

**RELAZIONE SULL'ANALISI E VERIFICA STRUTTURALE DEI
MANUFATTI ESISTENTI DEL TORRENTE CARRIONE A CARRARA
- TRATTO 11 -**

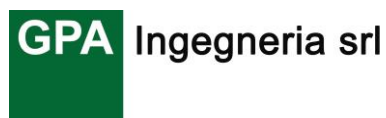
Progetto: Studio di Fattibilità
Commessa: C15003
Cliente: REGIONE TOSCANA - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile
Oggetto: Analisi Strutturale dei Manufatti di Contenimento Laterali e Trasversali del torrente "Carrione". Valutazione dello Stato Attuale e Proposte di Intervento.
N. Elaborato: 02.RG.04.11

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 11	4
3.1	Descrizione Sintetica Opere Spondali	4
3.2	Nota sugli Interventi eseguiti e/o in esecuzione	5
3.3	Osservazioni Preliminari	7
4	Analisi e Verifica Strutturale preliminare delle opere arginali	8
4.1	Quadro normativo di riferimento	8
4.2	Condizioni di carico	9
4.3	Caratteristiche dei materiali e Geometria delle opere strutturali	9
4.4	Verifica Sopralzo in c.a. destra idraulica (rif. scheda 83 – sez.94).....	10
4.4.1	Caratteristiche dei materiali	11
4.4.2	Ferri di armatura	12
4.4.3	Verifiche del sopralzo in c.a.....	12
4.5	Verifica Sopralzo in c.a. sinistra idraulica (rif. scheda 84 – sez.93).....	14
4.5.1	Caratteristiche dei materiali	15
4.5.2	Ferri di armatura	16
4.5.3	Verifiche del sopralzo in c.a.....	16
4.6	Verifica Muro in pietra sinistra idraulica (rif. scheda 85 – sez.94)	18
4.6.1	Caratteristiche dei materiali	18
4.6.2	Verifiche del muro in pietrame.....	20
4.7	Verifica Cordolo Berlinese sinistra idraulica (rif. scheda 86 – sez.X).....	23
4.7.1	Caratteristiche dei materiali	26
4.7.2	Ferri di armatura	26
4.7.3	Verifiche berlinese di micropali.....	26
4.8	Verifica Muro in pietra destra idraulica (rif. scheda 87 – sez.95)	27
4.8.1	Caratteristiche dei materiali	27
4.8.2	Verifiche del muro in pietrame.....	29
5	Conclusioni.....	31
6	All. A - Verifica Muro in c.a. sinistra idraulica (rif. scheda 81-82 - sez.88-89).....	35

6.1	Dati generali	35
6.2	Descrizione dello stato dei luoghi e localizzazione dell'opera	35
6.3	Scheda del progetto depositato con pratica sismica N. 802/2013	37
6.4	Risultati delle indagini conoscitive in sito	39
6.4.1	Geometria	40
6.4.2	Caratteristiche dei materiali	41
6.4.3	Ferri di armatura	41
6.5	Verifiche del muro arginale	42
6.5.1	Verifiche in condizioni idrauliche di massima piena	42
6.5.2	Verifiche in condizioni statiche di magra – terrapieno	44
6.5.3	Verifiche in condizioni sismiche – (alveo in magra).....	46
6.6	Riepilogo	48
6.6.1	Conformità	48
6.6.2	Criticità	48
6.6.3	Aspetti propedeutici alle altre fasi di progettazione	49
6.7	Interventi	49
6.8	Stima degli interventi	49

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 11.

3 Quadro Conoscitivo Tratto 11

TRATTO = 11

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

LUNGHEZZA TRATTO = 938 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 11. L'elenco delle tipologie spondali viene fatto a partire da valle fino ad arrivare a monte del tratto in questione. A partire dal tratto 11 il torrente inizia ad attraversare 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”;
- Muretti in pietrame su roccia affiorante;
- Muro d’argine esistente a gravità;
- “Fabbricati Argine” alternati a Muri in pietrame esistenti;
- “Fabbricati Argine” alternati a Muri in pietrame esistenti con scogliera alla base del muro;
- Muro in pietrame esistente e Cordolo Berlinese alla base del muro (Riferimento Pratica Sismica N. 279/2009);

- Muro in pietrame esistente con sopralzo in c.a. e Cordolo Berlinese alla base del muro (Riferimento Pratica Sismica N. 279/2009);
- Muro in pietrame esistente con sopralzo in c.a. (Riferimento Pratica Sismica N. 279/2009).

Sinistra Idraulica

- “Fabbricati Argine”;
- Sponda in terra su roccia affiorante;
- Muro in pietrame esistente;
- Muro in c.a. (Riferimento Pratica Sismica N. 896/2009);
- “Fabbricati Argine”;
- Muro in pietrame esistente con sopralzo in c.a. e Cordolo Berlinese alla base del muro (Riferimento Pratica Sismica N. 279/2009);
- Muro in pietrame esistente e Cordolo Berlinese alla base del muro (Riferimento Pratica Sismica N. 279/2009);
- Muro in pietrame esistente.

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 11.

PRATICHE SISIMICHE

N. 279/2009

Messa in sicurezza torrente Carrione nel tratto tra sezione 93 e 94.

N. 896/2009

Sistemazione alveo torrente Carrione nel tratto tra il ponte di via XX settembre e la sezione 93.

N. 802/2013

Sistemazione alveo torrente Carrione nel tratto tra il ponte di via XX settembre e la sezione 93. Nel tratto 11 interessato dal progetto in questione, ci sono delle difformità tra progetto depositato e stato di fatto realizzato. In particolare molti muri di sostegno in c.a. previsti da progetto non sono stati realizzati. Ciò emerge oltre che dallo stato dei luoghi anche dal Certificato di Collaudo Statico in cui è riportato quanto segue:

- Sez.32-42 (per la numerazione delle sezioni si faccia riferimento alla planimetria generale del progetto depositato con P.S. N. 802/2013) che corrispondono alle sez. 87-90: *“Sono state eseguite opere riguardanti l'allargamento della sezione dell'alveo con rimozione di terra e ghiaia, la demolizione di alcuni manufatti,*

realizzazione di scogliere lungo la destra idraulica e rialzamento di un muro lungo la sinistra idraulica tra le sezioni 37 e 42”.

- Sez.10-32: (per la numerazione delle sezioni si faccia riferimento alla planimetria generale del progetto depositato con P.S. N. 802/2013) che corrispondono alle sez. 80-87: “Non è stata realizzata alcuna opera”.

- Sez.39-42: (per la numerazione delle sezioni si faccia riferimento alla planimetria generale del progetto depositato con P.S. N. 802/2013) che corrispondono alle sez. 89-90: “Non è stato realizzato il previsto nuovo muro d’argine in c.a.”.

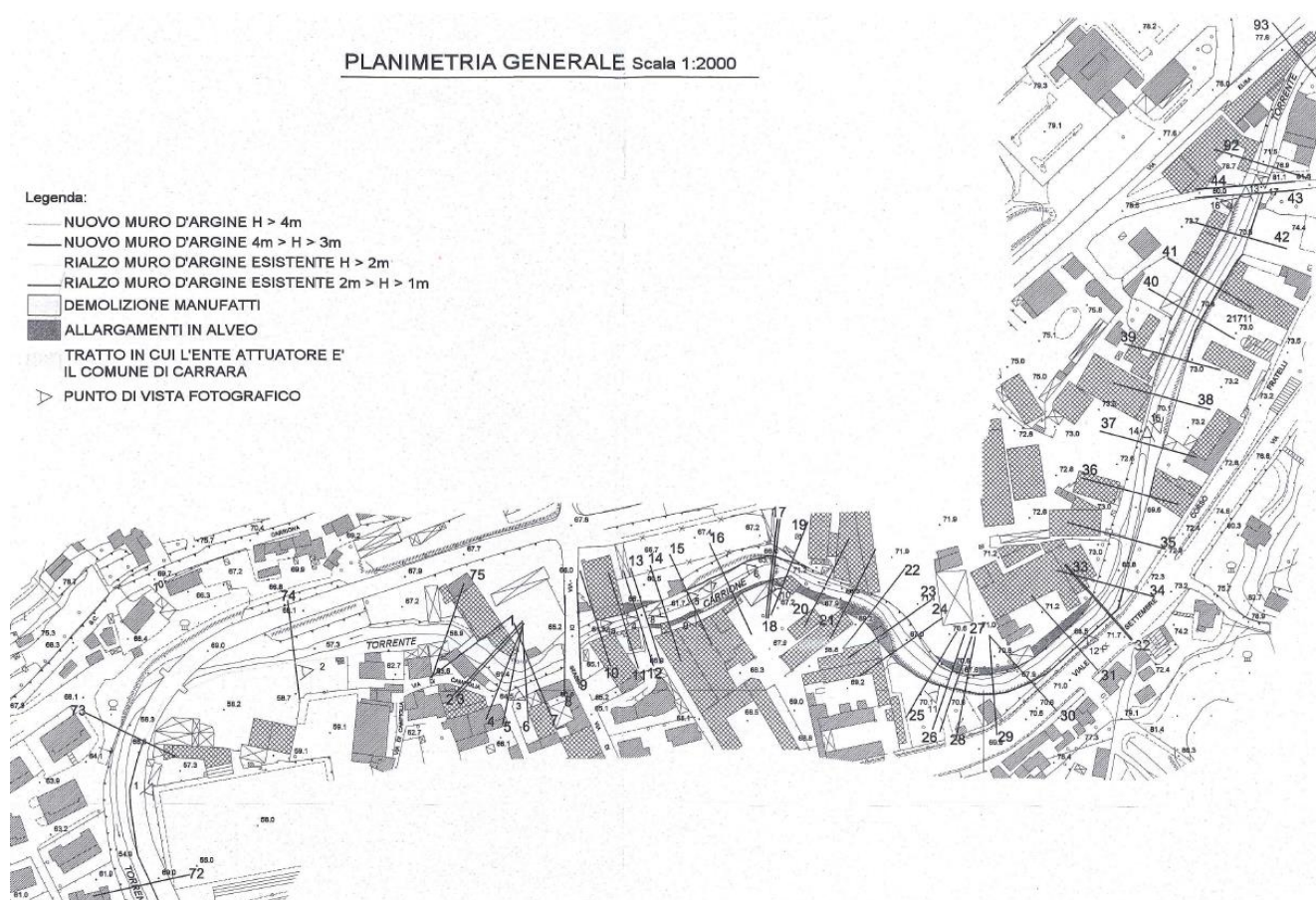


Fig. 1 – Estratto Planimetria interventi – P.S. N. 802/2013

Pratica Sismica	Descrizione	Committente	FL	Collaudo	N.Omologazione
P.S. 279/2009	Progetto di messa in sicurezza T. Carrione tra sez.93 e sez.94	Comune di Carrara			Omol.25
P.S. 896/2009	Sistemazione alveo T. Carrione nel tratto tra la sez.71 e la sez.93 - Lotto XIII	Provincia MS	rif. P.S. 802/2013	rif. P.S. 802/2013	Omol.25
P.S. 802/2013	Lavoro di sistemazione alveo T. Carrione - Lotto XIII	Provincia MS	22/12/13	07/01/14	Omol.25

3.3 Osservazioni Preliminari

Il tratto 11 interessa il centro di Carrara. Sono presenti erosioni di sponda, rialzi di muri di sponda in pietra realizzati con struttura in c.a., presenza di edifici in alveo. Alcuni interventi sui muri esistenti prevedono tipologia "berlinese".

Il tratto è caratterizzato da un'alternanza delle tipologie spondali che è molto eterogenea e diffusa in maniera discontinua. 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.

Criticità riscontrate:

- A valle del Ponte San Martino in destra idraulica si riscontra spanciamiento del basamento di fondazione in c.a. al di sotto dell'edificio restaurato parzialmente e inutilizzato.
- Tra la sezione 95 e la sezione 94, sempre in destra idraulica, è stato eseguito un sopralzo in c.a. di altezza media pari a circa 1.70 m e spessore 35 cm. Tale muro termina in corrispondenza della sezione 94 e a valle l'argine è più basso perché non è presente il sopralzo. Ciò provoca il dilavamento interno dell'edificio in disuso posto sulla curva destra.
- In sinistra idraulica il cordolo di coronamento della berlinese risulta discontinuo e la parte superiore del muro storico presenta lesioni verticali.
- Nel nuovo muro in c.a. in sinistra idraulica (spessore 35 cm e altezza variabile – Rif. Pratica Sismica N. 896/2009) sono state rilevate discontinuità con riprese di getto verticali ed assi di legno inserite nel getto.
- Nel tratto analizzato si rileva un degrado generalizzato dei muri d'argine in pietra esistenti che necessitano di ripristini ed un'analisi accurata delle lesioni, mancanza di malta e connessioni tra elementi portanti, da rivedere in maniera puntuale.
- Sono inoltre state rilevate diffuse erosioni alla base dei muri di sponda, nonché discontinuità di quota nei rialzi effettuati, con conseguenti allagamenti dei terrapieni non protetti, avvenuti anche con l'ultimo evento alluvionale.
- Nel tratto in esame insistono numerosi fabbricati che costituiscono loro stessi muro d'argine, di cui si rilevano porzioni di essi di chiara inagibilità e di cui si consiglia il consolidamento.
- Presenza di difformità tra progetto depositato (Rif. Pratica Sismica N. 896/2009 – 802/2013) e stato di fatto realizzato.

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 11.

