

*Building and Construction for Engineers*

# L'Edilizia

INGEGNERIA MATERIALI TECNOLOGIA



**SPECIALE  
CONSOLIDAMENTO  
DELLE MURATURE**





## Il consolidamento delle murature con tecnologia

# Cintec

di Elena Poverello  
CintecDpt. Bossong Spa

Nel campo della conservazione del patrimonio edilizio e monumentale svariati sono i problemi di natura strutturale che devono essere affrontati con tecniche e materiali che, nel rispetto dell'esistente e della logica costruttiva del manufatto, costituiscano un giusto compromesso tra sicurezza e conservazione.

Tra i diversi elementi strutturali costituenti gli organismi edilizi, spesso sono proprio le murature a presentare evidenti segni di sofferenza, che si manifestano attraverso lesioni e dissesti, e a necessitare di interventi di rinforzo e consolidamento che, in molti casi, prevedono l'inserimento di barre in acciaio e la successiva iniezione di materiali consolidanti:

- catene o cerchiature a contenimento delle azioni di elementi spingenti;
- barre di cucitura in corrispondenza di lesioni;
- inserimento di tiranti interni alla muratura, allo scopo di incrementarne le caratteristiche di resistenza o di migliorare il comportamento globale delle strutture, anche in funzione antisismica.

Moderne ricerche, materiali e tecniche operative, hanno permesso di elaborare una tecnologia che, riprendendo i principi di funzionamento dei sistemi tradizionali di rinforzo degli elementi strutturali, garantisce, grazie ad alcuni accorgimenti progettuali, i migliori risultati dal punto di vista tecnico, nel completo rispetto del manufatto esistente.

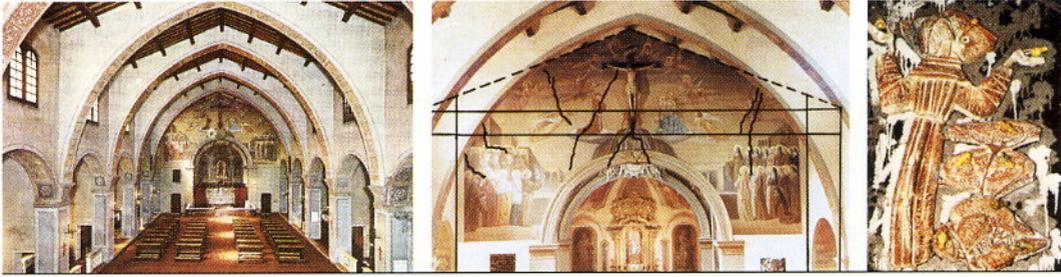
Particolarmente interessante, per la soluzione adottata e la per la metodologia operativa, è l'intervento di consolidamento delle murature eseguito nel Santuario di Santa Maria delle Grazie, a Voghera.

### L'edificio

La chiesa è costituita da una grande navata centrale di circa 35 m di lunghezza e 13 di larghezza, scandita da sei arcate a sesto acuto, sulle quali appoggia la copertura lignea. La navata è affiancata da quattordici cappelle votive, sovrastate da volte in muratura, aventi la funzione statica di contrafforte per il contenimento delle spinte delle arcate della navata.

L'arco trionfale, a tutto sesto, collega la navata con la zona del presbiterio e del coro, ed è sovrastato da una parete interamente affrescata, in cui sono state riscontrate ampie lesioni estese a tutto lo spessore della muratura. I sondaggi, effettuati in alcuni punti della muratura, hanno attestato che la parete, il cui spessore complessivo raggiunge i 78 cm, è costituita da mattoni pieni, disposti con una buona organizzazione, ma legati da una malta scadente.

In corrispondenza delle cinque fessure più significative, sono stati installati fessurimetri graduati che, periodicamente controllati, non hanno evidenziato segni di variazioni dimensionali delle stesse. Per contrastare eventuali nuovi movimenti della struttura, si



é deciso di inserire due tiranti in acciaio nella parete, per tutta la sua lunghezza e internamente allo spessore della muratura. In una seconda fase, è stato previsto un intervento di rinforzo della sommità della parete, mediante l'inserimento di barre passive di cucitura in corrispondenza degli appoggi delle travi costituenti la copertura lignea.

