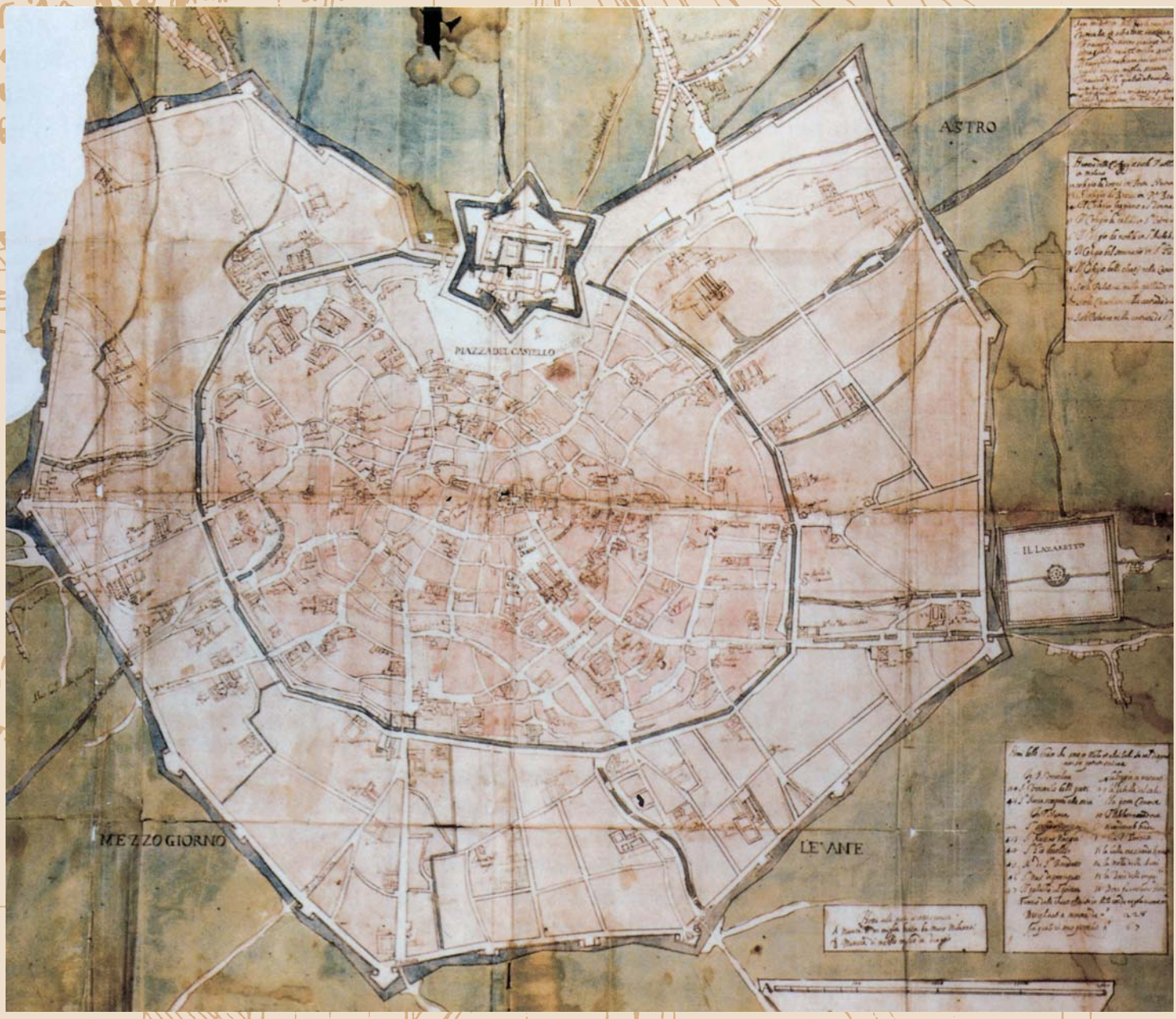
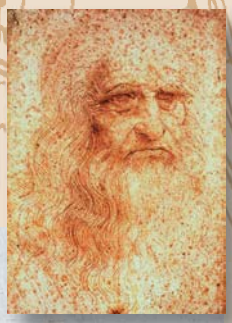
I NAVIGLI DI LOM

