una luce sempre omogenea.

Dalla sua costruzione l'insediamento ha avuto tutta una serie di addizioni edilizie funzionali, le cui tecniche realizzative documentano l'evolversi e l'ammodernamento dei materiali utilizzati nelle strutture, fino alla realizzazione delle volte il laterizio armato a spinta frenata delle coperture dei teatri Fabbricone e Fabbrichino. Da menzionare, inoltre, l'esistenza nella struttura di copertura di un fabbricato, oggi utilizzato come uffici, di un sistema di cavalletti lignei che testimoniano l'origine austro-ungarica dei committenti, del tutto simile agli esempi riportati nel manuale del Breymann e che rappresenta un episodio unico nel territorio toscano.

Allo stato attuale e alla luce dell'attuale normativa tecnica sono richieste prestazioni strutturali totalmente diverse e molto più gravose, ai fini della sicurezza statica e sismica, di quelle attive al momento della loro realizzazione.

Quindi al fine di una corretta e funzionale conservazione potranno e dovranno essere utilizzati materiali e sistemi di consolidamento che garantiscano quei miglioramenti nelle prestazioni strutturali al fine di una loro corretta valutazione in sicurezza. Deputati a questo sono i materiali di ultima generazione che nel contributo proposto, forniscono una prima ricognizione conoscitiva sicuramente utile per gli studenti del corso ed anche per gli addetti ai lavori.

*pagina precedente*
Prospetto del complesso produttivo al termine dei lavori 1933 - 1938 e un'immagine fotografica del periodo. (Fonte: Archivio Storico del Comune di Predappio)

Le strutture in cemento armato ed in acciaio della copertura. (Fonte: Archivio Storico del Comune di Predappio)

Le strutture del capannoni in sommità con pilastri e capriate in cemento armato. (Fonte: Archivio Storico del Comune di Predappio)

L'uso di strutture miste e tradizionali nel complesso allo stato attuale.

## Premessa

L'occasione offerta dal seminario sul "Fabbricone" di Prato permette di ampliare i temi trattati nel Laboratorio di Restauro tenuto dal Prof. Giuseppe Centauro su un argomento sempre a margine dei temi affrontati nel corso istituzionale, per ovvie ragioni di tempo, cioè quello del consolidamento delle strutture che caratterizzano l'architettura moderna.
Si fa riferimento, quindi, all'uso del cemento armato e del ferro che distinguono il periodo di costruzione del "Fabbricone" e che, in Italia, assumono declinazioni costruttive estremamente variegate e desunte dalla tradizione costruttiva storica e dalla disponibilità di materiali facilmente disponibili al di fuori di quelli importati.
Singolare è stato il tentativo di utilizzare per capannoni e aviorimesse strutture portanti in tavolette di legno chiodate, tra gli esempi più rilevanti è il ricovero idrovolanti realizzato nel porto militare di Taranto e alcuni piccoli fabbricati nel Valdarno, da tempo demoliti.
Quindi le costruzioni del periodo utilizzavano strutture tradizionali, come murature in laterizi e pietrame per realizzare setti portanti in elevato assieme alla ghisa per montati sottili e cemento armato quando questo era possibile.
Più articolato e complesso risultava il tentativo di realizzare gli impalcati e le strutture di copertura, dove venivano utilizzati l'acciaio, ancora il legno e il cemento armato con elaborazioni costruttive molto complesse e articolate dove la sperimentazione, resa possibile dalle Norme Tecniche del periodo, rende oggi particolarmente complesso e delicato il progetto di riabilitazione strutturale.
L'uso di impiegare tecniche costruttive miste ha caratterizzato anche quasi tutta la ricostruzione post bellica e quella del bum economico degli anni '50 e '60 del '900, fino a quando le Norme antisismiche da metà anni '80 hanno vietato queste tipologie costruttive.
Oggi, le attuali Norme Tecniche per le costruzioni (2008 - 2018) prevedono per l'intervento su gli edifici esistenti la definizione del "Percorso conoscitivo" al fine di identificare, in maniera più accurata possibile, le caratteristiche costruttive, i materiali impiegati e le relazioni di interazione fra gli stessi attraverso calcoli di verifica statica e sismica per definire le loro prestazioni.
Inoltre, ed è bene ricordarlo, le norme dell'attuale *SismaBonus* per la sua corretta applicazione implicano l'intervento su moltissime strutture realizzate nel periodo citato, per cui acquista particolare importanza la conoscenza di queste tematiche.
Si riportano alcune immagini dell'ex Fabbrica Caproni a Predappio, complesso architettonico per la produzione di aerei militari che, per le sue dimensioni e difficoltà costruttive dovute all'orografia del sito, ha rappresentato uno degli episodi più controversi di tutta l'attività edificatoria bellica fascista.

