

RISANAMENTO DEI PONTI IN CALCESTRUZZO

ing. Laura Maisto

1. INTRODUZIONE

Il tema del risanamento dei ponti in calcestruzzo è molto vasto, vista l'esistenza di numerose cause che comportano il degrado di queste strutture.

La trattazione, che non ha né l'obbiettivo né la possibilità di essere esaustiva nel coprire tutti i casi d'interventi possibili, verrà condotta descrivendo prima una serie di parametri essenziali da conoscere prima di mettere in atto un risanamento, poi attraverso la descrizione di una serie di interventi realizzati su ponti esistenti con l'obbiettivo di esemplificare alcuni casi di risanamento tra i più comuni.

I lavori di ripristino e manutenzione dei ponti, principalmente nel settore autostradale, sono di notevole complessità in quanto la presenza del cantiere non deve interdire il traffico presente, spesso ingente, ed inoltre si deve fare attenzione a non creare situazioni di pericolo per gli utenti del ponte oggetto dell'intervento.

Quando ci si trova di fronte a problemi connessi alla riparazione o ripristino di ponti o manufatti in calcestruzzo in genere, bisogna sempre e comunque tenere presente quanto segue:

2. LA VALUTAZIONE MECCANICA E LA PREPARAZIONE DEL SUPPORTO

Si raccomanda la massima attenzione sull'adesione realmente esplicata sul supporto nei casi particolari della pratica applicativa:

- In funzione dello stato e della preparazione del supporto
- In funzione delle condizioni ambientali e delle modalità applicative
- In funzione delle sollecitazioni (termiche, dinamiche, ambientali) a cui il manufatto sarà soggetto

Una adesione al supporto di $1 \div 1,5 \text{ N/mm}^2$ a trazione è indicata dalle Normative vigenti quale valore minimo di riferimento e di sicurezza.

Il valore di adesione intrinseca (trazione) di valide malte da ripristino è $\geq 2,0 \text{ N/mm}^2$ e tali valori si ritrovano, nella pratica di cantiere, nel caso di omogeneo contatto con supporti sani, puliti, compatti di sufficiente scabrosità.

E' chiaro però che, se la resistenza intrinseca del supporto sarà inferiore, la malta, sotto sforzo a trazione, staccherà parte del supporto con valori misurabili di adesione proporzionalmente più bassi.

E' chiaro d'altronde che, nel caso invece di supporti ad alta resistenza intrinseca, la malta può esplicare il suo elevatissimo valore adesivo solo se le superfici sono idonee e perciò previa adeguata preparazione delle superfici stesse.

Differenti preparazioni del supporto portano a valori di adesione molto variabili:

UN ESEMPIO DA MISURAZIONI ESEGUITE IN CANTIERE

Supporto cls con molto elevata resistenza intrinseca a trazione compresa tra 2,8 e 3,4 N/mm^2 .

Adesione della stessa malta bicomponente applicata a spruzzo sul supporto diversamente trattato:

- Su supporto tal quale: Adesione (trazione diretta) $0,1 \div 0,25 \text{ N/mm}^2$
- Dopo sabbiatura 200 BAR: Adesione (trazione diretta) $0,4 \text{ N/mm}^2$
- Dopo scarifica meccanica: Adesione (trazione diretta) $1,5 \text{ N/mm}^2$
- Dopo idroscarifica a 2000 BAR: Adesione (trazione diretta) $2,9 \text{ N/mm}^2$

Raccomandazioni per una migliore adesione

In tutti i casi in cui non si possono realizzare le condizioni di migliore adesione (supporto debole o parzialmente friabile, supporti non assorbenti, supporti con insufficiente scabrosità etc.) i mezzi per migliorarne i valori e/o risolvere il problema della adesione durabile nel tempo sono i seguenti:

→ Spazzolatura con spazzola rigida sul supporto della malta a consistenza leggermente più fluida (ponte di adesione)

→ Nei casi estremi eventuale applicazione di monconi d'acciaio presigillati sui quali fissare adeguata rete di acciaio con la seguente sequenza:

- Foratura
- Sigillatura dei monconi (possibilmente con resina epoxy, oppure con la stessa malta se bicomponente)
- Spazzolatura con spazzola rigida del prodotto a consistenza leggermente più fluida
- Applicazione del primo strato di malta, lasciando sporgere i monconi prefissati
- Fissaggio della rete sui monconi
- Applicazione del secondo strato di malta

3. PROFILO DELLA CARBONATAZIONE E DEL CONTENUTO IN SALI CLORURI

profondità dell'avvenuta carbonatazione

attraverso ad esempio l'estrazione di carote e l'utilizzo di soluzione idroalcolica di fenolftaleina.

contenuto in sali cloruri

perforazione con trapano e raccolta delle polveri a diverse profondità con successiva determinazione analitica del contenuto in Cl⁻.

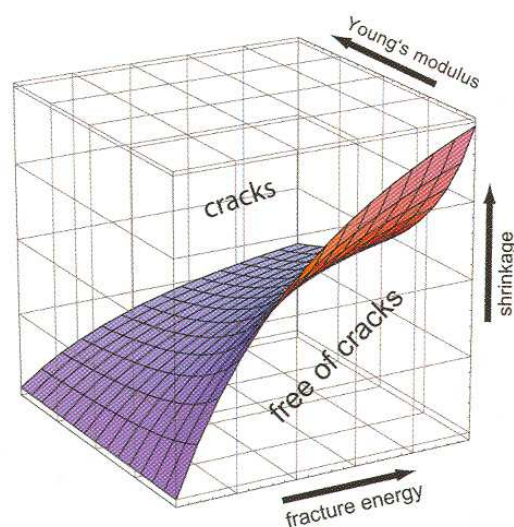
Nel caso di contenuto in cloruri elevato e soprattutto con contemporanea elevata carbonatazione, è necessario intervenire tramite impregnazione con inibitori di corrosione, operazione che viene eseguita immediatamente prima dell'applicazione di malte da ripristino adeguate alla tipologia particolare di intervento.

