

**RELAZIONE SULL'ANALISI E VERIFICA STRUTTURALE DEI
MANUFATTI ESISTENTI DEL TORRENTE CARRIONE A CARRARA
- TRATTO 05 -**

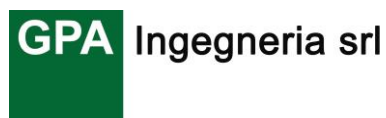
Progetto: Studio di Fattibilità
Commessa: C15003
Cliente: REGIONE TOSCANA - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile
Oggetto: Analisi Strutturale dei Manufatti di Contenimento Laterali e Trasversali del torrente "Carrione". Valutazione dello Stato Attuale e Proposte di Intervento.
N. Elaborato: 02.RG.04.05

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 05	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	7
4.3	Caratteristiche dei materiali e Geometria delle opere strutturali	7
4.4	Verifica Muro in pietra destra idraulica (rif. scheda 25 – sez.33)	8
4.4.1	Caratteristiche dei materiali	9
4.4.2	Verifiche del muro in pietrame.....	10
4.5	Verifica Sopralzo in c.a. destra idraulica (rif. scheda 25 – sez.33).....	11
4.5.1	Caratteristiche dei materiali	11
4.5.2	Ferri di armatura	12
4.5.3	Verifiche del sopralzo in c.a.....	12
4.6	Verifica Muro in pietra sinistra idraulica (rif. scheda 26 – sez.33)	13
4.6.1	Caratteristiche dei materiali	13
4.6.2	Verifiche del muro in pietrame.....	15
4.7	Verifica Muro in cls sinistra idraulica (rif. scheda 27 – sez.34)	16
4.7.1	Caratteristiche dei materiali	17
4.7.2	Verifiche del muro a gravità.....	18
4.8	Verifica Sopralzo in c.a. sinistra idraulica (rif. scheda 28 – sez.35).....	19
4.8.1	Caratteristiche dei materiali	20
4.8.2	Ferri di armatura	21
4.8.3	Verifiche del sopralzo in c.a.....	21
4.9	Verifica Muro in pietra sinistra idraulica (rif. scheda 29 – sez.X).....	23
4.9.1	Connessione con il muro di sopralzo in c.a.	23
4.9.2	Caratteristiche dei materiali	25



4.9.3	Verifiche del muro in pietrame.....	26
5	Conclusioni.....	27

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 05.

3 Quadro Conoscitivo Tratto 05

TRATTO = 05

LOCALIZZAZIONE = dal Ponte delle Ferrovie al Ponte della SS.1 Aurelia

LUNGHEZZA TRATTO = 468 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 05. L’elenco delle tipologie spondali viene fatto a partire da valle fino ad arrivare a monte del tratto in questione.

Destra Idraulica

- Muro d’argine in pietrame + muro a secco + sopralzo in c.a.;
- Tratto da realizzare secondo progetto depositato (Riferimento Pratica Sismica N. 469/2013);
- Muro d’argine in c.a. su rilevato arginale in terra e/o scogliera in costruzione.

Sinistra Idraulica

- Muro d’argine in pietrame + muro a secco di sopralzo realizzato con listelli di marmo.
- Muro d’argine in c.a. con sopralzo in c.a.;
- Muro d’argine in pietra con sopralzo in c.a.;
- Sopralzo in c.a. realizzato a seguito del crollo dell’argine sinistro a valle della SS Aurelia (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 05.

PRATICHE SISIMICHE

N. 469/2013

Messa in Sicurezza Bacino torrente Carrione.

CARATTERISTICHE STRUTTURALI INTERVENTO: Agli atti è presente il progetto n° 469/2013, con una variante, in fase di realizzazione, che prevede muri di sostegno, paratie alcune con pali e tiranti e alcune solo con pali. La variante è relativa alla modifica delle caratteristiche meccaniche dell'acciaio dei tiranti.

Il progetto prevede sia interventi in destra idraulica che in sinistra. In destra idraulica i lavori sono attualmente in corso, in sinistra idraulica i lavori non sono ancora iniziati.

Tipologie Opere di Sostegno:

- 1) Paratia con pali secanti $\varnothing 60$ di lunghezza 8 m armati "uno si e uno no" con altezza massima dal fondo alveo di 180 cm. I pali sono collegati con un cordolo in c.a. da 100x60 cm su cui verrà realizzato un muro di sostegno di spessore 30 cm e altezza massima di 3 m fuori terra.
- 2) Paratia + Muro di sostegno: paratia con pali secanti $\varnothing 60$ di lunghezza 6 m. Per una parte della paratia sono previsti pali ad interasse 150 cm, mentre per una parte della paratia sono previsti pali secanti armati "uno si e uno no" con altezza massima dal fondo alveo di 215 cm. I pali sono collegati con un cordolo in c.a. da 120x60 cm su cui verrà realizzato un muro di sostegno di spessore 30 cm e altezza massima di 2.65 m dal cordolo.

La paratia sarà poi collegata mediante cordoli trasversali di sezione 80x30 cm passo 6 m armati con 7+7 $\varnothing 16$ ad un muro di sostegno in c.a.. Il muro di sostegno ha fondazione di dimensioni pari a 200x30 cm e paramento di dimensioni 265x30 cm.

- 3) Paratia con pali secanti $\varnothing 60$ di lunghezza 12 m armati "uno si e uno no" con altezza massima dal fondo alveo di 435 cm. I pali sono collegati con un cordolo in c.a. da 100x60 cm su cui saranno applicati tiranti $\varnothing 16/200$ di tipo passivo armati con barre cave a filettatura continua. Tali opere di sostegno saranno realizzate in prossimità di alcuni fabbricati esistenti. La paratia dovrà essere interrotta in un punto a causa della presenza di tubazioni interrato in corrispondenza delle quali si andrà a realizzare una trave-parete di spessore 45 cm. Per questa tipologia il progetto prevede due verifiche distinte: una per il tratto vicino agli edifici per civile abitazione ed una per il tratto vicino al capannone artigianale.

Pratica Sismica	Descrizione	Committente	FL	Collaudo	N.Omologazione
P.S. 469/2013	Messa in Sicurezza Bacino T. Carrione	Provincia MS	<i>in corso</i>	<i>in corso</i>	Omol.33

3.3 Osservazioni Preliminari

Destra Idraulica

- Muro d'argine in pietrame + muro a secco + sopralzo in c.a..
A monte del Ponte della Ferrovia.
- Tratto da realizzare secondo progetto depositato (Riferimento Pratica Sismica N. 469/2013).
Criticità: argine provvisorio in terra e ciottoli, in attesa di realizzazione interventi come da progetto.
- Muro d'argine in c.a. su rilevato arginale in terra e/o scogliera in costruzione.
Criticità: argine attualmente in costruzione.

