

**RELAZIONE SULL'ANALISI E VERIFICA STRUTTURALE DEI
MANUFATTI ESISTENTI DEL TORRENTE CARRIONE A CARRARA
- TRATTO 01 -**

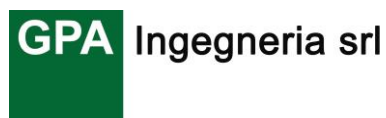
Progetto: Studio di Fattibilità
Commessa: C15003
Cliente: REGIONE TOSCANA - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile
Oggetto: Analisi Strutturale dei Manufatti di Contenimento Laterali e Trasversali del torrente "Carrione". Valutazione dello Stato Attuale e Proposte di Intervento.
N. Elaborato: 02.RG.04.01

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 01	4
3.1	Descrizione Sintetica Opere Spondali	4
3.2	Nota sugli Interventi eseguiti e/o in esecuzione	5
3.3	Osservazioni Preliminari	5
4	Analisi e Verifica Strutturale preliminare delle opere arginali	7
4.1	Quadro normativo di riferimento	7
4.2	Condizioni di carico	8
4.3	Caratteristiche dei materiali e Geometria delle opere strutturali	8
4.4	Verifica Sopralzo in c.a. destra idraulica (rif. scheda 01 – sez.4).....	9
4.4.1	Caratteristiche dei materiali	9
4.4.2	Ferri di armatura	10
4.4.3	Verifiche del sopralzo in c.a.....	10
4.5	Verifica Sopralzo in c.a. destra idraulica (rif. scheda 03 – sez.5).....	11
4.5.1	Caratteristiche dei materiali	11
4.5.2	Ferri di armatura	11
4.5.3	Verifiche del sopralzo in c.a.....	12
4.6	Verifica Muro in pietra e scogliera destra idraulica (rif. scheda 03 – sez.5)	13
4.6.1	Caratteristiche dei materiali	13
4.6.2	Verifiche del muro a gravità	14
4.7	Verifica Muro in cls sinistra idraulica (rif. scheda 05 – sez.6)	15
4.7.1	Caratteristiche dei materiali	15
4.7.2	Verifiche del muro a gravità	16
4.8	Analisi Terra Armata destra idraulica (rif. scheda 7V – sez.8).....	17
4.9	Analisi Terra Armata sinistra idraulica (rif. scheda 8V – sez.8).....	19
4.10	Analisi Terra Armata destra idraulica (rif. scheda 6V – sez.15).....	22
4.11	Analisi Terra Armata sinistra idraulica (rif. scheda 10V – sez.15).....	25
5	Conclusioni.....	27

6	All.A - Verifica Nuovo Muro in c.a. destra idraulica (rif. scheda 02-04 – sez.7)	30
6.1	Dati generali	30
6.2	Descrizione dello stato dei luoghi e localizzazione dell'opera	30
6.3	Scheda del progetto depositato con pratica sismica N. 957/2002	33
6.4	Risultati delle indagini conoscitive in sito	35
6.4.1	Geometria	36
6.4.2	Caratteristiche dei materiali	37
6.4.3	Ferri di armatura	38
6.5	Verifiche del muro arginale	39
6.5.1	Verifiche del muro a retta	39
6.5.2	Verifiche del palancolato di fondazione	41
6.6	Riepilogo	43
6.6.1	Conformità	43
6.6.2	Criticità	43
6.6.3	Aspetti propedeutici alle altre fasi di progettazione	43
6.7	Interventi	43
6.8	Stima degli interventi	44

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 01.

3 Quadro Conoscitivo Tratto 01

TRATTO = 01

LOCALIZZAZIONE = dalla Foce al Ponte dell'Autostrada

LUNGHEZZA TRATTO = 1044,5 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 01. L’elenco delle tipologie spondali viene fatto a partire da valle fino ad arrivare a monte del tratto in questione.

Destra Idraulica

- Muro in c.a. costituito dal muro d’ala del ponte prospiciente la foce;
- Muro in pietrame esistenza con primo sopralzo in scogliera e secondo sopralzo in c.a. poggiante sulla scogliera sottostante;
- Muro in c.a. (Riferimento Pratica Sismica N. 957/2002);
- Terre Armate.

Sinistra Idraulica

- Muro in c.a. costituito dal muro d'ala del ponte prospiciente la foce;
- Muro in c.a. con sopralzo in scogliera;
- Muro in c.a.;
- Terre Armate.

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 01.

PRATICHE SISIMICHE

Parziale (solo per il tratto terminale nei pressi della foce)

N. 957/2002

Sistemazione Idraulica T. Carrione dal mare a Ponte via Covetta mediante costruzione di Nuovo Muro arginale.

CARATTERISTICHE STRUTTURALI INTERVENTO: Costruzione Muro arginale in cemento armato nel lato destro del fiume, fondato su palancole in cemento armato centrifugato. Il muro arginale è realizzato mediante una soletta di fondazione di spessore 40 cm, collegata alla trave di coronamento delle palancole (100cm x 50cm), dalle quali spicca un muro a mensola in c.a. il cui spessore varia da 50 cm all'attacco con la fondazione a 20 cm in sommità, mantenendo verticale il paramento esterno.

La palancola LARSEN tipo "ARBED PU 12" ha una lunghezza pari a 6 m.

Pratica Sismica	Descrizione	Committente	FL	Collaudo	N.Omologazione
P.S. 957/2002	Sistemazione Idraulica T. Carrione dal mare a Ponte via Covetta mediante costruzione di Nuovo Muro arginale	Provincia MS	30/05/03	04/11/13	Omol.0: dalla foce al ponte di via Covetta Omol.12: dalla sez. 20 alla sez.27bis (a cavallo autostrada)

3.3 Osservazioni PreliminariDestra Idraulica

- Incongruenze tra opera realizzata e progetto strutturale depositato in destra idrografica per muro in c.a. su pali relativo al progetto depositato n.957/2002 che presenta difformità in fase di realizzazione relativamente alla mancanza di terrapieno a tergo del muro previsto nel progetto.
- Assenza di progetto per la realizzazione di un tratto di muro in c.a. realizzato sopra una scogliera subito a monte del ponte sulla foce, in destra idrografica.
- Varco aperto in destra idraulica in prossimità della sezione n.5. Necessita di intervento di chiusura.
- Assenza di progetto per la realizzazione dell'argine in terre armate per tutto il tratto in destra idraulica dalla sezione n.8 fino alla termine del tratto in oggetto.

- Degrado del rivestimento di sponda delle terre armate in destra idrografica che può provocare problemi di stabilità e sifonamento.
- Intervento di Somma Urgenza Aperto **S.U.A. N. 14** - Zona: Argine dx valle autostrada - Tipo Intervento: Verifiche strutturali/idrauliche per fenomeno di sifonamento circa 200m a valle del ponte dell'autostrada, in corrispondenza dell'argine destro - Ente: Provincia MS

Sinistra Idraulica

- Criticità di tipo statico per la scogliera di rialzo su muro in c.a. in sinistra idraulica.
- Assenza di progetto per la realizzazione dell'argine in terre armate per tutto il tratto in sinistra idraulica dalla sezione n.8 fino alla termine del tratto in oggetto.

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 01.

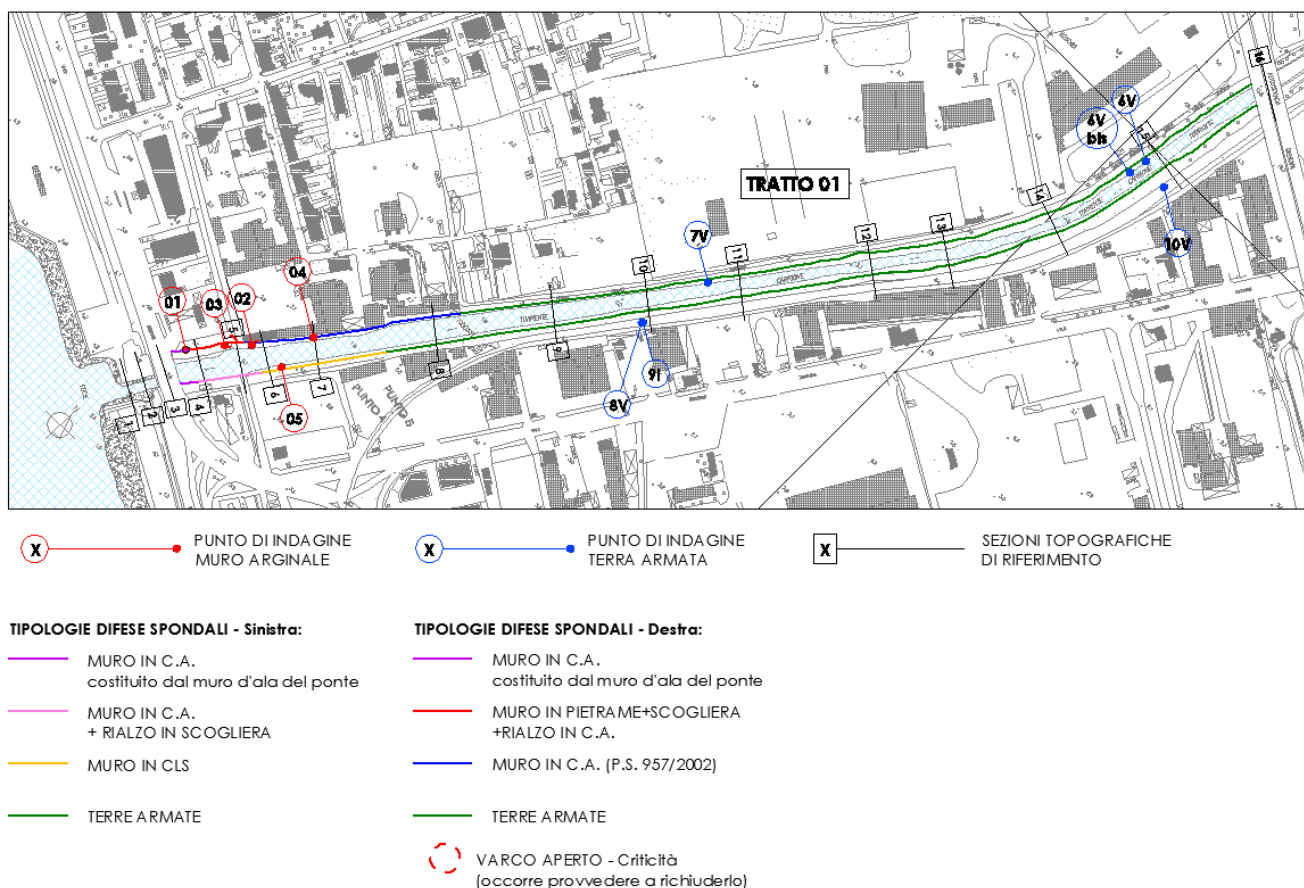


Fig. 1 – Inquadramento tratto 01

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.

Condizioni di carico statiche	{	1) Stato di magra: Azioni agenti del terrapieno e dell'eventuale sovraccarico
		2) Stato di piena: Azioni idrauliche + eventuale contropinta del terrapieno
Condizioni di carico sismiche	{	1) Stato di magra

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 01 – sez.4)

Si tratta di un muro di sopralzo in c.a. su muro in pietrame e scogliera.