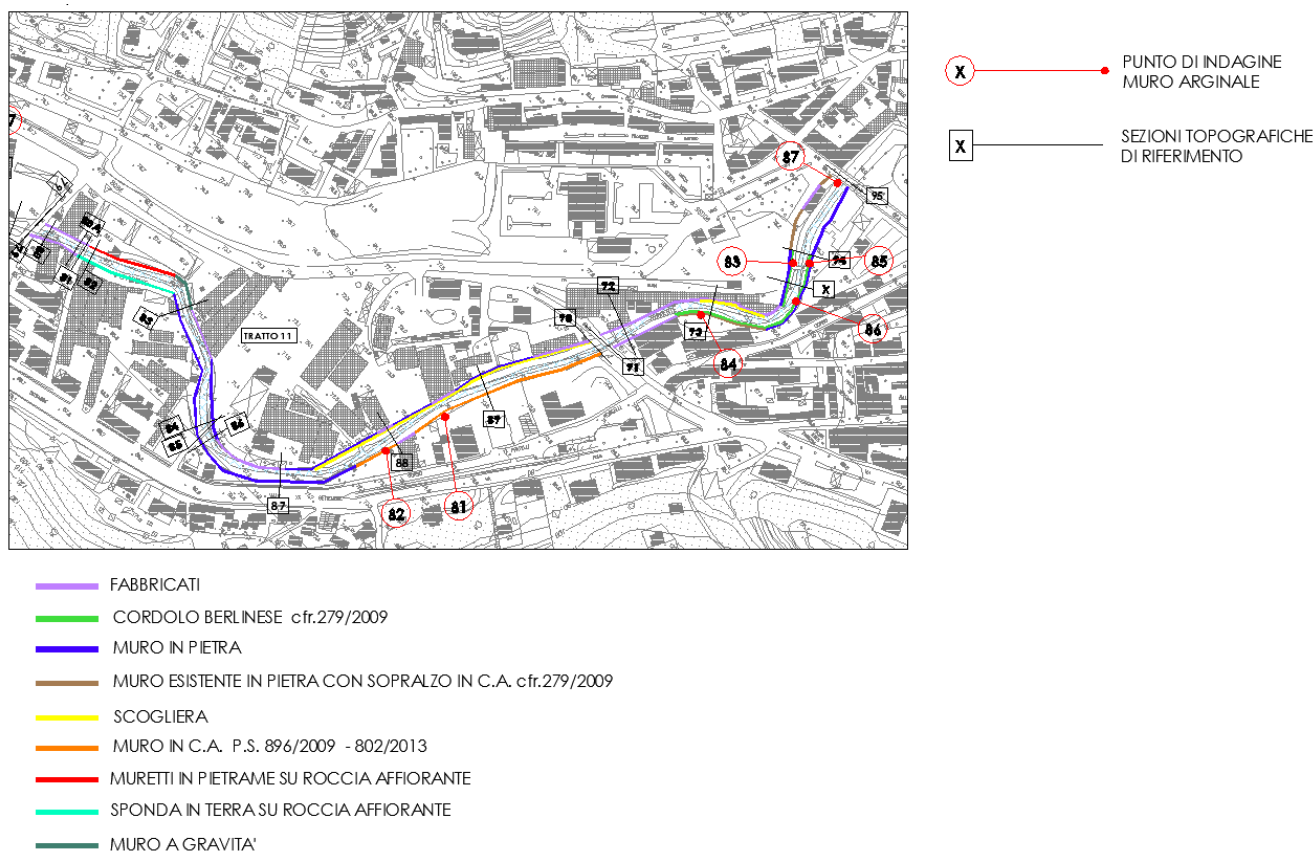


Fig. 2 – Inquadramento tratto 11

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. destra idraulica (rif. scheda 83 – sez.94)

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

Il progetto di tale struttura fa parte della pratica sismica n. 279/2009 e si riferisce agli interventi che riguardano la messa in sicurezza del torrente Carrione nel tratto tra la sezione 93 e la sezione 94.

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

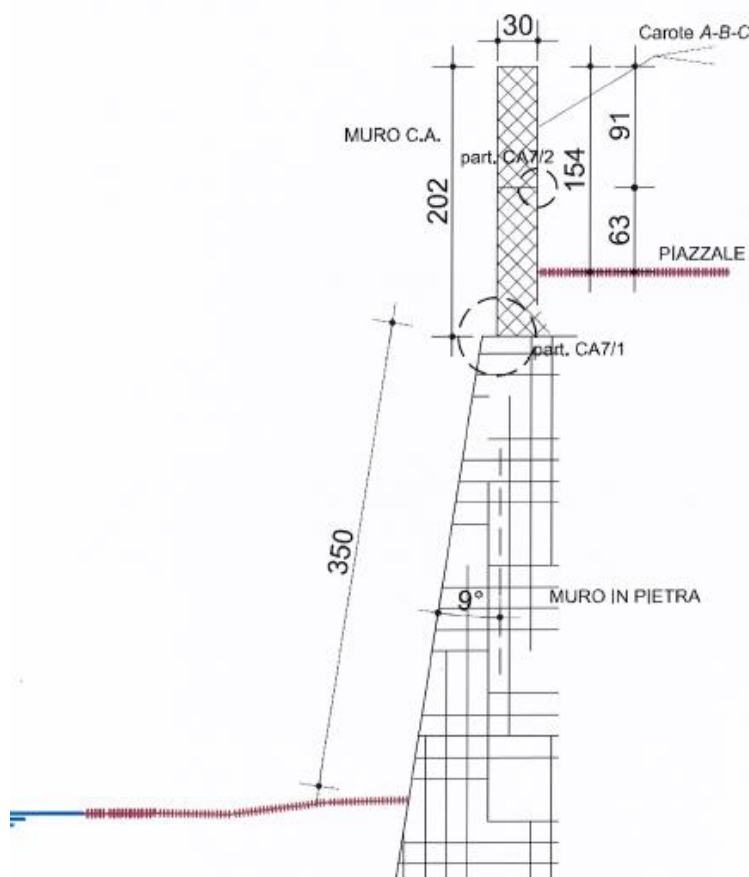
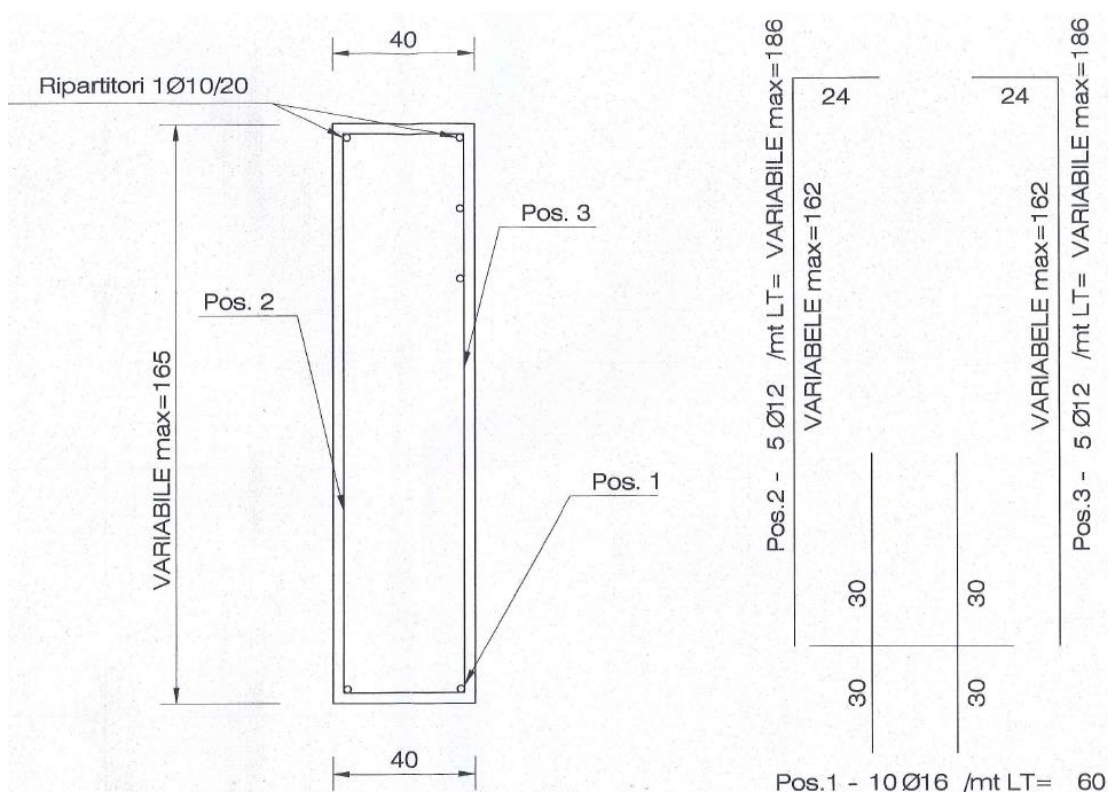


Fig. 3 – Sezione tipologica strutturale

Rispetto a quanto riportato nel progetto della pratica sismica n. 279/2009 riferito al sopralzo di destra idraulica in oggetto, la geometria dell'opera e le armature rilevate da indagine pacometrica risultano difformi.

A seguire un'immagine dell'estratto della pratica sismica n. 279/2009.



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	38,84

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
fcm/FC =	32,36

4.4.2 Ferri di armatura

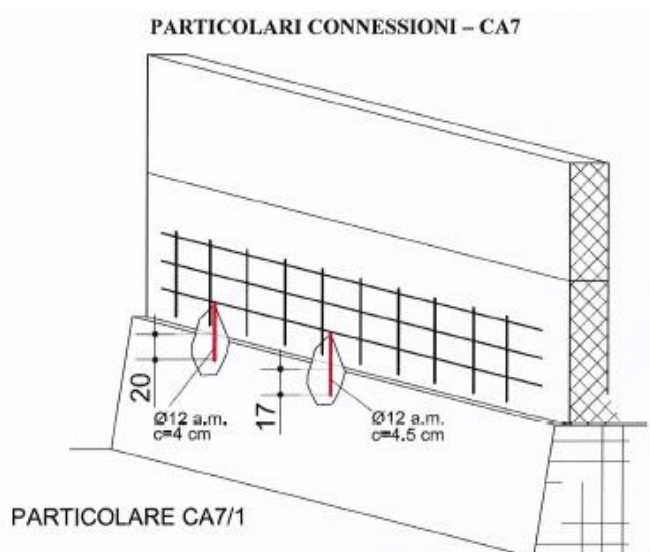
La presenza dei ferri di armatura è stata evidenziata da indagine pacometrica.

Armatura verticale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 30-44 cm \rightarrow NON coerente con il progetto (che prevede $\Phi 12$ passo 20 cm).

Armatura orizzontale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 30-70 cm \rightarrow NON coerente con il progetto (che prevede $\Phi 10$ passo 20 cm).

Ferri di inghisaggio: rilevati $\Phi 12$ L ancoraggio = 17-20 cm.

Il progetto prevede ferri inghisati $10\Phi 16/m$ (passo 10 cm) L ancoraggio = 30 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	20,40
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	15,15
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	2,32
Spinta passiva del terreno strada (M2)	1,97

Momento ribaltante (STR): $M_{soll} = 20,61 \text{ kNm/m}$

Verifica della sezione in c.a. – Stato Limite Ultimo Strutturale $\rightarrow FS = M_{res}/M_{soll} = 32,14 / 20,61 = 1,6 > 1 \rightarrow \text{OK}$

Verifica Ferri di connessione al muro sottostante in cls

Si esegue la verifica con i ferri di inghisaggio rilevati: $\Phi 12$ passo 100 cm.

$M_{soll} \text{ (SLU)} = 20,61 \text{ kNm}$

$M_{res} = 12,69 \text{ kN}$

$FS = M_{res}/M_{soll} = 12,69 / 20,61 = 0,61 < 1 \rightarrow \text{NO}$

Verifica a taglio Ferri di connessione (tranciamento):

$T/A = 30,6 \text{ kN} / 1,13 \text{ cmq} = 270 \text{ N/mm}^2 > f_{yd} / \sqrt{3} = 215,8 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{NO}$

Si esegue la verifica con i ferri di inghisaggio da progetto: $\Phi 16$ passo 10 cm L ancoraggio = 30 cm.

$M_{soll} \text{ (SLU)} = 20,61 \text{ kNm}$

$M_{res} = 168,9 \text{ kN}$

$FS = M_{res}/M_{soll} = 168,9 / 20,61 = 8,2 > 1 \rightarrow \text{OK}$

$L \text{ ancoraggio} = 30 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}$

Verifica a taglio Ferri di connessione (tranciamento):

$T/A = 30,6 \text{ kN} / 2,01 \cdot 10 \text{ cmq} = 15,22 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} / \sqrt{3} = 215,8 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$

Verifiche del muro di base in pietra

Non è possibile verificare il muro di base in pietra poiché non sono state eseguite indagini in sito sulla fondazione per caratterizzarne la geometria.

4.5 Verifica Sopralzo in c.a. sinistra idraulica (rif. scheda 84 – sez.93)

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

Il progetto di tale struttura fa parte della pratica sismica n. 279/2009 e si riferisce agli interventi che riguardano la messa in sicurezza del torrente Carrione nel tratto tra la sezione 93 e la sezione 94.