Come per il "Fabbricone", seppur con cronologie diverse e attività produttive totalmente estranee fra loro, i due episodi presentano la stessa volontà edificatoria di realizzare dal nulla grandi complessi edilizi dove le strutture hanno una parte di estrema importanza.
La conoscenza e conservazione di queste realtà rappresenta un contributo rilevante per la storia delle tecniche e delle costruzioni che solo negli ultimi decenni sono state validate come patrimonio significativo e culturale della nostra società. Ai futuri architetti sarà quindi affidato questo oneroso e, tante volte disconosciuto, impegno.

## Consolidamento delle strutture in cemento armato

Il cemento armato, ritenuto per anni inalterabile e di durata illimitata al punto da essere definito una "pietra artificiale", è in realtà soggetto a significativi fenomeni di degrado che ne alterano sensibilmente le proprietà meccaniche. Per garantire, quindi, la durabilità delle strutture in cemento armato è fondamentale la conoscenza dei meccanismi di degrado e dei fattori che influenzano tale fenomeno.
Il degrado porta ad una diminuzione del carattere protettivo del calcestruzzo dal punto di vista fisico (aumento della permeabilità, formazione di fessure, distacchi di materiale) favorendo così la penetrazione di sostanze aggressive e promuovendo la corrosione del ferro di armatura.
Nel corso degli ultimi anni sono state impiegate notevoli risorse nel campo dell'ingegneria sismica per sostenere la ricerca volta all'applicazione di nuovi materiali e allo studio di nuove tecnologie utili per il miglioramento delle prestazioni strutturali di edifici e strutture esistenti.
I recenti eventi sismici, che hanno colpito il territorio italiano, hanno ancora una volta messo in luce l'elevata vulnerabilità del patrimonio costruito esistente; la messa in sicurezza di tale patrimonio è dunque oggi una priorità di interesse nazionale al fine di migliorare la sicurezza delle nostre abitazioni e ridurre le perdite umane ed economiche a seguito di eventi sismici.
Sono questi i presupposti, a partire dai quali, con la Legge di Bilancio 2017 è stato sancito un cambio radicale in materia di prevenzione sismica del patrimonio edilizio esistente, promuovendo una politica di mitigazione basata sulla messa a punto di uno strumento di incentivo economico, nella forma di detrazione fiscale, per interventi di miglioramento sismico delle strutture, il cosiddetto *SismaBonus*.
Questo significativo contributo ha reso ancor più cogente la necessità di fornire strumenti conoscitivi su tecniche di consolidamento delle strutture moderne, finora riservate agli specialisti, anche in fase formativa universitaria.

Per quanto riguarda il rilievo delle principali forme di alterazione delle superfici e di degrado dei materiali che costituiscono le membrature in cemento armato, si evidenzia come in linea di massima queste forme siano connesse con difetti di costruzione o legate a fenomeni di tipo fisico e a reazioni di tipo chimico tra i materiali da costruzione e l'ambiente in cui una determinata opera è situata.

Sebbene le casistiche di degrado siano innumerevoli, tuttavia esse possono essere raggruppate in tre grandi categorie:

- alterazioni delle superfici dei materiali da costruzione;
- alterazioni delle sezioni degli elementi costruttivi;
- fessurazioni, perdita, distacco ed espulsione di materiale dalla sezione in cemento armato.

In linea di massima, le alterazioni delle superfici e delle sezioni sono di facile diagnosi in quanto sono legate principalmente ad errori durante l'esecuzione dell'opera e/o a difetti dei particolari costruttivi, con particolare riferimento a quelli legati allo smaltimento delle acque piovane.

Più difficoltosa risulta la ricerca delle cause di quelle manifestazioni di degrado che si presentano in forma di fessurazioni, distacchi ed espulsione di materiale. Queste alterazioni, infatti, possono essere riconducibili a cause diverse non direttamente individuabili attraverso l'osservazione visiva, tanto da necessitare di un approfondimento di indagine da condursi mediante prove effettuate generalmente in laboratorio su reperti prelevati in sito.

Ad esempio se il sopralluogo evidenzia la presenza di corrosione delle barre di armatura, accompagnata da macchie di ruggine sulla superficie del calcestruzzo, fessurazione e distacco del copriferro sarà necessario individuare, innanzitutto, se vi sono errori nella raccolta e smaltimento delle acque.

Successivamente, si potrà procedere alla valutazione dello spessore di calcestruzzo contaminato dall'anidride carbonica e/o dal cloruro, mediante metodi colorimetrici oppure ricorrendo all'analisi chimica elementare.

Lo spessore di materiale contaminato, unitamente alla conoscenza dell'età della struttura potrà fornire indirettamente utili indicazioni sulle caratteristiche del calcestruzzo utilizzato in termini sia di resistenza che di rigidità.

Queste informazioni, unitamente alla determinazione della riduzione di sezione dell'armatura per effetto della corrosione, potranno indirizzare l'intervento di consolidamento verso un reintegro dell'armatura corrosa oltre che nella scelta dei sistemi di protezione superficiale.