### L'intervento di consolidamento

Per l'esecuzione dell'intervento sono state analizzate diverse soluzioni tra le quali l'inserimento, in appositi fori realizzati nella muratura, di barre in acciaio, ancorate in testata con piastre, ma non aderenti alla muratura. Infatti, l'iniezione di materiale consolidante avrebbe comportato, inevitabilmente, la dispersione del materiale stesso, attraverso lesioni e vuoti presenti nella muratura, con conseguente danno per le superfici affrescate.

Per ovviare a tali inconvenienti e, allo stesso tempo, garantire l'aderenza e la collaborazione della barra con la muratura su tutta la lunghezza, senza piastre di ancoraggio alle estremità, si è adottato il sistema costituito da barra in acciaio più calza in tessuto, capace di garantire un efficace controllo del materiale consolidante iniettato, nonostante le ampie fessure della parete.

Per l'intervento di cucitura della sommità della parete, l'utilizzo della tipologia di barre cave, attraverso le quali iniettare il materiale consolidante, sempre contenuto da un'apposita calza in tessuto, ha assicurato semplicità e rapidità nell'applicazione.

L'intervento ha comportato l'esecuzione delle seguenti fasi:

**Consolidamento della parete sovrastante l'arco del presbiterio, mediante inserimento di due tiranti:**

- stuccatura delle lesioni presenti sulla parete
- esecuzione delle perforazioni a secco, con sonda diamantata a rotazione, diametro 40 mm
- montaggio e installazione delle ancore di rinforzo.

### CINTEC GRIP BAR

*acciaio: inossidabile AISI 304  
barra a sezione piena, con filettatura continua su tutta la lunghezza e calza in tessuto  
lunghezza barra: 14,00 m  
diametro barra: 16 mm  
accessori: manicotti di giunzione.*

■ iniezione della speciale malta liquida Presstec standard ad una pressione costante pari a 3,5 bar fino al completo riempimento della calza.

### Rinforzo della muratura in corrispondenza dell'appoggio delle travi lignee della copertura, mediante barre di cucitura:

- esecuzione delle perforazioni a secco, con sonda diamantata a rotazione, diametro 28 mm.;
- installazione delle ancore di cucitura

### CINTEC CHS

*acciaio: inossidabile AISI 304  
barra: deformata a sezione cava circolare e calza in tessuto  
lunghezza barra: 0,70 m  
diametro barra: 12 mm*

■ iniezione della speciale malta liquida Presstec standard ad una pressione costante pari a 3,5 bar fino al completo riempimento della calza.

## La storia

L'inizio della costruzione dell'attuale santuario risale, presumibilmente, alla prima metà del XV sec., ad opera dei Domenicani di S.Maria ma il suo completamento avvenne solo nel secolo successivo, con la dedizione a S.Maria del Rosario. L'Ordine dei Predicatori vi rimase fino al 1802, quando, con la soppressione napoleonica, i beni furono confiscati e ceduti alla città di Voghera, che adibì il convento ad abitazione militare e la chiesa a stalla. Dopo una breve parentesi (1819 - 1847) in cui la chiesa venne riaperta al culto, nel 1848 fu nuovamente chiusa a causa dell'occupazione da parte dei militari e adibita a magazzino, apportandovi consistenti manomissioni.

I Francescani ottennero definitivamente il convento del Rosario nel 1926, restaurarono la chiesa su progetto dell'ing. Cattaneo (demolizione di superfetazioni, esecuzione di sottermurazioni, rifacimento d'intonaci, costruzione del campanile) e la riapirono al culto nel 1927, dedicandola a S.Maria delle Grazie. Nel 1989 è stata attuata la ristrutturazione dell'area presbiteriale, mentre nei primi anni '90 sono stati effettuati lavori di manutenzione e di rinforzo strutturale.



