

RELAZIONE SULL'ANALISI E VERIFICA STRUTTURALE DEI MANUFATTI ESISTENTI DEL TORRENTE CARRIONE A CARRARA - TRATTO 12 -

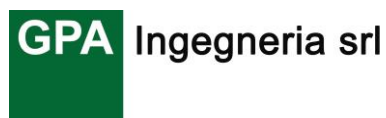
Progetto: Studio di Fattibilità
Commessa: C15003
Cliente: REGIONE TOSCANA - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile
Oggetto: Analisi Strutturale dei Manufatti di Contenimento Laterali e Trasversali del torrente "Carrione". Valutazione dello Stato Attuale e Proposte di Intervento.
N. Elaborato: 02.RG.04.12

PROGETTISTA RESPONSABILE

Dott. Ing. Giovanni Cardinale

GRUPPO DI LAVORO

Strutture: Ing. Maria Letizia Pecora



**AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV
= UNI EN ISO 9001:2008 =**

2	Emissione	M.L.P.	G.C.	G.C.	22.04.2016
1	Emissione	M.L.P.	G.C.	G.C.	10.03.2016
0	Emissione	M.L.P.	G.C.	G.C.	29.01.2016
REV	DESCRIZIONE	Eseguito	Controllato	Approvato	DATA

Sommario

1	Premessa	4
2	Scopo	4
3	Quadro Conoscitivo Tratto 12	4
3.1	Descrizione Sintetica Opere Spondali	4
3.2	Nota sugli Interventi eseguiti e/o in esecuzione	5
3.3	Osservazioni Preliminari	6
4	Analisi e Verifica Strutturale preliminare delle opere arginali	7
4.1	Quadro normativo di riferimento	7
4.2	Condizioni di carico	8
4.3	Caratteristiche dei materiali e Geometria delle opere strutturali	8
4.4	Verifica Sopralzo in c.a. sinistra idraulica (rif. scheda 88 – sez.105).....	9
4.4.1	Caratteristiche dei materiali	9
4.4.2	Ferri di armatura	10
4.4.3	Verifiche del sopralzo in c.a.....	11
4.5	Verifica Muro in cls sinistra idraulica (rif. scheda 88 – sez.105)	12
4.5.1	Caratteristiche dei materiali	12
4.5.2	Verifiche del muro a gravità	13
4.6	Verifica Sopralzi in c.a. destra idraulica (rif. scheda 89 – sez.105).....	14
4.6.1	Caratteristiche dei materiali II° sopralzo	14
4.6.2	Ferri di armatura II° sopralzo	15
4.6.3	Verifiche del II° sopralzo in c.a.	16
4.6.4	Caratteristiche dei materiali I° sopralzo	17
4.6.5	Ferri di armatura I° sopralzo	17
4.6.6	Verifiche del I° sopralzo in c.a.	18
4.6.7	Caratteristiche dei materiali Muro di base	19
4.6.8	Verifiche del muro a gravità	19
4.7	Verifica Muro in pietra destra idraulica (rif. scheda 90 – sez.100)	20
4.7.1	Caratteristiche dei materiali	20
4.7.2	Verifiche del muro in pietrame.....	22
4.8	Verifica Muro in pietra sinistra idraulica (rif. scheda 91 – sez.100)	24



4.8.1	Caratteristiche dei materiali	24
4.8.2	Verifiche del muro in pietrame	26
4.9	Berlinese sinistra e destra idraulica (rif. sez.104 – sez. 106)	28
5	Conclusioni	32

1 Premessa

Le analisi che seguono si inquadrano nel carattere di “Studio di Fattibilità” di cui all’incarico ricevuto.

2 Scopo

Dare una valutazione in merito al margine di sicurezza dei manufatti arginali in destra e sinistra idrografica del torrente Carrione nel Comune di Carrara (MS) – Tratto 12.

3 Quadro Conoscitivo Tratto 12

TRATTO = 12

LOCALIZZAZIONE = dal ponte di via San Martino al ponte di via Apuana

LUNGHEZZA TRATTO = 500 m

3.1 Descrizione Sintetica Opere Spondali

Di seguito viene riportata una descrizione sintetica delle opere spondali presenti in destra e sinistra idraulica del Tratto 12. L'elenco delle tipologie spondali viene fatto a partire da valle fino ad arrivare a monte del tratto in questione. Il tratto 12 del torrente attraversa il centro storico di Carrara dove le difese spondali spesso coincidono con gli edifici esistenti o con vecchi muri in pietrame; in molti casi l'alternanza delle tipologie spondali è molto eterogenea e non chiaramente distinguibile.

Destra Idraulica

- “Fabbricati Argine” alternati a Muri in pietrame esistenti;
- Muro a gravità esistente con due sopralzi in c.a. realizzati in epoche diverse e Cordolo Berlinese alla base del muro + Scogliera (Riferimento Pratica Sismica N. 44/2010 I° variante 20/12/2012);
- “Fabbricato Argine” e Cordolo Berlinese alla base del muro + Scogliera (Riferimento Pratica Sismica N. 44/2010 I° variante 20/12/2012);
- Muro in c.a. e Cordolo Berlinese alla base del muro + Scogliera (Riferimento Pratica Sismica N. 44/2010 I° variante 20/12/2012).

Sinistra Idraulica

- “Fabbricati Argine” alternati a Muri in pietrame esistenti;
- Muro a gravità esistente con sopralzo in c.a. e Cordolo Berlinese alla base del muro + Scogliera (Riferimento Pratica Sismica N. 44/2010 I° variante 20/12/2012).

3.2 Nota sugli Interventi eseguiti e/o in esecuzione

Di seguito viene riportata una descrizione sintetica degli interventi eseguiti e/o in esecuzione in riferimento alle opere spondali presenti in destra e sinistra idraulica del Tratto 12.

PRATICHE SISIMICHE**N. 44/2010 e variante del 20/12/2012 e del 14/07/2014**

Risagomazione alveo torrente Carrione – lotto valle.

L'intervento principale consta nell'abbassamento del piano di fondo dell'alveo attraverso berlinesi (a cavalletto) da cui risulta contrastata e vincolata agli spostamenti orizzontali dei cordoli di sommità con pali a compressione e a trazione sia verticali che inclinati. Ove possibile sono previsti in alternativa ai pali inclinati i tiranti in roccia e pali verticali. Sono previsti anche rialzi di muri esistenti laddove la sottostruttura non risulta verificata alle azioni dovute alla spinta idraulica della massima piena e del franco.

Con la prima variante del 20/12/2012 è stata revisionata la soluzione tecnica originale della berlinese abbandonando l'impiego diffuso di tiranti attivi (che avrebbero potuto indurre sforzi indesiderati nelle murature dei fabbricati prospicienti l'alveo) sostituendoli con tiranti passivi.

Un altro intervento riguarda l'adeguamento del livello del fondo alveo di progetto in corrispondenza del Ponte Baroncino attraverso la posa in opera, su entrambe le spalle, di micropali. Con la II° variante del 14/07/2014, è stata adottata una perforazione di minor diametro armandola con anima d'acciaio ad altissima resistenza in modo da avere un sistema di trasferimento dei carichi verticali che, a parità di efficienza rispetto al progetto originale, avesse una geometria più diffusa.

Pratica Sismica	Descrizione	Committente	FL	Collaudo	N.Omologazione
P.S. 44/2010	Progetto di lavori di risagomazione alveo Torrente Carrione nel centro storico di Carrara - Lotto Valle	Comune di Carrara			
Var I 20/12/12					
Var II 14/07/14					

3.3 Osservazioni Preliminari

Il tratto 12 interessa il centro di Carrara.

Nel tratto sono presenti arginature continue in muratura su entrambe le sponde, con presenza di discontinuità di tipologie costruttive e materiali, realizzati in epoche diverse. Nel tratto recentemente era stato aperto un cantiere, ente attuatore Comune di Carrara, interessante rialzi dei muri esistenti e consolidamento delle fondazioni. La presenza di "Fabbricati Argine" alternati a Muri in pietrame esistenti è spesso legata a criticità riscontrabili in termini di stabilità, resistenza, infiltrazione e tenuta alle portate del torrente.

Il presente tratto è stato recentemente oggetto di lavori sulle arginature con innalzamento dei muri di sponda e consolidamento delle fondazioni.

