

**(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 TECNICA GENERALE

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

3	6	4	4	0	0	7	Ø
N. COMMESSA				PROGR.		REV.	

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	NORME DI RIFERIMENTO	2
3.	RICERCA STORICA E DOCUMENTI DISPONIBILI	3
4.	GESTIONE DI UNA STRUTTURA E ORGANIZZAZIONE DI UN INTERVENTO.....	3
5.	MATERIALI	4
6.	DEGRADO DEI MATERIALI	4
6.1	CORROSIONE DA CARBONATAZIONE	5
6.2	CORROSIONE DA CLORURI	7
6.3	CICLI DI GELO-DISGELO	8
6.4	REAZIONE ALCALI-AGGREGATO	9
6.5	ATTACCO SOLFATICO.....	9
7.	ABRASIONE/CAVITAZIONE/USURA SUPERFICIALE DEL CALCESTRUZZO.....	9
8.	INTERVENTI.....	10
8.1	SISTEMA DI PROTEZIONE	10
8.1.1	<i>Applicazioni particolari.....</i>	<i>11</i>
8.1.2	<i>Prodotti per la protezione.....</i>	<i>11</i>
8.2	SISTEMA DI RIPRISTINO.....	13
8.2.1	<i>Applicazioni Particolari.....</i>	<i>14</i>
8.2.2	<i>Prodotti di supporto.....</i>	<i>14</i>
8.2.3	<i>Schema generale di intervento.....</i>	<i>14</i>
8.3	SISTEMA DI RIPARAZIONE.....	15
8.3.1	<i>Applicazioni particolari.....</i>	<i>16</i>
8.3.2	<i>Prodotti di supporto.....</i>	<i>16</i>
8.3.3	<i>Schema generale di intervento.....</i>	<i>16</i>
8.4	PREPARAZIONE DEL SUPPORTO	17
8.5	APPLICAZIONE IN OPERA DI PRODOTTI	19
8.5.1	<i>Aderenza.....</i>	<i>19</i>
8.5.2	<i>Rivestimento in calcestruzzo ad alta prestazione.....</i>	<i>21</i>
9.	I MANUFATTI	23
9.1	TRAVERSA DI MONTE.....	23
9.1.1	<i>Taglioni.....</i>	<i>23</i>
9.1.2	<i>Platea di fondazione - Vasca</i>	<i>24</i>
9.1.3	<i>Strato protettivo.....</i>	<i>25</i>
9.1.4	<i>Spalle.....</i>	<i>27</i>
9.2	MANUFATTO LIMITATORE DI MONTE.....	29
9.2.1	<i>Ramo in alveo.....</i>	<i>30</i>
9.2.1.1	<i>Fondazione</i>	<i>30</i>
9.2.1.2	<i>Strato protettivo.....</i>	<i>31</i>

9.2.1.3	Trave laminatrice.....	33
9.2.1.4	Pile	34
9.2.1.5	Travi da impalcato	36
9.2.2	<i>Ramo sforo ingresso cassa</i>	38
9.2.2.1	Fondazione	38
9.2.2.2	Strato protettivo.....	39
9.2.2.3	Pile	40
9.2.2.4	Travi da impalcato	41
10.	IPOTESI DI MODALITA' ESECUTIVE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO SUI MANUFATTI IN ALVEO	41
11.	MONITORAGGIO E MANUTENZIONE	42
12.	CATEGORIA LAVORI E QUADRO ECONOMICO	44

INDICE FIGURE

<i>Fig.1.1 – Foto area delle casse di laminazione</i>	<i>1</i>
<i>Fig.6.1 – Livelli di aggressione del cemento armato</i>	<i>5</i>
<i>Fig.7.1 – Abrasione in Alveo.....</i>	<i>10</i>
<i>Fig.8.1 – Interventi per Sistemi di Protezione</i>	<i>12</i>
<i>Fig.8.2 – Specifiche tecniche per i Sistemi di Protezione</i>	<i>13</i>
<i>Fig.8.3 – Dettagli del taglio del supporto</i>	<i>19</i>
<i>Fig.8.4 – Applicazione connettori meccanici.</i>	<i>20</i>
<i>Fig.9.1 – Traversa di monte</i>	<i>23</i>
<i>Fig.9.2 – Sezione traversa di monte</i>	<i>24</i>
<i>Fig.9.3 - Manufatto limitatore di monte con impalcato.</i>	<i>29</i>
<i>Fig.9.4 - Degrado alla base delle pile.....</i>	<i>36</i>
<i>Fig.11.1 – Diagramma di flusso (o logico) per la gestione e gli interventi.....</i>	<i>43</i>
<i>Fig.12.1 – Riepilogo categorie lavori</i>	<i>44</i>
<i>Fig.12.2 – Quadro economico</i>	<i>45</i>

1. PREMESSA

La presente relazione riferisce sugli interventi di manutenzione straordinaria (risanamento materico), previsti sulle opere di sbarramento ubicate sul Torrente ENZA, in prossimità del comune di Montecchio Emilia (RE) a valle del ponte sulla S.P.28.

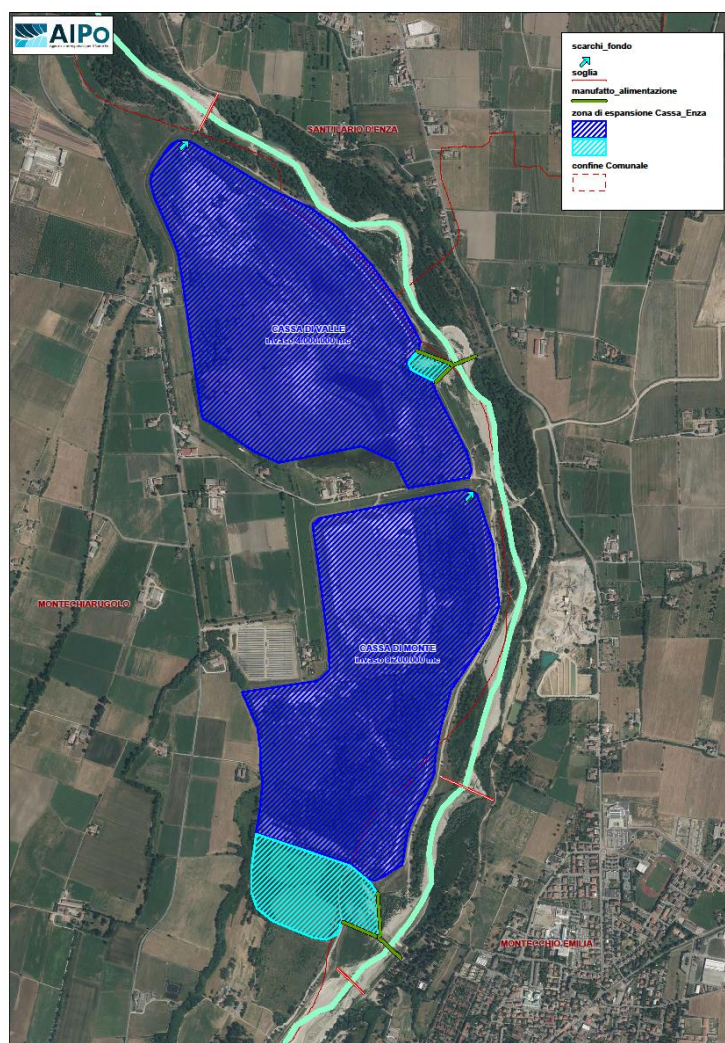


Fig.1.1 – Foto area delle casse di laminazione

Nel dettaglio, gli interventi interessano i seguenti manufatti:

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

Le opere risultano costruite nel periodo compreso tra la fine degli anni '80 e gli inizi del nuovo millennio.

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. RICERCA STORICA E DOCUMENTI DISPONIBILI

La progettazione delle opere risale ad un appalto concorso del 1980 approvato l'anno seguente.

Il progetto originario ha subito diverse varianti e adeguamenti fino al 1996. In quel periodo, quando risultavano realizzate la cassa di valle e parte delle opere della cassa di monte, è stato redatto il progetto di completamento che ha visto il completamento dei manufatti e/o delle parti mancanti. Mentre il primo progetto e le sue varianti al momento risultano non reperibili, il progetto di completamento è agli atti e consultabile. Esso, però, riguarda solo i manufatti di monte.

I periodi di redazione dei progetti consentono una stima della qualità dei materiali in funzione delle norme e delle *buone regole d'arte* all'epoca della costruzione.

La possibilità di verificare le Relazioni del progetto di completamento, permette di assumere un'ipotesi iniziale nota sulle proprietà materiche.

4. GESTIONE DI UNA STRUTTURA E ORGANIZZAZIONE DI UN INTERVENTO

Qualsiasi intervento su una struttura esistente deve essere adeguatamente pianificato e progettato. La stessa Norma UNI EN 1504-9 definisce al punto B.4, a grandi linee, la corretta procedura per effettuare un progetto di intervento di protezione, di ripristino e di riparazione.

Si tratta della fase preliminare a qualsiasi intervento di ripristino. Diversi sono gli scopi di questa fase:

1. Individuare i difetti e le forme di degrado presenti sulla struttura
2. Individuare le cause che hanno determinato tali condizioni
3. Quantificare il livello di degrado presente
4. Valutare la qualità del calcestruzzo in opera
5. Scegliere la tecnica di intervento più adatta.

La fase di diagnostica comincia sempre con una approfondita analisi visiva delle opere, che consente di valutare:

1. la condizione generale del copriferro
2. la presenza di quadri fessurativi e degli eventuali danni alla matrice cementizia
3. la presenza di armature aggredite da corrosione
4. la presenza di deformazioni/cedimenti strutturali.

Individuate le diverse forme di degrado/dissesto presenti sulle strutture, per ciascuna di esse verranno impiegati specifici metodi di indagine per studiare più specificamente il livello di degrado.

5. MATERIALI

Gli interventi progettuali previsti in questa fase sono indirizzati al ripristino dei materiali degradati.

Vista la natura del progetto è palese che i materiali rappresentano l'oggetto fondamentale alla base dei lavori. Lo studio materico delle opere e i nuovi materiali che si adotteranno sono dettagliati nella specifica "Relazione sui Materiali". Nel riassumere le conclusioni della relazione specifica, le principali cause di degrado riscontrate sono dovute ai fenomeni di:

- carbonatazione;
- cicli di gelo-disgelo;
- gradienti termici;
- Abrasione/erosione/usura superficiale

Gli interventi proposti sono dipendenti sia della natura del degrado che della loro entità.

Ogni manufatto sarà analizzato in funzione delle parti che lo compongono prevedendo su ognuna i lavori più opportuni.

Il D.M.17.01.2019, al p.to 2.4 recita:

"La vita nominale di progetto V_n di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali".

Per le opere in esame è prevista una vita nominale **V_n** = 100 anni.

6. DEGRADO DEI MATERIALI

La profondità del degrado nello spessore di cls e il conseguente eventuale attacco della corrosione alle armature sono fattori fondamentali per individuare la tipologia di protezione e/o ripristino.

La casistica può essere di seguito riassunta:

- (a) Il copriferro risulta integro.
- (b) Il copriferro risulta compromesso per uno spessore inferiore al copriferro.
- (c) Il copriferro risulta compromesso per uno spessore superiore al copriferro e l'armatura risulta non corrosa.
- (d) Il copriferro risulta compromesso per uno spessore superiore al copriferro dell'armatura risulta corrosa.

