

MANUTENZIONE E RISANAMENTO STRUTTURALE DI VIADOTTI STRADALI

CASI DI STUDIO SU INFRASTRUTTURE ANAS DELLA CALABRIA

Il viadotto Bisantis a Catanzaro

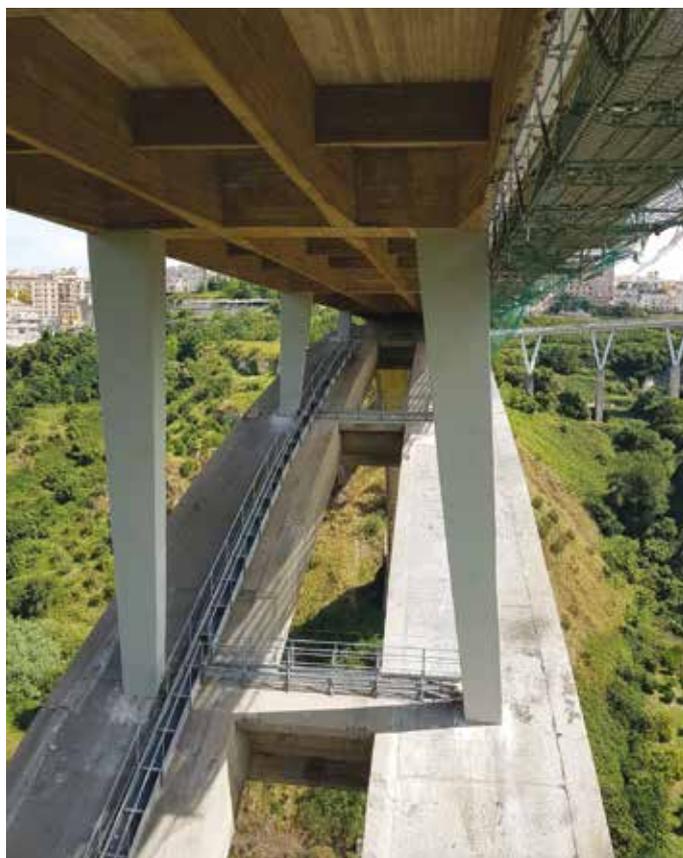
La complessa geomorfologia del territorio calabrese, con le sue coste articolate e la dorsale calabro lucana che percorre longitudinalmente tutta la regione, condiziona fortemente i tracciati della rete stradale, rendendo necessaria una sequenza di viadotti, ponti e muri di sostegno in calcestruzzo armato lungo l'intero sviluppo delle infrastrutture.

Rapidi dislivelli altimetrici in prossimità del mare condizionano profondamente il clima della regione, che si caratterizza per: l'elevata piovosità (sia annua che sul singolo evento); l'elevato numero di giornate piovose (ad eccezione del periodo estivo solitamente siccitoso) alternate a giornate di intenso irraggiamento solare; la presenza di una ventosità costante a regime di brezza, che si intensifica durante i passaggi di fronti perturbati, non di rado particolarmente violenti.

Queste condizioni meteorologiche fanno sì che il calcestruzzo armato sia sottoposto a ripetuti passaggi asciutto-bagnato, e variazioni termo-igrometriche molto rapide, che sono, nel complesso, i requisiti ideali per l'innesco e la propagazione della corrosione indotta da carbonatazione nei confronti di conglomerati porosi e depassivati.

Le particolari caratteristiche geografiche e meteorologiche rendono gli interventi di ripristino particolarmente impegnativi, sia per gli aspetti logistici che per quelli applicativi.

La scelta dei materiali da adottare per gli interventi manutentivi risulta basilare, in quanto i prodotti devono rispondere positivamente alle sollecitazioni indotte dal clima e alle condizioni di esercizio della struttura, con risposte prestazionali e, soprattutto, durabili.



