

**(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 SUI MATERIALI**

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

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Ezio Baldovin


 GEOTECNA PROGETTI  
 Milano - Roma

**IL R.U.P.:**

Dott. Ing. Mirella Vergnani

<b>3</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>Ø</b>
<b>N. COMMESSA</b>				<b>PROGR.</b>		<b>REV.</b>	



## **INDICE**

<b>1.</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>NORME DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>1</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIALI .....</b>	<b>2</b>
3.1	ACCIAI.....	2
3.2	CALCESTRUZZI ESISTENTI .....	3
3.3	CALCESTRUZZI ESISTENTI .....	6
3.3.1	<i>Degrado dovuto alla corrosione delle armature per carbonatazione.....</i>	<i>7</i>
3.3.2	<i>Degrado dovuto alla corrosione delle armature per attacco da cloruri .....</i>	<i>7</i>
3.3.3	<i>Degrado della matrice cementizia dovuto a cicli di gelo-disgelo.....</i>	<i>8</i>
3.3.4	<i>Degrado della matrice cementizia dovuto ad attacco chimico .....</i>	<i>8</i>
3.3.5	<i>Abrasione/cavitazione/erosione superficiale del calcestruzzo.....</i>	<i>9</i>
3.3.6	<i>Altre forme di degrado delle strutture in calcestruzzo armato.....</i>	<i>9</i>
3.3.6.1	Reazione alcali-aggregato .....	9
3.3.6.2	Fessurazioni da ritiro, termiche o strutturali .....	10
3.4	NUOVI MATERIALI.....	10
3.4.1	<i>Prodotti per la protezione.....</i>	<i>11</i>
3.4.2	<i>Prodotti per il ripristino.....</i>	<i>11</i>
3.4.3	<i>Prodotti per la riparazione .....</i>	<i>11</i>
3.4.3.1	Calcestruzzi da ripristino/riparazione.....	12
3.4.3.1.1	Calcestruzzo ad alta prestazione .....	13
3.4.3.2	Malte da ripristino.....	13
<b>4.</b>	<b>I MANUFATTI .....</b>	<b>14</b>
4.1	TRAVERSA DI MONTE.....	14
4.1.1	<i>Platea di Fondazione – Vasca .....</i>	<i>15</i>
4.1.2	<i>Strato protettivo.....</i>	<i>16</i>
4.1.3	<i>Spalle.....</i>	<i>17</i>
4.2	MANUFATTO LIMITATORE DI MONTE.....	17
4.2.1	<i>Ramo in alveo .....</i>	<i>18</i>
4.2.1.1	Platea di Fondazione – Vasca .....	19
4.2.1.2	Strato protettivo .....	19
4.2.1.3	Trave laminatrice.....	20
4.2.1.4	Pile .....	20
4.2.1.5	Travi da impalcato .....	21
4.2.1.6	Impalcato .....	1
4.2.2	<i>Ramo sfioro ingresso cassa .....</i>	<i>2</i>

4.2.2.1	Fondazione vasca ( I getto).....	2
4.2.2.2	Strato protettivo.....	2
4.2.2.3	Pile .....	3
4.2.2.4	Travi da impalcato .....	3
4.2.2.5	Impalcato .....	3
4.2.3	<i>Ramo sfioro di troppo pieno</i> .....	3
4.2.3.1	Fondazione .....	3
4.2.3.2	Strato protettivo.....	4
<b>5.</b>	<b>ANALISI DELLE ACQUE .....</b>	<b>5</b>

### **INDICE FIGURE**

<i>Fig.3.1 – Armature in alveo abrase.</i> .....	3
<i>Fig.3.2 – Fattore di disturbo</i> .....	4
<i>Fig.3.3 – Classi ambientali per l'usura</i> .....	4
<i>Fig.3.4 – Classe di esposizione ambientale secondo UNI EN 206-1</i> .....	5
<i>Fig 3.5 – Classe di esposizione secondo le UNI EN 206-1</i> .....	6
<i>Fig.3.6 – Classi di degrado secondo le UNI EN 1504</i> .....	6
<i>Fig.4.1 – Traversa di monte</i> .....	15
<i>Fig.4.2 – Sezione Trasversale – (disegni contabili)</i> .....	15
<i>Fig.4.3 - Manufatto limitatore di monte con impalcato</i> .....	18
<i>Fig.4.4 - Sezione Manufatto limitatore di monte - sezione vasca</i> .....	18
<i>Fig.4.5 - Sezione Manufatto limitatore di monte con impalcato</i> .....	1
<i>Fig.4.6 - Sezione Manufatto limitatore di monte con impalcato</i> .....	2
<i>Fig.4.7 - Sezione sfioro di troppo pieno</i> .....	3

## **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 costruite 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. MATERIALI**

La fase progettuale passa per lo studio dei materiali costituenti le opere. In particolare devono essere analizzati i calcestruzzi e gli acciai. I materiali sono studiati tramite prove e indagini normalizzate eseguite da un laboratorio autorizzato. I calcestruzzi sono classificati tramite la prova di schiacciamento di carote cilindriche estratte dai manufatti esaminati. dai risultati delle prove di compressione è possibile risalire ad una opportuna classe di resistenza. Gli acciai sono classificati tramite una prova di trazione. Tutto lo studio approntato passa per la valutazione dello stato di degrado dei materiali. La corretta individuazione all'esposizione degli agenti esterni è fondamentale per determinare lo stato di degrado e il conseguente intervento. A seconda della penetrazione dei fenomeni di degrado le tipologie degli interventi sono classificati come :

- sistema di protezione
- sistema di ripristino
- sistema di riparazione.

Al fine di garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico, dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo. I nuovi materiali, sono scelti in funzione dell'obiettivo di soddisfare i requisiti specifici per contrastare il degrado rilevato al fine di limitarne la progressione nel corso della vita utile della struttura e di minimizzare le manutenzioni ordinarie.

#### **3.1 Acciai**

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

Gli acciai sono verificati nei confronti della corrosione e delle abrasioni indotte dal trasposto detritico.



*Fig.3.1 – Armature in alveo abrase.*

Non sono stati rilevati segni di attacco alle armature, le quali sono risultate integre in tutte le verifiche effettuate sia dirette (visive) sia indirette (analisi delle profondità dei fenomeni di degrado).

Le uniche armature che hanno manifestato segni di degrado riguardano quelle in alveo dove l'abrasione ha parzialmente usurato i ferri esposti, i quali però non risultano corrosi (v. foto 3.1).

I nuovi materiali saranno conformi alle NTC2018.

In particolare, se necessario, si adotteranno acciai tipo B450C per le armature ad aderenza migliorata e acciai B450A per le reti elettrosaldate.

### **3.2 Calcestruzzi esistenti**

I cls 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  $f_{ck}$  ed  $R_{ck}$  caratteristici, bensì si calcoleranno i valori medi cilindrici  $f_{m(n)}$  o cubici  $R_{m(n)}$ , 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  $F_d$ , moltiplicativo della resistenza ottenuta dalla prova; il valore di  $F_d$  decresce all'aumentare della resistenza  **$f_{carota}$**  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:

$$f_{carota} * F_d = R_{c,js}$$

nel caso di provini ottenuti da carote con rapporto  $h/d=1$

$$f_{carota} * F_d = f_{c,js}$$

nel caso di provini ottenuti da carote con rapporto  $h/d=2$

I valori saranno divisi per il fattore FC.