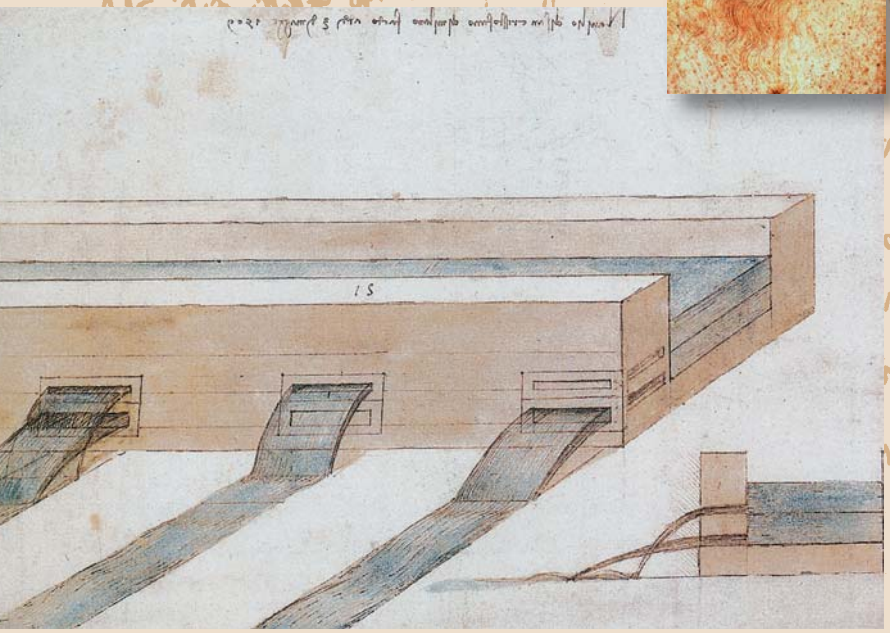


I Navigli e i ponti che li attraversano rappresentano uno dei simboli di Milano e dell'intera Lombardia.

L'origine dei Navigli risale al lontano 1151, anno in cui è iniziata la costruzione del primo tratto del Naviglio Grande; nel 1400 poi venne costruito il Naviglio della Martesana che collega le acque del Ticino con quelle dell'Adda attraverso la Cerchia Interna di Milano. Il Naviglio di Pavia, iniziato nel 1300 dai Visconti, fu completato nel corso del 1800 da Napoleone, con un ultimo intervento da parte degli austriaci. A questi tre principali Navigli bisogna aggiungere gli altri due di minori dimensioni, noti come Naviglio di Bereguardo e Naviglio di Paderno. Lo sviluppo totale dei cinque Navigli supera i 150 km e sono attraversati da ben 187 ponti. La prima funzione affidata ai Navigli era quella di difesa del territorio e delle città nei confronti degli assalti delle popolazioni straniere. Divennero presto un importante elemento di sviluppo economico grazie alla possibilità di irrigare le campagne attraversate a cui si aggiunse anche la funzione di arteria di trasporto delle merci. Grazie ai Navigli arrivavano a Milano carbone, legname, bestiame, fieno, sabbia, ghiaia e il marmo di Candoglia per la costruzione del Duomo. Nel corso degli anni Venti iniziò l'opera di interramento della "Cerchia Interna", ma il trasporto di merci continuò, pur se con frequenza minore, fino al 1979,

BARDIA





Leonardo da Vinci ha lasciato accurati disegni che testimoniano il suo studio dei Navigli milanesi.