1. Alcuni ripristini eseguiti sul viadotto Bisantis a Catanzaro



2. Lavori in corso d'esecuzione al viadotto Bisantis

In questa nota vengono descritte alcune specifiche lavorazioni eseguite con malte strutturali nella manutenzione del viadotto Angitola e del sovrappasso SP4 (carreggiata Nord e Sud dell'Autostrada del Mediterraneo A2), sulla tratta Pizzo-Sant'Onofrio, e quelle in corso di esecuzione nei lavori di manutenzione straordinaria per il ripristino corticale del calcestruzzo e dei ferri d'armatura degli elementi strutturali del viadotto Bisantis (ex Morandi) a Catanzaro.

LA DURABILITÀ DEGLI INTERVENTI MANUTENTIVI

Il problema della durabilità, con particolare riferimento alla corrosione delle armature, è estremamente rilevante nelle strutture in c.a. e in particolar modo nelle infrastrutture stradali. I principali fattori che riducono il potere protettivo del calcestruzzo sulle barre d'armatura, innescando corrosione diffusa o localizzata, sono la carbonatazione e l'attacco cloridrico. Tali fenomeni assumono carattere di rilevanza negli elementi costituenti ponti e viadotti.

I Quaderni Tecnici di ANAS [1], Ente gestore delle strutture in oggetto, trattano in modo molto esaustivo i temi del degrado, della diagnostica e delle modalità di intervento per la conservazione ed il ripristino delle caratteristiche strutturali e funzionali delle opere d'arte.

Sul tema del degrado del calcestruzzo armato vengono puntualizzati alcuni concetti che sono la base di partenza per tutte le considerazioni tecniche inerenti i materiali da impiegare.

Ad esempio, in merito alla carbonatazione del calcestruzzo, possiamo sintetizzare che tale fenomeno dipende, ovviamente, dalla qualità di partenza del calcestruzzo ma anche, in misura prevalente, dal microclima con cui l'opera deve convivere. Velocità di penetrazione della carbonatazione, grado di umidità del conglomerato cementizio e innesco dei processi corrosivi sono un classico esempio di correlazione calcestruzzo/microclima. In calcestruzzi posti al riparo dalle intemperie, con bassi tenori di umidità, non si producono apprezzabili attacchi corro-



3. Lo stato prima dell'intervento del sovrappasso dello svincolo Pizzo-Sant'Onofrio, sulla S.S. 18

sivi, anche se la carbonatazione può raggiungere le armature in tempi relativamente brevi (grazie alla CO_2 che penetra più facilmente sulla porosità comunicante di calcestruzzi asciutti [5]). In calcestruzzi soggetti a intense e ripetute precipitazioni piovose, seguite da intenso irraggiamento solare, succede il contrario: la penetrazione della carbonatazione avviene più lentamente, ma, quando raggiunge le armature, provoca un attacco che si sviluppa con straordinaria velocità, grazie alla presenza simultanea di tutti i componenti in grado di innescare e alimentare il processo elettrochimico corrosivo: ossigeno, acqua, soluzione elettrolitica. Ovviamente, anche la concentrazione di CO_2 nell'ambiente d'esposizione contribuisce alla velocità del fenomeno di carbonatazione, ma in misura inferiore rispetto ai fattori climatici appena descritti [6].

Queste considerazioni inerenti il degrado delineano i più importanti requisiti fisico-meccanici dei materiali, capaci di soddisfare contemporaneamente sia le risposte strutturali che quelle protettive: resistenza meccanica, legame di aderenza dopo cicli termici, modulo elastico, compensazione del ritiro, traspirabilità al vapore acqueo e resistenza alla penetrazione dei fluidi, sono l'insieme delle caratteristiche fondamentali da considerare attentamente per l'ottenimento di ripristini durabili.

I materiali applicati sulla rete stradale ANAS devono rispondere, oltre ovviamente alle obbligatorie certificazioni CE, a una serie di requisiti aggiuntivi descritti da specifiche voci di capitolato tecnico, pensati proprio nell'ottica di produrre ripristini e interventi manutentivi il più possibile prestazionali e durabili.

LE LAVORAZIONI CON MALTE STRUTTURALI

Fra i prodotti utilizzati nei viadotti in oggetto per il restauro del coprifermo degradato, la malta strutturale fibroinforzata Repair TIX HG merita alcune riflessioni tecniche basate sia sulle caratteristiche composizionali che sulle prestazioni fisico meccaniche, queste ultime riepilogate nella Figura 4.

