

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA NUOVA ENNA – DITTAINO (LOTTO 4b)**

**OPERE CIVILI**

Opere di sostegno e di imbocco

Relazione di calcolo muri di protezione

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS3V 40 D 29 CL MU0000 003 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	E. Abbasciano	Gennaio 2020	M. Arcangeli	Gennaio 2020	F. Sparacino	Gennaio 2020	F. Arduini Gennaio 2020

ITALFERR S.p.A.  
Direzione Tecnica  
Infrastrutture Centro  
Via...  
Roma

File: RS3V40D29CLMU000003A

n. Elab.: 281

## INDICE

1.	GENERALITA' .....	4
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
1.2	UNITÀ DI MISURA.....	8
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	9
2.1	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	10
3.	CONDIZIONI GEOTECNICHE: STRATIGRAFIA E FALDA .....	11
3.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE .....	11
3.2	SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	12
4.	MATERIALI .....	14
4.1	CLASSI DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRI .....	14
4.2	CALCESTRUZZO PER ELEVAZIONI (C 32/40) .....	16
4.3	CALCESTRUZZO PER PALI DI FONDAZIONE (C 25/30).....	17
4.4	CALCESTRUZZO MAGRO PER GETTI DI LIVELLAMENTO/SOTTOFONDAZIONI (C12/15).....	18
4.5	ACCIAIO IN BARRE D'ARMATURA PER C.A. (B450C) .....	19
5.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO .....	20
6.	CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI.....	21
6.1	VERIFICHE ALLO SLU .....	21
	6.1.1 <i>Pressoflessione</i> .....	21
	6.1.2 <i>Taglio</i> .....	22
6.2	VERIFICA SLE .....	24
	6.2.1 <i>Verifiche alle tensioni</i> .....	24
	6.2.2 <i>Verifiche a fessurazione</i> .....	25
7.	RISULTATI E VERIFICHE MURI DI PROTEZIONE .....	26
7.1	AZIONI ECCEZIONALI DA URTO .....	26
	7.1.1 <i>Muro Di protezione Tipo A (D ≤ 5m)</i> .....	27

7.1.2	Muro Di protezione Tipo B ( $5m < D \leq 15m$ ).....	28
7.2	VERIFICA PALI DI FONDAZIONE A CARICO LIMITE ORIZZONTALE.....	28
7.2.1	Muro Di protezione Tipo A ( $D \leq 5m$ ).....	30
7.2.2	Muro Di protezione Tipo B ( $5m < D \leq 15m$ ).....	33
7.3	VERIFICA MURO ELEVAZIONE.....	36
7.3.1	Muro Di protezione Tipo A ( $D \leq 5m$ ).....	36
7.3.2	Muro Di protezione Tipo B ( $5m < D \leq 15m$ ).....	37
8.	RISULTATI E VERIFICHE MURI DI PROTEZIONE STAZIONE DI DITTAINO.....	38
8.1	AZIONI ECCEZIONALI DA URTO.....	38
8.2	DETERMINAZIONE DELLE AZIONI IN FONDAZIONE.....	38
8.3	VERIFICA DEL MURO IN ELEVAZIONE.....	46
8.4	VERIFICA DI PORTANZA DEI PALI DI FONDAZIONE.....	47
8.5	VERIFICA STRUTTURALE PALI DI FONDAZIONE.....	49

## 1. GENERALITA'

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo del Progetto Definitivo del lotto 4 della tratta denominata Caltanissetta Xirbi - Dittaino.

Le Analisi e verifiche nel seguito esposte fanno in particolare riferimento ai muri di protezione in c.a. previsti a margine dell'asse principale del tracciato di progetto.

Nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- Breve richiamo delle condizioni geotecniche;
- Analisi e verifiche muri di protezione.

### 1.1 Descrizione dell'opera

Le opere in questione sono elencate nel dettaglio nella tabella seguente e sono suddivise in due tipologie in relazione alla distanza "D" che intercorre tra il paramento del muro e l'asse del binario più vicino. In particolare:

- Tipologia manufatto A:  $D \leq 5m$
- Tipologia manufatto B:  $5m < D \leq 15m$

Lotto	pk inizio	pk fine	Lunghezze parziali	TIPOLOGIA Manufatto	Sezione Tipologica	B. A. R.	
						(Tipologia)	Codice
4b							

Tabella 1: Elenco opere

Tale distinzione consente di differenziare le azioni eccezionali da urto di progetto in accordo al paragrafo 3.6.3.4 delle NTC2018.

Di seguito si riportano alcune immagini rappresentative delle opere in oggetto. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di riferimento.



PROSPETTO MURO ANTISVIO TIPO "A"

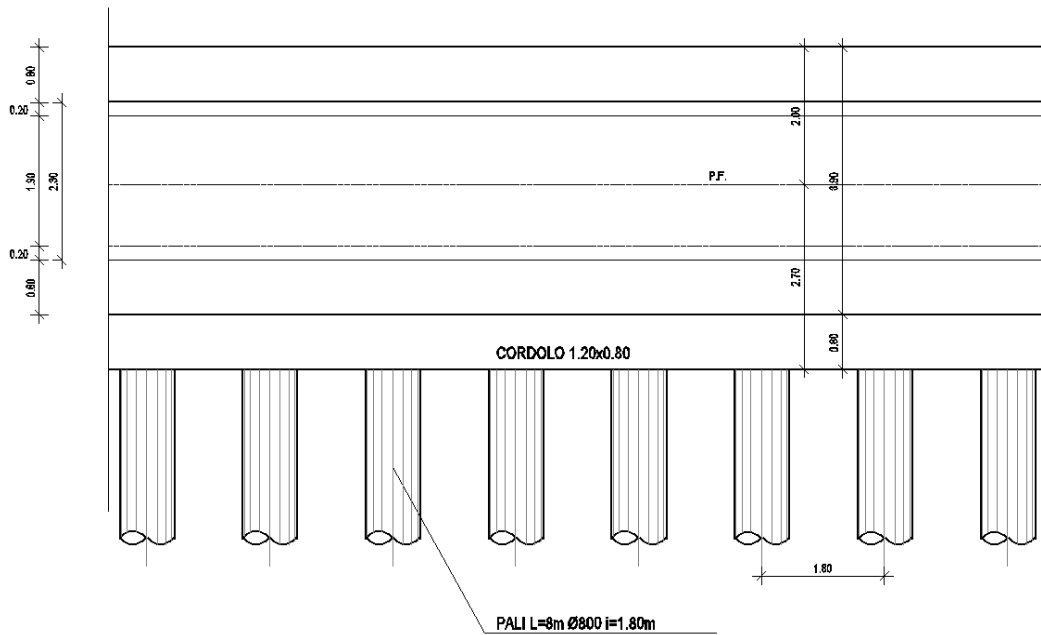


Figura 2 – Prospetto muro di protezione tipo A

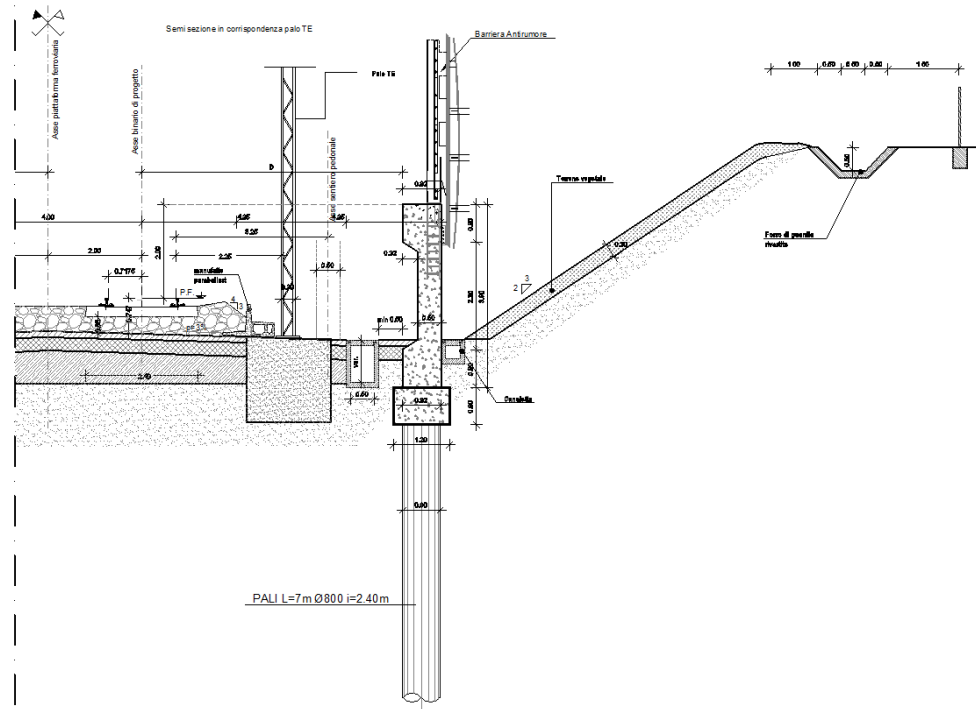


Figura 3 – Sezione trasversale muro tipo B (particolare di muro in trincea, con distanza da asse binario >5.00m)