Sinistra Idraulica

- Muro d'argine in pietrame + muro a secco di sopralzo realizzato con listelli di marmo.
Criticità: Muro d'argine esistente in pietrame le cui condizioni statiche e di stabilità sono potenzialmente critiche.
- Muro d'argine in c.a. con sopralzo in c.a..
L'argine in sx idraulica è costituito da un muro d'argine esistente in c.a. con rialzo in c.a. per adeguamento alla portata duecentennale su tutto il tratto eseguito nell'epoca dal 2007-2012. Il progetto è stato sequestrato dalla Procura a seguito dell'evento alluvionale del 2012.
Criticità: Non è presente nessuna documentazione agli atti.
Su tale tratto si richiede la verifica con sondaggi a campione atta ad individuare presenza di armature, caratteristiche del cls armato utilizzato. Su tale tratto sono previsti interventi di messa in sicurezza che prevedono muri di sostegno e paratie come da progetto depositato (Riferimento Pratica Sismica N. 469/2013); i lavori non sono ancora iniziati.
- Muro d'argine in pietra con sopralzo in c.a..
- Sopralzo in c.a. realizzato a seguito del crollo dell'argine sinistro a valle della SS Aurelia (2012).
Il tratto in oggetto è stato interessato con l'evento alluvionale del 2012 dal crollo dell'argine sinistro a Valle della SS Aurelia. In seguito a sequestro non è possibile visionare il progetto.

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 05.

Poiché il tratto 5 è caratterizzato da lavori attualmente in corso o da realizzare, in attesa del collaudo finale, le verifiche preliminari di seguito condotte hanno carattere qualitativo e non rilevante.

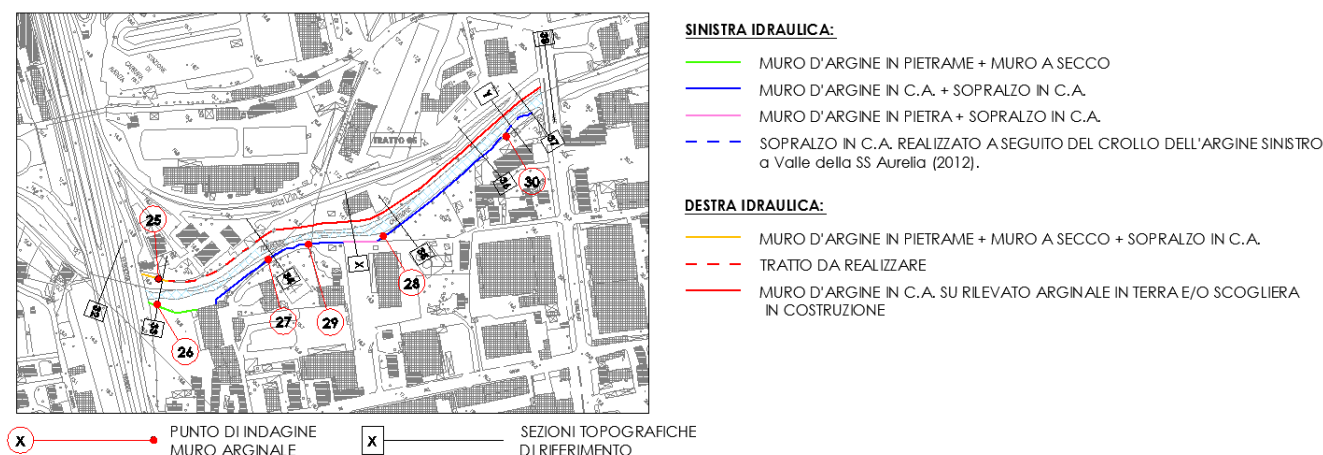


Fig. 1 – Inquadramento tratto 05

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 Muro in pietra destra idraulica (rif. scheda 25 – sez.33)

Si tratta di un muro in pietra con due sopralzi: il primo rappresentato da un muro a secco, il secondo da un muro in c.a..

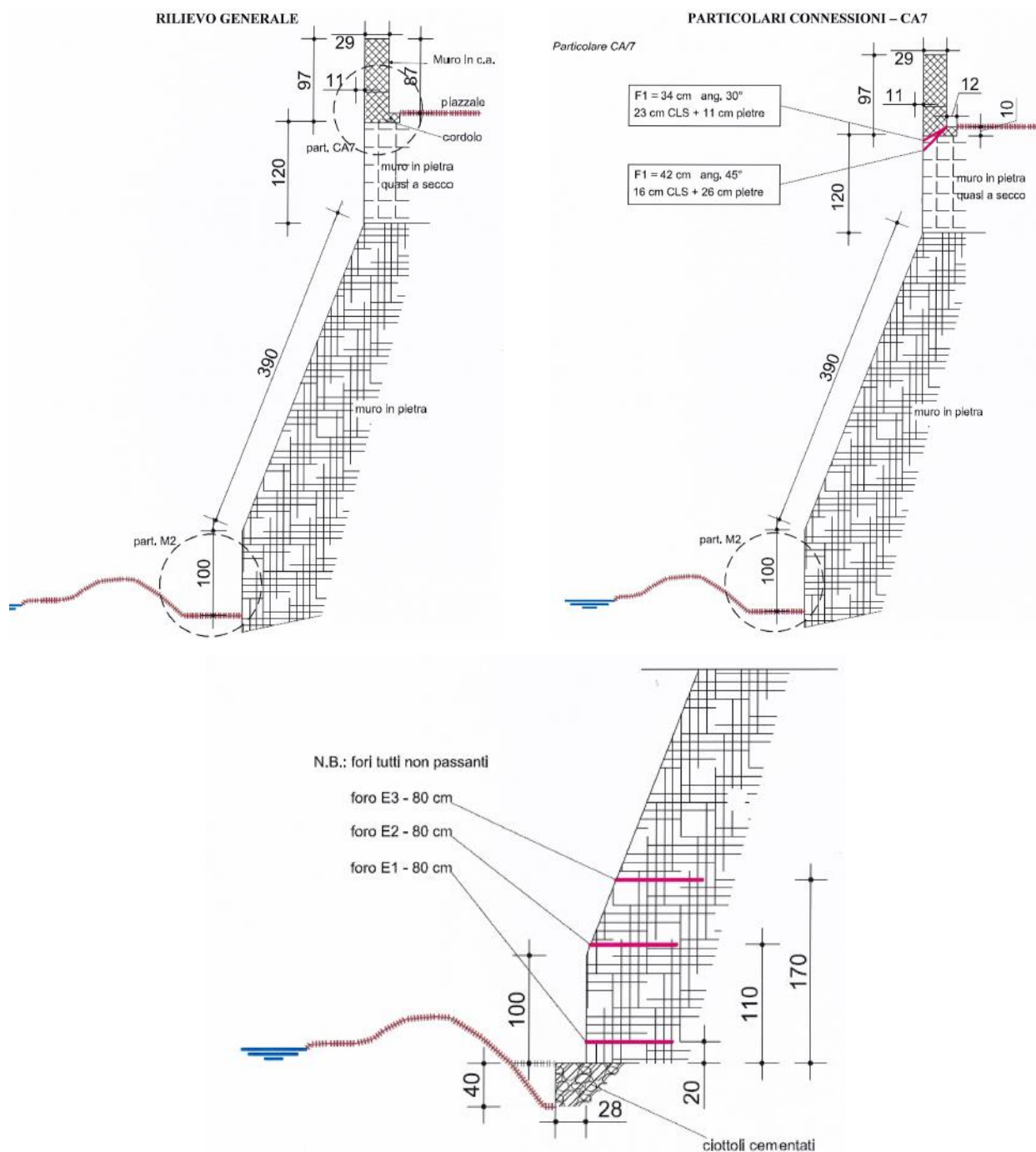


Fig. 2 – Sezione tipologica strutturale

4.4.1 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]	0-80	> 80	0-80	> 80	0-80	> 80
Materiale	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra

4.4.2 Verifiche del muro in pietrame

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

Non è stata perfettamente rilevata la geometria del muro, in quanto la profondità dello stesso è stata indagata fino a 80 cm rilevando la presenza del muro in pietra per l'intera lunghezza. Per tale motivo si ipotizza a vantaggio di sicurezza una larghezza del muro pari alla profondità indagata. Un'eventuale maggiore profondità dello stesso sarà da approfondire in sito e potrebbe determinare il soddisfacimento delle verifiche di equilibrio laddove la profondità ipotizzata risulta insufficiente.

	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	1,69
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	1,99
Qw - Spinta H2O	238,05
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	136,25
Ws - Peso proprio sopraelevato	7,5
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	350,80
Spinta passiva del terreno strada (M2)	297,36

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	822,00	NO
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	602,69	
	FS [-]	0,73 < 1	

VERIFICA ALLO SLITTAMENTO - APPROCCIO 2		A1+M1+R3		
$\bar{\delta}k = \Phi'$ (M1)		24,00		OK
$\tan\bar{\delta}k/\gamma r$		0,40		
AZIONI DI PROGETTO [kN/m] (A1 sfav. di STR)		Td [kN/m]	8,47	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)		Tr [kN/m]	58,18	
		FS [-]	6.87 > 1	

Muro da demolire P.S. N. 469/2013.

4.5 Verifica Sopralzo in c.a. destra idraulica (rif. scheda 25 – sez.33)

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

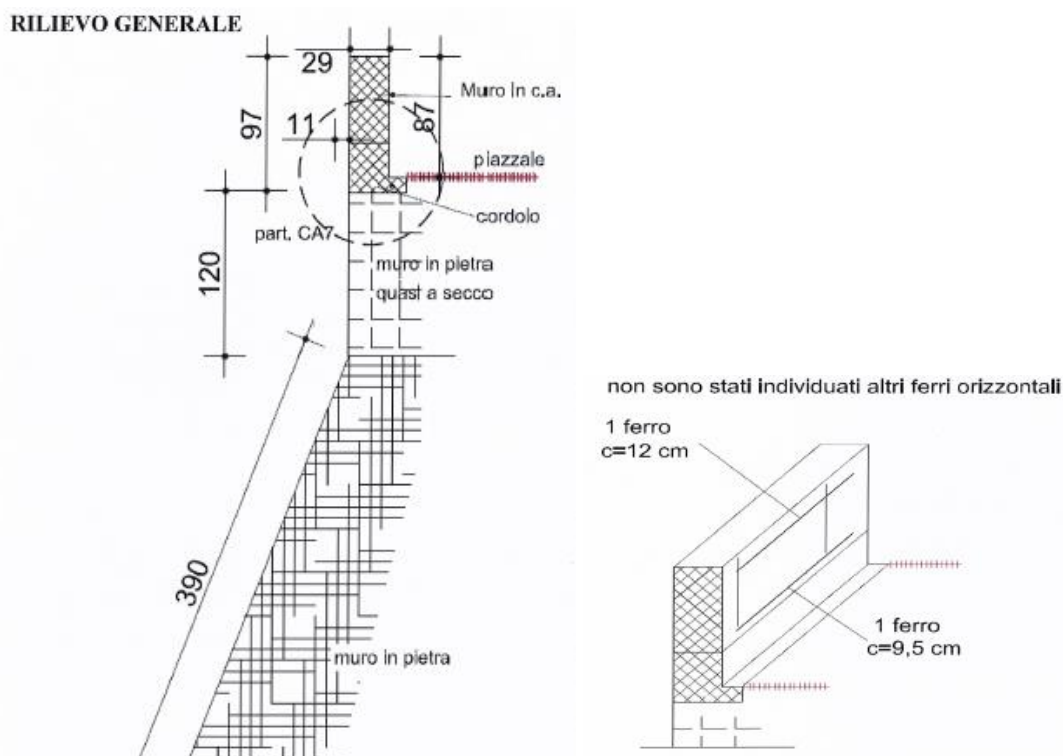


Fig. 3 – Sezione tipologica strutturale

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 vecchio sopralzo in c.a di caratteristiche medio basse (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}	15,41

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
f _{cm} /FC =	12,84

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 200 cm. → Scarsa presenza
 Armatura orizzontale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo non rilevato. di armatura

Ferri di inghisaggio assenti tra il sopralzo e il muro in pietra di base → criticità

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	5,00
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	7,20

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	2,50	NO
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	0,97	
	FS [-]	0,39 < 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]	7,50	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	2,91	
	FS [-]	0,39 < 1	

Muro da demolire P.S. N. 469/2013.

4.6 Verifica Muro in pietra sinistra idraulica (rif. scheda 26 – sez.33)

Si tratta di un muro in pietra con una porzione di muro di sopralzo realizzata con listelli di marmo (muro a secco).