Lo sviluppo tecnologico offerto dall'industria, negli ultimi vent'anni, con ricerche e studi sui materiali compositi ha permesso di ridurre sensibilmente l'intervento su pilastri e travi che utilizzavano il vecchio metodo dell'integrazione delle armature e rifacimento dei copriferro che finivano per aumentare le sezioni.
Oggi questo intervento è stato, nella quasi totalità, sostituito dall'uso dei rinforzi in materiali compositi, come ad esempio fibre di carbonio, fibre di vetro, fibre di aramide, fibre di basalto, fibre di lino, fibre di canapa, tessuti in fibra di acciaio, da impiegarsi principalmente nei seguenti campi:
1. Miglioramento sismico
2. Adeguamento sismico
3. Messa in sicurezza di edifici terremotati
4. Aumento sovraccarichi
5. Ripristino armature corrose
6. Adeguamento prescrizioni normative
7. Errori progettuali

Per conseguire:
- aumento capacità deformativa della struttura;
- aumento della duttilità e della capacità resistente a pressoflessione e taglio dei pilastri;
- aumento della resistenza a flessione e/o taglio di travi, e/o dei tegoli prefabbricati.

Per il consolidamento di strutture in cemento armato:
- Ripristino delle capacità portanti di elementi strutturali, dovute al degrado o corrosione dei ferri di armatura.
- Rinforzo a flessione e a taglio di travi in c. a. a vista ed a spessore.
- Reintegro della funzione strutturale delle staffe, insufficienti o degradate.
- Cerchiaggio per il rinforzo dei pilastri di tutte le dimensioni e forme.
- Aumento della resistenza a compressione del calcestruzzo nei pilastri.
- Rinforzo di solai in c.a. anche per aumenti di carico imprevisti.
- Collegamenti strutturali dei nodi di trave-pilastro.
- Irrigidimenti di piano su solai in c.a. o in laterizio armato con collegamento alla struttura verticale.
- Ripristino delle capacità portanti di elementi strutturali danneggiati da incendi, urti e infiltrazioni.
- Cambio di destinazione d'uso dell'edificio, ove occorra aumentare la capacità portante di travi, pilastri e solai.



Immagini di interventi con materiali compositi da "CARBOSYSTEM".

I materiali compositi, costituiti da un rinforzo di fibre ad elevate proprietà meccaniche e da una matrice (epossidica o cementizia) che garantisce l'adesione del tessuto-lamine al supporto e quindi il trasferimento dei carichi, rappresentano un efficace metodo per il rinforzo ed il restauro di opere edili.

L'applicazione dei compositi in edilizia, permessi dall'attuale normativa tecnica, hanno dato una svolta significativa all'impiego delle fibre di carbonio-vetro, ecc.

I rinforzi vengono applicati per laminazione diretta sulla superficie da rinforzare mediante impregnazione con matrici a base di resine di tipo epossidico , e più recentemente con sistemi che prevedono l'utilizzo di malte cementizie o a base di calce.

La conoscenza delle interazioni fibra-matrice, dei fenomeni di adesione all'interfaccia, qualità dei materiali, sperimentazione e verifiche che ne derivano, sono gli unici elementi che possono costituire una buona garanzia di qualità di questi sistemi.

Le principali fibre oggi presenti in commercio:

*Fibre di carbonio*

Presentano altissime proprietà meccaniche ed una elevata resistenza chimica rispetto a tutti gli agenti chimici ed una garanzia e durata nel tempo significativa; presentano inoltre un altissimo modulo elastico, possono essere del tipo unidirezionale, bidirezionale, quadri assiale, ecc.

*Fibre di vetro*

Sono più economiche delle fibre di carbonio ma presentano delle proprietà meccaniche nettamente inferiori, con una maggiore deformabilità e resistenza alla compressione.

*Fibre di aramide*

Queste fibre appartengono alla categoria delle "poliammidi aromatiche"; presentano

proprietà meccaniche elevate ed una grande capacità di dissipazione di energia vibrazionale. Rispetto alle fibre di vetro e di carbonio hanno densità più bassa ma presentano maggiore assorbimento di acqua, minore resistenza alle variazioni di PH e maggiore sensibilità alle radiazioni, in particolare ai raggi UV; inoltre, sottoposte a carico costante possono presentare sensibili fenomeni di "*Creep*".