4. LA COMPATIBILITA' DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DELLE MALTE CON IL SUPPORTO. IL CONTROLLO DELLE FESSURAZIONI

Abbiamo precedentemente sottolineato l'importanza dell'adesione al supporto. Sussistono tuttavia altre caratteristiche fondamentali da rispettare.

Per minimizzare od eliminare il rischio di fessurazioni le malte devono essere formulate traendo ispirazione dal modello tridimensionale derivato dal modello numerico ad elementi finiti da noi elaborato in collaborazione con un importante politecnico.

I tre parametri che entrano in gioco sono: alta energia di frattura, basso modulo elastico e basso ritiro.



L'altro criterio pratico da tener presente è che il modulo elastico delle malte applicate deve essere sempre inferiore a quello del supporto. Poter modulare il modulo elastico delle malte applicate tra valori di 8.000 MPa fino a 23.000 MPa diviene perciò un requisito essenziale per meglio risolvere sin dalla fase progettuale la diversità dei casi; tale requisito è fondamentale e deve essere accompagnato da resistenze meccaniche adeguate (da 30 MPa a 60 MPa a compressione, da 8 MPa a 12 MPa a flessotrazione)

5. L'IDONEITA' LA DURABILITA' DELLE RIPARAZIONI ESEGUITE

È bene tener presente alcuni parametri fisico-meccanici fondamentali per garantire razionalità e qualità delle riparazioni:

- Spessore delle riparazioni
- Resistenza alla compressione MPa
- Resistenza alla flessione MPa
- Adesione al cls –prova di strappo-
- Modulo di elasticità MPa
- Capacità di “bridging” su eventuali fessure
- Resistenza alla penetrazione di CO₂
- Carbonatazione in funzione del tempo

- Resistenza alla diffusione di vapore acqueo
- Permeabilità ai cloruri
- Resistenza ai cicli gelo-disgelo

Fatte queste necessarie premesse, proseguiamo con l'analizzare nello specifico alcune tecnologie messe in atto in diverse tipologie d'intervento.

6. RIPRISTINO DI PILE SOMMERSE

L'esempio riportato è un particolare ripristino eseguito su pile immerse in un fiume.

Si parla del Ponte sul fiume PO, una delle opere di maggior rilievo dell'Autostrada del Brennero (A22).

Il ponte, costruito alla fine degli anni Sessanta, si articola in 14 campate di luce 72,80 m, composte da travate isostatiche. Le pile sono costituite per ciascuna carreggiata, da due travi a cassone, da 6 colonne circolari di diametro 1,5 m connesse da un traverso di collegamento e da 6 pali trivellati immersi nel corso del fiume Po.

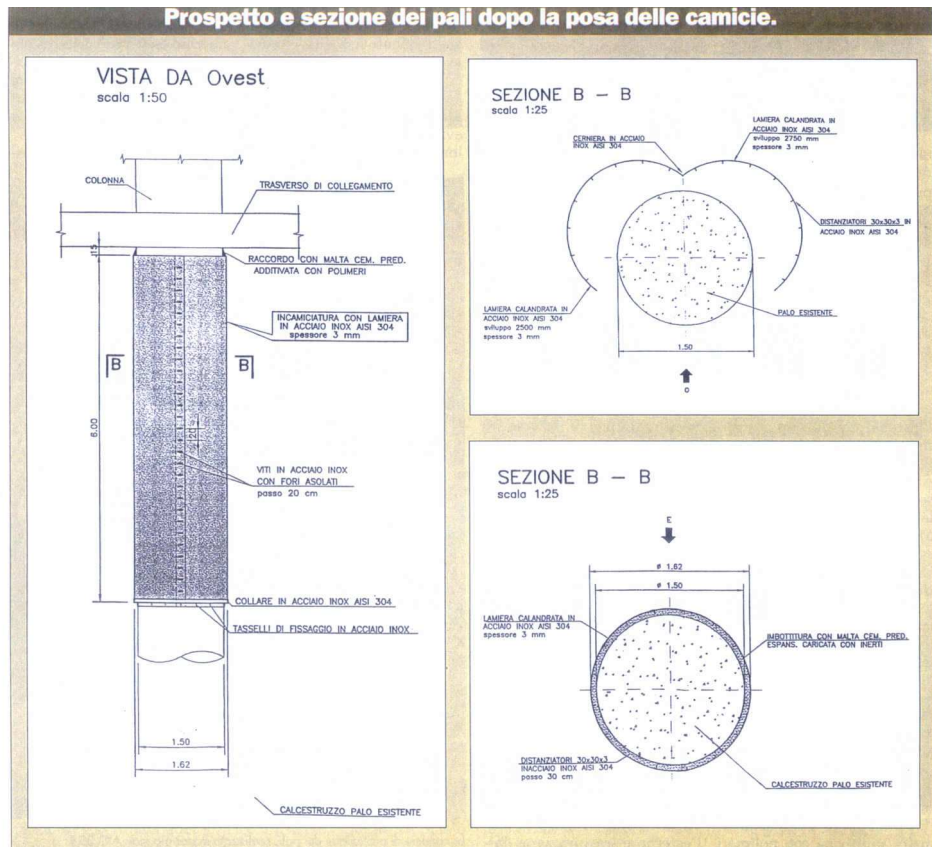
Dalle indagini effettuate l'opera è stata costruita con calcestruzzo di buona qualità, tuttavia è in atto un forte processo di carbonatazione e di penetrazione dei cloruri a livello dello strato corticale del calcestruzzo stesso.