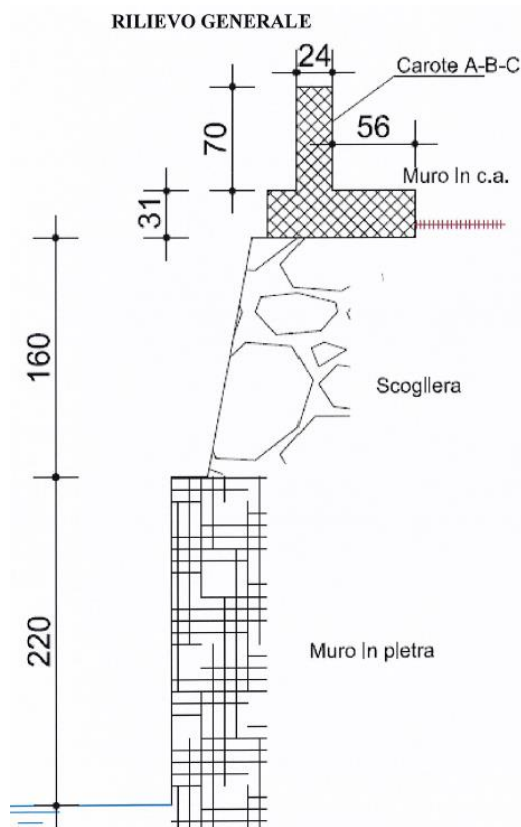


Fig. 2 – Sezione tipologica strutturale

4.4.1 Caratteristiche dei materiali

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

RESISTENZA MEDIA [N/mm ²]	
fcm	32,89

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
fcm/FC =	27,41

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 cm.

Armatura orizzontale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 28 cm.

Ferri di inghisaggio tra il vecchio muro e il sopralzo → non indagati

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	5,00
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	4,20
W2 - Peso proprio ciabatta	6,00
Wt2 - Peso proprio terreno sopra ciabatta	0,00

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2		
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	2,50
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	4,73
	FS [-]	1,89 > 1 OK

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]	7,50	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	4,13	
	FS [-]	0,55 < 1	NO

Verifica della sezione in c.a. – Stato Limite Ultimo Strutturale → $FS = M_{res} / M_{soll} = 23,78 / 2,5 = 9,5 > 1$
 → **OK**

Franco limite = 30 cm (Se il franco della piena rispetto alla quota di estradosso del muro è minore di 30 cm: condizione di emergenza).

4.5 Verifica Sopralzo in c.a. destra idraulica (rif. scheda 03 – sez.5)

Si tratta di un muro di sopralzo in c.a. su muro in pietrame e scogliera.

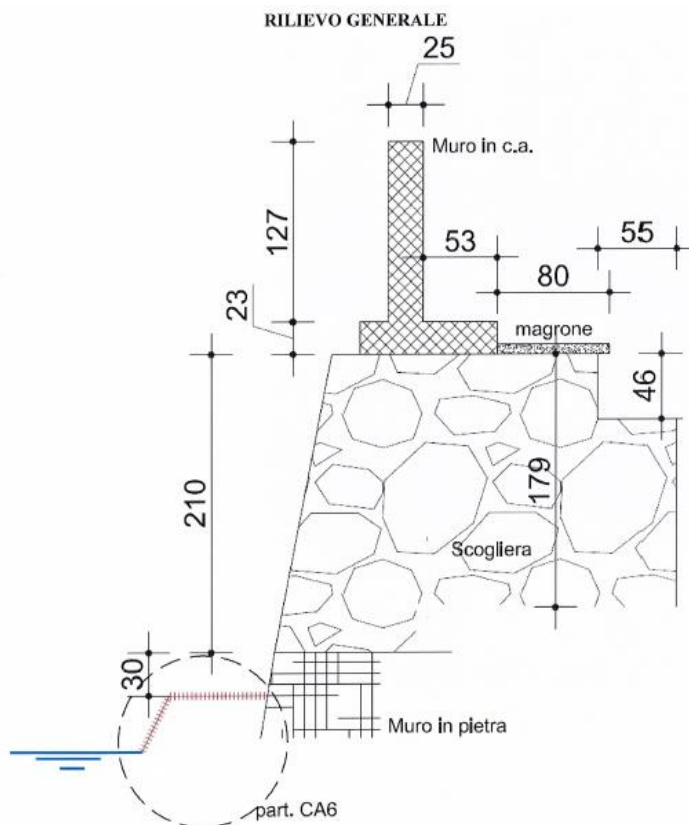


Fig. 3 – Sezione tipologica strutturale

4.5.1 Caratteristiche dei materiali

No indagini su tale elemento strutturale. Si ipotizzano gli stessi risultati del sopralzo in c.a. diagnosticato nella scheda 01. Cambiano le caratteristiche geometriche.

4.5.2 Ferri di armatura

No indagini su tale elemento strutturale. Si ipotizzano gli stessi risultati del sopralzo in c.a. diagnosticato nella scheda 01. Cambiano le caratteristiche geometriche.

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 H2O	11,25
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio nervatura	7,94
W2 - Peso proprio ciabatta	4,49
Wt2 - Peso proprio terreno sopra ciabatta	0,00

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	8,44	NO
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	6,25	
	FS [-]	0,74 < 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]	16,88	
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	5,03	
	FS [-]	0,30 < 1	

Franco limite = 70 cm (Se il franco della piena rispetto alla quota di estradosso del muro è minore di 70 cm: condizione di emergenza).

4.6 Verifica Muro in pietra e scogliera destra idraulica (rif. scheda 03 – sez.5)

Si tratta di un muro di un muro a gravità in pietrame e scogliera.

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.

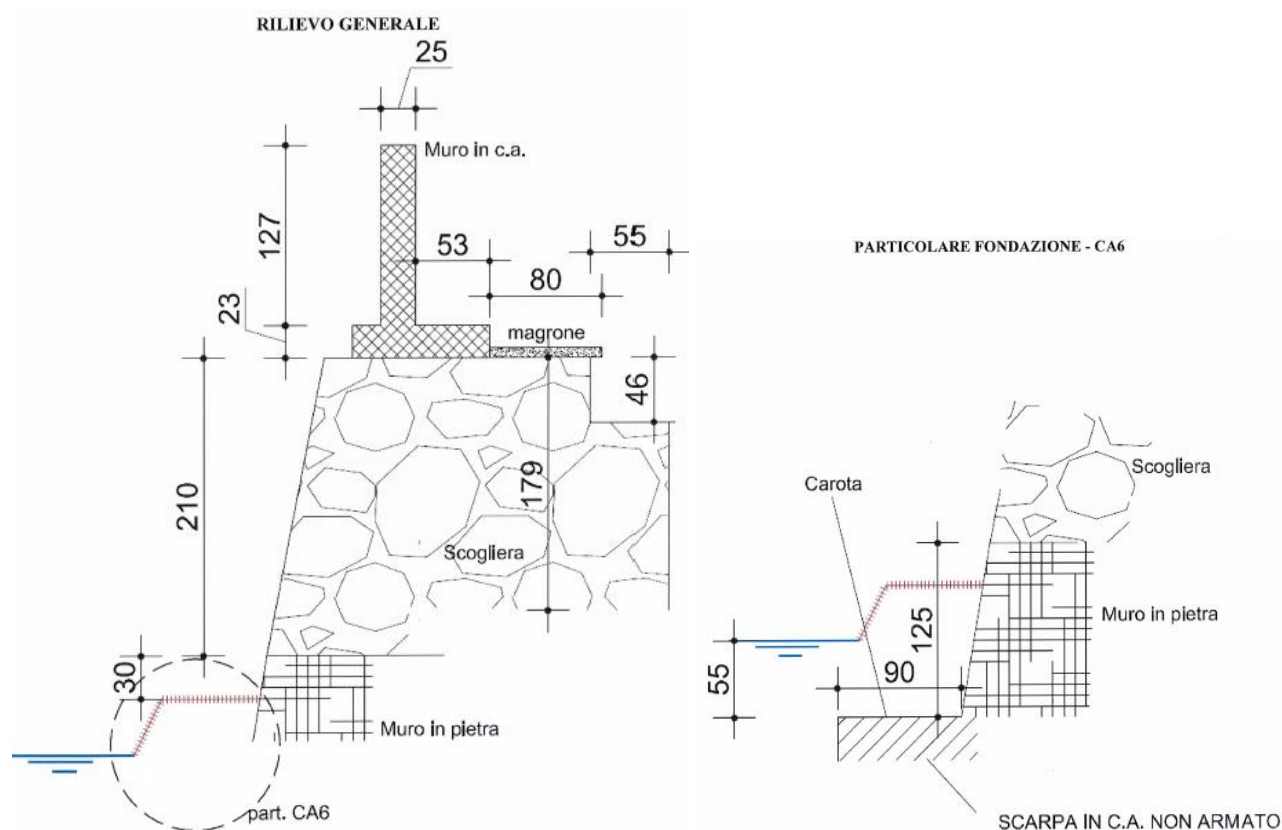


Fig. 4 – Sezione tipologica strutturale

4.6.1 Caratteristiche dei materiali

No indagini su tale elemento strutturale.

4.6.2 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)	2,64
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	3,11
Qw - Spinta H2O	117,61
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	172,86
W2 - Peso proprio muro	11,78
Ws - Peso proprio sopralzo	12,42
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	113,10
Spinta passiva del terreno strada (M2)	95,87

VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	286,64	
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	310,06	
	FS [-]	1,08 > 1	OK

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]	66,75
RESISTENZE DI PROGETTO [kN/m] (A1 fav. di STR) (R3)	Tr [kN/m]	79,76
	FS [-]	1,19 > 1
		OK

4.7 Verifica Muro in cls sinistra idraulica (rif. scheda 05 – sez.6)

Si tratta di un muro di un muro in cls non armato che resiste per gravità.

Non è stata perfettamente rilevata la geometria del muro, in quanto la profondità dello stesso non è stata indagata. Per tale motivo si ipotizza una larghezza del muro arbitraria pari a 50 cm. Un'eventuale maggiore o minore profondità dello stesso sarà da approfondire in sito.