*Fibre di acciaio*

Sono formate da microtrefoli di acciaio galvanizzati, ad altissima resistenza fissati su una microrete in fibra di vetro che ne facilita le fasi d'istallazione, si presentano sul mercato come tessuti unidirezionali e bidirezionali di facile lavorabilità e sagomabilità. I tessuti in fibra di acciaio galvanizzato garantiscono risorse strutturali e meccaniche uniche, assai superiori rispetto ai tradizionali tessuti in fibra di carbonio-vetro-aramide, risultando così particolarmente efficaci nelle diverse applicazioni per rinforzo strutturale e miglioramento o adeguamento sismico, nonché' nella realizzazione di opportuni sistemi di connessione di placcaggio, in abbinamento a *Iniettore&Connettore*. Sono tensionabili per la realizzazione di rinforzi strutturali e presidi attivi, mediante particolari sistemi di ancoraggio meccanico, grazie alle particolari caratteristiche del tessuto che non richiedono la preventiva impregnazione dei nastri, e al tempo stesso, permettono l'ancoraggio e afferraggio mediante piastre metalliche senza dover ricorrere a particolari attenzioni come invece risulta necessario con tutte le altre tipologie di fibre e tessuti presenti sul mercato. Sono sagomabili mediante speciale piegatrice che permette di modellare facilmente i tessuti senza alterarne le proprietà meccaniche per realizzare staffe, per la fasciatura di travi e pilastri e altre pieghe necessarie negli interventi di consolidamento strutturale.

**Rinforzi poltrusi e laminati**

Le lamine pultruse[1], generalmente in fibra di carbonio, possono essere prodotte a diversi spessori e larghezze, utilizzando fibre di carbonio ad alta tenacità (HT) o del tipo ad alto modulo elastico (HM). A causa della loro indeformabilità, che non consente alcuna curvatura, trovano impiego solo quando utilizzate in strutture perfettamente rettilinee quali travi e strutture in calcestruzzo.

Lamine ottenute con tecniche di laminazione sotto vuoto , sono prodotte unicamente su richiesta e su specifica del progettista , quando sono necessarie particolari caratteristiche non ottenibili con i procedimenti standard di pultrusione.

[1] La pultrusione è un processo automatizzato per la produzione di profili in materiale plastico fibrorinforzato, denominati anche profili pultrusi o in VTR. Nel processo di fabbricazione continuo, un profilo viene prodotto attraverso la combinazione mirata di rinforzi di fibre e sistemi di resina.

Esempi applicativi di profili pultrusi strutturali

Le barre pultruse in fibra di carbonio, fibra di vetro o fibra di aramide , sono prodotte con diametri variabili e lunghezze diverse. Barre continue in rotoli, in fibra di carbonio, possono essere prodotte unicamente con diametri inferiori ad 8 mm. Le barre trovano largo impiego come: connettori, tiranti e collegamenti sia per strutture in calcestruzzo, sia in muratura.

**I profili pultrusi strutturali**

I profili poltrusi sono invece elementi di materiale composito, ottenuti con la tecnica della pultrusione. Questi particolari materiali compositi sono costituiti da resine organiche di tipo sintetico, solitamente fibre di vetro.

I profili pultrusi in vetroresina sono composti da fibre lunghe e tessuti e vengono denominati anche *Fiber Reinforced Polymers* o FRP, *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GRFP) nel caso delle fibre di vetro e Carbon Fiber (CF) nel caso di fibre di carbonio.

I profili pultrusi in fibra vengono preferiti ai tradizionali profili di acciaio e alluminio per diversi motivi, tra i quali si segnalano:

- Leggerezza
- Elevata resistenza alla corrosione
- Resistenza dielettrica
- Isolamento termico

I materiali compositi di resine poliestere, infatti, risultano essere più leggeri dell'acciaio di circa il 70%, sono altresì resistenti alla corrosione dovuta ai vari agenti atmosferici e sono totalmente immuni a disturbi elettromagnetici.

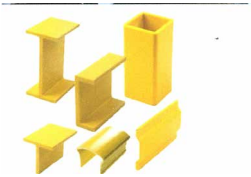
Inoltre tra vantaggi dei profili pultrusi costituiti da resine organiche, troviamo anche:

- Bassa conduttività termica
- Resistenti a sollecitazioni termiche e dilatazione
- Ottima resistenza agli urti
- Ottima resistenza meccanica

Da come si può notare, l'utilizzo dei materiali compositi è consigliato soprattutto nell'industria civile/industriale per tutte le problematiche inerenti la corrosione e al disturbo elettroma-gnetico. Inoltre non sono da sottovalutare i benefici in termini di costi di manutenzione decisamente inferiori. Un altro grande vantaggio dei profili pultrusi strutturali si concretizza in fase di assemblaggio del manufatto con un netto risparmio in termini di tempo.