L'intervento di ripristino viene previsto in diversi punti della struttura: pali, colonne, mensole delle pile, impalcati, soletta estradossale e cordoli. Soffermiamo tuttavia l'attenzione al ripristino delle pile immerse nel fiume.

Quest'ultime, oggetto di ispezioni subacquee da parte di sommozzatori, presentano la situazione di degrado più preoccupante: nella zona superiore soggetta a "bagnasciuga", il lamierino protettivo esistente si presenta quasi totalmente corroso ed i ferri d'armatura sono affioranti. Il fenomeno prevalente è l'erosione ed il dilavamento. Da non trascurare il degrado di tipo meccanico causato dai detriti trascinati dal fiume, che hanno provocato forti problemi.



L'intervento è cominciato innanzitutto con l'asportazione di tutti i detriti presenti nella parte frontale delle pile, in quanto d'intralcio a tutte le operazioni successive. Successivamente si è asportato il lamierino di protezione esistente ormai degradato e le parti di calcestruzzo friabile o in fase di distacco. Il ripristino della protezione metallica della pila è avvenuto mediante incamiciatura, realizzata con elementi circolari in acciaio AISI 304. Ogni camicia è costituita da due semi cilindri, che sono stati calati in acqua, successivamente una squadra di sommozzatori ha provveduto al loro accoppiamento mediante serraggi meccanici; per



impedire la fuoriuscita della malta i giunti di ogni camicia sono stati pre sigillati con uno speciale stucco epossidico in grado di raggiungere piena maturazione anche sott'acqua. Nell'intercapedine tra palo e camicia, resa stagna dallo stucco epossidico, è stata gettata una speciale malta cementizia espansiva ed anticorrosiva. Il getto è avvenuto dal basso verso l'alto mediante un tubo appoggiato sul fondello dell'incamiciatura, al fine di garantire la fuoriuscita dell'acqua garantendone una totale assenza nell'intercapedine. Tutto il lavoro a livello del fiume è stato fatto predisponendo un pontone sul quale è stato collocato il sistema di pompaggio della malta ed un escavatore utilizzato per la pulizia dei detriti ed il sollevamento dei materiali.



Il particolare intervento di risanamento descritto è applicabile in molti casi di ponti che attraversano un fiume.



Caratterizzazione fisico-meccanica della malta utilizzata per il riempimento dell'intercapedine

| | | |
|---|---|---|
| Caratteristiche tecniche (valori tipici) | • Tempo di inizio presa: | cca.1 h a 20°C |
| | • Acqua essudata (bleeding): | assente |
| | • Resistenza a Compressione | N/mm ² 40 (1 gg.) 90 (28 gg.) |
| | • Resistenza a flessione | N/mm ² 5,5 (1 gg.) 11 (28 gg.) |
| | • MODULO ELASTICO | N/mm ² 32.000 (28 gg.) |
| | • Adesione al cls | N/mm ² 2,5 (28 gg.) |
| | • Pull-out | N/mm ² > 20 (28 gg.) |
| | • Carbonatazione nel tempo | 8 anni mm 0,1 |
| | | 18 anni mm 0,2 |
| | | 25 anni mm 0,4 |
| | • Resist. alla penetrazione CO ₂ | μ 12.000 |
| | • Resist. alla diffusione VAPORE | μ 55 |
| | • ① Res. GELO-DISGELO | gr/mq 4 |
| | • ② Permeab. ai CLORURI | Coulomb 218 |
| | • Tipo conglomerato | malta/betonc/colare |
| | • N. componenti | mono |
| | • Spessori consigliati | mm 40÷300 |
| | • Applicazione | casserata |
| | • Curing umido | SI |
| | • Curing protetto | SE |
| | • Applicazione tipica | Ancor./Ripar. Strutt. |
| | • Presa | Normale |
| | • Indurimento | Normale |
| | • Compensazione ritiro | SI |
| | • Resa | Kg/m ² /mm 1,9 |
| | • Dosaggio | Anche +40% ghiaino |

7. RIPRISTINO DI PILE ESPOSTE ALL'ATMOSFERA

Analizziamo ora un caso di ripristino di pile esposte all'atmosfera di un'altrettanto famoso ponte dell'Autostrada del Brennero: il viadotto "**Colle Isarco**", lungo 1.029 metri, con carreggiate larghe 24 metri. Le pile oggetto dell'intervento hanno un'altezza dal piano campagna fino a 56 metri.

Il degrado di questa struttura era dovuto ad una combinazione di diversi fenomeni. Sulle pile era in atto un processo di carbonatazione in presenza di forti percentuali di sali cloruri (derivati dall'abbondante utilizzo di sali decongelanti nella stagione fredda e dalla loro percolazione dal manto stradale sulle pile sottostanti) con forte e diffusa accelerazione dei fenomeni di corrosione e di ossidazione dirompente dei ferri d'armatura.



