



Ancoraggi per edifici storici. Due casi di applicazione di resina epossidica pura: il consolidamento della struttura di copertura della Basilica di S. Maria maggiore a Bergamo e le prove di estrazione su muratura in situ a S. Maria della Scala a Siena

Tecniche avanzate, maestranze specializzate

Una tecnologia innovativa specifica, introdotta in Italia dalla Bossong, che prevede una speciale «calza» in tessuto che avvolge la barra metallica e che garantisce il totale controllo dell'iniezione e l'aderenza con il substrato su tutta la lunghezza

Nell'ambito degli interventi di recupero di edifici esistenti sono ricorrenti le opere di consolidamento in cui si prevede l'inserimento di elementi metallici all'interno di strutture in muratura o strutture lignee: la cucitura di piccole lesioni, il collegamento tra elementi metallici di rinforzo e le strutture esistenti, la connessione tra gli impalcati e le murature perimetrali, il rinforzo di solai o coperture lignee.

Ancoraggi, connessioni e cuciture possono essere solidarizzati alla muratura o al legno con iniezioni di malte o resine.

A seconda dell'applicazione e del tipo di manufatto su cui si deve intervenire può essere necessario operare con modalità differenti per realizzare ancoraggi inietti: le operazioni di iniezioni con resina sono relativamente semplici nel caso in cui le lunghezze di ancoraggio siano inferiori a 1-1,50 m mentre, per lunghezze su-

periori, si deve ricorrere all'iniezione di malte cementizie compatibili con i materiali originali. La tixotropia delle resine abitualmente utilizzate per gli ancoraggi garantisce dalle eccessive dispersioni negli interstizi della muratura

Veduta esterna del portale sud della Basilica.

L'interno della navata principale ornata con stucchi e decorazioni.



Chi ha fatto Cosa

Il cantiere
Restauro del tiburio e della copertura della Basilica di

Il cantiere
Restauro del tiburio e della copertura della Basilica di Santa Maria maggiore.

Impresa esecutrice delle opere
Impresa Ing. G. Pandini - Bergamo

Perforazioni
Tecnic Tecnologie srl - Monticello D'Alba (Cuneo)

Fornitura e consulenza tecnologia Bossong
Bossong spa - Grassobbio (Bergamo)

ma, per i tempi brevi di indurimento, complica la fase di estrusione in profondità. L'utilizzo, invece, di resine epossidiche pure caratterizzate da lunghi tempi di indurimento e manipolazione offre in questo senso le migliori prestazioni e consente di raggiungere profondità di ancoraggio superiori. Al contrario, le malte, caratterizzate da una maggiore fluidità, sono facilmente iniettabili ma possono disperdersi attraverso gli interstizi delle murature, i vuoti e le lesioni, impedendo il riempimento del foro e quindi non garantendo l'ancoraggio. Una soluzione a tali problematiche è possibile mediante l'applicazione di una specifica e innovativa tecnologia (introdotta recentemente in Italia dalla Bossong spa) che prevede una speciale «calza» in tessuto che avvolge la barra metallica e che garantisce il totale controllo dell'iniezione e l'aderenza con il substrato su tutta la lunghezza. Le connessioni con resina permettono la realizzazione di piccoli fori nel substrato, con diametri solo di qualche mm superiori a quelli del-

l'elemento metallico, dunque poco invasivi e al limite reversibili mediante una perforazione di diametro superiore; per le applicazioni con malta sono invece necessari diametri maggiori che richiedono l'utilizzo di particolari carotatrici con sonda diamantata funzionanti a sola rotazione. Se da un lato vi sono motivazioni tecniche, teoriche, che permettono di distinguere quando l'ancoraggio debba essere realizzato con resina o con malta cementizia, non sempre, nelle applicazioni pratiche tale limite è ben definito, entrando in gioco molti altri fattori quali la compatibilità con i materiali originali che possono vincolare la scelta dei materiali o più semplicemente problemi di fattibilità esecutiva. Vengono riportati due casi pratici di applicazione della resina epossidica pura nell'ambito degli interventi di recupero degli edifici storici: il consolidamento della struttura di copertura della Basilica di Santa Maria maggiore a Bergamo e le prove di estrazione su muratura in situ a Santa Maria della Scala a Siena.

La prima applicazione

La Basilica di Santa Maria maggiore è situata a Bergamo nel cuore di Città Alta, in Piazza del Duomo. Eretta nel 1.100 per voto alla Madonna, la Basilica ha conservato, all'esterno, la struttura romanica originaria a croce greca, mentre all'interno (modificato nel '500 e nel '600) si è arricchita dei contributi artistici di otto secoli. Straordinaria è la copertura della Basilica che suscita ammirazione per le dimensioni e la potenza dell'impianto: 2mila mq di massicce lastre d'ardesia provenienti dalle cave della Valle Brembana. Il peso è enorme, centinaia di tonnellate, sostenuto →



Le travi principali della copertura si innestano nella muratura degli archi. I forti carichi concentrati sono stati la causa di dissesti e lesioni nelle murature soprarco.