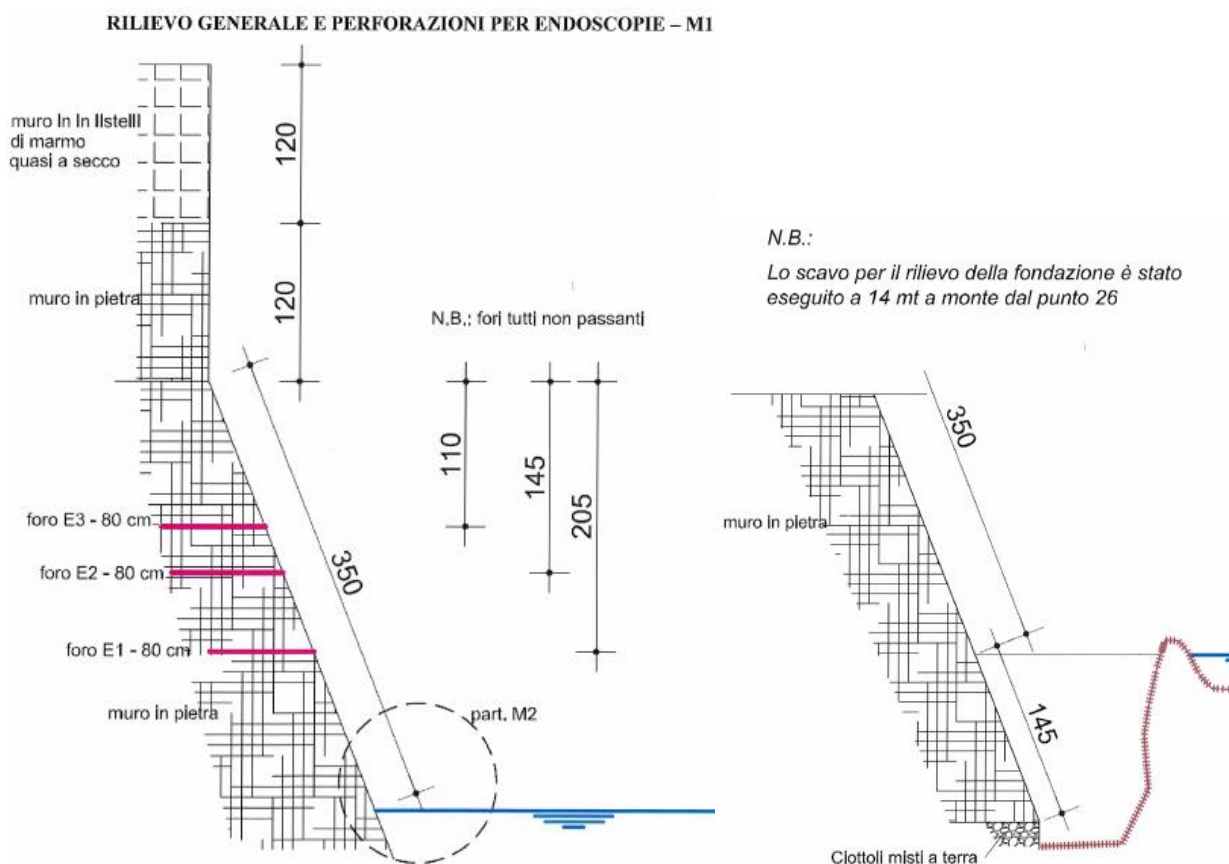


Fig. 4 – Sezione tipologica strutturale

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 sbozzati, 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]	0-80	> 80	0-80	> 80	0-80	> 80
Materiale	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra

4.6.2 Verifiche del muro in pietrame

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

Non è stata perfettamente rilevata la geometria del muro, in quanto la profondità dello stesso è stata indagata fino a 80 cm rilevando la presenza del muro in pietra per l'intera lunghezza. Per tale motivo si ipotizza a vantaggio di sicurezza una larghezza del muro pari alla profondità indagata. Un'eventuale maggiore profondità dello stesso sarà da approfondire in sito e potrebbe determinare il soddisfacimento delle verifiche di equilibrio laddove la profondità ipotizzata risulta insufficiente.

	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	3,17
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	3,74
Qw - Spinta H2O	250,65
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	95,13
Ws - Peso proprio sopralzo	22,80
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	336,71
Spinta passiva del terreno strada (M2)	285,41

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	889,24	NO
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	550,19	
	FS [-]	0,62 < 1	

VERIFICA ALLO SLITTAMENTO - APPROCCIO 2		A1+M1+R3	
$\delta k = \Phi'$ (M1)		24,00	OK
$\tan \delta k / \gamma r$		0,40	
AZIONI DI PROGETTO [kN/m] (A1 sfav. di STR)	Td [kN/m]	43,39	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	47,73	
	FS [-]	1,10 > 1	

Prevista palificata con pali di grande diametro P.S. N. 469/2013.

4.7 Verifica Muro in cls sinistra idraulica (rif. scheda 27 – sez.34)

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

Non è stata perfettamente rilevata la geometria del muro, in quanto la profondità dello stesso non è stata indagata. Per tale motivo si ipotizza a vantaggio di sicurezza una larghezza del muro pari alla profondità indagata. Un'eventuale maggiore profondità dello stesso sarà da approfondire in sito e potrebbe determinare il soddisfacimento delle verifiche di equilibrio laddove la profondità ipotizzata risulta insufficiente.

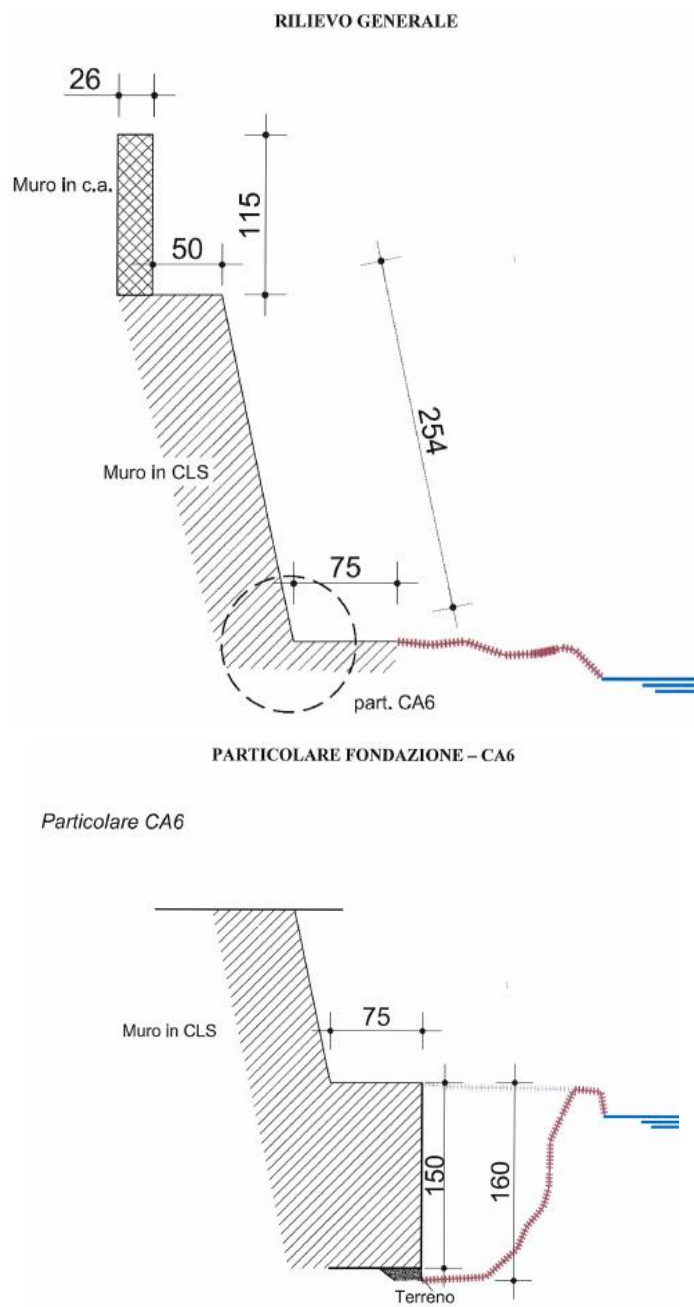


Fig. 5 – Sezione tipologica strutturale

Nella variante della Pratica Sismica N. 469/2013, dalle sezioni si evince che la sponda arginale in sinistra è costituita da un muro a gravità di epoca passata (in cls o pietrame), con sopralzo realizzato a tergo dell'opera e con sezione a T.