Il degrado risultava ulteriormente accentuato dai cicli gelo/disgelo particolarmente frequenti per molti mesi all'anno data l'altitudine (ca. 1200 m)

Il fenomeno di degrado è talmente rilevante da portare in luce in molte zone barre d'armatura corrose per diversi metri quadrati, particolarmente in corrispondenza alle parti di pile più soggette alle percolazioni di acqua piovana drenata dal manto stradale e convogliata con canali di scolo al di sotto dell'impalcato.

A livello organizzativo il lavoro non si presentava affatto semplice: si doveva intervenire su pile di grandi dimensioni a 1200 metri di quota con alcune limitazioni nella scelta dei materiali, a causa delle basse temperature. Serviva quindi personale specializzato, attrezzature adeguate e materiali di qualità.

La prima operazione di ripristino svolta è stata l'asportazione delle parti ammalorate mediante idroscarifica ad alta pressione sia robotizzata che manuale.



Successivamente si è passati alla pulizia, mediante sabbiatura a secco, di tutti i ferri esposti al fine di eliminare la ruggine e di preparare le superfici di calcestruzzo pulite ed idonee ad accogliere i successivi strati di ripristino.

In una fase immediatamente successiva è stata eseguita la ripassivazione delle armature mediante applicazione di boiaccia bicomponente anticorrosione.

Visto che lo spessore previsto per il ripristino della sezione si aggirava mediamente sui 6-7 cm., è stata fissata su

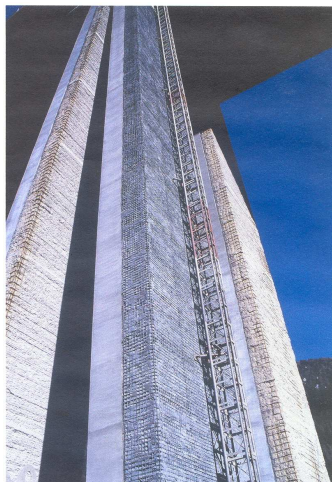
tutta la superficie una rete elettrosaldata zincata, maglia 10x10 cm, ancorata mediante monconi ad L prefissati al supporto

mediante resina epossidica.

Terminata la fase di

posizionamento dell'armatura di contrasto, si è passati al ripristino della sezione mediante applicazione a spruzzo di uno strato di malta strutturale fibrorinforzata bicomponente ad alta resistenza meccanica e con modulo elastico inferiore

a quello del supporto, additivata con inibitori di corrosione migranti aventi la capacità di proteggere sia le armature di contatto che quelle interne da successivi fenomeni di corrosione. Di seguito è stata eseguita la rasatura finale mediante malta fibrorinforzata



bicomponente a basso modulo elastico, anch'essa contenente inibitori della corrosione migranti.

La finitura estetico protettiva finale è stata realizzata con vernice metacrilica.



Caratterizzazione fisico-meccanica della boiaccia bicomponente anticorrosione

| | | | | |
|---|---|-------------------|----------------|-------------|
| Caratteristiche tecniche (valori tipici) | • Resistenza a Compressione | N/mm ² | 25 (28 gg.) | |
| | • Resistenza a flessione | N/mm ² | 6,5 (28 gg.) | |
| | • MODULO ELASTICO | N/mm ² | 8.000 (28 gg.) | |
| | • Adesione al cls | N/mm ² | 2 (28 gg.) | |
| | • Pull-out | N/mm ² | > 10 (28 gg.) | |
| | • Carbonatazione nel tempo | | | |
| | | 8 anni mm | 0,5 | |
| | | 18 anni mm | 4 | |
| | | 25 anni mm | 8 | |
| | • Resist. alla penetrazione CO ₂ | μ | 4.600 | |
| | • Resist. alla diffusione VAPORE | μ | 68 | |
| | • ① Res. GELO-DISGELO | gr/mq | 350 | |
| | • ② Permeab. Ai CLORURI | Coulomb | 300 | |
| | • Tipo conglomerato | | | boiaccia |
| | • N. componenti | | | bic |
| | • Spessori consigliati | mm | 2 | |
| | • Applicazione | | | mano |
| | • Curing umido | | | NO |
| | • Curing protetto | | | SE |
| | • Applicazione tipica | | | VHDRS/MuCis |
| • Presa | | | normale | |
| • Indurimento | | | normale | |
| • Compensazione ritiro | | | SI | |
| • Resa | Kg/ml di tondino trattato | 0,06 ±0,12 | | |

Caratterizzazione fisico-meccanica della malta strutturale fibrorinforzata bicomponente ad alta resistenza meccanica

| | | | | |
|---|---|-------------------|-----------------|---------|
| Caratteristiche tecniche (valori tipici) | • Tempo di inizio presa: cca 1h a 20°C | | | |
| | • Resistenza alle brevi stagionature (tipiche 1 giorno a 20°C): | | | |
| | • compressione ≥ 20 N/mm ² - flessione ≥ 4 N/mm ² | | | |
| | • Resistenza a Compressione | N/mm ² | 55 (28 gg.) | |
| | • Resistenza a flessione | N/mm ² | 11 (28 gg.) | |
| | • MODULO ELASTICO | N/mm ² | 22.300 (28 gg.) | |
| | • Adesione al cls | N/mm ² | 2,9 (28 gg.) | |
| | • Pull-out | N/mm ² | > 20 (28 gg.) | |
| | • Bleeding | | | assente |
| | • Carbonatazione nel tempo | | | |
| | | 8 anni mm | 0,1 | |
| | | 18 anni mm | 0,1 | |
| | | 25 anni mm | 0,2 | |
| | • Resist. alla penetrazione CO ₂ | μ | 14.600 | |
| | • Resist. alla diffusione VAPORE | μ | 46 | |
| | • ① Res. GELO-DISGELO | gr/mq | ≅ 0 | |

| | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------|
| • ② Permeab. ai CLORURI | Coulomb | 105 |
| • Tipo conglomerato | | malta tixo |
| • N. componenti | | bic |
| • Spessori consigliati | mm | 10÷50 |
| • Applicazione | | mano/spritz |
| • Curing umido | | NO |
| • Curing protetto | | SE |
| • Applicazione tipica | | VHDRS/AED/MuCis |
| • Presa | | normale |
| • Indurimento | | normale |
| • Compensazione ritiro | | SI+ |
| • Resa | Kg/m ² /mm | 2,1 |