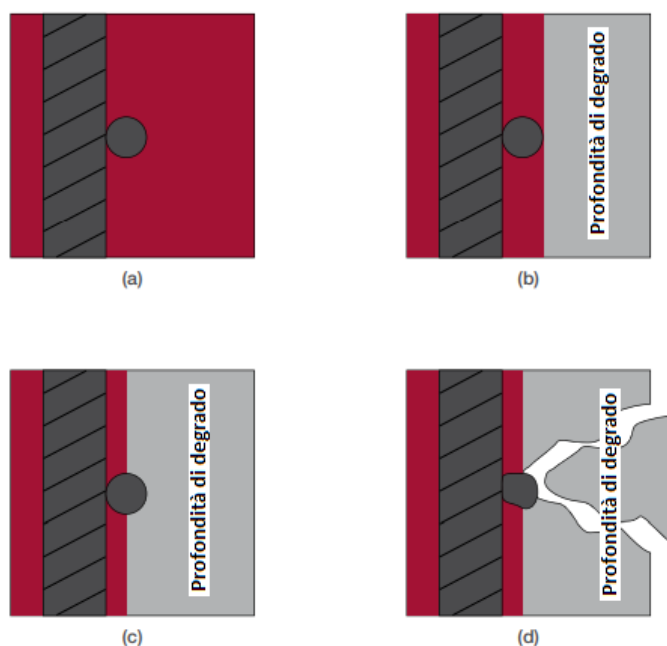


Fig.6.1 – Livelli di aggressione del cemento armato

Gli interventi sono conseguentemente programmati:

- (a) nessun intervento ;
- (b) intervento con un sistema di protezione del copriferro;
- (c) intervento con un sistema di protezione delle armature e di ripristino del copriferro;
- (d) intervento riparazione delle armature, e ripristino del copriferro;

6.1 Corrosione da carbonatazione

Se dall'ispezione visiva emerge la presenza di armature corrose ed in vista a causa dell'espulsione di porzioni di copriferro, è molto probabile la presenza del fenomeno di carbonatazione. In tal caso, è opportuno valutare, nelle diverse zone interessate dal degrado, la profondità di carbonatazione, ovvero quantificare lo spessore di copriferro interessato dal fenomeno. Per le strutture esterne che possono entrare in contatto con l'acqua, è sempre opportuno fare questa verifica, anche quando non si ha evidenza di corrosione in atto. La verifica consiste nel prelevare un campione di calcestruzzo (carota) nel punto nel quale si vuole valutare le profondità di carbonatazione ed applicare sulla sua superficie una sostanza nota come fenolftaleina. Altra tecnica è quella del Carbon Test nella quale la soluzione viene applicata alla polvere di cls ottenuta dalla perforazione e dalla raccolta in apposita provetta.

A seguito di questa applicazione, la carota o la polvere di calcestruzzo assumerà, nella zona non carbonatata, una colorazione violacea. Sarà possibile quindi misurare direttamente lo spessore carbonatato.

Come visto in generale, diverse casistiche possono presentarsi nel caso di carbonatazione del calcestruzzo:

- (a)** il copriferro risulta integro e non carbonatato;
- (b)** il copriferro risulta integro e carbonatato per uno spessore inferiore al copriferro;
- (c)** il copriferro risulta integro e carbonatato per uno spessore superiore al copriferro e l'armatura risulta non corrosa;
- (d)** il copriferro risulta carbonatato per uno spessore superiore al copriferro e a causa della corrosione dell'armatura risulta localmente distaccato.

Possono presentarsi le seguenti casistiche :

- (a)** le armature all'interno della struttura sono adeguatamente protette e non sono necessari interventi.
- (b)** Lo spessore di carbonatazione non ha raggiunto l'armatura che quindi risulta "avvolta" da calcestruzzo sano con pH di circa 13. In queste condizioni l'armatura risulta ancora in stato "passivato" e quindi è adeguatamente protetta nei confronti dell'ossidazione. È possibile stimare il tempo necessario al fronte di carbonatazione per giungere a ridosso delle armature con la seguente formula:

$$t_{res} = t_{ind} * (c/d)^2 \quad [1]$$

dove:

t_{res} è il tempo residuo (in anni) prima della depassivazione delle armature e dell'innesco della corrosione;

t_{ind} è il numero di anni trascorso tra la realizzazione dell'opera e l'istante in cui è stato misurato lo spessore di carbonatazione (tempo di indagine);

c è lo spessore del copriferro, valutato o in maniera diretta, attraverso indagine diretta, o indirettamente, mediante una indagine pacometrica;

d è la misura dello spessore dello strato carbonatato al tempo ***t_{ind}***.

La valutazione dell'intervento è subordinato al rapporto tra il tempo residuo e la vita utile del manufatto decurtato dell'età (***V_{nres}*** vita nominale residua). Posto

$$V_{nres} = V_n - t_{ind}$$

si determina il coefficiente di sicurezza nei confronti della carbonatazione

$$\text{Coeff. sic.} = t_{res} / V_{nres} > 1$$

Se il parametro **Coeff. sic.** risulta minore dell'unità è opportuno intervenire prima che la carbonatazione raggiunga le armature in modo da evitare che il copriferro possa subire fessurazioni.

Ove il valore fosse lievemente maggiore ma prossimo all'unità è necessario prevedere uno *screening* periodico con tempi stretti per valutare l'andamento temporale del fenomeno anche dopo un intervento di protezione.

(c) Lo spessore di carbonatazione ha raggiunto l'armatura che quindi è certamente depassivata. Il fatto che le armature non siano ossidate dipende dal fatto che acqua ed ossigeno non hanno raggiunto la loro superficie ed innescato la corrosione. Si tratta di una condizione limite, in quanto le armature sono del tutto vulnerabili alla corrosione. Se il copriferro risulta compatto e non fessurato si può ricorrere al Sistema di Protezione. Se invece il copriferro comincia a mostrare segni di degrado, come fessurazioni o suoni "a vuoto" che indicano un principio di distacco, sarà opportuno ricorrere al Sistema di Ripristino.

(d) Lo spessore di carbonatazione ha raggiunto l'armatura, depassivandola e, inoltre, acqua ed ossigeno hanno già innescato la corrosione. Gli ossidi di ferro formatosi a seguito della corrosione hanno determinato la fessurazione e l'espulsione del copriferro. Quest'ultimo non è più in grado di proteggere le armature e con molta probabilità l'elemento strutturale in questione ha raggiunto la fine della sua vita utile. Si tratta di una condizione intollerabile. Qualora il degrado fosse limitato al solo copriferro e le armature non abbiano subito sensibili riduzioni della sezione resistente è necessario adoperarsi per un Sistema di Riparazione.

Al contrario, se il degrado si fosse esteso anche al calcestruzzo in profondità, portando ad una rilevante ossidazione delle armature (principali e secondarie) con importanti riduzioni delle loro sezioni resistenti, si interviene con un Sistema di Riparazione.

6.2 Corrosione da cloruri

Nel caso di strutture esposte ai cloruri, la presenza di corrosione delle armature rappresenta un campanello di allarme da non sottovalutare. In particolare ci si riferisce a:

- Strutture realizzate a diretto contatto con il mare;
- Strutture realizzate in prossimità della costa (fino anche a 3÷5 km dal mare);

- Strutture soggette, direttamente o indirettamente, al trattamento con sali disgelanti (solette e pile di viadotti, parcheggi, ...);
- Strutture industriali utilizzate per il trattamento di sostanze contenenti cloruri. In questi casi, l'indagine diagnostica deve necessariamente aiutare a stabilire:
 - Livello di cloruri presente all'interno di tutto lo spessore del copriferro, fino ad arrivare alla superficie delle armature;
 - Stato di conservazione delle armature, con particolare riguardo alla presenza di fenomeni di corrosione localizzata (pitting). Questa forma di corrosione è estremamente pericolosa perché porta in breve tempo a rilevanti riduzioni della sezione resistente delle armature con conseguenti possibili rotture fragili degli elementi strutturali.

Non sono stati rilevati segni di attacchi indotti dai cloruri e le analisi chimiche delle acque anche hanno escluso una significativa presenza di tali sostanze (0,016 g/l).

6.3 Cicli di gelo-disgelo

Questa tipologia di degrado è comune in quelle strutture operanti in zone ove la temperatura ambientale subisce variazioni cicliche attorno al valore di 0° C. L'alternanza di un certo numero di cicli di gelo-disgelo determina un progressivo degrado della matrice cementizia che si manifesta prima attraverso uno sfaldamento superficiale (scaling) e poi con la successiva disintegrazione del materiale. In presenza di sali disgelanti, questa forma di degrado viene notevolmente amplificata, tanto da determinare rilevanti perdite di materiale. In fase di realizzazione, le strutture esposte a cicli di gelo-disgelo devono essere realizzate con un calcestruzzo adeguatamente "aerato", ovvero dotato di un certo quantitativo (3-5%) di aria inglobata al suo interno. Questo accorgimento conferisce al materiale la capacità di resistere per lungo tempo agli effetti del gelo-disgelo. La fase diagnostica si limita, generalmente, alla raccolta di una serie informazioni volte a escludere altre tipi di cause. In particolare si valuterà:

1. Condizioni ambientali del sito con questo tipo di aggressione (Esistenza di escursioni termiche).
2. Eventuale impiego di Sali disgelanti a carico della struttura.
3. Eventuale aggressione da cloruri.

Appurato che si tratti effettivamente di degrado per gelo-disgelo, si dovrà valutare l'entità dell'aggressione. In generale si manifestano tre casi:

- a. Il danno alla matrice cementizia è superficiale e non si riscontra presenza di distacco di copriferro e/o corrosione delle armature. In questo caso si consiglia di intervenire con un Sistema di Protezione.

- b. Il degrado è più profondo ed interessa gran parte o tutto il copriferro. Inoltre, su localizzate porzioni dell'elemento, si individuano fessurazioni e suoni "a vuoto" che indicano un principio di distacco. In questo caso si consiglia di intervenire con il Sistema di Ripristino.
- c. Il degrado è esteso a rilevanti porzioni di copriferro, con riduzione della sezione resistente. Le armature sono a vista e aggredite da corrosione. In questo caso è necessario intervenire con il Sistema di Riparazione.

6.4 Reazione alcali-aggregato

La presenza di un diffuso quadro fessurativo, eventualmente accompagnato da secrezione di una sostanza gelatinosa attraverso le fessure, possono far pensare alla presenza di reazione alcaliaggregato (ASR, Alkali Silica Reaction).

Non vi sono segni che conducono a tali tipologia di aggressione.

6.5 Attacco solfatico

Questo tipo di degrado, tipico di strutture a contatto con acque o terreni che contengono solfati, si può manifestare con la perdita di massa (dilavamento del copriferro), rigonfiamenti e fessurazioni.

Non sono presenti segnali ascrivibili a tali tipologie di degrado.

7. ABRASIONE/CAVITAZIONE/USURA SUPERFICIALE DEL CALCESTRUZZO

Per i calcestruzzi in alveo sono stati rilevati fenomeni di abrasione superficiale (fig.7.1).

Questa tipologia di degrado, di natura fisica, rappresenta la principale causa di danno rilevato sulle opere in alveo analizzate.

Per ridurre l'erosione da cavitazione, è consigliato l'uso di aggregati di piccole dimensioni; per evitare gli effetti dell'abrasione, al contrario, è opportuno impiegare inerti di grossa dimensione.

La resistenza all'usura può essere incrementata applicando uno spolvero metallico, di quarzo o di altro materiale di elevata durezza.

Per contrastare questo fenomeno esistono diverse soluzioni tecnologiche. La soluzione che presenta un buon compromesso tra prestazioni e costi è rappresentata da un calcestruzzo ad alta prestazione additivato come meglio specificato di seguito.