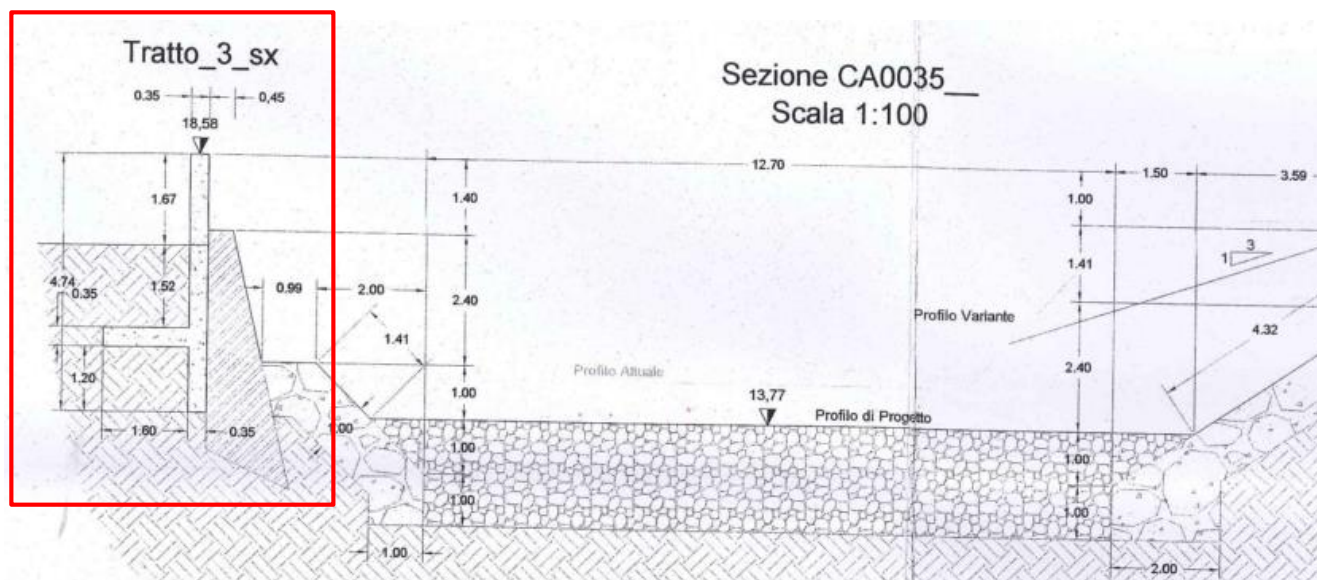


Fig. 6 – Sezione – Estratto Pratica Sismica N. 469/2013

Le indagini in sito che hanno rilevato la geometria del sopralzo, non si sono spinte oltre la ciabatta a L (Rif. 4.8). Pertanto si prevede di approfondire la geometria con indagini in sito mirate.

4.7.1 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/mm²]	
fcm	16,70

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
fcm/FC =	13,92

4.7.2 Verifiche del muro a gravità

Per le verifiche del muro a gravità si ottengono i seguenti risultati.

	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	3,80
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	4,48
Qw - Spinta H2O	127,01
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	151,18
Ws - Peso proprio sopralzo	7,48
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	152,49
Spinta passiva del terreno strada (M2)	129,26

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2		
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	322,52
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	238,04
	FS [-]	0,74 < 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]	42,95
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	64,22
	FS [-]	1,50 > 1
		OK

Note: Prima di programmare gli interventi sul muro di base, occorre riverificare l'opera dopo aver eseguito saggi approfonditi per valutare la profondità e lo spessore del muro a gravità, e per valutare l'effettiva rispondenza della sezione di progetto del sopralzo. Infatti se la sezione del sopralzo rispecchia le caratteristiche progettuali che prevedono una sezione a T adiacente al muro di base, esso produce un contributo benefico sul vecchio muro.

4.8 Verifica Sopralzo in c.a. sinistra idraulica (rif. scheda 28 – sez.35)

Si tratta di un muro di sopralzo in c.a. su muro a gravità in cls realizzato in epoca diversa.
Dalle indagini in sito effettuate dal laboratorio Sigma la geometria rilevata è la seguente.

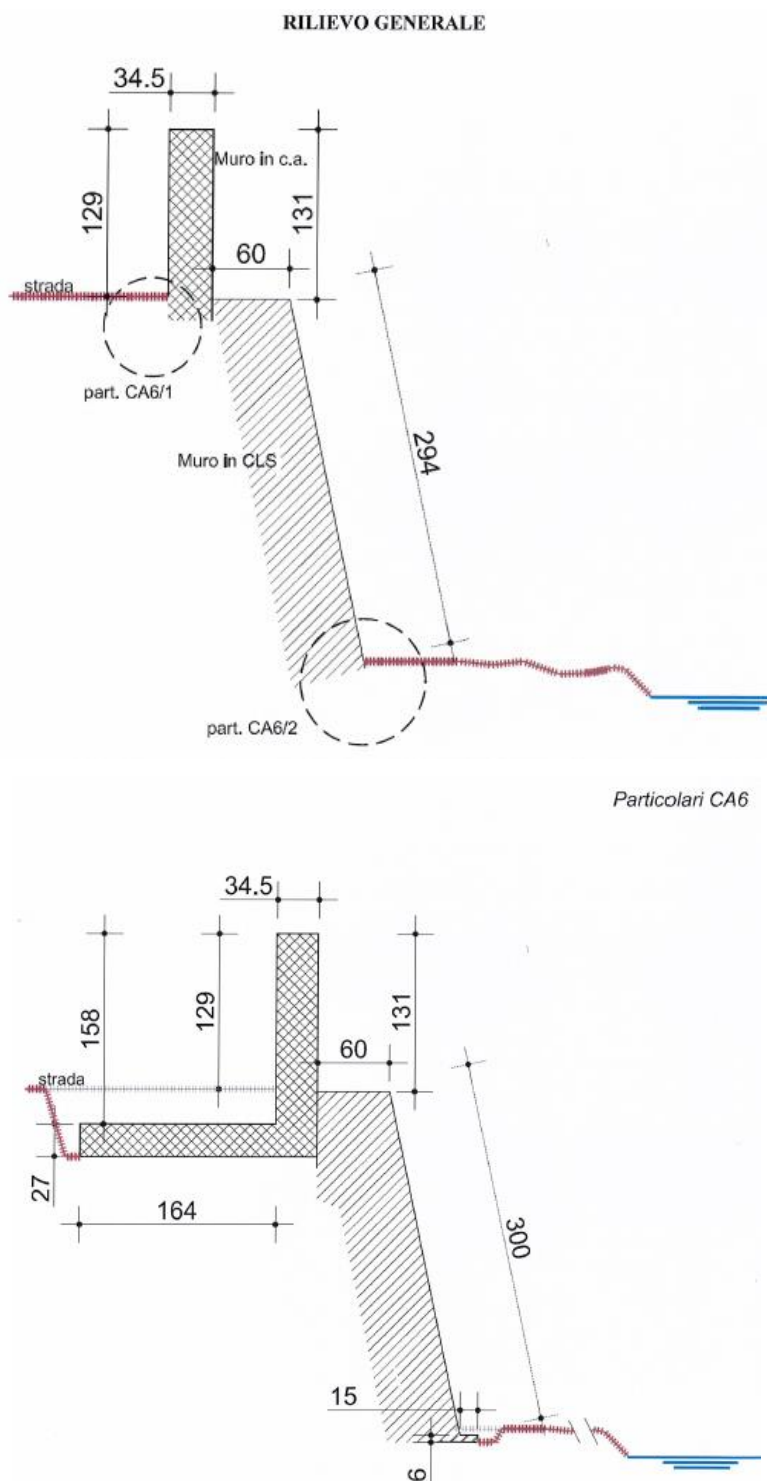


Fig. 7 – Sezione tipologica strutturale

Nella variante della Pratica Sismica N. 469/2013, dalle sezioni si evince che la sponda arginale in sinistra è costituita da un muro a gravità di epoca passata (in cls o pietrame), con sopralzo realizzato a tergo dell'opera e con sezione a T.