Le UNI EN206-1 stabiliscono le classi di esposizione ambientali (fig.3.3).

I valori così ottenuti saranno confrontati con quelli riportati nella tabella della fig. 3.3 a seconda della classe di esposizione ambientale.

Vi è un'ulteriore classe ambientale relativa alla abrasione meccanica la XM, ove M sta per Mechanical abrasione (azione meccanica-abrasione, usura, ecc...) .

Aggressione di usura		
XM1	Moderata sollecitazione di usura	Pavimenti industriali portanti o rinforzati sollecitati da transito di mezzi con ruote con pneumatici.
XM2	Forte sollecitazione di usura	Pavimenti industriali portanti o rinforzati sollecitati da transito di mezzi con ruote con pneumatici o gomma piena
XM3	Fortissima sollecitazione di usura	Pavimenti industriali portanti o rinforzati sollecitati da transito di carrelli elevatori su rulli rivestiti con elastomeri o acciaio.
		Superfici soggette a frequente transito di mezzi con catene. Strutture idrauliche in acque trasportanti materiali detritici, ad es. bacini di ritenzione.

Fig.3.3 – Classi ambientali per l'usura



<b>Classi di esposizione ambientale secondo UNI EN 206-1</b>								
Classe di esposizione ambientale	Descrizione dell'ambiente di esposizione	Esempi di condizioni ambientali	UNI 9858	A/C massimo	Contenuto minimo di cemento kg/m <sup>3</sup>	Rck minima N/mm <sup>2</sup>	Contenuto minimo di aria %	Copriferro minimo Mm
<b>1 Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>								
X0	Molto secco	Clis per interni di edifici con umidità dell'aria molto bassa	1	-		C12/15	-	15
<b>2 Corrosione delle armature per effetto della carbonatazione</b>								
XC1	Secco o permanentemente bagnato	Clis per interni di edifici con umidità relativa bassa o immerso in acqua	2a	0,65	260	C20/25	-	20
XC2	Bagnato, raramente secco	Superfici in cls a contatto con acqua per lungo tempo es. fondazioni	2a	0,60	280	C25/30	-	20
XC3	Umidità moderata	Clis per interni con umidità relativa moderata o alta e cls all'esterno protetto dalla pioggia	5a	0,55	280	C30/37	-	30
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici in cls a contatto con l'acqua, non nella classe XC2.	4a, 5b	0,50	300	C30/37	-	30
<b>3 Corrosione delle armature per effetto dei cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>								
XD1	Umidità moderata	Superfici in cls esposte a nebbia salina	5a	0,55	300*	C30/37	-	30
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine; cls esposto ad acque industriali contenenti cloruri	4a, 5b	0,55	300	C30/37	-	30
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri, pavimentazioni di parcheggi	5c	0,45	320	C35/45	-	40
<b>4 Corrosione delle armature indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>								
XS1	Esposto alla nebbia salina ma non all'acqua di mare	Strutture prossime o sulla costa	4a, 5b	0,50	300	C30/37	-	30
XS2	Permanentemente sommerso	Parti di strutture marine	5c	0,45	320	C35/45	-	40
XS3	Zone esposte alle onde o alla marea	Parti di strutture marine	5c	0,45	340	C35/45	-	40
<b>5 Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza sali disgelanti</b>								
XF1	Moderata saturazione d'acqua in assenza di sali disgelanti	Superfici verticali in cls esposte alla pioggia e al gelo	2b	0,55	300	C30/37	-	30
XF2	Moderata saturazione d'acqua in presenza di sali disgelanti	Superfici verticali in cls di strutture stradali esposte al gelo e nebbia dei sali disgelanti	3, 4b	0,55	300	C25/30	4,0 e aggregati resistenti al gelo/disgelo	30
XF3	Elevata saturazione d'acqua in assenza di sali disgelanti	Superfici orizzontali in cls esposte alla pioggia e al gelo	2b	0,50	320	C30/37	4,0 e aggregati resistenti al gelo/disgelo	30
XF4	Elevata saturazione d'acqua in presenza di sali disgelanti o acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti ai sali disgelanti. Superfici in cls esposte direttamente a nebbia contenente sali disgelanti	3, 4b	0,45	340	C30/37	4,0 e aggregati resistenti al gelo/disgelo	40
<b>6 Attacco chimico</b>								
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo (vd. prospetto 2 della EN 206)	-	5a	0,55	300	C30/37	-	30
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo (vd. prospetto 2 della EN 206)	-	4°, 5b	0,50	320 cemento resistente ai solfati	C30/37	-	30
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo (vd. prospetto 2 della EN 206)	-	5c	0,45	360 cemento resistente ai solfati	C35/45	-	40

Fig.3.4 – Classe di esposizione ambientale secondo UNI EN 206-1

### 3.3 Calcestruzzi esistenti

Le strutture in calcestruzzo armato sono sensibili a diverse forme di degrado. In primo luogo conviene distinguere il degrado che si manifesta a seguito dell'ossidazione delle armature da quello che invece riguarda la matrice cementizia. L'impostazione della UNI EN 206-1, adottata anche dal DM 17/01/2018, considera il Degrado Strutturale come il risultato di uno o più fenomeni "elementari" ciascuno descritto da una Classe di Esposizione.

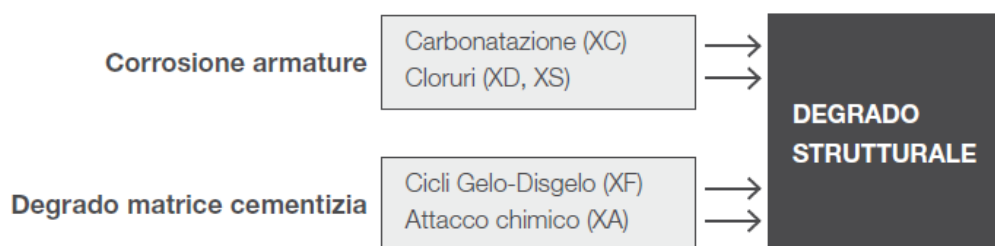


Fig 3.5 – Classe di esposizione secondo le UNI EN 206-1

Tuttavia gli interventi di ripristino materico sono meglio dettati dalla Norma 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", la quale codifica razionalmente le procedure di intervento sulle strutture esistenti, anche sulla base di ulteriori cause di degrado.

