

Restauro del Ponte Tové - Applicazione della UNI EN 1504-9

1. La UNI EN 1504 per il restauro e la protezione del cemento armato

Dal 1997 è disponibile la prenorma UNI EN 1504-1/10 il cui obiettivo principale è quello di "ingegnerizzare" l'intervento di restauro, sottraendolo alla logica tipica di molti capitolati, in buona misura riassumibile in: "eliminare il materiale incoerente e degradato sostituendolo con una malta a ritiro compensato". A tale scopo la Norma indica come procedere ad una serie di indagini prima dell'intervento, così da individuare la natura dei processi di degrado ed applicare **principi**¹ per l'eliminazione dei difetti e **metodi** attuativi basati sulla conoscenza scientifica dei processi chimico-fisici intervenuti. Tale conoscenza deve anche guidare alla scelta delle proprietà dei prodotti da impiegare per l'intervento.

Lo scopo di questa procedura è quello di aumentare la durabilità dei restauri, spesso insoddisfacente:

- vuoi per la ripresa dei fenomeni che in precedenza hanno portato al degrado, non contrastata con le tecniche e i materiali utilizzati;
- vuoi per una cattiva scelta dei prodotti utilizzati, incapaci di assicurare le necessarie caratteristiche di aderenza al sottofondo, assenza di fessurazione e durabilità nell'ambiente di esercizio;
- sia infine per le modalità esecutive non appropriate, anch'esse in grado limitare la durata della vita delle opere riparate.

Anche da queste indicazioni sintetiche si comprende facilmente la necessità di un approccio interdisciplinare, che coinvolga oltre all'ingegnere anche l'esperto dei fenomeni di degradazione del calcestruzzo e l'esperto dei materiali per il restauro.

L'autore della presente nota, avendo fatto parte del gruppo normativo CEN TC 104/SC 8 ha avuto la possibilità, contemporaneamente alla pubblicazione delle norme, di metterne in pratica i suggerimenti.

Si è trattato di un'esperienza interessante, anche perché uno dei problemi da risolvere e precisamente l'intervento sulle travi precomprese, è tutt'altro che semplice e non è attualmente preso in considerazione nella suddetta normativa in quanto verrà trattato in futuro.

2. Condizioni del manufatto

L'opera su cui si è effettuato l'intervento è un viadotto in cemento armato (ponteTové, Statale 27 del G. S. Bernardo, km 13, in Comune di Gignod) lungo 70,2 m, a tre campate (di 22,10 m ciascuna), ad un'unica carreggiata, sito in ambiente tipicamente

¹ Evidenziati i termini specifici utilizzati nella UNI 1504

montano (1204 m s.l.m.). La struttura è caratterizzata da un impalcato a graticcio di travi in cemento armato precompresso mediante cavi in guaine iniettate con cemento, poggianti su due spalle e su due pile intermedie e traversi precompressi mediante barre Diwydag.

2.1 Ispezione preliminare

L'indagine preliminare ha evidenziato **difetti** a carico di diversi elementi strutturali, tra i più significativi:

1. le testate delle solette mostrano numerosi distacchi di materiale, ferri d'armatura lenta scoperti e vistosamente corrosi, ed in alcuni casi fuori sede, completamente allentati e senza più alcuna aderenza al calcestruzzo (Fig. 1);
2. le testate delle travi manifestano fenomeni di corrosione in atto (Fig. 1), con distacchi di materiale e ferri dell'armatura lenta scoperti in corrispondenza degli spigoli, in qualche caso probabilmente anche per cattivo funzionamento degli apparecchi di appoggio;
3. le travi in campata (con esclusione cioè delle testate) si presentano complessivamente in buono stato;
4. i traversi non evidenziano fenomeni di degrado molto evidenti anche se in quelli di testata si osservano nella parte inferiore, in corrispondenza delle staffature chiari segni di corrosione (soprattutto quelli in 2^a e 3^a campata);
5. i pulvini e la spalla lato monte, e in misura assai minore le pile, evidenziano accentuati fenomeni di corrosione; episodicamente sulle pile si osservano abbondanti colature saline, probabilmente di carbonato di calcio, dovute presumibilmente alla presenza di fratture all'interno del calcestruzzo ed infiltrazione d'acqua (Fig. 2),
6. sui pulvini si rilevano chiari segni dell'azione dei cicli gelo-disgelo (Fig. 3).

