

Il restauro, business del futuro

Nel panorama stagnante dell'edilizia italiana, un'oasi felice è costituita dal settore della manutenzione e del restauro delle vecchie strutture. L'intervento di restauro per ripristinare la continuità mancante tra i due getti di cls mediante iniezioni di resina epossidica

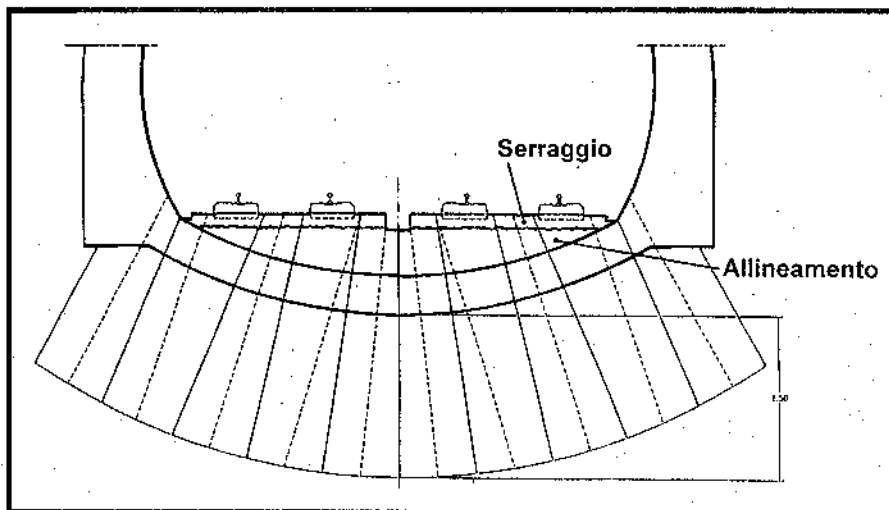
L'edilizia in Italia, come è ben noto, è interessata da una forte crisi, testimoniata negli ultimi anni da un calo della produzione del cemento (circa 11 milioni di tonnellate) superiore del 25% rispetto a quella del 1992 e da un forte aumento della disoccupazione. Una recente indagine ha confermato che nel 1993 vi è stata una perdita di 150.000 posti di lavoro che rappresentano il 42% dei "nuovi disoccupati" di tutto il settore industriale.

In un panorama edilizio generale a tinte fosche qualche "sprazzo" di serenità si intravede nel settore della manutenzione e dal restauro delle vecchie strutture. Qualche anno fa questa branca dell'edilizia rappresentava in termini di fatturato un settore marginale. Oggi, invece, con 86.580 miliardi di fatturato (pari al 52,8% del totale degli investimenti) costituisce l'ossatura portante dell'intera edilizia in Italia e si stima che, per la fine del primo decennio del prossimo secolo, rappresenterà l'80% del fatturato di tutto il settore.

E' evidente che le ragioni di questa prosperità nel settore del restauro sono da imputare a diverse cause. Prima fra tutte la sempre minore disponibilità di aree edificabili. Inoltre, una mutata sensibilità nei confronti delle problematiche ambientali e la spinta a una maggiore salvaguardia del territorio impone sempre più il ricorso al ripristino e alla rifunzionalizzazione delle strutture esistenti. Strutture che in passato sono state dismesse e abbandonate a favore di nuove costruzioni, oggi non più proponibili. Ma sicuramente alla crescita del settore restauro ha contribuito non poco l'impiego, negli anni passati, di materiali di qualità scadente. I materiali impiegati in edilizia sono ovviamente innumerevoli, ma è indubbio che quando si parla di scadente qualità, di degrado e, quindi, della necessità di intervenire per ristrutturare, si pensa immediatamente al calcestruzzo e al rapido deterioramento subito dalle strutture in conglomerato cementizio armato e pre-

compresso. Infatti, a fronte di una produzione di conglomerato che collocava l'Italia ai vertici della classifica mondiale (in termini di m³ di calcestruzzo pro capite), la qualità del calcestruzzo, e in particolare la sua durabilità nei confronti delle sollecitazioni aggressive ambientali, hanno lasciato alquanto a desiderare. E che la scarsa qualità del conglomerato sia responsabile in larga parte del degrado delle strutture - e della necessità di ripararle - emergeva già da una statistica effettuata alla fine degli anni '70. Secondo questo studio, infatti, il 24% delle strutture risultavano ammalorate per l'impiego di un calcestruzzo non adeguatamente confezionato: con un rapporto acqua/cemento, cioè, superiore a quello massimo imposto dalle condizioni di aggressività ambientale. La ricerca evidenziava, inoltre, che il 22% delle strutture si sono degradate per imperizia nella messa in opera del materiale. Vespai e macrovuoti per getti eseguiti non a