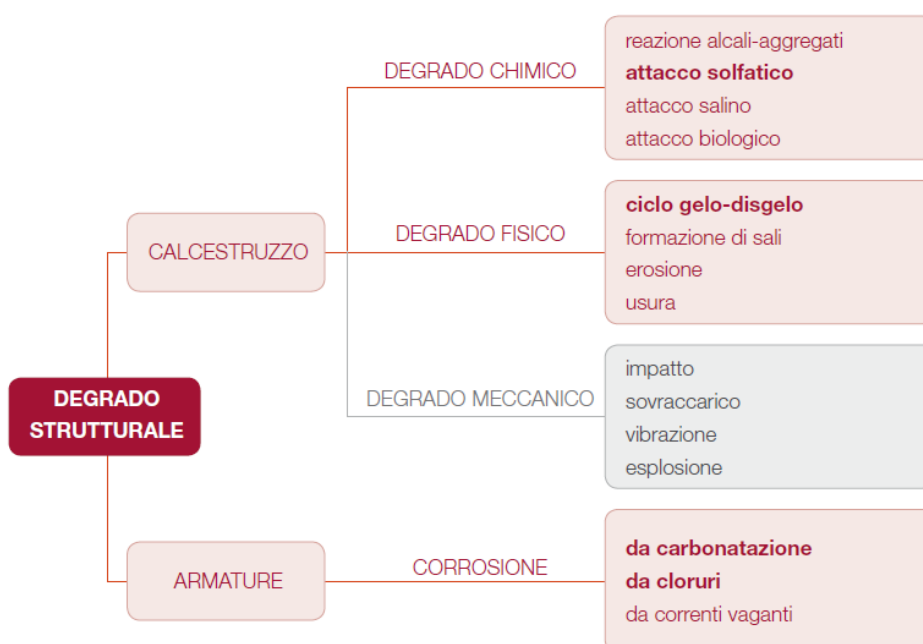


Fig.3.6 – Classi di degrado secondo le UNI EN 1504

### **3.3.1 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 ( $\text{CaO}$ ) presente all'interno della matrice cementizia, come sottoprodotto della reazione di idratazione del cemento, reagisce con l'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) trasformandosi in carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). 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 ( $\text{CaO}$ ) con uno invece più stabile ( $\text{CaCO}_3$ ). Tuttavia, il  $\text{CaO}$  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  $\text{CaO}$  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 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ed ossigeno ( $\text{O}_2$ ) 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  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ) e al contatto con l'acqua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), 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 quando attacca le armature è ben riconoscibile.

### **3.3.2 Degrado dovuto alla corrosione delle armature per attacco da cloruri**

Come la carbonatazione è un degrado di natura corrosiva. I cloruri presenti nei sali disgelanti applicati d'inverno sulle strutture o quelli di origine marina possono determinare forme di degrado molto intense sul calcestruzzo armato. A seguito del loro progressivo ingresso attraverso il copriferro, essi tendono ad accumularsi a ridosso delle barre di armatura, dove, raggiunta una concentrazione limite nota come concentrazione critica, determinano una depassivazione delle armature (analoga a quella conseguente al processo di

carbonatazione). In funzione di una serie di parametri, tra i quali il più importante è certamente la permeabilità del calcestruzzo ai cloruri, l'attacco da parte di questi ultimi può avvenire più o meno rapidamente. Una volta depassivate, le armature sono vulnerabili all'azione dell'acqua e dell'ossigeno che, se presenti contemporaneamente sulla loro superficie, determinano l'innescio dei fenomeni di ossidazione. La corrosione da cloruri, a differenza di quella da carbonatazione che si presenta in genere come un fenomeno distribuito, è molto insidiosa perché è spesso localizzata in specifici punti dell'armatura. In questi punti, si verifica il fenomeno di "pitting corrosion" che in tempi molto brevi porta dapprima ad una forte riduzione della sezione resistente ed infine ad una rottura delle barre.

### **3.3.3 Degrado della matrice cementizia dovuto a cicli di gelo-disgelo**

E' un fenomeno di natura fisica. Le strutture esterne esposte al contatto con acqua tendono ad assorbirla per capillarità. Normalmente questo fenomeno non comporta alcun problema, ma per le strutture situate in ambienti dove la temperatura scende periodicamente sotto 0 °C diventa un problema rilevante. Al di sotto di tale temperatura, infatti, l'acqua assorbita dal conglomerato e presente nelle porosità capillari, si trasforma in ghiaccio aumentando di volume. A seguito di tale variazione dimensionale, nascono delle tensioni di trazione nel materiale che portano alla sua rottura. Il risultato di un certo numero di cicli di gelo-disgelo è quello di una completa disgregazione della parte corticale delle strutture. Se si tratta poi di una struttura armata, il degrado coinvolge anche le armature che, private del copriferro, sono in balia della corrosione. Questo fenomeno si amplifica ad esempio nel caso delle infrastrutture montane dove, nei periodi invernali, si fa uso di sali disgelanti, con particolare riferimento al Cloruro di Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Questo sale provoca una sorta di dilavamento superficiale del calcestruzzo in quanto reagisce con il  $\text{Ca(OH)}_2$  presente nella matrice cementizia. È chiaro che la combinazione dei due fenomeni (gelo-disgelo ed applicazione del  $\text{CaCl}_2$ ) può determinare forme di degrado particolarmente intense.

### **3.3.4 Degrado della matrice cementizia dovuto ad attacco chimico**

L'aggressione per attacco chimico, ed in particolare quello solfatica, rappresenta una delle forme di degrado più aggressive. Essa riguarda direttamente la matrice cementizia che, a contatto con tali sostanze, tende a manifestare perdite di massa, espansioni, disallineamenti, deformazioni e fessurazioni. In caso di attacchi particolarmente intensi, gli elementi

strutturali possono subire importanti penalizzazioni di resistenza, fino a compromettere la stabilità e la sicurezza della struttura. Inoltre, come nel caso dei fenomeni di gelo-disgelo, la fessurazione e disgregazione del copriferro espone le eventuali armature agli agenti ossidanti. Le principali sostanze chimiche che possono minare la durabilità del calcestruzzo sono:

- Solfati ( $\text{SO}_4^{2-}$ )
- Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ )
- Ammonio ( $\text{NH}_4^+$ )
- $\text{CO}_2$  libera
- Acidi

### **3.3.5 Abrasione/cavitazione/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.

### **3.3.6 Altre forme di degrado delle strutture in calcestruzzo armato**

#### **3.3.6.1 Reazione alcali-aggregato**

Coinvolge quei conglomerati confezionati con aggregati contenenti forme particolari di silice reattiva che, reagendo con l'acqua e gli alcali ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) provenienti dal cemento, producono una reazione espansiva a carattere distruttivo. Oltre che dal cemento, gli alcali  $\text{Na}^+$  possono derivare anche dalla applicazione del sale disgelante  $\text{NaCl}$ . La reazione si manifesta attraverso diffuse fessurazioni del copriferro, di intensità più o meno marcata a seconda del contenuto di silice negli aggregati e di alcali nel cemento. In presenza di tale degrado, la durabilità strutturale viene seriamente compromessa, in quanto il copriferro non riesce a svolgere la sua funzione protettiva. Nelle forme più intense, la fessurazione può essere

tale da compromettere la staticità dell'elemento strutturale o dell'intera struttura.

### **3.3.6.2 Fessurazioni da ritiro, termiche o strutturali**

Gli elementi strutturali interessati da fessurazioni o microfessurazioni possono subire una notevole penalizzazione di durabilità. Le fessure, infatti, rappresentano vere e proprie vie di accesso preferenziali degli agenti aggressivi esterni. Anidride carbonica, Cloruri, Solfati, Ossigeno e acqua possono penetrare facilmente attraverso il copriferro lesionato e degradare in tempi rapidi sia il calcestruzzo che le barre di armatura. Le fessure possono svilupparsi per una serie di motivi. I principali sono:

- **Ritiro igrometrico**, ovvero la variazione dimensionale (contrazione) che il calcestruzzo subisce quando è esposto in ambienti insaturi di umidità. Tale contrazione, quando impedita dal vincolo strutturale, determina la nascita di coazioni interne di trazione che sfociano in fessure.
- **Gradienti termici** derivanti da differenti temperature tra la periferia della struttura ed il nucleo dei getti di calcestruzzo. Il caso più comune è quello della realizzazione di getti massivi.
- **Applicazione di carichi statici o dinamici** che comportano la nascita di tensioni di trazione superiori alla resistenza a trazione del calcestruzzo. L'acqua può penetrare all'interno del calcestruzzo mettendo in soluzione l'idrossido di calcio  $\text{Ca(OH)}_2$ . Il successivo processo di evaporazione porta questa soluzione di calce verso la superficie, dove, in presenza di anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ), si trasforma in carbonato di calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), caratterizzato da una colorazione bianca.