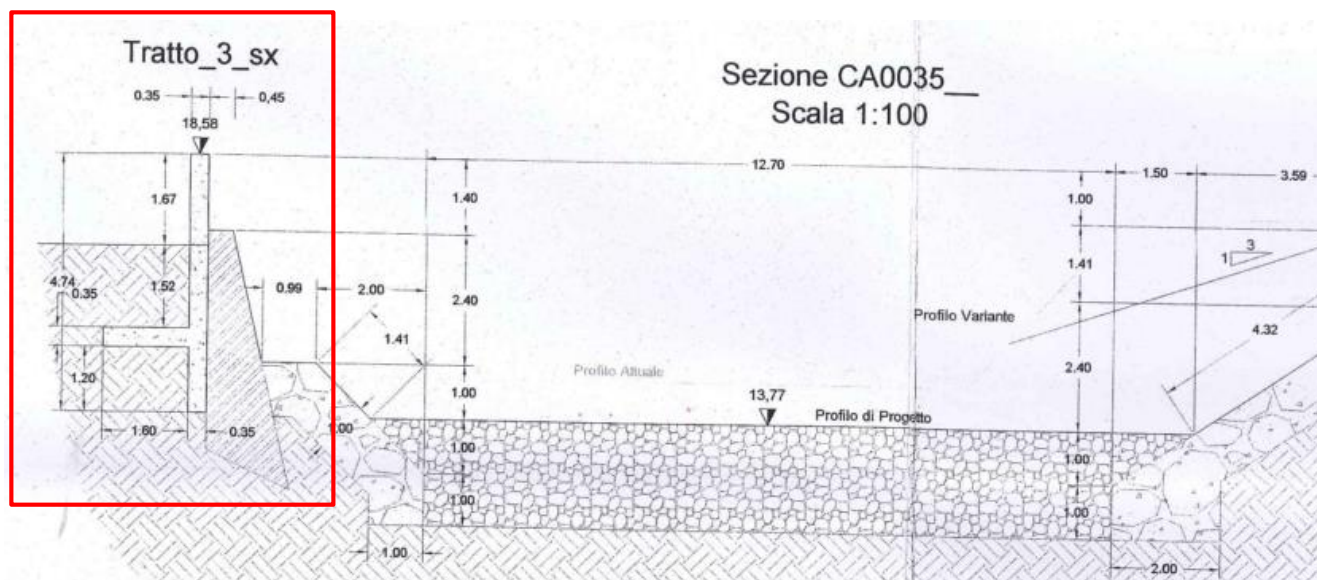


Fig. 8 – Sezione – Estratto Pratica Sismica N. 469/2013

Le indagini in sito che hanno rilevato la geometria del sopralzo, non si sono spinte oltre la ciabatta a L. Pertanto si prevede la possibilità di approfondire la geometria con indagini in sito mirate.

4.8.1 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	30,99

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
fcm/FC =	25,82

4.8.2 Ferri di armatura

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

Armatura verticale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 19 cm.

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

Ferri di inghisaggio tra il vecchio muro e il sopralzo = $\Phi 16$ Lancoraggio ≥ 30 cm.

4.8.3 Verifiche del sopralzo in c.a.

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

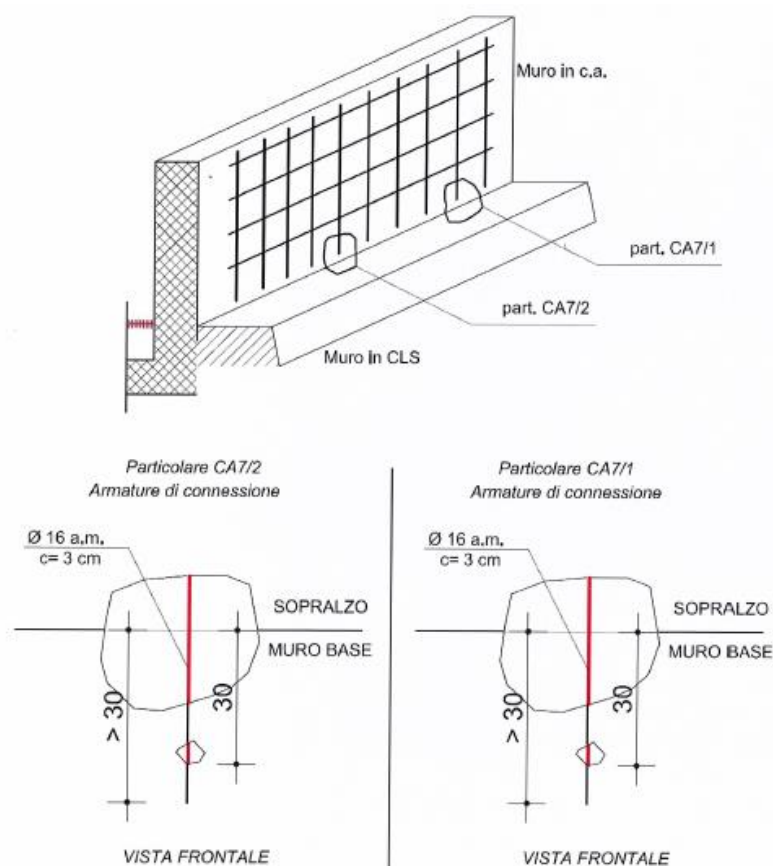
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Qw - Spinta H ₂ O	17,11
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	13,63
W2 - Peso proprio ciabatta	13,40
Wt2 - Peso proprio terreno sopra ciabatta	8,09

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	15,83	OK
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	40,17	
	FS [-]	2,54 > 1	

VERIFICA ALLO SLITTAMENTO: Ok con la geometria da progetto (verificare la sezione del sopralzo in sito con indagini approfondite).

Verifica della sezione in c.a. – Stato Limite Ultimo Strutturale $\rightarrow FS = M_{res}/M_{soll} = 52,77 / 9,86 = 5,3 > 1 \rightarrow$ **OK**

Verifica Ferri di connessione al muro sottostante in cls



Ferri di inghisaggio tra il vecchio muro e il sopralzo = $\Phi 16$ L ≥ 30 cm (a metro).