Fig.7.1 – Abrasione in Alveo

8. INTERVENTI

Gli interventi sono riassumibili in tre categorie sostanziali:

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

8.1 Sistema di protezione

Fornisce gli strumenti utili a migliorare la resistenza di una struttura nei confronti di una specifica forma di aggressione. Parliamo di una struttura nella quale l'aggressione:

1. È stata individuata nella sua fase iniziale.
2. È limitata alla parte corticale degli elementi, non vi sono distacchi di calcestruzzo, perdite di materiale, o corrosione delle armature.
3. In questa situazione, anche se la struttura appare integra e priva di manifestazioni di degrado, le riserve di resistenza del materiale nei confronti dello specifico fenomeno aggressivo sono limitate.

Se non si interviene tempestivamente si rischia di aggravare la situazione con conseguente aumento dei costi per il futuro ripristino.

8.1.1 Applicazioni particolari

I sistemi di protezione sono applicati in

- a) ambiente particolarmente aggressivo: è opportuno proteggere ulteriormente le armature applicando sulla superficie del calcestruzzo dei prodotti inibitori di corrosione
- b) presenza di aggregati reattivi agli alcali: trattamento della superficie del calcestruzzo con prodotti inibitori in grado di bloccare l'evoluzione della reazione alcali-aggregato.

8.1.2 Prodotti per la protezione

Il sistema di protezione superficiale da utilizzare, dipende dalle cause di deterioramento effettivo o potenziale e considerando i principi e metodi più appropriati per la protezione e riparazione.

I principali prodotti in commercio prevedono:

- trattamento del calcestruzzo finalizzato ad ottenere una superficie idrorepellente. I pori e le capillarità sono rivestiti internamente, ma non riempiti. Non vi è alcuna pellicola sulla superficie del calcestruzzo e l'aspetto sostanzialmente non varia;
- trattamento elasto-cementizio finalizzato ad ottenere uno strato protettivo continuo sulla superficie del calcestruzzo;
- applicazioni superficiali sul calcestruzzo armato oggetto di ripristino che aumentano il tenore critico di concentrazione dei cloruri che la barra d'armatura può sopportare per l'innescare della corrosione, aumentando la vita utile della struttura in esercizio.
- nei calcestruzzi soggetti a reazioni alcali-aggregato può essere utilizzato un prodotto a base di litio che consente di conservare l'integrità della struttura.

Si interviene con la posa di una pellicola di protezione (tipo SKIN FLEX - GENERAL ADMIXTUREX S.p.A. o similari) e, a seconda dei casi, con successiva stesura di un prodotto idrofobizzante (tipo AQUA FOBIC - G.A. o similari).

Classe Esposizione	Condizione di Degrado	Scopo dell'intervento	Tecnologia
XC XS XD XF XA	La parte superficiale del copriferro comincia a mostrare scagliature e lievi perdite di materiale	Evitare l'ingresso di acqua nel copriferro	TIPO SKIN FLEX TIPO AQUA FOBIC (XS,XD,XF)

Struttura non trattata
Fine vita utile dopo pochi anni

Istante della diagnosi

Calcestruzzo scagliato

Acqua H₂O

Acqua H₂O
Ossigeno O₂

Struttura trattata con Sistema Protezione
Notevole incremento di vita utile

TIPO SKIN FLEX

TIPO AQUA FOBIC

Acqua H₂O

Acqua H₂O

SOLO PER XS XD XF

Fig.8.1 – Interventi per Sistemi di Protezione

Il materiale deve contenere leganti cementizi, aggregati selezionati a grana fine, fibre sintetiche, additivi speciali e polimeri sintetici in dispersione acquosa indicato per interventi di protezione contro la penetrazione della CO₂ (carbonatazione) di supporti in calcestruzzo.

L'applicazione della malta dovrà essere effettuata previa :

- preparazione del supporto , asportando tutte le parti inconsistenti e in fase di distacco, fino ad ottenere un sottofondo solido, avendo cura di eliminare residui polverosi (che impediscono una corretta adesione del prodotto) e
- successiva stesa di primer acrilico tipo GRAB W applicato a rullo o pennello in ragione di 0,2 kg/m².

La malta cementizia dovrà essere applicata, su sottofondo pulito e umido, a spatola metallica liscia, a pennello, a rullo o a spruzzo con intonacatrice dotata di lancia per rasature, in uno spessore finale non inferiore a 2 mm e successivamente rifinito con la stessa spatola.

Nelle zone a rischio di formazione di microfessurazioni da assestamento o in strutture particolarmente soggette a sollecitazioni dinamiche, si dovrà prevedere l'applicazione del prodotto in due mani interponendo tra il primo ed il secondo strato, come armatura di rinforzo, una rete in fibra di vetro alcali resistente (in conformità alla guida ETAG 004) a maglia 4,5 x 4 mm e con grammatura di 150 g/m² (tipo Mapenet 150 o similari). Teli adiacenti di rete in fibra di vetro dovranno essere sormontati lungo i bordi per una larghezza di almeno 8 cm.

Il prodotto dovrà rispondere ai requisiti minimi richiesti dalla EN 1504-2 rivestimento (C), secondo i principi PI, MC e IR, per la protezione del calcestruzzo e avere le seguenti caratteristiche minime prestazionali:

Requisito	Metodo di Prova	U.M.	Valore
Resistenza alla spinta idraulica negativa	EN 8298-8	bar	2,5
Resistenza alla penetrazione all'acqua in pressione diretta	EN 12390-8	bar	5
Capacità di bridging su fessure a 23°C	EN 1062-7	--	Statica: Classe A3 Dinamica: Classe B2
Permeabilità al vapore acqueo	EN 7783-1	m	$S_d < 1,8$ Classe I
Permeabilità alla CO ₂	EN 1062-6	m	$S_d > 50$
Assorbimento capillare	EN 13057	kg x m-2 x h-0,5	<0,02
Resistenza all'usura (perdita in peso)	EN ISO 5470-1	mg	<50
Adesione al calcestruzzo	EN 1542	MPa	>0,8
Adesione successiva a 50 cicli gelo-disgelo	EN 1542 EN 13687-1	MPa	>0,7
Resistenza agli attacchi chimici severi, sol.di cloruro di sodio al 20%, per 28 giorni	EN 13529	--	Variazione 1 Shore A

Fig.8.2 – Specifiche tecniche per i Sistemi di Protezione

A seconda del metodo di applicazione sarà previsto un consumo come di seguito illustrato.

- Applicazione manuale (per mm di spessore): circa 1,6 kg/m²
- Applicazione a spruzzo con intonacatrice (per mm di spessore): circa 2,2 kg/m²

8.2 Sistema di ripristino

Fornisce gli strumenti utili a ripristinare la resistenza di una struttura nei confronti di una o più forme di aggressione. Nello specifico, parliamo di una struttura nella quale:

1. Vi sono evidenti segni di degrado del copriferro. Quest'ultimo si presenta distaccato in più punti o fessurato.
2. L'aggressione non ha colpito l'armatura, la quale non presenta riduzione della sezione resistente ma semplicemente una ossidazione superficiale.
3. Si esclude che le fessurazioni abbiano cause di carattere strutturale.

4. In questo caso nasce l'esigenza di ripristinare il copriferro prima che il degrado comporti compromissioni di carattere strutturale.

8.2.1 Applicazioni Particolari

a) Ambiente particolarmente aggressivo: si procede alla protezione delle armature applicando sulla superficie del calcestruzzo un inibitore di corrosione o un passivante.

b) Presenza di aggregati reattivi agli alcali: trattamento della superficie del calcestruzzo con prodotti liquido a base di litio capaci di bloccare l'evoluzione della reazione alcali-aggregato e di conservare l'integrità della struttura.

8.2.2 Prodotti di supporto

- Inibitore di corrosione per la protezione delle armature .
- Malta tixotropica monocomponente di classe R2.
- Malta tixotropica monocomponente di classe R2 (Media Resistenza) per rasatura.
- Malta tixotropica fibrorinforzata di classe 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.

8.2.3 Schema generale di intervento

1. **Situazione iniziale di degrado.** Distacco e fessurazione del copriferro in più punti, armatura localmente a vista senza riduzione della sezione resistente. Calcestruzzo ammalorato solo superficialmente (copriferro).

2. **Preparazione del supporto.** Scarifica (manuale, meccanica o con idroscarifica) del copriferro ammalorato. Irruvidimento della superficie e successiva pulizia, in maniera da garantire una adeguata adesione del prodotto al supporto originario. Se necessario sarà opportuno trattare la superficie con soluzione acquosa a base di litio per arrestare le reazioni alcali-aggregato se rilevate. Conferimento del materiale di risulta in discarica.

3. Pulizia e protezione delle armature metalliche. Spazzolatura meccanica o sabbiatura delle armature portate a vista nella fase 2. Restituzione di un supporto metallico integro (superficie lucida), privo di ruggine o parti incoerenti. Applicazione del trattamento con inibitore di corrosione migratorio a protezione dell'interfaccia ferro-calcestruzzo delle strutture degradate.

4. Ripristino del copriferro. Preliminarmente è fondamentale eseguire, dopo che l'inibitore di corrosione sia completamente asciutto, la saturazione a rifiuto con acqua pulita di tutte le superfici da ripristinare, in modo da evitare l'assorbimento di parte dell'acqua della malta da parte del supporto e massimizzare l'adesione tra i due strati. Ricostruzione volumetrica del copriferro con malta tixotropica su supporto saturo a superficie asciutta. Per gli interventi di ripristino si procede con l'impiego di una delle seguenti malte di classe R3 o R4:

- Malta per rasatura (Classe R3).
- Malta tixotropica (Classe R4).
- Malta fluida (Classe R4) .
- Betoncino fluido (Classe R4) .

A seconda delle condizioni ambientali può risultare opportuno prevedere una adeguata stagionatura umida dei ripristini realizzati. Allo scopo, potranno essere utilizzati prodotti stagionanti antievaporanti a base acquosa o membrane antievaporanti. Nel caso di impiego di malte o bentoncini fluidi all'interno di casseri, dovranno essere impiegati prodotti disarmati.

5. Rasatura. Impiego di malta tixotropica per la rasatura dell'intera superficie. Scopo della lavorazione è quello di ottenere una superficie finale fine ed omogenea capace di ricevere anche ulteriori strati di finitura.

6. Finitura. Applicazione di intonaco e pittura.

Le fasi 5) e 6) sono da considerare quando risulta necessario anche un ripristino "estetico" dei manufatti.

8.3 Sistema di riparazione

Fornisce gli strumenti utili a ripristinare la resistenza di una struttura, sia da un punto di vista strutturale che di durabilità.

Nello specifico, parliamo di una struttura nella quale:

1. Vi sono evidenti segni di degrado del copriferro. Quest'ultimo si presenta notevolmente fessurato e distaccato in zone estese della struttura. Il calcestruzzo risulta ammalorato anche in profondità, con eventuale riduzione della sezione resistente del calcestruzzo.

2. L'aggressione ha colpito l'armatura, la quale presenta una riduzione più o meno sensibile della sua sezione resistente.

È evidente che si tratta di una condizione particolare dove certamente dovranno essere fatte considerazioni, anche di carattere strutturale.

8.3.1 Applicazioni particolari

I sistemi di protezione sono applicati in

- a) Ambiente particolarmente aggressivo: Si procede con la protezione delle armature applicando sulla superficie del calcestruzzo un'inibitore di corrosione.
- b) Presenza di aggregati reattivi agli alcali: Trattamento della superficie del calcestruzzo prodotti a base di litio capaci di bloccare l'evoluzione della reazione alcali-aggregato e di conservare l'integrità della struttura.

8.3.2 Prodotti di supporto

- Inibitore di corrosione migratorio a protezione dell'interfaccia ferro-calcestruzzo delle strutture degradate.
- 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.