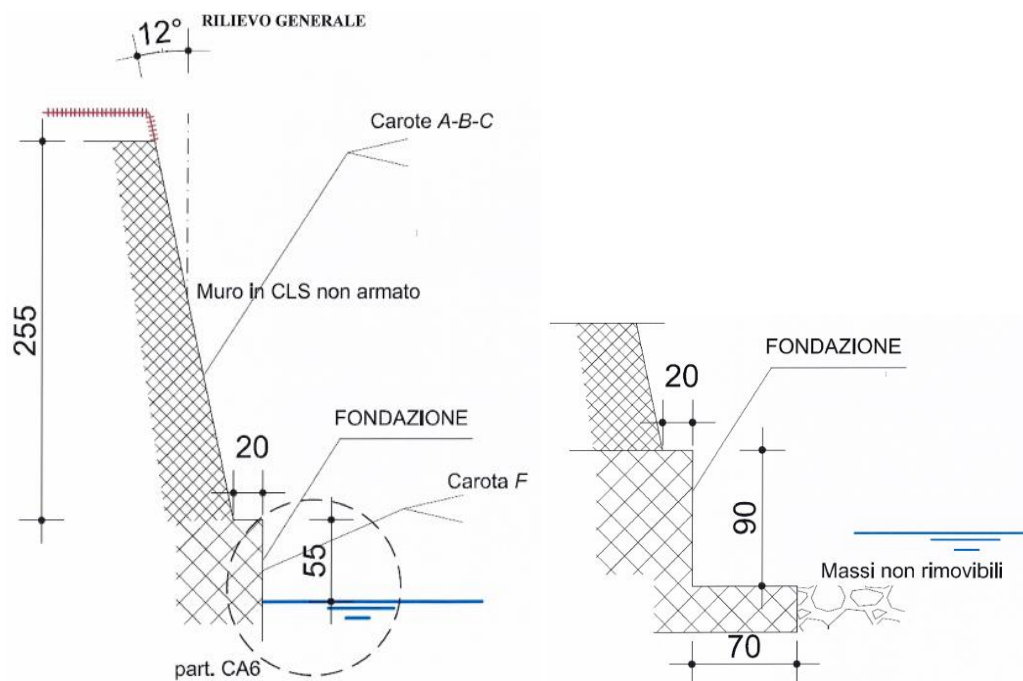


Fig. 5 – Sezione tipologica strutturale

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/mm ²]	
fcm	19,89

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
fcm/FC =	16,57

4.7.2 Verifiche del muro a gravità

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


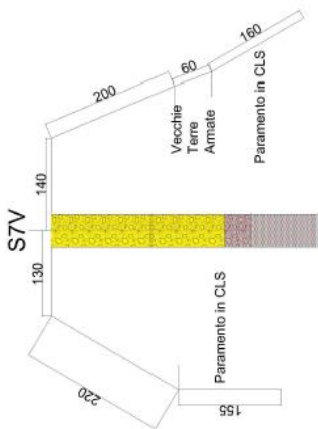
	$\gamma=1.0$
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m	
Spinta attiva del terreno alveo (M1)	0,42
Spinta attiva del terreno alveo (M2)	0,50
Qw - Spinta H2O	78,01
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m	
W1 - Peso proprio muro	47,40
W2 - Peso proprio muro	39,80
Ws - Peso proprio sopralzo	0,00
AZIONI ORIZZONTALI RESISTENTI kN/m	
Spinta passiva del terreno strada (M1)	157,23
Spinta passiva del terreno strada (M2)	133,28



VERIFICA AL RIBALTAMENTO - EQU+M2			
MOMENTI RIBALTANTI [kNm/m] (A sfav. di EQU)	Mr [kNm/m]	154,17	
MOMENTI STABILIZZANTI [kNm/m] (A fav. di EQU)	Ms [kNm/m]	196,53	
	FS [-]	1,27 > 1	OK

Spinta passiva > Spinta idraulica → necessari approfondimenti sulla geometria del muro e sul terrapieno retrostante. Informazioni insufficienti.

4.8 Analisi Terra Armata destra idraulica (rif. scheda 7V – sez.8)

Si tratta di un muro di una terra armata la cui geometria è stata rilevata in sito.

SIGMA ETRURIA Srl D.M. 6398 del 24.05.2012 Rapporto riassuntivo delle indagini eseguite in corrispondenza della Sez. 8 del tratto 1 sulla Sponda Destra del Torrente Carione									
Colonna stratigrafica del sondaggio 7V – inclinazione: 0°		Analisi granulometrica		Limiti di Atterberg, AASHTO Modificato e grado di compattamento relativo		Permeabilità		Opuntium Proctor secondo	
Profondità	Stratigrafia	Descrizione	Rivestimento	Campioni	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1339/G del 11/09/2015 Campione STVC1	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1340/G del 11/09/2015 Campione STVC1	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1349/G del 11/09/2015 Campione 15PDX	Rif. Rapporto di Prova SIGMA Etruria Srl n. 0094 del 15/09/2015 Prova 7VK	
1.50		Ghiaia eterogenea ed eterometrica limosa sabbiosa di colore beige biancastro, con diametro massimo di 70mm e diametro medio 8/20mm. Rinvenuta armatura a 1.5m di profondità e ceorgiglia a circa 10cm di profondità.	1.500		Ghiaia: 37.44% Sabbia: 39.33% Limo: 20.92% Argilla: 2.52%	Limite Liquido: Non Determinabile Limite Plastico: Non Plastico Indice Plastico: Non Plastico Classe di Appartenenza: A2-4 Peso di Volume: -- Densità del secco: --	Densità massima del secco: 1.976 Mg/m³ Umidità ottima di compattamento: 8.7%		
2.60		Ghiaia limosa sabbiosa marrone (secondo livello di terre armate?). Rinvenuta georgiglia a 2.6m di profondità.							
3.00		Ghiaia eterogenea ed eterometrica in matrice sabbiosa limosa. Il diametro medio è 4/10mm ed il diametro massimo 30mm.							
4.00		Limo giallastro, con radi clasti di 30mm di diametro massimo.							
FOTOGRAFIA DELLA CASSETTA CATALOGATRICE					SEZIONE TIPO				
									
					Nota: Sezione Esterno-interno				
Ipotesi sulla profondità di innesto della Terra Armata sul terreno: 1.50m					Coordinate: 44°02.1698Nord				
Firma dello Sperimentatore					Pag. 1/1				
Geol. Gianni Gambetta Vienna					Firma del Direttore del Laboratorio				
					Ing. Antonio Tenore				

Colonna Stratigrafica sondaggio 7V - Inclinazione 0°									
Profondità [m]	Stratigrafia		Descrizione			T.A.	Geogriglia		
1,5	S1	Ghiaia eterogenea ed eretometrica limoso sabbiosa di colore bige biancastro, con D max 70 mm e D medio 8/20 mm.			I° livello (campione 8PDX)	SI 			
		Rinvenuta armatura a 1,5 m di profondità e geogriglia a circa 10 cm di profondità.							
2,6	S2	Ghiaia limosa sabbiosa marrone (secondo livello di terre armate).			II° livello (campione SV7C1)	SI 			
		Rinvenuta geogriglia a 2,6 m di profondità.							
3,0	S3	Ghiaia eterogenea ed eretometrica in matrice sabbioso limosa. Il D medio è 4/10 mm e il D max è 30 mm.			-				
4,0	S4	Limo giallastro con radi clasti di D max 30 mm.			-				

LIMITI

Materiale non plastico o con bassa plasticità --> OK

Classe di appartenenza terreno: A1 - A3 - A2-4 - A2-5 --> OK

Grado di costipamento >= 95% Proctor

D₆₀/D₁₀ >= 15 per A1 - A2

D₆₀/D₁₀ >= 7 per A3


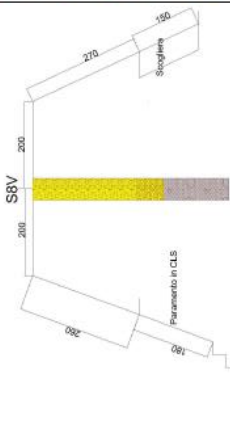

Limite permeabilità K < 10⁻⁷ --> OK














Prova a trazione per barre di acciaio

Φ nominale	8	mm
Sez. effettiva	48,1	mmq
Massa	0,378	kg/m
f _y	528	N/mm ²
f _t	616	N/mm ²
Allungamento	24,00%	
Rete	15x15	

4.9 Analisi Terra Armata sinistra idraulica (rif. scheda 8V – sez.8)

Si tratta di un muro di una terra armata la cui geometria è stata rilevata in sito.

SIGMA ETRURIA Srl D.M. 6398 del 24.05.2012 Rapporto riassuntivo delle indagini eseguite in corrispondenza della Sez. 8 del tratto 1 sulla Sponda Sinistra del Torrente Carione									
Colonna stratigrafica del sondaggio 8V – Inclinazione: 0°		Analisi granulometrica		Limiti di Atterberg: Classificazione, Peso di Volume, Densità del secco		Optimum Proctor secondo AASHTO Modificato e grado di compattamento relativo		Permeabilità	
Profondità	Stratigrafia	Descrizione	Rivestimento	Campioni	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1350/G del 11/09/2015 Campione S8VC1 Ghiaia: 22.86% Sabbia: 55.26% Limo: 20.29% Argilla: 1.59%	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1351/G del 11/09/2015 Campione S8VC1 Limite Liquido: Non Determinabile Limite Plastico: Non Determinabile Indice Plastico: Non Plastico Classe di Appartenenza: A2-4 Peso di Volume: 21.38 kN/m³ Densità del secco: 2.072 Mg/m³	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1370/G del 11/09/2015 Campione S8PSX	Rif. Rapporto di Prova SIGMA Etruria Srl n. 0095 del 15/09/2015 Prova S8VK	
2.40		Ghiaia eterogenea ed eterometrica (4/40mm) in matrice limosa di colore beige. Non rinvenuta armatura geogriglia.	1.150	1.50 S8VC1 1.75	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1352/G del 11/09/2015 Campione S8VC2 Ghiaia: 20.04% Sabbia: 44.99% Limo: 26.43% Argilla: 8.54%	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1353/G del 11/09/2015 Campione S8VC2 Limite Liquido: Non Determinabile Limite Plastico: Non Determinabile Indice Plastico: Non Plastico Classe di Appartenenza: A4 Peso di Volume: 18.34 kN/m³ Densità del secco: 1.662 Mg/m³	Densità massima del secco: 2.024 Mg/m³ Umidità ottima di compattamento: 8.4 % Grado di Compattamento relativo S8VC1: 102.4%	Permeabilità: 5.0x10 ⁻⁵ m/s	
3.00		Ghiaia costituita perlopiù da blocchi marmorei biancastri in abbondante matrice limosa debolmente argillosa di colore marrone scuro.		3.00 S8VC2 3.50	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1368/G del 11/09/2015 Campione S8PSX Ghiaia: 49.20% Sabbia: 35.03% Limo: 15.51% Argilla: 0.26%	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1369/G del 11/09/2015 Campione S8PSX Limite Liquido: Non Determinabile Limite Plastico: Non Determinabile Indice Plastico: Non Plastico Classe di Appartenenza: A1-b Peso di Volume: - - Densità del secco: - -	Prova di Trazione per barre di acciaio	Rif. Rapporto di prova Laboratorio SIGMA Srl 00807 del 11/09/2015	
4.50		Limo ghiaioso debolmente argilloso di colore avana.							
FOTOGRAFIA DELLA CASSETTA CATALOGATRICE				SEZIONE TIPO		POSIZIONE			
									
Ipotesi sulla profondità di innesto della Terra Armata sul terreno: 3.00m Firma dello Sperimentatore Geol. Gianni Gambetta Vinuua				Coordinate: Pag. 1/2		44°02.1352Nord Firma del Direttore del Laboratorio Ing. Antonio Tenore			

Colonna Stratigrafica sondaggio 8V - Inclinazione 0°								
Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione			T.A.	Geogriglia		
2,4	S1	Ghiaia eterogenea ed eretometrica (4/40 mm) in matrice limosa di colore beige.			X (campione 8PSX + S8VC1)	NO 		
		Non rinvenuta armatura geogriglia						
3,0	S2	Ghiaia costituita perlopiù da blocchi marmorei biancastri in abbondante matrice limosa debolmente argillosa di colore marrone scuro.			- (campione S8VC2)			
4,5	S3	Limo ghiaioso debolmente argilloso di colore avana.			-			
	Analisi Granulometrica		Plasticità	Classe	D ₆₀ /D ₁₀	Grado di costipamento	Densità max del secco	Permeabilità
campione 8PSX prof. = 0,0-0,2m	Ghiaia	49,20%	Non plastico 	A1-b 	8/0,02 = 400 > 15 	relativo S8VC1 102,4% > 95% 	20,24 kN/m ³	5*10 ⁻⁵ m/s
	Sabbia	35,03%						
	Limo	15,51%						
	Argilla	0,26%						
campione S8VC1 prof. = 1,5-1,75m	Ghiaia	22,86%	Non plastico 	A2-4 	0,25/0,0095 = 26 > 15 		20,72 kN/m ³	
	Sabbia	55,26%						
	Limo	20,29%						
	Argilla	1,59%						
campione S8VC2 prof. = 3,0-3,5m	Ghiaia	20,04%	Non plastico 	A4 	0,95/0,0025 = 380 > 15 		16,62 kN/m ³	
	Sabbia	44,99%						
	Limo	26,43%						
	Argilla	8,54%						

