

**(PR-E-1059) - INTERVENTI URGENTI PER IL RIPRISTINO
 DELLA CONDIZIONE DI SICUREZZA DEI MANUFATTI DELLE
 CASSE DI ESPANSIONE, DI MONTE E DI VALLE, DEL
 TORRENTE ENZA NEI COMUNI DI MONTECHIARUGOLO (PR)
 E MONTECCHIO EMILIA (RE)**

PROGETTO ESECUTIVO

MANUFATTI DI MONTE

RELAZIONE INTERPRETATIVA DEI RISULTATI DI LABORATORIO

Ø	26/07/2019	Prima emissione	L. D'Antonio	A. De Paola	E. Baldovin
REV.	DATA	MODIFICHE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Ezio Baldovin

IL R.U.P.:

Dott. Ing. Mirella Vergnani


 GEOTECNA PROGETTI
 Milano - Roma

3	6	4	4	0	0	5	Ø
N. COMMESSA				PROGR.		REV.	

INDICE

1. PREMESSA	1
2. NORME DI RIFERIMENTO	1
3. RISULTATI DI LABORATORIO	2
3.1 CALCESTRUZZI ESISTENTI	2
3.2 ACCIAI.....	4
4. DEGRADO RILEVATO	5
4.1 DEGRADO DOVUTO ALLA CORROSIONE DELLE ARMATURE PER CARBONATAZIONE	5
4.2 ABRASIONE/EROSIONE SUPERFICIALE DEL CALCESTRUZZO	7
5. PROVE PACOMETRICHE.....	7

INDICE FIGURE

<i>Fig.3.1 – Tabella sinottica dei risultati ottenuti</i>	<i>2</i>
<i>Fig.3.2 – Fattore di disturbo.....</i>	<i>3</i>
<i>Fig.3.3 – Risultati di laboratorio sulle armature metalliche.</i>	<i>4</i>
<i>Fig.3.4 – Prescrizione sugli acciai previste dalle norme all’epoca della costruzione</i>	<i>5</i>
<i>Fig.4.1 – Simbologia cromatica assunta per la carbonatazione.</i>	<i>6</i>
<i>Fig.4.2 – Abrasione in Alveo.....</i>	<i>7</i>
<i>Fig.5.1 – Misurazioni dirette dei diametri e dei copriferri delle armature</i>	<i>8</i>

1. PREMESSA

Nell'ambito della progettazione dei lavori di manutenzione straordinaria (risanamento materico), delle opere di sbarramento del Torrente ENZA, l'interpretazione dei risultati delle indagini strutturali eseguite dal laboratorio autorizzato ha consentito di stimare lo stato dei materiali dei seguenti manufatti:

- traversa di monte;
- manufatto limitatore di monte con passerella di servizio;

Le opere risultano realizzate nel periodo compreso tra il 1996 fino agli anni 2003.

2. NORME DI RIFERIMENTO

Il progetto sarà eseguito in osservanza di tutte le seguenti Leggi, Decreti, Norme e Direttive (comprese eventuali varianti, completamenti o integrazioni alle stesse) attualmente vigenti e precisamente:

- LEGGE 5 NOVEMBRE 1971 N. 1086 G.U. N. 321 DEL 21 DICEMBRE 1971
"Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- LEGGE 2 FEBBRAIO 1974, N. 64 G.U. N. 076 DEL 21/03/1974
"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- D.M. INFRASTRUTTURE TRASPORTI 17 GENNAIO 2018
"Norme Tecniche per le Costruzioni";
- CIRCOLARE MINISTERO INFRASTRUTTURE TRASPORTI 21 GENNAIO 2019, N. 7;
"Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008";
- UNI EN 206:2016 ;
"Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità";
- UNI 11104:2016;
" Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206";
- UNI EN 1504
"Prodotti e sistemi per la protezione e la riparazione delle strutture in calcestruzzo. Definizioni, requisiti, controllo di qualità e valutazione di conformità".

- CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI SERVIZIO TECNICO CENTRALE
"Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera". Sett. 2017

3. RISULTATI DI LABORATORIO

3.1 Calcestruzzi esistenti

I risultati sono stati suddivisi per manufatti e per sub-strutture. La scelta di una divisione minuziosa è dettata dalla necessità di prevedere interventi differenziati per ogni singola parte del manufatto in riferimento alla diversa funzione strutturale e alla differente classe di esposizione agli agenti degradanti.

LAVORI DI MANUTENZIONE CASSE DI ESPANSIONE TORRENTE ENZA - PIANO DELLE INDAGINI STRUTTURALI						
IDENTIFICATIVO CAROTA	OPERA	DETTAGLI	CARBONATAZIONE MISURATA (mm)	COPRIFER-RI (mm)	fcarote (Mpa)	media fcarote (Mpa)
C2	Traversa di Monte	Spalla destra	16	32/35	49,0	
C3	Traversa di Monte	Spalla destra	14		44,7	
C4	Traversa di Monte	Spalla destra	18		46,0	46,57
C7	Traversa di Monte	Spalla sinistra	12	38/45	61,9	
C8	Traversa di Monte	Spalla sinistra	16		53,8	
C9	Traversa di Monte	Spalla sinistra	10		52,4	56,03
C23	Traversa di Monte	Fondazione	5	40/48	38,5	
C30	Traversa di Monte	Fondazione	6		26,0	
C31	Traversa di Monte	Fondazione	5		25,4	
C55	Traversa di Monte	Fondazione	8		23,8	
C56	Traversa di Monte	Fondazione	10		32,4	
C57	Traversa di Monte	Fondazione	10		25,7	28,63
C5	Traversa di Monte	Protezione (ala destra)	8	70/80	40,2	
C6	Traversa di Monte	Protezione (ala sinistra)	8		45,0	42,60
C1	Traversa di Monte	Protezione Dente	8		31,6	31,60
C10	Manufatto limitatore di monte	manufatto limitatore - spalla destra	22	68/85 - 70/75	33,4	
C11	Manufatto limitatore di monte	manufatto limitatore - spalla destra	20		28,2	
C12	Manufatto limitatore di monte	manufatto limitatore - spalla destra	20		31,1	30,90
C13	Manufatto limitatore di monte	manufatto limitatore - spalla sinistra	16	79/85	38,6	
C14	Manufatto limitatore di monte	manufatto limitatore - spalla sinistra	18		36,6	
C15	Manufatto limitatore di monte	manufatto limitatore - spalla sinistra	20		49,3	41,50
C51	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - fondazione	18	98/105	32,1	
C52	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - fondazione	20		35,2	33,65
C53	Manufatto limitatore di monte	sfioro ingresso cassa - fondazione	10	80/95	40,8	
C54	Manufatto limitatore di monte	sfioro ingresso cassa - fondazione	8		35,7	38,25
C33	Manufatto limitatore di monte	Sfioro troppo pieno - fondazione	8	38/42	52,1	
C34	Manufatto limitatore di monte	Sfioro troppo pieno - fondazione	8	70/75	50,4	51,25
C32	Manufatto limitatore di monte	Sfioro troppo pieno - protezione*	14	50 da progetto	38,4	38,40
C18	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - protezione	4	120/150	61,7	
C16	Manufatto limitatore di monte	sfioro di ingresso cassa - protezione	20		68,0	64,85
C19	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - trave laminatrice	10		48,2	
C20	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - trave laminatrice	12	50 da progetto	53,3	
C21	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - trave laminatrice	10		48,9	50,13
C17	Manufatto limitatore di monte	sfioro di ingresso cassa - pila	18		31,1	
C22	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - pile	26	120/150	28,8	
C24	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - pile	16		35,3	31,73
C25	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - impalcato - soletta	10	62/80	28,4	
C26	Manufatto limitatore di monte	manufatto in alveo - impalcato - soletta	10		29,8	
C27	Manufatto limitatore di monte	sfioro di ingresso cassa - impalcato - soletta	12		29,6	29,27
carbontest	Manufatto limitatore di monte	impalcato trave precompressa	21	25 da prog.		55,00
	prof.di carbon. 0-9 mm					
	prof.di carbon. 10-19 mm					
	prof.di carbon. >20 mm					

Fig.3.1 – Tabella sinottica dei risultati ottenuti

I conglomerati sono classificati in funzione della resistenza a compressione attraverso prove su carote cilindriche e confrontati, ove riscontrabile, con le caratteristiche previste nel progetto originario.