Criticità riscontrate da valle verso monte:

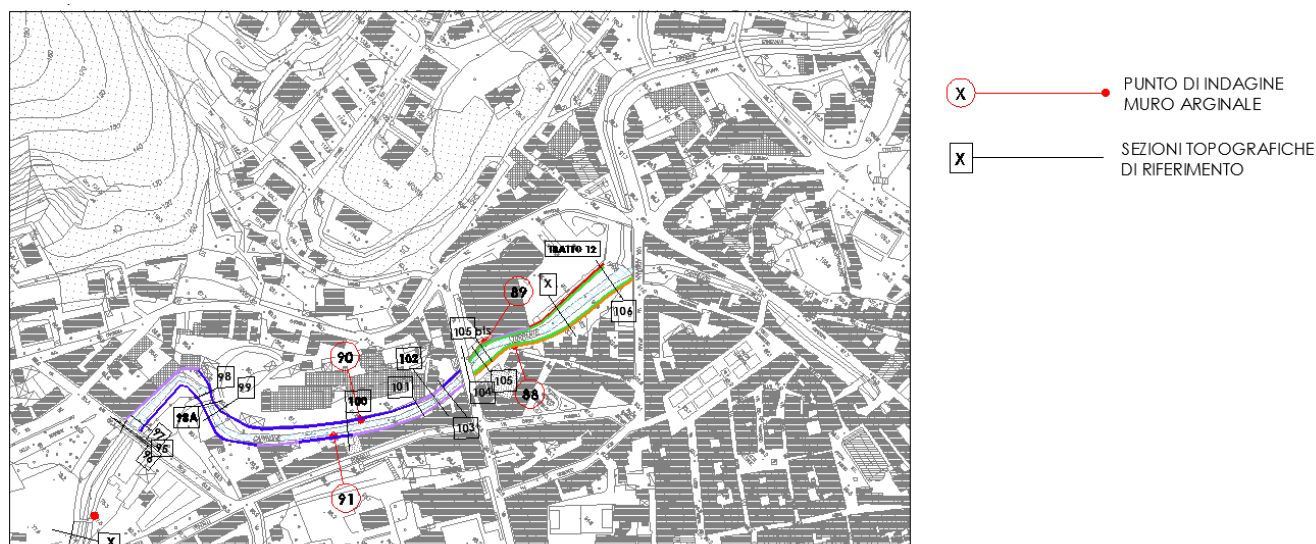
- Rottura vecchio muro in cls con conseguente rischio di ribaltamento in sinistra idraulica. Analoga rottura si riscontra anche in destra idraulica.
- Presenza di muri d'argine di altezza insufficiente.
- Muri esistenti in pietra costituiti da materiale eterogeneo e con visibili discontinuità e aperture. Tali arginature hanno perso la loro capacità di impermeabilità e contenimento delle acque.
- Presenza di storica passerella in pietra (ponte romano) con visibile erosione all'attacco della stessa su muro di destra idraulica. E' inoltre visibile il sormonto delle arginature sia in destra idraulica che sinistra.

Visibili scalzamenti e erosioni spondali nei tratti in cui erano state eseguite sottofondazioni e protezioni dei muri d'argine esistenti. Scalzamento al piede della scogliera a protezione della fondazione del muro. Allo stato attuale non si riscontrano danni alle strutture. Intervento di Somma Urgenza Chiuso **S.U.C. N. 8** - Zona: S. Martino - Tipo Intervento: Sottofondazione scogliera e tamponamento muro sponda dx. - Ente: Provincia MS.

- Mancanza di completamento della tirantatura della sottofondazione in costruzione e visibili lesioni sui muri d'argine soprastanti. Evidente fessurazione in sinistra idraulica nella parte sottostante del muro d'argine a gravità con sopralzo in c.a..
- Presenza di sovralluvionamento in corrispondenza dell'immissione del T.Gagnana nel T. Carrione. Tale sovralluvionamento è conseguente sia al trasporto solido del Torrente in seguito all'evento alluvionale del novembre 2014, sia alla presenza di rampe per accesso all'alveo che erano state realizzate per i lavori nel tratto in oggetto.
- Presenza di parcheggio interrato in destra idraulica potenzialmente sottoposto a rischio idraulico.

4 Analisi e Verifica Strutturale preliminare delle opere arginali

A seguire si riportano le verifiche preliminari relative alla sicurezza strutturale dei manufatti d'argine esistenti in sinistra e destra idraulica del torrente Carrione nel Comune di Carrara (MS) – Tratto 12.



LEGENDA

TIPOLOGIE DIFESE SPONDALE - STATO DI FATTO:

- FABBRICATI
- CORDOLO BERLINESE + SCOGLIERA cfr.44/2010 - P variante
- MURO IN PIETRA ESISTENTE
- MURO IN C.A.
- MURO A GRAVITA' CON 2 SOPRALZI IN C.A.
- MURO A GRAVITA' CON SOPRALZO IN C.A.

Fig. 1 – Inquadramento tratto 12

4.1 Quadro normativo di riferimento

- 1) Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 14.01.2008
- 2) Circolare esplicativa Nuove norme tecniche per le costruzioni DM 14.01.2008, n° 617 del 02.02.2009

4.2 Condizioni di carico

Si considerano le strutture arginali soggette ai seguenti carichi:

- spinta dell'acqua sotto l'azione del massimo livello di piena;
- spinta del terreno;
- sovraccarichi dove presenti.

4.3 Caratteristiche dei materiali e Geometria delle opere strutturali

I materiali e la geometria delle opere strutturali vengono caratterizzati sulla base dell'elaborazione dei risultati ottenuti dalle indagini conoscitive eseguite dal Laboratorio Sigma Etruria s.r.l. incaricato dalla Regione Toscana (prove diagnostiche in sito e in laboratorio + rilievi topografici).

4.4 Verifica Sopralzo in c.a. sinistra idraulica (rif. scheda 88 – sez.105)

Si tratta di un muro di sopralzo in c.a. su muro a gravità in cls esistente.

Dalle indagini in sito effettuate dal laboratorio Sigma la geometria rilevata è la seguente.

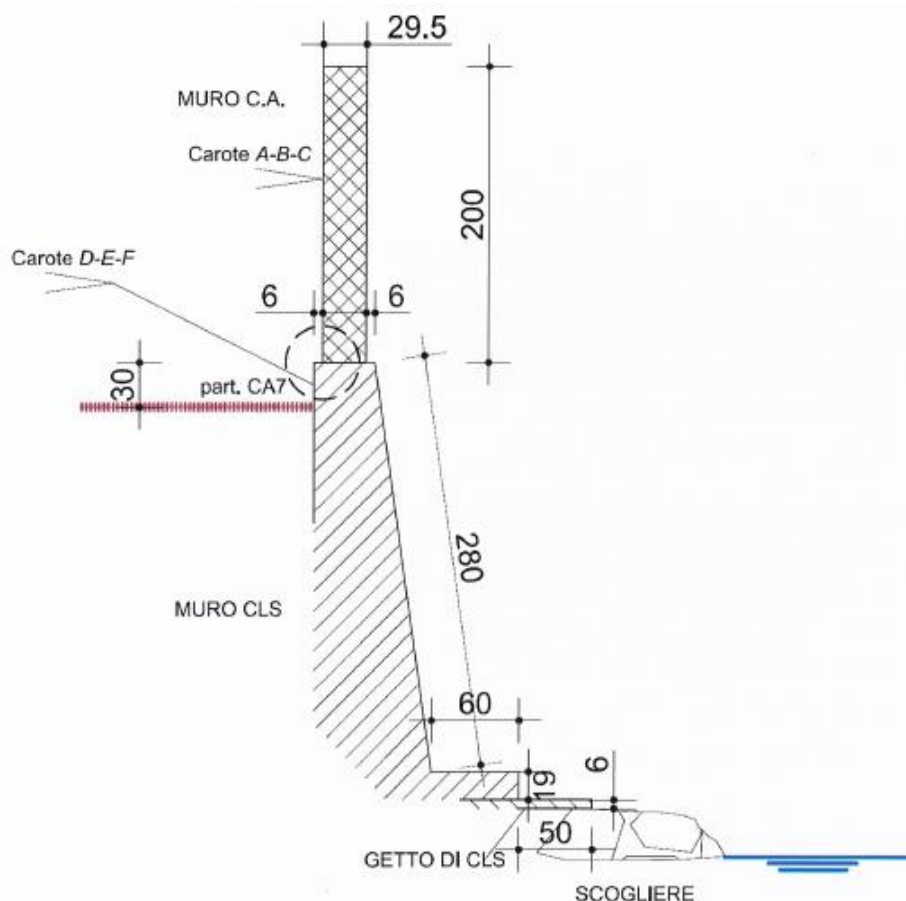


Fig. 2 – Sezione tipologica strutturale

4.4.1 Caratteristiche dei materiali

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove diagnostiche in sito (prove sonreb) e in laboratorio (prove a rottura sui provini ottenuti dalle carote), si può preliminarmente considerare il calcestruzzo con cui è stato realizzato il sopralzo in c.a. di buone caratteristiche (si faccia riferimento a tal proposito alle schede di elaborazione dei risultati delle indagini in sito allegate a questo documento).

RESISTENZA MEDIA [N/mm ²]	
fcm	39,25

Resistenza di calcolo

$$\begin{aligned} FC &= 1,2 \\ f_{cm}/FC &= 32,70 \end{aligned}$$

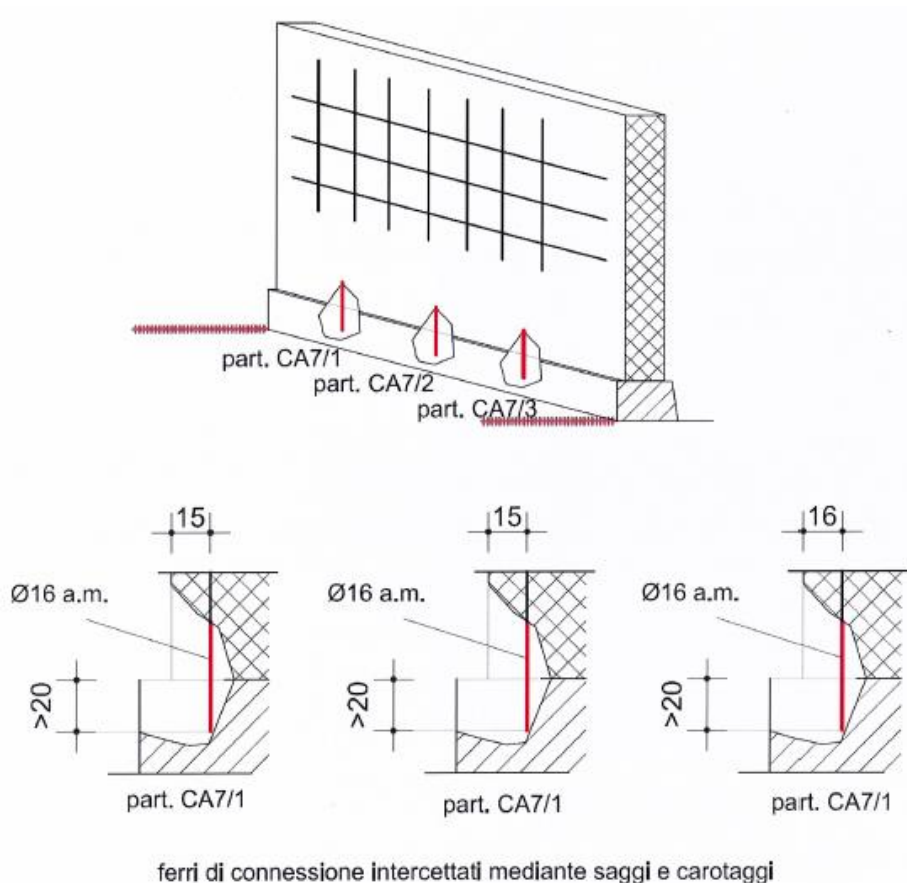
4.4.2 Ferri di armatura

La presenza dei ferri di armatura è stata evidenziata da indagine pacometrica.