## **3.4 Nuovi materiali**

Gli interventi saranno disciplinati nella specifica Relazione Tecnica Generale. Essi sono riassumibili in tre categorie sostanziali:

- Sistemi di protezione
- Sistemi di ripristino
- Sistemi di riparazione.

I prodotti commerciali per tali interventi devono essere a marchiatura C.E. Per i conglomerati da utilizzare in alveo o come pavimentazione si farà riferimento a prodotti specifici ad alta prestazione rispetto ai fenomeni di degrado di natura fisica, chimica, meccanica, e corrosiva come meglio esplicitato al cap. 4.

Un prodotto che ben si presta alle richieste progettuali è rappresentato dal calcestruzzo ad alta prestazione con specifiche caratteristiche.

### **3.4.1 Prodotti per la protezione**

I principali prodotti in commercio prevedono:

- premiscelato elasto-cementizio finalizzato ad ottenere uno strato protettivo e impermeabile continuo sulla superficie del calcestruzzo;
- Rete in fibra di vetro 4x4,5 con grammatura 150 g/mq;
- Promotori di adesione per supporti cementizi e sistemi protettivi;
- Additivo idrofobizzante per calcestruzzi;
- nei calcestruzzi soggetti a reazioni alcali-aggregato può essere utilizzato un prodotto a base di litio che consente di conservare l'integrità della struttura.

### **3.4.2 Prodotti per il ripristino**

Si farà riferimento ai seguenti prodotti commerciali.

- Inibitore di corrosione per la protezione delle armature .
- prodotti liquido a base di litio capaci di bloccare l'evoluzione della reazione alcali-aggregato e di conservare l'integrità della struttura.
- Malta tixotropica monocomponente di classe R2.
- Malta tixotropica monocomponente di classe R2 (Media Resistenza) per rasatura.
- Malta tixotropica fibrorinforzata di classe R3 o R4.
- Sigillanti per chiusura delle fessure.
- Agenti stagionanti specificamente studiati per garantire alle malte l'adeguata stagiona umida in tutte le condizioni climatiche.
- Prodotti disarmanti ideali per garantire una adeguata idratazione della malta nella zona corticale e favorire nel contempo una fase di disarmo agevole e veloce.
- Rete in fibra di vetro 4x4,5 con grammatura 150 g/mq.

### **3.4.3 Prodotti per la riparazione**

- Inibitore di corrosione migratorio a protezione dell'interfaccia ferro-calcestruzzo delle strutture degradate.
- prodotti liquido a base di litio capaci di bloccare l'evoluzione della reazione alcali-aggregato e di conservare l'integrità della struttura.
- Malta per rasatura (Classe R3).
- Malta tixotropica (Classe R4)
- Malta fluida (Classe R4)
- Betoncino fluido (Classe R4)
- Sigillante per chiusura delle fessure

- Prodotto colabile per ancoraggi e per riprese di getto strutturali.
- Agenti stagionanti specificamente studiati per garantire alle malte l'adeguata stagionatura umida in tutte le condizioni climatiche.
- Prodotti disarmanti per garantire un'adeguata idratazione della malta nella zona corticale e favorire nel contempo una fase di disarmo agevole e veloce.
- Calcestruzzi ad alta prestazione come specificato a seguire.

#### **3.4.3.1 Calcestruzzi da ripristino/riparazione**

Le principali tipologie di intervento possibile possono essere così classificate:  
Interventi di ripristino dello strato corticale del calcestruzzo ammalorato, per spessori non inferiori a 40 mm;

Interventi di ripristino di strati corticali di calcestruzzo ammalorato e dell'armatura esistente, per spessori non inferiori a 40 mm;

Interventi di rinforzo di sezioni in calcestruzzo, quali incrementi di sezioni, ringrossi di sezioni di pile o pulvini, solitamente per spessori maggiori di 40 mm.

Le prescrizioni sul calcestruzzo secondo le NTC 2018 par. 11.2.1 prevedono, a seconda la destinazione d'uso del materiale:

classe di resistenza,

classe di esposizione ambientale UNI EN 206: 2016,

classe di consistenza al getto,

diametro massimo aggregato,

classe di contenuto in cloruri, nel caso di armature di pre o post-tensione permanentemente incorporate nei getti.

Saranno analizzati anche cls speciali a seconda le destinazioni d'uso a cui saranno destinati.

Lo studio passa per la valutazione delle condizioni ambientali del sito ove sorge la costruzione e quelle di impiego. Si devono fissare le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare (composizione e resistenza meccanica), i valori del copriferro e le regole di maturazione. La durabilità del calcestruzzo è la capacità di durare nel tempo, resistendo agli attacchi chimici, all'abrasione o ad ogni altro processo di degrado che coinvolge oltre alla pasta cementizia e agli aggregati anche le armature metalliche del c.a. Escludendo tutti i fenomeni di carattere straordinario il degrado delle strutture il calcestruzzo armato può essere ricondotto a fenomeni legati all'ambiente e con progressioni lenti nel tempo .

Le azioni ambientali sono suddivise come classi di esposizione secondo le UNI EN 206:2016 e UNI 11104:2016 (v. fig 3.2).



#### 3.4.3.1.1 Calcestruzzo ad alta prestazione

Le classi ambientali richieste sono XC4, XF4, XM3, XD3.

A tal fine il conglomerato deve possedere le seguenti caratteristiche:

- resistenza meccanica in classe C50/60 contenente microsilice reattiva (o fumo di silice) ,
- inerti resistenti all'abrasione di natura basaltica,
- sabbie basaltiche,
- diametro massimo degli inerti  $d_{max} = 16$  mm (per spessori 70-100 mm),
- diametro massimo degli inerti  $d_{max} = 10$  mm (per spessori 40-70 mm o interferri < 40 mm),
- additivo riduttore di ritiro,
- additivo superfluidificante,
- additivo fibre polipropileniche

#### 3.4.3.2 Malte da ripristino

Negli interventi di ripristino e rinforzo di strutture in c.a. possono essere utilizzate malte cementizie, definite malte da ripristino.

La norma UNI EN 206-1:2016 "Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità" definisce al Paragrafo 1 il requisito di classificazione di una malta rispetto al calcestruzzo, stabilito nel diametro massimo dell'aggregato pari a 4 mm. Di conseguenza, conglomerati cementizi con aggregato avente diametro massimo minore di 4 mm sono da considerarsi malte. Le principali tipologie di intervento possibili possono essere così classificate:

- Interventi di protezione dello strato corticale del calcestruzzo integro;
- Interventi di ripristino
- del calcestruzzo ammalorato con armature integre ;
- di calcestruzzo ammalorato e dell'armatura esistente;
- Interventi di riparazione di sezioni in calcestruzzo, quali incrementi di sezioni, ringrossi di sezioni di pile o pulvini sostituzione di spessori consistenti, superiori ai copriferri, di calcestruzzo.