Si sono ovviamente evidenziati ed in seguito riparati altri difetti delle varie apparecchiature del viadotto tra cui giunti e appoggi, non considerati nella presente nota.

2.2 Indagini eseguite

A seguito dell'ispezione preliminare, avendo constatato che i difetti della struttura erano essenzialmente da associare a fenomeni di corrosione dell'armatura ed all'effetto dei cicli gelo-disgelo e dei cloruri sul calcestruzzo, mentre non sono apparse evidenti altre cause di deterioramento, come ad esempio ASR o altre reazioni chimiche, è stato messo a punto un piano di indagini che, oltre alla verifica della resistenza del calcestruzzo, necessaria per valutare l'eventuale necessità di un irrobustimento degli elementi strutturali, comprendeva:

- la determinazione della distribuzione a diverse profondità rispetto alla superficie di estradosso dello ione cloruro, secondo la UNI 9944;
- la profondità di carbonatazione, secondo la UNI 9944;
- il potenziale di corrosione delle armature, secondo la UNI 10174.

In questa relazione, viene presentata una lettura sintetica dei risultati ottenuti e la loro interpretazione, utilizzata in seguito ai fini di:

- determinare i **principi** da applicare per l'intervento,
 - scegliere i **metodi** e definire le tecniche per l'attuazione dei principi,
 - individuare i **requisiti** dei materiali da utilizzare per ricostruire le sezioni e le prestazioni ad essi associate,
 - precisare la quantità del materiale contaminato da rimuovere,
 - prendere atto della situazione delle testate delle travi, con particolare riferimento alla presenza di cloruri nel calcestruzzo adiacente ai cavi di precompressione,
- così da poter definire una linea guida per l'esecuzione dei lavori di ripristino.

2.3 Profondità di carbonatazione

I valori di profondità di carbonatazione sono risultati alquanto diversi a seconda della posizione del prelievo.

Sugli elementi strutturali fortemente degradati, quali pulvini e sbalzi solette, si sono riscontrati valori relativamente modesti (da 3 a 20 mm), mentre su elementi in migliori condizioni si sono raggiunti generalmente valori prossimi ai 50 mm. Evidentemente a seguito della carbonatazione e della corrosione dell'armatura, oltre al danno da gelo, nelle zone più danneggiate sono state perse quantità apprezzabili di calcestruzzo carbonatato. È inoltre da ricordare la complessa influenza del grado e del tempo di saturazione del calcestruzzo sui fenomeni di corrosione e carbonatazione.

2.4 Profondità di penetrazione dei cloruri

L'analisi della distribuzione della concentrazione dello ione cloruro nel calcestruzzo è stata condotta in modo approfondito, per ottenere dati utili alla definizione dei principi e metodi per l'intervento.

La distribuzione stessa è stata misurata su 20 posizioni, prelevando sia polveri a diverse profondità (dalle travi, mediante trapano) che carote, successivamente tagliate in fette da circa 0,5 cm a varie distanze dalla superficie di estradosso per gli altri elementi strutturali. Nella seguente tabella 1 vengono riportati, a titolo di esempio sulla modalità di utilizzo dei dati, unicamente i valori relativi al prelievo P11, eseguito sulla testata di una trave interna, in corrispondenza di un pulvino, al di sotto di un giunto. In questo prelievo si sono trovati i valori massimi di concentrazione di cloruro.

Nella tabella si leggono: X, distanza media dalla superficie di estradosso del materiale del campione; la concentrazione C_{calc} di ione cloruro (Cl^-) in massa rispetto al calcestruzzo; C_{cem} , la concentrazione di cloruro in massa rispetto al cemento. Nel grafico di Fig. 4 è rappresentata la distribuzione delle concentrazioni ricavata da questi dati (si tenga presente che il livello critico di concentrazione di cloruro è 0.4% rispetto al peso di cemento).