anno in cui venne trasportato l'ultimo carico di sabbia scaricato nella Darsena. L'interesse per i Navigli è stato sottolineato anche durante le "Giornate di primavera" del Fai, il Fondo Italiano per l'ambiente, che si sono tenute in marzo: molti sono stati i visitatori, soprattutto alle ville Gaia e Gromo a Robecco sul Naviglio e a Villa Marino a Gaggiano con il Mulino di Cassinetta di Lugagnano. E' stata una passeggiata lungo le strade, le ville, i giardini e gli angoli più nascosti che ricordano la storia del Naviglio Grande. Dopo i primi interventi pilota eseguiti per il recupero della zona, sono ora pronti i nuovi progetti per il risanamento e la valorizzazione degli storici corsi d'acqua, oltre al progetto di recupero di alcuni ponti che sovrappassano i Navigli. Quest'ultimo si inserisce in un programma molto più ampio che ha per obiettivo le vie fluviali di comunicazione dell'area milanese. In tutti gli interventi di manutenzione più recenti l'Ufficio Ponti e Concessioni della Provincia di Milano ha cercato, per quanto possibile, di garantire la compatibilità delle strutture con il tipo e i livelli di traffico e contemporaneamente di salvaguardare l'aspetto architettonico dei ponti e il loro inserimento negli ambiti urbani e storici. Tra gli interventi di salvaguardia realizzati negli ultimi cinque anni è significativo citare alcuni esempi: il ponte sul Lambro a Carate, il ponte di Gaggiano ed il ponte di Coazzano nel comune di Vernate (questi ultimi due desctitti nelle pagine seguenti).

La situazione dei ponti

Per gli interventi effettuati sui ponti è stato adottato un approccio sistematico che si è basato su una valutazione globale dello stato di conservazione della struttura, sulla diagnosi delle reali situazioni di degrado dei materiali e sull'analisi statica per valutare le condizioni di stabilità, in funzione dei carichi di esercizio e della destinazione d'uso.
Questo ha richiesto un accurato studio progettuale e un'attenta scelta dei sistemi di ripristino più adeguati. La stretta collaborazione tra la Provincia, i Comuni interessati, la Soprintendenza e Mapei, coordinati dalla Direzione Centrale Trasporti e Viabilità, Servizio Ponti e Concessioni, rappresentati dall'ing. Carlo Campari, si è dimostrata particolarmente preziosa per la risoluzione dei problemi.
Gli interventi effettuati rientrano in un'ampia operazione di recupero, che ha interessato, e tuttora interessa, circa 600 ponti distribuiti lungo la rete stradale (1.200 km circa) della provincia di Milano.
Il contributo di Mapei per quello che riguarda i ponti si è sviluppato su tre fronti principali:
- l'analisi e la diagnosi del costruito esistente, considerando la caratterizzazione chimico-fisica dei materiali;
- lo studio e la messa a punto di sistemi e soluzioni d'intervento;
- l'assistenza e il supporto tecnico alle imprese che hanno effettuato gli interventi.

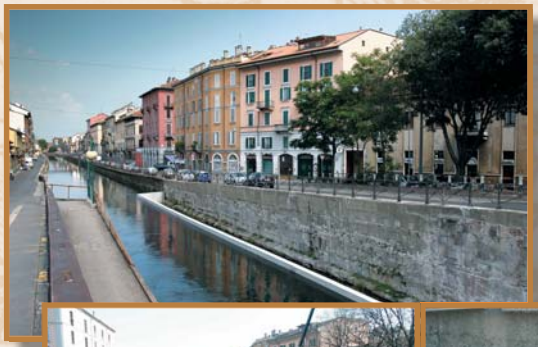
Ponte sul Naviglio Pavese a Coazzano – MI (vedi articolo a pag. 17).