Armatura verticale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 20 cm.

Armatura orizzontale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 20 cm.

Ferri di inghisaggio: rilevati $\Phi 16$ passo 20 cm L ancoraggio > 20 cm.



4.4.3 Verifiche del sopralzo in c.a.

Per le verifiche del sopralzo in c.a. si ottengono i seguenti risultati.

AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Qw - Spinta H2O	20,00
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	15,00

Momento ribaltante (STR): $M_{soll} = 20,00 \text{ kNm/m}$

Verifica della sezione in c.a. – Stato Limite Ultimo Strutturale $\rightarrow FS = M_{res}/M_{soll} = 57,93 / 20,00 = 2,9 > 1 \rightarrow \text{OK}$

Verifica Ferri di connessione al muro sottostante in cls

Si esegue la verifica con i ferri di inghisaggio rilevati: $\Phi 16$ Lancoraggio $> 20 \text{ cm}$.

$M_{soll} \text{ (SLU)} = 20,00 \text{ kNm}$

$M_{res} = 90,65 \text{ kN}$

$FS = M_{res}/M_{soll} = 90,65 / 20,00 = 4,53 > 1 \rightarrow \text{OK}$

Verifica a taglio Ferri di connessione (tranciamento):

$T/A = 30 \text{ kN} / 2,01 \cdot 5 \text{ cmq} = 30 \text{ N/mmq} < f_{yd} / \sqrt{3} = 215,8 \text{ N/mmq} \rightarrow \text{OK}$

4.5 Verifica Muro in cls sinistra idraulica (rif. scheda 88 – sez.105)

Si tratta di un muro in cls a gravità con sopralzo in c.a..

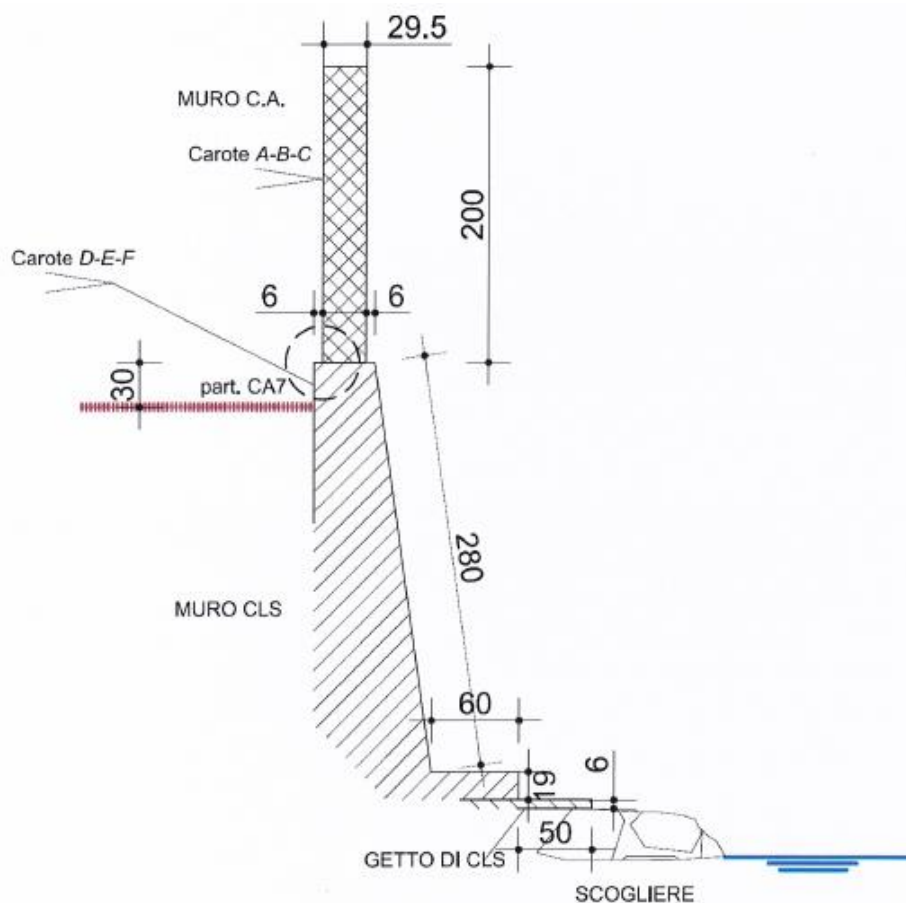


Fig. 3 – Sezione tipologica strutturale

4.5.1 Caratteristiche dei materiali

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove diagnostiche in sito (prove sonreb) e in laboratorio (prove a rottura sui provini ottenuti dalle carote), si può preliminarmente considerare il calcestruzzo con cui è stato realizzato il muro in cls di buone caratteristiche (si faccia riferimento a tal proposito alle schede di elaborazione dei risultati delle indagini in sito allegate a questo documento).

RESISTENZA MEDIA [N/mm ²]	
fcm	24,25

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
fcm/FC =	20,21

4.5.2 Verifiche del muro a gravità

Per le verifiche del muro a gravità si ottengono i seguenti risultati, considerando lo spessore del muro come da rilievo in sito (in assenza però di perforazioni lungo la sua estensione per verificarne l'effettiva profondità).

	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	0,10
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	0,13
Qw - Spinta H2O	125,37
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	52,92
Ws - Peso proprio sopralzo	15,00
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	98,96
Spinta passiva del terreno strada (M2)	80,63

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2		
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	313,91
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	87,32
	FS [-]	0,28 < 1
		NO

VERIFICA ALLO SLITTAMENTO - APPROCCIO 2		A1+M1+R3	
$\delta k = \Phi'$ (M1)		24,00	
$\tan \delta k / \gamma r$		0,40	
AZIONI DI PROGETTO [kN/m] (A1 sfav. di STR)	Td [kN/m]	89,24	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	35,65	
	FS [-]	0,40 < 1	NO

Con la geometria rilevata in sito, il muro in cls a gravità non risulta avere i coefficienti di sicurezza stabiliti dalle NTC 2008 con riferimento alla massima quota di piena all'estradosso del sopralzo.

Criticità: si segnala un'evidente fessurazione in sinistra idraulica nella parte sottostante del muro d'argine a gravità con sopralzo in c.a..

4.6 Verifica Sopralzi in c.a. destra idraulica (rif. scheda 89 – sez.105)

Si tratta di un muro a gravità in cls esistente con due sopralzi in c.a..

Dalle indagini in sito effettuate dal laboratorio Sigma la geometria rilevata è la seguente.

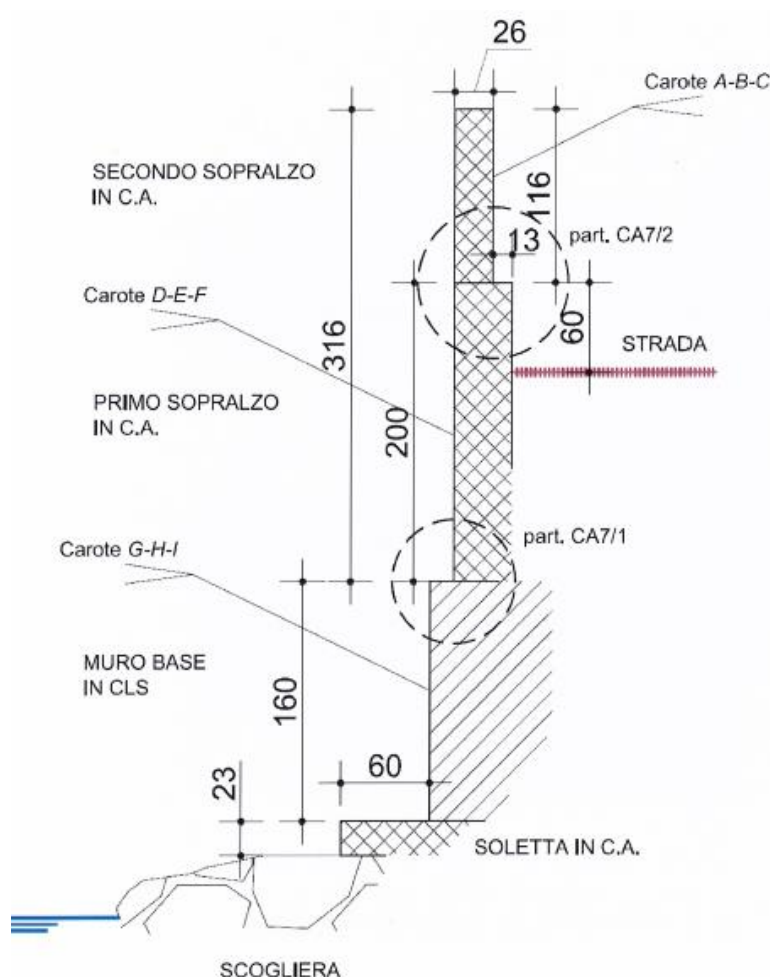


Fig. 4 – Sezione tipologica strutturale

4.6.1 Caratteristiche dei materiali II° sopralzo

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove diagnostiche in sito (prove sonreb) e in laboratorio (prove a rottura sui provini ottenuti dalle carote), si può preliminarmente considerare il calcestruzzo con cui è stato realizzato il II° sopralzo in c.a di buone caratteristiche (si faccia riferimento a tal proposito alle schede di elaborazione dei risultati delle indagini in sito allegate a questo documento).