Lo schema con i dettagli della struttura metallica di sostegno e del rinforzo della muratura.



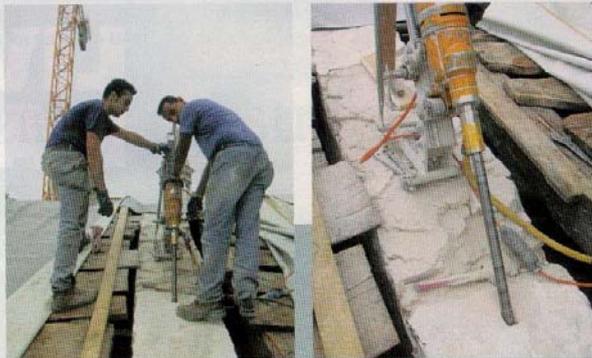
Il cantiere successivamente alla rimozione del manto di copertura in lastre di ardesia nelle falde della navata centrale.



La superficie di estradosso degli arconi, l'assito e l'orditura lignea secondaria.



L'estrusione della resina con la pompa pneumatica.



Le perforazioni inclinate dalla superficie di estradosso degli arconi con carotatrice a sola rotazione e con funzionamento a secco.

da una selva di robustissime travi di rovere e di castagno, non più originali ma probabilmente risalenti al tardo medioevo e da allora non più sostituite. Il tetto ha resistito validamente per

centinaia di anni all'azione degli agenti atmosferici e ne ha sofferto, naturalmente, nonostante gli interventi di manutenzione, ripetuti regolarmente nel tempo ma divenuti di diffi-



La pulizia dei fori mediante aspiratore per l'eliminazione dei detriti e delle polveri prima dell'iniezione della resina.



cile gestione considerando che, ai giorni nostri, operazioni di questo genere diventano sempre più complesse e costose per le problematiche relative alla sicurezza. Per quanto possibile sono state recuperate e riutilizzate le lastre dell'antico tetto che insieme alle nuove lastre sono state posate direttamente sull'orditura delle grandi travi e dell'assito collegate mediante speciali chiodi. Le strutture lignee, quasi tutte recuperate, sono state sottoposte a trattamenti di ristrutturazione. Le strutture lignee, quasi tutte recuperate, sono state sottoposte a trattamenti di restauro che ne hanno confermato l'eccezionale robustezza. Per quanto riguarda la parte statica, l'operazione più impegnativa ha riguardato due degli arconi in muratura di pietra, costituiti da grossi elementi perfettamente squadri, posti a sostegno della struttura lignea della copertura della navata principale. Secondo lo schema costruttivo originario, l'orditura lignea principale della copertura è costituita da travi che si inseriscono nella muratura degli arconi generando forti carichi concentrati, dovuti anche al notevole peso del manto di copertura in lastre di ardesia. L'intervento necessario per ripristinare la funzionalità

della struttura è stato realizzato mediante l'inserimento, in corrispondenza degli innesti delle travi nella muratura, di strutture metalliche di sostegno capaci di trasferire il carico alla superficie di estradosso degli arconi, a favore di una migliore distribuzione dei carichi. È stato inoltre necessario prevedere l'inserimento di barre di cucitura inclinate per il rinforzo della muratura disassata. Sulla base del progetto di interventi e delle specifiche prescrizioni, la connessione degli elementi metallici, barre di ancoraggio delle staffe metalliche e barre di cucitura, ha richiesto l'utilizzo di resina epossidica pura Bossong Bcr-400 Epox capace di garantire queste prestazioni: nessun ritiro e lunghi tempi di indurimento che permettono una manipolazione medio lunga della resina, necessaria in questo caso specifico dove l'iniezione della resina è stata effettuata in profondità (barre con lunghezza superiore a 1 m) mediante apposite prolunghe. Per eseguire le operazioni necessarie al consolidamento degli arconi ci si è serviti delle tecniche più avanzate e di maestranze altamente specializzate, considerate le particolari condizioni e il prezioso contesto in cui si è dovuto operare. Al di sotto della copertura la Basilica racchiude infatti i suoi preziosi tesori e non solo all'interno della navata principale, riccamente ornata con stucchi e decorazioni, ma anche nei vastissimi sottotetti, dove trovano collocazione alcune ruote leonardesche in legno che le maestranze di un tempo usavano per issare fin lassù il materiale per costruire e eseguire le riparazioni. La fase della perforazione. La prima opera-





Inserimento delle barre nei fori.