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

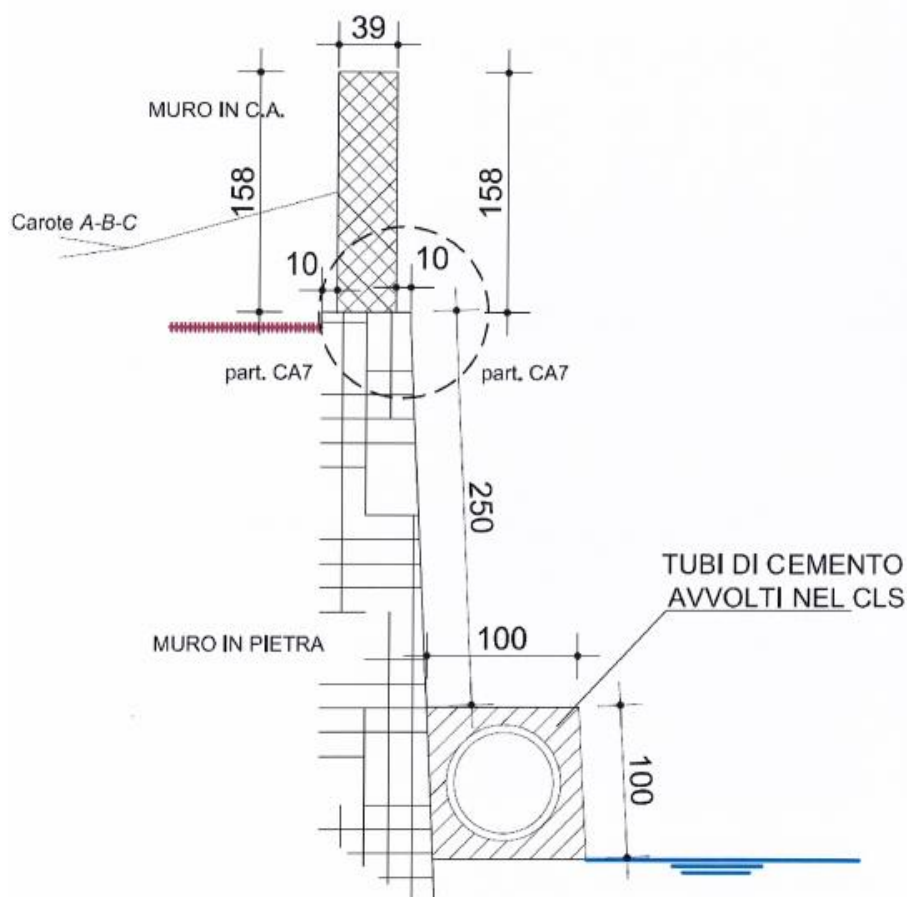


Fig. 5 – Sezione tipologica strutturale

Rispetto a quanto riportato nel progetto della pratica sismica n. 279/2009 riferito al sopralzo di destra idraulica in oggetto, la geometria dell'opera è conforme mentre le armature rilevate da indagine pacometrica risultano difformi.

A seguire un'immagine dell'estratto della pratica sismica n. 279/2009.

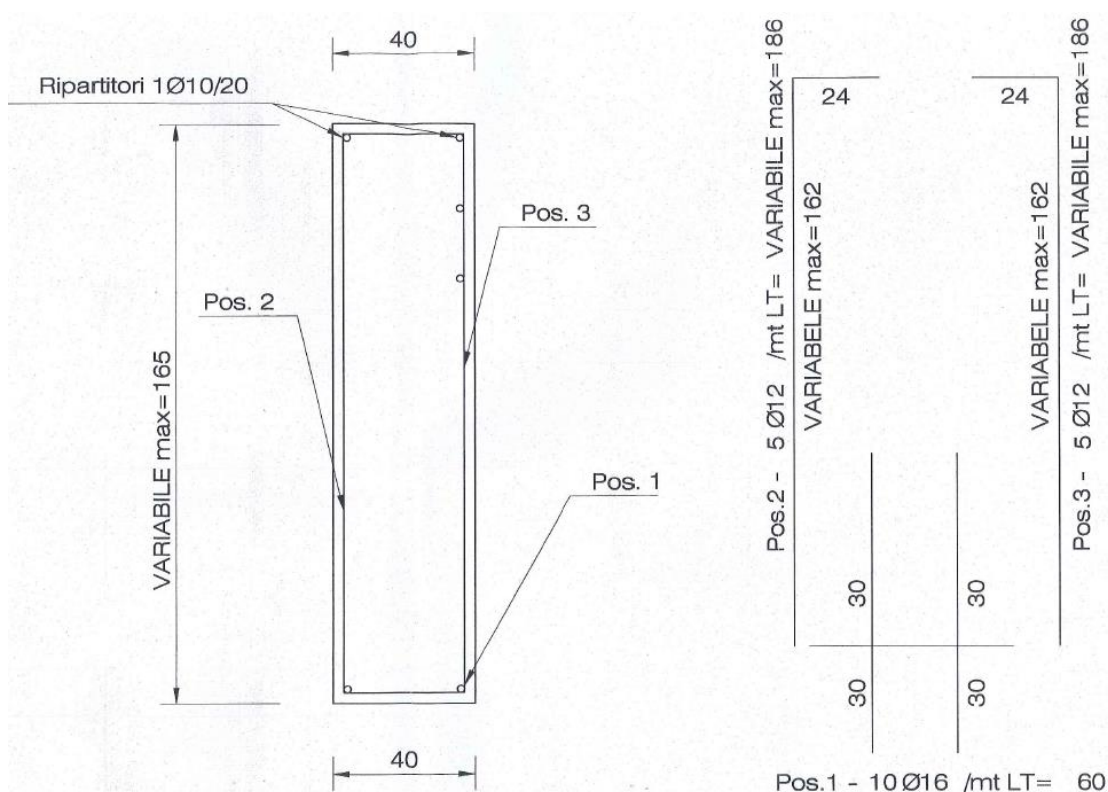


Fig. 6 – Sezione – Estratto Pratica Sismica N. 279/2009

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 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	39,74

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
fcm/FC =	33,12

4.5.2 Ferri di armatura

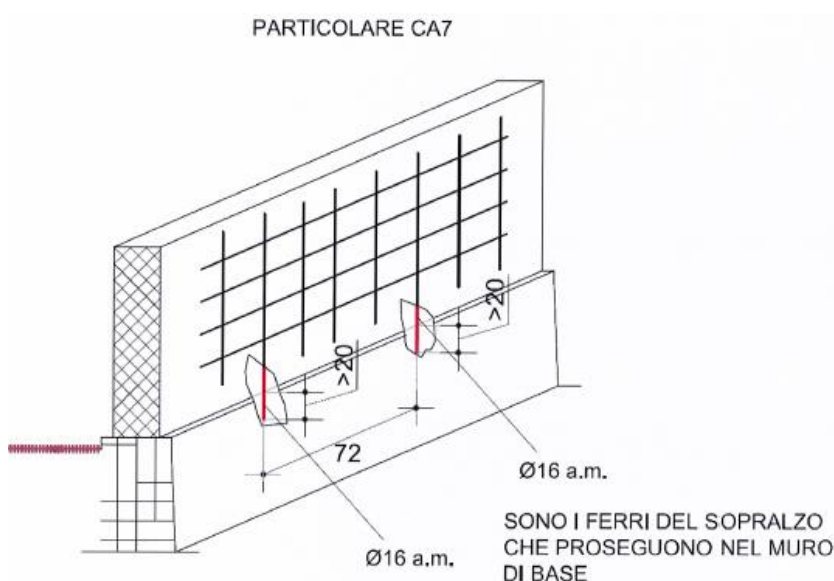
La presenza dei ferri di armatura è stata evidenziata da indagine pacometrica.

Armatura verticale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 30-33 cm \rightarrow NON coerente con il progetto (che prevede $\Phi 12$ passo 20 cm).

Armatura orizzontale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 34-40 cm \rightarrow NON coerente con il progetto (che prevede $\Phi 10$ passo 20 cm).

Ferri di inghisaggio: rilevati $\Phi 16$ passo 72 cm L ancoraggio > 20 cm.

Il progetto prevede ferri inghisati $10\Phi 16/m$ (passo 10 cm) L ancoraggio = 30 cm.



4.5.3 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 H ₂ O	12,48
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	15,41
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	0,00
Spinta passiva del terreno strada (M2)	0,00

Momento ribaltante (STR): $M_{soll} = 9,86 \text{ kNm/m}$

Verifica della sezione in c.a. – Stato Limite Ultimo Strutturale $\rightarrow FS = M_{res}/M_{soll} = 49,8 / 9,86 = 5,0 > 1$
 \rightarrow **OK**

Verifica Ferri di connessione al muro sottostante in cls

Si esegue la verifica con i ferri di inghisaggio rilevati: $\Phi 16$ passo 72 cm.

$M_{soll} \text{ (SLU)} = 9,86 \text{ kNm}$

$M_{res} = 37,67 \text{ kN}$

$FS = M_{res}/M_{soll} = 37,67 / 9,86 = 3,82 > 1 \rightarrow$ **OK**

Verifica a taglio Ferri di connessione (tranciamento):

$T/A = 18,72 \text{ kN} / 2,01 \text{ cm}^2 = 93,13 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} / \sqrt{3} = 215,8 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ **OK**

Si esegue la verifica con i ferri di inghisaggio da progetto: $\Phi 16$ passo 10 cm L ancoraggio = 30 cm.

$M_{soll} \text{ (SLU)} = 9,86 \text{ kNm}$

$M_{res} = 237,3 \text{ kN}$

$FS = M_{res}/M_{soll} = 237,3 / 9,86 = 24 > 1 \rightarrow$ **OK**

Verifica a taglio Ferri di connessione (tranciamento):

$T/A = 18,72 \text{ kN} / 2,01 \cdot 10 \text{ cm}^2 = 9,3 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} / \sqrt{3} = 215,8 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ **OK**

L ancoraggio = 30 cm \rightarrow **OK**

Verifiche del muro di base in pietra

Non è possibile verificare il muro di base in pietra poiché non sono state eseguite indagini in sito sulla fondazione per caratterizzarne la geometria.

4.6 Verifica Muro in pietra sinistra idraulica (rif. scheda 85 – sez.94)

Si tratta di un muro in pietra.

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

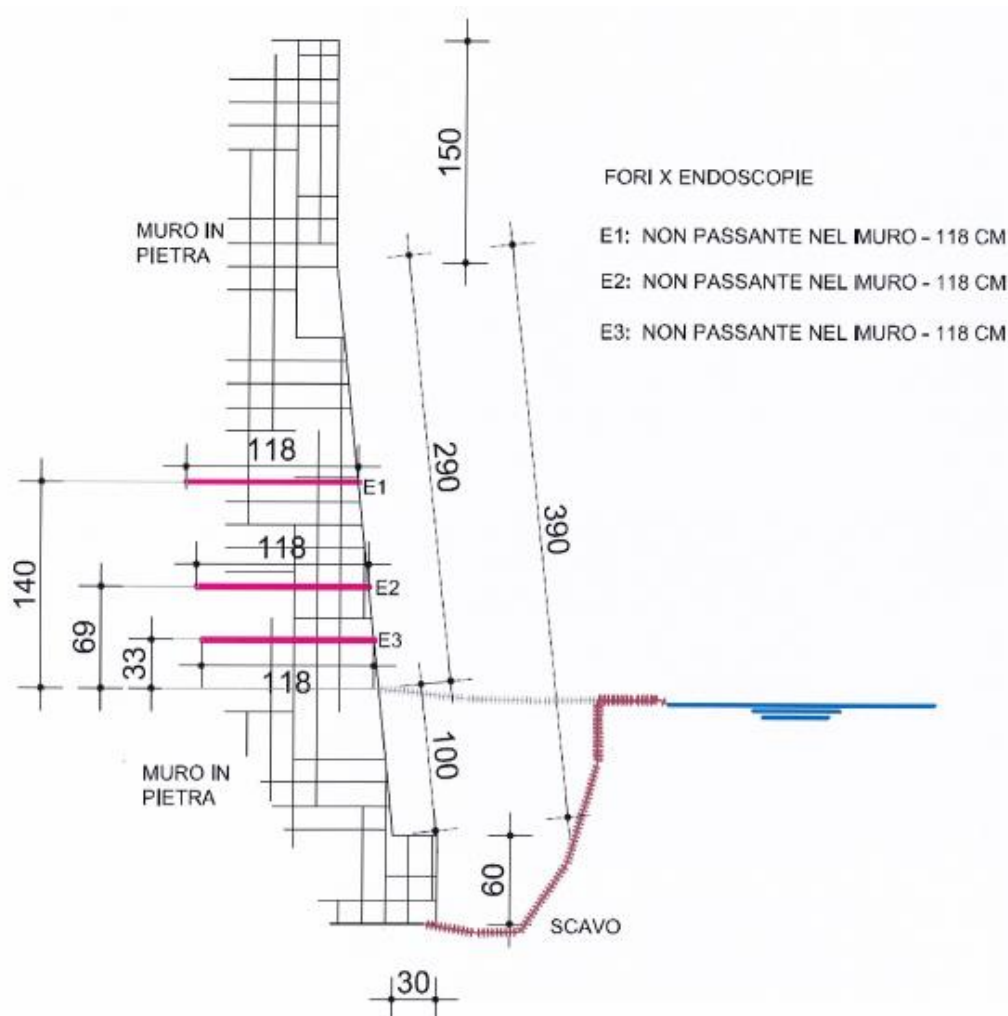


Fig. 7 – Sezione tipologica strutturale

4.6.1 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

4.6.2 Verifiche del muro in pietrame

Le indagini in sito non hanno rilevato dettagliatamente la geometria del muro, in particolare non è noto il suo spessore, e non è stato rilevato lo stato antistante il muro (lato opposto alveo). Oltretutto dalle sezioni topografiche di riferimento non è possibile reperire e venire a conoscenza della reale geometria del muro e dello stato dei luoghi. Pertanto le verifiche di sicurezza vengono condotte con le necessarie approssimazioni.