PROSPETTO MURO ANTISVIO TIPO "B"

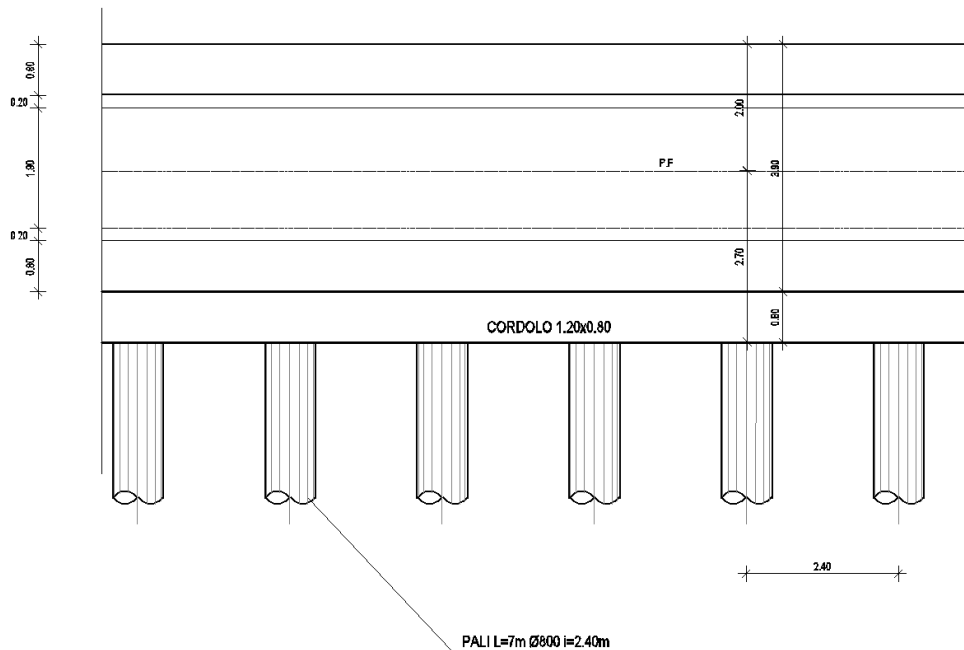


Figura 4 – Prospetto muro tipo B

Nei paragrafi a seguire, verrà inoltre dimensionato il muro di protezione dalla sezione 287 alla 291 (pk 14+300 – pk 14+500): in questa zona, la deviazione della linea storica si trova ad una quota di circa 3.00m sopra il piano campagna. I fabbricati esistenti si trovano ad una distanza inferiore a 15m dall'asse binario e, tra i fabbricati e la linea ferroviaria, è presente la viabilità di accesso all'area industriale. Il muro di protezione in questione, quindi, per motivi limitare gli ingombri sull'adiacente, verrà realizzato a mensola su pali. Sono presenti due file di pali di diametro 800mm, ad interasse longitudinale pari a 2.40m e interasse trasversale pari a 3.2m.

La zattera di fondazione ha spessore 1.00m, il paramento ha spessore 0.82m.

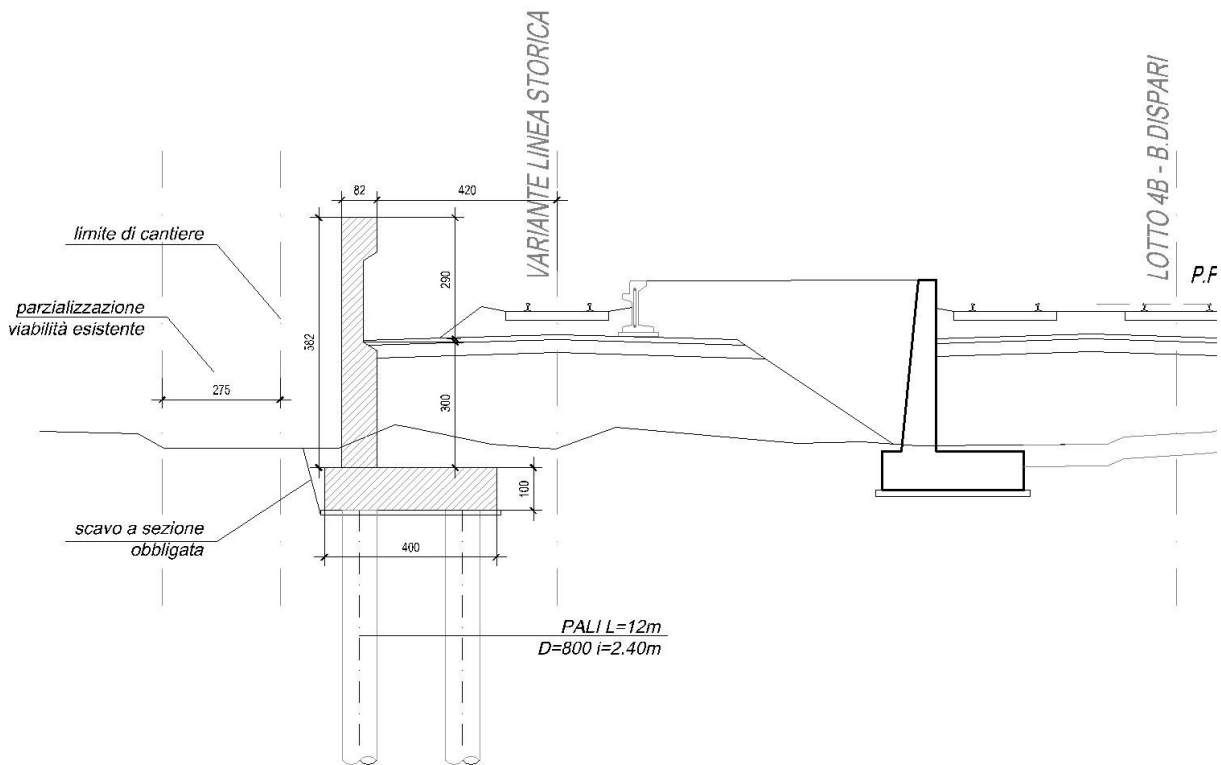


Figura 5 – Prospetto muro stazione di Dittaino


Nel seguito della presente relazione è affrontato il dimensionamento strutturale e geotecnico delle opere definite in precedenza.