zione è stata l'esecuzione delle perforazioni nella muratura per l'inserimento delle barre di cucitura e rinforzo. Per evitare effetti di vibrazione e percussione sulle strutture murarie sono state utilizzate carotatrici con sonda diamantata, con

funzionamento a sola rotazione. Dovendo operare sulle strutture sovrastanti le volte della navata centrale, è stato necessario intervenire con perforazioni a secco, per evitare ogni eventuale danneggiamento delle preziose superfici decorate

e comunque per non creare umidità all'interno delle murature. Le particolari condizioni dovute alla pendenza della superficie di estradossso sulla quale è stata posizionata la macchina carotatrice, unite al limitato spessore della muratura de-

gli arconi (pari a circa 50 cm) hanno reso ancora più complesse le operazioni di perforazione. La lunghezza delle perforazioni varia da 1 m a 1,50 m con inclinazione variabile, come rappresentato nello schema dell'intervento, mentre il

diametro del foro è pari a 30 mm. **La pulizia dei fori.** Fondamentale per garantire l'efficacia dell'ancoraggio chimico è che venga effettuata un'attenta pulizia dei fori con attrezzatura adeguata: in questo caso specifico sono stati utilizzati

aspiratori con prolunga capaci di rimuovere detriti e polveri. **L'iniezione della resina epossidica.** Per l'iniezione della resina epossidica Bossong Bcr-400 Epox è stato necessario effettuare l'estrusione mediante apposita pompa pneumatica Bossong Boss-400 E-PN e relative prolunge per garantire il riempimento di due terzi del volume del foro a partire dal fondo. **L'inserimento delle barre.** Successivamente all'estrusione della resina si è proceduto all'inserimento delle barre: barre filettate M24 in acciaio inox con lunghezze variabili da 1 m a 1,50 m.

La seconda applicazione



Il complesso di Santa Maria della Scala, uno dei più antichi ospedali europei, da alcuni anni ha esaurito le sue funzioni sanitarie ed è stato oggetto di un'importante operazione di recupero ai fini museali e culturali. I lavori di recupero hanno permesso di riportare alla luce elementi architettonici pregevoli quali colonne, archi e cassettoni e di ricostituire gli affascinanti e ampi spazi che, attraverso i secoli, si

erano articolati attorno ai primi nuclei del complesso, divenuti impercettibili per le trasformazioni subite negli ultimi tempi. Proprio per consentire il consolidamento delle strutture di fondazione dei pilastri esistenti è stata progettata una **struttura provvisoria capace di sostenere il carico** sopportato dal pilastro e di trasmetterlo ad



Il pilastro interessato dall'intervento. Le fasi della prova di estrazione in situ.



altri elementi strutturali portanti, rendendo possibili le operazioni in fondazione. Per la connessione della struttura metallica alla mu-

ratatura del pilastro e alle pareti perimetrali è stato previsto l'utilizzo di ancoraggi chimici costituiti da barre filettate iniettate con resina epossidica pura Bossong Bcr-400 Epox. Considerata l'importanza dei carichi in gioco e l'influenza della tipologia e delle condizioni del substrato, in questo caso si trattava di **muratura di mattoni pieni**, sull'aderenza che si sviluppa tra la resina epossidica e il materiale di base, è stato necessario eseguire delle prove

di estrazione in situ per verificare le effettive risorse del materiale di base. Altre problematiche connesse all'applicazione degli ancoraggi con resina caratterizzano i cantieri di recupero di edifici e manufatti storici: la necessità di dover vincolare i ponteggi alle murature richiede sovente l'**utilizzo di ancoraggi chimici**, in quanto le murature dissestate difficilmente garantiscono condizioni ottimali per l'installazione di ancoraggi meccanici. Le stesse strut-

ture in legno che comunemente formano orizzontamenti e coperture possono essere oggetto di interventi di rinforzo che prevedono l'inserimento di elementi metallici solidarizzati con resina epossidica. In tutte queste applicazioni l'**elemento debole dell'ancoraggio è costituito dal substrato**, muratura o legno che, a differenza del calcestruzzo, presenta una grande variabilità; da qui l'importanza di effettuare prove in situ per applicazioni su materiali le cui caratteristiche di resistenza variano a seconda della tipologia e dello stato di conservazione, in quanto le prove sperimentali di riferimento vengono effettuate in laboratorio su materiali con caratteristiche standard e in condizioni ottimali.

Segnare 742 cartolina servizio informazioni

(Si ringrazia per la collaborazione l'ing. Elena Poverello, responsabile Area Consolidamento Bossong spa).



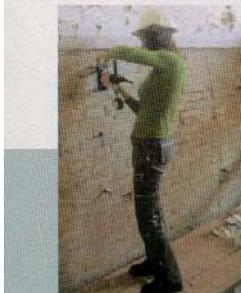
Estrusione resina nei fori.



Inserimento delle barre.



Inserimento della resina.



Posizionamento dell'estrattore portatile.



Estrazione.