La situazione delle sponde

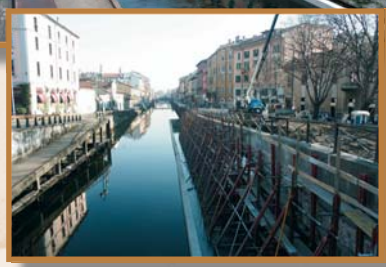
La rete dei Navigli, che ancora si snoda nella pianura lombarda e a Milano, è un sistema di canali con un'estensione di oltre 250 km che, fino ai primi decenni del '900, è stata fonte strategica per lo sviluppo della città. Dopo l'interramento di gran parte dei canali all'interno della cerchia milanese, avvenuto negli anni tra il 1940 e il 1960, ciò che oggi rimane a cielo aperto è sotto il vincolo storico-ambientale ed è particolarmente sentito come bene da salvaguardare anche dai cittadini.
Le opere strutturali che caratterizzavano i Navigli e che tutt'oggi ne sono ancora il segno distintivo come le chiuse, le conche, le passerelle e i muri spondali, sono state lasciate per decenni senza alcuna manutenzione, in uno stato di precarietà

Ponte sul Naviglio Grande a Gaggiano – MI (vedi articolo a pag. 20).

diffusa ed evidente degrado. Infatti l'abbandono della navigazione lungo i canali ha causato un progressivo disinteresse nei confronti dei Navigli, che man mano vennero lasciati al loro destino.
Le strutture che ne risentirono di più furono proprio i muri di sponda, già trascurati fin dall'Ottocento, quando i pochi e frammentari interventi di manutenzione ordinaria si riducevano solamente alla sistemazione della loro parte superficiale. Un'opera di urbanizzazione più intensiva, il traffico automobilistico e tranviario sulle alzaie, gli scavi continui per il rinterro di sottoservizi sono state, e sono tuttora, concause negative per la stabilità dei muri spondali dei Navigli, e soprattutto del Naviglio Grande, essendo le sue strutture più antiche rispetto a quelle degli altri canali.
Il degrado per mancanza di materiale e per vistosi fuoripiombo risulta diffuso e coinvolge tutte le diverse tipologie dei muri realizzati in diverse epoche. Il rilievo delle zone realmente danneggiate, quelle più soggette alle maggiori spinte del terreno, risulta difficile in quanto tali parti sono spesso nascoste da interventi e superfetazioni, il più delle volte di poca efficacia strutturale. Non solo la compattezza e l'integrità dei muri non sono indagabili, ma anche il reale spessore dei muri stessi, eventuali ed ipotizzabili riseghe o presenza di ispessimenti non sono accessibili.
Per tutte queste opere è stato necessario affrontare l'urgenza di interventi integrati per la messa in sicurezza statica, con tecniche di consolidamento rispettose della storicità dei manufatti. Per questo sono stati effettuati studi, prove in situ - preliminari e di laboratorio - condotte per la calibrazione e la taratura degli interventi proposti e per la messa a punto di Linee Guida per i progetti di consolidamento dei muri spondali. La delicata fase di indagine e analisi è stata seguita dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale della Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Milano (prof. Antonio Migliacci, prof.ssa Paola Ronca, prof. Pietro Crespi e prof. Giovanni Franchi) con la collaborazione di Mapei.



Sponde del Naviglio Grande a Milano (vedi articolo a pag. 22).



Il Ponte di Coazzano

Foto 1 e 2.
Alcune immagini del Ponte di Coazzano prima dei lavori (sotto) e a intervento ultimato (a fianco).