## 1.2 Unità di misura

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- per le lunghezze ⇒ m, mm
- per i carichi ⇒ kN, kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>
- per le azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- per le tensioni ⇒ MPa



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE CIVILI</b>					
	Muro Di protezione – Relazione di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	9 di 55

## 2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Di seguito si riporta l'elenco generale delle Normative Nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento, quale riferimento per la redazione degli elaborati tecnici e/o di calcolo dell'intero progetto nell'ambito della quale si inserisce l'opera oggetto della presente relazione:

- Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 17/01/2018, «Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni»
- Rif. [2] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 11 gennaio 2018»
- Rif. [3] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 C)
- Rif. [4] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 1 / Ambiente e Geologia (RFI DTC SI AG MA IFS 001 B – rev 21/12/2018)
- Rif. [5] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 C– rev 21/12/2018)
- Rif. [6] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 C– rev 21/12/2018)
- Rif. [7] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 4 / Gallerie (RFI DTC SI GA MA IFS 001 C– rev 21/12/2018)
- Rif. [8] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 B– rev 21/12/2018)
- Rif. [9] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 6 / Sagome e Profilo minimo degli ostacoli (RFI DTC SI CS MA IFS 003 C– rev 21/12/2018)
- Rif. [10] Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "Infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Rif. [11] Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4:2005)
- Rif. [12] UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	10 di 55

## 2.1 Elaborati di riferimento

Costituiscono parte integrante di quanto esposto nel presente documento, l'insieme degli elaborati di progetto specifici relativi all'opera in esame e riportati in elenco elaborati.

### 3. CONDIZIONI GEOTECNICHE: STRATIGRAFIA E FALDA

La successione stratigrafica è stata desunta sulla base delle indagini eseguite e dai rilievi e studi geologico-geomorfologici. Per la scelta dei parametri geotecnici di progetto delle unità intercettate ci si è basati sui risultati delle indagini eseguite per l'intero tracciato in progetto.

Nel seguito vengono definite le unità geotecniche intercettate. Nel profilo stratigrafico longitudinale sono mostrati i risultati di tutte le indagini eseguite e sarà utilizzato per la definizione della successione stratigrafica in corrispondenza delle singole opere in progetto e della linea in generale.

#### 3.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

Sulla base dei risultati delle indagini (in sito ed in laboratorio) delle campagne geognostiche, si perviene ad una caratterizzazione geotecnica dei terreni e quindi alla definizione della stratigrafia e dei parametri geotecnici di progetto.

Unità geotecniche:

- **Unità bn - Depositi alluvionali terrazzati:** Depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale, lago di meandro e canale in fase di abbandono, costituiti da tre differenti litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Si distinguono in ghiaie poligeniche (**bn1**), sabbie e sabbie limose (**bn2**) e argille limose e limi argillosi (**bn3**)
- **Unità TRV- Formazione di Terravecchia:** in cui si distinguono varie litofacies.  
La litofacies argilloso marnosa (**unità TRV**) è costituita da argille da debolmente marnose a marnose.  
La litofacies sabbiosa (**unità TRVa**), è costituita da prevalenti sabbie e arenarie tenere e poco cementate.  
La litofacies argilloso-brecciata (**unità TRVb**), è costituita da argilla limosa debolmente marnosa a struttura brecciata con clasti poligenici.
- **Unità MS2 - Sabbie di Cozzo Campana:** Sabbia medio-fine con livelli centimetrici e millimetrici di limo argilloso debolmente sabbioso, da addensata a molto addensata, giallastra con livelli avana e biancastri. Localmente può presentare livelli arenacei.

### 3.2 Sintesi parametri geotecnici di progetto

Nel seguito si sintetizzano le caratteristiche geotecniche di progetto per le varie unità geotecniche, in accordo a quanto definito nella relazione geotecnica generale, a cui si rimanda per i dettagli.

#### Unità bn3 – Depositi alluvionali coesivi (limoso argillosi)

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 25^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 50 \div 120 \text{ kPa}$ (media 80)	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 140 \div 200 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 60 \div 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

#### Unità bn2 – Depositi alluvionali sabbiosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 32^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 250 \div 300 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

#### Unità bn1 – Depositi alluvionali ghiaiosi

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 300 \div 450 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 300 \div 450 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

#### TRVb – Formazione di Terravecchia

$\gamma = 21.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 120 \text{ kPa}$ $z < 20 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_u = 115 + 3.5 \cdot z \text{ kPa}$ $z < 30 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$c_u = 2.5 + 6.5 \cdot z \text{ kPa}$ $z > 30 \text{ m}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate

$V_s = 250\div 450$  m/s                      velocità delle onde di taglio  
 $E_o = 400\div 1000$  MPa                      modulo di deformazione elastico iniziale

**Unità MS2 – Capellaccio sabbioso limoso costituente la parte alterata sabbiosa della formazione di base**

$\gamma = 19.5$  kN/m<sup>3</sup>                      peso di volume naturale  
 $c' = 0$  kPa                                  coesione drenata  
 $\phi' = 33^\circ$                                   angolo di resistenza al taglio  
 $V_s = 150\div 250$  m/s                      velocità delle onde di taglio  
 $E_o = 150\div 300$  MPa                      modulo di deformazione elastico iniziale  
 $E'_{op} = E_o/5$  MPa                      modulo di deformazione elastico operativo per analisi opere di sostegno e fondazioni dirette  
 $k = 7.0E^{-07}$  m/s                      permeabilità

**Unità TRVa – Formazione di Terravecchia arenarie e sabbie alternate con peliti**

$\gamma = 20.0$  kN/m<sup>3</sup>                      peso di volume naturale  
 $c' = 10$  kPa                                  coesione drenata (non ci sono ancora prove disponibili)  
 $\phi' = 30^\circ$                                   angolo di resistenza al taglio (non ci sono ancora prove disponibili)  
 $V_s = 400\div 780$  m/s                      velocità delle onde di taglio  
 $E_o = 390\div 1000$  MPa                      modulo di deformazione elastico iniziale  
 $E' = E_o/5$  MPa                              modulo di deformazione elastico operativo per calcolo cedimenti fondazione e opere di sostegno  
 $k = 1.0E^{-07}\div 2.0E^{-06}$  m/s                      permeabilità

**Unità TRV – Formazione di Terravecchia arenarie e sabbie alternate con peliti**

$\gamma = 21.0$  kN/m<sup>3</sup>                      peso di volume naturale  
 $c' = 0$  kPa                                  coesione drenata (non ci sono ancora prove disponibili)  
 $\phi' = 30^\circ$                                   angolo di resistenza al taglio (non ci sono ancora prove disponibili)  
 $V_s = 400\div 780$  m/s                      velocità delle onde di taglio  
 $E_o = 390\div 1000$  MPa                      modulo di deformazione elastico iniziale  
 $E' = E_o/5$  MPa                              modulo di deformazione elastico operativo per calcolo cedimenti fondazione e opere di sostegno  
 $k = 1.0E^{-07}\div 2.0E^{-06}$  m/s                      permeabilità

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	14 di 55

#### 4. MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali previsti per la realizzazione delle strutture oggetto di calcolo nell'ambito del presente documento:

#### 4.1 CLASSI DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRI

Con riferimento alle specifiche di cui alla norma UNI EN 206-1-2006, si definiscono di seguito le classe di esposizione del calcestruzzo delle diverse parti della struttura oggetto dei dimensionamenti di cui al presente documento:

- Soletta di Fondazione: XC2;
- Elevazioni: XC4;
- Pali di fondazione: XC2

Classe esposizione norma UNI 9658	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
<b>1 Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>						
1	X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici in ambiente molto asciutto.	Interno di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.	-	C 12/15	
<b>2 Corrosione indotta da carbonatazione</b>						
Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel coperto o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi su può considerare che tali condizioni riflettono quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.						
2 a	XC1	Asciutto o permanentemente bagnato.	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua.	0,60	C 25/30	
2 a	XC2	Bagnato, raramente asciutto.	Parti di strutture di contenimento liquidi/fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	0,60	C 25/30	
5 a	XC3	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.	0,55	C 28/35	
4 a	XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido.	0,50	C 32/40	
5 b			Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici in contatto con l'acqua non comprese nella classe XC2.			
<b>3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>						
5 a	XD1	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.	0,55	C 28/35	
4 a	XD2	Bagnato, raramente asciutto.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (Piscine).	0,50	C 32/40	
5 b			Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.			
5 c	XD3	Ciclicamente bagnato e asciutto.		0,45	C 35/45	