RESISTENZA MEDIA [N/mm ²]	
fcm	49,05

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
fcm/FC =	40,87

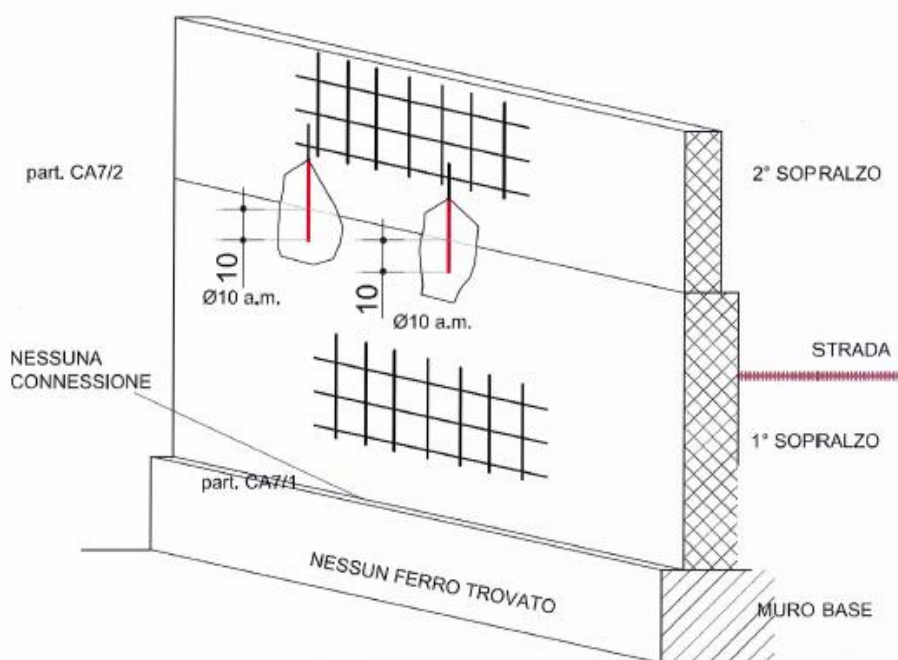
4.6.2 Ferri di armatura II° sopralzo

La presenza dei ferri di armatura è stata evidenziata da indagine pacometrica.

Armatura verticale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 30 cm.

Armatura orizzontale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 30 cm.

Ferri di inghisaggio con il primo sopralzo: rilevati $\Phi 10$ passo 30 cm L ancoraggio = 10 cm.



4.6.3 Verifiche del II° sopralzo in c.a.

Per le verifiche del II° sopralzo in c.a. si ottengono i seguenti risultati.

AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Qw - Spinta H2O	6,73
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	7,54

Momento ribaltante (STR): $M_{soll} = 3,9 \text{ kNm/m}$

Verifica della sezione in c.a. – Stato Limite Ultimo Strutturale $\rightarrow FS = M_{res}/M_{soll} = 31,46 / 3,90 = 8,1 > 1 \rightarrow \text{OK}$

Verifica Ferri di connessione al muro sottostante in cls

Si esegue la verifica con i ferri di inghisaggio rilevati: $\Phi 10$ Lancoraggio = 10 cm.

$M_{soll} \text{ (SLU)} = 3,90 \text{ kNm}$

$M_{res} = 20,91 \text{ kN}$

$FS = M_{res}/M_{soll} = 20,91 / 3,90 = 5,4 > 1 \rightarrow \text{OK}$

Verifica a taglio Ferri di connessione (tranciamento):

$T/A = 10,1 \text{ kN} / 0,4 \cdot 3 \text{ cmq} = 84,2 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} / \sqrt{3} = 215,8 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$

4.6.4 Caratteristiche dei materiali I° sopralzo

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove diagnostiche in sito (prove sonreb) e in laboratorio (prove a rottura sui provini ottenuti dalle carote), si può preliminarmente considerare il calcestruzzo con cui è stato realizzato il I° sopralzo in c.a di buone caratteristiche (si faccia riferimento a tal proposito alle schede di elaborazione dei risultati delle indagini in sito allegate a questo documento).

RESISTENZA MEDIA [N/mm²]	
f_{cm}	24,54

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
f _{cm} /FC =	20,45

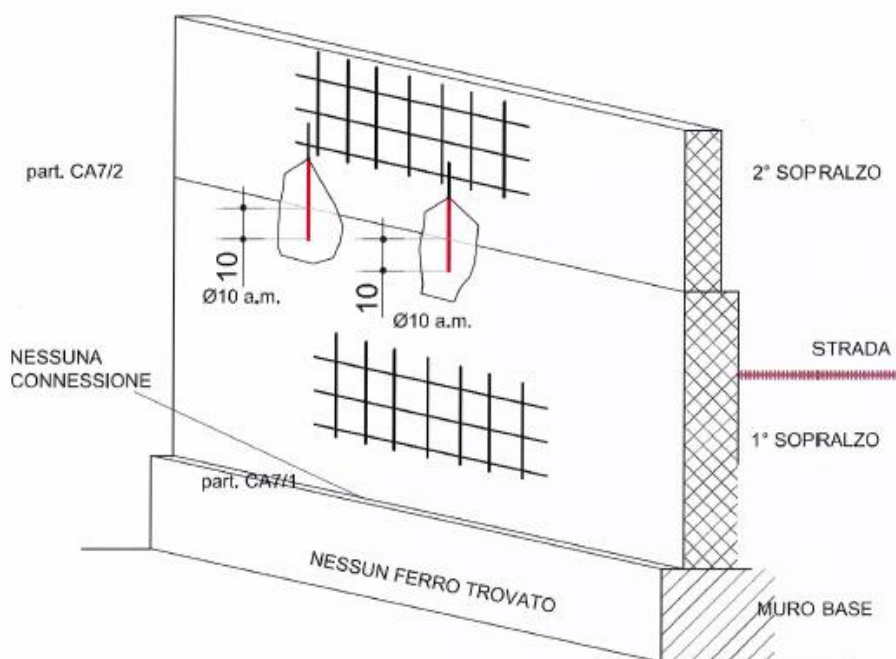
4.6.5 Ferri di armatura I° sopralzo

La presenza dei ferri di armatura è stata evidenziata da indagine pacometrica.

Armatura verticale rilevata: Ferri Ø12 passo 30 cm.

Armatura orizzontale rilevata: Ferri Ø12 passo 25 cm.

Ferri di inghisaggio con il muro di base: **NESSUNA ARMATURA RILEVATA.**



4.6.6 Verifiche del I° sopralzo in c.a.

Per le verifiche del II° sopralzo in c.a. si ottengono i seguenti risultati.

AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Qw - Spinta H2O	49,93
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	20,00
Ws - Peso proprio sopralzo	7,54
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	19,75
Spinta passiva del terreno strada (M2)	16,74

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	78,89	NO
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	12,40	
	FS [-]	0,16 < 1	

VERIFICA ALLO SLITTAMENTO - APPROCCIO 2		A1+M1+R3	
$\delta k = \Phi'$ (M1)	24,00		NO
$\tan \delta k / \gamma r$	0,40		
AZIONI DI PROGETTO [kN/m] (A1 sfav. di STR)	Td [kN/m]	55,14	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	11,15	
	FS [-]	0,20 < 1	

Verifica della sezione in c.a. – Stato Limite Ultimo Strutturale $\rightarrow FS = M_{res}/M_{soll} = 57,87 / 69,67 = 0,83$
 $< 1 \rightarrow$ **NO**

4.6.7 Caratteristiche dei materiali Muro di base

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove diagnostiche in sito (prove sclerometriche), si può preliminarmente considerare il calcestruzzo con cui è stato realizzato il muro in cls di base di scarsa qualità (si faccia riferimento a tal proposito alle schede di elaborazione dei risultati delle indagini in sito allegate a questo documento).

RESISTENZA MEDIA [N/mm ²]	
fcm	9,29

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
fcm/FC =	7,74

Il muro di base risulta non armato e di materiale scadente.

4.6.8 Verifiche del muro a gravità

Non avendo informazioni dettagliate relative alla geometria del muro (spessore del muro in cls, geometria fondazione), le verifiche di sicurezza non possono essere condotte poiché le assunzioni ipotizzate darebbero luogo ad approssimazioni eccessive.

Si segnala però la criticità del calcestruzzo di qualità scadente che può compromettere la sicurezza strutturale dell'opera. In particolare l'opera in oggetto però, con le caratteristiche tipologiche e le proprietà del materiale rilevato, risulta non essere adeguata a sopportare le azioni sismiche in accordo alle nuove norme tecniche sulle costruzioni NTC 2008.

4.7 Verifica Muro in pietra destra idraulica (rif. scheda 90 – sez.100)

Si tratta di un muro in pietra.

Dalle indagini in sito effettuate dal laboratorio Sigma la geometria rilevata è la seguente.