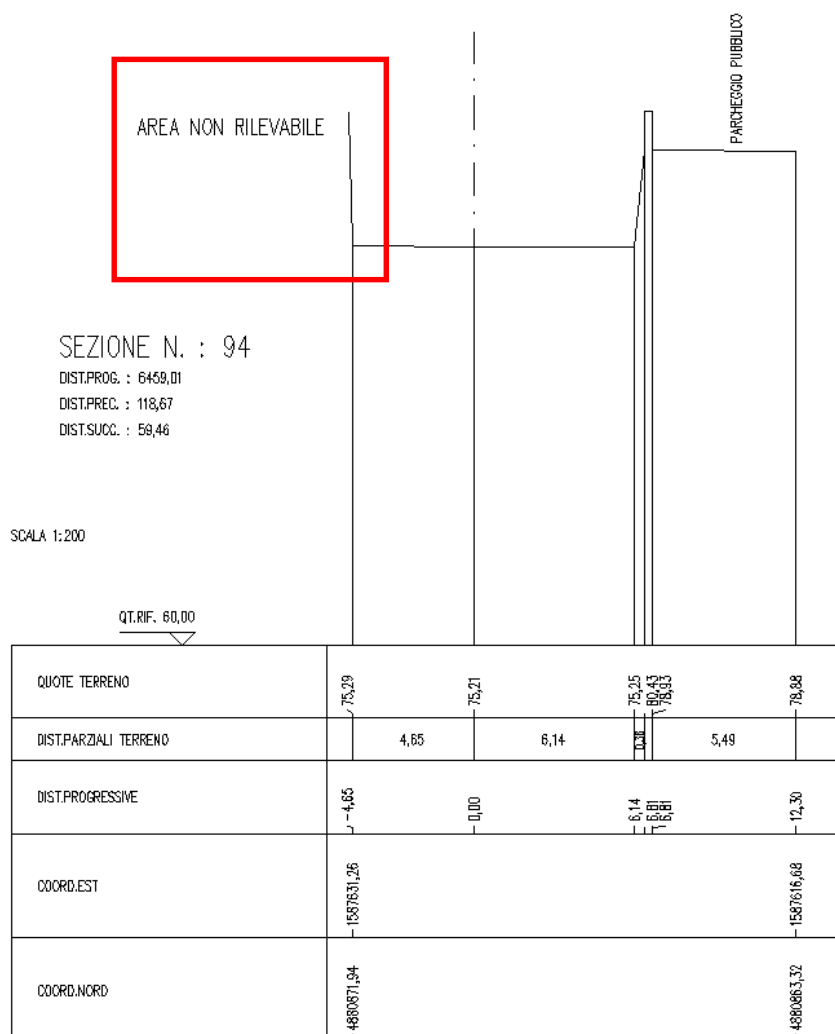


Fig. 8 – Sezione topografica – Sez. 94

Per le verifiche del muro in pietrares si ottengono i seguenti risultati assumendo la totale assenza del terreno a tergo del muro.

	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	4,32
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	5,09
Qw - Spinta H2O	178,72
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	144,20
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	0,00
Spinta passiva del terreno strada (M2)	0,00

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	537,24	
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	84,79	
	FS [-]	0,16 < 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]	273,69
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	58,36
	FS [-]	0,21 < 1
		NO

Se invece si assume che il terreno a tergo del muro arrivi a 1,5 m dall'estradosso del muro, i risultati diventano i seguenti.

	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	4,32
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	5,09
Qw - Spinta H2O	178,72
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	144,20
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	202,14
Spinta passiva del terreno strada (M2)	171,34

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	537,24	
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	315,00	
	FS [-]	0,59 < 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]	71,56	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	58,36	
	FS [-]	0,82 < 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.

4.7 Verifica Cordolo Berlinese sinistra idraulica (rif. scheda 86 – sez.X)

Si tratta di un cordolo berlinese alla base di un muro in pietra con micropali e trave di coronamento superiore. Il progetto di tale struttura fa parte della pratica sismica n. 279/2009 e si riferisce agli interventi che riguardano la messa in sicurezza del torrente Carrione nel tratto tra la sezione 93 e la sezione 94. Dalle indagini in sito effettuate dal laboratorio Sigma la geometria rilevata è la seguente.

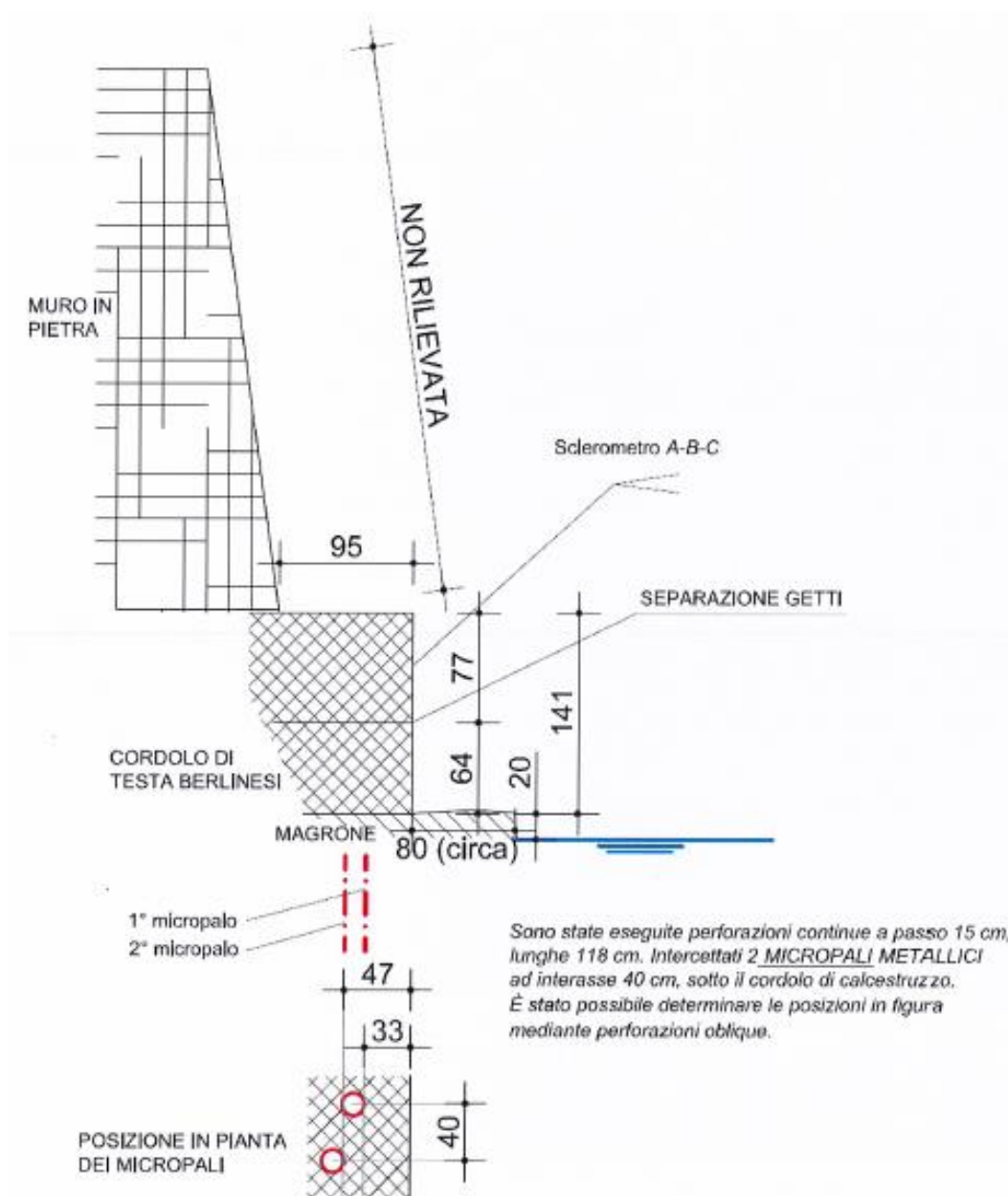
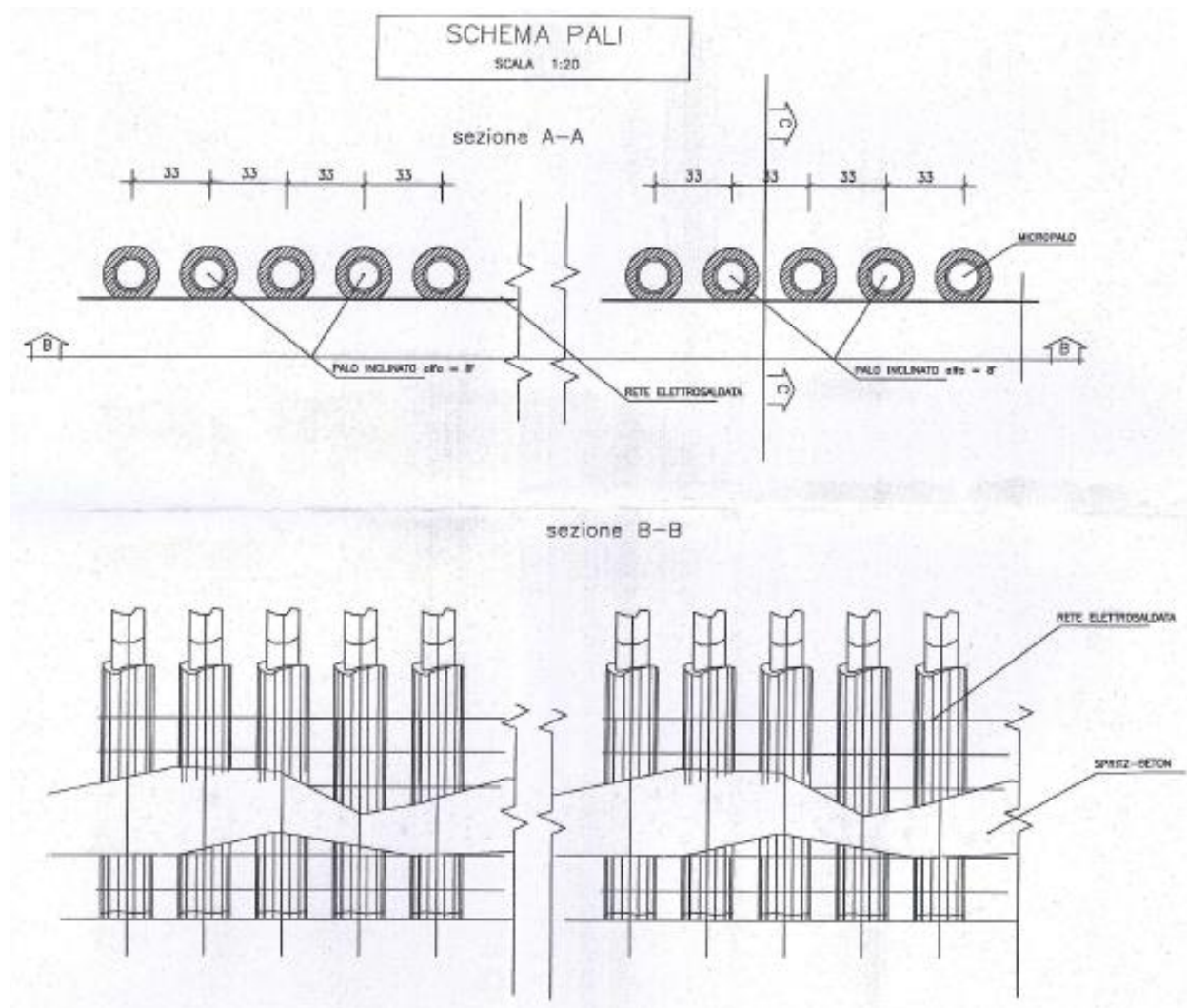


Fig. 9 – Sezione tipica strutturale

Si tratta di una berlinese di micropali realizzata sul fondo alveo con trave di coronamento superiore. Tale opera, come specificato nella pratica sismica n. 279/2009, è necessaria per abbassare il fondo alveo di circa 2,20 m. Essa è prevista realizzata con micropali in acciaio con foro 240 mm, diametro esterno 168,3 mm e spessore 8 mm, posti ad interasse 33 cm e posizionati uno verticale e uno inclinato di circa 8 gradi. I pali sono collegati in sommità da una trave di coronamento in cemento armato delle dimensioni 50x60 cm.

Rispetto a quanto riportato nel progetto della pratica sismica n. 279/2009 riferito alla berlinese di micropali in oggetto, la geometria dell'opera può essere ritenuta conforme. La lunghezza dei micropali non è stata rilevata. A seguire un'immagine dell'estratto della pratica sismica n. 279/2009.



MICROPALI	PERFORAZIONE $\varnothing 240\text{mm}$
	PASSO 0.33 m
	TJBI IN ACCIAIO $\varnothing 168.3/\text{sp.}8\text{mm.}$
SPRITZ-BETON	DI RIVESTIMENTO $\text{Sp}=8\text{ cm}$
RETE ELETTRISALDATA	$\varnothing 10 / 20 \times 20\text{ cm}$