Classe esposizione norma UNI 9658	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto a/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
<b>4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>						
4 a	XS1	Esposto alla salssedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.	0,50	C 32/40	
5 b			Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.			
			Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.			
	XS2	Permanentemente sommerso.		0,45	C 35/45	
	XS3	Zone esposte agli spruzzi o alle marea.		0,45	C 35/45	
<b>5 Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza disgelanti *</b>						
2 b	XF1	Moderata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante.	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo, alla pioggia o all'acqua.	0,50	C 32/40	
3	XF2	Moderata saturazione d'acqua, in presenza di agente disgelante.	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.	0,50	C 25/30	3,0
2 b	XF3	Elevata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante.	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.	0,50	C 25/30	3,0
3	XF4	Elevata saturazione d'acqua, con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare.	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.	0,45	C 28/35	3,0
<b>6 Attacco chimico**</b>						
5 a	XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contentori di fanghi e vasche di desaltazione. Contentori e vasche per acque reflue.	0,55	C 28/35	
4 a	XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.	0,50	C 32/40	
5 b			Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive.			
5 c	XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1	Contentori di foraggi, mangimi e liquame provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi di gas di scarico industriali.	0,45	C 35/45	

\*) Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione:  
 - moderato: occasionalmente gelato in condizione di saturazione;  
 - elevato: alta frequenza di gelo in condizioni di saturazione.

\*\*) Da parte di acque del terreno e acque fluenti.

#### Classi di esposizione secondo norma UNI – EN 206-2006

La determinazione delle classi di resistenza dei conglomerati dei conglomerati, di cui ai successivi paragrafi, sono state inoltre determinate tenendo conto delle classi minime stabilite dalla stessa norma UNI-EN 11104, di cui alla successiva tabella:

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	15 di 55

M.

UNI 11104:2004

prospetto 4 Valori limiti per la composizione e le proprietà del calcestruzzo

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri						Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
		Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti													
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto <i>a/c</i>	-	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
Minima classe di resistenza <sup>1)</sup>	C12/15	C25/30	C28/35	C32/40	C32/40	C35/45	C28/35	C32/40	C35/45	32/40	25/30	28/35	28,35	32/40	35/45			
Minimo contenuto in cemento (kg/m <sup>3</sup> )	-	300	320	340	340	360	320	340	360	320	340	360	320	340	360			
Contenuto minimo in aria (%)														3,0 <sup>3)</sup>				
Altri requisiti															Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo	È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati <sup>5)</sup>		

<sup>1)</sup> Nel prospetto 7 della UNI EN 206-1 viene riportata la classe C8/10 che corrisponde a specifici calcestruzzi destinati a sottofondazioni e ricoprimenti. Per tale classe dovrebbero essere definite le prescrizioni di durabilità nei riguardi di acque o terreni aggressivi.  
<sup>a)</sup> Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.  
<sup>b)</sup> Qualora la presenza di solfati comporti le classi di esposizione XA2 e XA3 è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156.

Classi di resistenza minima del calcestruzzo secondo UNI – 11104

I copriferri di progetto adottati per le barre di armatura, tengono infine conto inoltre delle prescrizioni di cui alla Tabella C4.1.IV della Circolare n 7 del 21-01-19; si è in particolare previsto di adottare i seguenti Copriferri minimi espressi in mm

- Fondazione ed elevazioni: 40 mm
- Pali di fondazione: 60 mm

## 4.2 Calcestruzzo per Elevazioni (C 32/40)

Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica a 28 gg: - -

$$R_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica a 28 gg:

$$f_{ck} = 33.2 \text{ MPa} \quad (0,83 \cdot R_{ck})$$

Resistenza a compressione cilindrica media:

$$f_{cm} = 41.2 \text{ MPa} \quad (f_{ck} + 8)$$

Resistenza a trazione assiale:

$$f_{ctm} = 3.10 \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

$$f_{ctk,0,05} = 2.17 \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

Resistenza a trazione per flessione:

$$f_{ctf} = 3.7 \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

$$f_{ctk,0,05} = 2.6 \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:

$$\gamma_c = 1.5$$

*Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1.0*

Resistenza di calcolo a compressione allo SLU:

$$f_{cd} = 18.8 \text{ MPa} \quad (0,85 \cdot f_{ck} / \gamma_s)$$

Resistenza di calcolo a trazione diretta allo SLU:

$$f_{ctd} = 1.45 \text{ MPa} \quad (f_{ctk,0,05} / \gamma_s)$$

Resistenza di calcolo a trazione per flessione SLU:

$$f_{ctd f} = 1.74 \text{ MPa} \quad 1,2 \cdot f_{ctd}$$

*Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valore va ridotto del 20%*

Modulo di elasticità normale :

$$E_{cm} = 33643 \text{ MPa}$$

Modulo di elasticità tangenziale:

$$G_{cm} = 14018 \text{ MPa}$$

Modulo di Poisson:

$$\nu = 0.2$$

□

Coefficiente di dilatazione lineare

$$\alpha = 0.00001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Tensione di aderenza di calcolo acciaio-calcestruzzo

$$\eta = 1.00$$

$$f_{bd} = 3.25 \text{ MPa} \quad (2,25 \cdot f_{ctk} \cdot \eta / \gamma_s)$$



Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	17 di 55

*Nel caso di armature molto addensate, o ancoraggi in zona tesa tale valore va diviso per 1,5*

**Tensioni massime per la verifica agli SLE** (Prescrizioni Manuale RFI Parte 2-Sezione 2)

$$\sigma_{\text{cmax QP}} = (0,40 f_{\text{ck}}) = \boxed{13.28} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{\text{cmax R}} = (0,55 f_{\text{ck}}) = \boxed{18.26} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

*Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valori vanno ridotti del 20%*

### 4.3 Calcestruzzo per Pali di Fondazione (C 25/30)

**Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica a 28 gg:**

$$R_{\text{ck}} = \boxed{30} \text{ MPa}$$

**Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica a 28 gg:**

$$f_{\text{ck}} = \boxed{24.9} \text{ MPa} \quad (0,83 \cdot R_{\text{ck}})$$

**Resistenza a compressione cilindrica media:**

$$f_{\text{cm}} = \boxed{32.9} \text{ MPa} \quad (f_{\text{ck}} + 8)$$

**Resistenza a trazione assiale:**

$$f_{\text{ctm}} = \boxed{2.56} \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

$$f_{\text{ctk},0,05} = \boxed{1.79} \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

**Resistenza a trazione per flessione:**

$$f_{\text{ctf}} = \boxed{3.1} \text{ MPa} \quad \text{Valore medio}$$

$$f_{\text{ctk},0,05} = \boxed{2.1} \text{ MPa} \quad \text{Valore caratteristico frattile 5\%}$$

**Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:**

$$\gamma_c = \boxed{1.5}$$

*Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1,0*

**Resistenza di calcolo a compressione allo SLU:**

$$f_{\text{cd}} = \boxed{14.1} \text{ MPa} \quad (0,85 \cdot f_{\text{ck}} / \gamma_s)$$

**Resistenza di calcolo a trazione diretta allo SLU:**

$$f_{\text{ctd}} = \boxed{1.19} \text{ MPa} \quad (f_{\text{ctk},0,05} / \gamma_s)$$

**Resistenza di calcolo a trazione per flessione SLU:**

$$f_{\text{ctd f}} = \boxed{1.43} \text{ MPa} \quad 1,2 \cdot f_{\text{ctd}}$$

*Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valore va ridotto del 20%*

**Modulo di elasticità normale :**

$$E_{\text{cm}} = \boxed{31447} \text{ MPa}$$

**Modulo di elasticità tangenziale:**

$$G_{\text{cm}} = \boxed{13103} \text{ MPa}$$

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	18 di 55

**Modulo di Poisson:**

$$\nu = \boxed{0.2}$$

□

**Coefficiente di dilatazione lineare**

$$\alpha = \boxed{0.00001} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

**Tensione di aderenza di calcolo acciaio-calcestruzzo**

$$\eta = 1.00$$

$$f_{bd} = \boxed{2.69} \text{ MPa} \quad (2,25 \cdot f_{ctk} \cdot \eta / \gamma_s)$$