Caratterizzazione fisico-meccanica della malta fibrorinforzata bicomponente utilizzata per la rasatura

Caratteristiche tecniche (valori tipici) Tempo di inizio presa: cca. 20' a 25°C
 Resistenza alle brevi stagionature (tipiche 1 giorno a 20°C):
 compressione $\geq 8 \text{ N/mm}^2$ - flessione $\geq 2 \text{ N/mm}^2$

| | | |
|---|-----------------------|-----------------|
| • Resistenza a Compressione | N/mm ² | 32 (28 gg.) |
| • Resistenza a flessione | N/mm ² | 8,5 (28 gg.) |
| • MODULO ELASTICO | N/mm ² | 8.900 (28 gg.) |
| • Adesione al cls | N/mm ² | 2,6 (28 gg.) |
| • Pull-out | N/mm ² | > 15 (28 gg.) |
| • Carbonatazione nel tempo | 8 anni mm | 2,5 |
| | 18 anni mm | 12 |
| | 25 anni mm | 14,5 |
| • Resist. alla penetrazione CO ₂ | μ | 1.006 |
| • Resist. alla diffusione VAPORE | μ | 25 |
| • ① Res. GELO-DISGELO | gr/mq | ≅ 0 |
| • ② Permeab. ai CLORURI | Coulomb | 280 |
| • Tipo conglomerato | | malta tixo |
| • N. componenti | | bic |
| • Spessori consigliati | mm | 3÷15 |
| • Applicazione | | mano/spritz |
| • Curing umido | | NO |
| • Curing protetto | | SE |
| • Applicazione tipica | | VHDRS/AED/MuCis |
| • Presa | | accelerata |
| • Indurimento | | accelerato |
| • Compensazione ritiro | | SI+ |
| • Resa | Kg/m ² /mm | 1,9 |



8. RIPRISTINO SOLETTA IMPALCATO E CORDOLI

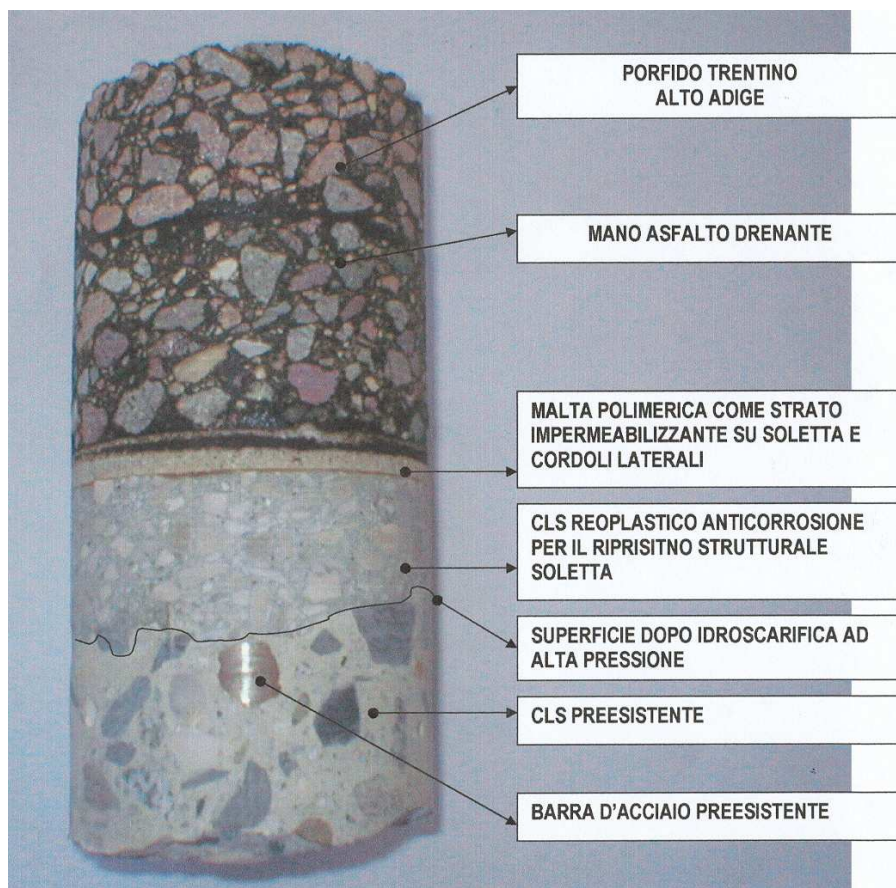
Un'altra tipologia di ripristino interessante da affrontare è quella relativa alla soletta d'impalcato ed ai cordoli perimetrali. A questo proposito prendiamo in analisi un caso d'intervento molto interessante avvenuto ancora sull'Autostrada del Brennero, dove da parecchi anni vengono stati messi in atto interventi molto sostanziali di ripristino.