Fig. 10 – Sezione – Estratto Pratica Sismica N. 279/2009

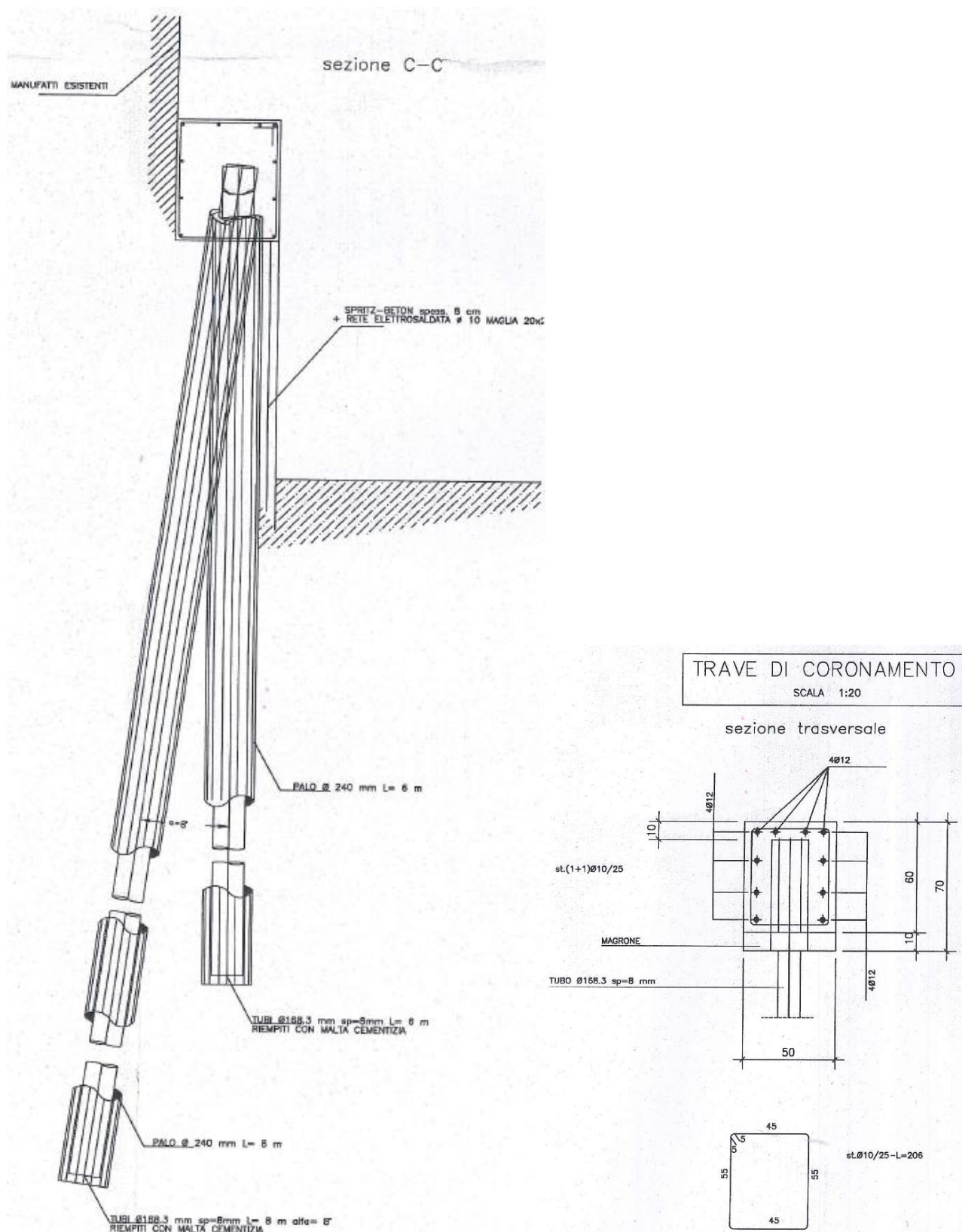


Fig. 11 – Sezione – Estratto Pratica Sismica N. 279/2009

4.7.1 Caratteristiche dei materiali

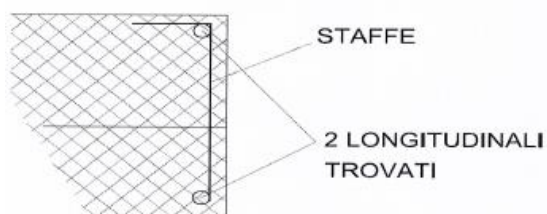
Sulla base dei risultati ottenuti dalle prove diagnostiche in sito (prove sonreb), si può preliminarmente considerare il calcestruzzo con cui è stato realizzato la trave di cordolo della berlinese di buone caratteristiche (si faccia riferimento a tal proposito alle schede di elaborazione dei risultati delle indagini in sito allegate a questo documento).

RESISTENZA MEDIA [N/mm ²]	
f _{cm}	44,4

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
f _{cm} /FC =	37,00

4.7.2 Ferri di armatura

La presenza dei ferri di armatura è stata evidenziata da indagine pacometrica e dai saggi in sito.
Armatura cordolo berlinese: 2 Ferri $\Phi 12$ + staffe $\Phi 12$ passo 40 cm. → NON coerente con il progetto (che prevede ferri long. $\Phi 12$ e staffe $\Phi 10$ passo 25 cm).



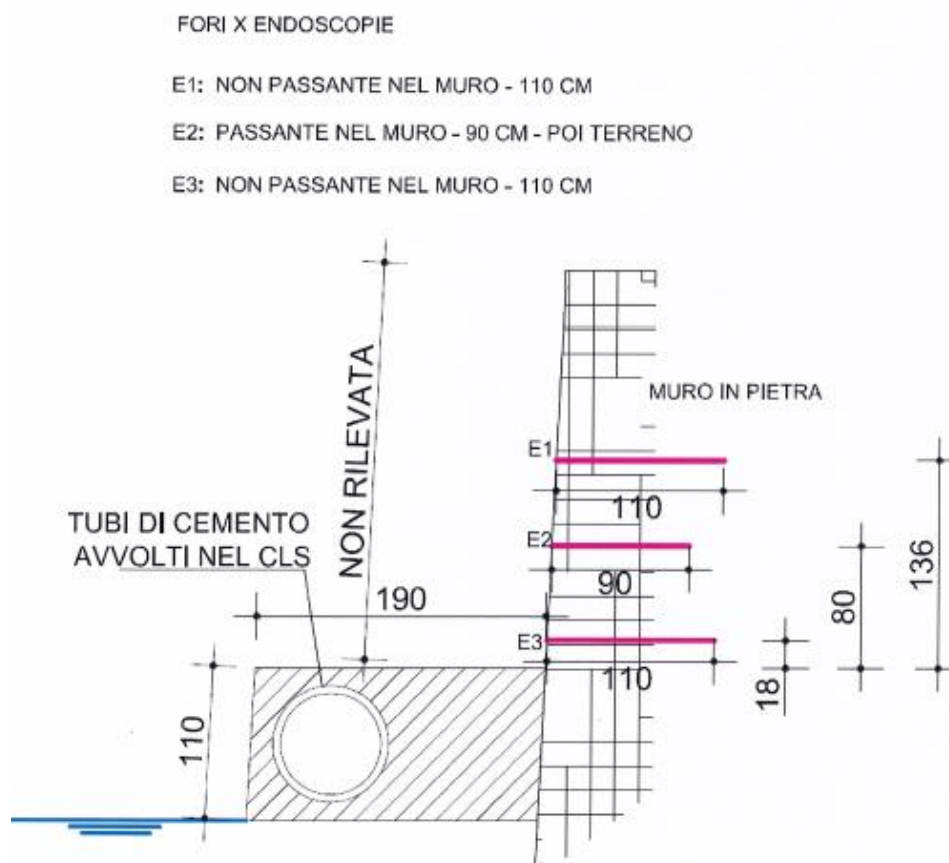
4.7.3 Verifiche berlinese di micropali

Dalle indagini in sito le caratteristiche dell'opera e la geometria corrispondono allo stato di progetto. Pertanto per le verifiche strutturali si rimanda ai calcoli dettagliati presenti nella relazione di calcolo del progetto depositato.

4.8 Verifica Muro in pietra destra idraulica (rif. scheda 87 – sez.95)

Si tratta di un muro in pietra con sopralzo in c.a..

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



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]	0-110	> 110	0-90	> 90	0-110	> 110
Materiale	muro pietra	muro pietra	muro pietra	terreno	muro pietra	muro pietra

4.8.2 Verifiche del muro in pietra

Le indagini in sito non hanno rilevato dettagliatamente la geometria del muro, in particolare non è noto il suo spessore, la geometria e la profondità della fondazione e non è stato rilevato lo stato antistante il muro (lato opposto alveo). Dalla sezione topografica n. 95 è possibile reperire l'altezza del muro.

Pertanto le verifiche di sicurezza vengono condotte con le necessarie approssimazioni.

Per le caratteristiche del sopralzo in c.a. si rimanda alla scheda 83 (Rif. cap. 4.4).

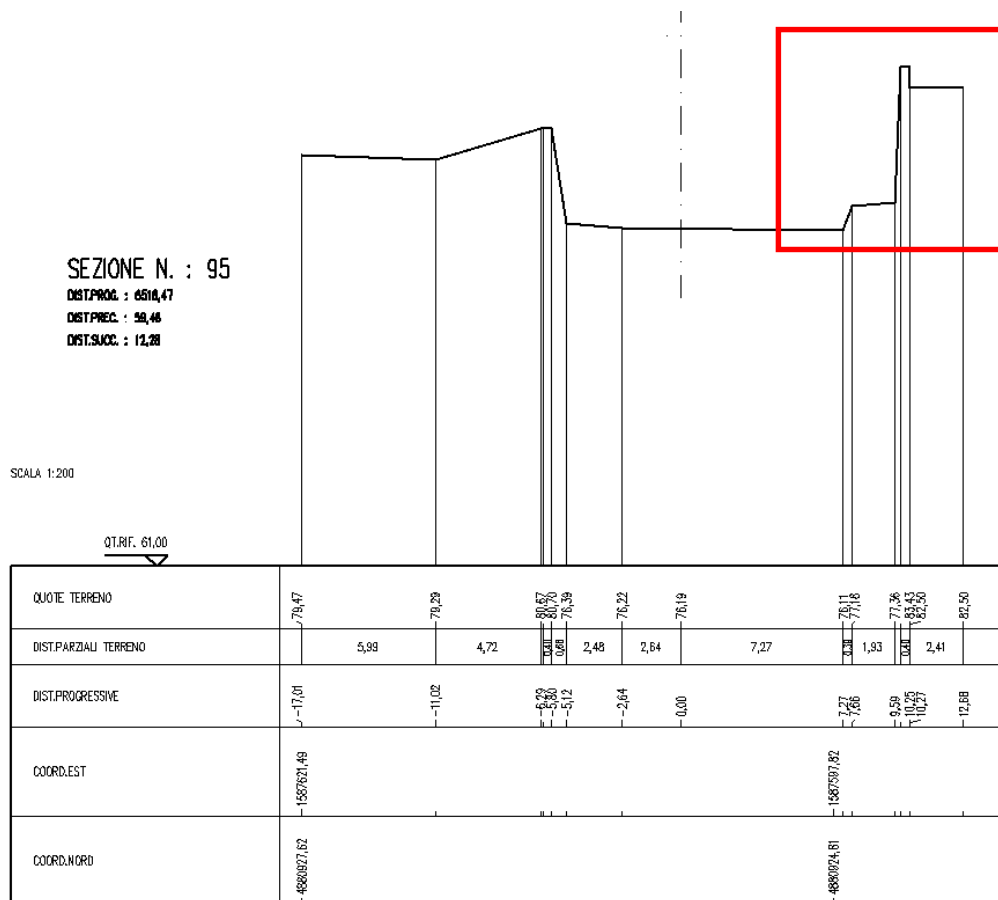


Fig. 13 – Sezione topografica – Sez. 95

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)	2,04
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	2,41
Qw - Spinta H2O	259,43
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	107,84
Ws - Peso proprio sopraelevato	15,00
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	394,05
Spinta passiva del terreno strada (M2)	334,02

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2		
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	935,33
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	681,69
	FS [-]	0,73 < 1

Le verifiche di sicurezza così condotte perdono di significato poiché, in mancanza di informazioni rilevate sulla geometria, le assunzioni ipotizzate danno luogo ad approssimazioni eccessive.

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.

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	* MURO IN C.A. Sx – Scheda 81-82	SOPRALZO IN C.A. Dx – Scheda 83
Qualita' Materiale		
Posizione e Φ ferri armatura	 difforme dal progetto	 difforme dal progetto
Caratt. ferri di inghisaggio	-	 difforme dal progetto
Verifica a Ribaltamento	Dimensioni geometriche della ciabatta di fondazione in disaccordo con quanto stabilito in progetto (Rif. P.S. N. 802/2013). FS < 1 per l'equilibrio a ribaltamento dell'opera in condizioni di massima piena (ipotizzando che la ciabatta di	Ferri inghisaggio rilevati  FS = 0,61 < 1 Ferri inghisaggio da progetto  FS > 1
Verifica a Slittamento	fondazione di fondazione sia stata invertita riepetto al progetto: mensola minore lato terrapieno, mensola maggiore lato alveo).	-
Verifica sezione in c.a.		FS > 1 
Note	Da verificare geometria fondazione lato terrapieno con indagini approfondite.	Geometria e armature rilevate difforme dal progetto (Rif. P.S. N. 279/2009).

VERIFICA	SOPRALZO IN C.A. Sx – Scheda 84	MURO IN PIETRA Sx – Scheda 85	
Qualita' Materiale			
Posizione e Φ ferri armatura	 difforme dal progetto	-	
Caratt. ferri di inghisaggio		-	
Verifica a Ribaltamento	Ferri inghisaggio rilevati  FS > 1	Assenza del terreno a tergo del muro	Presenza del terreno a tergo del muro (a 1,5 m dall'estradosso)
	Ferri inghisaggio da progetto  FS >> 1	FS = 0,16 < 1 	FS = 0,59 < 1 
Verifica a Slittamento	-	FS = 0,21 < 1 	FS = 0,82 < 1 
Verifica sezione in c.a.	FS > 1 	-	-
Note	La geometria rilevata in sito è conforme al progetto, l'armatura differisce (Rif. P.S. N. 279/2009).	<p>Criticità: Malta di qualità scadente. Muratura in pietrame scadente.</p> <p>Da verificare profondità muro, geometria e stato antistante il muro con indagini + approfondite (informazioni non rilevabili neanche dalle sezioni topografiche di riferimento).</p> <p>FS < 1 in condiz. sismiche </p>	

VERIFICA	MURO IN PIETRA Dx – Scheda 87
Qualità Materiale	
Posizione e Φ ferri armatura	-
Caratt. ferri di inghisaggio	-
Verifica a Ribaltamento	FS = 0,73 < 1 
Verifica a Slittamento	-
Verifica sezione in c.a.	-
Note	<p>Criticità: Malta di qualità scadente. Muratura in pietrame scadente.</p> <p>Da verificare profondità muro, geometria altezza muro con indagini + approfondite.</p> <p>In mancanza di informazioni rilevate sulla geometria, le assunzioni ipotizzate danno luogo ad approssimazioni eccessive.</p> <p>FS < 1 in condiz. sismiche </p>

Il tratto 11 interessa il centro di Carrara ed è caratterizzato da un'alternanza delle tipologie spondali che è molto eterogenea e diffusa in maniera discontinua: sono presenti muri realizzati ex novo in c.a., vecchi muri in pietra con rialzo in calcestruzzo armato, fabbricati le cui strutture portanti hanno funzione di arginatura.

I nuovi muri d'argine in c.a. e i sopralzi in c.a. di muri d'argine in cls esistenti fanno riferimento alle pratiche sismiche N. 896/2009 - 802/2013. Alla pratica sismica N. 279/2009 invece fanno riferimento le sistemazioni d'alveo comprese tra la sezione 93 e la sezione 94 prevedendo un sopralzo in c.a. in destra idraulica e la realizzazione di una berlinese di micropali realizzata sul fondo alveo con trave di coronamento superiore per abbassare il fondo alveo di circa 2,20 m.