Nel caso di armature molto addensate, o ancoraggi in zona tesa tale valore va diviso per 1,5

**Tensioni massime per la verifica agli SLE** (Prescrizioni Manuale RFI Parte 2-Sezione 2)

$$\sigma_{\text{cmax QP}} = (0,40 f_{ck}) = \boxed{9.96} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Quasi Permanente})$$

$$\sigma_{\text{cmax R}} = (0,55 f_{ck}) = \boxed{13.70} \text{ MPa} \quad (\text{Combinazione di Carico Caratteristica - Rara})$$

Per spessori minori di 50mm e calcestruzzi ordinari, tale valori vanno ridotti del 20%

#### 4.4 Calcestruzzo magro per Getti di livellamento/sottofondazioni (C12/15)

**Valore caratteristico della resistenza a compressione cubica a 28 gg:**

$$R_{ck} = \boxed{15} \text{ MPa}$$

**Valore caratteristico della resistenza a compressione cilindrica a 28 gg:**

$$f_{ck} = \boxed{12.5} \text{ MPa} \quad (0,83 \cdot R_{ck})$$

**Resistenza a compressione cilindrica media:**

$$f_{cm} = 20.5 \text{ MPa} \quad (f_{ck} + 8)$$

Si omettono resistenze e/o tensioni di calcolo, essendo tale conglomerato previsto per parti d'opera senza funzioni strutturali.

#### 4.5 Acciaio in barre d'armatura per c.a. (B450C)

*Tensione caratteristica di rottura:*

$$f_{tk} = \boxed{540} \text{ MPa (frattile al 5\%)}$$

*Tensione caratteristica allo snervamento:*

$$f_{yk} = \boxed{450} \text{ MPa (frattile al 5\%)}$$

*Fattore di sovraresistenza (nel caso di impiego di legame costitutivo tipo bilineare con incrudimento)*

$$k = f_{tk}/f_{yk} = \boxed{1.20} \text{ MPa}$$

*Allungamento a rottura (nel caso di impiego di legame costitutivo tipo bilineare con incrudimento)*

$$(A_{gt})_k = \quad \varepsilon_{uk} = \boxed{7.5} \%$$

$$\varepsilon_{ud} = \quad 0,9 \varepsilon_{uk} = \boxed{6.75} \%$$

*Coefficiente parziale per le verifiche agli SLU:*

$$\gamma_c = \quad \mathbf{1.15}$$

Per situazioni di carico eccezionali, tale valore va considerato pari ad 1,0

*Resistenza di calcolo allo SLU:*

$$f_{yd} = \boxed{391.3} \text{ MPa } (f_{yk}/\gamma_s)$$

*Modulo di elasticità :*

$$E_f = \boxed{210000} \text{ MPa}$$

*Tensione massima per la verifica agli SLE (Prescrizioni Manuale RFI Parte 2-Sezione 2)*

$$\sigma_{s \max} = (0,75 f_{yk}) = \boxed{360} \text{ MPa} \quad \text{Combinazione di Carico Caratteristica(Rara)}$$

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	20 di 55

## 5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Considerando le masse degli elementi strutturali, l'azione sismica genera sollecitazioni inferiori a quelle date dall'azione eccezionale dell'urto da traffico ferroviario, con le quali non va comunque combinata.

Si trascurano pertanto gli effetti sulle strutture dovuti alle azioni sismiche in quanto non dimensionanti.

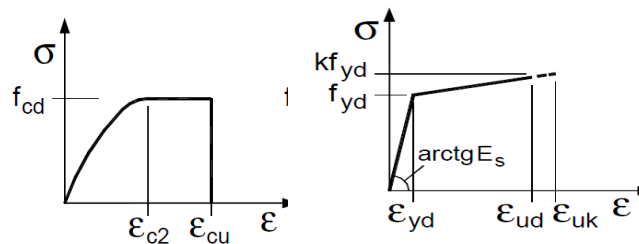
## 6. CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE STRUTTURALI

I criteri generali di verifica utilizzati per la valutazione delle capacità resistenti delle sezioni, per la condizione SLU, e per le massime tensioni nei materiali nonché per il controllo della fessurazione, relativamente agli SLE, sono quelli definiti al p.to 4.1.2 del DM 17.01.18.

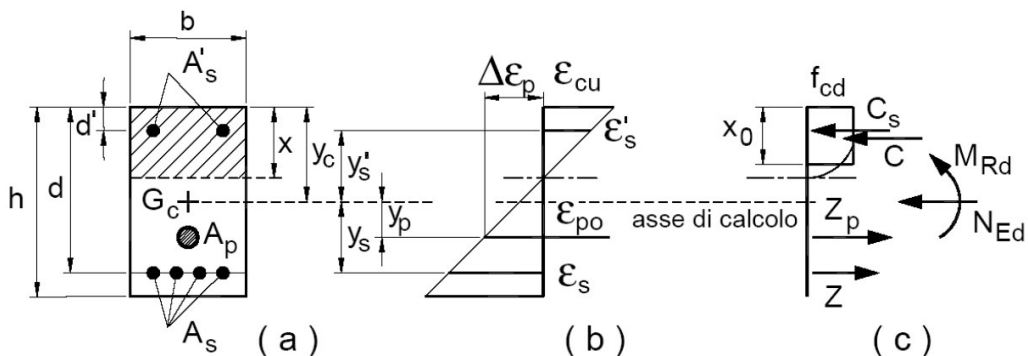
### 6.1 VERIFICHE ALLO SLU

#### 6.1.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione, viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.3.4.2 delle NTC18, secondo quanto riportato schematicamente nelle figure seguito, tenendo conto dei valori delle resistenze e deformazioni di calcolo riportate al paragrafo dedicato alle caratteristiche dei materiali:



Legami costitutivi Calcestruzzo ed Acciaio -



Schema di riferimento per la valutazione della capacità resistente a pressoflessione generica sezione -

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

$M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;

$N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;

$M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

### 6.1.2 Taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  della membratura priva di armatura specifica risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \cdot b_w d$$

Dove:

- $v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$ ;
- $k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$ ;
- $\rho_1 = A_{sw}/(b_w \cdot d)$
- $d$  = altezza utile per piedritti soletta superiore ed inferiore;
- $b_w$  = 1000 mm larghezza utile della sezione ai fini del taglio.

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  è il minimo tra la resistenza a taglio trazione  $V_{Rsd}$  e la resistenza a taglio compressione  $V_{Rcd}$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$$

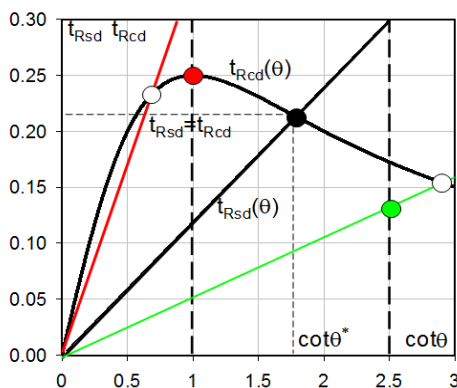
$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{(\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta)}{(1 + \text{ctg}^2\theta)}$$

Essendo:

$$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2,5$$

Per quanto riguarda in particolare le verifiche a taglio per elementi armati a taglio, si è fatto riferimento al metodo del traliccio ad inclinazione variabile, in accordo a quanto prescritto al punto 4.1.2.3.5 delle NTC18, considerando ai fini delle verifiche, un angolo  $\theta$  di inclinazione delle bielle compresse del traliccio resistente tale da rispettare la condizione.

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5 \quad 45^\circ \geq \theta \geq 21,8^\circ$$



- Se la  $\cot \theta^*$  è compresa nell'intervallo (1,0-2,5) è possibile valutare il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd}=V_{Rsd})$
- Se la  $\cot \theta^*$  è maggiore di 2,5 la crisi è da attribuirsi all'armatura trasversale e il taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rsd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle armature trasversali valutabile per una  $\cot \theta = 2,5$ .
- Se la  $\cot \theta^*$  è minore di 1,0 la crisi è da attribuirsi alle bielle compresse e taglio resistente  $V_{Rd}(=V_{Rcd})$  coincide con il massimo taglio sopportato dalle bielle di calcestruzzo valutabile per una  $\cot \theta = 1,0$ .