Possono essere forgiati (e ri-forgiati) in qualsiasi forma usando delle tecniche quali lo stampaggio ad iniezione e l'estrusione. Tramite il calore si ottiene la fusione di questi




polimeri che, successivamente, a contatto con le pareti dello stampo, solidificano per raffreddamento. Il processo di fusione/solidificazione del materiale può essere ripetuto senza apportare variazioni notevoli alle prestazioni della resina.
Generalmente i polimeri termoplastici non cristallizzano facilmente, a seguito di un raffreddamento, poiché le catene polimeriche sono molto aggrovigliate. Anche quelli che cristallizzano non formano mai dei materiali perfettamente cristallini, bensì semicristallini caratterizzati da zone cristalline e zone amorfe. Le regioni cristalline di questi materiali sono caratterizzate dalla loro temperatura di fusione (Tm, dall'inglese "*melting temperature*").
Le *resine termoindurenti* sono materiali molto rigidi costituiti da polimeri reticolati nei quali il moto delle catene polimeriche è fortemente limitato dall'elevato numero di reticolazioni esistenti.
Durante la fase di trasformazione subiscono una modificazione chimica irreversibile.
Le resine di questo tipo, sotto l'azione del calore nella fase iniziale, fondono (diventano plastiche) e, successivamente, sempre per effetto del calore, solidificano.
Le resine termoindurenti sono intrattabili una volta che siano state formate e degradano invece di fondere a seguito dell'applicazione di calore.
Contrariamente alle resine termoplastiche, quindi, non presentano la possibilità di subire numerosi processi di formatura durante il loro utilizzo.
Nel campo dell'edilizia si è sempre usato l'impiego delle resine termoindurenti per la maggior omogeneità delle catene polimeriche e resistenza dei campi cristallini.

**Supporti in materiale inorganico (betoncini) per strutture in c.a.**
Sono malte a base di leganti idraulici e calce aeree, inserti selezionati di cava in curva granulometrica pre definita, microfibre di vetro e acciaio, a ritiro compensato e additivi specifici

che ne migliorano le prestazioni garantendo ottima adesione e lavorabilità, sia con le armature in acciaio tradizionali sia con i materiali compositi più recenti
Il loro utilizzo rispetto alle resine permette un tempo di posa e lavorabilità più lungo e quindi si preferisce per il consolidamento delle strutture in cemento armato dove sia necessario ricostruire i profili sagomati originali o particolari dettagli costruttivi, inoltre la possibilità di avere composti sempre più compatibili a quelli originali.
Attualmente la produzione industriale ha creato una molteplice e qualificata gamma di offerta che deve rispondere a ben definite certificazioni di qualità per la loro applicazione.
A titolo puramente informativo si riporta l'indicazione specifica di una nota azienda produttrice.
Betoncino strutturale ad alta resistenza a compressione a norma EN 1504-3 a base di speciali leganti idraulici solfato-resistenti, specifico per ambienti acidi, per interno ed esterno, da applicare a proiezione meccanica o a mano per la ricostruzione o il ripristino di strutture in cemento armato o calcestruzzo, come consolidamento strutturale di vecchie murature, per il ripristino e risanamento di condotti, canalizzazioni e gallerie fognarie.
Non attacca i metalli ma li protegge se li avvolge completamente. Disponibile fibrorinforzato con una speciale composizione di fibre in polipropilene tipo "FR".
Disponibile di classe R2 o R3 o R4-CC.
Grazie all'aggiunta di speciali componenti inorganici si forma una micro struttura acido resistente che lo rende specifico per applicazioni in ambienti acidi o da nebbie marine.
Da abbinare anche con il sistema di rinforzo strutturale MALVIN NET, che utilizza reti, connettori e accessori preformati in GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) (FIBRE NET), o reti F.R.P (*Fiber Reinforced Polymer*) costituite da fibra di vetro AR GLASS (alcalino resistenti) e connettori in acciaio inox AISI 304 trafilato a freddo.
Certificato processo produttivo FPC 0925.
CONFEZIONE: Sfuso in silo - Sacchi da 25 kg - pedane da 70 sacchi - 17,50 ql
UTILIZZO: Interno/Esterno
COLORE: Grigio
GRANULOMETRIA: ≤ 1,3 mm
RESA: 17/18 kg/mq
LEGAME DI ADERENZA EN 1542: R17: > 0,8 MPa • R25/R35: > 1,5 MPa • R40: > 2,0 MPa
MODULO ELASTICO EN 13412: Tipo R25/R35: > 15 GPa • Tipo R40: > 20 Gpa
RESISTENZA A COMPRESSIONE A 28 GG EN 12190:
• R17: ≥ 17 MPa • Classe R2

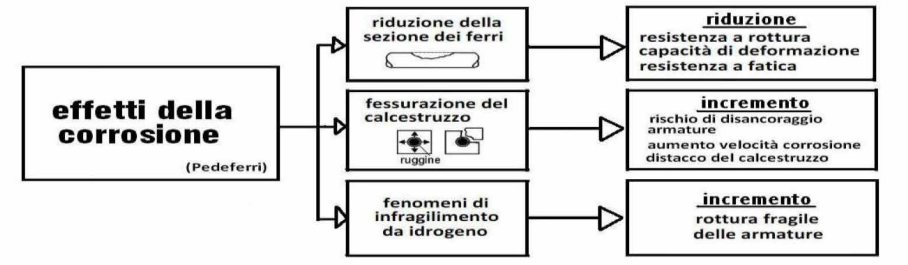
• R25: ≥ 25 MPa • Classe R3
• R35: ≥ 35 MPa • Classe R3
• R45: ≥ 45 MPa • Classe R4

**Passivazione dei ferri ossidati delle armature – procedure applicative**

La prima operazione da fare sulle superfici da ripristinare è asportare completamente il calcestruzzo ammalorato mediante scalpello o con altri mezzi idonei quali microsabbiatori, l'idroscarifica e pistole ad ago al fine di rimuovere qualsiasi residuo di vecchie vernici, sporco, disarmante, muschi, materiali friabili in genere, che impedirebbero la perfetta adesione della malta al supporto metallico. Il tutto al fine di ottenere un supporto solido, pulito, privo di parti in distacco e sufficientemente ruvido.