Ricordando che la penetrazione del cloruro segue la seconda Legge di Fick, dai dati di *distanza dalla superficie/concentrazione* si è ricavato il valore del coefficiente di diffu-

sione del cloruro nel calcestruzzo (D) e della concentrazione del cloruro alla superficie (C_0), che come si vede non sono molto dispersi.

L'ultima colonna riporta il valore calcolato di X in corrispondenza del quale la concentrazione del cloruro scende a 0,4 % in peso del cemento; tale valore coincide con lo spessore del calcestruzzo che è in grado di promuovere la corrosione dell'armatura normale e che pertanto dovrebbe essere asportato.

Tabella 1 - Elaborazione dati cloruri

Campione di polveri	X, cm	C calc, % in peso	C cem, % in peso	D calc cm^2/s	C_0 (% in peso)	C_0 medio (% in peso)	$x_{c=0,4}$ (cm)
P11	1	0,68	4,42	$4 \cdot 10^{-9}$	6,14	6,69	5,3
Testata	2	0,47	3,05				
trave	3	0,30	1,95				
	5	0,12	0,78				

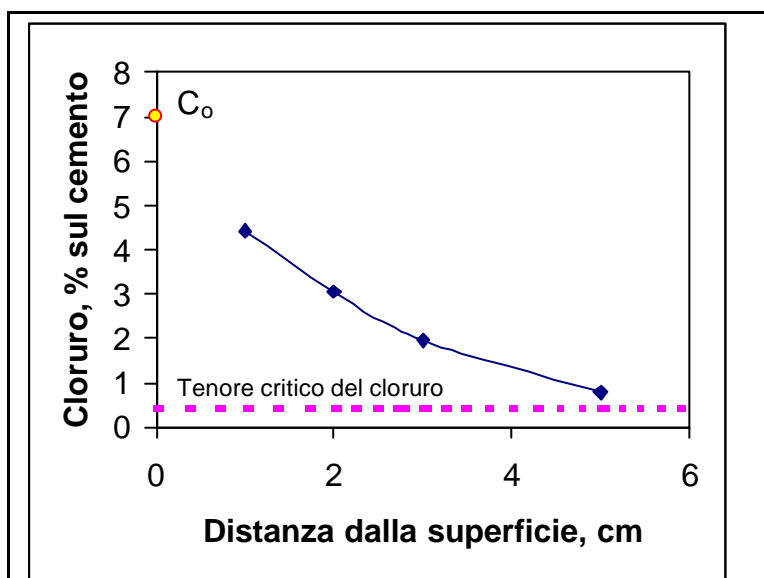


Fig. 4 - Distribuzione del cloruro nel calcestruzzo; sono indicati il tenore critico di cloruro e il valore calcolato di C_0

Come si è detto la tabella 1 è riferita al campione in cui sono maggiori le concentrazioni di cloruro; i valori riscontrati negli altri prelievi indicano che i valori elevati sono localizzati sui vari elementi strutturali specialmente in corrispondenza dei giunti, mentre nelle parti protette (come le travi di bordo faccia esterna, al centro della campata) si riscontrano valori trascurabili.

2.5 Diffrazione di Raggi X

Su un campione costituito dallo spigolo incoerente di un pulvino si è prelevato del calcestruzzo successivamente sottoposto a Diffrazione di Raggi X. Si può riconoscere,

insieme ai componenti dell'aggregato, lo spettro dell'ossicloruro di calcio idrato $\text{CaO} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Si conferma in questo modo la degradazione dovuta ai cloruri su calcestruzzo a bassa temperatura².

3. Considerazioni sulle condizioni dell'opera

Vengono ora esposte alcune considerazioni sulle condizioni delle varie parti strutturali dell'opera, utili alla successiva definizione degli interventi di ripristino.

3.1 Testate travi e traversi

La situazione degli elementi strutturali nella zona giunti è certamente grave. La concentrazione di cloruro nel calcestruzzo è decisamente alta, e raggiunge un livello di non pericolosità ad una profondità notevole, tale da interessare l'armatura di precompressione. Nell'impossibilità di:

- eliminare lo strato di calcestruzzo contaminato (con perdita di precompressione), a meno di non prevedere un sistema di precompressione a cavi esterni (pure possibile),
- ricorrere ad un sistema di protezione catodica oppure ad una estrazione elettrochimica dei cloruri (a causa del rischio di infragilimento da idrogeno³),

si deve limitare l'intervento a quanto indicato al successivo punto 6.