La struttura dell'impalcato al momento della diagnosi anche in questo caso si presenta fortemente degradata per effetto dell'utilizzo molto forte di sali decongelanti durante la stagione invernale e per effetto del fenomeno di carbonatazione accentuato anche dal traffico pesante.

Le fasi d'intervento accomunano sia la soletta sia i cordoli degradati.

La prima fase, come ovvio, è stata l'asportazione dell'asfalto seguita dall'idroscarifica ad alta pressione del calcestruzzo degradato.

Successivamente, come si può ben vedere nella figura, è stata ricostruita la sezione mediante getto con speciale supercalcestruzzo reoplastico ad elevatissima durabilità ed anticorrosione, in quanto contenente speciali inibitori della corrosione di contatto e migranti.



Da evidenziare che prima della fase di getto spesso viene eseguita un'integrazione di armatura nella soletta attraverso la posa di una rete. Nella maggior parte dei casi il calcestruzzo dei cordoli viene totalmente o parzialmente demolito tramite idroscarifica; all'occorrenza viene successivamente posizionata adeguata armatura aggiuntiva a quella preesistente e conservabile. Il calcestruzzo reoplastico anticorrosione allo stato fresco subito dopo il getto, vibrazione e livellamento viene protetto con antievaporante ad elevatissima efficienza.



Dopo adeguata stagionatura dei calcestruzzi viene eseguita la pallinatura di tutto l'impalcato ed il ravvivamento con



sabbiatura dei cordoli laterali. Previa misurazione con adatti strumenti dell'umidità residua nel calcestruzzo, la quale deve essere \leq al 4%, si possono eseguire le operazioni di impermeabilizzazione, attraverso l'applicazione di malta polimerica di tipo metacrilico a basso modulo elastico, previa stesura di idoneo primer d'adesione.

Tale operazione permette di ottenere un'impermeabilizzazione senza soluzioni di continuità tra impalcato e cordoli.



A distanza di pochi giorni si può procedere alla posa del nuovo strato di asfalto drenante.



Caratterizzazione fisico-meccanica del compound per supercalcestruzzo reoplastico ad elevatissima durabilità ed anticorrosione

| | | | |
|---|---|-------------------|-----------------|
| Caratteristiche tecniche (valori tipici) | • Resistenza a Compressione | N/mm ² | 80 (28 gg.) |
| | • Resistenza a flessione | N/mm ² | 12 (28 gg.) |
| | • MODULO ELASTICO | N/mm ² | 30.000 (28 gg.) |
| | • Adesione al cls | N/mm ² | 3 (28 gg.) |
| | • Pull-out | N/mm ² | > 20 (28 gg.) |
| | | | |
| | • Carbonatazione nel tempo | 8 anni mm | 0,1 |
| | | 18 anni mm | 0,2 |
| | | 25 anni mm | 0,5 |
| | • Resist. alla penetrazione CO ₂ | μ | 11.000 |
| | • Resist. alla diffusione VAPORE | μ | 55 |
| | • ① Res. GELO-DISGELO | gr/mq | 40 |
| | • ② Permeab. ai CLORURI | Coulomb | 300 |
| | | | |
| • Tipo conglomerato | | CLS-betoncino | |
| • N. componenti | | Mono | |
| • Spessori consigliati | mm | 40÷500 | |
| • Applicazione | | Casserata/getti | |
| • Curing umido | | SI | |
| • Curing protetto | | SE | |
| • Applicazione tipica | | VHDRS-VHDC-MuCis | |
| | | | |
| • Presa | | Normale | |
| • Indurimento | | Accelerato | |
| • Compensazione ritiro | | SI++ | |
| • Resa | Kg/m ³ | 350-400 | |

Caratterizzazione fisico-meccanica della malta polimerica di tipo metacrilico utilizzata per l'impermeabilizzazione

primer

| | | |
|---|-------------------------------|--|
| Caratteristiche tecniche (valori tipici) | • Peso specifico | 0,97 Kg/l (DIN 53217/2) |
| | • Consumo | ca. 400/500 gr./mq. |
| | • Tempo di gel (150gr.a 20°C) | 17 minuti (UNI 8701/8) |
| | • Viscosità Brookfield | 230 mPas a 20°C |
| | • Temperatura di applicazione | da -5°C a + 30°C |
| | • Adesione su CLS | >3 N/mm ² (Adhesion tester) |
| | • Colore | trasparente |

malta

| | | |
|---|---|--|
| Caratteristiche tecniche (valori tipici) | • Peso specifico | 1.85 Kg/l |
| | • Solidi in volume | 100% |
| | • Spessore consigliato | ca.10 mm. |
| | • Consumo | ca. 19 kg./mq./ cm. |
| | • Vita utile | in funzione della temperatura da 25 minuti a 60 minuti |
| | • Temperatura di applicazione | da -20°C a + 35°C |
| Caratteristiche meccaniche della malta dopo 7 gg. a + 10°C | | |
| • Resistenza a compressione | > 40 N/mm ² dopo 7 gg. a +10°C | |
| • Resistenza a flessione | > 20 N/mm ² dopo 7 gg. a +10°C | |
| • Modulo Elastico | < 3000 MPa | |
| • Resistenza a trazione su CLS | > 3 Mpa | |
| • Colore: | trasparente | |

9. RIPRISTINO DI CORDOLI DI RIPARTIZIONE ALL'INTRADOSSO MEDIANTE SOLLEVAMENTO DELL'IMPALCATO AUTOSTRADALE

Si parla di un intervento particolare eseguito sul Viadotto dell'Aglio, Autostrada del Sole, Barberino al Mugello, tratto Bologna - Firenze.