LIMITI

Materiale non plastico o con bassa plasticità --> OK

Classe di appartenenza terreno: A1 - A3 - A2-4 - A2-5 --> OK

Grado di costipamento >= 95% Proctor


D₆₀/D₁₀ >= 15 per A1 - A2

D₆₀/D₁₀ >= 7 per A3

Limite permeabilità K < 10⁻⁷ --> OK

Prova a trazione per barre di acciaio


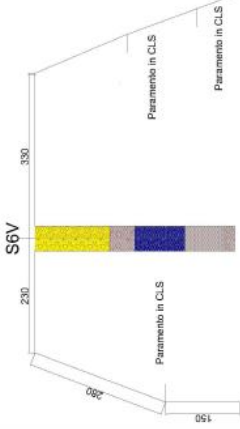

Φ nominale	8	mm
Sez. effettiva	50,8	mmq
Massa	0,399	kg/m
f _y	514	N/mm ²
f _t	623	N/mm ²
Allungamento	23,00%	
Rete	15x15	








Colonna Stratigrafica sondaggio 91 - Inclinazione 10°				
Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione	T.A.	Geogriglia
2,8	S1	Ghiaia eterogenea ed eretometrica (4/40 mm) in matrice limosa di colore beige.	X	NO 
		Rinvenuta armatura a circa 2,75 m di profondità.		
		Riscontrata scogliera a circa 2,8 m di profondità.		

SIGMA ETRURIA Srl D.M. 6398 del 24.05.2012									
Rapporto riassuntivo delle indagini eseguite in corrispondenza della Sez. 8 del tratto 1 sulla Sponda Sinistra del Torrente Carrione									
Colonna stratigrafica del sondaggio 91 – Inclinazione: 10°									
Stratigrafia		Descrizione		Rivestimento		Campioni		Analisi granulometrica	
Profondità		2,80						Limiti di Atterberg, AASHTO Modificato e grado di compattamento relativo	
		Ghiaia eterogenea ed eterometrica (4/40mm) in matrice limosa di colore beige. Rinvenuta armatura a circa 2,75m di profondità. Riscontrata scogliera a circa 2,8m di profondità.						Densità del secco	
								--	
								--	
								--	
								Prova di Trazione per barre di acciaio	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	
								--	

4.10 Analisi Terra Armata destra idraulica (rif. scheda 6V – sez.15)

Si tratta di un muro di una terra armata la cui geometria è stata rilevata in sito.

SIGMA ETRURIA Srl D.M. 6398 del 24.05.2012 Rapporto riassuntivo delle indagini eseguite in corrispondenza della Sez. 15 del tratto 1 sulla Sponda Destra del Torrente Carrione			
Colonna stratigrafica del sondaggio 6V – Inclinazione: 0°		Limiti di Atterberg, AASHTO Modificato e grado di compattazione relativo	
Stratigrafia	Descrizione	Analisi granulometrica	Permeabilità
Profondità		Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1337/G del 11/09/2015 Campione S6VC1	Rif. Rapporto di Prova SIGMA Etruria Srl n. 0093 del 15/09/2015 Prova 6VK
1.50	Ghiaia eterogenea ed eterometrica limosa sabbiosa di colore avana, con diametro massimo di 40mm e diametro medio 4/8mm.	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1338/G del 11/09/2015 Campione S6VC1	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1346/G del 11/09/2015 Campione 15PDX
2.00	Limo ghiaioso sabbioso debolmente argilloso di colore ocra.	Ghiaia: 8.10% Sabbia: 28.68% Limo: 57.63% Argilla: 5.59%	Densità massima del secco: 2.044 Mg/m³ Umidità ottima di compattamento: 9.4%
3.00	Ghiaia limosa sabbiosa nerastra fino a 2.4m, nero scuro fino a 3.0m.	Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1344/G del 11/09/2015 Campione 15PDX	Prova di Trazione per barre di acciaio
3.80	Limo giallastro.	Ghiaia: 48.09% Sabbia: 34.18% Limo: 16.05% Argilla: 1.69%	φ Nominale: 8 mm Sez. Effettiva: 50.0 mm² Massa: 0.392 kg/m Smarimento f: 510 N/mm² Rottura f: 595 N/mm² All. A5: 23%
4.00	Ghiaia sabbiosa limosa debolmente argillosa di colore grigio chiaro. Rinvenuto trovante marmoreo con diametro massimo > del diametro di perforazione.	Limiti Liquido: Non Determinabile Limiti Plastico: Non Determinabile Indice Plastico: Non Plastico Classe di Appartenenza: A1-b Peso di Volume: -- Densità del secco: --	Rif. Rapporto di prova Laboratorio SIGMA Srl 00805 del 11/09/2015
FOTOGRAFIA DELLA CASSETTA CATALOGATRICE		SEZIONE TIPO	POSIZIONE
			
Ipotesi sulla profondità di innesto della Terra Armata sul terreno: 1.50m Firma dello Sperimentatore Geol. Gianni Gambetta Vienna		Coordinate: Pag. 1/1	44°02.3510Nord Firma del Direttore del Laboratorio Ing. Antonio Tenore

Colonna Stratigrafica sondaggio 6V - Inclinazione 0°								
Profondità [m]	Stratigrafia		Descrizione			T.A.	Geogriglia	
1,5	S1	Ghiaia eterogenea ed eretometrica limoso sabbiosa di colore avana, con D max 40 mm e D medio 4/8 mm.			X (campione 15PDX)	NO 		
2,0	S2	Limo ghiaioso sabbioso debolmente argilloso di colore ocra.			-			
3,0	S3	Ghiaia limoso sabbiosa nerastra fino a 2,4 m, nero scuro fino a 3,0m.			-			
3,8	S4	Limo giallastro.			- (campione S6VC1)			
4,0	S5	Ghiaia sabbiosa limosa debolmente argillosa di colore grigio chiaro. Rinvenuto trovante marmoreo con diametro massimo > del diametro di perforazione.			-			
	Analisi Granulometrica		Plasticità	Classe	D ₆₀ /D ₁₀	Grado di costipamento	Densità max del secco	Permeabilità
campione 15PDX prof. = 0,0-0,2m	Ghiaia	48,09%		A1-b	5,5/0,01 = 550 > 15 	- 	20,44 kN/m ³	6.7*10 ⁻⁷ m/s 
	Sabbia	34,18%						
	Limo	16,05%						
	Argilla	1,69%						
campione S6VC1 prof. = 3,0-3,5m	Ghiaia	8,10%		A4	0,045/0,0035 = 13 < 15 			
	Sabbia	28,68%						
	Limo	57,63%						
	Argilla	5,59%						

LIMITI

Materiale non plastico o con bassa blasticità --> OK

Classe di appartenenza terreno: A1 - A3 - A2-4 - A2-5 --> OK

Grado di costipamento >= 95% Proctor


D₆₀/D₁₀ >= 15 per A1 - A2

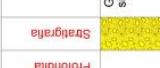


D₆₀/D₁₀ >= 7 per A3

Limite permeabilità K < 10⁻⁷ --> OK

Prova a trazione per barre di acciaio


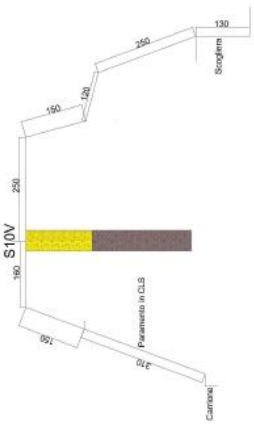

Φ nominale	8	mm
Sez. effettiva	50	mmq
Massa	0,392	kg/m
f _y	510	N/mm ²
f _t	595	N/mm ²
Allungamento	23,00%	
Rete	15x15	














Colonna Stratigrafica sondaggio 6VBIS - Inclinazione 0°				
Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione	T.A.	Geogriglia
2,5	S1	Ghiaia eterogenea ed eretometrica limoso sabbiosa di colore beige, con Dmax 40 mm e D medio 20 mm.	X	NO 
2,0	S2	Ghiaia sabbiosa limosa con frammenti di laterizio. Colore marrone scuro.	-	
3,0	S3	Limo giallastro. Presenza di radi clasti marmorei.	-	

SIGMA ETRURIA Srl D.M. 6398 del 24.05.2012 Rapporto riassuntivo delle indagini eseguite in corrispondenza della Sez. 15 del tratto 1 sulla Sponda Destra del Torrente Caricose Colonna stratigrafica del sondaggio 6VBIS - Inclinazione: 0°									
Descrizione Ghiaia eterogenea ed eretometrica limoso sabbiosa di colore beige, con diametro massimo 40mm e diametro medio 20mm. Ghiaia sabbiosa limosa con frammenti di laterizio. Colore marrone scuro. Limo giallastro. Presenza di radi clasti marmorei.	Stratigrafia 	Rivestimento 1.500	Campioni	Analisi granulometrica ..		Classificazione - Peso di Volume, Densità del secco ..		Opinioni Proctor secondo AASHTO Modificato e grado di compattamento relativo ..	
				Prova di Trazione per barre di acciaio ..		Permeabilità ..		POSIZIONE 	
				SEZIONE TIPO ..		Coordinate: Pag. 1/1		44°02.342'Nord 10°03.496'Est Firma del Direttore del Laboratorio Ing. Antonio Tenore	
				FOTOGRAFIA DELLA CASSETTA CATALOGATRICE 		Ipotesi sulla profondità di innesto della Terra Annata sul terreno: 1.40m Firma dello Spedimentatore Geol. Gianni Gambetta Vianini			

4.11 Analisi Terra Armata sinistra idraulica (rif. scheda 10V – sez.15)

Si tratta di un muro di una terra armata la cui geometria è stata rilevata in sito.