Le "Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera" al p.to 3.3, stabiliscono che, nel caso di costruzioni esistenti, non si farà riferimento ai valori ***fck*** ed ***Rck*** caratteristici, bensì si calcoleranno i valori medi cilindrici ***f_{m(n)is}*** o cubici ***R_{m(n)is}***, ai quali andranno applicati i "fattori di confidenza" ***FC*** che ridurranno preliminarmente, in base al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive, i valori medi di resistenza dei materiali.

Le Linee Guida sottolineano come l'estrazione delle carote dalla struttura, per quanto condotta con le attenzioni sopra raccomandate, produca comunque un disturbo al calcestruzzo, per cui nel risultato di prova sulla carota si manifesta un decremento di resistenza. Per tenere conto di tale decremento, le citate Linee Guida e la Circ.N.7/19 hanno introdotto un Fattore di disturbo ***Fd***, moltiplicativo della resistenza ottenuta dalla prova; il valore di ***Fd*** decresce all'aumentare della resistenza ***fcarota*** rilevata sulla specifica carota, come indicato nella tabella seguente:

Tabella C11.2.6.I.- Fattore di disturbo in funzione della resistenza a compressione delle carote ($H/D=1$; $d=100\text{ mm}$)

$f_{carota}[N/mm^2]$	10 ÷ 20	20 ÷ 25	25 ÷ 30	30 ÷ 35	35 ÷ 40	> 40
F_d	1.10	1.09	1.08	1.06	1.04	1.00

Fig.3.2 – Fattore di disturbo

La UNI EN 12504-1 prevede che, se la resistenza potenziale è espressa in valori cubici, l'eventuale determinazione della resistenza strutturale va effettuata su campioni ricavati da carote aventi rapporto $h/d = 1$ (con tolleranza $\pm 0,05$); se invece la resistenza potenziale è espressa in valori cilindrici, l'eventuale determinazione della resistenza strutturale va effettuata su campioni ricavati da carote aventi rapporto $h/d = 2$ (con tolleranza $\pm 0,05$).

Pertanto, il valore della resistenza strutturale di ciascuna carota si determina come segue:

fcarota* * *Fd* = *Rc, is nel caso di provini ottenuti da carote con rapporto $h/d=1$

fcarota* * *Fd* = *fc, is nel caso di provini ottenuti da carote con rapporto $h/d=2$

le carote sono state realizzate con rapporto $h/d = 1$.

Le grandezze riportate nell'ultima colonna della tabella sinottica sono i valori medi dei risultati delle prove di schiacciamento rilevati per singola substruttura.

3.2 Acciai

Gli acciai sono catalogati sia in funzione della tensione di rottura/snervamento che della loro categoria commerciale relativa al periodo di costruzione dei manufatti.

I risultati di laboratorio sono riportati nella tabella successiva.

RISULTATI DELLE PROVE A TRAZIONE							
N° identificativo L.T.M	Contrassegno	Ø nominale effettivo (mm)	Sezione effettiva S_0 (mm ²)	Tensione di snervamento f_y (MPa)*	Tensione di rottura f_t (MPa)*	$A_{gt}(\%)$	Data di prova
1	F1 - Fondazione - Traversa di monte	12	113,0	527,2	639,5	11,8	18/06/19
2	F2 - Fondazione - Traversa di monte	14	153,9	504,1	592,9	12,5	18/06/19
3	F3 - Fondazione - Traversa di monte	20	314,0	454,5	668,4	13,4	18/06/19
4	F4 - Fondazione - Manufatto limitatore di monte	12	113,0	617,0	715,7	11,6	18/06/19
5	F5 - Fondazione - Manufatto limitatore di monte	14	153,9	508,5	596,6	12,1	18/06/19
6	F6 - Fondazione - Manufatto limitatore di monte	12	113,0	636,8	740,9	12,3	18/06/19
7	F7 - Fondazione - Manufatto limitatore di valle	14	153,9	497,7	593,3	12,7	18/06/19
8	F8 - Fondazione - Manufatto limitatore di valle	14	153,9	493,6	583,5	12,2	18/06/19
9	F9 - Fondazione - Manufatto limitatore di valle	20	314,0	457,4	633,7	13,5	18/06/19