8.3.3 Schema generale di intervento

1. **Situazione iniziale di degrado.** Notevole fessurazione del copriferro con distacco diffuso. Armatura a vista con riduzione della sezione resistente. Calcestruzzo ammalorato superficialmente (copriferro) ed in profondità, con eventuale riduzione della sezione resistente dell'elemento

2. **Preparazione del supporto.** Dopo la eventuale messa in sicurezza dell'elemento, scarifica (manuale, meccanica o con idroscarifica) dello strato corticale degradato e dell'eventuale calcestruzzo in profondità delle armature esistenti. Irruvimento della superficie e pulitura. Trattare,

eventualmente, la superficie con soluzione acquosa a base di litio per arrestare le reazioni alcali-aggregato (tipo INHIBITOR ASR – G.A. o similari) se rilevati.

3. Eventuale integrazione delle armature metalliche. Sulla base delle indicazioni progettuali, verranno inserite le nuove armature che sostituiscono/integrano quelle esistenti. Utilizzare prodotti ancoranti chimici (Malte e/o resine per ancoraggio) o meccanici (tasselli in acciaio).

4. Pulizia e protezione delle armature metalliche. Spazzolatura meccanica o sabbiatura delle armature portate a vista nella fase 2. Restituzione di un supporto metallico integro (superficie lucida), privo di ruggine o parti incoerenti. Applicazione del trattamento protettivo passivante (tipo STRUCTURE PROTECT-G.A. o similari Passivante cementizio, premiscelato, polimeromodificato, monocomponente, per la protezione delle armature delle strutture in c.a), sia sulle armature vecchie che su quelle di integrazione .

5. Ripristino del conglomerato. In fase preliminare è fondamentale eseguire la saturazione a rifiuto con acqua pulita di tutte le superfici da ripristinare, in modo da evitare l'assorbimento di parte dell'acqua della malta da parte del supporto e massimizzare l'adesione tra i due strati. Ricostruzione volumetrica del copriferro con calcestruzzo ad alta prestazione, con caratteristiche riportate nel seguito, su supporto saturo a superficie asciutta. A seconda delle condizioni ambientali può risultare opportuno prevedere un'adeguata stagionatura umida dei ripristini realizzati. Allo scopo, potranno essere utilizzati prodotti stagionanti antievaporanti a base acquosa o membrane antievaporanti. Nel caso di impiego di malte o bentoncini fluidi all'interno di casseri, dovranno essere impiegati prodotti disarmati.

6. Rasatura. Impiego di malta tixotropica per la rasatura dell'intera superficie. Scopo della lavorazione è quello di ottenere una superficie finale fine ed omogenea capace di ricevere anche ulteriori strati di finitura.

7. Finitura. Applicazione di intonaco e pittura.

Le fasi 6) e 7) sono da considerare quando risulta necessario anche un ripristino "estetico" dei manufatti.

Gli interventi analizzati prevedono fasi operative che devono essere scrupolosamente osservate. Si riportano, a seguire, gli aspetti più salienti delle operazioni da svolgere.

8.4 Preparazione del supporto

Al fine di garantire una adeguata applicazione dei prodotti e sistemi per la protezione, il ripristino e la riparazione di una struttura in calcestruzzo, deve

essere garantita una preparazione del supporto di calcestruzzo idonea alle condizioni richieste e allo stato degli elementi.

La norma UNI EN 1504 – Parte 10 “Applicazione in opera di prodotti e sistemi e controllo di qualità dei lavori” stabilisce i requisiti per la preparazione del supporto in funzione del metodo di riparazione e di protezione scelto.

In particolare, con riferimento all’impiego di malte per la protezione e riparazione di strutture in calcestruzzo, il processo di preparazione del supporto si articola nelle fasi di pulitura, irruvidimento o martellinatura e di rimozione del calcestruzzo.

In accordo ai Principi ed ai metodi di protezione e riparazione di cui alla norma UNI EN 1504 – Parte 9, devono essere rimossi gli strati di calcestruzzo debole, danneggiato e deteriorato, o dove necessario il calcestruzzo sano. L’eventuale presenza di micro-fessure o delaminazioni contribuisce infatti alla riduzione di ancoraggio ed integrità strutturale. A tal fine è suggerito di ispezionare visivamente e sottoporre a martellamento la superficie finita della struttura in calcestruzzo, per rilevare la presenza di materiale incoerente.

L’entità dell’intervento di rimozione del calcestruzzo, adeguato ai Principi e ai Metodi scelti, deve essere ridotta al minimo, non deve ridurre l’integrità strutturale oltre la capacità della struttura di svolgere la propria funzione e deve essere correlata ai valori di profondità di degrado. È altresì importante stabilire l’entità della rimozione del calcestruzzo in funzione di:

- resistenza del calcestruzzo alla penetrazione di gas e di fluidi;
- natura e concentrazione dei contaminanti prima e dopo la riparazione;
- profondità della contaminazione;
- profondità della carbonatazione;
- attività di corrosione dell’armatura;
- copriferro;
- necessità di compattazione del materiale di riparazione;
- necessità di aderenza al supporto;
- necessità di trattamento dell’armatura.

Come rappresentato nell’immagine sottostante, nel caso di interventi locali è suggerita un’inclinazione del taglio secondo un angolo minimo di 90° (1 in fig.8.2), per evitare sottosquadri e massimo di 135° (2 in fig.8.2), per ridurre distacchi dalla superficie superiore del calcestruzzo sano adiacente. I bordi dovrebbero essere adeguatamente irruviditi al fine di garantire una sufficiente adesione tra materiale originario e prodotto di riparazione.

La rimozione del cls può essere effettuata con martello demolitore o con idroscarificazione.

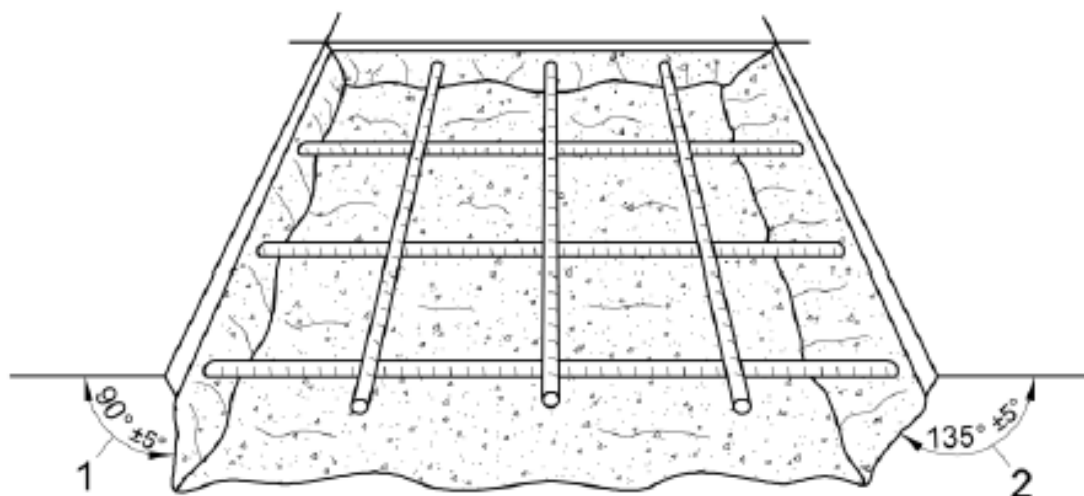


Fig.8.3 – Dettagli del taglio del supporto

La demolizione deve portare alla luce lo strato di calcestruzzo di buona qualità ed omogeneità ed eliminare ogni altro elemento che possa alterare la coesione dei successivi trattamenti e deve essere spinta fino ai valori di rimozione non eccedenti quanto stabilito nei disegni progettuali (da intendersi come valor medio sulla superficie interessata dal trattamento, come di seguito meglio esposto).

In seguito alla scarifica del calcestruzzo è fondamentale pulire le superfici da trattare, soprattutto se orizzontali.

La superficie del calcestruzzo di supporto dovrà risultare macroscopicamente ruvida (asperità non inferiore a 5 mm di profondità) allo scopo di ottenere la massima aderenza tra il nuovo ed il vecchio materiale.

8.5 Applicazione in opera di prodotti

La preparazione e l'utilizzo dei prodotti deve avvenire in conformità e nel rispetto delle indicazioni contenute all'interno delle relative Schede Tecniche.

8.5.1 Aderenza

I requisiti di aderenza tra il vecchio calcestruzzo e la malta o il calcestruzzo da ripristino/riparazione devono essere specificati in accordo alla UNI EN 1504-3. Un profilo superficiale ruvido può essere ottenuto mediante la demolizione con mezzi meccanici.

Nel caso di applicazione del prodotto per strati successivi, la superficie della malta di riparazione può essere irruvida prima che vada in presa in modo da ottenere una chiave meccanica per uno strato successivo.

Qualora siano utilizzati prodotti e sistemi cementizi o polimerici di riparazione, si dovrebbe decidere se sia appropriato applicare un fondo ancorante. L'utilizzo di rivestimenti ancoranti può ridurre l'aderenza se lo stesso va in presa prima dell'applicazione dei prodotti successivi. Qualora invece non sia utilizzato un fondo ancorante, la superficie deve essere inumidita e non deve essere lasciata asciugare prima dell'applicazione dei prodotti e sistemi, allo scopo di impedire il trasferimento dell'acqua dal prodotto di riparazione al supporto, che influenzerebbe negativamente l'idratazione del prodotto di riparazione. Tuttavia, la presenza di acqua all'interno delle cavità e porosità superficiali potrebbe ridurre l'aderenza. Un'indicazione è data dall'aspetto della superficie che dovrebbe essere scura e opaca, senza lucidità.

Se le malte o i nuovi calcestruzzi venissero applicate in assenza di contrasto (ruvidità del supporto, confinamento e armatura per spessori maggiori di 30 mm o 50 mm rispettivamente), sarebbero destinate inevitabilmente a perdere aderenza con il supporto durante l'asciugatura e l'espansione iniziale ed ad avere fessure da ritiro igrometrico. È necessario quindi prevedere un'armatura di contrasto per spessori maggiori di 30 mm o 50 mm ad esempio con l'inserimento di connettori metallici.

Le armature di ancoraggio, per spessori di copriferro maggiori di 50 mm, si realizzeranno col posizionamento dei connettori meccanici (tipo Tecnaria v. fig. 8.4 o simili) nella misura di n. 9/mq e reti elettrosaldate minimo $\phi 6/10 \times 10$ con sovrapposizioni di 2 maglie (20 cm).



Fig.8.4 – Applicazione connettori meccanici.

Le malte polimeriche idrauliche possono andare in presa con uno strato superficiale liscio ad alto contenuto di polimeri che pregiudica l'aderenza del trattamento superficiale o degli strati successivi.

L'adesione tra la malta ed il supporto viene valutata attraverso prove di pull-off eseguite in conformità alla UNI 1542. Possono essere ritenuti accettabili valori misurati in sito minori dei relativi valori richiesti per la classificazione della malta da ripristino. Per malte per uso strutturale di classe R3 e R4, possono essere accettati valori in sito compresi nell'intervallo tra 1.2 MPa e 1.5 MPa. Per malte per uso non strutturale, il valore minimo richiesto di aderenza in sito è pari a 0.7 MPa.

Anche per i calcestruzzi in riferimento al controllo del sistema di ripristino o rinforzo, si sottolinea l'importanza e la necessità di eseguire prove per la verifica dei valori di adesione tra materiale di riparazione o rinforzo ed il supporto e dei valori di resistenza a compressione.