#### Progettazione

Ing. Umberto Sollazzo

#### Committente

Provincia di Genova dei Frati Minori di San Leonardo

#### Impresa esecutrice delle opere

Aedificat srl - Voghera (PV)

#### Perforazioni e posa in opera ancore

CintecDiamantech sas - Rezzato (BS)

#### Fornitura e consulenza tecnologia Cintec

Bossong spa Distributore esclusivo Cintec per l'Italia

tel. 035.200600 www.cintec.com cintec@bossong.com

## Il sistema Cintec

Una combinazione flessibile di diversi tipi di ancore in acciaio, avvolte da una calza di poliestere, nella quale vengono iniettate, a bassa pressione, speciali malte consolidanti: è il sistema Cintec, di cui, qui di seguito, riportiamo le principali fasi di applicazione:

- la barra in acciaio viene posizionata all'interno di un foro realizzato nella muratura da consolidare;
- viene effettuata un'iniezione di materiale consolidante, a bassa pressione, coassialmente al tirante stesso, per mezzo di un apposito sistema di tubicini di iniezione o, più semplicemente, all'interno di apposite barre cave;
- la speciale calza in tessuto poliestere, posizionata intorno alla barra, viene riempita gradualmente durante l'iniezione, fino a completa saturazione, adattandosi alla forma della sede e garantendo, così, un'efficace connessione alla muratura da consolidare. Oltre a permettere la buona riuscita delle operazioni di iniezione, evitando imprevedibili e spesso dannose dispersioni in vuoti e cavità, che possono essere sempre presenti nelle strutture murarie esistenti, la calza assicura l'aderenza del materiale iniettato al supporto per tutta la lunghezza, e quindi un'omogenea distribuzione degli sforzi nella muratura con la conseguente possibilità di non dover applicare piastre di ancoraggio e quindi fornire un rinforzo "invisibile".

Le caratteristiche delle ancore e della malta sono definite in base ai parametri del progetto, così come le dimensioni del foro in cui devono essere posizionate, che dipendono dal tipo di materiale costituente il substrato. La resistenza del legame tra malta e muratura può essere verificata con test di pull-out, effettuati sia in cantiere che in laboratorio.

Le applicazioni della tecnologia Cintec sono molteplici, dai semplici sistemi di ancoraggio ai grandi interventi di rinforzo statico e consolidamento strutturale.

Attraverso la cooperazione tra diverse società di ricerca, sono stati sviluppati sistemi specifici per il rinforzo di ponti e di strutture ad arco (*archtec*) e per il miglioramento sismico delle strutture (*seistec*), supportati da avanzate tecniche di modellazione numerica e software di calcolo.



### LE ANCORE IN ACCIAIO

La tipologia dell'ancora dipende dal tipo di applicazione: nel caso di interventi di ancoraggio o di inserimento di barre di cucitura, possono essere utilizzate ancore cave, a sezione circolare o quadrata, che semplificano l'operazione di iniezione, effettuata attraverso la barra stessa.

Per interventi di rinforzo strutturale, in cui è fondamentale la resistenza della sezione in acciaio, si opera con barre a sezione piena e relativi tubicini di iniezione.

### LA MALTA

La malta liquida "Presstec" è una miscela che può essere costituita da un legante con caratteristiche simili al cemento Portland, "Presstec Standard", oppure a base di calce, studiata appositamente per garantire la compatibilità con il materiale originario e la resistenza richiesta.

Il legante, unito ad aggregati di differente granulometria e miscelato con acqua, produce una malta iniettabile, a ritiro controllato.

I valori caratteristici di "Presstec standard" sono:

#### Resistenza a compressione MPa

a 3 gg = 21,2, a 7 gg = 37,2, a 28 gg = 51,5

#### Resistenza a trazione MPa

a 3 gg = 2,5, a 7 gg = 3,5, a 28 gg = 4,5

#### Modulo elastico a 28 gg

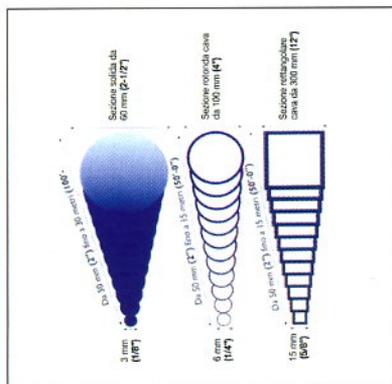
28.000 MPa

#### Tipi di acciaio

acciaio dolce,  
acciaio ad alta resistenza,  
acciaio inox AISI 304 - AISI 316

#### Tipi di barre con relativi elementi accessori

barre lisce,  
barre deformate,  
barre ad aderenza migliorata,  
barre interamente filettate (filettatura metrica o con passo maggiore)