Fig.3.3 – Risultati di laboratorio sulle armature metalliche.

Durante il periodo di costruzioni dei manufatti sono stati vigenti prima il D.M. 27.07.1985 e successivamente il D.M. 09.01.1996 "Norme tecniche per l'esecuzione dell'opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche."

Per gli acciai, entrambe le norme, prevedevano le medesime prescrizioni

Tipo di acciaio			Fe B 38 k	Fe B 44 k
Tensione caratteristica di snervamento f_{yk} N/mm ²			≥ 375	≥ 430
Tensione caratteristica di rottura f_{tk} N/mm ²			≥ 450	≥ 540
Allungamento A_5 %			≥ 14	≥ 12
Per barre ad aderenza migliorata aventi \varnothing (*)	fino a 12 mm	Piegamento a 180° su mandrino avente diametro D	3 \varnothing	4 \varnothing
	oltre 12 mm fino a 18 mm		6 \varnothing	8 \varnothing
	oltre 18 mm fino a 25 mm	Piegamento e raddrizzamento su mandrino avente diametro D	8 \varnothing	10 \varnothing
	oltre 25 mm fino a 30 mm		10 \varnothing	12 \varnothing

(*) Il diametro \varnothing è quello della barra tonda liscia equipesante.

Fig.3.4 – Prescrizione sugli acciai previste dalle norme all'epoca della costruzione

Come si evince dal confronto è possibile confermare gli acciai dichiarati negli elaborati progettuali.

Le armature delle strutture sono state realizzate con acciai Fe B 44 k.

4. DEGRADO RILEVATO

4.1 Degrado dovuto alla corrosione delle armature per carbonatazione

Si tratta di una delle forme di degrado più comuni di natura corrosiva. L'anidride carbonica presente nell'aria tende a penetrare, attraverso il copriferro, all'interno degli elementi strutturali evidentemente esposti all'aria. L'ossido di calcio (CaO) presente all'interno della matrice cementizia, come sottoprodotto della reazione di idratazione del cemento, reagisce con l'anidride carbonica (CO₂) trasformandosi in carbonato di calcio (CaCO₃). Di per sé questa reazione non porta ad alcun degrado, anzi, in un certo senso rende più compatto il copriferro a seguito della sostituzione di un componente molto dilavabile (CaO) con uno invece più stabile (CaCO₃). Tuttavia, il CaO presente nella matrice cementizia risulta essenziale perché determina un valore del pH estremamente alcalino (circa 13) nel quale le armature tendono a "passivarsi", ovvero a rivestirsi di un sottilissimo film di ossido che le protegge dalla corrosione. La progressiva riduzione del contenuto di CaO è accompagnata da una progressiva riduzione del valore del pH del calcestruzzo. Quando quest'ultimo arriva a valori prossimi a 9, il film passivante che riveste le armature diventa instabile e si disgrega, rendendo le barre vulnerabili alla corrosione. La corrosione potrà tuttavia avvenire solo