Fig. 1 - Sezione schematica delle strutture e degli strati di allineamento e serraggio della ferrovia urbana



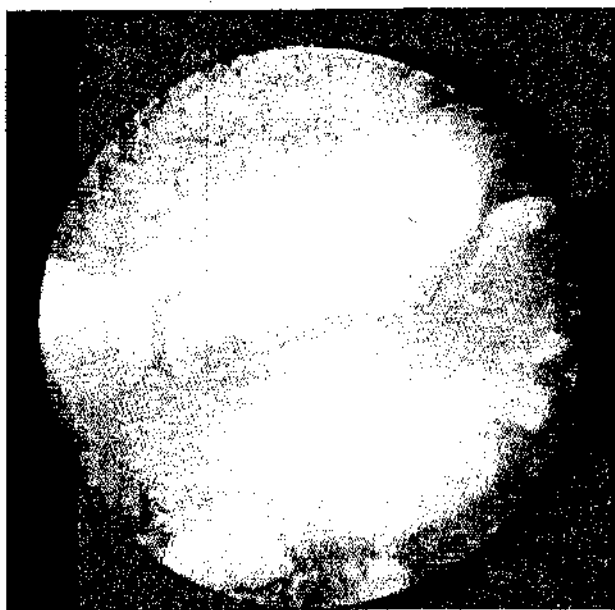


Fig. 2 - Fotografia scattata con l'endoscopio della ripresa di getto allineamento (in basso)/serraggio (in alto) in una zona non degradata

Fig. 3 - Fotografia scattata con l'endoscopio della ripresa di getto allineamento (in basso)/serraggio (in alto) in una zona con gravi dissesti

regola d'arte e insufficiente costipazione sono le cause più frequenti che contribuiscono al degrado del materiale. In sostanza, quindi, sommando le due cause, si può concludere che su 100 strutture degradate 66 si deteriorano per cause connesse con il confezionamento e la messa in opera del calcestruzzo.

A conferma della conclusione a cui è giunto lo studio sopramenzionato si potrebbero citare innumerevoli esempi di edifici, viadotti, ponti, dighe (basta guardarsi intorno!). Tuttavia, nel seguito viene analizzato un *case history* riguardante un'infrastruttura in cui gli errori sopramenzionati si sommano - potremmo dire - esaltandosi a vicenda. L'infrastruttura in esame è una ferrovia urbana, per la cui realizzazione, dopo aver ultimato la costruzione delle strutture di sostegno (piedritti, calotta ad arco rovescio) si procede ad un getto detto di "allineamento" (Fig. 1) consistente nella creazione di una sorta di "massicciata" sull'intradosso dell'arco rovescio. Questo getto serve per portarsi a una quota prossima a quella finale a cui verranno posizionate le traversine e, quindi, i binari. La collocazione delle traversine, costituite da elementi prefabbricati in calcestruzzo, avviene mediante parziale inglobamento in un getto di conglomerato cementizio detto "di serraggio".

Il getto di serraggio avviene solitamente qualche mese dopo aver realizzato



quello di allineamento. Pertanto, per garantire la monoliticità e la continuità tra i due strati di calcestruzzo è necessario effettuare correttamente la ripresa di getto. Procedendo, quindi, a un'accurata scarifica della superficie, seguita da un'efficace pulizia per la rimozione di qualsiasi residuo di polvere, olio o grasso, e da una prolungata bagnatura per saturare completamente di acqua il calcestruzzo di allineamento, prima di procedere al getto di serraggio. Nel caso della struttura in esame, queste operazioni non sono state effettuate correttamente, come è testimoniato (Fig. 2) dall'esame della

ripresa di getto effettuata mediante l'endoscopio. Come si può notare, esiste tra i due getti una netta soluzione di continuità indice di una mancanza di monoliticità tra i due strati di calcestruzzo. Inoltre, si può notare come, immediatamente al di sotto della fessura, esiste una zona priva di aggregati lapidei, costituita esclusivamente da pasta di cemento e particelle finissime di sabbia. Questo sta a indicare che il conglomerato cementizio utilizzato per la realizzazione dello strato di allineamento era tendenzialmente segregabile

(probabilmente per estemporanee aggiunte di acqua al calcestruzzo non sufficientemente fluido consegnato in cantiere).