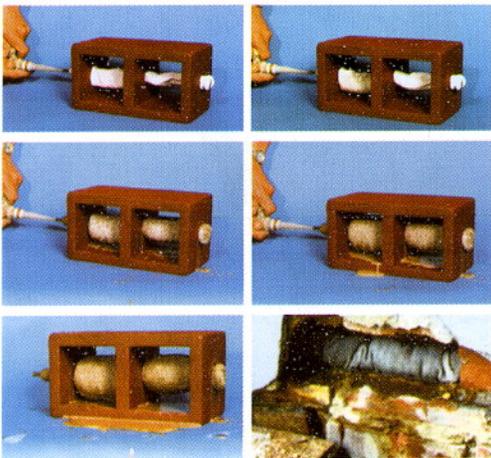


## LA CALZA

L'involucro è costituito da una speciale calza tubolare in tessuto poliestere con capacità di espansione, in grado di adattarsi al diametro del foro ed alla conformazione del substrato.

La maglia della calza è stata progettata per contenere gli aggregati costituenti la miscela, permettendo il filtraggio del latte di cemento, che ne garantisce l'adesione al supporto.

La calza è prodotta in diametri che variano da 20 a 300 mm.



*Test di resistenza al fuoco.* I test condotti presso il Building Research Establishment, (BRE) in Gran Bretagna, hanno mostrato che le ancore Cintec, sottoposte ad una temperatura di 1200°C, hanno garantito un normale funzionamento per 2 ore.

Risultati analoghi sono stati ottenuti con test di pull-out, effettuati su ancore installate nelle strutture della Fabbrica di birra Fullers a Londra, in seguito ad un incendio che le ha sottoposte ad elevate temperature (figura 1).

*Test di invecchiamento accelerato* Presso il Building Research Establishment (BRE), è stato simulato un ciclo di invecchiamento di 40 anni, ed è stato dimostrato che la prestazione delle ancore è permanente.

*Test di resistenza alle azioni sismiche* Effettuato al Joint Research Centre JRC di Ispra, in Italia, su un modello in scala reale di parte del chiostro del monastero di Sao Vicente de Fora a Lisbona, il test ha mostrato che la presenza di ancore Cintec migliora il comportamento della struttura in termini di capacità di deformazione e di resistenza ad azioni orizzontali dinamiche (lesioni meglio distribuite nella struttura).

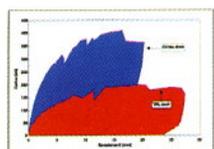
*Test Archtec* Presso il Laboratorio TRL (Transport Research Laboratories), di Londra, è stata testata l'applicazione della tecnologia Cintec per il rinforzo di ponti ad arco in muratura. La verifica del carico ultimo di collasso, precedentemente calcolato con una modellazione ad elementi finiti, è stata effettuata su un modello in scala reale: il ponte, rinforzato con le ancore Cintec, ha raggiunto il collasso ad un carico di 41 t, raddoppiando il carico ultimo del modello non rinforzato.

■ Modello in scala reale di un ponte ad arco in muratura. La struttura dell'arco è costituita da tre anelli di mattoni separati da uno strato di sabbia; non sono stati costruiti i parapetti e la superficie stradale: una struttura in acciaio contiene il materiale di riempimento del ponte.

■ Il carico di rottura per il ponte non rinforzato era di 20 t. Con l'installazione del sistema di rinforzo Cintec, il carico di rottura è stato incrementato fino a 41 t con formazione della prima cerniera a 28 t.

■ Test TRL: comparazione grafica tra il ponte ad arco del TRL non rinforzato ed il ponte Archtec rinforzato con ancore Cintec (diagramma sforzi/deformazioni).

■ Durante il collasso della struttura è caduto solo l'anello inferiore di mattoni, lasciando scoperte le ancore di rinforzo.



Test di carico a rottura	Carico di rottura (tonnellate)	Massimo scostamento a max carico	Massimo scostamento dopo la rimozione del carico
TRL (arco non rinforzato)	20 t	27,4 mm	23,4mm
Archtec (arco rinforzato)	41 t	16,5 mm	11,4 mm