REPAR TIX HG (MALTA STRUTTURALE CLASSE R4)

Caratteristica prestazionale	Valore	Substrato di riferimento (EN-1766)
Resistenza meccanica a compressione (EN 12190)	> 62 MPa	-
Resistenza meccanica a flessotrazione (EN 196/1)	> 8,5 MPa	-
Modulo elastico (EN 13412)	22,3 GPa	-
Legame di aderenza (EN 1542)	> 2 MPa	MC (0,40)
Assorbimento capillare (EN 13057)	< 0,43 kg · m ² · h ^{-0,5}	-
Resistenza alla carbonatazione (EN 13295)	dk < cls di controllo	-
Compatibilità termica (EN 13687-2)	> 2 MPa	MC (0,40)
Contenuto ioni cloruro (EN 1015-17)	< 0,01%	-

4. Il *Repar TIX HG*: caratteristiche, Norme di riferimento e valori fisico-meccanici

La versione progettata per i ripristini proiettati (a spruzzo) prende il nome di *Repar TIX HG SB* e ha caratteristiche fisico-meccaniche simili. Una delle peculiarità composizionali di *Repar TIX HG* (e, conseguentemente, di *Repar TIX HG SB*) è la presenza combinata di due tipologie di microfibre con rapporto d'aspetto (lunghezza/diametro) molto particolare: una fibra polipropilenica da 6 mm di lunghezza e 35 micron di diametro; una fibra in vetro ad alto tenore di zirconio (> 16%) da 6 mm di lunghezza e 20 micron di diametro. Il mix di queste speciali microfibre, appartenenti alla famiglia *Readymesh*, va a costituire, sul prodotto applicato, un fitto reticolo tridimensionale, con distribuzione randomizzata, caratterizzato da un altissimo numero di filamenti (circa 4.000.000 di filamenti per ogni sacco da 25 kg) che costituisce un elemento fondamentale per la durabilità delle malte applicate.

Queste microfibre, aggiunte in forma dispersa nel premiscelato, incidono sulle proprietà del materiale composito fibrorinforzato, partendo sin dalle prime fasi di lavorazione dell'impasto e fino ad indurimento completamente avvenuto, agendo perciò:

- durante lo stato "fresco";
- durante la maturazione;
- durante l'intero ciclo di vita del ripristino.

alimentando i processi di corrosione ed espansione dirompente. Per esplicitare il maggiore contrasto possibile alla propagazione delle fessure, risulta determinante la forza di legame che si riesce a sviluppare fra matrice legante e fibre. Nella malta *Repar TIX HG*, la forza di legame fra matrice e fibre è straordinariamente rafforzata dall'azione combinata del compound di additivi e da microsilicati finissimi che completano la distribuzione della curva granulometrica delle particelle leganti.

LA PREPARAZIONE DEL SUPPORTO

La preparazione del supporto risulta passaggio fondamentale per la buona riuscita dell'intervento [4]. Nel cantiere del viadotto Angitola, ad esempio, il supporto è stato preparato tramite idroscarifica, che rappresenta - in base alle attuali conoscenze - il metodo più appropriato di preparazione. I suoi principali vantaggi consistono nel non sviluppare microfessure e, con operazioni gestite in modo attento, nella riduzione dello strato di calcestruzzo sano rimosso.

L'operazione è stata eseguita con lancia manuale, gestita da operatore specializzato, capace di garantire un getto d'acqua alla pressione di circa 1.800 bar. L'operazione manuale offre il vantaggio, rispetto a quella robotizzata, di un continuo controllo delle superfici e una calibrazione della cinetica d'impatto del getto d'acqua, in funzione del degrado del calcestruzzo, tenuto costantemente sotto controllo dall'operatore.

In questo modo si rimuovono in maniera mirata solo le parti ammalorate, non più solidali al resto del calcestruzzo, creando nel contempo un'adeguata ruvidità.