La UNI EN 1504 definisce quattro classi di malte da ripristino, suddividendole in malte per riparazioni strutturali e non strutturali. In particolare le malte per uso non strutturale sono identificate dalle sigle R1 e R2, mentre le sigle R3 e R4 indicano malte per uso strutturale. Non è ammesso l'impiego di malte

R1 e R2 per qualsiasi uso di tipo strutturale. In particolare per uso strutturale sono ammesse solo malte di classe R3 e R4. **L'impiego di malte di classe R1, R2, R3 e R4 è ammesso solo ed esclusivamente nel caso in cui siano dotate di Marcatura CE.**

Nel caso di utilizzo di malte da ripristino con implicazioni di tipo strutturale, quali a titolo di esempio interventi di ricostruzione degli strati di copriferro o di rinforzo strutturale, trova applicazione il Decreto Ministeriale 17.01.2018 e relativa Circolare n. 7/2019.

La malta da ripristino deve quindi essere classificata secondo la stessa metodologia prevista per il calcestruzzo. In particolare la prescrizione della malta da ripristino deve essere caratterizzata almeno mediante la classe di resistenza, la classe di consistenza, il diametro massimo dell'aggregato e la classe di esposizione.

#### **4. I MANUFATTI**

Gli interventi sono indirizzati allo studio dei manufatti due casse di laminazione del torrente Enza in prossimità del comune di Montecchio Emilia (RE) a valle del ponte sulla S.P.28.

L'analisi dei singoli manufatti e delle loro parti costituenti è finalizzata allo studio per minimizzare i lavori e i costi necessari al ripristino dei materiali e alla loro protezione. Le opere coinvolte dagli interventi riguardano la traversa di monte, il manufatto limitatore della cassa di monte, e il manufatto limitatore della cassa di valle.

##### **4.1 Traversa di monte**

E' un'opera di sbarramento che ha lo scopo di dissipare l'energia cinetica della corrente. Essa è realizzata da una platea di fondazione che costituisce la vasca e da uno strato di calcestruzzo additivato protettivo. A valle della vasca sono presenti dei denti dissipatori. Ai lati sono presenti le spalle di bordo.

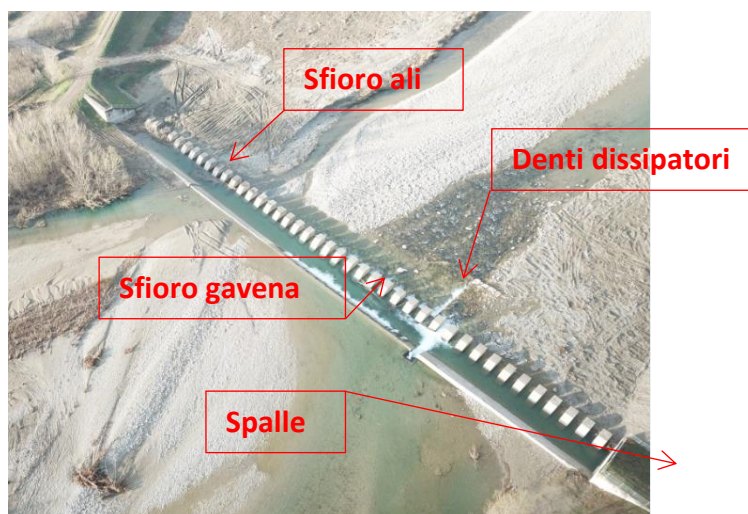


Fig.4.1 – Traversa di monte

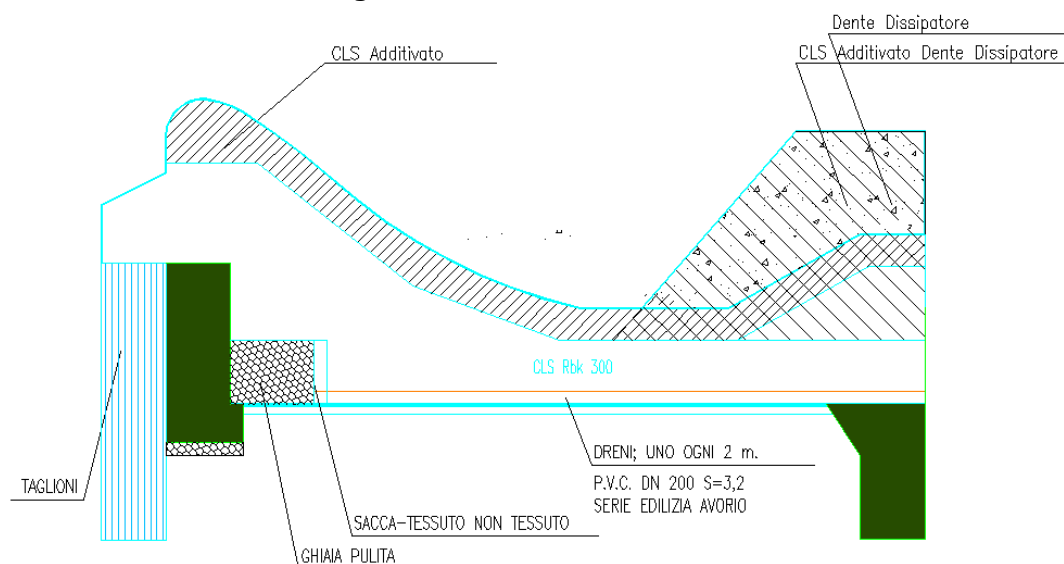


Fig.4.2 – Sezione Trasversale – (disegni contabili)

#### 4.1.1 Platea di Fondazione – Vasca

I valori medi della resistenza su campioni cilindrici con rapporto  $h/d=1$  è pari a  $f_{carota} = 28,6$  Mpa, a cui si associa (v. fig. 3.1) un fattore di disturbo  $Fd = 1,09$

Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina  $R_{c,is} = f_{carota} * Fd / FC = 28,6 * 1,09 / 1 = 31,1$  MPa

La classe del calcestruzzo di fondazione è riconducibile alla C25/30.

Le prove sugli acciai e la loro classificazione commerciale all'epoca della realizzazione delle opere consentono di attestare che le armature sono del tipo FeB44k c.s.

La profondità di carbonatazione massima risulta pari a 10 mm con copriferri minimi rilevati pari a 40 mm .

La classe ambientale della fondazione è assunta XC2.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture negli ambienti di utilizzo sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C25/30,
- rapporto acqua / cemento = 0,6
- contenuto minimo di cemento = 280 Kg/mc
- copriferro minimo = 20 mm.

#### 4.1.2 Strato protettivo

Anche per lo strato protettivo si ritiene raggiunto il livello **LC3** a cui corrisponde **FC=1**

I valori medi della resistenza su campioni cilindrici con rapporto  **$h/d=1$**  è pari a  **$f_{carota}=42,6$  Mpa**, a cui si associa (v. fig. 3.1) un fattore di disturbo  **$Fd=1$** . Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina  **$R_{c,ls}=f_{carota} * Fd / Fc = 42,6 * 1 / 1 = 42,6$  MPa**

La classe del calcestruzzo di fondazione è riconducibile alla C30/37 .

Le prove sugli acciai e la loro classificazione commerciale all'epoca della realizzazione delle opere consentono di attestare che le armature sono del tipo FeB44k c.s.

Nel tratto in Alveo , sullo strato del calcestruzzo additivato realizzato per proteggere le fondazioni, si rileva una profondità di carbonatazione inferiore ai 10 mm, mentre i copriferri minimi risultano di 70 mm.

Le classi ambientali assunte sono XC4, XF3.

Resistenza meccanica all'abrasione XM3.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C30/37,
- rapporto acqua / cemento = 0,5
- contenuto minimo di cemento = 320 Kg/mc
- copriferro minimo = 30 mm,
- contenuto d'aria 4% e aggregati resistenti al gelo/disgelo.