Il viadotto è formato da un arco in calcestruzzo armato portante 17 campate da 9.44 m, lo sviluppo complessivo del ponte è di circa 440 m.

Gli interventi di ripristino e adeguamento del viadotto si sono resi necessari per tutta una serie di inconvenienti peraltro ricorrenti in opere di questo tipo, come abbiamo visto fin ora: percolazioni di acque meteorologiche, carbonatazione, utilizzo di sali decongelanti. Il tutto in questo specifico caso, aggravato dalla scarsa cura con cui sono stati realizzati alcuni particolari del viadotto.

Tra i vari interventi effettuati sul ponte, soffermiamo la nostra attenzione sulla ricostruzione dei cordoli ripartitori in corrispondenza dell'intradosso della soletta. Come si vede dall'immagine generale del ponte la struttura è composta da pilastri portanti su cui appoggiano le travi a sostegno dell'impalcato. Tra le travi e la soletta d'impalcato appunto trovano posto dei cordoli di ripartizione, che a causa di percolamenti di acqua piovana carica di sali cloruri, si trovano in un'avanzatissimo stato di degrado e di consumazione totale del calcestruzzo di copriferro. La



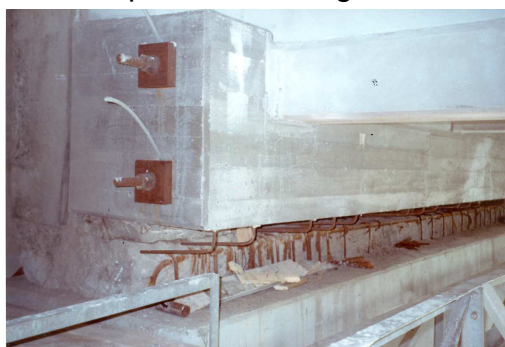
particolarità dell'intervento sta nel fatto che per poter ripristinare questi cordoli era necessario come prima cosa sollevare di qualche centimetro l'impalcato. La prima operazione è stata quindi la costruzione di mensole in aggetto alle travi di supporto, attraverso l'uso di betoncino cementizio reoplastico, che garantisse sufficiente resistenza per l'appoggio dei martinetti necessari al sollevamento degli impalcati. Dopo il sollevamento, il cordolo è stato ripristinato con un getto di calcestruzzo anticorrosione ad



STATO DEL DEGRADO IN CORRISPONDENZA DELLE PERCOLAZIONI ATTRAVERSO I GIUNTI E GETTI SPECIALI AD ALTA RESISTENZA PER L'APPLICAZIONE DEI MARTINETTI DI SOLLEVAMENTO DELL'IMPALCATO



alta resistenza, previa asportazione del calcestruzzo ammalorato, sabbiatura dei ferri corrosi, protezione degli stessi con boiacca ricca di inibitori di corrosione, nonché



adeguamento dei ferri d'armatura (anche con applicazioni di barre DYWIDAG).

Da sottolineare che, data la natura sismica dell'area, nel caso specifico la progettazione (Ing. Reggiani – Ing. Malisardi Spea SpA) ha previsto l'applicazione di ammortizzatori sismici a gas inerte nella fase finale

delle riparazioni e ripristini strutturali descritti.

Caratterizzazione fisico-meccanica della malta strutturale utilizzata per le mensole in aggetto: vedi caso n. 7: “Ripristino pile esposte all’atmosfera”

-e relativa caratterizzazione fisico-meccanica della malta strutturale fibrorinforzata bicomponente anticorrosione ed ad alta resistenza meccanica-



Caratterizzazione fisico-meccanica del compound per il calcestruzzo del cordolo: vedi caso n.8 : “Ripristino soletta impalcato e cordoli” e relativa caratterizzazione fisico-meccanica del compound per supercalcestruzzo reoplastico ad elevatissima durabilità ed anticorrosione

Abbiamo cercato di configurare e descrivere alcune tecnologie utili al risanamento ed al ripristino strutturale di ponti in calcestruzzo selezionando volutamente casi di degrado estremi. Il tema è molto vasto, sussistono molti casi di degrado minore o solamente superficiale oppure di necessità di sola manutenzione e protezione anticorrosione

preventiva: sempre però sono indispensabili una accurata diagnosi, validi prodotti e tecnologie, corrette applicazioni.

Sussistono parecchi altri casi di nostra esperienza diretta nel tema della riparazione di ponti e viadotti in Alto Adige, tra cui citiamo: viadotto Fortezza, viadotto Bolzano e Ponte Druso.

10. IL RINFORZO STRUTTURALE

Dopo aver parlato ed approfondito il tema molto vasto delle riparazioni, soffermiamo ora la nostra attenzione su un altro tema molto importante: **il rinforzo strutturale**.

Spesso il problema che nasce per un ponte è quello di adeguamento a nuovi carichi non previsti nel progetto originale, per effetto, ad esempio, di volumi di traffico in previsione crescenti. A questo proposito possono divenire utili i rinforzi strutturali con materiali compositi.