Nel caso di utilizzo di malte o cls da ripristino/riparazione caratterizzati da implicazioni di tipo strutturale, quali a titolo di esempio interventi di ricostruzione degli strati di copriferro o di rinforzo strutturale, devono essere eseguite prove di resistenza a compressione in conformità al Decreto Ministeriale 17.01.2018. Le prove possono eseguirsi su provini normalizzati di tipo cilindro, aventi diametro pari a 150 mm ed altezza 300 mm, oppure di tipo cubico di lato 150 mm.

L'insorgere delle fessure deve essere limitato attraverso il posizionamento dei giunti e l'uso di agenti anti ritiro nella miscela.

8.5.2 Rivestimento in calcestruzzo ad alta prestazione

Indipendentemente dal tipo di azione abrasiva, i risultati delle prove di laboratorio e l'esperienza in opera indicano che la resistenza all'abrasione è funzione della resistenza della matrice legante, della compattezza e durezza dell'aggregato e della resistenza del legame pasta/aggregato. Sono perciò critici il rapporto a/c e la natura dell'aggregato. Tra i nuovi materiali cementizi va segnalato, il fumo di silice, un materiale pozzolanico la cui purezza composizionale e le cui caratteristiche di finezza lo rendono particolarmente efficace, in abbinamento con gli additivi superfluidificanti, per migliorare la durabilità del calcestruzzo. Una sua tipica applicazione riguarda gli interventi di ripristino/riparazione di danni dovuti a fenomeni di erosione sugli sfioratori in calcestruzzo. 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.

La resistenza del conglomerato dipende dal tipo di cemento e dal rapporto a/c.

Il calcestruzzo suggerito deve presentare buone proprietà di

- resistenza all'abrasione;
- resistenza agli urti;
- resistenza alla corrosione;
- resistenza alle variazioni termiche;
- resistenza ai cicli gelo/disgelo.

E', inoltre fondamentale curare le fasi di lavorazione.

I conglomerati, dopo la presa, devono essere sottoposti a cura subito bagnando regolarmente con acqua, mediante l'uso di sacchi umidi o con prodotti specifici.

Le fessurazioni da ritiro sono deleterie e devono essere evitate.

Le lavorazioni non devono essere svolte nei giorni caldi o ventosi.

Attenersi alle specifiche schede tecniche e prescrizioni dei prodotti.

Gli additivi e i prodotti necessari per il confezionamento devono essere a marchiatura CE.

9. I MANUFATTI

9.1 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 su taglioni e da uno strato di calcestruzzo additivato protettivo. A valle della vasca sono presenti denti dissipatori che hanno lo scopo di diminuire l'energia cinetica della corrente consentendo il deposito dei materiali in sospensione più pesanti e di intercettare. Ai lati sono vi sono le spalle di bordo.

9.1.1 Taglioni

I taglioni sono elementi di sottofondazione (o fondazioni profonde) sottostanti la platea che costituisce la vasca.

Tali elementi hanno la duplice funzione di trasferire in profondità i carichi verticali e, soprattutto, di allungare i percorsi di filtrazione per evitare i deleteri fenomeni di sifonamento.



Fig.9.1 – Traversa di monte

Dai progetti originali si verifica che, sia la vasca che i taglioni, presentano i medesi aspetti peculiari. Infatti, dai progetti, si rileva la stessa classe di calcestruzzo e di acciaio e, inoltre, si trovano nelle stesse condizioni ambientali. Non è stato possibile, a causa dell'elevata permeabilità del terreno che permette alla falda di risalire rapidamente riempiendo lo scavo,

lo svolgimento delle indagini. Tuttavia le condizioni ambientali e le proprietà materiche sono le medesime della vasca di fondazione sulla quale è stato possibile eseguire le operazioni. E' ragionevole, perciò, assumere per i taglioni le stesse conclusioni della platea di fondazione che costituisce la vasca.

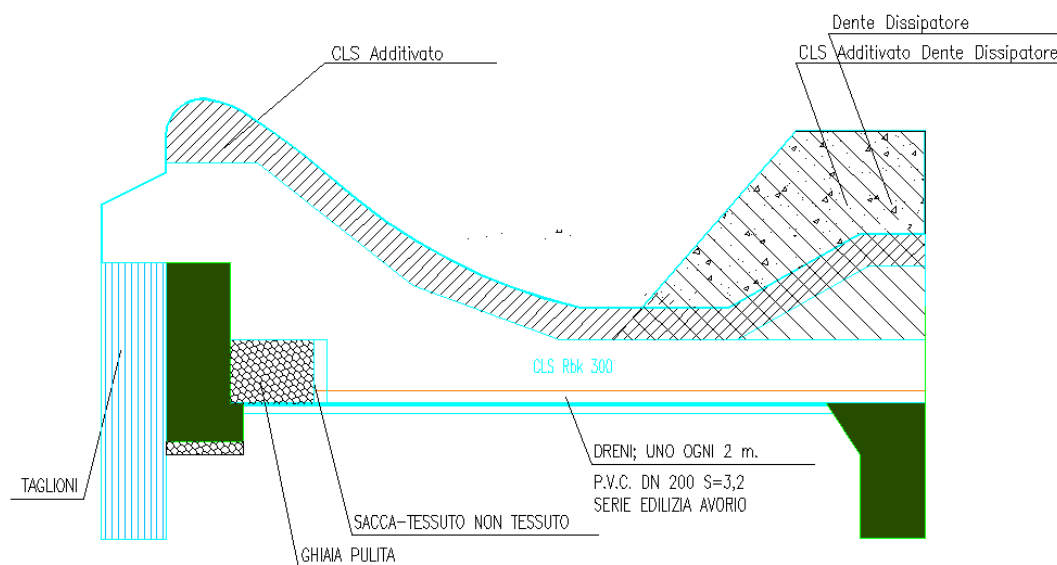


Fig.9.2 - Sezione trasversale di monte

9.1.2 Platea di fondazione - Vasca

Sulla scorta di quanto riportato nella Relazione sui Materiali e dal report di laboratorio risulta un calcestruzzo C25/30, un copriferro minimo pari a 40 mm e una profondità di carbonatazione massima di 10 mm.

Data la classe ambientale della fondazione assunta pari a XC2, ai sensi delle UNI EN 206, 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.

La classe di resistenza risulta dei materiali risulta pari a C25/30 e quindi è compatibile .

La profondità di carbonatazione ricade nella caso (b) riportato al par. 6.1.

Si procede alla valutazione della vita o tempo residuo con l'equazione [1].

In considerazione che la vetustità dell'opera al momento dell'indagine è di circa $t_{ind}=20$ anni è possibile determinare la vita residua in funzione del livello di carbonatazione attuale. Dalla relazione riportata si trova

$$t_{res}=20 * (40/10)^2 = 320 \text{ anni}$$

$$coeff. sic. = 320/(100-20) = 4$$

Il valore del tempo di penetrazione della carbonatazione per raggiungere le armature risulta abbondantemente superiore alla vita nominale della struttura residua ($V_{nres}=80$ anni).

In funzione della classe di esposizione non sono previsti interventi.

Si segnala che il calcestruzzo (C25/30) rilevato risulta compatibile con quello di progetto.

Infatti il fascicolo di calcolo strutturale (All.56) mostra come i calcoli statici prevedono un calcestruzzo con resistenza cubica pari a 30 Mpa.

9.1.3 Strato protettivo

Lo strato protettivo risulta costituito da calcestruzzo di classe C30/37 .

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, 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 classe di resistenza dei materiali esistenti risulta compatibile con quanto richiesto dalle UNI EN 206

La profondità di carbonatazione ricade nella caso (b) riportato al par. 6.1.

Si procede alla valutazione della vita o tempo residuo con l'equazione [1] .

In considerazione che la vetustità dell'opera al momento dell'indagine è di circa $t_{ind}=20$ anni è possibile determinare la vita residua in funzione del livello di carbonatazione attuale.

Dalla relazione si trova

$$t_{res}=20 * (70/10)^2 = 980 \text{ anni}$$

il coefficiente di sicurezza alla carbonatazione vale

$$coeff. \text{ sic. } = 980/(100-20) = 12$$

Il valore del tempo di penetrazione della carbonatazione per raggiungere le armature risulta abbondantemente superiore alla vita nominale residua della struttura ($V_n \text{ res}=80$ anni). In tal caso non sono previsti interventi per la carbonatazione.

Sul manufatto, in maniera diffusa si è riscontrato un intenso fenomeno di abrasione/usura. Il copriferro è stato eroso e le armature risultano non corrose ma esposte all'atmosfera e/o all'acqua del torrente. Si rende inoltre necessario il ripristino del profilo idraulico di progetto.

Per l'abrasione si considera una classe XM3.

L'intervento prevede, l'asportazione del cls in prossimità delle parti abrase, sia al di sotto lo strato delle armature che ai bordi allargando l'area usurata, la pulitura delle superfici, l'irruvidimento o martellinatura secondo quanto disciplinato ai p.ti 8.4 e 8.5. e la passivazione delle armature.

Le armature di ancoraggio per spessori maggiori di 40 mm si realizzeranno col posizionamento dei connettori meccanici (tipo Tecnaria v. fig. 8.4) nella misura di n. 9/mq.

Il nuovo strato protettivo sarà realizzato con calcestruzzi ad alta prestazione con specifiche riportate nella Relazione sui Materiali. Il contenuto d'aria richiesto per i cicli di gelo e disgelo non è compatibile con i fenomeni abrasivi. Il prodotto garantisce anche adeguata protezione nei confronti dei cicli di gelo e disgelo.

Utilizzare connettori meccanici sul conglomerato di supporto per spessori maggiori di 50 mm.

Si segnala che nel progetto si assume un calcestruzzo di classe Rck300 additivato senza però specificarne le caratteristiche. In riferimento alle azioni meccaniche (urti) previste nel calcolo strutturale e all'abrasione registrata e in funzione della "*buona regola d'arte*" secondo gli standard attuali, si ritiene il **conglomerato non idoneo in quanto la resistenza meccanica, seppur elevata, rappresenta solo una caratteristica ma non l'unica**. L'ipotesi assunta è supportata dal fatto che il conglomerato

protettivo è fortemente abraso, e i profili idraulici risultano compromessi nell'arco di un ventennio di vita del manufatto.

L'intervento proposto è mirato al recupero del profilo idraulico e, contestualmente, ad ottemperare alle attuali richieste per l'esposizione al degrado.

Poiché la profondità dell'intervento è variabile a seconda la profondità abrasa, per l'intervento è stimato uno spessore medio di 50 mm.

Il rilievo visivo ha evidenziato che i denti dissipatori risultano integri.

Le fasi operative dell'intervento relative al manufatto in oggetto sono riportate nel Computo Metrico Estimativo (CME) con riferimento al numero d'ordine (N.ord.), e di seguito elencate.

N. ord. 1 - Demolizione di struttura in calcestruzzo armato con ausilio di martello demolitore meccanico.

N. ord. 2 - Trasporto a discarica controllata.

N. ord.3 - Fornitura e posa in opera di piolo connettore (stimata sul 20% della superficie totale dell'intervento).

N. ord.4 - Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata a maglia quadrata in acciaio di qualità B450C (stimata sul 20% della superficie totale dell'intervento).

N. ord.5/6 - Fornitura e posa in opera di calcestruzzo ad alta prestazione C50/60

N. ord.7/8/9 – utilizzo e posizionamento pompa per calcestruzzo.

Le quantità riportate nel CME sono determinate nel documento "TAV01 – DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - TRAVERSA DI MONTE TRATTA IN ALVEO"

9.1.4 Spalle

Per le spalle si è registrato un calcestruzzo di classe C40/50 e armature di acciaio Fe44k c.s .

È stata registrata una profondità di carbonatazione inferiore ai 20 mm a fronte di copriferri minimi pari a 32 mm.

Le classi ambientali delle spalle sono 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.