La presenza di aria per la classe XF3 però è sconsigliata nei casi di abrasione meccanica (XM3)

### 4.1.3 Spalle

Per le spalle, assunto **LC3** e **FC**=1, si è registrato valore medio di 51 MPa.

Il fattore di disturbo vale **Fd** =1

Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina

$$R_{c,is} = f_{carota} * Fd / Fc = 51 * 1/1 = 51 \text{ Mpa} ,$$

a cui corrisponde un calcestruzzo di classe C40/50.

Le armature risultano di acciaio tipo FeB44k c.s .

Per le spalle la carbonatazione raggiunge una profondità inferiore ai 20 mm a fronte di copriferri minimi pari a 32 mm.

Le classi ambientali delle spalle risultano pari a XC4, XF1.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C30/37,
- rapporto acqua / cemento = 0,5
- contenuto minimo di cemento = 300 Kg/mc
- copriferro minimo = 30 mm.

## 4.2 Manufatto limitatore di monte

L'opera risulta costituita da tre rami. Il primo tratto , realizzato in alveo ,è il manufatto limitatore articolato con una platea di fondazione che costituisce la vasca, uno strato protettivo a contatto con l'acqua della corrente e una trave laminatrice, sul manufatto è stato realizzato un impalcato progettualmente previsto come ponte di II categoria.

Esso si sviluppa sull'opera sottostante elevandosi tramite delle pile sulle quali sono state realizzate travi precomprese prefabbricate e l'impalcato vero e proprio costituito da una soletta in c.a. gettata su cassero in lamiera gracata. Il secondo ramo è rappresentato dallo sfioro di ingresso cassa costituito da una fondazione e dallo strato protettivo in c.a. Anche su essa si sviluppa l'impalcato con le medesime caratteristiche del tratto in alveo.

Infine si trova lo sfioro di troppo pieno costituita da una struttura fondale. La analisi non hanno confermato la presenza dello strato di cls additivato di protezione.

Ai lati sono presenti le spalle di contenimento.



Fig.4.3 - Manufatto limitatore di monte con impalcato

#### 4.2.1 Ramo in alveo

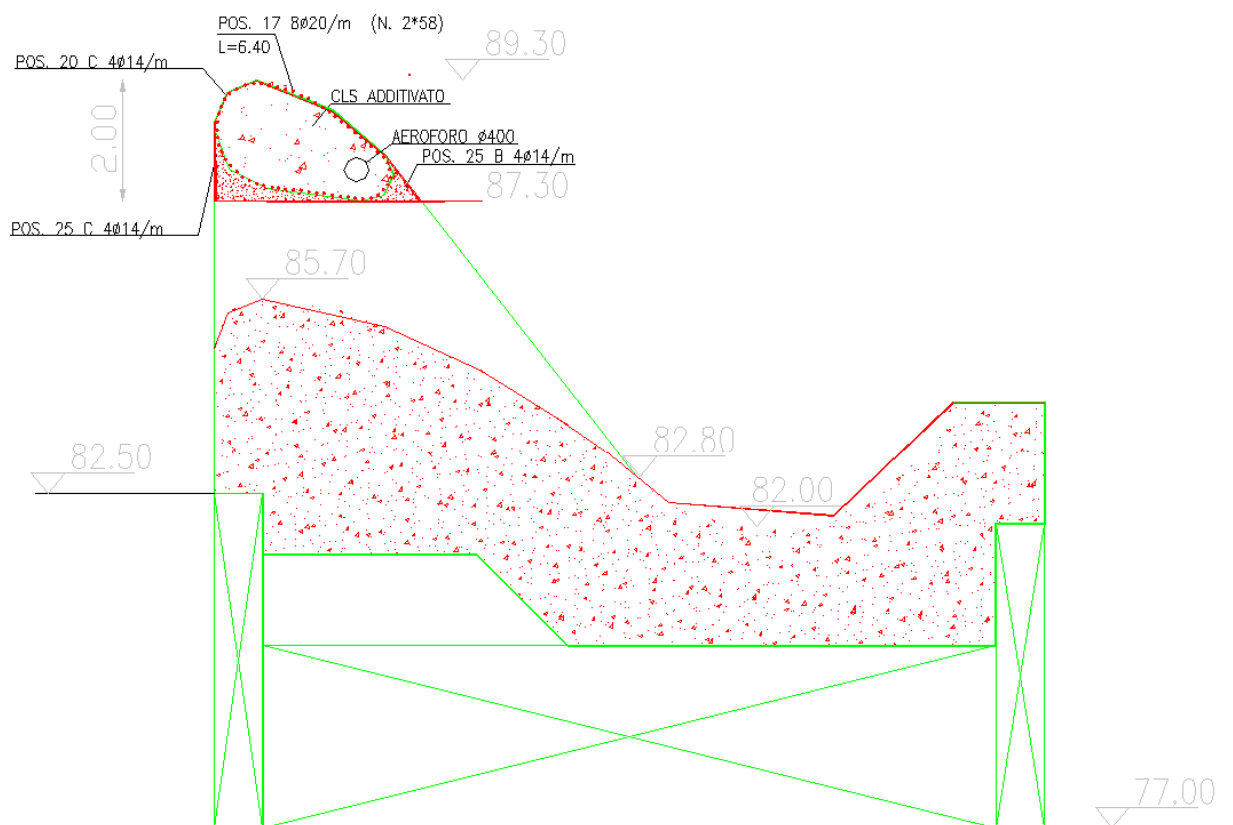


Fig.4.4 - Sezione Manufatto limitatore di monte - sezione vasca

#### 4.2.1.1 Platea di Fondazione – Vasca

I dati relativi al progetto della struttura non sono stati reperiti. Pertanto si ritiene plausibile raggiunto il livello **LC2** a cui corrisponde **FC=1,2**.

Il valore medio della resistenza su campioni cilindrici con rapporto  **$h/d=1$**  è pari a  **$f_{carota}=33,6$  Mpa**, a cui si associa (v. fig. 3.1) un fattore di disturbo  **$F_d=1,06$**

Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina

$$R_{c,is} = f_{carota} * F_d = 33,6 * 1,06 / 1,2 = 30 \text{ Mpa}$$

La classe del calcestruzzo di fondazione è riconducibile alla C25/30.

Le armature sono costituite da acciaio FeB44 k c.s.

La profondità di carbonatazione è pari a 20 mm con copriferri minimi rilevati pari a 98 mm.

La classe ambientale della fondazione è assunta pari a XC2.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C25/30,
- rapporto acqua / cemento = 0,6
- contenuto minimo di cemento = 280 Kg/mc
- copriferro minimo = 20 mm.

#### 4.2.1.2 Strato protettivo

La disponibilità del progetto strutturale consente di ritenere raggiunto il livello di conoscenza **LC3** a cui corrisponde **FC=1**.

Il valore medio della resistenza su campioni cilindrici con rapporto  **$h/d=1$**  è pari a  **$f_{carota}=64,9$  Mpa**, a cui si associa (v. fig. 3.1) un fattore di disturbo  **$F_d=1$** .

Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina

$$R_{c,is} = f_{carota} * F_d = 64,9 * 1/1 = 64,9 \text{ MPa}$$

La classe del calcestruzzo è riconducibile alla C50/60.

Le armature sono costituite da acciaio FeB44 k c.s.