La segregazione ha determinato nella zona superiore del getto, per effetto del *bleeding*, un aumento del rapporto acqua/cemento e conseguentemente un ulteriore scadimento della qualità del calcestruzzo in questa zona.

La soluzione di continuità determinata dalla ripresa di getto viene permeata dall'acqua proveniente dalla canaletta di raccolta situata

tra i due binari. Per effetto del passaggio dei convogli ferroviari è presumibile che si determini un aumento della pressione dell'acqua, seguito da una fase di scarico della pressione stessa dopo il passaggio del treno. In sostanza, cioè, il continuo passaggio dei convogli crea dei carichi pulsanti che possono disgregare il calcestruzzo a ridosso dei cigli fessurativi. L'effetto menzionato, nel caso della struttura in esame, è stato particolarmente dirompente per la scadente qualità del calcestruzzo dello strato di allineamento, a ridosso della soluzione di continuità, provocata dal *bleeding*. L'effetto

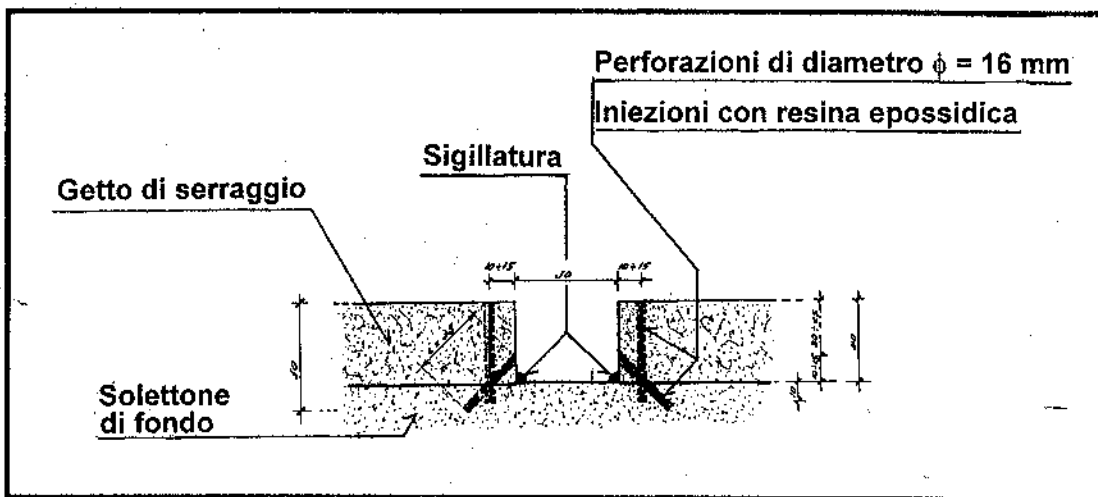


Fig. 4 - Sezione schematica con le perforazioni per l'iniezione con resina epossidica

disgregante, infatti, ha determinato un aumento della soluzione di continuità iniziale (qualche decina di millimetri di ampiezza) che nei casi peggiori ha raggiunto ampiezze superiori al centimetro (Fig. 3). Nei tratti dove le cavità hanno raggiunto dimensioni considerevoli, si è dovuto diminuire la velocità dei convogli e successivamente addirittura procedere alla chiusura dei tratti più ammalorati, in quanto le forti oscillazioni potevano implicare anche il deragliamento dei treni stessi.

L'intervento di restauro che è stato realizzato ha avuto come obiettivo principale quello di ripristinare la continuità mancante tra i due getti di calcestruzzo mediante iniezioni di resina epossidica. In particolare, l'intervento è consistito nella realizzazione di una doppia serie di fori (Fig. 4), verticali e obliqui, effettuati perforando il calcestruzzo dello strato di serraggio e proseguendo, quindi, nello strato di allineamento per circa 10 cm. All'interno dei fori verticali, al fine di assorbire gli sforzi dovuti agli immancabili scorrimenti tra serraggio e allineamento sono state introdotte delle barre in fibra aramidica. Queste barre sono state preferite alle normali armature in acciaio in quanto caratterizzate da un modulo di elasticità (110.000 N/mm²) decisamente minore rispetto a quello dell'acciaio (210.000 N/mm²). Ciò consente di evitare che in prossimità delle armature si possano creare elevate concentrazioni di sforzo (possibili, invece, con le barre di acciaio) pericolose per i calcestruzzi della struttura in esame che risultano mediamente