M_r (SLU) = 15,83 kNm

N_{traz} (SLU) = 8 kN

$$\sigma_s = \frac{N}{A} = \frac{8000}{201} = 39,8 \text{ N/mm}^2 < f_d = 273,9 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{OK (Ipotesizzando ferri di acciaio Feb32K =$$

classe minima per armature ad aderenza migliorata come rilevato).

L ancoraggio ≥ 30 cm \rightarrow OK compatibile con ferri ad aderenza migliorata inghisati nel muro di base in cls a distanza opportuna dal bordo: $d = 60 + 3 = 63$ cm (copriferro rispetto al bordo del muro in cls di base).

Si esegue la verifica della sezione di base in c.a. con i ferri di inghisaggio rilevati: $\Phi 16$ (a metro).

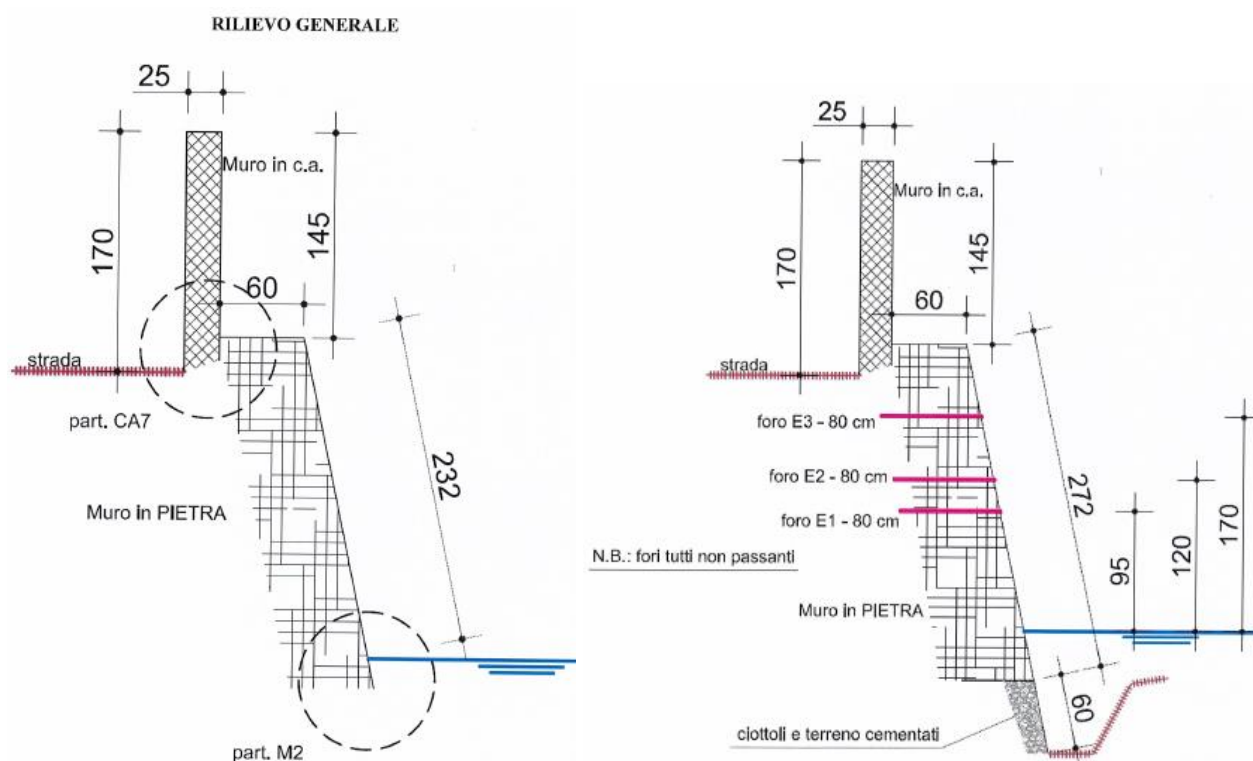
M_{soll} (SLU) = 15,83 kNm

$M_{res} = 18,14$ kN

$$FS = M_{res}/M_{soll} = 18,14 / 15,83 = 1,1 > 1 \rightarrow \text{OK}$$

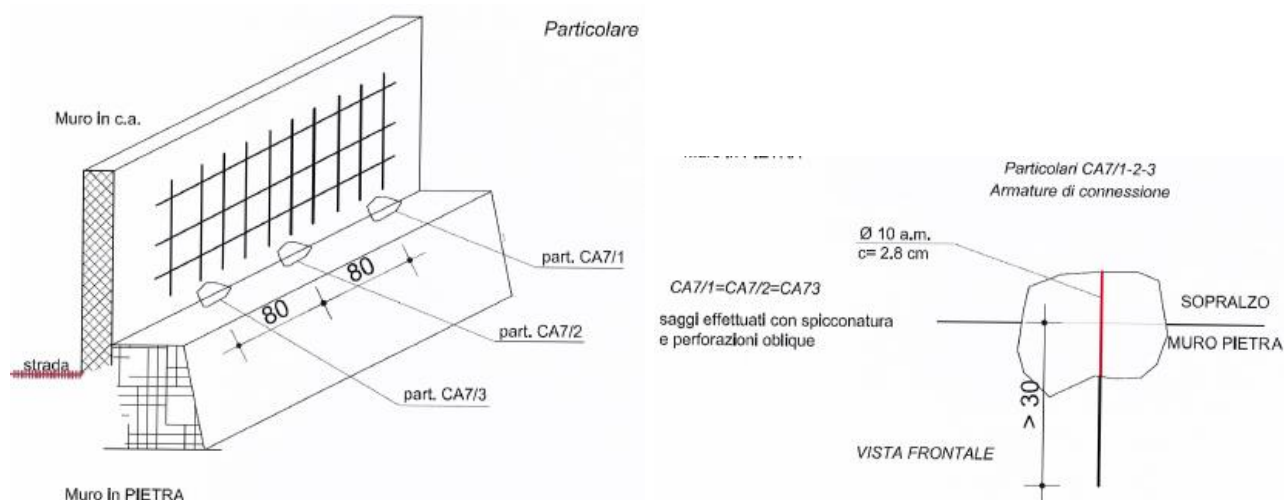
4.9 Verifica Muro in pietra sinistra idraulica (rif. scheda 29 – sez.X)

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



4.9.1 Connessione con il muro di sopralzo in c.a.

Ferri di inghisaggio tra il muro di base in pietrame e il sopralzo in c.a. = $\Phi 10$ Lancoraggio ≥ 30 cm.



Nella variante della Pratica Sismica N. 469/2013, dalle sezioni si evince che la sponda arginale in sinistra è costituita da un muro a gravità di epoca passata (in cls o pietrame), con sopralzo realizzato a tergo dell'opera e con sezione a T.