Sullo strato di calcestruzzo realizzato per proteggere le fondazioni, si rileva una profondità di carbonatazione inferiore ai 10 mm, mentre i copriferri risultanti dagli elaborati progettuali sono pari a 50 mm mentre le pacomentriche hanno registrato profondità di 120/150 mm.

Le classi ambientali sono XC4, XF3.

Resistenza meccanica all'abrasione XM3.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C30/37,
- rapporto acqua / cemento = 0,5
- contenuto minimo di cemento = 320 Kg/mc
- copriferro minimo = 30 mm,
- contenuto d'aria 4% e aggregati resistenti al gelo/disgelo.

Il contenuto di aria richiesto per la classe XF3 però è sconsigliata nei casi di abrasione meccanica (XM3).

#### **4.2.1.3 Trave laminatrice**

Data la disponibilità dei disegni esecutivi, si ritiene raggiunto il livello **LC3** a cui corrisponde **FC=1**.

I valori medi della resistenza su campioni cilindrici con rapporto  **$h/d=1$**  è pari a  **$f_{carota}=50,1$  Mpa**, a cui si associa (v. fig. 3.1) un fattore di disturbo  **$F_d=1$** .

Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina

$$R_{c,ls} = f_{carota} * F_d = 50,1 * 1/1 = 50,1 \text{ MPa}$$

La classe del calcestruzzo di fondazione è riconducibile alla C40/50 .

Le armature sono costituite da acciaio FeB44 k c.s.

E' stata rilevata una profondità di carbonatazione massima di 12 mm, mentre i copriferri di progetto risultano pari a 50 mm.

Le classi ambientali sono XC4, XF3.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C30/37,
- rapporto acqua / cemento = 0,5
- contenuto minimo di cemento = 320 Kg/mc
- copriferro minimo = 30 mm,
- contenuto d'aria 4% e aggregati resistenti al gelo/disgelo.

#### **4.2.1.4 Pile**

Data la disponibilità dei disegni esecutivi, si ritiene raggiunto il livello LC3 a cui corrisponde FC=1.

Il valore medio della resistenza su campioni cilindrici con rapporto  **$h/d=1$**  è pari a  **$f_{carota}=31,7$  Mpa**, a cui si associa (v. fig. 3.1) un fattore di disturbo  **$F_d=1,06$** .

Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina



$$R_{c,is} = f_{carota} * F_d = 31,7 * 1,06/1 = 33,6 \text{ MPa}$$

La classe del calcestruzzo è riconducibile alla C25/30 .

Le armature sono costituite da acciaio FeB44 k c.s.

E' stata rilevata una profondità di carbonatazione massima di 12 mm, mentre i copriferri minimi risultano di 50 mm.

la profondità massima di carbonatazione è pari a 26 mm, mentre i copriferri minimi risultano di 50 mm.

Le classi ambientali associate a tali elementi sono XC4, XD3, XF2.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C35/45,
- rapporto acqua / cemento = 0,45
- contenuto minimo di cemento = 320 Kg/mc
- copriferro minimo = 40 mm,
- contenuto d'aria 4% e aggregati resistenti al gelo/disgelo.

#### **4.2.1.5 Travi da impalcato**

La disponibilità dei disegni esecutivi progettuali, consente di assumere raggiunto il livello di conoscenza LC3 a cui corrisponde FC=1.

Data la natura del manufatto in c.a.p., realizzato in stabilimento sotto la supervisione di un direttore di produzione e soggetto ad un controllo di qualità, si considera il valore della resistenza caratteristica di progetto riconducibile alla classe C45/55 .

Le armature sono costituite da acciaio FeB44 k c.s.

Le prove di carbonatazione sono state effettuate con la tecnica del Carbon Test al fine di ridurre l'invasività delle indagini. La presenza delle armature di precompressione rendono tali elementi "sensibili" ai fluoruri ai cloruri e agli agenti disgelanti tipici degli impalcato stradali.

Il calcestruzzo, essendo prodotto in stabilimento, prevedeva un disciplinare di controllo, da parte del direttore di produzione, rigido e pertanto, ragionevolmente può ritenersi confermata la classe di progetto di pari all'attuale nomenclatura C45/55. Anologo ragionamento vale per le armature lente (FeB44 k c.s.) e quelle di precompressione ( $F_{ptk} = 1900 \text{ Mpa}$ ).


*PRESCRIZIONI MATERIALI*

**PER LE TRAVI**

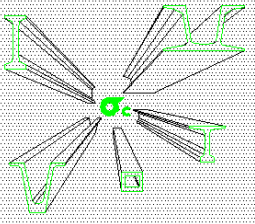
- Calcestruzzo dosato con cemento tipo **I** CLASSE 52,5 R  $R_{ck} \geq 550 \text{ Kg/cm}^2$   
 $R_{ck} \geq 400 \text{ Kg/cm}^2$
- Acciaio FeB44K controllato
- Acciaio per c.a.p.  $F_{ptk} \geq 19000 \text{ Kg/cm}^2$   
 $\sigma_{spi} = 14250 \text{ Kg/cm}^2$
- copriferro 3 cm

**PER LA SOLETTA E TRAVERSO**

- Calcestruzzo dosato con cemento tipo **II** CLASSE 42,5 R  $R_{ck} \geq 350 \text{ Kg/cm}^2$
- Acciaio FeB44K controllato
- copriferro 3 cm


**SIGMA C**  
 STRUTTURE PRECOMPRESSE

SEDE :  
 36040 GRIGNANO DI ZOCCHIO (VI) VIA FERRAMOSCA  
 TELEFONO 0444/614688 r.a. TELEFAX 0444/414114  
 UFFICIO TECNICO :  
 35129 PADOVA VIA DELLA GROCE ROSSA 42  
 TELEFONO 049/8071689 r.a. TELEFAX 049/8070520  
 www.sigmac.it utec@sigmac.it



*Fig.4.5 - Sezione Manufatto limitatore di monte con impalcato*

#### **4.2.1.6 Impalcato**

Data la disponibilità dei disegni esecutivi, si ritiene raggiunto il livello LC3 a cui corrisponde  $FC=1$ .

Il valore medio della resistenza su campioni cilindrici con rapporto  $h/d=1$  è pari a  $f_{carota} = 29,3 \text{ Mpa}$ , a cui si associa (v. fig. 3.1) un fattore di disturbo  $F_d = 1,06$ .

Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina

$$R_{c, is} = f_{carota} * F_d = 29,3 * 1,06 / 1 = 31,1 \text{ MPa}$$

La classe del calcestruzzo è riconducibile alla C25/30 appena inferiore rispetto alla classe di progetto ( $R_{ck} > 350 \text{ kg/cm}^2$ ).

Le armature sono costituite da acciaio FeB44k.

E' stata rilevata una profondità di carbonatazione massima di 12 mm, mentre i copriferri minimi risultano di 62 mm.

Le classi ambientali associate a tali elementi sono XC4, XD3, XF4.

Resistenza meccanica all'abrasione XM3.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C35/45,
- rapporto acqua / cemento = 0,45
- contenuto minimo di cemento = 340 Kg/mc
- copriferro minimo = 40 mm,
- contenuto d'aria 4% e aggregati resistenti al gelo/disgelo.

Il contenuto di aria richiesto per la classe XF3 però è sconsigliata nei casi di abrasione meccanica (XM3).