Ricordiamo a tale scopo che la Norma UNI EN 1504 - Parte 10 "Applicazione in opera di prodotti e sistemi e controllo di qualità dei lavori" stabilisce i requisiti per la preparazione del supporto, in funzione del metodo di riparazione e di protezione scelto, menzionando i vantaggi dell'idroscarifica nelle situazioni in cui il calcestruzzo risulta intenzionalmente degradato.



5A e 5B. Ripristini con malte strutturali della linea *Repar TIX* di Azichem Srl

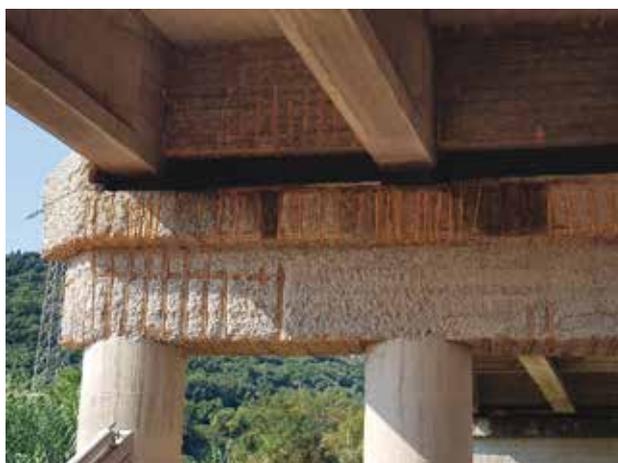


6A, 6B e 6C. Il ripristino dei giunti con betoncino fibrorinforzato Grout 6 SFR sul viadotto Angitola



L'IDROSCARIFICA

La precisa idroscarifica eseguita sui viadotti in oggetto ha consentito di mettere a nudo e pulire i ferri d'armatura, successivamente trattati con boiaccia inibitrice di corrosione Repair Monosteel. L'idroscarifica ha anche consentito un grado di ruvidità ottimale > 4 mm, insieme ad una condizione saturo a superficie asciutta, condizioni essenziali per favorire una per-



7A e 7B. Il calcestruzzo armato dopo l'operazione di idroscarifica



fetta aderenza al supporto della malta Repair TIX HG. Una volta eseguito il ripristino volumetrico, le superfici, a seconda del grado di finitura previsto, possono essere, o meno, rasate con rasante strutturale Repair SM prima di ricevere il ciclo di pitturazione. A questo scopo, ricordiamo che Repair TIX

HG ha un granulo massimo di circa 2 mm, che consente buone finiture frattazzate/lisciate, in special modo quando il ripristino volumetrico si conclude con un ultimo strato di Repair TIX HG steso a spessore omogeneo e non superiore a 10 mm.

Questa tecnica di ripristino volumetrico è attualmente utilizzata nei lavori di manutenzione straordinaria per il ripristino corticale del calcestruzzo e dei ferri d'armatura degli elementi strutturali del Viadotto Bisantis (ex Morandi) a Catanzaro.

IL BETONCINO FIBRORINFORZATO GROUT 6 SFR

Le considerazioni tecniche fin qui espresse valgono in buona misura anche per il betoncino ad alte prestazioni utilizzato per l'inghisaggio delle armature metalliche e come massetto di raccordo fra gli elementi di giunto fra i diversi impalcati. In queste situazioni è stato utilizzato il betoncino fibrorinforzato Grout 6 SFR le cui caratteristiche fisico-meccaniche sono riepilogate in Figura 8.

La caratteristica di questa malta è la presenza combinata di due tipologie di microfibre metalliche: una fibra in acciaio

al carbonio da 15 mm di lunghezza e 1 mm di diametro; una microfibra in acciaio con speciale rivestimento anticorrosivo da 6 mm di lunghezza e 200 micron di diametro.

Il mix di queste speciali fibre metalliche, appartenenti alla famiglia ReadyMesh, consente le peculiarità prestazionali già descritte per la malta tixotropica, con particolare efficacia, vista la natura metallica di queste fibre, sulle caratteristiche di energia di frattura e resistenza residua su fessurazioni postume.