La classe di resistenza dei materiali esistenti risulta compatibile con quanto richiesto dalle UNI EN 206.

La profondità di carbonatazione ricade nella caso (b) riportato al par. 6.1.

Si procede alla valutazione della vita o tempo residuo con l'equazione [1].

In considerazione che la vetustà dell'opera al momento dell'indagine è di circa $t_{ind}=20$ anni è possibile determinare la vita residua in funzione del livello di carbonatazione attuale. Dalla relazione riportata si trova

$$t_{res}=20 * (32/20)^2 = 51 \text{ anni}$$

il coefficiente di sicurezza alla carbonatazione vale

$$\text{coeff. sic.} = 51 / (100-20) = 0,64 \quad (\text{coeff. sic.} < 1 \text{ verifica non soddisfatta})$$

Il valore del tempo di penetrazione della carbonatazione per raggiungere le armature risulta inferiore alla vita nominale residua della struttura ($V_{nres}=80$ anni).

È necessario prevedere un intervento di ripristino come disciplinato al p.to 8.2.

Per i cicli di gelo e disgelo, si rileva che il danno alla matrice cementizia è superficiale e non si riscontra la presenza di distacco di copriferro e/o corrosione delle armature.

Si segnala che il calcestruzzo rilevato (C40/50) risulta superiore a quello di progetto.

Infatti i documenti forniti (All.54 e All. 57) mostrano come i calcoli statici prevedono un calcestruzzo con resistenza cubica di 30 Mpa.

Le fasi operative dell'intervento relative al manufatto in oggetto sono riportate nel Computo Metrico Estimativo (CME) con riferimento al numero d'ordine (N.ord.), e di seguito elencate.

N. ord. 10/12 - Ricostruzione di copriferro in elementi strutturali in calcestruzzo armato mediante malta premiscelata antiritiro. Eliminazione del calcestruzzo di avvolgimento delle barre longitudinali, anche dalla parte interna per almeno 3-4 cm; - asportazione di eventuali precedenti interventi di ripristino che non risultino perfettamente aderenti; - controllo non distruttivo della zona di calcestruzzo integro e spazzolatura meccanica delle superfici; - pulizia accurata con aria compressa e/o acqua in pressione; -

ricostruzione del calcestruzzo eliminato mediante applicazione a cazzuola o a spruzzo di malta o betoncino tixotropico R4 a ritiro controllato o a base di legante espansivo; - nebulizzazione di acqua durante le prime 24 ore di indurimento.

N. ord. 11/13 - Trasporto a scarica controllata dei materiali di risulta provenienti dall'eliminazione ed asportazione del calcestruzzo

Le quantità riportate nel CME, ai n. ord. 12/13, sono determinate nel documento "TAV02 - DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - TRAVERSA DI MONTE SPALLA SINISTRA".

Le quantità riportate nel CME, ai n. ord. 10/11, sono determinate nel documento "TAV03 - DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - TRAVERSA DI MONTE SPALLA DESTRA".

9.2 Manufatto limitatore di monte

L'opera risulta costituita da tre rami. Il primo tratto, realizzato in alveo, è il manufatto limitatore vero e proprio, articolato con una fondazione, 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 grecata.

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 che emerge fino alla quota di sfioro.

Ai lati sono presenti le spalle di contenimento.



Fig.9.3 - Manufatto limitatore di monte con impalcato.

9.2.1 Ramo in alveo

9.2.1.1 Fondazione

La fondazione risulta costituita da calcestruzzo di classe C25/30 e acciaio Fe44k c.s.

La profondità di carbonatazione è pari a 20 mm con copriferri minimi rilevati pari a 98 mm prossimi a quelli di progetto (100 mm) .

La classe ambientale della fondazione è assunta 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.

La classe di resistenza dei materiali esistenti risulta compatibile con quanto richiesto dalle UNI EN 206

La profondità di carbonatazione ricade nella caso (b) riportato al par. 6.1.

Si procede alla valutazione della vita o tempo residuo con l'equazione [1] .

In considerazione che la vetustà dell'opera al momento dell'indagine è di circa $t_{ind}=20$ anni è possibile determinare la vita residua in funzione del livello di carbonatazione attuale. Dalla relazione riportata si trova

$$t_{res}=20 * (98/20)^2 = 480 \text{ anni}$$

il coefficiente di sicurezza alla carbonatazione vale

$$coeff. sic. = 480 / (100-20) = 6$$

Il valore del tempo di penetrazione della carbonatazione per raggiungere le armature risulta superiore alla vita nominale residua della struttura ($V_{n\ res}=80$ anni).

In funzione della classe di esposizione non sono previsti interventi.

Il calcestruzzo risulta in linea con quello relativo al progetto strutturale (Rck 300).

9.2.1.2 Strato protettivo

Lo strato protettivo risulta costituito da calcestruzzo di classe C50/60 e armature Fe44k 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, ove non sono stati misurati , saranno quelli previsti in progetto risultano di 50 mm. La scelta è dettata dalla buona corrispondenza tra i valori rilevati e quelli di progetto.

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.

La classe di resistenza dei materiali esistenti risulta compatibile con quanto richiesto dalle UNI EN 206.

La profondità di carbonatazione ricade nella caso (b) riportato al par. 6.1.

Si procede alla valutazione della vita o tempo residuo con l'equazione [1].

In considerazione che la vetustità dell'opera al momento dell'indagine è di circa $t_{ind}=20$ anni è possibile determinare la vita residua in funzione del livello di carbonatazione attuale. Dalla relazione riportata si trova

$$t_{res}=20 * (50 / 10)^2 = 500 \text{ anni}$$

il coefficiente di sicurezza alla carbonatazione vale

$$coeff. sic. = 500 / (100-20) = 6$$

Il valore del tempo di penetrazione della carbonatazione per raggiungere le armature risulta superiore alla vita nominale residua della struttura ($V_{nres}=80$ anni).

In funzione della classe di esposizione non sono previsti interventi.

Sul manufatto, in maniera diffusa si è riscontrato un intenso fenomeno di abrasione/usura. Il copriferro è stato abraso e le armature risultano non corrose ma esposte all'atmosfera e/o all'acqua del torrente.

L'intervento prevede, l'asportazione del cls in prossimità delle parti deteriorate, sia al di sotto lo strato delle armature che ai bordi allargando l'area usurata, la pulitura delle superfici, l'irruvidimento o martellinatura secondo quanto disciplinato ai p.ti 8.4 e 8.5. e, se necessario, la passivazione delle armature.

Le armature di ancoraggio per spessori maggiori di 40 mm si realizzeranno col posizionamento dei connettori meccanici (tipo Tecnaria v. fig. 8.4) nella misura di n. 9/mq.

Il nuovo strato protettivo sarà realizzato con calcestruzzo ad alta prestazione con specifiche riportate nella Relazione sui Materiali. Il contenuto d'aria richiesto dalle EN206-1, per i cicli di gelo e disgelo, non è compatibile con i fenomeni abrasivi. Il prodotto garantisce anche adeguata protezione nei confronti dei cicli di gelo e disgelo.

Si segnala che, nel progetto, si assume un calcestruzzo di classe Rck300 additivato senza però specificarne le caratteristiche. In riferimento alle azioni meccaniche (urti) previste nel calcolo strutturale e all'abrasione registrata e in funzione della "buona regola d'arte" secondo gli standard attuali, si ritiene il **conglomerato non idoneo in quanto la resistenza meccanica, seppur elevata, rappresenta solo una caratteristica ma non l'unica**. A supporto dell'ipotesi assunta vi è il fatto che il calcestruzzo di protezione risulta abraso nel corso di un solo ventennio.

L'intervento proposto è in grado di recuperare il profilo idraulico e ottemperare alle attuali richieste per l'esposizione al degrado.

Poiché la profondità dell'intervento è variabile a seconda la profondità dell'usura meccanica, per l'intervento è stimato uno spessore medio di 50 mm.

Le fasi operative dell'intervento relative al manufatto in oggetto sono riportate nel Computo Metrico Estimativo (CME) con riferimento al numero d'ordine (N.ord.), e di seguito elencate.

N. ord. 14 - Demolizione di struttura in calcestruzzo armato con ausilio di martello demolitore meccanico.

N. ord. 15 - Trasporto a discarica controllata.

N. ord.16 - Fornitura e posa in opera di piolo connettore (stimata sul 20% della superficie totale dell'intervento).

N. ord.17 - Fornitura e posa in opera di rete elettrosaldata a maglia quadrata in acciaio di qualità B450C (stimata sul 20% della superficie totale dell'intervento).

N. ord.18/19 - Fornitura e posa in opera di calcestruzzo ad alta prestazione C50/60

N. ord.20/21/22 – Utilizzo e posizionamento pompa per calcestruzzo.

Le quantità riportate nel CME sono determinate nel documento "TAV04 – DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - MANUFATTO LIMITATORE DI MONTE CON PASSERELLA DI SERVIZIO - TRATTO IN ALVEO"

9.2.1.3 Trave laminatrice

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 minimi risultano da progetto di 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.

La classe di resistenza dei materiali esistenti risulta compatibile con quanto richiesto dalle UNI EN 206.

La profondità di carbonatazione ricade nella caso (b) riportato al par. 6.1.

Si procede alla valutazione della vita o tempo residuo con l'equazione [1].

In considerazione che la vetustità dell'opera al momento dell'indagine è di circa $t_{ind}=20$ anni è possibile determinare la vita residua in funzione del livello di carbonatazione attuale. Dalla relazione riportata si trova

$$t_{res}=20 * (50 /12)^2 = 347 \text{ anni}$$

il coefficiente di sicurezza alla carbonatazione vale

$$coeff. sic. = 347 /(100-20) = 4,3$$

Il valore del tempo di penetrazione della carbonatazione per raggiungere le armature risulta superiore alla vita nominale residua della struttura ($V_{nres}=80$ anni).

Per i cicli di gelo e disgelo, si rileva che il danno alla matrice cementizia è superficiale e non si riscontra la presenza di distacco di copriferro e/o corrosione delle armature. In questo caso sarà utilizzato il sistema di ripristino come al p.to 8.2.

Si segnala che il calcestruzzo rilevato, pur con resistenza cubica (C40/50), pur conforme ai minimi previsti dalle norme per le opere in cemento armato ordinario, risulta di classe inferiore a quello ipotizzato in progetto.

Infatti il fascicolo di calcolo strutturale (All.64- pag.1) mostra come i calcoli statici prevedono un calcestruzzo con resistenza (presumibilmente cubica) di 70 Mpa.

Le fasi operative dell'intervento relative al manufatto in oggetto sono riportate nel Computo Metrico Estimativo (CME) con riferimento al numero d'ordine (N.ord.), e di seguito elencate.

N. ord. 30 - Ricostruzione di copriferro in elementi strutturali in calcestruzzo armato mediante malta premiscelata antiritiro. Eliminazione del calcestruzzo di avvolgimento delle barre longitudinali, anche dalla parte interna per almeno 3-4 cm; - asportazione di eventuali precedenti interventi di ripristino che non risultino perfettamente aderenti; - controllo non distruttivo della zona di calcestruzzo integro e spazzolatura meccanica delle superfici; - pulizia accurata con aria compressa e/o acqua in pressione; - ricostruzione del calcestruzzo eliminato mediante applicazione a cazzuola o a spruzzo di malta o betoncino tixotropico R4 a ritiro controllato o a base di legante espansivo; - nebulizzazione di acqua durante le prime 24 ore di indurimento.

N. ord. 31 - Trasporto a discarica controllata dei materiali di risulta provenienti dall'eliminazione ed asportazione del calcestruzzo

Le quantità riportate nel CME sono determinate nel documento "TAV04 – DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - MANUFATTO LIMITATORE DI MONTE CON PASSERELLA DI SERVIZIO - TRATTO IN ALVEO".