di scadente qualità. La funzione delle barre è anche quella di evitare che durante la fase di iniezione della resina - per le elevate pressioni che si raggiungono - lo strato di serraggio possa sollevarsi e staccarsi completamente dal getto di allineamento. Inoltre, le barre hanno anche la funzione di evitare il sollevamento dei bordi dello strato di serraggio determinato dai carichi ciclici in servizio. La scelta delle barre aramidiche, infine, è anche dettata da esigenze di durabilità dell'opera. Questo materiale, infatti, risulta - al contrario dell'acciaio - praticamente insensibile sia alle correnti vaganti che all'azione aggressiva di sostanze, quali il cloruro, che potrebbero essere presenti nelle

acque sotterranee.

Dopo aver eseguito l'ancoraggio delle barre aramidiche, si è proceduto ad effettuare una pulizia insufflando aria compressa all'interfaccia serraggio/allineamento (Fig. 5). Quindi, si è proceduto a sigillare (Fig. 6), mediante una resina epossidica tixotropica caricata con bitume, le possibili vie di fuga della resina durante la fase di iniezione. Infine, dai fori obliqui è stata iniettata una resina epossidica fluida (viscosità inferiore a 380 cPoise) impiegando una pompa a doppia membrana (Fig. 7). La scelta della resina epossidica impiegata è stata effettuata tenendo presente che il sistema deve polimerizzare anche in presenza di umidità.

Fig. 5 - Pulizia all'interfaccia tra strato di allineamento e strato di serraggio mediante aria compressa

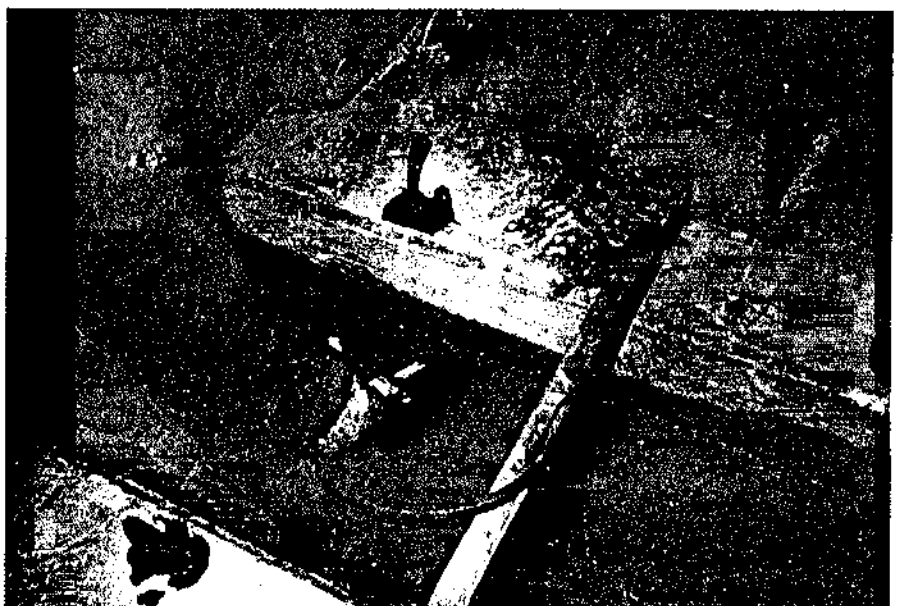




Fig. 6 - Sigillatura dei giunti mediante stuccatura con resina epossidica caricata con caltrame