quando acqua (H_2O) ed ossigeno (O_2) giungeranno, penetrando sempre attraverso il copriferro, a ridosso delle armature. Pertanto le strutture sensibili a questa tipologia di degrado sono quelle esposte all'aria (presenza di CO_2 e O_2) e al contatto con l'acqua (H_2O), in forma alterna. Una volta avviato il processo di corrosione, questo porterà alla formazione di ossidi di ferro (quella che comunemente viene chiamata "ruggine") che essendo più voluminosi del metallo di partenza tenderanno a "spingere" il copriferro verso l'esterno portando al suo distacco. Il degrado da carbonatazione è ben riconoscibile dal fatto che l'ossidazione omogeneamente diffusa su tutte le armature coinvolte solo in stato avanzato. Quando invece la profondità di carbonatazione risulta inferiore ai copriferri il fenomeno in generale non manifesta segni rilevabili visivamente. Per misurare la profondità di carbonatazione si procede al prelievo di una carota di calcestruzzo ed immediatamente dopo si spruzza sulla sua superficie una soluzione (1%) di alcool etilico e fenoftaleina; il calcestruzzo della porzione di carota non carbonatata reagisce con la fenoftaleina colorandosi di viola; la profondità di carbonatazione è quindi misurabile come lunghezza del provino cilindrico che, partendo dalla superficie esterna arriva sino alla fascia colorata. Dove non è stato possibile realizzare le carote si è proceduti con una analisi al Carbon Test. La soluzione di alcool etilico e fenoftaleina viene applicata alla polvere di calcestruzzo ottenuta da una perforazione tramite la punta di un trapano e raccolta in apposite provette.

I valori ottenuti sono riportati nella quarta colonna della tabella sinottica in fig. 4.2.

Le colorazioni adottate nella colonna denotano le progressive profondità dello strato carbonatato secondo la seguente simbologia:

	prof.di carbon. 0-9 mm
	prof.di carbon. 10-19 mm
	prof.di carbon. >20 mm

Fig.4.1 – Simbologia cromatica assunta per la carbonatazione.

La carbonatazione segue una legge temporale nota che consente la valutazione della (**Vnres**) Vita nominale residua. Per i dettagli delle analisi si rimanda alla Relazione Tecnica Generale.

4.2 Abrasione/erosione superficiale del calcestruzzo

Per i calcestruzzi in alveo sono stati rilevati fenomeni di abrasione/erosione superficiale. E' un attacco di natura fisica. L'abrasione superficiale del conglomerato è dovuta all'azione delle sabbie trasportate in sospensione o sul fondo dalla corrente e degli urti di ghiaie e ciottoli trascinati sul fondo. L'erosione riguarda inizialmente la pasta di cemento che è più vulnerabile, in seguito vengono rimosse le particelle di aggregato in superficie: si instaura un processo inarrestabile al perdurare della causa. Anche la cavitazione produce l'erosione del conglomerato: in presenza di correnti con forte velocità, anche senza trasporto solido, localmente si possono creare riduzioni di pressione fino a raggiungere il valore della tensione di vapore; quando le bollicine di vapore giungono in una zona a più alta pressione subiscono il collasso. Se la cavitazione avviene vicino al conglomerato cementizio, questo è sottoposto ad innumerevoli urti che causano erosione. Generalmente la cavitazione interessa gli scivoli a forte pendenza.

Il fenomeno porta a "nudo" le barre di armatura e compromette il profilo idraulico degli sfiori.

L'abrasione e l'usura meccanica sono rilevabili da un'indagine visiva e registrabili con rilievo fotografico. Le armature non sono corrose.



Fig.4.2 – Abrasione in Alveo

5. PROVE PACOMETRICHE

Le prove pacometriche consentono di stimare la posizione delle armature, la loro profondità (copriferri) e il diametro, senza la necessità di scarificare il calcestruzzo.

Si tratta di una prova non distruttiva.

I valori registrati sono riportati nella quinta colonna della tabella sinottica riassuntiva.

Si sottolinea che alcune armature sono state portate a vista e il confronto tra le misurazione dei diametri e dei copriferri con i valori registrati con il pacometro hanno mostrato una buona corrispondenza.

Si è trovato anche una discreta corrispondenza tra i copriferri misurati e quelli previsti in progetto che sono risultati sempre inferiori a quelli reali.

Questo consente di assumere, a vantaggio di sicurezza, i valori dei copriferri di progetto nei punti dove non sono state realizzate le misurazioni dirette o indirette (pacomentriche).



Fig.5.1 – Misurazioni dirette dei diametri e dei copriferri delle armature