3.2 Testate e sbalzi solette

La situazione delle testate solette è analoga a quella riscontrata per gli elementi precompressi, ma in questo caso non c'è alcun ostacolo alla rimozione di uno spessore di calcestruzzo di 7-8 cm, da ricostruire con malta o betoncino a ritiro compensato⁴, con eventuale apporto di nuova armatura in sostituzione di quella corrosa.

3.3 Pulvini

Il grado di contaminazione da cloruri riscontrato sui pulvini è minore di quello riscontrato sugli elementi precedenti, nonostante il contatto con la soluzione clorurata avvenga con modalità analoga. Probabilmente ciò è dovuto ad un maggiore danneggiamento dei pulvini stessi da parte dei cicli gelo-disgelo e dell'azione del cloruro sul calcestruzzo a bassa temperatura, con una perdita di spessori sensibili di materiale. Come nel caso precedente non vi è alcuna difficoltà per la rimozione del materiale

² H. G. Smolczyk: "Chemical reactions of strong chloride solutions with concrete", V Int. Symp. on the Chemistry of Cement, 3, pag. 274, Tokyo 1968

³ S. Klisowsky, W.H. Hartt: "Qualification of Cathodic Protection for Corrosion Control of Pretensioned Tendons in Concrete", in "Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction", Edited by Page et al. P. 354 The Royal Soc. of Chemistry, Cambridge 1966

⁴ V. ALUNNO ROSSETTI: "Degrado del calcestruzzo. Indagini e materiali per il ripristino"; Giornata di studi sul tema "Degrado delle opere d'arte Stradali" - ANAS Palermo 2000

contaminato, la sostituzione dei ferri corrosi e la ricostituzione della sezione con una malta a ritiro compensato.

3.4 Spalle e pile

Anche in questo caso la concentrazione di cloruro riscontrata è elevata su spessori consistenti e si richiede la rimozione di uno spessore elevato di conglomerato.

3.5 Cloruri negli elementi precompressi

La distribuzione dei cloruri ha mostrato che anche negli elementi precompressi (travi e trasversi di testata) vi sono concentrazioni rilevanti di Cl^- , il che rende difficile l'intervento, per l'impossibilità di eliminare il calcestruzzo contaminato fino ad una sufficiente profondità senza perdere la precompressione.

4. Principi e metodi

Vengono espone qui di seguito le considerazioni che hanno portato alla definizione dei principi, dei metodi e delle tecniche operative.

4.1 Elementi strutturali non precompressi

Per questo tipo di elementi strutturali, si è ritenuto di applicare il **Principio** numero 3 (CR) - Ripristino del calcestruzzo, consistente nel: "ripristino del calcestruzzo originale di un elemento della struttura nella forma ed alla funzione specificate originariamente".

Quanto al **metodo** per l'applicazione del Principio è stato scelto il 3.1: Applicazione della malta a mano.

Nel caso degli elementi non precompressi in buone condizioni cioè prevalentemente non esposti all'acqua, come ad esempio le travi interne, non sempre si è provveduto all'asportazione del materiale carbonatato, ma si è fatto affidamento sulla possibilità di rialcalinizzazione del calcestruzzo carbonatato mediante diffusione di alcali dalla malta di nuova applicazione (**metodo** 7.4).

4.2 Per il precompresso

Per le ragioni già accennate in precedenza, non era possibile la rimozione del calcestruzzo contaminato dai cloruri adiacente alle armature di precompressione né la protezione catodica, perciò si sono applicati i principi: 7.4, 8.1, 3.1.

Principio 7.4 (R P): Conservazione e ripristino della passività

"Creazione delle condizioni chimiche in cui la superficie dell'armatura viene mantenuta o riportata ad una condizione di passività" ed il relativo metodo 7.2 Sostituzione del calcestruzzo contaminato o carbonatato. Questo principio si è attuato soltanto dove si riteneva di poter eliminare il calcestruzzo contaminato e incoerente senza

pregiudizio per la precompressione, come ad esempio per le parti terminali degli ancoraggi dei cavi in corrispondenza delle testate delle travi.