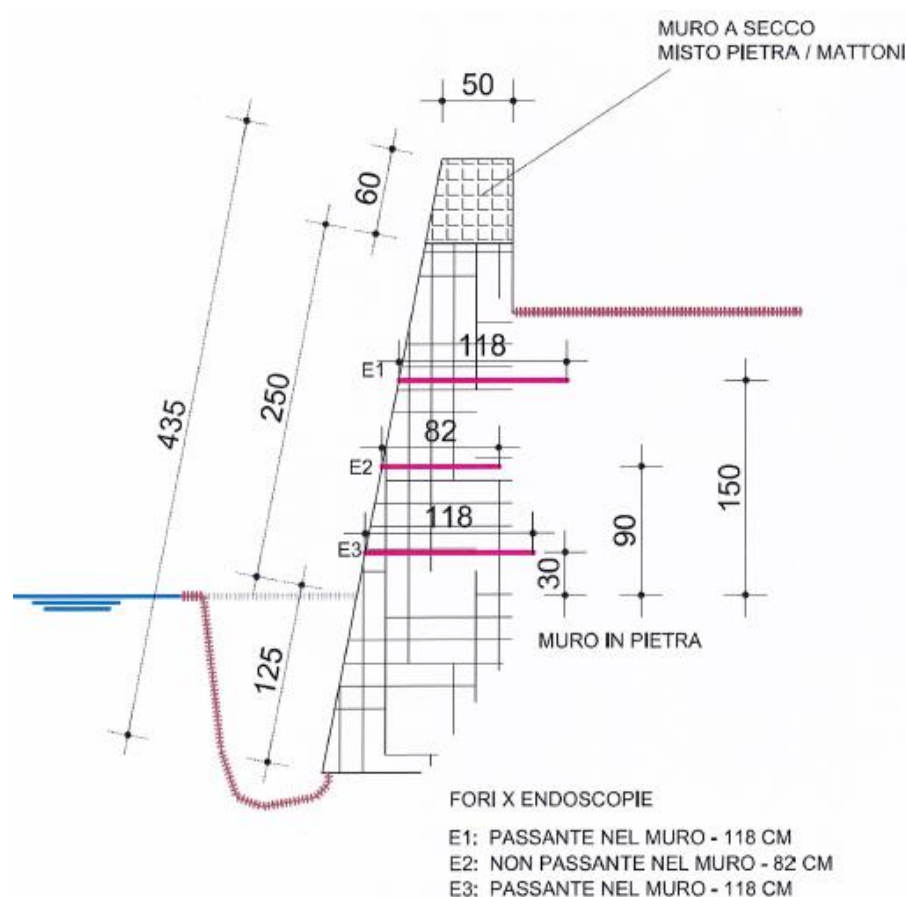


Fig. 5 – Sezione tipologica strutturale

4.7.1 Caratteristiche dei materiali

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove diagnostiche in sito (prove pnt-g sulla malta + endoscopia), la malta non è stata rilevata e la tipologia di muratura in oggetto può essere classificata come "Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)". Pertanto le caratteristiche del mariale costituente il muro in oggetto risultano scadenti.

Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; f_m = resistenza media a compressione della muratura, τ_0 = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

ENDOSCOPIE	E1		E2		E3	
Profondità [cm]	0-110	> 110	0-80	> 80	0-116	> 116
Materiale	muro pietra	terreno	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra

4.7.2 Verifiche del muro in pietra

Le indagini in sito non hanno rilevato dettagliatamente la geometria del muro, in particolare non è stato rilevato lo stato antistante il muro (lato opposto alveo). A tal proposito si fa riferimento alla sezione topografica di riferimento (n.100) con le necessarie approssimazioni.

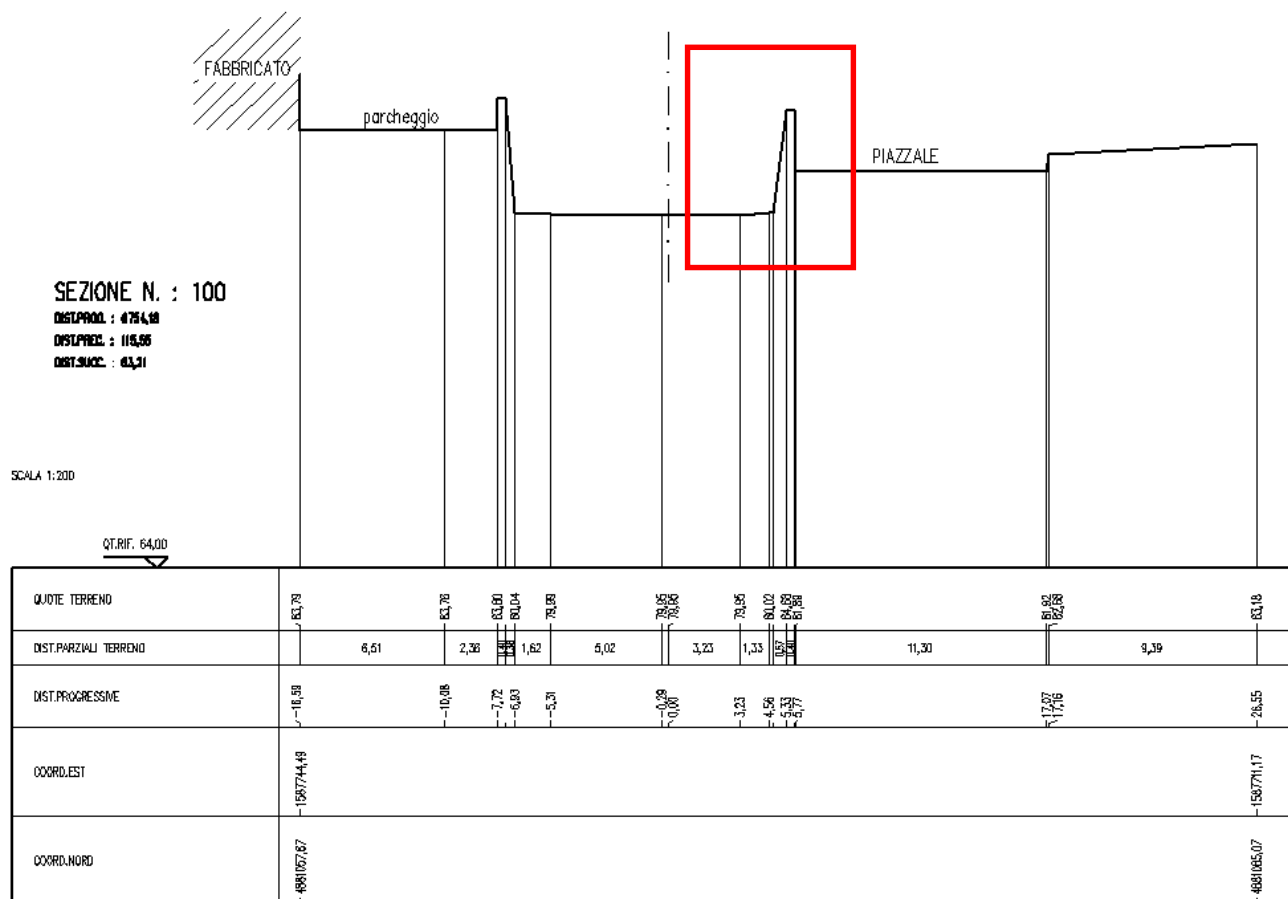


Fig. 6 – Sezione topografica – Sez. 100

Per le verifiche del muro in pietrame si ottengono i seguenti risultati.

	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	2,53
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	3,10
Qw - Spinta H2O	91,76
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	71,44
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	70,42
Spinta passiva del terreno strada (M2)	57,37

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	197,94	
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	69,27	
	FS [-]	0,35 < 1	NO

VERIFICA ALLO SLITTAMENTO - APPROCCIO 2	A1+M1+R3	
$\delta k = \Phi'$ (M1)	30,00	
$\tan \delta k / \gamma r$	0,52	
AZIONI DI PROGETTO [kN/m] (A1 sfav. di STR)	Td [kN/m]	70,50
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	37,50
	FS [-]	0,53 < 1
		NO

L'opera in oggetto però, con le caratteristiche tipologiche e le proprietà del materiale rilevato, risulta non essere adeguata a sopportare le azioni sismiche in accordo alle nuove norme tecniche sulle costruzioni NTC 2008.

4.8 Verifica Muro in pietra sinistra idraulica (rif. scheda 91 – sez.100)

Si tratta di un muro in pietra.

Dalle indagini in sito effettuate dal laboratorio Sigma la geometria rilevata è la seguente.