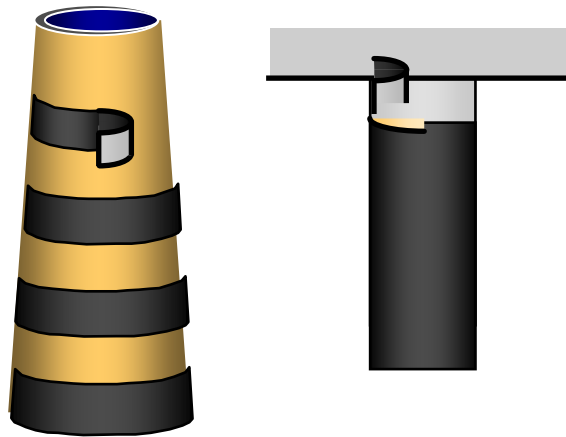
Innanzitutto è bene precisare che generalmente si opera nel rinforzare od adeguare strutture da tempo esistenti e quindi degradate: mettere in atto un sistema di ripristino come quelli precedentemente descritti è determinante per poter eventualmente garantire anche una collaborazione strutturale efficace tra rinforzo e supporto preesistente.

I rinforzi che usualmente si progettano per una struttura sono:

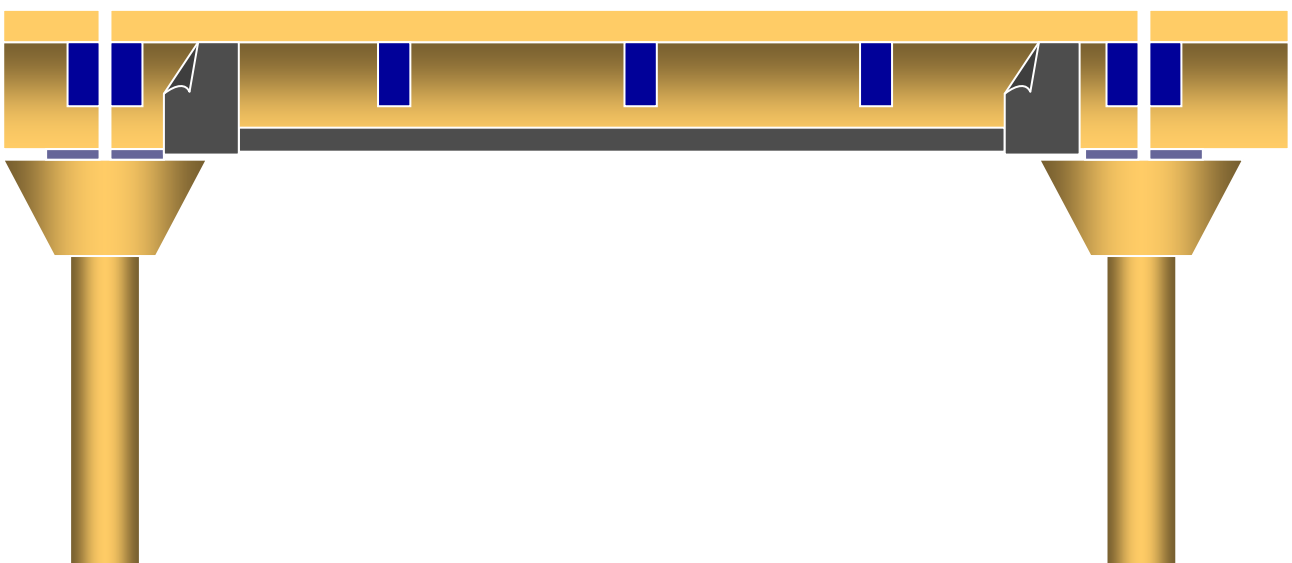
- rinforzi a flessione;
- rinforzi a taglio;
- rinforzi a compressione.

Nel caso specifico dei ponti si interviene in diversi modi, tra i quali:

1. confinamento delle pile in calcestruzzo per incrementare la resistenza a compressione



2. nel caso di travi inflesse per cui sono previsti nuovi carichi e quindi aumento di sollecitazioni, si può intervenire incrementando la resistenza a flessione e taglio mediante applicazione di materiali compositi in corrispondenza delle campate e degli appoggi.



In generale va ricordato che in ogni caso occorre **progettare e dimensionare analiticamente il rinforzo necessario a sopperire alle deficienze od all'incremento di carico previsto sulla struttura.**

Con particolare riferimento ai tessuti in fibra di carbonio il rinforzo degli elementi strutturali a flessione o taglio avviene mediante applicazione di strati di tali tessuti con semplici operazioni di laminazione direttamente sulle superfici da trattare con l'ausilio di resine epossidiche che consentono il trasferimento delle tensioni tra tessuto e supporto.

Qualora, sulla base di verifiche statiche, si scopre che per riadeguare la struttura sarebbero necessari più strati di tessuto si può semplicemente operare attraverso l'applicazione di lamine, ottenute con processi di laminazione di ultima generazione.

I vantaggi nell'utilizzo di materiali compositi per i rinforzi strutturali sono:

- Elevate proprietà meccaniche
- Leggerezza e maneggevolezza
- Facilità di posa in opera
- Dimensioni variabili a seconda dello specifico progetto

Il Progettista può trarre vantaggio da tessuti o lamine in fibre di carbonio unidirezionale con caratteristiche peculiari diverse per meglio risolvere i problemi di rinforzo su strutture in c.a. ed in c.a.p. ...

| | TESSUTI | LAMINE |
|-------------------------|--------------------|-----------------|
| • Resistenza a trazione | Da 4800 a 2500 MPa | 3500 – 2400 MPa |
| • Modulo elastico | Da 240 a 640 GPa | 177 – 270 GPa |
| • allungamento | Da 2% a 0,5% | 1,2 – 0,8% |

come anche di fibre ibride carbonio-aramide nel caso di rinforzi su strutture soggette a vibrazioni (ponti, strutture ferroviarie etc.)