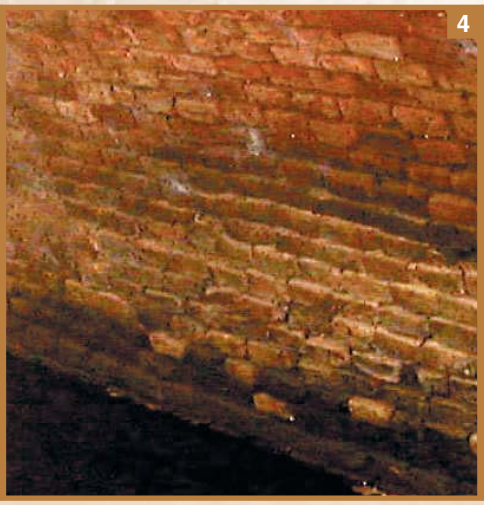
Il ponte stradale al km 4,800 della Strada Provinciale n. 30 Binasco-Vermezzo, nei pressi del centro abitato di Coazzano(MI), sovrappassa un canale affluente del Naviglio Pavese. Prima dell'inizio dei lavori di risanamento sono stati effettuati diversi sopralluoghi e un'accurata indagine per analizzare le condizioni dell'impalcato, localizzando i punti che maggiormente richiedevano un intervento di recupero. Anche la situazione statica è stata analizzata mediante la generazione di un modello ad elementi finiti con il solo scopo di stimare i tassi di lavoro dei materiali in funzione del previsto intervento di ripristino. Oltre all'intervento di ripristino statico del manufatto, è stata messa in opera un'impermeabilizzazione in corrispondenza dell'estradosso del manufatto ad archi. L'intervento è stato completato dal rifacimento della pavimentazione stradale, dalla riprofilatura delle quote, estesa anche ad un tratto stradale adiacente, dalla realizzazione di un sistema di smaltimento delle acque e dalla sostituzione del guard-rail esistente.

Il ponte si compone di due archi policentrici e di una pila centrale localizzata nell'alveo del corso d'acqua. Agli archi in muratura (mattoni pieni) sono stati affiancati in un'epoca successiva degli archi in calcestruzzo così da allargare la sezione della sede stradale. L'affiancamento è avvenuto in modo complanare. Ciascun arco, pertanto, ha la particolarità di essere l'insieme di due impalcati costituiti da materiali con caratteristiche di resistenza differenti.

Analisi dell'intervento

Un primo esame visivo aveva mostrato uno stato conservativo piuttosto soddisfacente del manufatto. Non erano state notate tracce di percolazione delle acque e l'alveo conteneva acqua trasparente e pulita. Nello specifico, sulla parte in cemento armato sono state eseguite alcune battute sclerometriche, che hanno dato valori di resistenza meccanica attorno ai 24 MPa, evidenziando un discreto stato del calcestruzzo. La superficie del calcestruzzo si presentava però

3


4

porosa e dilavata, facendo pensare quindi alla necessità di un intervento di protezione. Dall'esame con il pacometro, il calcestruzzo è risultato essere molto poco armato: nell'arco lo strumento ha segnalato la presenza di tre barre longitudinali a 40 cm di distanza, con copriferro variabile tra 2,5 e 4 cm e diametro tra 8 e 12 cm. La parte in muratura presentava invece qualche problema, soprattutto nella parte di imposta delle arcate, dove è stato evidenziato il completo degrado della malta e notati alcuni distacchi. Per quello che riguarda le fondazioni non sono stati rilevati segni evidenti di cedimenti. Lo stato di conservazione delle fondazioni poteva comunque essere verificato solo in corso d'opera, durante la rimozione dei detriti e del terrreno di fondo alveo.

L'intervento di ripristino conservativo

Come già accennato, il manufatto ad un primo esame visivo risultava essere in uno stato conservativo complessivo piuttosto soddisfacente. Le operazioni di restauro effettuate hanno interessato una campata per volta, convogliando le acque nell'altra metà dell'alveo mediante la realizzazione di palancole a monte e a valle.