9.2.1.4 Pile

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 di progetto 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.

La profondità di carbonatazione ricade nella caso (b) riportato al par. 6.1.

Si procede alla valutazione della vita o tempo residuo con l'equazione [1].

In considerazione che la vetustà dell'opera al momento dell'indagine è di circa $t_{ind}=20$ anni è possibile determinare la vita residua in funzione del livello di carbonatazione attuale. Dalla relazione riportata si trova

$$t_{res}=20 * (50 /12)^2 = 347 \text{ anni}$$

il coefficiente di sicurezza alla carbonatazione vale

$$coeff. sic. = 347 / (100-20) = 4$$

Il valore del tempo di penetrazione della carbonatazione per raggiungere le armature risulta superiore alla vita nominale residua della struttura ($V_{nres}=80$ anni).

Ai fini della carbonatazione non sono necessari interventi.

Per i cicli di gelo e disgelo e per l'attacco da cloruri, si rileva che il danno alla matrice cementizia è superficiale e non si riscontra la presenza di distacco di copriferro e/o corrosione delle armature. In questo caso saranno utilizzati sistemi di ripristino come al p.to 8.2.

Si sono manifestati segni di usura alla base delle pile che necessitano di un intervento di riparazione parziale con l'ausilio di calcestruzzi ad alta prestazione (v. fig 9.4).

Si segnala che il calcestruzzo rilevato, pur con resistenza cubica (C25/30), pur conforme ai minimi previsti dalle norme per le opere in cemento armato ordinario, risulta di classe inferiore a quello ipotizzato in progetto.

Infatti il fascicolo di calcolo strutturale (All.64- pag.1) mostra come i calcoli statici prevedono un calcestruzzo con resistenza (presumibilmente cubica) di 70 Mpa.



Fig.9.4 - Degrado alla base delle pile

Le fasi operative dell'intervento relative al manufatto in oggetto sono riportate nel Computo Metrico Estimativo (CME) con riferimento al numero d'ordine (N.ord.), e di seguito elencate.

N. ord. 32 - Ricostruzione di copriferro in elementi strutturali in calcestruzzo armato mediante malta premiscelata antiritiro. Eliminazione del calcestruzzo di avvolgimento delle barre longitudinali, anche dalla parte interna per almeno 3-4 cm; - asportazione di eventuali precedenti interventi di ripristino che non risultino perfettamente aderenti; - controllo non distruttivo della zona di calcestruzzo integro e spazzolatura meccanica delle superfici; - pulizia accurata con aria compressa e/o acqua in pressione; - ricostruzione del calcestruzzo eliminato mediante applicazione a cazzuola o a spruzzo di malta o betoncino tixotropico R4 a ritiro controllato o a base di legante espansivo; - nebulizzazione di acqua durante le prime 24 ore di indurimento.

N. ord. 33 - Trasporto a discarica controllata dei materiali di risulta provenienti dall'eliminazione ed asportazione del calcestruzzo

Le quantità riportate nel CME sono determinate nel documento "TAV04 - DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - MANUFATTO LIMITATORE DI MONTE CON PASSERELLA DI SERVIZIO - TRATTO IN ALVEO".

9.2.1.5 Travi da impalcato

Sono le travi precomprese prefabbricate che sorreggono l'impalcato vero e proprio.

Le prove di carbonatazione sono state effettuate con 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 impalcati stradali.

Il calcestruzzo è noto ed essendo prodotto in stabilimento può ragionevolmente essere confermato la classe di progetto C45/55 analogamente per le armature lente FeB430 e per l'acciaio armonico di precompressione con $f_y = 1900 \text{ N/mm}^2$.

Si rileva una profondità di carbonatazione massima di 21 mm, mentre i copriferri minimi di progetto risultano di 30 mm con tolleranze di - 5 mm.

Le armature di precompressione costituite dagli acciai armonici (trecce/trefoli) non mostrano segni di degrado.

La classe ambientale è assunta pari a XF2, XD3, XC3.

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.

La profondità di carbonatazione ricade nella caso (b) riportato al par. 6.1. ma è vicina alle armature ordinarie.

Si procede alla valutazione della vita o tempo residuo con l'equazione [1] .

In considerazione che la vetustà dell'opera al momento dell'indagine è di circa $t_{ind}=20$ anni è possibile determinare la vita residua in funzione del livello di carbonatazione attuale. Dalla relazione riportata si trova

$$t_{res}=20 * ((30-5) /21)^2 = 28 \text{ anni}$$

il coefficiente di sicurezza alla carbonatazione vale

$$coeff. sic. = 28 / (100-20) = 0,35$$

Il valore del tempo di penetrazione della carbonatazione per raggiungere le armature risulta inferiore alla vita nominale residua della struttura ($V_{nres}=80$ anni).

Ai fini della carbonatazione è necessario prevedere un intervento urgente .

Data la tipologia del manufatto in c.a.p. e il fatto che l'elemento è autoportante, si pone difficoltoso realizzare un intervento di ripristino che prevede la scarnificazione dello strato carbonatato, anche un funzione del fatto che assumerebbe carattere di natura strutturale con una nuova distribuzione dello stato tensionale all'interno della sezione precompressa.

La sostituzione degli elementi, al momento, appare eccessiva e antieconomica in quanto richiederebbe la demolizione e lo smantellamento di tutto l'impalcato.

Si propone di intervenire con un sistema di protezione, che possa rallentare il processo di carbonatazione e allungare la vita residua del manufatto.

La procedura, però prevede anche un monitoraggio severo nei confronti della carbonatazione con verifiche periodiche che attestino un rallentamento sostanziale del fenomeno e che consentano di descriverne il decorso temporale e, di conseguenza, la vita utile residua.

Il carbon test rappresenta una buona procedura di controllo se effettuata con cadenza annuale.

Non sono stati rilevati danni alla matrice cementizia a causa dei cicli di gelo e disgelo e per l'attacco da cloruri. Al momento non vi sono segni di distacco di copriferro e/o corrosione delle armature.

Un efficiente sistema di raccolta e convogliamento delle acque superficiali è sufficiente per evitare l'esposizione degli elementi strutturali alle acque aggressive (i.e. sali disgelanti) provenienti dall'impalcato.

Le fasi operative dell'intervento relative al manufatto in oggetto sono riportate nel Computo Metrico Estimativo (CME) con riferimento al numero d'ordine (N.ord.), e di seguito elencate.

N. ord. 38 - Impermeabilizzazione di strutture in calcestruzzo mediante realizzazione di un rivestimento cementizio flessibile, polimero modificato, traspirante al vapore d'acqua, resistente all'abrasione, bicomponente, applicato a rullo od a spruzzo in due mani per uno spessore di 2 mm.

Le quantità riportate nel CME sono determinate nel documento "TAV06 – DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - MANUFATTO LIMITATORE DI MONTE CON PASSERELLA DI SERVIZIO - TRAVI C.A.P. IMPALCATO".

9.2.2 Ramo sforo ingresso cassa

9.2.2.1 Fondazione

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

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

La profondità di carbonatazione è pari a 10 mm con copriferri minimi rilevati pari a 80 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.

La classe di resistenza dei materiali esistenti risulta compatibile con quanto richiesto dalle UNI EN 206.

La profondità di carbonatazione ricade nella caso (b) riportato al par. 6.1.

Si procede alla valutazione della vita o tempo residuo con l'equazione [1].

In considerazione che la vetustà dell'opera al momento dell'indagine è di circa $t_{ind}=20$ anni è possibile determinare la vita residua in funzione del livello di carbonatazione attuale. Dalla relazione riportata si trova

$$t_{res}=20 * (80/10)^2 = 1280 \text{ anni}$$

il coefficiente di sicurezza alla carbonatazione vale

$$coeff. sic. = 1280 / (100-20) = 16$$

Il valore del tempo di penetrazione della carbonatazione per raggiungere le armature risulta superiore alla vita nominale residua della struttura ($V_{nres}=80$ anni).

In funzione della classe di esposizione non sono previsti interventi.

9.2.2.2 Strato protettivo

Valgono le considerazioni del ramo in alveo riportate al p.to 9.2.1.2

Dai rilievi effettuati non sono state rilevate armature esposte e quindi non sono previsti interventi di riparazione delle armature come sul tratto in alveo. Resta inteso, che se durante le fasi lavorative si dovesse, eventualmente, riscontrare la presenza di armature esposte, si procederà

alla riparazione secondo le modalità riportate al capitolo 8.4 relative al manufatto in alveo.

Allo stato di conoscenza attuale, le fasi dell'intervento sono riportate nel Computo Metrico Estimativo (CME) con riferimento al numero d'ordine.

N. ord. 23 - Demolizione di struttura in calcestruzzo armato con ausilio di martello demolitore meccanico.

N. ord. 24 - Trasporto dei detriti a discarica controllata.

N. ord.25/26 – Fornitura e posa in opera di calcestruzzo ad alta prestazione C50/60 per riparazione profilo idraulico e copriferri.

N. ord.27/28/29 – Utilizzo e posizionamento pompa per calcestruzzo.

Le quantità riportate nel CME sono determinate nel documento "TAV05 – DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - MANUFATTO LIMITATORE DI MONTE CON PASSERELLA DI SERVIZIO - TRATTO IN ALVEO"

9.2.2.3 Pile

Valgono le considerazioni del ramo in alveo riportate al p.to 9.2.1.4.

Le fasi operative dell'intervento relative al manufatto in oggetto sono riportate nel Computo Metrico Estimativo (CME) con riferimento al numero d'ordine (N.ord.), e di seguito elencate.

Le lavorazioni riguardano sia la pila centrale (n. ord. 36 e 37) che quelle sullo sfioro di ingresso cassa (n. ord. 34 e 35).

N. ord. 34/36 - Ricostruzione di copriferro in elementi strutturali in calcestruzzo armato mediante malta premiscelata antiritiro. Eliminazione del calcestruzzo di avvolgimento delle barre longitudinali, anche dalla parte interna per almeno 3-4 cm; - asportazione di eventuali precedenti interventi di ripristino che non risultino perfettamente aderenti; - controllo non distruttivo della zona di calcestruzzo integro e spazzolatura meccanica delle superfici; - pulizia accurata con aria compressa e/o acqua in pressione; - ricostruzione del calcestruzzo eliminato mediante applicazione a cazzuola o a spruzzo di malta o betoncino tixotropico R4 a ritiro controllato o a base di legante espansivo; - nebulizzazione di acqua durante le prime 24 ore di indurimento.

N. ord. 35/37 - Trasporto a discarica controllata dei materiali di risulta provenienti dall'eliminazione ed asportazione del calcestruzzo

Le quantità riportate nel CME sono determinate nel documento "TAV05 – DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - MANUFATTO LIMITATORE DI MONTE CON PASSERELLA DI SERVIZIO - SFIORO INGRESSO CASSA".

9.2.2.4 Travi da impalcato

Valgono le considerazioni del ramo in alveo riportate al p.to 9.2.1.5

Le fasi operative dell'intervento relative al manufatto in oggetto sono riportate nel Computo Metrico Estimativo (CME) con riferimento al numero d'ordine (N.ord.), e di seguito elencate.

N. ord. 39 - Impermeabilizzazione di strutture in calcestruzzo mediante realizzazione di un rivestimento cementizio flessibile, polimero modificato, traspirante al vapore d'acqua, resistente all'abrasione, bicomponente, applicato a rullo od a spruzzo in due mani per uno spessore di 2 mm.