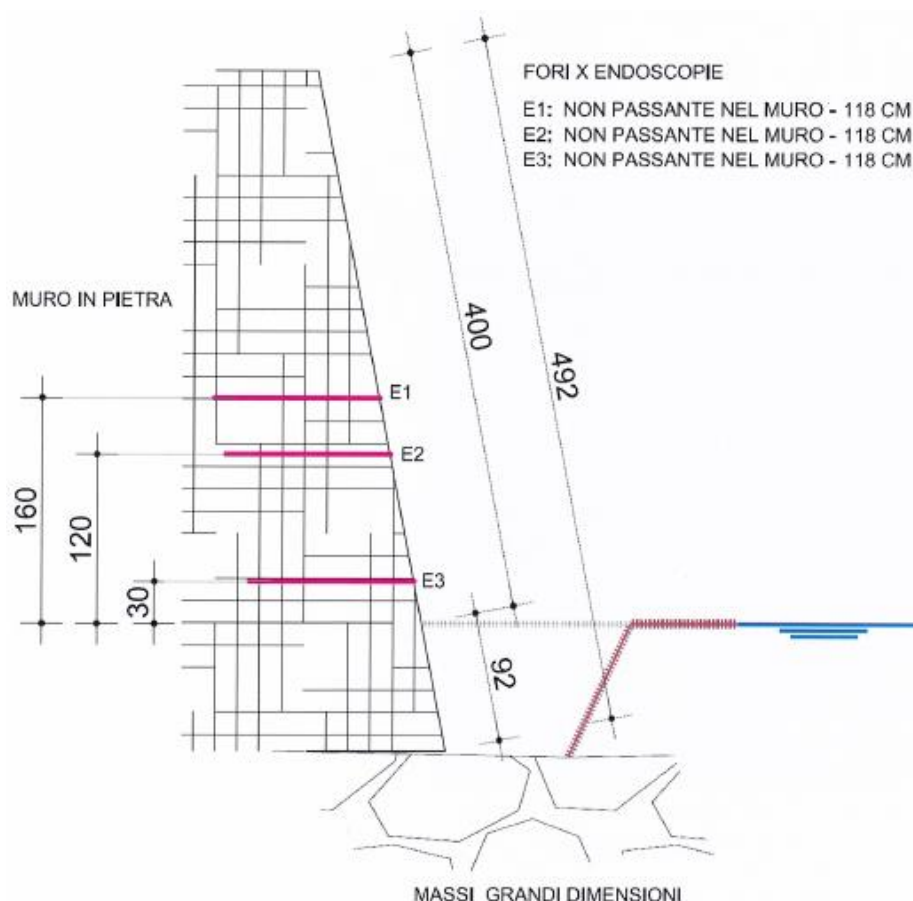


Fig. 7 – Sezione tipologica strutturale

4.8.1 Caratteristiche dei materiali

Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove diagnostiche in sito (prove pnt-g sulla malta + endoscopie), la malta non è stata rilevata e la tipologia di muratura in oggetto può essere classificata come "Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)". Pertanto le caratteristiche del materiale costituente il muro in oggetto risultano scadenti.

Tabella C8A.2.1 - Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni: malta di caratteristiche scarse, assenza di ricorsi (listature), paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata, tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte; f_m = resistenza media a compressione della muratura, τ_0 = resistenza media a taglio della muratura, E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio della muratura

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	τ_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

ENDOSCOPIE	E1		E2		E3	
Profondità [cm]	0-118	> 118	0-118	> 118	0-118	> 118
Materiale	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra

4.8.2 Verifiche del muro in pietrame

Le indagini in sito non hanno rilevato dettagliatamente la geometria del muro, in particolare non è stato rilevato lo spessore del muro e lo stato antistante il muro (lato opposto alveo). A tal proposito si fa riferimento alla sezione topografica di riferimento (n.100) con le necessarie approssimazioni.

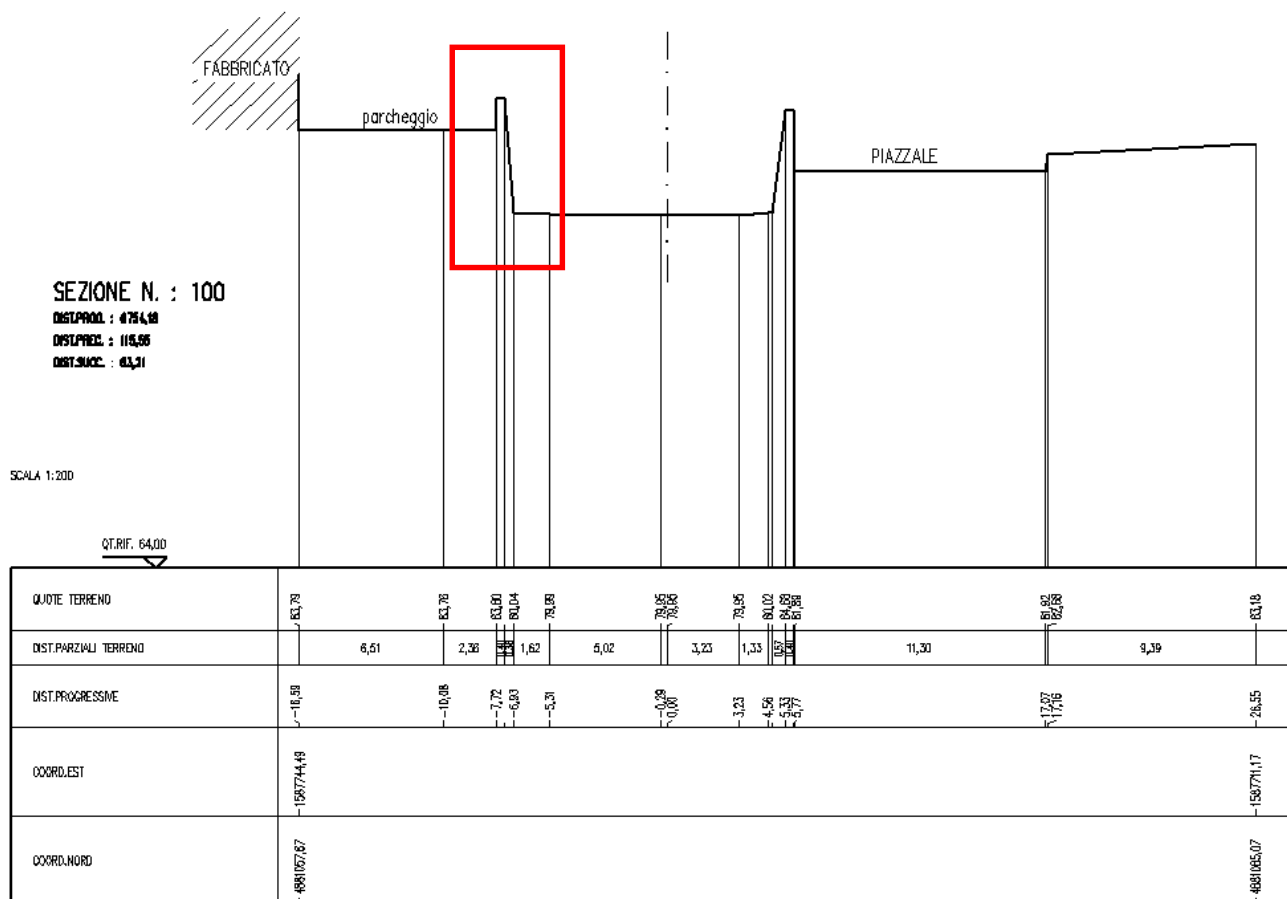


Fig. 8 – Sezione topografica – Sez. 100

Per le verifiche del muro in pietrame si ottengono i seguenti risultati.

	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	1,37
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	1,68
Qw - Spinta H2O	117,38
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	76,15
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	160,24
Spinta passiva del terreno strada (M2)	130,55

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	284,93	
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	165,80	
	FS [-]	0,58 < 1	NO

VERIFICA ALLO SLITTAMENTO - APPROCCIO 2	A1+M1+R3	
$\delta k = \Phi'$ (M1)	30,00	
$\tan \delta k / \gamma r$	0,52	
AZIONI DI PROGETTO [kN/m] (A1 sfav. di STR)	Td [kN/m]	17,61
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	39,97
	FS [-]	2,27 > 1
		OK

L'opera in oggetto però, con le caratteristiche tipologiche e le proprietà del materiale rilevato, risulta non essere adeguata a sopportare le azioni sismiche in accordo alle nuove norme tecniche sulle costruzioni NTC 2008.

4.9 Berlinese sinistra e destra idraulica (rif. sez.104 – sez. 106)

Risagomazione alveo torrente Carrione – lotto valle – Rif. pratica sismica N. 44/2010 e variante del 20/12/2012 e del 14/07/2014.

L'intervento principale consta nell'abbassamento del piano di fondo dell'alveo attraverso berlinesi (a cavalletto) da cui risulta contrastata e vincolata agli spostamenti orizzontali dei cordoli di sommità con pali a compressione e a trazione sia verticali che inclinati. Ove possibile sono previsti in alternativa ai pali inclinati i tiranti in roccia e pali verticali.

Oltre la berlinese a cavalletto è prevista la realizzazione di un muro e relativa fondazione a scarpa in c.a. con il duplice scopo di reintegrare i rivestimenti in cls dei pali dopo lo scavo ed incrementare la resistenza dell'opera di sostegno dei terreni. Il progetto prevede anche il recupero e la sistemazione degli argini mediante le seguenti tipologie di intervento:

- MF: Muri e fioretti;
- MR: muri su rostri;
- MP: muri su pali;
- MS: Muri di sostegno.

La tipologia MF produce un innalzamento dell'argine esistente con rialzi in c.a. inghisati sulla testa dell'argine stesso: nei casi di altezza maggiore, è prevista anche la realizzazione di un setto in c.a. affiancato all'argine esistente ed adeguatamente fondato, al quale vengono collegati i suddetti rialzi.

L'intervento MR produce un innalzamento dell'argine esistente realizzando setti in c.a. con fondazione su pali ("rostri").

La tipologia MP prevede la realizzazione di setti in c.a. che si elevano dalla base del nuovo alveo: in taluni casi detto alveo prevede anche la parziale o tale demolizione dell'argine esistente.

L'intervento MS prevede la realizzazione di un muro di sostegno in c.a. del tipo a mensola in aree dove è previsto l'allargamento dell'alveo del torrente.

Con la prima variante del 20/12/2012 è stata revisionata la soluzione tecnica originale della berlinese abbandonando l'impiego diffuso di tiranti attivi (che avrebbero potuto indurre sforzi indesiderati nelle murature dei fabbricati prospicienti l'alveo) sostituendoli con tiranti passivi.