SIGMA E TRURIA Srl D.M. 6398 del 24.05.2012									
Rapporto riassuntivo delle indagini eseguite in corrispondenza della Sez. 15 del tratto 1 sulla Sponda Sinistra del Torrente Carrione									
Colonna stratigrafica del sondaggio 10V – Inclinazione: 0°									
Analisi granulometrica			Limiti di Aterberg, Classificazione, Peso di Volume, Densità del secco			Optimum Proctor secondo AASHTO Modificato e grado di compattamento relativo			Permeabilità
Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1354/G del 11/09/2015 Campione S10VC1 Ghiaia: 25.92% Sabbia: 48.17% Limo: 18.64% Argilla: 7.27%			Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1355/G del 11/09/2015 Campione S10VC1 Limite Liquido: Non Determinabile Limite Plastico: Non Plastico Indice Plastico: Non Plastico Classe di Appartenenza: A2-4 Peso di Volume: 19.52 kN/m³ Densità del secco: 1.870 Mg/m³			Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1373/G del 11/09/2015 Campione 15PSX			Rif. Rapporto di Prova SIGMA Etruria Srl n. 0096 del 15/09/2015 Prova 10VK
Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1356/G del 11/09/2015 Campione S10VC2 Ghiaia: 31.40% Sabbia: 36.77% Limo: 26.95% Argilla: 4.88%			Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1357/G del 11/09/2015 Campione S10VC2 Limite Liquido: 20% Limite Plastico: 18% Indice Plastico: 2% Classe di Appartenenza: A4 Peso di Volume: -- Densità del secco: --			Densità massima del secco: 1.966 Mg/m³ Umidità ottima di compattamento: 10.3% Grado di Compattamento relativo S10VC1: 95.1%			Permeabilità: 3.4e10⁻⁹ m/s
Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1371/G del 11/09/2015 Campione S15PSX Ghiaia: 29.86% Sabbia: 47.77% Limo: 18.92% Argilla: 3.45%			Rif. Certificato Laboratorio SIGMA Srl 1372/G del 11/09/2015 Campione 15PSX Limite Liquido: Non Determinabile Limite Plastico: Non Plastico Indice Plastico: Non Plastico Classe di Appartenenza: A2-4 Peso di Volume: -- Densità del secco: --			Prova di Trazione per barre di acciaio Ø Nominale: 8 mm Sez. Effettiva: 50.5 mm² Massa: 0.396 kg/m³ Snervamento f: 522 N/mm² Rottura f: 628 N/mm² All. A5: 24%			
FOTOGRAFIA DELLA CASSETTA CATALOGATRICE				SEZIONE TIPO		POSIZIONE			
									
Ipotesi sulla profondità di innesto della Terra Armata sul terreno: 1.60m Firma dello Sperimentatore Geol. Gianni Gambetta Vianna				Nota: Sezione Esterno-interno		44°02.3482Nord			
				Coordinate: Pag. 1/1		10°03.5180Est			
						Firma del Direttore del Laboratorio Ing. Antonio Tenore			

Colonna Stratigrafica sondaggio 10V - Inclinazione 0°									
Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione				T.A.	Geogriglia		
1,6	S1	Ghiaia limosa beige asciutta.				X (campione 15PSX + S10VC1)	NO 		
4,0	S2	Ghiaia con limo sabbiosa debolmente argillosa di colore dal marrone scuro al beige. I clasti risultano eterometrici ed eterogenei (4/30 mm). Rilevata presenza di frammenti di laterizio.				- (campione S10VC2)			
	Analisi Granulometrica		Plasticità	Classe	D ₆₀ /D ₁₀	Grado di costipamento	Densità max del secco	Permeabilità	
campione 15PSX prof. = 0,0-0,2m	Ghiaia	29,86%	Non plastico 	A2-4 	0,2/0,015 = 13 < 15 	relativo S10VC1 95,1% > 95% 	19,66 kN/m ³	3,4*10 ⁻⁸ m/s 	
	Sabbia	47,77%							
	Limo	18,92%							
	Argilla	3,45%							
campione S10VC1 prof. = 0,0-0,5m	Ghiaia	25,92%	Non plastico 	A2-4 	0,25/0,005 = 50 > 15 		18,7 kN/m ³		
	Sabbia	48,17%							
	Limo	18,64%							
	Argilla	7,27%							
campione S10VC2 prof. = 1,6-2,1m	Ghiaia	31,40%	limite pl.=18% Indice pl.=2% 	A4 	0,5/0,005 = 100 > 15 				
	Sabbia	36,77%							
	Limo	26,95%							
	Argilla	4,88%							

LIMITI

Materiale non plastico o con bassa plasticità --> OK

Classe di appartenenza terreno: A1 - A3 - A2-4 - A2-5 --> OK

Grado di costipamento >= 95% Proctor

 D₆₀/D₁₀ >= 15 per A1 - A2

 D₆₀/D₁₀ >= 7 per A3

 Limite permeabilità K < 10⁻⁷ --> OK

Prova a trazione per barre di acciaio

Φ nominale	8	mm
Sez. effettiva	50,5	mmq
Massa	0,396	kg/m
f _y	522	N/mm ²
f _t	628	N/mm ²
Allungamento	24,00%	
Rete	15x15	

5 Conclusioni




















Legenda dei risultati ottenuti dalle Verifiche Preliminari



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

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

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

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

























VERIFICA	SOPRALZO IN C.A. Dx – Scheda 01	SOPRALZO IN C.A. Dx - Scheda 03	MURO IN PIETRA E SCOGLIERA Dx - Scheda 03	MURO IN C.A. Dx - Scheda 02-04 Rif. All. A
Qualità Materiale				
Posizione e Φ ferri armatura			-	
Caratt. ferri di inghisaggio			-	-
Palancole				
Verifica a Ribaltamento	FS = 1,89 > 1 	FS = 0,74 < 1 	FS = 1,08 > 1 	FS > 1 
Verifica a Slittamento	FS = 0,55 < 1 	FS = 0,30 < 1 	FS = 1,19 > 1 	-
Verifica sezione in c.a.	FS = 9,5 > 1 	-	-	FS < 1 
Franco limite	30 cm	70 cm		
Note	-	-	-	Criticità: No terrapieno in sito ≠ dal progetto P.S. N. 957/2002

VERIFICA	MURO IN CLS Sx – Scheda 05
Qualita' Materiale	
Posizione e Φ ferri armatura	-
Caratt. ferri di inghisaggio	-
Verifica a Ribaltamento	FS = 1,27 > 1 
Verifica a Slittamento	-
Verifica sezione in c.a.	-
Note	Assenza di informazioni esaustive sulla geometria del muro (spessore). Verifiche eseguite preliminarmente sulla base di ipotesi → non significative. Necessari approfondimenti con indagini sul muro e sul terrapieno retrostante.

I **sopralzi** in c.a. presenti in destra idraulica non risultano avere 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. Per tali strutture non è stata rilevata la presenza di ferri di inghisaggio all'opera sottostante, pertanto sono stati verificati come elementi a sé stanti.

Interventi previsti: Rinforzi strutturali sui sopralzi: demolizione e ricostruzione o alternativamente nuova costruzione sopralzo inghisato al muro esistente. Tali interventi sui sopralzi sono comunque subordinati a una valutazione approfondita della sicurezza strutturale del muro di base a seguito di rilievo di dettaglio, indagini di dettaglio e verifiche approfondite per un livello di progettazione avanzato secondo le NTC 2008. In alternativa si prevede l'intervento con paratia di micropali sul muro di base + sopralzo.

Terre armate

VERIFICA	TERRA ARMATA Dx – Scheda 7V	TERRA ARMATA Sx – Scheda 8V	TERRA ARMATA Dx – Scheda 6V	TERRA ARMATA Sx – Scheda 10V
Qualita' Materiale				
Geogriglia				
Rete metallica				
Plasticità				
Grado di costipamento				
Permeabilità				

Le terre armate analizzate sono caratterizzate da terreni che risultano idonei per la stabilità, ma meno idonei per assolvere alla funzione arginale da un punto di vista idraulico e di permeabilità. E' stata rilevata la presenza della geogriglia il cui risvolto però è spesso insufficiente (il sondaggio effettuato nella parte centrale della terra armata spesso non rileva la geogriglia per mancanza di risvolto approfondito).

Si prevede quindi come intervento di protezione, l'applicazione di geostuoie + idrosemina con funzione antierosiva e allo stesso tempo di rinforzo per solidarizzare la geogriglia esistente che presenta delle criticità negli ancoraggi che possono comprometterne la tenuta.

6 All.A - Verifica Nuovo Muro in c.a. destra idraulica (rif. scheda 02-04 – sez.7)

6.1 Dati generali

Oggetto: Muro in c.a. fondato su palancole

Anno di costruzione dell'opera: 2003

Localizzazione: Tratto 01 – destra idraulica (rif. sez. topografica n.7 – a circa 100 m di distanza dalla foce)

Lunghezza muro: ~ 200 m

Pratica sismica di riferimento: N. 957/2002: “Costruzione Muro arginale in cemento armato fondato su palancole in cemento armato centrifugato”

Collaudo Statico: Si → 31.10.2003.

6.2 Descrizione dello stato dei luoghi e localizzazione dell'opera

L'area in cui sorge il muro è un'area urbanizzata: sono presenti fabbricati nelle immediate vicinanze e nella zona retrostante dello stesso. Prospiciente il muro sorgono dei fabbricati industriali e dei fabbricati di civile abitazione.



Fig. 6 – Immagine dell'area scaricata da google map

Il muro confina, verso monte con un'argine in terra armata che delimita un'area rurale caratterizzata da una bassa urbanizzazione. Verso valle il muro confina con un vecchio muro in pietrame e sopralzo in c.a. che si estende fino al muro d'ala del ponte ferroviario di accesso al porto (nei preassi della foce del Carrione).



Fig. 7 – Ingrandimento Immagine dell'area scaricata da google map



Fig. 8 – Localizzazione muro



Fig. 9 – Foto Muro arginale in c.a.

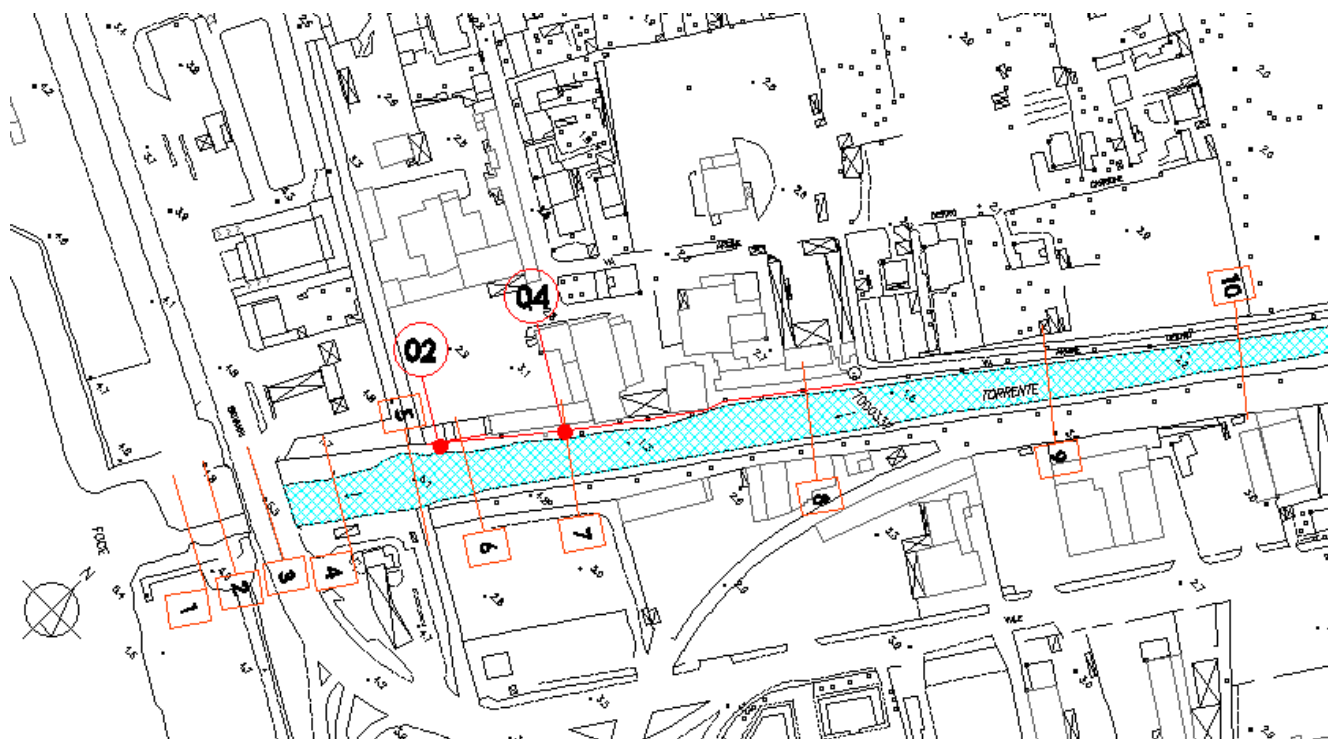


Fig. 10 – Inquadramento planimetrico – Tratto 01 – Sponda destra

6.3 Scheda del progetto depositato con pratica sismica N. 957/2002

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

- 1) Tavole di progetto (dettagli costruttivi e planimetria di inquadramento)
- 2) Relazione Generale e Tecnica del marzo 2002
- 3) Relazione Generale e Tecnica dell'ottobre 2002

Il progetto fa riferimento a un muro arginale in cemento armato fondato su palancole la cui sezione tipo è riportata nell'immagine a seguire ed è caratterizzata da un muro realizzato mediante una soletta di fondazione di spessore 40 cm, collegata alla trave di coronamento delle palancole (100cm x 50cm), dalle quali spicca un muro a mensola in c.a. il cui spessore varia da 50 cm all'attacco con la fondazione a 20 cm in sommità, mantenendo verticale il paramento esterno.