Principio 8 (I R): Aumento della resistività elettrica del calcestruzzo.

Si è utilizzato il metodo 8.1: "Limitazione del contenuto di umidità mediante trattamenti di superficie, rivestimenti o ripari", provvedendo ad una verniciatura sull'intera superficie dei manufatti, finalizzata ad impedire la penetrazione d'acqua nel calcestruzzo.

Principio 3 (CR): Ripristino del calcestruzzo

Per gli elementi strutturali danneggiati prevalentemente dai fenomeni di gelo-disgelo, è stato utilizzato il Principio 3: "Ripristino del calcestruzzo originale di un elemento della struttura nella forma ed alla funzione specificate originariamente", attuato mediante il **metodo 3.1**: Applicazione della Malta a mano.

4.3 Monitoraggio

Con l'intervento sopra delineato non si è ritenuto di aver risolto definitivamente il problema del possibile proseguire dei fenomeni di corrosione a carico dell'armatura di precompressione, data la presenza di concentrazioni rilevanti di cloruro nel calcestruzzo adiacente. È sembrato perciò necessario monitorare le condizioni significative per la corrosione, in particolare la resistività del calcestruzzo ed il potenziale di corrosione.

Per il potenziale di corrosione sono state introdotte nel conglomerato, in prossimità delle testate dei cavi di precompressione, ed anche in prossimità dell'armatura di precompressione dei trasversi di testata, 24 elettrodi consistenti in barrette di titanio attivato MMO in malta cementizia per il rilevamento del potenziale, che consentiranno mediante misure periodiche di valutarne l'evoluzione.

Poiché lo sviluppo dei fenomeni di corrosione è essenzialmente legato alla capacità del calcestruzzo di condurre la corrente elettrica, e quindi alla sua resistività, si è previsto di eseguire misure di resistività mediante la sonda di Wenner (Fig. 5), a tempi diversi dopo avere asportato momentaneamente lo strato protettivo verniciante.

5. Requisiti dei materiali per il ripristino

La scelta dei materiali da utilizzare e preliminarmente la definizione dei loro requisiti costituisce parte essenziale della progettazione di un intervento di restauro. A tal fine la 1504/9 fornisce una tabella che elenca, per i vari Principi e Metodi e con diverso livello di priorità, una serie di requisiti da prendere in considerazione, fornendo anche l'indicazione dei relativi metodi di prova (pubblicati o in corso di elaborazione dal CEN e da UNI).

Sulla base di queste indicazioni, ma tenendo anche conto di alcune specificità dell'approccio italiano al restauro del cemento armato, basato sull'impiego ormai consolidato di prodotti cementizi a ritiro compensato e della tecnica dell'espansione

contrastata, sono stati definiti come prioritari i requisiti elencati nei paragrafi seguenti sia per le malte che per i protettivi⁵.

5.1 Materiali cementizi:

Si ritengono essenziali i requisiti seguenti:

- capacità di espansione contrastata, pari almeno allo 0,04% a 1 giorno, secondo UNI 8147.
- un contenuto di fibre flessibili resistenti alla corrosione, caratterizzate da una superficie specifica non inferiore a 8 m²/kg ed aventi un rapporto d'aspetto non inferiore a 100 per offrire un contrasto all'espansione;
- elevata tixotropia per l'applicazione a mano;
- resistenza a compressione e a flessione adeguate;
- aderenza al calcestruzzo non inferiore a 4 MPa a 28 giorni secondo il metodo dei cuneo adottato dalla Soc. Autostrade;
- assenza di bleeding (acqua di essudazione) secondo UNI 8998.

Requisiti specifici sono altresì stati considerati per l'intervento sulle testate delle solette in corrispondenza dei giunti, per tener conto delle tipiche sollecitazioni d'urto. A questo scopo si è usata una malta a ritiro compensato e capace di espansione contrastata secondo UNI 8147, fibrorinforzata con fibre metalliche rigide e quindi caratterizzata da elevata resistenza all'urto.