In molti casi si riscontrano difformità nella geometria e/o nella disposizione dell'armatura delle opere realizzate rispetto ai progetti depositati. Risultano quindi necessari approfondimenti, poiché con la geometria rilevata in sito, i coefficienti di sicurezza previsti dalla norma in relazione alle verifiche dello stato limite ultimo di equilibrio (ribaltamento) e geotecnico (slittamento) sotto l'azione del massimo livello di piena, spesso non sono rispettati. 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 erosioni di sponda, rialzi di muri di sponda in pietra realizzati con struttura in c.a., presenza di edifici in alveo. 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.

Interventi previsti:

- *In destra e sinistra idraulica si prevede il rinforzo strutturale dei muri in cls e pietra mediante paratia di micropali con o senza tirantatura.*
- *In destra e sinistra idraulica si prevede il rinforzo strutturale dei muri in cls o pietra + sopralzo in c.a. mediante paratia di micropali.*

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.

6 All. A - Verifica Muro in c.a. sinistra idraulica (rif. scheda 81-82 - sez.88-89)

6.1 Dati generali

Oggetto: Muro in c.a.

Anno di costruzione dell'opera: 2013

Localizzazione: Tratto 11 – sinistra idraulica (rif. sez. topografica n.88-89)

Lunghezza muro: ~ 75 m

Pratica sismica di riferimento: N. 802/2013: "Lavori di sistemazione alveo Torrente Carrione"

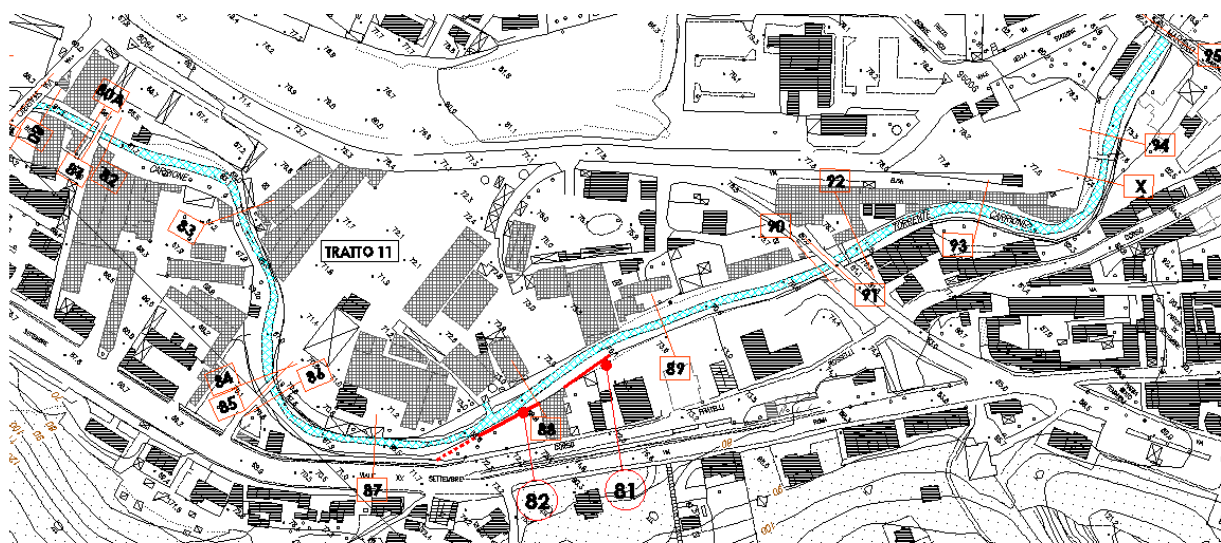
Collaudo Statico: Si → 08.01.2014.

6.2 Descrizione dello stato dei luoghi e localizzazione dell'opera

L'area in cui sorge il muro è un'area urbanizzata, fa parte del centro storico di Carrara dove sono presenti fabbricati civili. Sul terrapieno retrostante il muro sono presenti piazzali e giardini di fabbricati residenziali.



Fig. 14 – Immagine dell'area scaricata da google map



01. Inquadramento planimetrico - Scala 1:5.000

— Tracciamento muro
- - - Tratto critico da completare

Fig. 15 – Inquadramento planimetrico – Tratto 11 – Sponda sinistra



Fig. 16 – Foto Muro

6.3 Scheda del progetto depositato con pratica sismica N. 802/2013

La pratica sismica a cui fa riferimento il progetto dell'opera arginale in oggetto riporta:

- 1) Tavole di progetto (sezioni di progetto, dettagli costruttivi, planimetria di inquadramento)
- 2) Relazione tecnico descrittiva con documentazione fotografica (marzo 2008)
- 3) Relazione tecnica di calcolo (marzo 2008)
- 4) Relazione tecnica di calcolo (giugno 2008)
- 5) Relazione tecnica di calcolo (giugno 2009)
- 6) Relazione Geologica

Nel tratto interessato dalle schede report n.81 e 82, la pratica sismica n. 802/2013, prevede la costruzione di un muro in c.a. di altezza > 4 m dalla sezione 32 alla sezione 42. In realtà, dal Certificato di Collaudo Statico del 20 gennaio 2014, emerge quanto segue:

- Sez.32-42: "Sono state eseguite opere riguardanti l'allargamento della sezione dell'alveo con rimozione di terra e ghiaia, la demolizione di alcuni manufatti, realizzazione di scogliere lungo la sponda destra e rialzamento di un muro lungo la sponda sinistra tra le sezioni 37 e 42".

- Sez.10-32: "Non è stata realizzata alcuna opera".

- Sez.39-42: "Non è stato realizzato il previsto nuovo muro d'argine in c.a.".

Per la numerazione delle sezioni adottata nel progetto si faccia riferimento alla planimetria estratta dalla pratica sismica n. 802/2013. L'indagine n.81 corrisponde alla sezione 38, l'indagine 82 alla sezione 37.

Pertanto se ne deduce che il nuovo muro è stato realizzato tra le sezioni 34 e 37 (rif. scheda n.82).

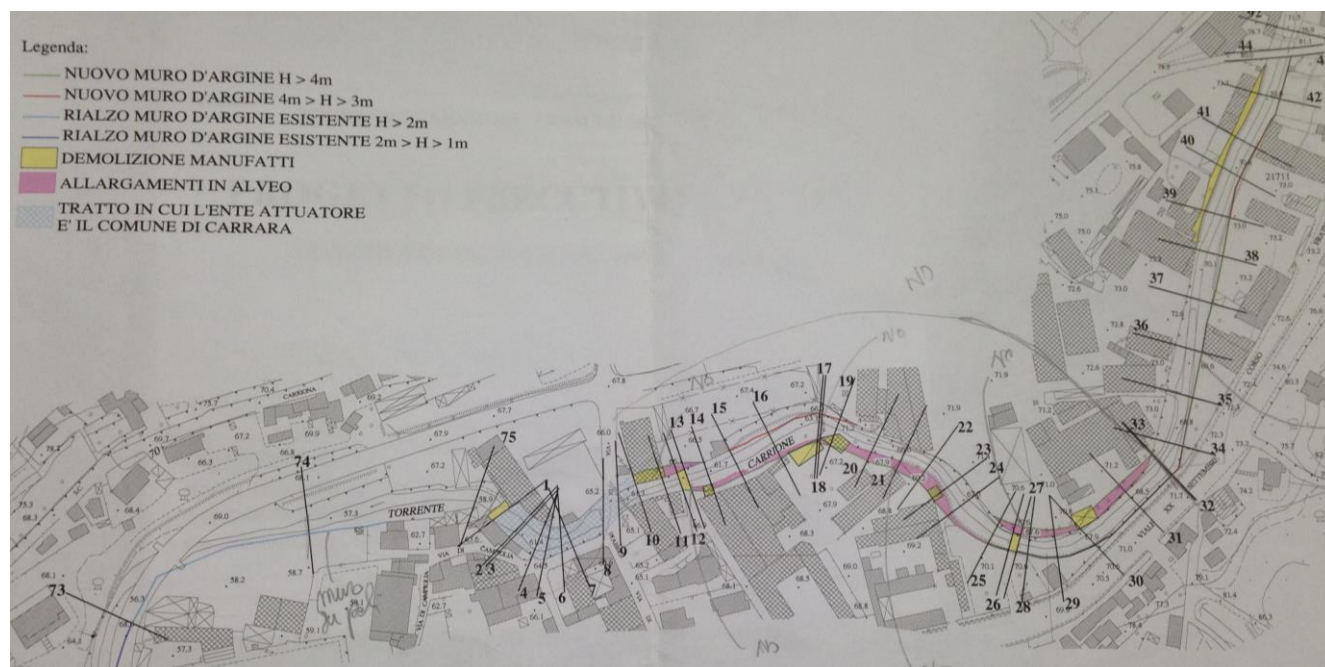


Fig. 17 – Estratto Pratica Sismica N. 802/2013 – Planimetria interventi

Normativa di riferimento con la quale è stato eseguito il progetto: DM 1996.