Le due relazioni - quella del marzo 2002 e quella dell'ottobre 2002 - differiscono per la tipologia delle palancole di fondazione:

- 4) la relazione di marzo 2002 fa riferimento a palancole in cemento armato centrifugato (così come le tavole allegate al progetto);
- 5) la relazione di ottobre 2002 fa riferimento a palancole metalliche LARSEN tipo "ARBED PU 12".

In entrambi i casi la lunghezza delle palancole è assunta pari a 6 m. Nelle relazioni erroneamente si fa riferimento alla sinistra idraulica.

I metodi di calcolo delle due relazioni fanno invece riferimento a schemi diversi:

- 6) nella relazione di marzo 2002 viene eseguita un'analisi statica nella situazione di massima piena della palanca agli elementi finiti: dalle immagini riportate si evince che l'opera è stata modellata tenuto conto di un unico elemento comprendente il muro e le palancole di fondazione; separatamente viene poi verificato il muro arginale considerato con lo schema statico di muro a mensola.
- 7) nella relazione di ottobre 2002 viene eseguita un'analisi statica nella situazione di massima piena e un'analisi sismica trattando separatamente la palanca metallica di fondazione dal muro in c.a. superiore: in particolare *"la palanca metallica è stata calcolata considerandola incastrata in testa, con un momento di incastro e una forza orizzontale dovuti alla spinta dell'acqua nel caso di massima piena"*; il muro arginale è stato calcolato con lo schema statico di muro a mensola andando a verificare la sezione di incastro del paramento verticale con la soletta di fondazione considerando *"il carico triangolare dell'acqua nel caso di massima piena e trascurando il contributo del terreno all'esterno del muro"*.

Non si hanno informazioni documentali o derivanti da saggi in sito che facciano capire quale dei due tipi di palanca sia stata realizzata o se entrambi.

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

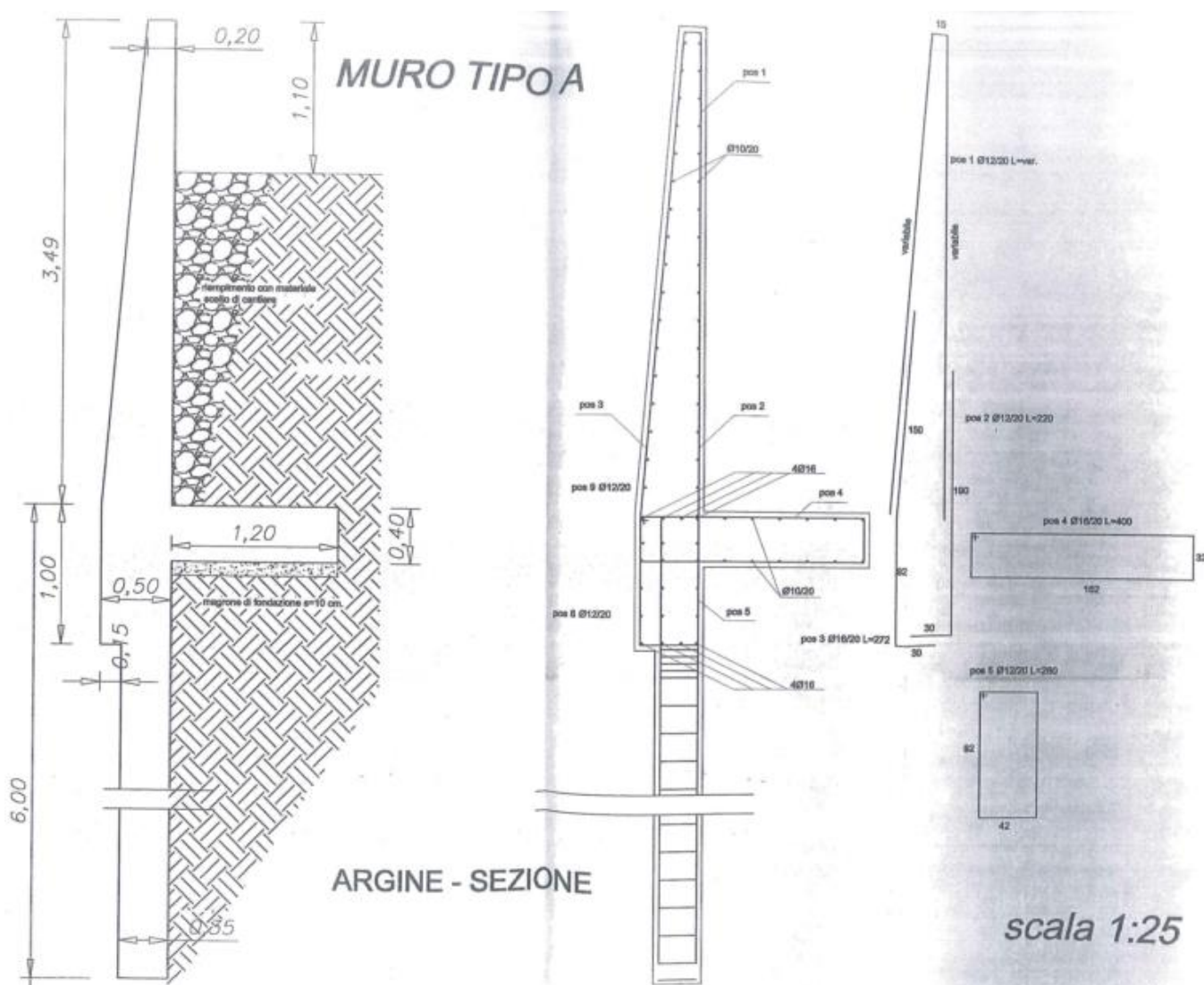


Fig. 11 – Estratto P.S. N. 957/2002 – Muro arginale in c.a.

Il muro arginale in oggetto è stato costruito nel 2003 (data fine lavori: 30 maggio 2003) in merito agli interventi di sistemazione idraulica previsti dal mare alla sezione 7 bis all'interno del I° lotto.

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).