**Trattamento protettivo dei ferri di armatura**

Il trattamento protettivo dei ferri di armatura a vista consiste nell'applicazione a pennello di malta idraulica mono o bicomponente rialcalinizzante anticorrosiva. In particolare si tratta di paste pronte mono e bicomponenti adesive applicate a pennello, armate con microfibre sintetiche. In generale sono costituite da cemento ad alte prestazioni, sabbie cristalline micronizzate, resine in polvere, pigmenti e inibitori della corrosione. Tra i prodotti del mercato si segnalano la *Mapefer* della Mapei e la *webertec fer* della Saint Goben.
È buona norma applicare ad una temperatura maggiore di +5°C e inferiore di +35°C.
Alcune informazioni sul trattamento delle armature con "inibitori di corrosione migranti" da Edoardo Mocco per CONSILEX NO-RUST.
Gli inibitori di corrosione migranti sono sostanze organiche, in forma liquida, a base acquosa, caratterizzate da "migrazione attrattiva e selettiva" che, applicate alle superfici del conglomerato, migrano in profondità, sino a raggiungere selettivamente le superfici metalliche delle armature d'acciaio dalle quali sono attratte, fissandosi e condensando sulle superfici stesse per formare un film monomolecolare di protezione in grado di mantenere o riportare le armature in acciaio significativamente protette.



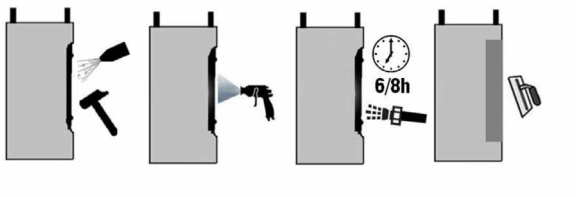


Esempio di consolidamento di un pilastro in cemento armato con rimozione del calcestruzzo ammalorato tramite pistola a spillo, trattamento con malta passivante anticorrosione mediante pasta bicomponente data a pennello e ripristino con malta cementizia della sezione originaria.

Il nodo di una capriata in cemento armato gravemente danneggiato da fenomeni da carbonatazione dovuto al ridotto spessore del copriferro e di un'armatura molto fitta che ha impedito al calcestruzzo di penetrare in profondità. Il consolidamento di questa struttura prevede: Il puntellamento della struttura prima di ogni intervento, l'asportazione del calcestruzzo ammalorato, Il trattamento con inibitori di corrosione e Il ripristino delle sezioni con malte il più possibili simili all'originale.

Nella normale pratica di cantiere ci si limita alla sola asportazione del conglomerato adiacente all'armatura esposta, lasciando immutata la situazione a tergo dell'armatura per poi ricostruire, a frattazzo, la limitata porzione di conglomerato asportato. La preparazione descritta comporta i possibili rischi connessi con la situazione degenerativa, fisica ed elettrochimica del conglomerato retrostante le armature.

Soltanto il ricorso all'applicazione dell'inibitore di corrosione a "migrazione attrattiva e selettiva" CONSILEX NO-RUST può quindi consentire la più completa omogeneizzazione dell'interfaccia ferro/calcestruzzo attraverso la creazione di un film monomolecolare a protezione dell'armatura.




## Appunti sul consolidamento delle strutture metalliche

Più articolato e complesso si presenta il problema del consolidamento e della riabilitazione delle costruzioni e parti strutturali metalliche che caratterizza l'architettura del periodo preso in considerazione.

Agli studenti frequentanti il corso è già stata data una prima informazione sui principali materiali metallici utilizzati in architettura, in particolare sul ferro fucinato, la ghisa e l'acciaio per cui, in questa occasione, è importante segnalare che in Italia, soprattutto in periodo autarchico, si è preferito adottare strutture in cemento armato con declinazioni di particolare arditezza e complessità (Pier Luigi Nervi) per coprire luci molto significative. In alternativa vengono realizzate sistemi di capriate in cemento armate estremamente articolati assimilabili alle reticolari in acciaio; basta osservare quelli dell'ex Fabbrica Caproni a Predappio o di simili strutture presenti ancora sul territorio italiano.