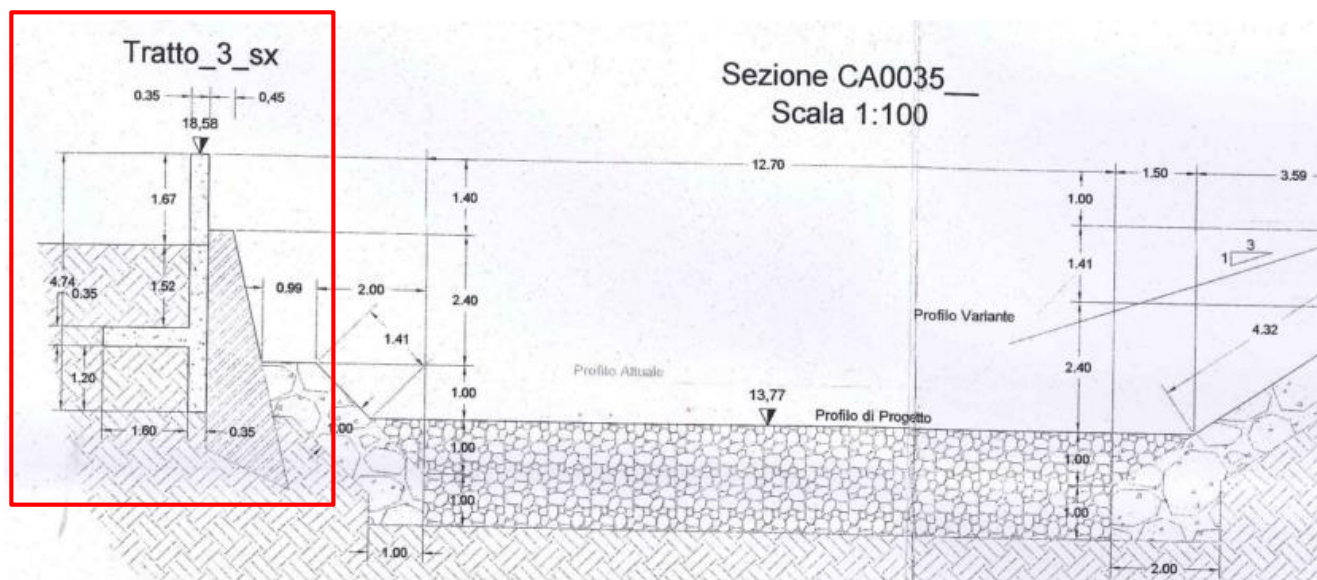


Fig. 10 – Sezione – Estratto Pratica Sismica N. 469/2013

Le indagini in sito che hanno rilevato la geometria del sopralzo, non si sono spinte oltre la ciabatta a L (Rif. 4.8). Pertanto si prevede la possibilità di approfondire la geometria con indagini in sito mirate.

4.9.2 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]	0-80	> 80	0-80	> 80	0-80	> 80
Materiale	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra	muro pietra

4.9.3 Verifiche del muro in pietrame

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

Non è stata perfettamente rilevata la geometria del muro, in quanto la profondità dello stesso è stata indagata fino a 80 cm rilevando la presenza del muro in pietra per l'intera lunghezza. Per tale motivo si ipotizza a vantaggio di sicurezza una larghezza del muro pari alla profondità indagata. Un'eventuale maggiore profondità dello stesso sarà da approfondire in sito e potrebbe determinare il soddisfacimento delle verifiche di equilibrio laddove la profondità ipotizzata risulta insufficiente.

	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	0,53
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	0,62
Qw - Spinta H2O	104,42
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	67,41
Ws - Peso proprio sopralzo	9,06
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	98,10
Spinta passiva del terreno strada (M2)	83,15

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	238,74	
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	115,91	
	FS [-]	0,49 < 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]	59,23	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	30,95	
	FS [-]	0,52 < 1	NO

Note: Prima di programmare gli interventi sul muro di base, occorre riverificare l'opera dopo aver eseguito saggi approfonditi per valutare la profondità e lo spessore del muro a gravità, e per valutare l'effettiva rispondenza della sezione di progetto del sopralzo. Infatti se la sezione del sopralzo rispecchia le caratteristiche progettuali che prevedono una sezione a T adiacente al muro di base, esso produce un contributo benefico sul vecchio muro.

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 PIETRA Sx – Scheda 26	MURO IN CLS Sx – Scheda 27	SOPRALZO IN C.A. Sx – Scheda 28
Qualita' Materiale			
Posizione e Φ ferri armatura	-	Ok se confermata la sezione di progetto con soprazzo a T retrostante il muro in cls 	
Caratt. ferri di inghisaggio			Ok se confermata la sezione di progetto a T del soprazzo 
Verifica a Ribaltamento			
Verifica a Slittamento			
Verifica sezione in c.a.			
Note	La variante P.S. N. 469/2013 prevede una nuova palificata con pali di grande Φ	Da approfondire geometria con indagini in sito mirate. (Rif. variante P.S. N. 469/2013).	Da approfondire geometria con indagini in sito mirate. (Rif. variante P.S. N. 469/2013).

VERIFICA	MURO IN PIETRA Sx – Scheda 29	MURO IN PIETRA Dx – Scheda 25	SOPRALZO IN C.A. Dx – Scheda 25
Qualità Materiale			
Posizione e Φ ferri armatura	Ok se confermata la sezione di progetto con sopralzo a T retrostante il muro in cls 	-	
Caratt. ferri di inghisaggio			
Verifica a Ribaltamento			
Verifica a Slittamento			
Verifica sezione in c.a.			-
Note	Da approfondire geometria con indagini in sito mirate. (Rif. variante P.S. N. 469/2013).	La variante P.S. N. 469/2013 prevede che questo muro sia da demolire	Scarsa presenza di armatura. No ferri di inghisaggio. La variante P.S. N. 469/2013 prevede che questo muro sia da demolire.

In **destra idraulica** il muro in pietra con sopralzo in c.a. risulta avere una qualità del materiale molto scadente: malta e muratura in pietrame scadente. Il sopralzo risulta debolmente armato e non sono presenti ferri di inghisaggio tra le due strutture. L'intera struttura è prevista da demolire nella variante P.S. N. 469/2013 (anche se nella stessa variante non è presente il progetto della nuova opera).

In **sinistra idraulica** le opere spondali sono costituite da muri a gravità in cls o pietra con sopralzo in c.a.. Nella variante della Pratica Sismica N. 469/2013, dalle sezioni trasversali si evince che il sopralzo è realizzato a tergo del muro a gravità e presenta sezione a T. Le indagini in sito che hanno rilevato la geometria del sopralzo, non si sono spinte oltre la ciabatta a L (Rif. cap. 4.8). Pertanto si prevede di approfondire la geometria con indagini in sito mirate per verificare la rispondenza o meno dello stato attuale dell'opera allo stato riportato nelle sezioni di progetto. Nel caso in cui le indagini in sito confermino la geometria riportata in progetto, i 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, sono verificati.



Interventi previsti in questa fase: nessuno, poiché la pratica sismica N. 469/2013 prevede interventi sia in sponda destra sia in sponda sinistra sull'intero tratto 5, alcuni dei quali in fase di realizzazione, altri ancora da realizzare. Si demanda alle fasi di collaudo finale la verifica delle nuove opere e la valutazione complessiva della sicurezza delle opere spondali del tratto in oggetto. Si prevede di monitorare lo stato avanzamento lavori e la realizzazione delle opere come da progetto.