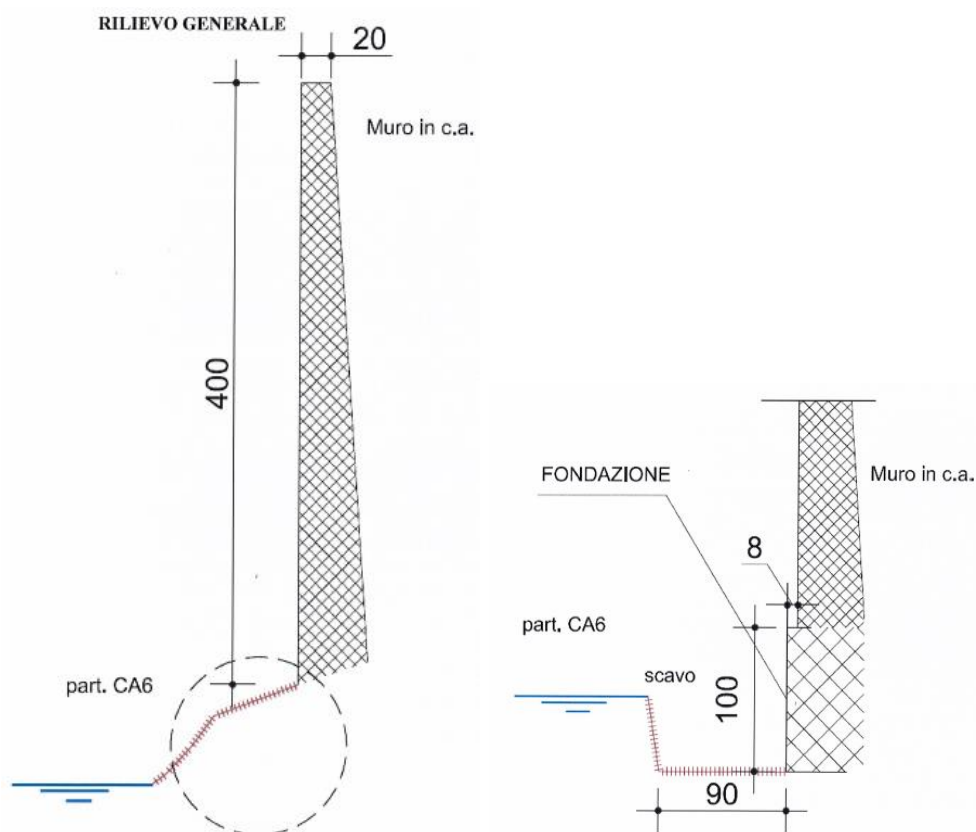


Fig. 12 – Sezione tipologica strutturale rilevata in sito

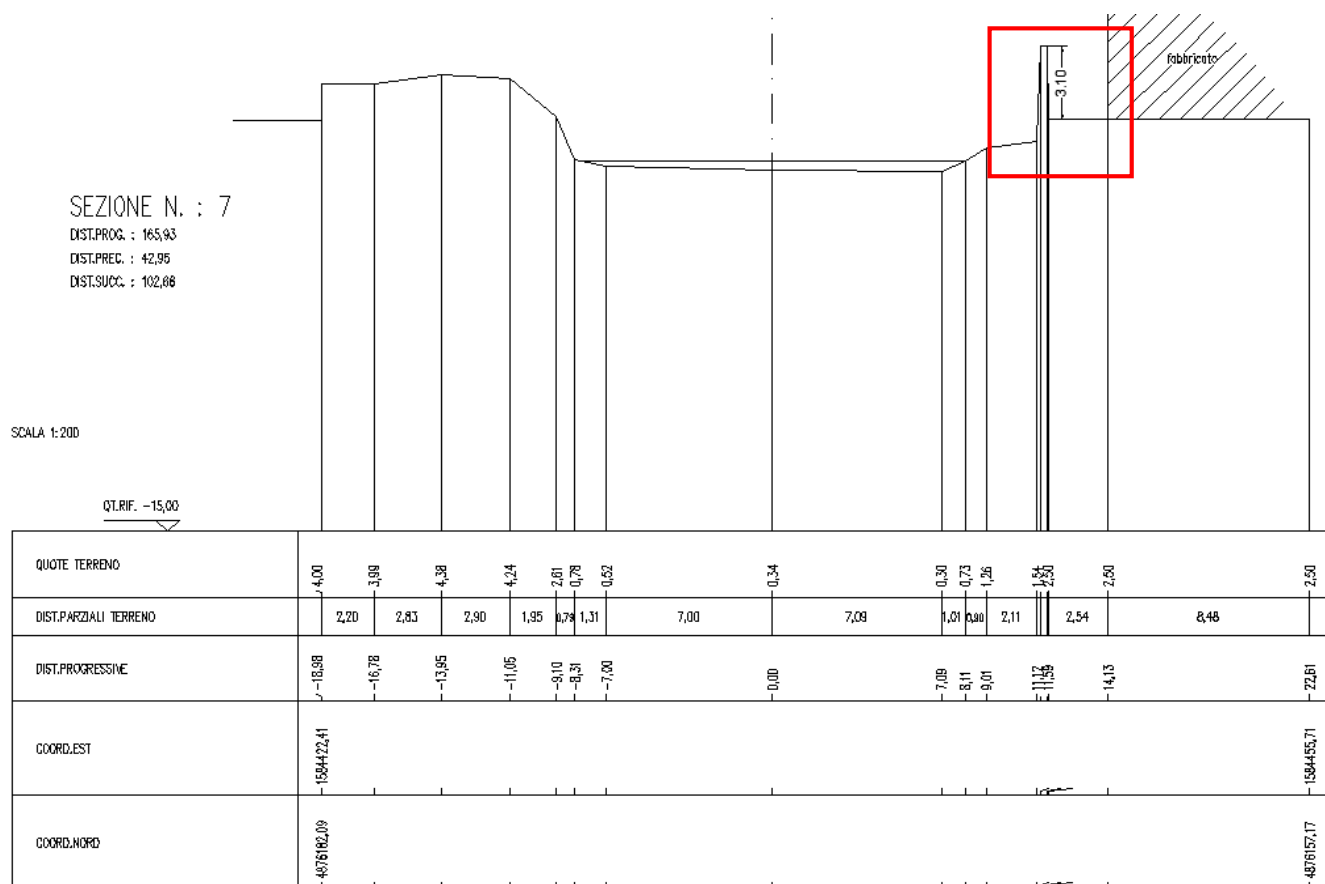


Fig. 13 – Sezione n.7 – Rilievo topografico effettuato sull'intera asta fluviale

6.4.1 Geometria

Sulla base delle informazioni geometriche ottenute da:

- 1) rilievo topografico (sez. 7)
- 2) rilievo geometrico effettuato durante le indagini in sito

si osserva che:

- 3) la geometria del muro è conforme a quanto riportato nel progetto (rif. P.S. N. 957/2002);
- 4) l'altezza del terrapieno rilevata a tergo del muro è minore rispetto a quanto riportato nel progetto (rif. P.S. N. 957/2002): $H_{\text{muro sopra terrapieno (da rilievo)}} = 3,10 \text{ m} > 1,10 \text{ m (da progetto)}$;
- 5) le indagini in sito non si sono spinte a profondità tali da poter rilevare l'effettiva presenza del palancolato e la sua tipologia (palancole in c.a. centrifugato o palancole metalliche tipo Larssen).

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).

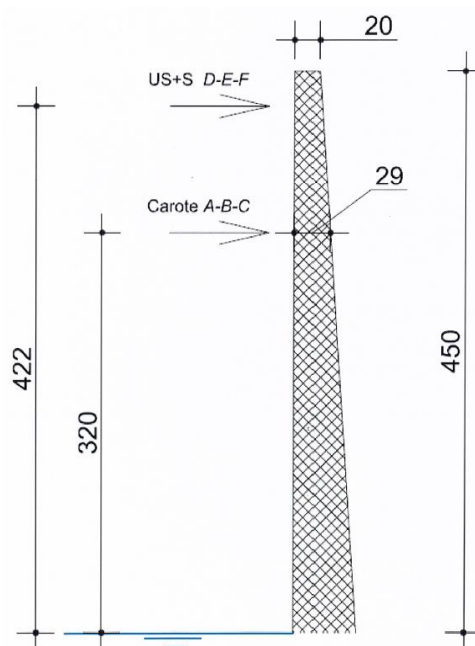


Fig. 14 – Punti di indagine

PROVE SONREB						
PUNTO	A	B	C	D	E	F
Ir	39,7	42,3	38,6	34,6	33,3	33,5
Vp [m/s]	4155,0	4226,0	4250,0	3691,0	3632,0	3510,0
Rs0	41,1	46,9	41,9	24,9	22,6	20,9
Rs1	41,9	46,7	42,9	27,1	25,0	23,1
Rs2	39,2	43,7	39,4	26,5	24,5	23,2
Rs3	36,4	40,2	36,6	25,5	23,8	22,6
Rs (medio)	39,6	44,4	40,2	26,0	24,0	22,5
fc (0,83 Rs)	32,9	36,8	33,4	21,6	19,9	18,6

CAROTE							
PROVINO	f _{car} [Mpa]	D [mm]	H [mm]	D/H	C _{h/D}	f _{cis} [Mpa]	Rc [Mpa]
2A	37,4	104	205	0,51	1,00	37,3	44,94
2B	35,2	104	207	0,50	1,00	35,1	42,29
2C	36,6	104	206	0,50	1,00	36,5	43,98
						36,30	43,73

Correlazione Resistenza Sonreb – Laboratorio

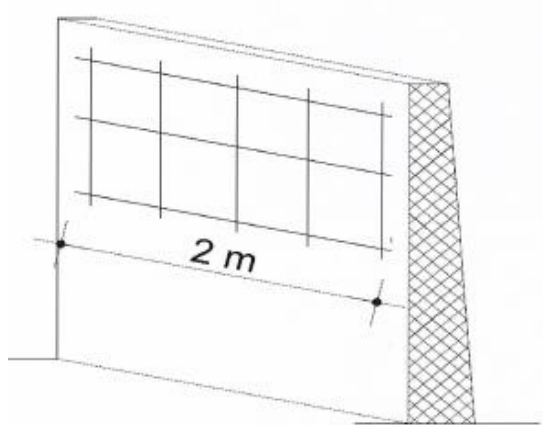
RESISTENZA MEDIA [N/mm ²]	
f _{cm}	33,27

Resistenza di calcolo	
FC =	1,2
f _{cm} /FC =	27,72

6.4.3 Ferri di armatura

La presenza dei ferri di armatura è stata evidenziata da indagine pacometrica durante le indagini in sito.

Armatura verticale rilevata: Ferri $\Phi 12$ passo 20 cm (a conferma dei dati reperibili dal progetto depositato).



6.5 Verifiche del muro arginale

Per la verifica dell'opera arginale in oggetto si fa riferimento al seguente schema statico:

- 6) Muro a mensola + palancola non vincolata totalmente infissa nel terreno con le azioni di taglio e momento flettente trasferite in testa ad essa dal muro a retta.

Per le verifiche con funzionamento a paratia ci si avvale dell'utilizzo del software Bulkcad.

Per il palancolato si considera la geometria ricavabile di documenti del progetto (rif. P.S. N. 957/2002) poiché le indagini in sito non hanno eseguito saggi in profondità.

Nell'analisi strutturale dell'opera si trascura la presenza del terrapieno a tergo del muro in accordo allo stato di rilievo.

6.5.1 Verifiche del muro a retta

Condizioni idrauliche di massima piena

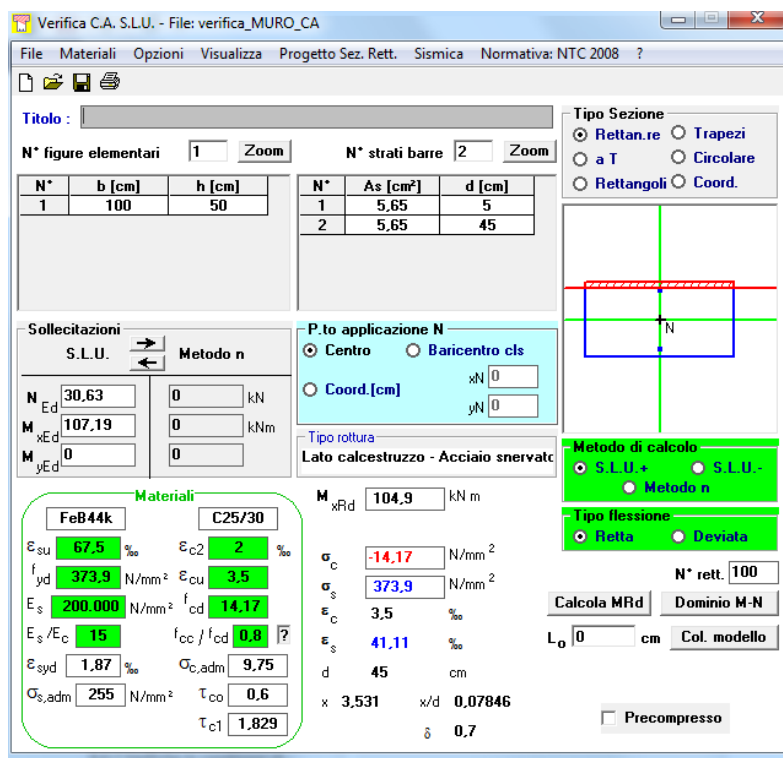
Si considera lo schema di muro a mensola con l'incastro in corrispondenza dell'estradosso della ciabatta di fondazione. In assenza di rilevato a tergo del muro, la condizione idraulica di massima piena risulta maggiormente gravosa per il muro rispetto alla condizione statica e sismica in stato di magra.

DATI CARATTERISTICI MURO	
Peso di volume c.c.a. [kN/mc]	25
h nervatura [m]	3,5
h ciabatta [m]	0,4
h tot muro [m]	3,9
h terreno su ciabatta [m]	0
spessore nervatura [m]	0,35
Larghezza totale ciabatta [m]	1,7
L mensola ciabatta di monte [m]	1,2
L mensola ciabatta di valle [m]	0

	$\gamma_{G1}/\gamma_Q = 1.0$	A1
AZIONI ORIZZONTALI SPINGENTI kN/m		
Qw - Spinta H2O	61,25	91,88
AZIONI VERTICALI RESISTENTI kN/m		
W1 - Peso proprio nervatura	30,63	27,56

	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
SLE	30,63	61,25	71,46
SLU	39,82	91,88	107,19

Verifica della sezione in c.a. del muro: SLU $\rightarrow FS = M_{res}/M_{soll} = 104,9 / 107,19 = 0,98 < 1 \rightarrow$ **NO**



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

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	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	5
2	5,65	45

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 30,63 kN
M_{Ed} 107,19 kNm
M_{yEd} 0

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} 104,9 kN m

Materiali FeB44k C25/30

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} 14,17 ‰
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
ε_{syd} 1,87 ‰ σ_{c,adm} 9,75
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
τ_{c1} 1,829

σ_c -14,17 N/mm²
σ_s 373,9 N/mm²
ε_c 3,5 ‰
ε_s 41,11 ‰
d 45 cm
x 3,531 x/d 0,07846
δ 0,7

Tipo Sezione
Rettan.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.