5.2 Requisiti per il rivestimento protettivo

Per questi prodotti si richiedono essenzialmente caratteristiche di:

- capacità di barriera verso gli aggressivi dell'ambiente, in particolare acqua, cloruri ed anidride carbonica;
- elevata permeabilità al vapor d'acqua, così da consentire un progressivo essiccamento del calcestruzzo;
- elevata aderenza al supporto di calcestruzzo o malta;
- durabilità nell'ambiente di esercizio,
- capacità di deformazione elastica nel caso dell'applicazione sugli elementi sollecitati a flessione.

5.3 Scelta dei prodotti

In base ai requisiti individuati si è in seguito provveduto alla scelta dei prodotti tra quelli proposti dal mercato, in base alle prestazioni dichiarate e preferibilmente certificate nelle schede tecniche dei produttori.

⁵ Si veda la nota dell'Autore già citata per i metodi di prova delle varie proprietà.

6. Esecuzione dei lavori

6.1 Testate delle travi e trasversi

Su questi elementi strutturali, come è stato precedentemente spiegato, si è effettuato l'intervento riparando le parti degradate, ma senza una completa asportazione delle parti contaminate da cloruro e con la realizzazione di un sistema di monitoraggio.

Schematicamente si riportano le fasi dell'intervento:

- asportazione mediante scalpellatura o idrodemolizione del calcestruzzo di riempimento localizzato in corrispondenza delle estremità dei cavi;
- eliminazione di tutto quel calcestruzzo delle travi e dei trasversi che si presenta incoerente e degradato;
- demolizione di alcuni centimetri di calcestruzzo della trave (ammessi dal punto di vista strutturale e concordati con il progettista dell'intervento) vicino alle estremità dei cavi di precompressione (questa operazione è stata eseguita con estrema cautela) asportando accuratamente la ruggine dai ferri mediante sabbiatura o lavando il metallo con il getto d'acqua in pressione;
- le operazioni precedenti debbono fornire un supporto adeguatamente irruvidito (asperità di almeno 5 mm) richiesto per l'aderenza della malta cementizia;
- esecuzione mediante trapano di un foro di 3 centimetri di diametro, vicino al cavo, per l'alloggiamento dell'elettrodo, oppure alloggiamento nella malta di nuova applicazione;
- posizionamento dell'elettrodo sua sigillatura con malta e sistemazione delle cassette di collegamento;
- lavaggio e saturazione del calcestruzzo di supporto con acqua in pressione immediatamente prima dell'applicazione della malta da ripristino;
- eventuale aggiunta di ferri, ove richiesto dal progettista;
- ricostituzione della sezione con getto di malta capace di espansione contrastata secondo UNI 8147;
- stagionatura; mediante film antievaporante in grado di costituire un primer per la successiva applicazione del protettivo.

La Fig. 6 mostra una vista dell'impalcato a fine lavori. Come in quasi tutte le foto al collaudo, il risultato appare ottimale: anche in questo caso il vero collaudo sarà il comportamento nel tempo.

7. Il monitoraggio

I risultati finora ottenuti sono riportati nelle tabelle 2 seguenti.

Tabella 2 – Letture di potenziale di corrosione sugli elettrodi inglobati nel manufatto (mV)

Posizione	12/1999	07/07/00	09/08/00
1	-222	-820	-525
2	-202	-512	-332
3	-230	-362	-240

Posizione	12/1999	07/07/00	09/08/00
13	-340	-639	
14	-170	-544	
15	-194	+358	

4	-155	-518	-341
5	-202	-373	-244
6	-424	-663	-442
7	-372	-763	-506
8	-355	-820	-542
9	-472	-425	-261
10	-239	-853	-557
11	-162	-396	
12	-257	-594	

16	-231	-726	
17	-186	-850	
18	-68	-384	
19	-241	-692	
20	-190	-873	
21	-6	-4	
22	-387	-353	
23	-534	-540	
24	-475	-446	

7.1 Misure di resistività

Tabella 3 – Resistività del calcestruzzo, rilievo del 9/8/2001

Posizione	Resistività, k Ω .cm
Traverso di testata sulla spalla di valle, tra 1a e 2a trave	1125
Traverso di testata sulla spalla di valle, tra 4a e 5a trave	630
Traverso di testata a monte, sul pulvino 1, tra 4a e 5a trave	470

I valori di potenziale risultati piuttosto bassi, indicano che almeno per ora la eventuale ripassivazione, dovuta a diffusione dell'idrossido dalla malta, non si è verificata; ulteriori misure permetteranno di seguire l'evoluzione del sistema.