- #### 4.2.2 Ramo sfioro ingresso cassa

#### 4.2.2.3 Pile

Valgono le considerazioni del ramo in alveo riportate al p.to 4.2.1.4

#### 4.2.2.4 Travi da impalcato

Valgono le considerazioni del ramo in alveo riportate al p.to 4.2.1.5

#### 4.2.2.5 Impalcato

Valgono le considerazioni del ramo in alveo riportate al p.to 4.2.1.6

### 4.2.3 Ramo sfioro di troppo pieno

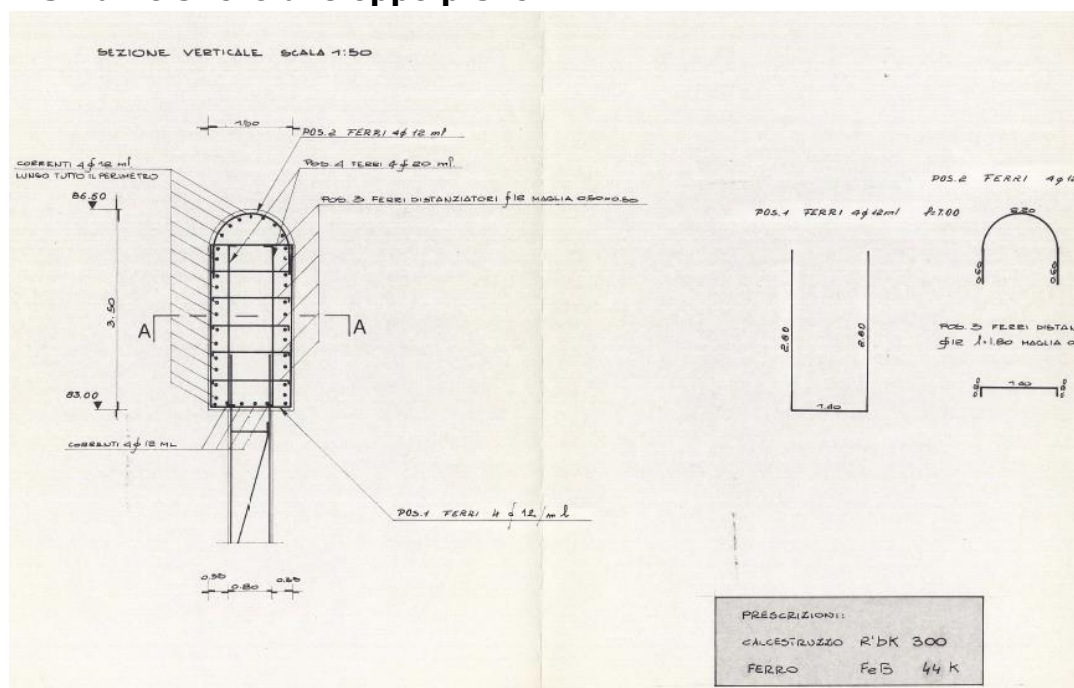


Fig.4.7 - Sezione sfioro di troppo pieno

#### 4.2.3.1 Fondazione

I dati relativi al progetto della struttura sono disponibili. Pertanto si ritiene plausibile raggiunto il livello **LC3** a cui corrisponde **FC=1**.

Il valore medio della resistenza su campioni cilindrici con rapporto **h/d=1** è pari a **f<sub>carota</sub> = 51,3 Mpa**, a cui si associa (v. fig. 3.1) un fattore di disturbo **F<sub>d</sub> = 1**.

Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina

$$R_{c, is} = f_{carota} * F_d = 51,3 * 1 / 1 = 51,3 \text{ MPa}$$

La classe del calcestruzzo di fondazione è riconducibile alla C40/50.

Le armature sono costituite da acciaio FeB44 k c.s.

La profondità di carbonatazione è pari a 14 mm con copriferri minimi rilevati pari a 38 mm .

La classe ambientale della fondazione è assunta pari a XC2.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C25/30,
- rapporto acqua / cemento = 0,6
- contenuto minimo di cemento = 280 Kg/mc
- copriferro minimo = 20 mm.

#### **4.2.3.2 Strato protettivo**

Dai dati sulle prove di schiacciamento risulta che sul tratto di troppo pieno non è stato previsto lo strato protettivo in quanto lo strato superficiale risulta costituito da cls con minore resistenza rispetto alla fondazione.

Dagli elaborati di progetto risulta che lo sfioro di troppo pieno è costituito da un unico getto.

Tuttavia lo strato superficiale è maggiormente esposto alle azioni e agli agenti degradanti.

La disponibilità del progetto strutturale consente di ritenere raggiunto il livello di conoscenza **LC3** a cui corrisponde **FC=1**.

Il valore medio della resistenza su campioni cilindrici con rapporto  **$h/d=1$**  è pari a  **$f_{carota}=38,4$  Mpa**, a cui si associa (v. fig. 3.1) un fattore di disturbo  **$F_d=1,04$** .

Per quanto esposto al p.to 3.4 si determina

$$R_{c,ls} = f_{carota} * F_d = 38,4 * 1,04/1 = 39,9 \text{ MPa}$$

La classe del calcestruzzo è riconducibile alla C30/37 .

Le armature sono costituite da acciaio FeB44 k c.s.

La profondità di carbonatazione è pari a 14 mm, mentre i copriferri minimi di progetto risultano pari a 50 mm ma dalle misurazioni pacometriche essi, in taluni punti, sono inferiori. Si assume il valore minimo registrato di 38 mm. Le classi ambientali, corrispondenti per la natura e l'esposizione, sono XC4, XF3.

Resistenza meccanica all'abrasione XM3.

Ai sensi delle UNI EN 206 per tali strutture sono previsti calcestruzzi con le seguenti caratteristiche minime:

- classe di resistenza C30/37,
- rapporto acqua / cemento = 0,5
- contenuto minimo di cemento = 320 Kg/mc
- copriferro minimo = 30 mm,

- contenuto d'aria 4% e aggregati resistenti al gelo/disgelo.

Il contenuto di aria richiesto per la classe XF3 però è sconsigliata nei casi di abrasione meccanica (XM3).

## **5. ANALISI DELLE ACQUE**

Le analisi chimiche svolte sulle acque del torrente mostrano la quasi assenza dei fluoruri, ma una concentrazione minima di cloruri

I cloruri sono composti inorganici contenenti cloro. Numerosi cloruri si trovano in natura come minerali. Il più noto è il sale da cucina (cloruro di sodio NaCl) ma nell'acqua ne sono presenti molti altri tra cui i cloruri di alluminio (AlCl<sub>3</sub>), calcio (CaCl<sub>2</sub>) e potassio (KCl). Lo ione cloruro costituisce lo 0,045% della crosta terrestre, mentre l'acqua di mare contiene mediamente 19,4 g Cl/L. Quindi, la presenza di cloruri nell'acqua ha generalmente origine minerale, poiché le acque se ne arricchiscono durante il passaggio attraverso le rocce sedimentarie. Tuttavia i cloruri possono avere anche origine organica e in tal caso hanno elevate concentrazioni e sono indicatori di inquinamento provocato da scarichi civili e industriali o pratiche zootecniche.

La concentrazione di cloruri registrata è pari a 0,016 g/L .

Essa risulta poco rilevante ai fini dell'aggressività ambientale.

Nel caso di manufatti in calcestruzzo armato immersi in acqua, non sono stati rilevati elementi che fanno pensare a fattori di degrado di natura biologica (*fouling*).

## ALL."A" TABELLA RIASSUNTIVA DELLE INDAGINI DI LABORATORIO

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					