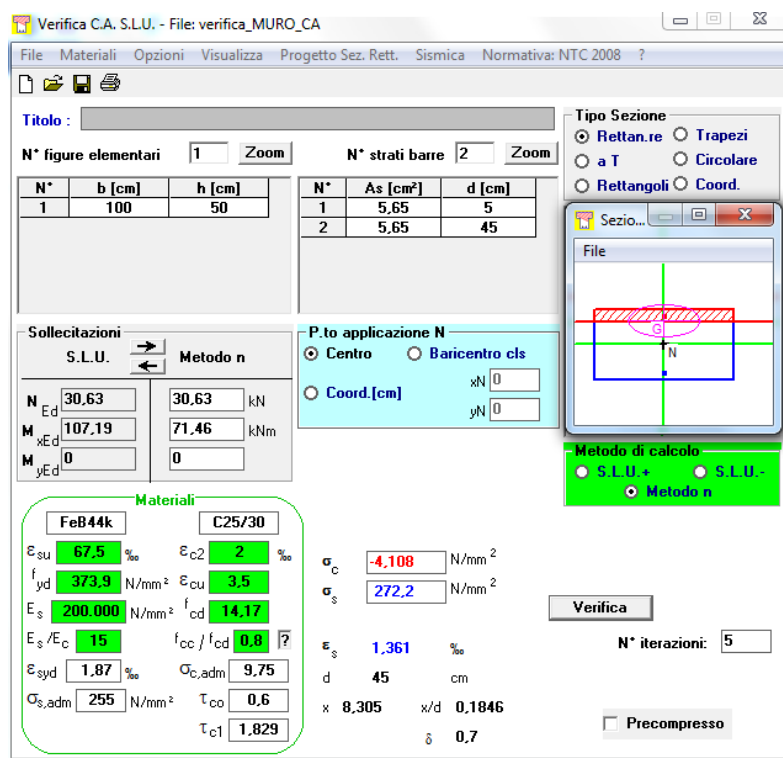
Metodo di calcolo
S.L.U.+ S.L.U.-
Metodo n

Tipo flessione
Retta Deviata

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

Precompresso

Verifica della sezione in c.a. del muro: SLE $\rightarrow \sigma_c = 4,11 \text{ N/mm}^2 < 0,6f_{ck} = 15 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ **OK**
 $\rightarrow \sigma_s = 272,2 \text{ N/mm}^2 < 0,8f_{yk} = 344 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ **OK**



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

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	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5,65	5
2	5,65	45

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 30,63 kN
M_{Ed} 107,19 kNm
M_{yEd} 0

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

Tipo Sezione
Rettan.re Trapezi
a T Circolare
Rettangoli Coord.

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

Verifica

N° iterazioni: 5

σ_c -4,108 N/mm²
σ_s 272,2 N/mm²
ε_c 1,361 ‰
ε_s 1,361 ‰
d 45 cm
x 8,305 x/d 0,1846
δ 0,7

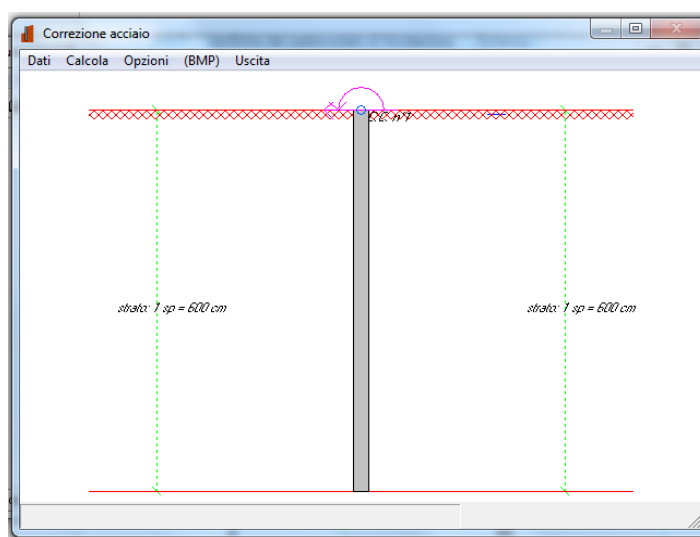
6.5.2 Verifiche del palancoato di fondazione

Condizioni idrauliche di massima piena

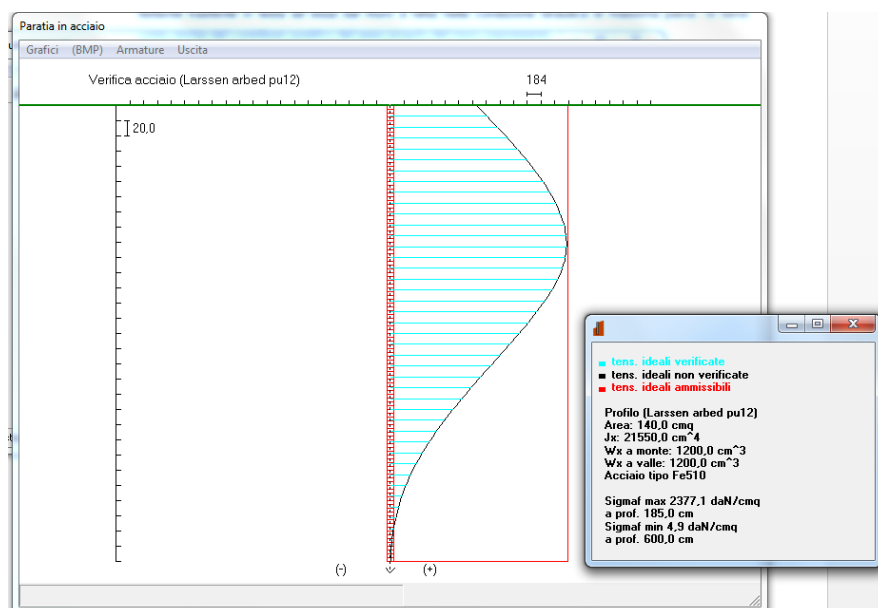
Si considera la palanca ad estremo libero, totalmente infissa nel terreno, con le azioni di taglio e momento flettente trasferite in testa ad essa dal muro a retta nella condizione idraulica di massima piena.

In mancanza di indagini in sito in profondità tali da poter rilevare la tipologia del palancoato, si considerano le caratteristiche nella versione più recente della relazione di calcolo risalente a ottobre 2002 che fa riferimento a palancole metalliche LARSEN tipo "ARBED PU 12".

Verifica di equilibrio dell'opera $\rightarrow FS (Rib) = 1.3 > 1 \rightarrow OK$



Verifica strutturale palancole metalliche Larssen $\rightarrow FS > 1 \rightarrow OK$

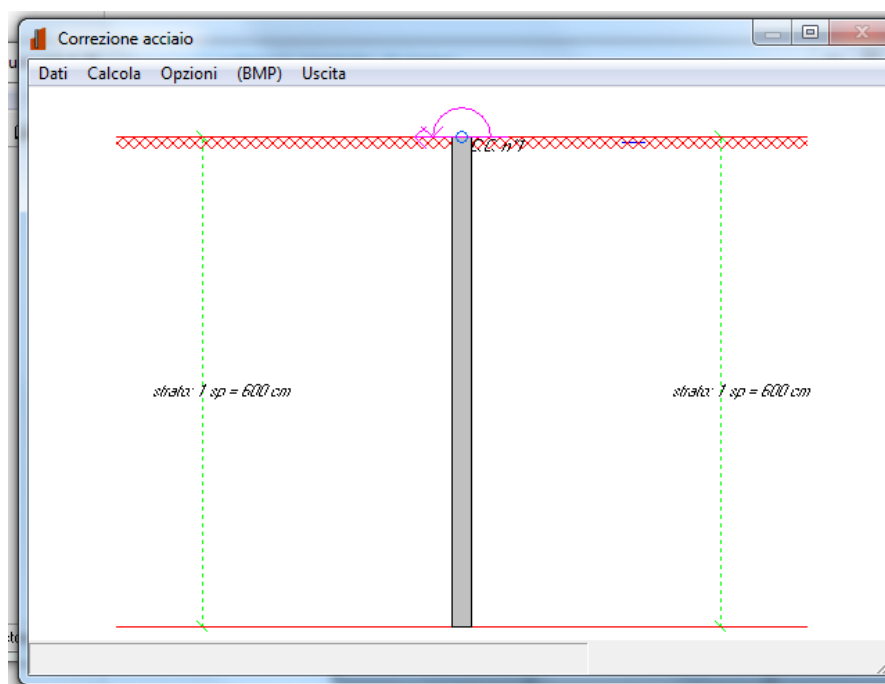


Verifica: $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = 240,24 N / mmq < f_{yd} = \frac{320}{1,05} = 304,8 N / mmq \quad FS = 1.3 > 1 \rightarrow OK$

Condizioni sismiche di magra

Si considera la palancola ad estremo libero, totalmente infissa nel terreno, con le azioni di taglio e momento flettente trasferite in testa ad essa dal muro a retta nella condizione sismica di magra.

Verifica di equilibrio dell'opera $\rightarrow FS (Rib) = 2.9 > 1 \rightarrow OK$



Si osserva che anche per la palancola di fondazione, la condizione maggiormente gravosa risulta quella idraulica di massima piena.

6.6 Riepilogo

6.6.1 Conformità

Materiali → Ok

Geometria → Conforme per la parte di muro in c.a.. Difforme per la parte del terrapieno a tergo (minore di quello di progetto). Non indagata per la parte delle fondazioni profonde.

Armature → Conformi al progetto.

Rischi → Sifonamento.

Condizione di carico più gravosa → Condizioni idrauliche di massima piena.

Verifiche → $FS < 1$ per la sezione di incastro del muro in c.a. allo SLU.

$FS > 1$ per le verifiche di equilibrio.

6.6.2 Criticità

- 1) Altezza del terrapieno a tergo del muro inferiore rispetto a quella di progetto.
- 2) Assenza di informazioni sul palancolato di fondazione.

6.6.3 Aspetti propedeutici alle altre fasi di progettazione

- 1) Approfondire la geometria dell'opera prevedendo indagini e saggi mirati in profondità tali da poter rilevare l'effettiva presenza del palancolato e le sue caratteristiche tipologiche.

6.7 Interventi

Il muro in c.a. fondato su palancole viene verificato in corrispondenza della sezione di incastro del paramento verticale con la soletta di fondazione (che è la sezione maggiormente sollecitata).

Le verifiche allo SLU comportano un fattore di sicurezza strutturale insufficiente: $FS = 0.98 < 1$.

Le verifiche allo SLE in termini di tensioni di esercizio sono soddisfatte: $FS > 1$.

A tal proposito, si prevedono, in via preliminare, gli interventi di rinforzo descritti a seguire.

Per quanto riguarda la palanca di fondazione, risultando avere i coefficienti di sicurezza previsti dalla norma in relazione alle verifiche dello stato limite ultimo di equilibrio e di resistenza strutturale, per essa non si prevedono interventi di rinforzo a patto che, sia confermata l'effettiva presenza del palancolato e le caratteristiche tipologiche come da progetto, con indagini in sito profonde.

- 1) **Limitare H acqua tale che il franco rispetto alla quota di estradosso del muro non sia inferiore a 20 cm.**
- 2) **Si prevede il ringrosso della sezione in c.a. del muro mediante un contrafforte di altezza pari a 1 m e spessore 30 cm continuo lungo l'intero sviluppo del muro e il ringrosso della ciabatta di fondazione con un getto di spessore 30 cm per la resistenza strutturale allo SLU del muro in c.a..**

6.8 Stima degli interventi

Ringrosso della sezione in c.a. del muro mediante un contrafforte

Volume stimato = 115 m³

Costo stimato = 200.000 €.