Risulta però risolutivo il fatto che le resistività siano risultate talmente elevate da poter affermare (almeno in base alla limitata casistica disponibile) che attualmente nessun fenomeno di corrosione è praticamente possibile.

8. Conclusioni

L'applicazione della norma UNI EN 1504, in particolare della guida costituita dalla parte 9, richiede per l'esecuzione degli interventi di restauro delle opere d'arte in cemento armato, in particolare stradali, competenze specifiche sui fenomeni di degrado e sulle caratteristiche dei materiali per il ripristino. Solo in questo modo si può tendere a realizzare interventi durevoli e ad evitare il "restauro del restauro".

Il restauro del Ponte Tovè costituisce uno dei primi esempi di attuazione della norma in Italia; operare secondo i principi e metodi da questa proposti e la scelta dei materiali effettuata su base prestazionale hanno consentito di operare in modo razionale e consapevole.

La presenza di elevate concentrazioni di cloruro, anche in prossimità dell'armatura di precompressione, ha aggiunto difficoltà all'intervento, la cui strategia si è basata, oltre che sulla ricostituzione delle sezioni e sul reintegro dell'armatura, sulla possibilità:

- in primo luogo di ripassivare per quanto possibile le armature, mediante l'utilizzo di una malta ricca di idrossido di calcio e contemporaneamente rimuovendo per quanto possibile il calcestruzzo inquinato da cloruri;
- in secondo luogo applicare su tutte le superfici un protettivo impermeabilizzante pur consentendo la migrazione del vapor d'acqua, allo scopo di impedire l'acces-

so dell'acqua dall'esterno e mantenere pertanto asciutto il calcestruzzo, ed elevata la resistività;

- favorire l'autoessiccamento del calcestruzzo, conseguente alla presenza di una malta ricca di cemento ma con contenuto molto modesto di acqua.

I primi risultati del monitoraggio del potenziale di corrosione e della resistività del calcestruzzo sono incoraggianti.

I valori di potenziale risultati piuttosto bassi, indicano che almeno per ora la ripassivazione non si è verificata; ulteriori misure ci permetteranno di seguire l'evoluzione del sistema.

Risulta però risolutivo il fatto che le resistività siano risultate talmente elevate da poter affermare (almeno in base alla limitata casistica disponibile) che attualmente nessun fenomeno di corrosione è praticamente possibile.

Ringraziamenti

L'autore desidera esprimere vivo ringraziamento per la loro fattiva collaborazione agli Ingegneri Carotenuto e Maturi dell'ANAS di Aosta e ai Geometri Ravetto e Sobrino dell'impresa Piemonte Costruzioni di Issogne (AO).

Summary

This paper describes the first explicit Italian (and may be European) application of the European standard UNI ENV 1504-9 to the restoration of a reinforced and prestressed bridge structure in which, due to frequent use of chlorides (Northern Italy at 1600 m), also the prestressed beams were chloride laden.

The topics treated, following the main paragraphs, are:

1. Meaning and purpose of ENV 1504
2. Assessment of the structure conditions; analyses
3. The conditions of the bridge; the chloride problem in prestressed elements
4. Principles and methods applied
5. Requirements for the materials; performance criteria
6. Details of execution specifications
7. Monitoring corrosion potential and resistivity
8. Conclusions



Fig. 1 - Corrosione sulla testata di una trave interna e sulla testata delle solette



Fig. 2 - Corrosione, colature ed incrostazioni sul pulvino



Fig. 3 - Degrado del pulvino dovuto a fenomeni di gelo-disgelo ed azione dei cloruri



Fig. 5 - Misura della resistività del calcestruzzo. Nella foto, in alto, è visibile il cavetto collegato ad un elettrodo situato nella testata della trave.



Fig. 6 - Un dettaglio dell'intervento completato