Anche in questa malta, la forza di legame fra matrice e fibre è straordinariamente rafforzata dall'azione combinata del compound di additivi e da microsila-

GROUT 6 SFR (MALTA STRUTTURALE CLASSE R4)

Caratteristica prestazionale	Valore	Substrato di riferimento (EN-1766)
Resistenza meccanica a compressione (EN 12190)	> 75 MPa	-
Resistenza meccanica a flessotrazione (EN 196/1)	> 12 MPa	-
Modulo elastico (EN 13412)	29 GPa	-
Legame di aderenza (EN 1542)	> 2,5 MPa	MC (0,40)
Assorbimento capillare (EN 13057)	< 0,40 kg · m ² · h ^{-0,5}	-
Resistenza alla carbonatazione (EN 13295)	dk < cls di controllo	-
Compatibilità termica (EN 13687-2)	> 2 MPa	MC (0,40)
Pull-out, estrazione barra d'armatura (EN 1881)	< 0,6 mm (con carico di 75 KN)	-
Contenuto ioni cloruro (EN 1015-17)	< 0,01%	-

8. Il Grout 6 SFR: caratteristiche, Norme di riferimento e valori fisico-meccanici

ti finissimi. I microsilicati sono costituiti sia da matacaolino che da fumo di silice (silica fume). La silica fume è un sottoprodotto derivante dal processo di lavorazione del silicio e di leghe metalliche a base di silicio. Si configura come una polvere formata da particelle di forma sferica, raggruppate a formare degli aggregati. La singola particella ha una grandezza compresa fra 0,05 e 2,0 µm, con un diametro medio di 0,1-0,2 µm, quindi



9. La fibra ReadyMesh PM-060

molto più piccola rispetto alle particelle che compongono il range granulometrico dei cementi.

Queste dimensioni permettono un'ideale compensazione della curva granulometrica dei leganti, con le particelle di fumo di silice che vanno ad occupare e riempire in modo ottimale i vuoti lasciati a disposizione dai granuli di cemento. Chimicamente, il fumo di silice è in prevalenza costituito da silice (SiO₂), con percentuali in media ampiamente superiori al 90%.

Dal punto di vista mineralogico, il fumo di silice è un materiale completamente amorfo e, grazie alla sua composizione chimica e mineralogica, è un materiale ad altissima attività pozzolanica, capace di reagire con la calce di idrolisi del ce-

mento Portland per produrre CSH (silicati di calcio idrati), ovvero i principali componenti responsabili della resistenza meccanica della pasta cementizia e della riduzione della porosità del calcestruzzo. Ciò determina betoncini straordinariamente compatti, a ridottissima permeabilità all'acqua, resistenti alla carbonatazione e con elevatissima aderenza all'acciaio.

La malta Grout 6 SFR è additivata con superfluidificanti di ultima generazione che riducono drasticamente il rapporto a/c. Un'efficace miscelazione è un'operazione indispensabile per consentire

alle additivazioni e alle fibre metalliche di disperdersi uniformemente. A questo scopo sono molto validi i mescolatori ad asse verticale con velocità di rotazione > 35 rpm. Il supporto di calcestruzzo, come più volte richiamato nei Quaderni Tecnici Anas [3], è stato accuratamente preumidificato prima dell'applicazione del betoncino, allo scopo di impedire il trasferimento dell'acqua dal prodotto di riparazione al supporto (evento che può influenzare negativamente l'idratazione del betoncino fibrorinforzato). Al momento dell'applicazione, l'acqua ristagnante sulla superficie, che poteva pregiudicare l'aggrappo del ripristino al supporto, è stata rimossa con getto d'aria compressa. La stagionatura umida è stata mantenuta per le prime 48-72 ore, al fine di consentire un'ambiente umido nella prima delicata fase di maturazione.

La malta Grout 6 SFR è certificata CE secondo EN 1504/6 "ancoraggio dell'armatura di acciaio", e EN 1504/3 "Riparazione strutturale" in categoria R4.

CONCLUSIONI

In questa nota sono stati descritti alcuni prodotti e alcune tecniche applicative utilizzati nel viadotto Angitola, in provincia di Vibo Valentia, ed in corso di esecuzione nel viadotto Bisantis (ex Morandi) a Catanzaro.