Un altro intervento riguarda l'adeguamento del livello del fondo alveo di progetto in corrispondenza del Ponte Baroncino attraverso la posa in opera, su entrambe le spalle, di micropali. Con la II° variante del 14/07/2014, è stata adottata una perforazione di minor diametro armandola con anima d'acciaio ad altissima resistenza in modo da avere un sistema di trasferimento dei carichi verticali che, a parità di efficienza rispetto al progetto originale, avesse una geometria più diffusa.

Per le specifiche si rimanda alla consultazione della pratica sismica in oggetto. Alcune opere non risultano ultimata.

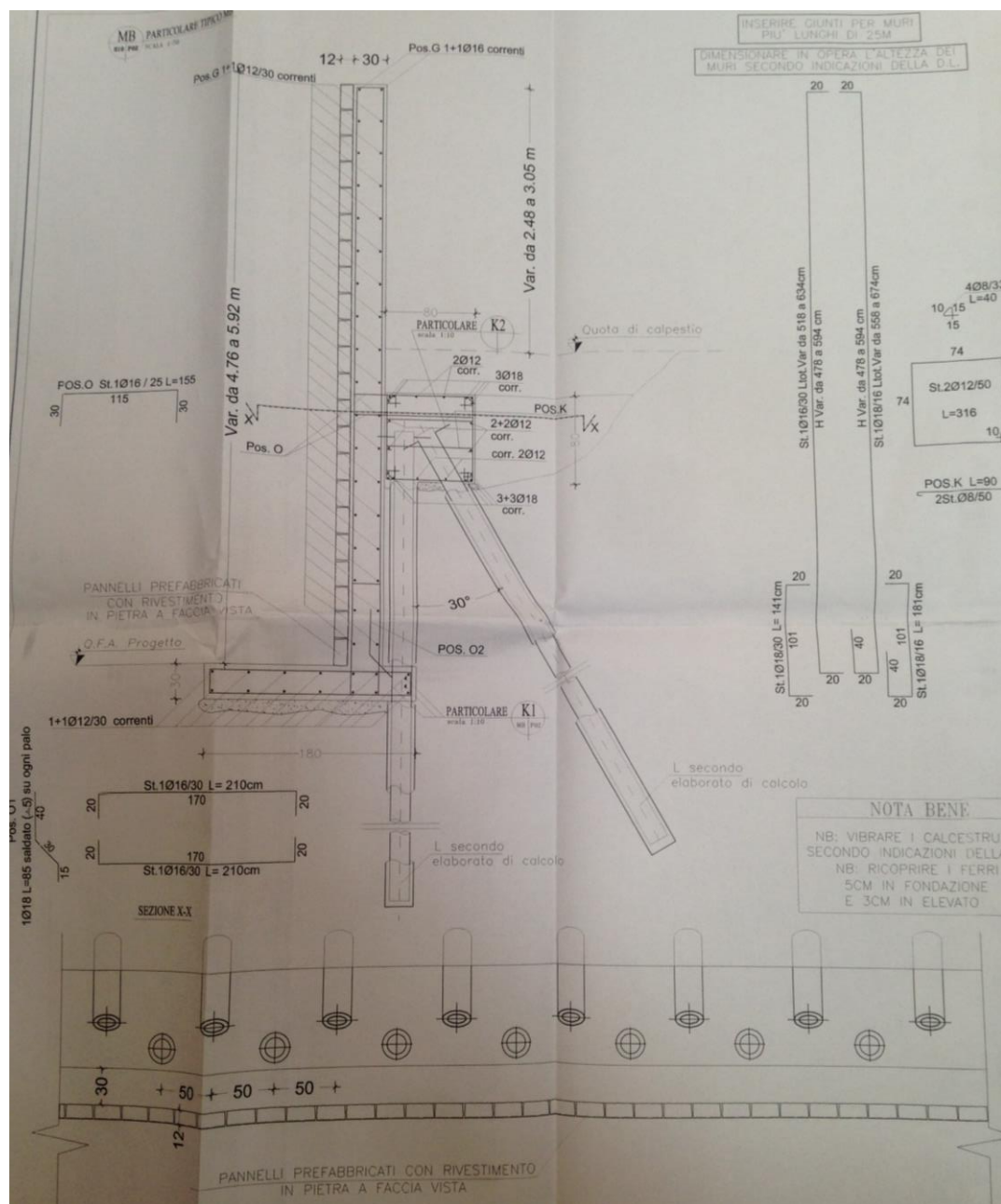


Fig. 9 – Sezione – Estratto Pratica Sismica N. 44/2010

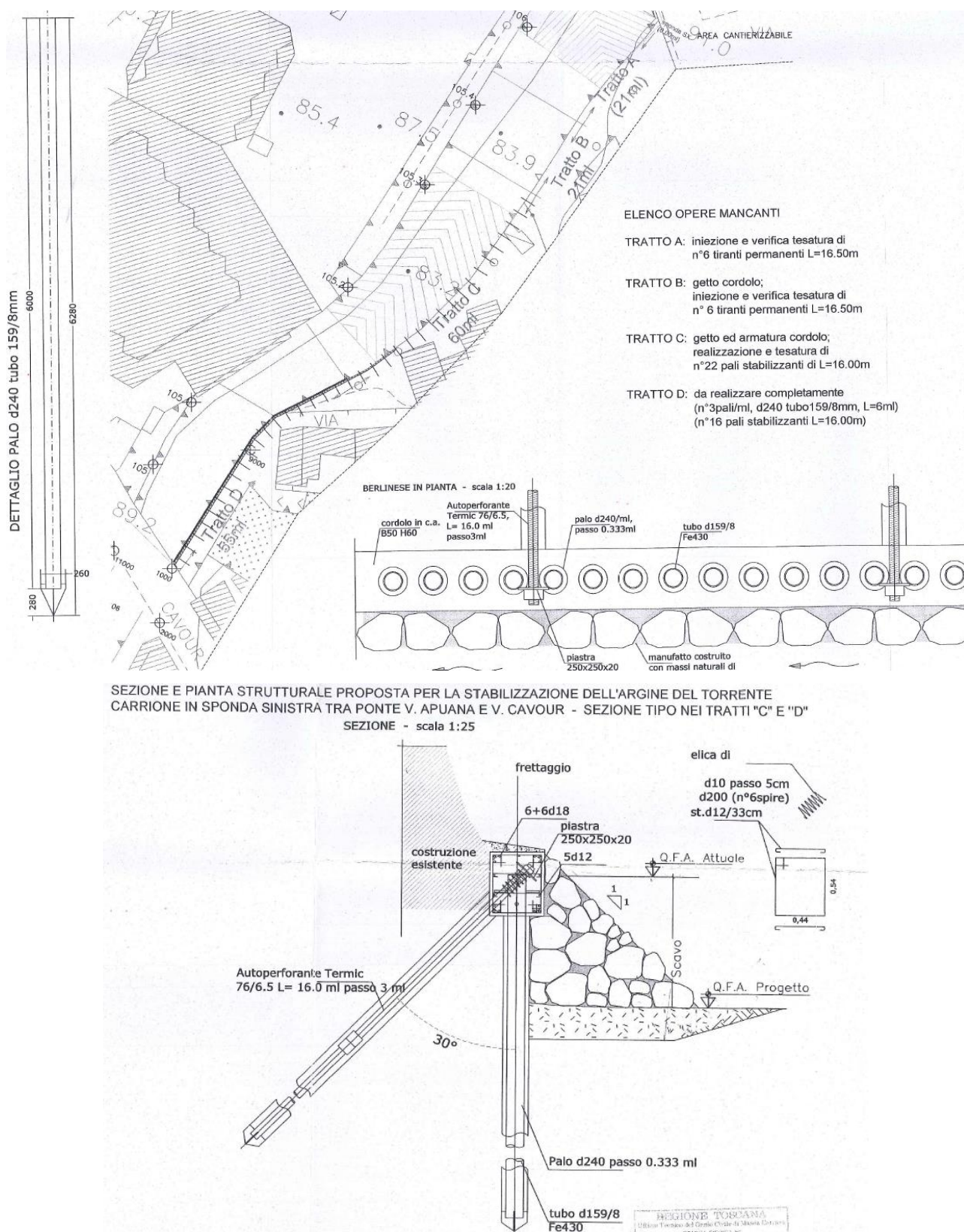


Fig. 10 – Sezione – Estratto Pratica Sismica N. 44/2010 - I° variante del 20/12/2012