Le quantità riportate nel CME sono determinate nel documento "TAV06 - DEMOLIZIONE E RIPRISTINO MATERICO - MANUFATTO LIMITATORE DI MONTE CON PASSERELLA DI SERVIZIO - TRAVI C.A.P. IMPALCATO".

10. IPOTESI DI MODALITA' ESECUTIVE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO SUI MANUFATTI IN ALVEO

Tutti gli interventi proposti dovranno essere realizzati dall'Impresa esecutrice "a regola d'arte" e nel rispetto delle norme sulla sicurezza.

Nel seguito è riportata una proposta sintetica di modalità operativa di esecuzione degli interventi previsti in progetto relativi ai manufatti in alveo.

Il getto su ogni concio di manufatto dovrà essere effettuato in un'unica giornata.

Il getto su superfici curve dovrà essere accuratamente preparato per il ripristino dei profili idraulici compromessi dall'abrasione.

Il profilo dei manufatti sarà prima modellato con "fasce guida", poste a interassi compatibili con la lunghezza della staggia (i.e. 3 o 4 mt). Le fasce saranno modellate con maschere in legno preventivamente preparate e divise per pezzi (i.e. di circa 2 mt). Il getto, operato dalla sommità sarà vibrato e steso lungo le fasce verso il basso e lisciato con staggia di tiro. Tra la preparazione delle fasce e il getto dovrà intercorrere il minimo tempo possibile, in ogni caso entrambe dovranno essere realizzate durante lo stesso giorno di getto.

I piani di lavoro potranno essere organizzati con un sistema a tubi e giunti con scala laterale. Per i dislivelli presenti sarà possibile costruire tre ripiani dislocati ad intervalli di circa 120 cm di altezza. I piani dovranno prevedere sul lato aperto un parapetto di protezione ed essere staccati dal manufatto

per meno di 20 cm. In alternativa si potranno posizionare tre *linee vita* orizzontali con doppio aggancio.

11. MONITORAGGIO E MANUTENZIONE

Gli interventi proposti sono indirizzati al ripristino materico. Tuttavia, qualsiasi intervento su una struttura esistente deve essere adeguatamente pianificato e monitorato. La variabilità delle condizioni ambientali, sia dovute a cause naturali (clima, sisma, ecc..), sia indotte da attività antropiche (scarichi industriali di agenti aggressivi nelle acque, inquinamento, traffico) possono modificare le condizioni al contorno inducendo situazioni di degrado non prevedibili.

A tal fine **è necessario stilare un fascicolo di manutenzione** che preveda un monitoraggio ordinario, con cadenze temporali determinate, e che possa consentire di controllare lo "stato di salute" dei materiali originari e quelli previsti dal nuovo intervento. L'invecchiamento delle strutture e dei materiali costituenti è un fatto ineluttabile, ma una corretta manutenzione può allungare la vita utile delle strutture. È un fatto innovativo che, con l'introduzione delle NTC2008, anche la normativa italiana ha accettato l'idea che la vita di una struttura debba finire. Questo fatto, come nel caso in esame, rappresenta un parametro necessario per pianificare lavori economicamente vantaggiosi anziché operare un "accanimento terapeutico" che, sul lungo periodo, assorba costi maggiori di quelli previsti per una sostituzione strutturale. Infine si rende opportuno evidenziare la necessità di effettuare un monitoraggio annuale e, in ogni caso, dopo ogni evento straordinario (ondate di piena, sisma, urti pesanti, ecc..), di carattere visivo, da parte un tecnico qualificato il quale possa eventualmente valutare l'opportunità di richiedere una campagna di indagini di laboratorio. Si rimarca comunque, la necessità di un'analisi al *carbon test* con cadenza annuale e sulle travi degli impalcati come dettagliato negli specifici paragrafi.

Il diagramma di flusso di fig.10.1 illustra le modalità di svolgimento delle ispezioni per il monitoraggio.

Infine si sottolinea come tutti i nuovi materiali posti in commercio sono soggetti a prove di laboratorio ma, essendo innovativi, mancano della verifica sul campo.

Infatti su tali prodotti, relativamente giovani, non sono disponibili analisi su periodi paragonabili con quelli della Vita utile delle strutture tantomeno si conosce la risposta alle evoluzioni delle situazioni ambientali che, come immaginabile, non sono, nella quasi totalità dei casi, costanti.

In virtù di tali considerazioni, il monitoraggio acquista maggiore valenza e assume una condizione di importanza primaria per capire come evolve la salute dei materiali che costituiscono i manufatti.

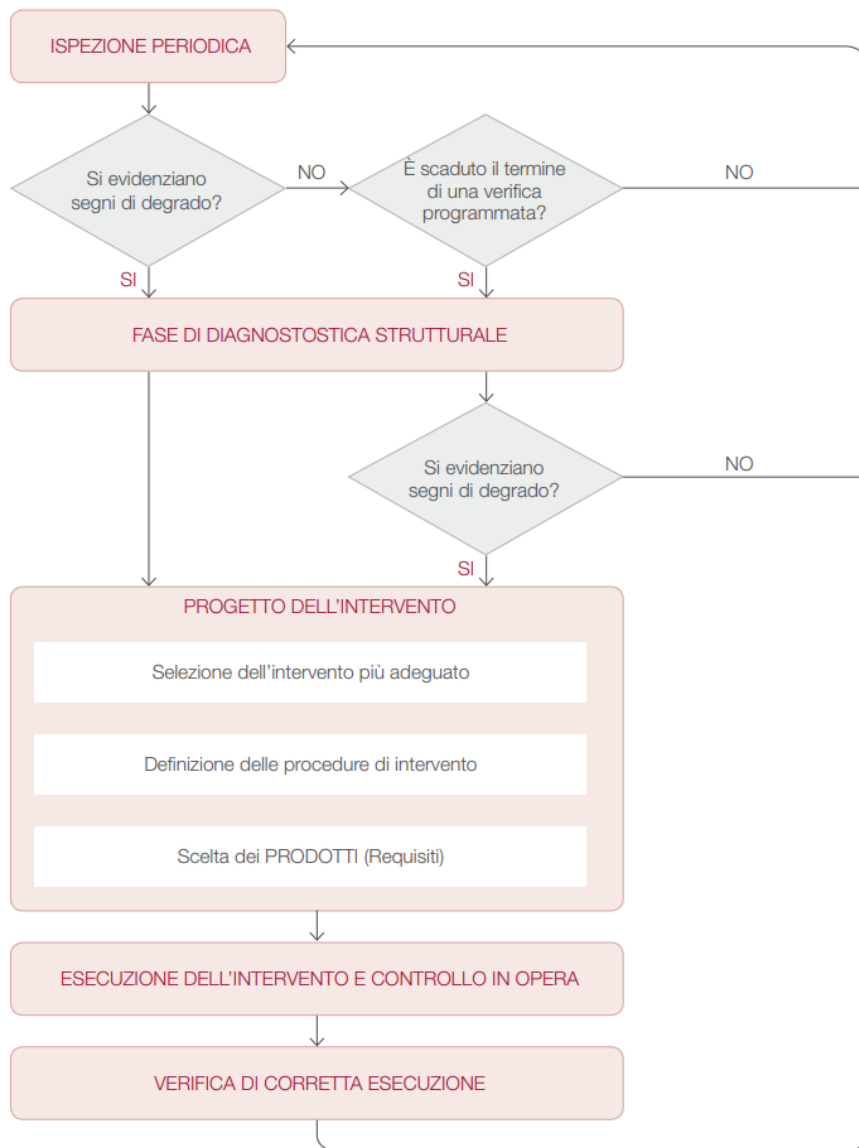


Fig.11.1 – Diagramma di flusso (o logico) per la gestione e gli interventi

12. CATEGORIA LAVORI E QUADRO ECONOMICO

I lavori sono finalizzati al ripristino delle proprietà materiche dei manufatti di monte. Tuttavia la somma stanziata per i lavori non consente di eseguire le fasi analizzate su tutte le sub-strutture. I lavori riguarderanno tutta la traversa di monte e le relative spalle. Per il manufatto limitatore si interverrà sullo sfioro in alveo, sulla trave laminatrice, sulle pile, sulle travi in c.a.p. dell'impalcato, e sullo sfioro di ingresso cassa. Saranno esclusi i lavori sulle spalle, sullo sfioro di troppo pieno e sulla soletta dell'impalcato. Si riporta a seguire il riepilogo delle categorie.

RIEPILOGO CATEGORIE LAVORI				
N. ord.	DESCRIZIONE	ONERI	PARZ	PERC. %
1	TRAVERSA DI MONTE ALI E GAVETA	€ 27.128,35		
2		€ 4.050,38		
3		€ 8.894,49		
4		€ 2.500,83		
5		€ 14.691,57		
6		€ 22.140,16		
7		€ 885,50		
8		€ 253,00		
9		€ 639,53		
			€ 81.183,81	26,17%
10	TRAVERSA DI MONTE SPALLA DX	€ 7.885,99		
11		€ 457,63		
			€ 8.343,62	2,69%
12	TRAVERSA DI MONTE SPALLA SX	€ 8.393,37		
13		€ 486,95		
			€ 8.880,32	2,86%
14	MANUFATTO LIMITATORE RAMO IN ALVEO	€ 22.859,16		
15		€ 3.412,97		
16		€ 7.494,76		
17		€ 2.107,28		
18		€ 12.379,56		
19		€ 18.655,96		
20		€ 885,50		
21		€ 253,00		
22		€ 538,89		
			€ 68.587,08	22,11%
23	MANUFATTO LIMITATORE INGRESSO CASSA	€ 22.543,64		
24		€ 3.365,86		
25		€ 12.208,69		
26		€ 18.398,46		
27		€ 885,50		
28		€ 253,00		
29		€ 531,45		
			€ 58.186,60	18,75%
30	MANUFATTO LIMITATORE TRAVE LAMINATRICE	€ 38.207,77		
31		€ 2.216,99		
			€ 40.424,76	13,03%
32	MANUFATTO LIMITATORE PILE IN ALVEO	€ 3.662,63		
33		€ 212,47		
			€ 3.875,10	1,25%
34	MANUFATTO LIMITATORE PILE IN ALVEO	€ 7.734,21		
35		€ 448,97		
			€ 8.183,18	2,64%
36	MANUFATTO LIMITATORE PILE INGRESSO CASSA	€ 5.259,65		
37		€ 305,24		
			€ 5.564,89	1,79%
38	MANUFATTO LIMITATORE TRAVI CAP RAMO IN ALVEO	€ 12.291,50	€ 12.291,50	3,96%
39	MANUFATTO LIMITATORE TRAVI CAP INGRESSO CASSA	€ 14.749,80	€ 14.749,80	4,75%
		TOTALE	€ 310.270,66	100,00%

Fig.12.1 – Riepilogo categorie lavori

Infine si riporta a seguire il quadro economico.

A) LAVORI:	
per lavori a base d'asta soggetti a ribasso	€ 310.270,66
per oneri di sicurezza (non soggetti a ribasso):	€ 13.655,03
IMPORTO TOTALE	€ 323.925,69
B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMM.NE:	
per rivalsa I.V.A. 22%	€ 71.263,65
per contributo ANAC	€ 225,00
per incentivo funzioni tecniche art. 113 del dD.Lgs. 50/2016 2%	€ 6.478,51
per coordinamento sicurezza in fase di progettazione e esecuzione	€ 14.237,12
per incarico progettazione	€ 48.779,21
per prove sulle strutture	€ 34.065,61
fornitura digitalizzazione copie progetto	€ 1.025,20
per imprevisti ed eventuali opere complementari	€ 0,00
IMPORTO SOMME A DISPOSIZIONE	€ 176.074,31
IMPORTO TOTALE DI PERIZIA:	€ 500.000,00

Fig.12.2 – Quadro economico