Dopo l'unificazione del Regno d'Italia l'acciaio e la ghisa vengono utilizzati per coprire ampi spazi, in particolari edifici specialistici: le stazioni ferroviarie e le gallerie urbane nelle città più importanti; molte delle quali oggi coperte da tutela del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio. Basta citare la Stazione di Milano (1931) e la Galleria Vittorio Emanuele II (1878), dove l'acciaio è stato utilizzato per la grande volta dell'arrivo dei binari e per la cupola e per le volte dei bracci della galleria.

Comunque anche nel dopoguerra alle strutture in acciaio è stato preferito, per le costruzioni industriali e per i palazzetti sportivi e per congressi l'uso del cemento armato; con l'affermarsi, a cavallo degli anni '50 e '60 del '900, l'uso delle strutture in cemento armato prefabbricato che con costi molto inferiori monopolizzarono le costruzioni industriali.

Solo con la prima grande riclassificazione sismica del 1982 e, in particolare con quella del 2004, in queste zone le costruzioni in acciaio si presentarono competitive sia sotto il profilo delle prestazioni sismiche sia economicamente alle strutture in cemento armato prefabbricato.

Comunque, seppur minoritarie le strutture in acciaio sono esistenti nel nostro territorio in particolare in complessi industriali o, in minor numero, nei palazzetti dello sport e, alla luce dell'attuale Normativa tecnica 2008, 2018, qualora dovessero essere oggetto di interventi, anche di straordinaria manutenzione o di cambi di destinazione d'uso anche parziali, è richiesta la verifica sismica di sicurezza che implica, come per tutti i fabbricati esistenti tutelati e non, l'attivazione del "Percorso conoscitivo" fra cui il "dettagliato rilievo strutturale". Quest'ultimo, data la grande difficoltà, ha sempre limitato gli studi esaustivi sulle grandi strutture, in particolare quelle dell'archeologia industriale e dei grandi complessi del dopoguerra, oggi o sotto utilizzati o del tutto inutilizzati.

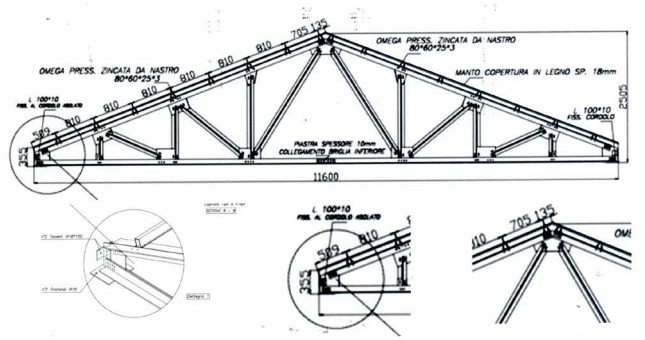
Comunque attualmente questo problema è molto facilitato dall'uso, diventato molto più corrente ed economico, del rilievo con il laserscan e i droni che permette di rilevare, in dettagli, elementi strutturali a distanze una volta impossibili da rilevare con i metodi tradizionali.

Ecco infatti quello che prevede la normativa per la messa in sicurezza degli edifici con strutture in acciaio.

Una delle novità delle NTC2018 riguardante le costruzioni esistenti è l'introduzione dell'analisi preliminare della sicurezza statica e della vulnerabilità sismica a seguito del rilievo geometrico della struttura.

Tale analisi è propedeutica alla corretta pianificazione del numero e della localizzazione delle indagini in sito e delle prove da eseguire.

Dai risultati ottenuti dall'analisi preliminare si dovrà valutare il livello di impegno statico dei singoli elementi strutturali e decidere per quale tipologia di elemento incrementare il numero di indagini necessarie e dove localizzarle.




Disegno esecutivo di una reticolare in acciaio costruita negli anni '70 del '900 in zona non sismica. Identificazione delle principali criticità sismiche.

Disegno esecutivo di una traliccio in acciaio a consolidamento sismico di una capriata lignea.

Prima dell'analisi preliminare dovrà essere eseguito il rilievo geometrico strutturale per individuare:

- posizione di travi, pilastri, scale e setti e loro dimensioni;
- identificazione dell'organizzazione strutturale;
- identificazione dei solai e loro tipologia, orditura e sezione;
- identificazione della tipologia e dimensione degli elementi non strutturali;
- forma dei profili in acciaio utilizzati e loro dimensioni geometriche;
- tipologia e morfologia delle unioni.