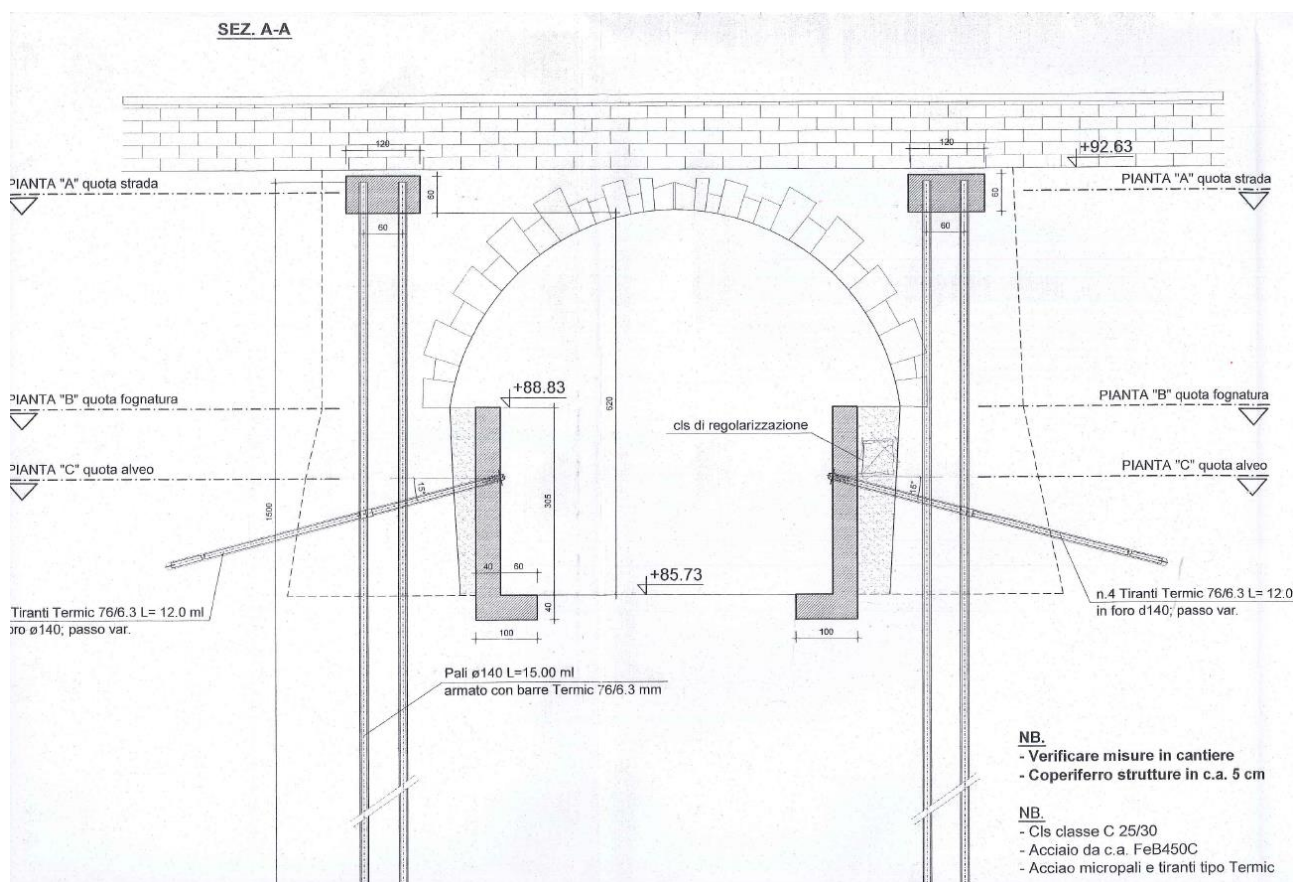


Fig. 11 – Sezione – Estratto Pratica Sismica N. 44/2010 - II° variante del 14/07/2014

5 Conclusioni








Legenda dei risultati ottenuti dalle Verifiche Preliminari














Adeguito		Assente		Insufficiente	
----------	---	---------	---	---------------	---









“Adeguito” = elemento caratterizzato da buone caratteristiche del materiale, regolare disposizione delle armature, verifiche allo stato limite ultimo di equilibrio (ribaltamento); di slittamento e strutturale in accordo ai fattori di sicurezza stabiliti dalle NTC 2008.

“Assente” = informazioni che non sono state indagate e reperite in sito.

“Insufficiente” = elemento caratterizzato da scarse caratteristiche del materiale, irregolare disposizione delle armature, verifiche allo stato limite ultimo di equilibrio (ribaltamento); di slittamento e strutturale in disaccordo ai fattori di sicurezza stabiliti dalle NTC 2008.

VERIFICA	SOPRALZO IN C.A. Sx – Scheda 88	MURO IN CLS Sx – Scheda 88
Qualità Materiale		
Posizione e Φ ferri armatura		-
Caratt. ferri di inghisaggio		-
Verifica a Ribaltamento	FS = 4,5 > 1 	FS = 0,28 < 1 
Verifica a Slittamento	-	FS = 0,40 < 1 
Verifica sezione in c.a.	FS = 2,9 > 1 	-
Note	-	Si considera lo spessore del muro come da rilievo in sito. Criticità: si segnala un'evidente fessurazione in sinistra idraulica nella parte sottostante del muro d'argine a gravità con sopralzo in c.a..

VERIFICA	II° SOPRALZO IN C.A. Dx – Scheda 89	I° SOPRALZO IN C.A. Dx – Scheda 89	MURO IN CLS Dx – Scheda 89
Qualita' Materiale			
Posizione e Φ ferri armatura			
Caratt. ferri di inghisaggio			-
Verifica a Ribaltamento	FS = 5,4 > 1 	FS = 0,16 < 1 	-
Verifica a Slittamento	-	FS = 0,20 < 1 	-
Verifica sezione in c.a.	FS = 8,1 > 1 	FS = 0,83 < 1 	-
Note	-	No ferri di inghisaggio con il muro di base in cls.	Informazioni insufficienti sulla geometria per verificare il muro di base in cls. Il muro di base risulta non armato e di materiale scadente. L'opera in oggetto, con le caratteristiche tipologiche e le proprietà del materiale rilevato, risulta non essere adeguata a sopportare le azioni sismiche in accordo alle nuove norme tecniche sulle costruzioni NTC 2008.

VERIFICA	MURO IN PIETRA Dx – Scheda 90	MURO IN PIETRA Sx – Scheda 91
Qualità Materiale		
Posizione e Φ ferri armatura	-	-
Caratt. ferri di inghisaggio	-	-
Verifica a Ribaltamento	FS = 0,35 < 1 	FS = 0,58 < 1 
Verifica a Slittamento	FS = 0,53 < 1 	FS = 2,27 > 1 
Verifica sezione in c.a.	-	-
Note	Criticità: Malta di qualità scadente. Muratura in pietrame scadente. Profondità massima del muro non rilevata. FS < 1 in condiz. sismiche 	Criticità: Malta di qualità scadente. Muratura in pietrame scadente. Profondità massima del muro non rilevata. FS < 1 in condiz. sismiche 

Il tratto 12 interessa il centro di Carrara.

Nel tratto sono presenti arginature continue in muratura su entrambe le sponde, con presenza di discontinuità di tipologie costruttive e materiali, realizzati in epoche diverse. Nel tratto recentemente era stato aperto un cantiere, ente attuatore Comune di Carrara, interessante rialzi dei muri esistenti e consolidamento delle fondazioni.

La presenza di "Fabbricati Argine" alternati a Muri in pietrame esistenti è spesso legata a criticità riscontrabili in termini di stabilità, resistenza, infiltrazione e tenuta alle portate del torrente.

Il presente tratto è stato recentemente oggetto di lavori sulle arginature con innalzamento dei muri di sponda e consolidamento delle fondazioni per interventi legati alla risagomazione dell'alveo con berlinesi – Rif. pratica sismica N. 44/2010 e variante del 20/12/2012 e del 14/07/2014.

Alcune delle opere arginali esistenti (rif. muri in pietra) non sono state rilevate approfonditamente spesso per impossibilità di accesso. Laddove possibile si richiedono approfondimenti in sito.

I sopralzi in c.a. che risultano essere opportunamente collegati ai muri di base con ferri inghisati, presentano i coefficienti di sicurezza previsti dalla norma in relazione alle verifiche dello stato limite ultimo di equilibrio (ribaltamento) sotto l'azione del massimo livello di piena. La criticità si riscontra però nel muro di base. Infatti i muri di base a gravità (in pietra e in cls), relativamente alla profondità rilevata dalle indagini in sito, hanno coefficienti di sicurezza in relazione alle verifiche dello stato limite ultimo di equilibrio (ribaltamento) e geotecnico (slittamento) sotto l'azione del massimo livello di piena, che non risultano conformi a quelli previsti dalla norma.

I vecchi muri in pietra e cls, con le proprietà del materiale rilevato e con le caratteristiche tipologiche proprie dei vecchi muri a gravità, risultano non essere adeguati a sopportare le azioni sismiche in accordo alle nuove norme tecniche sulle costruzioni NTC 2008.

Criticità riscontrate:

Sono presenti muri esistenti in pietra costituiti da materiale eterogeneo e con visibili discontinuità e aperture, scalzamenti e erosioni di sponda, rialzi di muri di sponda in pietra realizzati con struttura in c.a., presenza di edifici in alveo, presenza di storica passerella in pietra (ponte romano) con erosione all'attacco della stessa e rischio di sormonto della stessa, mancanza di completamento della tirantatura della sottofondazione in costruzione e visibili lesioni sui muri d'argine soprastanti. Sono necessari adeguamenti delle opere spondali in corrispondenza dell'antico ponte romano.

Si segnala un'evidente fessurazione in sinistra idraulica nella parte sottostante del muro d'argine a gravità con sopralzo in c.a. (rif. sez. 105). Le indagini sul muro di base in cls con sopralzo in c.a. in destra idraulica (rif. sez. 105 e scheda n.89) hanno rilevato una scarsa qualità del calcestruzzo che può compromettere la sicurezza strutturale dell'opera (muro disgregato). Si segnalano dunque interventi prioritari su tale tratto (sinistra e destra idraulica).

Interventi previsti:

- *In sinistra idraulica si prevede il rinforzo strutturale del muro in cls + sopralzo in c.a. mediante paratia di micropali con o senza tirantatura.*
- *In destra idraulica si prevede il rinforzo strutturale del muro in cls + sopralzo in c.a. mediante paratia di micropali con o senza tirantatura.*
- *In sinistra e destra idraulica si prevede il rinforzo strutturale dei muri in pietra mediante paratia di micropali.*
- *Si prevede l'adeguamento delle opere spondali adiacenti all'antico ponte romano (Sez. 102): da valutare il rifacimento ex novo o in alternativa il rinforzo strutturale degli argini esistenti.*

Tali interventi dovranno essere caratterizzati da una fase propedeutica alla progettazione in cui occorre approfondire la geometria dei muri esistenti, mediante rilievo di dettaglio, indagini di dettaglio e verifiche approfondite per un livello di progettazione avanzato secondo le NTC 2008.