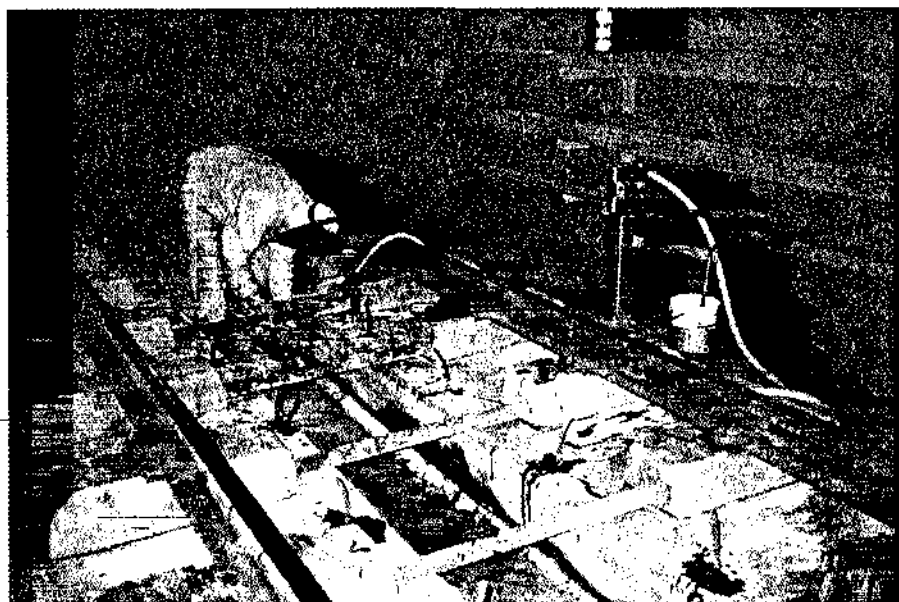


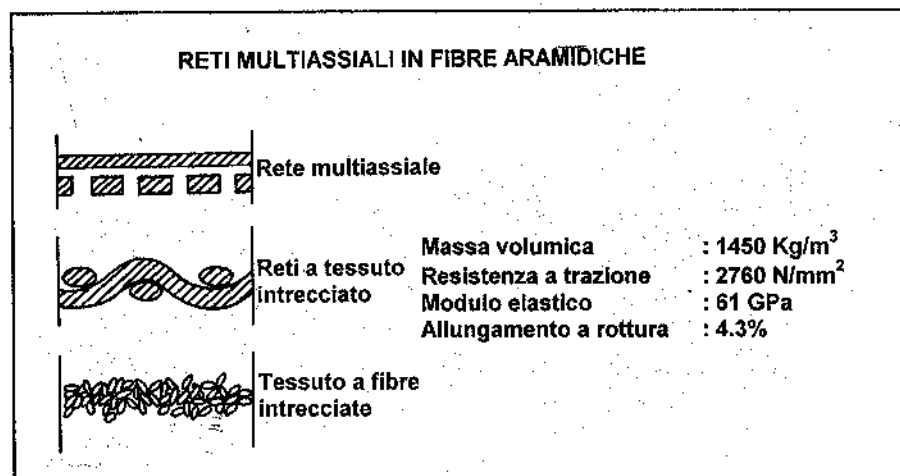
Fig. 7 - Iniezione con resina epossidica mediante pompa a membrana

Le lavorazioni preliminari alle iniezioni di resina epossidica (realizzazioni dei fori, pulizia, sigillatura giunti) sono state effettuate esclusivamente durante le ore notturne (quando non c'è esercizio) dalle ore 24 alle ore 5 del giorno successivo. L'iniezione della resina, invece, è stata effettuata durante il periodo di chiusura settimanale dell'esercizio per consentire al sistema epossidico di raggiungere prestazioni meccaniche sufficienti a sopportare il passaggio dei convogli.

Si sta valutando, inoltre, nei tratti interessati da estese fessurazioni, l'eventualità di associare alle iniezioni di resina, un intervento basato sulla realizzazione di un placcaggio strutturale. Questo intervento ha come obiettivo quello di fronteggiare e assorbire gli sforzi di trazione che si generano sulla superficie dello strato di serraggio, responsabili delle fessure ad andamento prevalentemente trasversale rispetto ai binari. Per gli stessi motivi già discussi per le barre in fibra aramidica, il rinfor-

zo verrà effettuato incollando mediante stucco epossidico a elevata viscosità (200.000 cPoise) una rete in fibra aramidica (Fig. 8). La rete verrà solidarizzata sulla testa delle barre ancorate nel getto del calcestruzzo di serraggio. Oltre che fornire maggiori garanzie in termini di durabilità, rispetto alle usuali piastre di acciaio, il tessuto in fibra aramidica è caratterizzato da un elevato rapporto tra resistenza e trazione (1200 N/mm²) e modulo elastico (60.000 N/mm²) che consente di lavorare con maggiori coefficienti di sicurezza. Inoltre, grazie all'elevata flessibilità il tessuto risulta modellabile e, quindi, facilmente adattabile al percorso "sinuoso" della ferrovia metropolitana.

Fig. 8 - Reti multifunzionali in fibra aramidica



LUIGI COPPOLA

(Enco, Engineering Concrete)

Ringraziamenti

Si ringrazia la SACEN spa, Restauri e Risanamenti Strutturali, di Napoli, viale dei Colli Aminei 279, e la Mapei spa di Milano, via Cafiero 22, Ditta produttrice delle resine epossidiche, per la documentazione fornita.