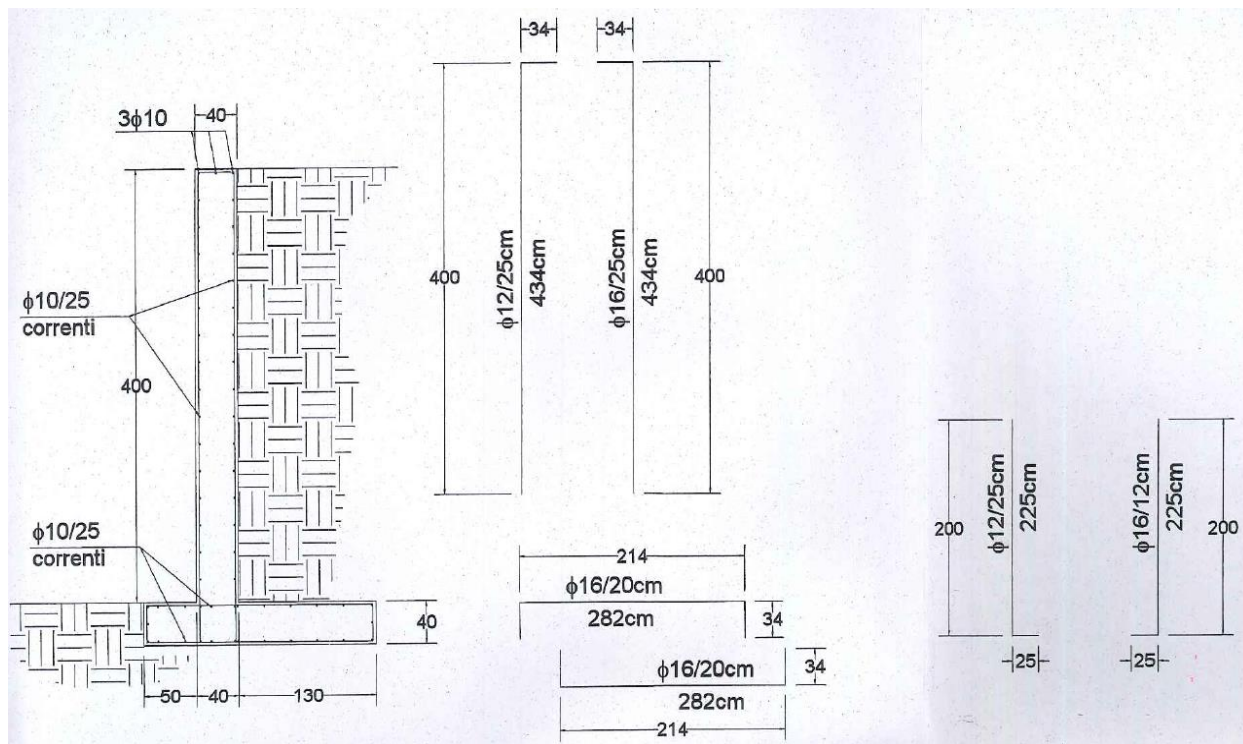


Fig. 18 – Sezione tipo muro H = 4 m – Estratto Pratica Sismica N. 802/2013

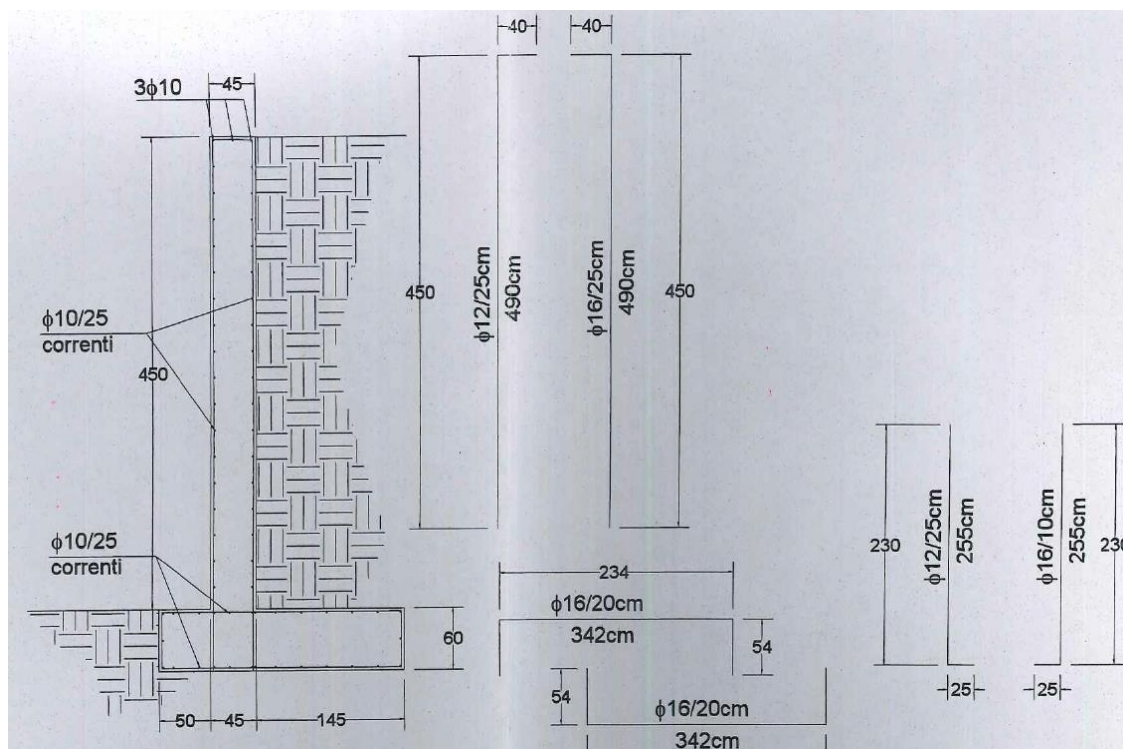


Fig. 19 – Sezione tipo muro H = 4,5 m – Estratto Pratica Sismica N. 802/2013

6.4 Risultati delle indagini conoscitive in sito

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

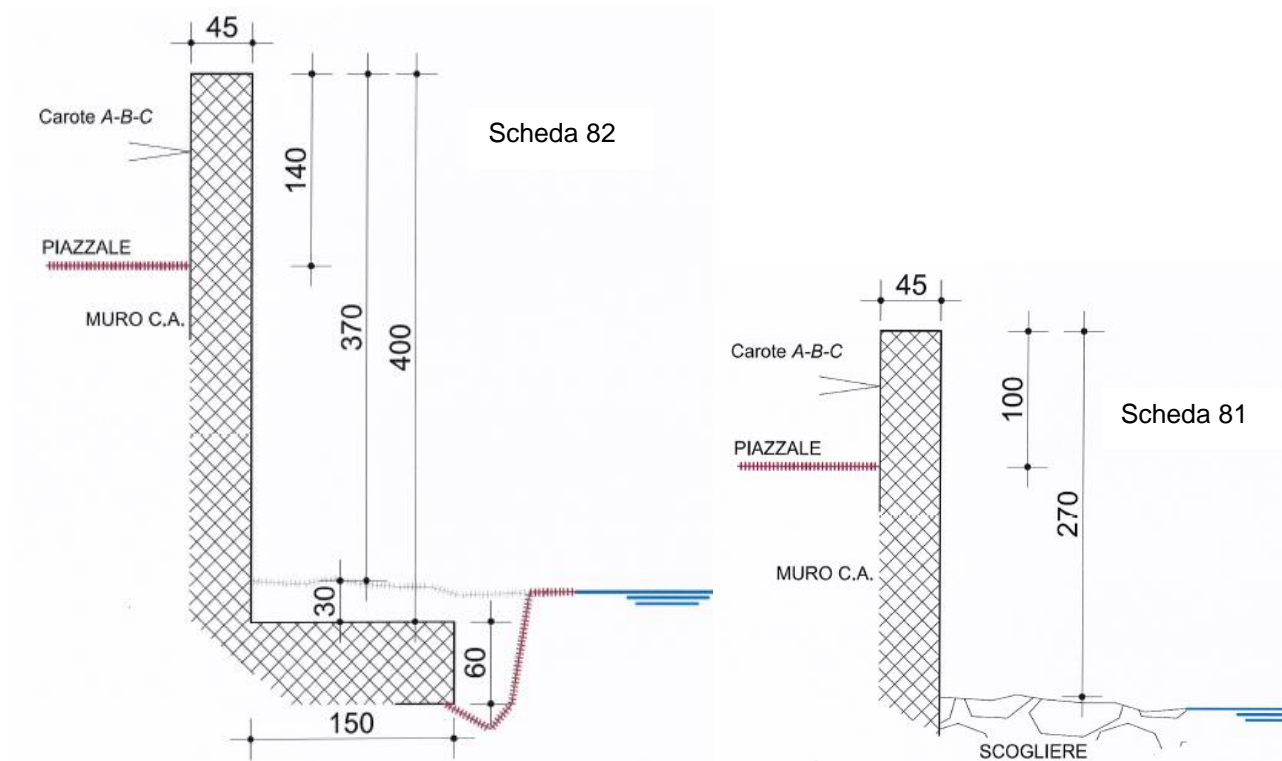


Fig. 20 – Sezione tipologica strutturale rilevata in sito

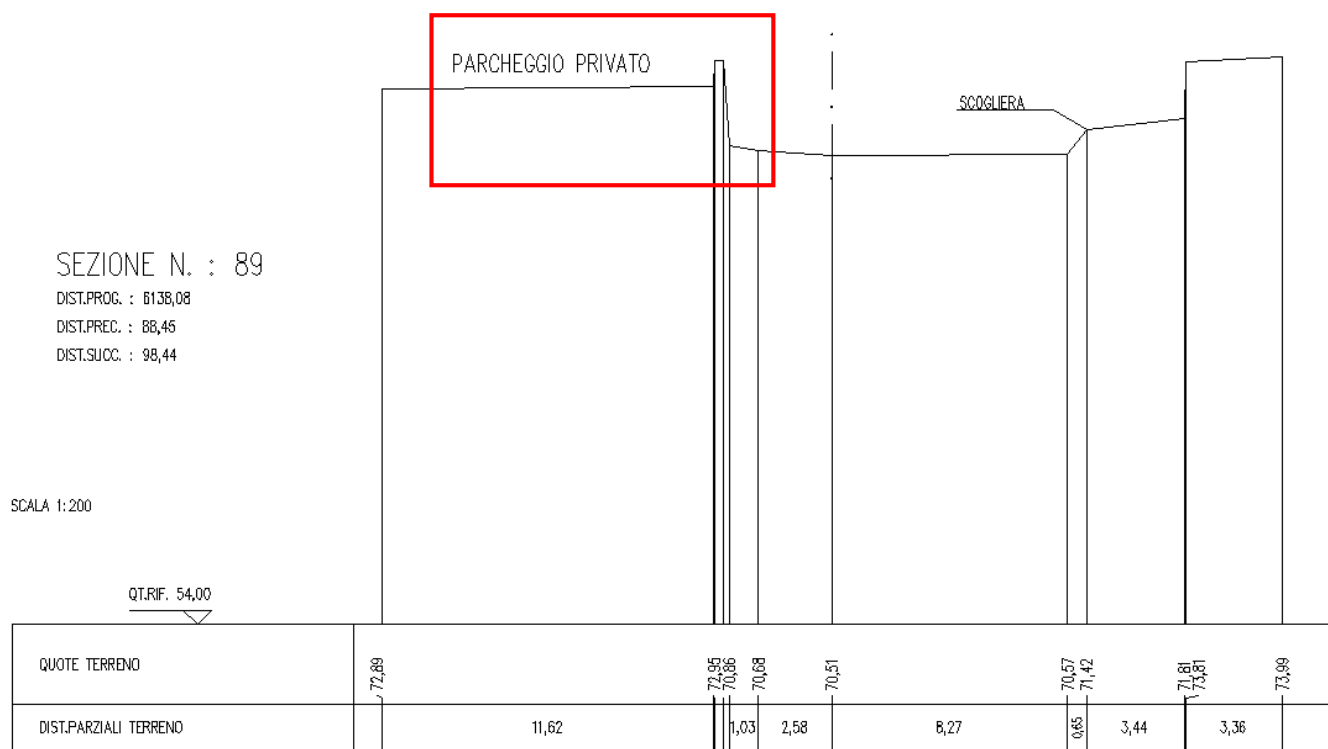


Fig. 21 – Sezione n.89 – Rilievo topografico effettuato sull'intera asta fluviale

6.4.1 Geometria

Sulla base delle informazioni geometriche ottenute da:

- 1) rilievo topografico (sez. 89)
- 2) rilievo geometrico effettuato durante le indagini in sito

si osserva che:

- 1) rispetto a quanto riportato nel progetto della pratica sismica n. 802/2013 riferito al nuovo muro in c.a., la tipologia dell'opera è rispettata mentre la geometria presenta difformità in alcuni aspetti riguardanti la ciabatta di fondazione, l'altezza dell'opera e l'altezza del terreno a tergo. In particolare:
 - il progetto del muro alto 4 m prevede la ciabatta di lunghezza 220 cm con tratto lato piazzale di dimensioni 130 cm e spessore pari a 40 cm, lo spessore della nervatura è previsto pari a 40 cm;
 - il progetto del muro alto 4,50 m prevede la ciabatta di lunghezza 240 cm con tratto lato piazzale di dimensioni 145 cm e spessore pari a 60 cm, lo spessore della nervatura è previsto pari a 45 cm.

Pertanto confrontando il rilievo in sito con i dati di progetto, la geometria del muro realizzato corrisponde maggiormente a quella del muro alto 4,50 m in difformità all'altezza rilevata pari a 4,00 m. Per quanto riguarda però la ciabatta di fondazione, lato alveo è stata misurata una dimensione pari a 150 cm > 50 cm previsti da progetto e non è stato indagato lo stato della fondazione antistante il muro (lato piazzale).

6.4.2 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 c.a di buone caratteristiche (si faccia riferimento a tal proposito alle schede di elaborazione dei risultati delle indagini in sito riportate nel book relativo al quadro conoscitivo).

PROVE SONREB - MURO IN C.A.						
PUNTO	A	B	C	A'	B'	C'
Ir	42,1	38,9	40,8	42,7	41,7	41,2
Vp [m/s]	4254,0	4203,0	4190,0	4254,0	4203,0	4190,0
Rs0	47,4	41,1	43,6	48,4	45,3	44,2
Rs1	47,2	42,1	44,0	47,9	45,3	44,4
Rs2	44,0	39,0	41,1	44,8	42,5	41,6
Rs3	40,4	36,2	38,0	41,1	39,2	38,5
Rs (medio)	44,8	39,6	41,7	45,5	43,1	42,2
fc (0,83 Rs)	37,1	32,9	34,6	37,8	35,8	35,0

CAROTE (Masi, 2005)							
PROVINO	f _{car} [Mpa]	D [mm]	H [mm]	D/H	C _{h/D}	f _{cis} [Mpa]	Rc [Mpa]
82A	31,4	104	210	0,50	1,00	31,4	37,83
82B	32,3	104	209	0,50	1,00	32,3	38,92
82C	32,7	104	203	0,51	0,99	32,4	39,04
media						32,03	38,59

Correlazione Resistenza Sonreb – Laboratorio

RESISTENZA MEDIA [N/mmq]	
f_{cm}	33,20

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
f _{cm} /FC =	27,67

6.4.3 Ferri di armatura

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

Armatura verticale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 20 cm. → NON coerente con il progetto (che prevede $\Phi 12$ passo 25 cm lato alveo e $\Phi 16$ passo 25 cm lato piazzale).

Armatura orizzontale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 20 cm → NON coerente con il progetto (che prevede $\Phi 10$ passo 25 cm).

6.5 Verifiche del muro arginale

Le verifiche del muro in c.a. vengono condotte considerando la sezione del muro così come rilevata in sito con la larghezza della ciabatta lato piazzale pari a 50 cm (come se le dimensioni del progetto fossero invertite): L tot ciabatta = 245 cm.

Per i parametri geotecnici si assume quanto riportato nel progetto depositato: $\gamma = 18 \text{ kN/mc}$ e $\phi' = 30^\circ$.

6.5.1 Verifiche in condizioni idrauliche di massima piena

Nella condizione idraulica di massima piena si considera la spinta dell'acqua lato alveo e la contropinta del terreno lato strada.

DATI CARATTERISTICI MURO	
Peso di volume c.c.a. [kN/mc]	25
h nervatura [m]	4
h ciabatta [m]	0,6
h tot muro [m]	4,6
h terreno su ciabatta di valle [m]	0,3
spessore nervatura [m]	0,45
Larghezza totale ciabatta [m]	2,45
L mensola ciabatta di monte [m]	0,5
L mensola ciabatta di valle [m]	1,5

AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Qw - Spinta H2O	105,80
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	45,00
W2 - Peso proprio ciabatta	36,75
Wt2 - Peso proprio terreno sopra ciabatta a monte	23,40
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	138,24
Spinta passiva del terreno strada (M2)	112,63

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2		
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	243,34
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	183,27
	FS [-]	0,75 < 1
		NO

VERIFICA ALLO SLITTAMENTO - APPROCCIO 2	A1+M1+R3		
$\delta k = \Phi' (M1)$	30,00		
$\tan \delta k / yr$	0,52		
AZIONI DI PROGETTO [kN/m] (A1 sfav. di STR)	Td [kN/m]	20,46	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	55,19	
	FS [-]	2,70 > 1	OK

Affinchè la verifica a ribaltamento sia soddisfatta occorre che la ciabatta di fondazione lato terrapieno sia larga almeno 1,20 m per un totale di $1,20+0,45+1,50 = 3,15$ m.

Questa informazione però non è nota allo stato attuale.

Verifica della sezione in c.a. del muro

Si considera lo schema di muro a mensola con l'incastro in corrispondenza dell'estradosso della ciabatta di fondazione. La verifica di resistenza della sezione di incastro viene eseguita con l'armatura rilevata in sito: $\Phi 12$ passo 20 cm.

SLU \rightarrow FS = Mres/Msoll = 97,52 / 80,93 = 1,2 > 1 \rightarrow OK

Verifica C.A. S.L.U. - File: verifica_muro_ca_82

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo :

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	45

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	5
2	5,65	40

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N Ed 45 0 kN

M xEd 80,93 0 kNm

M yEd 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls

Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M xRd 97,52 kN m

σ_c -15,87 N/mm²

σ_s 373,9 N/mm²

ε_c 3,5 ‰

ε_s 37,5 ‰

d 40 cm

x 3,414 x/d 0,08536

δ 0,7

Materiali

FeB44k C28/35

ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰

f_{yd} 373,9 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰

E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 15,87

E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8

ε_{syd} 1,87 ‰ σ_{c,adm} 11

σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6667

τ_{c1} 1,971

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-

Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

6.5.2 Verifiche in condizioni statiche di magra – terrapieno

La verifica del muro in condizioni di magra prevede l'azione spingente del terrapieno e del sovraccarico agente su di esso considerato arbitrariamente pari a 4 kN/mq, in accordo allo stato dei luoghi: infatti a tergo del muro sono presenti piazzali e giardini di fabbricati residenziali.