Parte di impalcato in calcestruzzo. Dall'esame visivo descritto nello stato di fatto e nella campagna di indagine condotta da P&P Consulting Engineers, risultavano evidenti alcune condizioni di degrado per le quali era necessario prevedere degli interventi di recupero. Per quel che concerne le caratteristiche tensionali dei materiali, le prove di compressione svolte sui campioni di calcestruzzo avevano evidenziato un valore di resistenza caratteristica cubica di circa 15 MPa a fronte di un tasso di lavoro (6 kg/cm^2), derivante dall'analisi numerica. Alla luce di quanto detto, si è proceduto alle seguenti fasi lavorative: una prima fase ha visto la ravvivatura e l'idrosabbiatura con acqua in pressione, con l'impiego di sabbia silicea, di tutta la superficie in calcestruzzo per renderla idonea a ricevere trattamenti di ripristino corticale o trattamenti protettivi.
Si è poi passati a una seconda fase, dove l'intervento si è differenziato a seconda della tipologia della zona: dove il degrado si presentava corticale con spessori di ricostruzione centimetrici, il ripristino superficiale è avvenuto mediante applicazione di MAPEGROUT T60*, una malta cementizia monocomponente tissotropica resistente ai solfati a ritiro compensato. In un'altra zona, che presentava distacchi diffusi e cavillature, si è proceduto alla posa di una rete elettrosaldata utilizzata come armatura di contrasto nell'applicazione di malte e betoncini di cementi a ritiro compensato, realizzati con il legante cementizio STABILCEM*. Altro intervento necessario è stato l'inghisaggio, con malta cementizia a ritiro compensato MAPEFILL*, di ganci e barre di acciaio. Una zona che presentava fessure è stata trattata con iniezioni di intasamento eseguite a pressione mediante l'impiego di resina epossidica a bassa viscosità EPOJET*. Una zona che presentava cavità maggiori di 5 cm ha visto il ripristino con STABILCEM*, che grazie alle sue caratteristiche permette di ottenere betoncini pompabili, di consistenza fluida e superfluida, ad alta resistenza meccanica.
Per le fondazioni, dopo aver effettuato un accurato esame, si è proceduto alla messa a nudo dell'imposta delle arcate in sede di esecuzione dei lavori.

Parte di impalcato in muratura. La parte di impalcato costituita da muratura è quella che necessitava in modo prioritario dell'intervento di recupero conservativo. Tramite il sopralluogo e la campagna di indagine effettuati, si sono potute rilevare le zone di maggiore degrado e pertanto definire il metodo di recupero. Per quel che concerne le caratteristiche tensionali del materiale, le prove svolte con il martinetto piatto su alcune porzioni di muratura hanno evidenziato un valore di sollecitazione a snervamento di 2,85 M/mm^2 e di 2,46 M/mm^2, a fronte di un tasso di lavoro (0,5 M/mm^2), derivante dall'analisi numerica, che risulta essere contenuto nei valori accettabili per normativa. Le aree che presentavano la necessità di intervento erano principalmente le fondazioni e la zona dell'imposta delle arcate, in cui si notavano giunti di malta erosi e la mancanza di mattoni. Si è proceduto pertanto per fasi lavorative.
La prima fase ha visto la ravvivatura di tutta la superficie in muratura per renderla idonea a ricevere trattamenti di ripristino corticale o trattamenti protettivi.
La seconda fase ha preso in esame i giunti di malta erosi: la rigenerazione delle malte degradate dei nuclei murari, sia verticali che orizzontali, è stata effettuata utilizzando MAPE-ANTIQUE MC*, malta premiscelata particolarmente adatta per il risanamento di edifici in pietra e mattone deteriorati dall'umidità di risalita capillare.
Nelle le zone in cui mancavano i mattoni è stata effettuata la ripresa delle murature mediante la sostituzione parziale del materiale con il metodo "cuci e scuci", comprendente la demolizione in breccia nella zona di intervento e la ricostruzione della muratura con relativo allettamento di malta MAPE-ANTIQUE MC*. Le superfici in muratura a vista e quelle intonacate con MAPE-ANTIQUE MC*, sono state successivamente tratta-

Foto 3
Arco in muratura e in calcestruzzo: vista d'insieme spalla lato monte.

Foto 4 e 5
Particolari dell'arco in muratura.

Foto 6
Prima di eseguire le opere strutturali, si è dovuto procedere alla rimozione dell'intera pavimentazione stradale sul ponte.