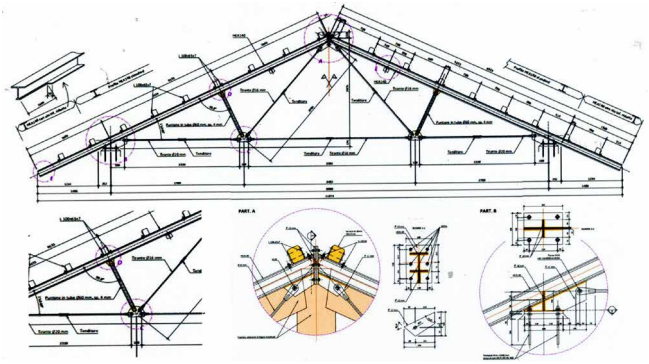
Particolare importanza riveste nel "Percorso conoscitivo" l'indagine storico - documentale in quanto il reperimento del progetto strutturale facilita molto la fase diagnostica, in particolare la costruzione del modello strutturale e la rispondenza dell'opera realizzata al progetto.

Nel caso in cui non siano disponibili i grafici originali di progetto, le informazioni relative ai dettagli costruttivi, di fondamentale importanza per analizzare il comportamento della struttura sotto sisma, andranno valutate eseguendo un progetto simulato ai sensi della normativa tecnica in vigore all'epoca di costruzione del fabbricato e tenendo conto delle pratiche costruttive del periodo.

La corrispondenza fra i dettagli costruttivi ottenuti dal progetto simulato con la struttura realizzata andranno verificati a campione tramite le indagini in sito.

La Normativa Tecnica pone una distinzione fra indagini e prove.

Le indagini sono finalizzate ad ispezionare la tipologia di giunti (saldati o bullonati) fra le membrature, i particolari degli appoggi dei solai, le modalità di collegamento degli elementi strutturali alle fondazioni.



Le prove hanno lo scopo di identificare le proprietà meccaniche dei materiali. Nel caso delle strutture in acciaio, le prove forniranno informazioni sulla resistenza a snervamento, la resistenza a rottura e l'allungamento a rottura dell'acciaio.
Sia le prove che le indagini sono classificate secondo tre livelli crescenti di approfondimento:

- limitate;
- estese;
- esaustive.

Si evidenzia quindi l'importanza della fase di rilievo e delle prove sui materiali poiché anche per le strutture esistenti in acciaio la Normativa Tecnica definisce tre livelli di conoscenza:

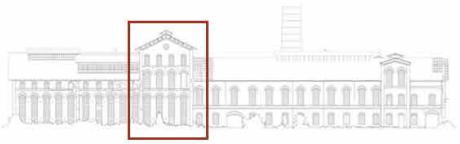
- LC1; conoscenza limitata
- LC2; conoscenza adeguata
- LC3. conoscenza accurata

Al crescere del livello di conoscenza (da LC1 a LC3) aumenteranno le informazioni disponibili sulla struttura, relativamente alle proprietà dei materiali e ai dettagli costruttivi.
A ciascun Livello di Conoscenza è associato un Fattore di Confidenza FC che sarà utilizzato per ridurre la resistenza dell'acciaio. Al crescere del livello di conoscenza, diminuirà il valore del Fattore di Confidenza FC per la riduzione dei parametri meccanici del materiale come riportato di seguito:

- LC1 ⇒ FC = 1.35
- LC2 ⇒ FC = 1.20
- LC3 ⇒ FC = 1.00

$$Rd = R / FC$$

- *Rd* = resistenza di progetto da utilizzare nelle verifiche;
- *R* = resistenza ottenuta da prove in sito o dalle specifiche originali di progetto;
- *FC* = Fattore di Confidenza.





m0 m5




Finito di stampare da
Rubbettino print | Soveria Mannelli (CZ)
per conto di FUP
**Università degli Studi di Firenze**
2023

«Il Patrimonio dell'Industria pratese del '900» è l'argomento della pubblicazione. Capillarmente diffuso nel distretto produttivo della città, rappresenta un unicum ambientale che da almeno due decenni, in attuazione di politiche di delocalizzazione degli anni '80 e '90 del secolo scorso, sta vivendo una radicale trasformazione. Le molteplici valenze economiche, storico urbanistiche e architettoniche, di assoluta rilevanza a livello nazionale, hanno però determinato la convergenza di interessi per la conservazione e/o la rigenerazione delle funzioni per una sua valorizzazione. Su questi temi il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze e l'Ordine degli Architetti PPC della Provincia di Prato hanno elaborato un progetto comune di studio. Allo stesso modo il dibattito sul restauro del Moderno e sull'Archeologia Industriale attraverso l'esame di casi-studio, ha determinato un'interazione tra Università ed Ordine professionale che si è concretizzato in una «Giornata di Studio» (Prato, 26 maggio 2022), quale atto conclusivo di un Laboratorio didattico dedicato al Fabbricone (iconico complesso industriale cittadino) svolto come attività del CdL in Scienze dell'Architettura.

**Giuseppe Alberto Centauro,** già Professore Associato di Restauro c/o il Dipartimento di Architettura dell'Università di Firenze, autore di numerose pubblicazioni: monografie, saggi ed articoli a stampa; svolge attività di libera docenza e consulenze per il restauro dei beni culturali: archeologici, ambientali, architettonici e storico-artistici.

ISBN 978-88-3338-186-2




€ 30,00