Nella rete stradale gestita da ANAS la diagnosi, la progettazione e l'esecuzione degli interventi manutentivi seguono Normative Nazionali e specifiche Linee Guida esaurientemente dettagliate in una serie di Quaderni Tecnici.

Seguendo questo approccio, le operazioni di ripristino delle opere in calcestruzzo armato sono affrontate seguendo rigorosi criteri di scelta dei materiali e ponendo particolari attenzioni alle metodiche applicative. Tutto ciò risulta particolarmente importante ai fini della durabilità, soprattutto quando le caratteristiche geografiche e meteorologiche rendono gli interventi particolarmente impegnativi, sia per gli aspetti logistici che per quelli riguardanti le classi d'esposizione dei ripristini eseguiti. ■

⁽¹⁾ Direzione Tecnica Azichem srl

La Impresa Appaltatrice: Valori Scarl - Impresa Esecutrice: Tank Srl

La Valori Scarl Consorzio Stabile nasce dall'accordo fra Imprese di consolidata tradizione, operanti nel settore degli appalti pubblici e privati, con l'obiettivo di soddisfare richieste ed esigenze di un mercato sempre più dinamico e complesso. Valori svolge una funzione integrata tale da prestare supporto e assistenza alla pianificazione, alla programmazione e alla gestione delle attività delle Imprese consorziate, con una completa e proficua valorizzazione delle risorse. Tale aggregazione garantisce ai singoli membri di mantenere la propria identità, autonomia e organizzazione, anche in termini di attestazione e di certificazione da parte degli Organismi di qualificazione e di controllo (SOA).

Il Consorzio Valori è l'Impresa appaltatrice dei lavori presentati in questo articolo.

La Tank Srl è un'Impresa di costruzioni generali, specializzata nel settore infrastrutture, facente parte della compagine di Valori.

La Società Azichem Srl

Azichem Srl è un'Azienda ad elevata professionalità ed esperienza, certificata secondo la Normativa UNI EN ISO 9001:2015, costantemente impegnata nella ricerca e nello sviluppo di tecnologie e prodotti innovativi per l'edilizia specializzata. Produce e commercializza i propri formulati sin dal 1987 ed è da sempre impegnata nel settore delle infrastrutture viarie, soprattutto nel settore delle malte strutturali e delle fibre di rinforzo per il calcestruzzo armato.

Bibliografia

- [1]. Quaderni Tecnici ANAS
- [2]. n° 6 "Interventi di Ripristino Corticale dei Calcestruzzi Ammalorati"
- [3]. n° 8 "Interventi di Ripristino delle Condizioni di Sicurezza dei Giunti"
- [4]. n° 9 "Malte da Ripristino"
- [5]. L. Bertolini, B. Elsener, P. Pedferri, E. Redaelli, R. Polder - "Corrosion of steel in concrete: prevention, diagnosis, repair", 2nd edition, Wiley VCH, Weinheim, 2013.
- [6]. M. Collepardi, J. Ogoumah Olagot - "Il Calcestruzzo vulnerabile. Prevenzione, Diagnosi del degrado e restauro", Enco Srl, 2005.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Impresa Appaltatrice Valori Scarl, l'Impresa esecutrice Tank Srl e il Gruppo Guzzo Rappresentanze per l'aiuto alla stesura dell'articolo ed il materiale fotografico fornito.

DATI TECNICI

Stazione Appaltante: ANAS SpA

Impresa appaltatrice: Valori Scarl

RUP per il viadotto Bisantis: Ing. Domenico Renda di ANAS SpA

RUP per il viadotto Angitola: Ing. Luigi Mupo e Ing. Sandro Assunto di ANAS SpA

Direzione dei Lavori: Ing. Francesco Caruso, Ing. Silvio Baudi e Ing. Giancarlo Tiberi

Direttore Tecnico Impresa appaltatrice: Ing. Davide Ferraro

Direttore Tecnico Impresa esecutrice: Geom. Gaetano Curcio

Esecutori dei Lavori: Tank Srl



10. L'intervento manutentivo concluso al viadotto Angitola

FONTE: EDI-CEM Srl Strade&Autostrade