Foto 7
Un'immagine del ponte a lavori quasi ultimati: al termine dell'intervento è stata realizzata una finitura protettiva.

te con ANTIPLUVIOL S*, un impregnante silossanico trasparente, con elevate caratteristiche di idrorepellenza, di traspirabilità e di adesione su vecchie pitture.

Impermeabilizzazione
Propedeuticamente all'esecuzione delle opere strutturali si è proceduto alla rimozione dell'intera pavimentazione stradale sul ponte, oltre allo scavo dei materiali di riempimento presenti a tergo delle spalle del ponte e fra i due archi del manufatto. Si è inoltre dovuto procedere alla rimozione del guard-rail esistente e alla fresatura del pacchetto di pavimentazione anche all'esterno del manufatto. Successivamente a tali operazioni, che hanno richiesto ovviamente la chiusura al traffico del ponte, si è proceduto all'esecuzione delle opere di consolidamento statico. E' stato necessario provvedere anche alla nuova impermeabilizzazione degli archi, messa in opera previa esecuzione di un getto in calcestruzzo alleggerito e di regolarizzazione dell'estradosso degli archi per uno spessore di 4 cm, in corrispondenza degli archi in muratura, e di 12 cm in corrispondenza degli archi in cemento armato. Il getto è stato armato con rete elettrosaldata del diametro di 6 mm, maglia 20x20 cm. E' stato quindi posto in opera il sistema di impermeabilizzazione mediante applicazione di MAPELASTIC*, una malta bicomponente a base di leganti cementizi, inerti selezionati a grana fine, additivi speciali e polimeri.
Come ultima finitura protettiva, è stato eseguito sulla superficie esterna in calcestruzzo un trattamento consistente in un ciclo multistrato elastico con ELASTOCOLOR PRIMER*, un primer monocomponente incolore a base di resine poliacriliche in solvente, seguito da ELASTOCOLOR*, un rivestimento protettivo monocompenente privo di solventi, a base di resine poliacriliche in emulsione.

**I prodotti citati in questo articolo appartengono alla linea "Prodotti per edilizia". Le relative schede tecniche sono contenute nel CD "Mapei Global Infonet" e nel sito internet www.mapei.com.*
Antipluviol S: *impregnante idrorepellente incolore a base di resine silossaniche.*
Elastocolor: *vernice elastica protettiva e decorativa per calcestruzzo a base di resine acriliche in dispersione acquosa.*
Elastocolor Primer: *fondo fissativo a solvente ad alta penetrazione per supporti assorbenti e stagionante per malte da ripristino.*
Epojet: *resina epossidica superfluida per iniezioni.*
Mape-Antique MC: *malta premiscelata deumidificante di colore chiaro, esente da cemento, per il risanamento delle murature umide in pietra, mattone e tufo.*
Mapefill: *malta fluida espansiva per ancoraggi.*
Mapegrout T60: *malta tissotropica fibrorinforzata resistente ai solfati per il risanamento del calcestruzzo.*
Mapelastic: *malta cementizia bicomponente elastica per la protezione impermeabile del calcestruzzo, piscine e balconi.*
Stabilcem: *legante cementizio espansivo superfluido per ottenere boiacche da iniezione, malte, betoncini e calcestruzzi.*

SCHEDA TECNICA

Ponte di Coazzano (MI) - Strada Provinciale n. 30 Binasco-Vermezzo
Intervento: risanamento conservativo del ponte
Anno di intervento: 2003
Committente: Provincia di Milano
Impresa: Steas, Opera (MI)
Direzione lavori: ing. Carlo Campari, Direttore Servizio ponti, concessioni - Direzione Centrale Trasporti e Viabilità - Provincia di Milano
Prodotti Mapei: ANTIPLUVIOL S, ELASTOCOLOR, ELASTOCOLOR PRIMER, EPOJET, MAPE-ANTIQUE MC, MAPEFILL, MAPEGROUT T60, MAPELASTIC, STABILCEM
Coordinamento Mapei: Fulvio Bianchi