DATI CARATTERISTICI MURO	
<u>Peso di volume c.c.a. [kN/mc]</u>	25
h nervatura [m]	4
h ciabatta [m]	0,6
h tot muro [m]	4,6
h terreno su ciabatta di STRADA [m]	2,6
spessore nervatura [m]	0,45
Larghezza totale ciabatta [m]	2,45
L mensola ciabatta di ALVEO [m]	1,5
L mensola ciabatta di STRADA [m]	0,5

AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Pa,h - Spinta attiva orizzontale del terreno a monte (M1)	25,75
Pa,h - Spinta attiva orizzontale del terreno a monte (M2)	32,22
Pa,q - Spinta dovuta al sovraccarico lato monte (M1)	3,58
Pa,q - Spinta dovuta al sovraccarico lato monte (M2)	4,47
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
Pa,v - Spinta attiva verticale del terreno a monte (M1)	9,37
Pa,v - Spinta attiva verticale del terreno a monte (M2)	9,38
W1 - Peso proprio nervatura	45,00
W2 - Peso proprio ciabatta	36,75
Wt1 - Peso proprio terreno sopra ciabatta a monte	23,40
Pa,q - Spinta dovuta al sovraccarico lato monte (M1)	1,30
Pa,q - Spinta dovuta al sovraccarico lato monte (M2)	1,30

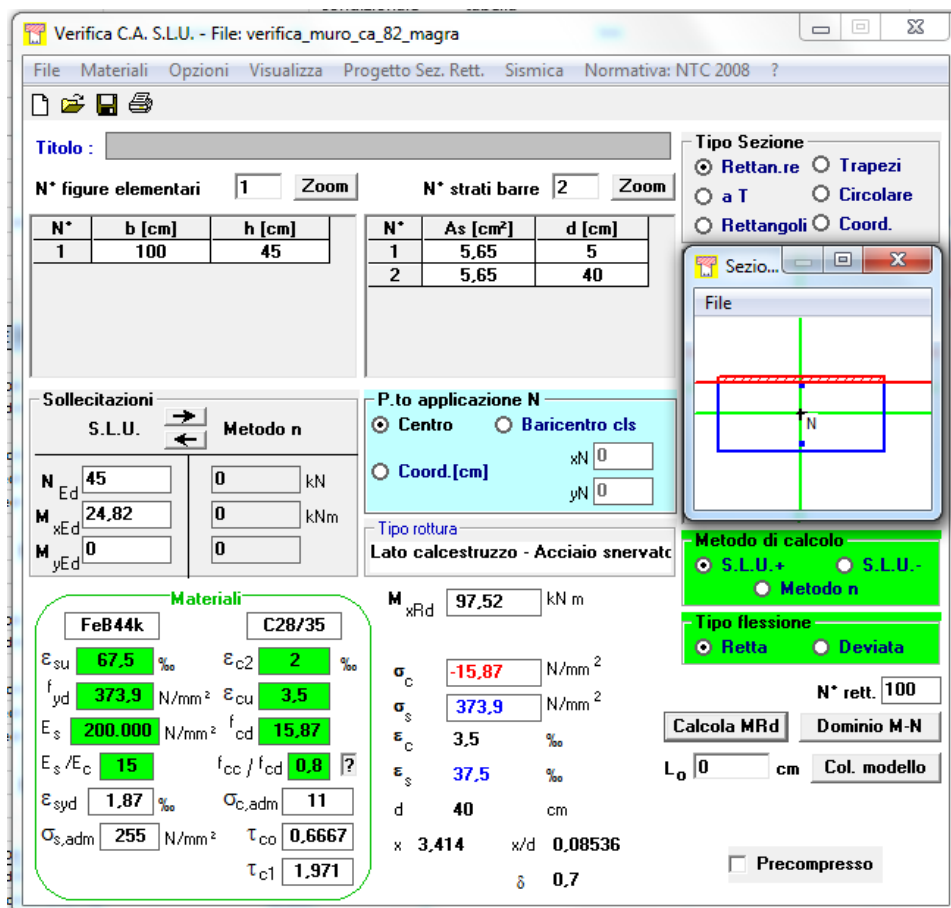
VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2		
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	48,54
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	177,40
	FS [-]	3,65 > 1 OK

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]	38,84	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. Di STR) (R3)	Tr [kN/m]	60,11	
	FS [-]	1,55 > 1	OK

Verifica della sezione in c.a. del muro

Si considera lo schema di muro a mensola con l'incastro in corrispondenza dell'estradosso della ciabatta di fondazione. La verifica di resistenza della sezione di incastro viene eseguita con l'armatura rilevata in sito: $\Phi 12$ passo 20 cm.

$$SLU \rightarrow FS = M_{res}/M_{soll} = 97,52 / 24,82 = 3,9 > 1 \rightarrow \text{OK}$$



Verifica C.A. S.L.U. - File: verifica_muro_ca_82_magra

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	45

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	5
2	5,65	40

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd} kNm

P.to applicazione N

☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

FeB44k C28/35

ϵ_{su} ‰ ϵ_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² ϵ_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} N/mm²
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 ϵ_{syd} ‰ $\sigma_{c,adm}$ N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} N/mm²
 τ_{c1} N/mm²

M kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c ‰
 ϵ_s ‰
d cm
x x/d
 δ

Metodo di calcolo

☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-
☒ Metodo n

Tipo flessione

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ cm Col. modello

☐ Precompresso

6.5.3 Verifiche in condizioni sismiche – (alveo in magra)

La verifica del muro in condizioni sismiche di magra prevede l'azione spingente del terrapieno. A vantaggio di sicurezza si trascura la spinta passiva del terreno lato alveo (essendo lo spessore del terreno lato alveo molto inferiore rispetto allo spessore del terrapieno).

Secondo le normative NTC 2008, il calcolo delle spinte in condizioni sismiche si basa sui metodi pseudo statici in base ai quali, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. Gli effetti dell'azione sismica sul muro di sostegno vengono considerati mediante due coefficienti sismici orizzontale e verticale così determinati:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} \quad k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

Per muri liberi di ruotare e traslare si considera che l'incremento di azione dovuto al sisma agisca nello stesso punto dell'azione statica ed il coefficiente β_m è tabellato in normativa in funzione della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione massima attesa.

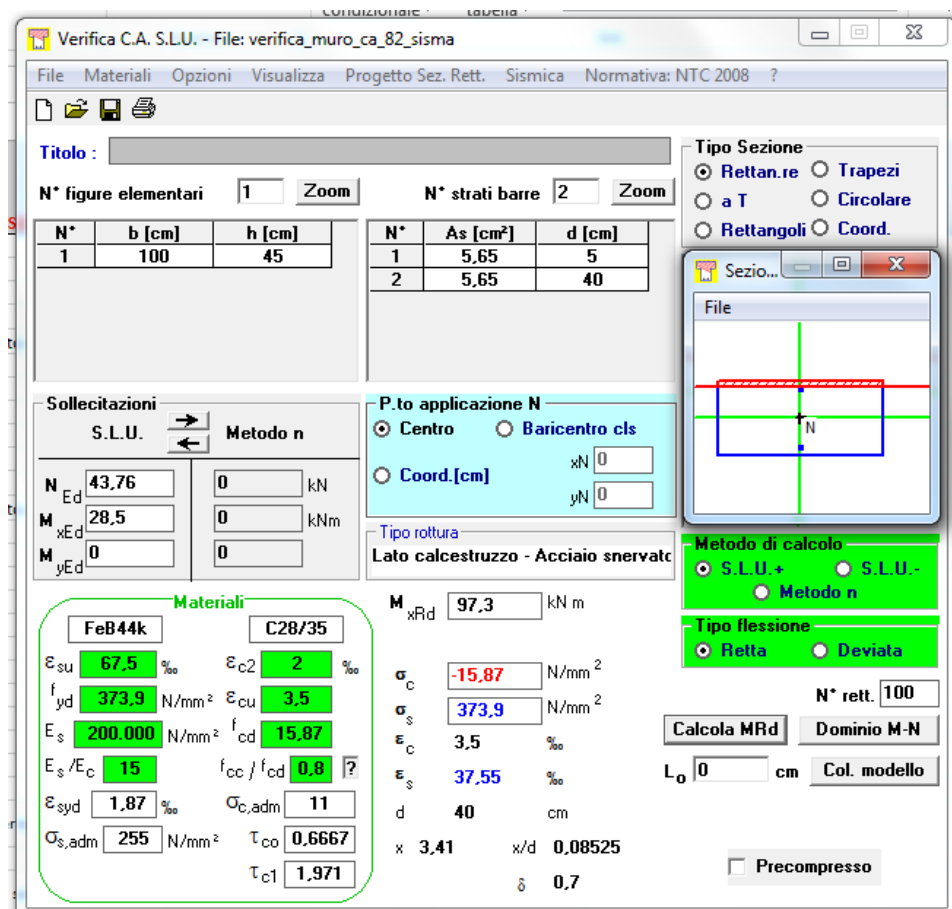
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
<i>Sa,h - Spinta attiva orizzontale del terreno a monte, st+din (M1)</i>	28,14
<i>Sa,h - Spinta attiva orizzontale del terreno a valle, st+din (M2)</i>	34,88
<i>Pa,h - Spinta attiva orizzontale del terreno a monte <u>Statica</u> (M1)</i>	25,75
<i>Pa,h - Spinta attiva orizzontale del terreno a valle <u>Statica</u> (M2)</i>	32,22
<i>ΔSa,h - Spinta attiva orizzontale del terreno a monte <u>Dinamica</u> (M1)</i>	2,40
<i>ΔSa,h - Spinta attiva orizzontale del terreno a valle <u>Dinamica</u> (M2)</i>	2,66
<i>Sa,q - Spinta dovuta al sovraccarico lato monte ,st+din (M1)</i>	3,91
<i>Sa,q - Spinta dovuta al sovraccarico lato monte ,st+din (M2)</i>	4,84
<i>W1 - Peso proprio nervatura*kh</i>	2,48
<i>W2 - Peso proprio ciabatta *kh</i>	2,02
<i>Wt1 - Peso proprio terreno sopra ciabatta a monte*kh</i>	1,29
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
<i>Sa,v - Spinta attiva vert. del terreno a valle, st+din (M1)</i>	10,24
<i>Sa,v - Spinta attiva vert. del terreno a valle, st+din (M2)</i>	10,16
<i>Pa,v - Spinta attiva vert. del terreno a valle <u>Statica</u> (M1)</i>	9,37
<i>Pa,v - Spinta attiva vert. del terreno a valle <u>Statica</u> (M2)</i>	9,38
<i>ΔSa,v - Spinta attiva vert. del terreno a valle <u>Dinamica</u> (M1)</i>	0,87
<i>ΔSa,v - Spinta attiva vert. del terreno a valle <u>Dinamica</u> (M2)</i>	0,78
<i>W1 - Peso proprio nervatura*(1-kv)</i>	43,76
<i>W2 - Peso proprio ciabatta *(1-kv)</i>	35,74
<i>Wt1 - Peso proprio terreno sopra ciabatta a monte*(1-kv)</i>	22,76

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	55,88	
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	194,86	
	FS [-]	3,49 > 1	OK
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]	37,84	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. Di STR) (R3)	Tr [kN/m]	59,19	
	FS [-]	1,56 > 1	OK

Verifica della sezione in c.a. del muro

Si considera lo schema di muro a mensola con l'incastro in corrispondenza dell'estradosso della ciabatta di fondazione. La verifica di resistenza della sezione di incastro viene eseguita con l'armatura rilevata in sito: $\Phi 12$ passo 20 cm.

$$SLU \rightarrow FS = M_{res}/M_{soll} = 97,3 / 28,5 = 3,4 > 1 \rightarrow OK$$



Verifica C.A. S.L.U. - File: verifica_muro_ca_82_sisma

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: _____

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	45	1	5,65	5
			2	5,65	40

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 43,76 kN
M_{Ed} 28,5 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
FeB44k C28/35

ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 373,9 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 15,87 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 ?
 ϵ_{syd} 1,87 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 11 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,6667
 τ_{c1} 1,971

M_{xRd} 97,3 kNm
 σ_c -15,87 N/mm²
 σ_s 373,9 N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 37,55 ‰
d 40 cm
x 3,41 x/d 0,08525
 δ 0,7

Metodo di calcolo
S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione
Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

6.6 Riepilogo

6.6.1 Conformità

Materiali → Ok

Geometria → Difformità nelle dimensioni geometriche della ciabatta di fondazione (per quanto rilevato lato alveo).

Armature → Difformità del passo dei ferri così come rilevato dalle indagini pacometriche.

Rischi → Sicurezza strutturale in condizioni di piena per difformità geometriche della ciabatta di fondazione rispetto al progetto.

Condizione di carico più gravosa → Condizioni idrauliche di piena.

Verifiche → $FS < 1$ per l'equilibrio a ribaltamento dell'opera in condizioni di massima piena.

6.6.2 Criticità

- 1) Dimensioni geometriche della ciabatta di fondazione in disaccordo con quanto stabilito in progetto.
- 2) A valle del muro è presente una porzione di argine costituita da una scogliera alla base e un varco aperto chiuso con geoblocchi in sommità (tale opera è rimasta incompiuta durante i lavori e occorre completarla con urgenza).



6.6.3 Aspetti propedeutici alle altre fasi di progettazione

- 1) Approfondire con indagini in sito mirate (fori diagonali che attraversano la ciabatta di fondazione) e con informazioni reperibili ove possibile le caratteristiche della fondazione lato terrapieno: se corrisponde o meno a quella di progetto.

6.7 Interventi

Si prevedono i seguenti interventi qualora non sia possibile reperire maggiori informazioni sulla geometria della ciabatta di fondazione lato terrapieno o qualora il rilievo confermi le difformità con quanto riportato nel progetto.

- 1) ***Considerare la condizione di emergenza quando la quota di piena supera il franco rispetto alla quota di estradosso del muro di 50 cm.***
- 2) ***Rinforzare il muro con paratia di micropali a tergo del muro esistente.***
- 3) ***Ricostruzione muro come da progetto in corrispondenza del varco aperto chiuso momentaneamente con geoblocchi – tratto lasciato incompleto –.***

6.8 Stima degli interventi

Paratia di micropali

Costo stimato = 240.000 €.

Ricostruzione muro (rimasto incompleto)

Costo stimato = 180.000 €.