L'angolo effettivo di inclinazione delle bielle ( $\theta$ ) assunto nelle verifiche è stato in particolare valutato, nell'ambito di un problema di verifica, tenendo conto di quanto di seguito indicato:

$$\cot \theta^* = \sqrt{\frac{v \cdot \alpha_c}{\omega_{sw}} - 1}$$

( $\theta^*$  angolo di inclinazione delle bielle cui corrisponde la crisi contemporanea di bielle compresse ed armature)

dove

$$v = f'_{cd} / f_{cd} = 0.5$$

$f'_{cd}$  = resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

$f_{cd}$  = resistenza a compressione di calcolo del calcestruzzo d'anima

$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrature non compresse
		$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
		1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$
		$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

$\omega_{sw}$  : Percentuale meccanica di armatura trasversale.

$$\sigma_{SW} = \frac{A_{SW} f_{yd}}{b s f_{cd}}$$

## 6.2 VERIFICA SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio, consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio il tasso di Lavoro nei Materiali e l'ampiezza delle fessure attesa, secondo quanto di seguito specificato

### 6.2.1 Verifiche alle tensioni

La verifica delle tensioni in esercizio consiste nel controllare il rispetto dei limiti tensionali previsti per il calcestruzzo e per l'acciaio per ciascuna delle combinazioni di carico caratteristiche "Rara" e "Quasi Permanente"; i valori tensionali nei materiali sono valutati secondo le note teorie di analisi delle sezioni in c.a. in campo elastico e con calcestruzzo "non reagente" adottando come limiti di riferimento, trattandosi nel caso in specie di opere Ferroviarie, quelli indicati nel documento " Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario RFI DTC SI PS MA IFS 001 C del 21/12/2018 ", ovvero:

#### Strutture in c.a.

##### Tensioni di compressione del calcestruzzo

Devono essere rispettati i seguenti limiti per le tensioni di compressione nel calcestruzzo:

- per combinazione di carico caratteristica (rara):  $0,55 f_{ck}$ ;
- per combinazioni di carico quasi permanente:  $0,40 f_{ck}$ ;
- per spessori minori di 5 cm, le tensioni normali limite di esercizio sono ridotte del 30%.

##### Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie, la massima tensione di trazione sotto la combinazione di carico caratteristica (rara) non deve superare  $0.75 f_{yk}$



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE CIVILI</b>					
	Muro Di protezione – Relazione di calcolo	COMMESSA RSV3	LOTTO 40 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0000 003	REV. A

## 6.2.2 Verifiche a fessurazione

La verifica a fessurazione consiste nel controllo dell'ampiezza massima delle fessure per le combinazioni di carico di esercizio i cui valori limite sono stabiliti, nell'ambito del progetto di opere ferroviarie, nel documento RFI DTC SI PS MA IFS 001 C – 2.5.1.8.3.2.4 (*Manuale di progettazione delle opere civili del 21/12/2018*).

In particolare l'apertura convenzionale delle fessure  $\delta_f$  dovrà rispettare i seguenti limiti:


- $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$  per tutte le strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive (così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 17.1.2018 – Tab 4.1.III), per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$  per strutture in condizioni ambientali ordinarie.

Tabella 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 4.1.III – DM 17.01.2018

In definitiva, nel caso in esame, con riferimento alle indicazioni della tabella di cui in precedenza, si adotta il limite  $w_1=0,20 \text{ mm}$  sia per le parti in elevazione che per quelle in fondazione, in quanto in entrambi i casi trattasi di strutture a permanente contatto col terreno.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>OPERE CIVILI</b>					
	Muro Di protezione – Relazione di calcolo	COMMESSA RSV3	LOTTO 40 D 26	CODIFICA CL	DOCUMENTO MU0000 003	REV. A

## 7. RISULTATI E VERIFICHE MURI DI PROTEZIONE

### 7.1 Azioni eccezionali da urto

Con riferimento al paragrafo 3.6.3.4 delle NTC il quale afferma che:

“All’occorrenza di un deragliamento può verificarsi il rischio di collisione fra i veicoli deragliati e le strutture adiacenti la ferrovia. Queste ultime dovranno essere progettate in modo da resistere alle azioni conseguenti ad una tale evenienza.

Dette azioni devono determinarsi sulla base di una specifica analisi di rischio, tenendo conto della presenza di eventuali elementi protettivi o sacrificali (respingenti) ovvero di condizioni di impianto che possano ridurre il rischio di accadimento dell’evento (marciapiedi, controrotaie, ecc.).

In mancanza di specifiche analisi di rischio possono assumersi le seguenti azioni statiche equivalenti, in funzione della distanza  $d$  degli elementi esposti dall’asse del binario:

- per  $d \leq 5$  m:
  - 4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
  - 1500 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- per  $5 \text{ m} < d \leq 15$  m:
  - 2000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
  - 750 kN in direzione perpendicolare alla direzione di marcia dei convogli ferroviari;
- per  $d > 15$  m pari a zero in entrambe le direzioni.

Queste forze dovranno essere applicate a 1,80 m dal piano del ferro e non dovranno essere considerate agenti simultaneamente”

Per quanto concerne la distribuzione di questa forza sul paramento si è considerata una ripartizione nel paramento secondo un angolo di 45 gradi a partire dal punto di applicazione della forza.

In particolare si ha:

*PROSPETTO TIPO MURO ANTISVIO*

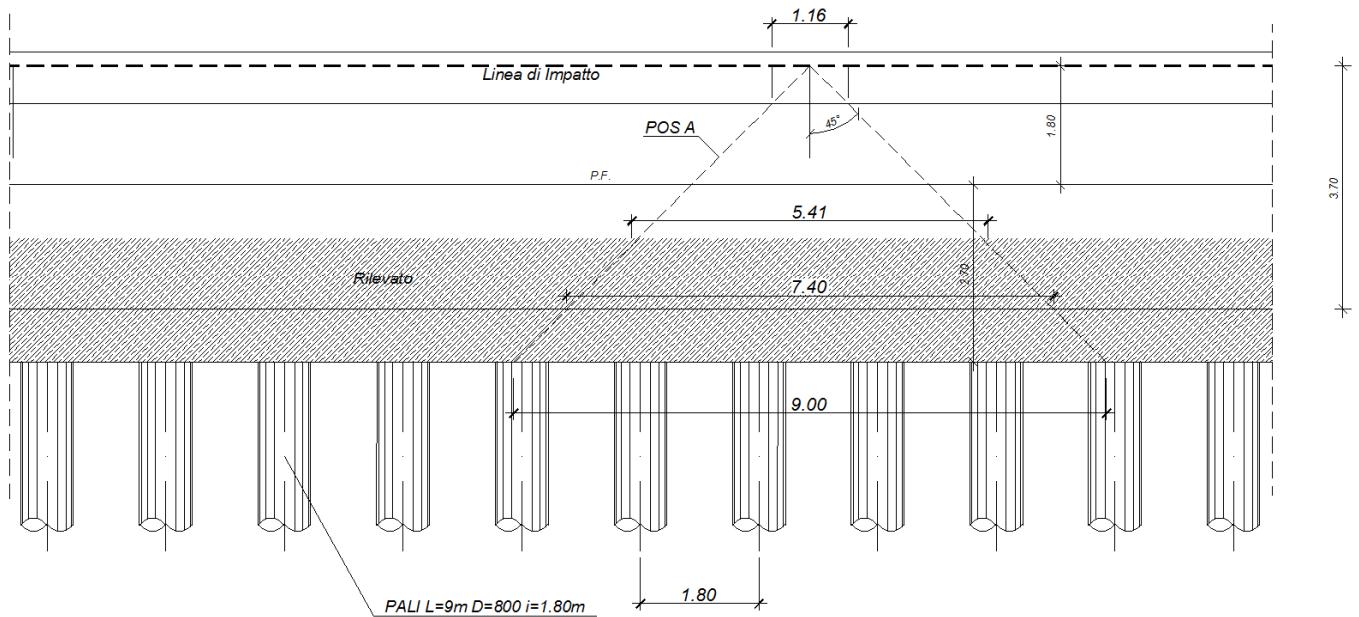


Figura 6: Schema diffusione azione eccezionale da urto sul paramento del muro

Pertanto per le due tipologie di palo definite in premessa si ha:

**7.1.1 Muro Di protezione Tipo A ( $D \leq 5m$ )**

$$H_{svio} = 1500.0kN \quad (\text{Azione eccezionale da urto da traffico ferroviario par.3.6.3.4 NTC2018})$$

$$L_d (m) = 9.0 \quad m \quad (\text{lunghezza di diffusione longitudinale del carico da urto})$$

$$H_{svio,d} = 166.7 \quad kN/m \quad (H_{svio} / L_d)$$

### 7.1.2 Muro Di protezione Tipo B ( $5m < D \leq 15m$ )

$H_{svio} = 750.0kN$  (Azione eccezionale da urto da traffico ferroviario par.3.6.3.4 NTC2018)

$L_d (m) = 9.0 m$  (lunghezza di diffusione longitudinale del carico da urto)

$H_{svio,d} = 83.3 kN/m (H_{svio}/L_d)$

### 7.2 Verifica pali di fondazione a carico limite orizzontale

Per la verifica del carico limite orizzontale si utilizza la teoria di Broms e si considerano pali con rotazione in testa impedita.

Le equazioni con cui si determina il carico limite a forze orizzontali dei pali sono definite di seguito al variare del tipo di meccanismo considerato.

In terreni coesivi si ha:

Palo corto: 
$$H = 9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} - 1.5 \right)$$

Palo intermedio: 
$$H = -9c_u d^2 \left( \frac{L}{d} + 1.5 \right) + 9c_u d^2 \sqrt{2 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{4}{9} \frac{M_y}{c_u d^3} + 4.5}$$

Palo lungo: 
$$H = -13.5c_u d^2 + c_u d^2 \sqrt{182.25 + 36 \frac{M_y}{c_u d^3}}$$

dove :

$H$  = carico limite orizzontale del palo;

$c_u$  = resistenza non drenata del terreno;

$M_y$  = momento di plasticizzazione del palo;

$L$  = lunghezza del palo;

$d$  = diametro del palo.

In terreni incoerenti si ha (vedasi figura seguente):

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	29 di 55

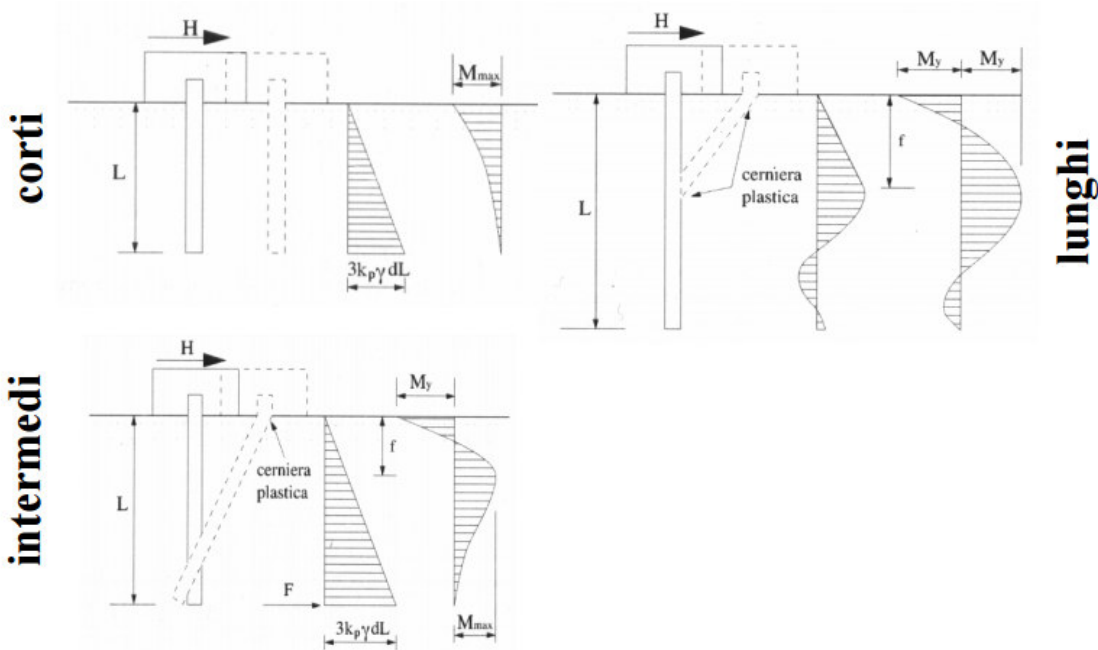
Palo corto: 
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio: 
$$H = \frac{1}{2}k_p \gamma d^3 \left( \frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo: 
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left( 3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

Dove, oltre ai termini già definiti,

$k_p$  = coefficiente di spinta passiva.



Il valore di H dovrà essere confrontato con il massimo valore del taglio agente sul palo al variare delle combinazioni ( $V_{pd}$ ); il valore determinato con la teoria di Broms dovrà essere ridotto secondo quanto prevede la normativa vigente.

$$H \lim = \frac{H}{\xi \cdot \gamma_T} \geq V_{pd}$$

dove:

H = valore limite in funzione del meccanismo attivato;

$\xi$  = fattore di correlazione in funzione delle verticali indagate;

$\gamma_T$  = fattore di resistenza laterale secondo la tabella di seguito riportata.

Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Resistenze Caratteristiche (R)	R1	R2	R3
Resistenza laterale:	1.00	1.60	1.30

Nel caso in esame per le due tipologie di muri di protezione definiti in premessa si ha:

### 7.2.1 Muro Di protezione Tipo A ( $D \leq 5m$ )

$H_{svio} = 1500.0$  kN (Azione eccezionale da urto da traffico ferroviario par.3.6.3.4 NTC2018)

$L_d (m) = 9.0$  m (lunghezza di diffusione longitudinale del carico da urto)

$H_{svio,d} = 166.7$  kN/m ( $H_{svio}/L_d$ )

$i_p = 1.8$  m (interasse pali)

$e_v = 4.5$  m (eccentricità verticale carico-testa palo effettiva)

$e = 1.2$  m (eccentricità verticale aggiuntiva fino a quota reazione terreno  $\cong 1,5 D$ )

$D = 0.8$  m (Diametro palo)

$L_p = 8.0$  m (lunghezza effettiva palo)

$L_p' = 6.8$  m (lunghezza di palo reagente alle azioni orizzontali)

$\varphi' = 30.0$  ° (Angolo di attrito terreni)

$K_P = 3.0$  (Coefficiente di Spinta Passiva - Teoria di Rankine )

$\gamma = 20.0$  kN/m<sup>3</sup> (Peso unità volume terreno)

$H_{svio p} = 300.0$  kN (taglio sul palo)

$M_{tp} = 1710.0$  (kN m) (momento massimo a testa palo)

$M_y = 2121.2$  (kNm) (momento di plasticizzazione)

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	31 di 55

### VALUTAZIONE CARICO LIMITE PALO CORTO

$$H_{LIM} = 604 \text{ kN}$$

$$e/D = 7.13$$

$$f = 2.89 \text{ m}$$

$$M_{MAX} = 1889 \text{ KNm} \quad \text{OK PALO CORTO}$$

$$\xi = 1.4$$

$$R = 1.3$$

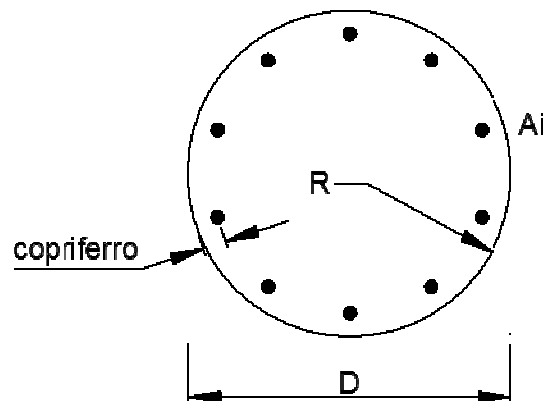
$$H_d = 332 \text{ kN}$$

$$cs = 1.11$$

Dove il momento di plasticizzazione  $M_y$  è valutato nel modo seguente:

#### Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro	=	800 (mm)
Raggio	=	400 (mm)
Sforzo Normale	=	0 (kN)



#### Caratteristiche dei Materiali

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	32 di 55

**calcestruzzo**

$R_{ck} = 30$  (Mpa)
   
 $f_{ck} = 25$  (Mpa)
   
 $\gamma_c = 1.0$ 
  
 $\alpha_{cc} = 0.85$

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 21.25$  (Mpa)

**Acciaio**

tipo di acciaio
   
 $f_{yk} = 450$  (Mpa)
   
 $\gamma_s = 1$ 
  
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450.0$  (Mpa)
   
 $E_s = 206000$  (Mpa)
   
 $\epsilon_{ys} = 0.218\%$ 
  
 $\epsilon_{uk} = 10.000\%$

**Armature**

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
36	26	19113	80
0	30	0	150
0	0	0	0

Calcolo

**Momento di Plasticizzazione**

$M_y = 2121.2$  (kN m)

Inserisci



### 7.2.2 Muro Di protezione Tipo B ( $5m < D \leq 15m$ )

$H_{svio} = 750.0 \text{ kN}$  (Azione eccezionale da urto da traffico ferroviario par.3.6.3.4 NTC2018)

$L_d (m) = 9.0 \text{ m}$  (lunghezza di diffusione longitudinale del carico da urto)

$H_{svio,d} = 83.3 \text{ kN/m}$  ( $H_{svio}/L_d$ )

$i_p(m) = 2.4 \text{ m}$  (interasse pali)

$e_v(m) = 4.5 \text{ m}$  (eccentricità verticale carico-testa palo effettiva)

$e(m) = 1.2 \text{ m}$  (eccentricità verticale aggiuntiva fino a quota reazione terreno  $\cong 1,5 D$ )

$D(m) = 0.8 \text{ m}$  (Diametro palo)

$L_p (m) = 7.0 \text{ m}$  (lunghezza effettiva palo)

$L_{p'} (m) = 5.8 \text{ m}$  (lunghezza di palo reagente alle azioni orizzontali)

$\varphi' = 30.0^\circ$  (Angolo di attrito terreni)

$K_P = 3.0$  (Coefficiente di Spinta Passiva - Teoria di Rankine )

$\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$  (Peso unità volume terreno)

$H_{svio p} = 200.0 \text{ kN}$  (taglio sul palo)

$M_{tp} = 1140.0 (\text{kN m})$  (momento massimo a testa palo)

$M_y = 1216.6 (\text{kN m})$  (momento di plasticizzazione)

### VALUTAZIONE CARICO LIMITE CARATTERISTICO PALO CORTO

$H_{LIM} = 407 \text{ kN}$

$e/D = 7.13$

$f = 2.38 \text{ m}$

$M_{MAX} = 1134 \text{ KNm}$

**OK PALO CORTO**

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	34 di 55

$$\xi = 1.4$$

$$R = 1.3$$

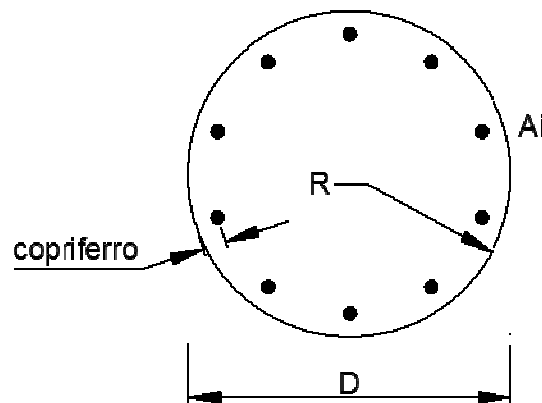
$$H_d = 224 \text{ kN}$$

$$cs = 1.12$$

Dove il momento di plasticizzazione  $M_y$  è valutato nel modo seguente:

**Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare**

Diametro	=	800 (mm)
Raggio	=	400 (mm)
Sforzo Normale	=	0 (kN)



**Caratteristiche dei Materiali**

calcestruzzo

C25/30

$$R_{ck} = 30 \text{ (Mpa)}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ (Mpa)}$$

$$\gamma_c = 1.0$$

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 21.25 \text{ (Mpa)}$$

**Acciaio**

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	35 di 55

tipo di acciaio

B450C ▼

$f_{yk} = 450$  (Mpa)

$\gamma_s = 1$

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450.0$  (Mpa)

$E_s = 206000$  (Mpa)

$\epsilon_{ys} = 0.218\%$

$\epsilon_{uk} = 10.000\%$

#### Armature

numero	diametro (mm)	area (mm <sup>2</sup> )	copriferro (mm)
22	24	9953	80
0	30	0	150
0	0	0	0

Calcolo

#### Momento di Plasticizzazione

$M_y = 1216.6$  (kN m)

Inserisci

### 7.3 Verifica Muro elevazione

#### 7.3.1 Muro Di protezione Tipo A ( $D \leq 5m$ )

##### SEZIONE DI SOMMITA

Ld (m) = 1.0 m (lunghezza di diffusione longitudinale del carico da urto)

V = 1500 KN/m

SLU

CLS : C32/40

B	H	c	Af	Af'	Af t
cm	cm	cm			
100	50	6	10 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	1 $\phi$ 12/20x10

M	N	T	Mrd	C.S. NM min	Trd long *	C.S. T min (Trd/T)
kNm	KN	KN	kNm		KN	
0	0	1500	-	-	1685	1.12

\*  $\theta = 21,8$

##### SEZIONE DI BASE (ext cordolo pali)

Ld (m) = 4.0 m (lunghezza di diffusione longitudinale del carico da urto)

ev(m) = 3.7 m (eccentricità verticale linea impatto - testa cordolo)

M = 1387.5 KNm/m

CLS : C32/40

B	H	c	Af	Af'	Af t
cm	cm	cm			
100	82	6	10+10 $\phi$ 24	5 $\phi$ 24	1 $\phi$ 12/20x20

M	N	T	Mrd	C.S. NM min	Trd long *	C.S. T min (Trd/T)
kNm	KN	KN	kNm		KN	
1388	0	0	2421	1.74		

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	37 di 55

### 7.3.2 Muro Di protezione Tipo B ( $5m < D \leq 15m$ )

#### SEZIONE DI SOMMITA

Ld (m) = 1.0 m (lunghezza di diffusione longitudinale del carico da urto)

V = 750 KN/m

#### SLU

CLS : C32/40

B	H	c	Af	Af'	Af t
m	m	cm			
100	50	6	5 $\phi$ 24	5 $\phi$ 18	1 $\phi$ 12/20x20

M	N	T	Mrd	C.S. NM min	Trd long *	C.S. T min (Trd/T)
kNm	KN	KN	kNm		KN	
0	0	750	-	-	1260	1.68

\*  $\theta = 21,8$

#### SEZIONE DI BASE (ext cordolo pali)

Ld (m) = 4.0 m (lunghezza di diffusione longitudinale del carico da urto)

ev(m) = 3.7 m (eccentricità verticale linea impatto - testa cordolo)

M = 693.8 KNm/m

CLS : C32/40

B	H	c	Af	Af'	Af t
m	m	cm			
100	82	6	10 $\phi$ 24	5 $\phi$ 18	1 $\phi$ 12/20x20

M	N	T	Mrd	C.S. NM min	Trd long *	C.S. T min (Trd/T)
kNm	KN	KN	kNm		KN	
0	0	0	1297	1.87		

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

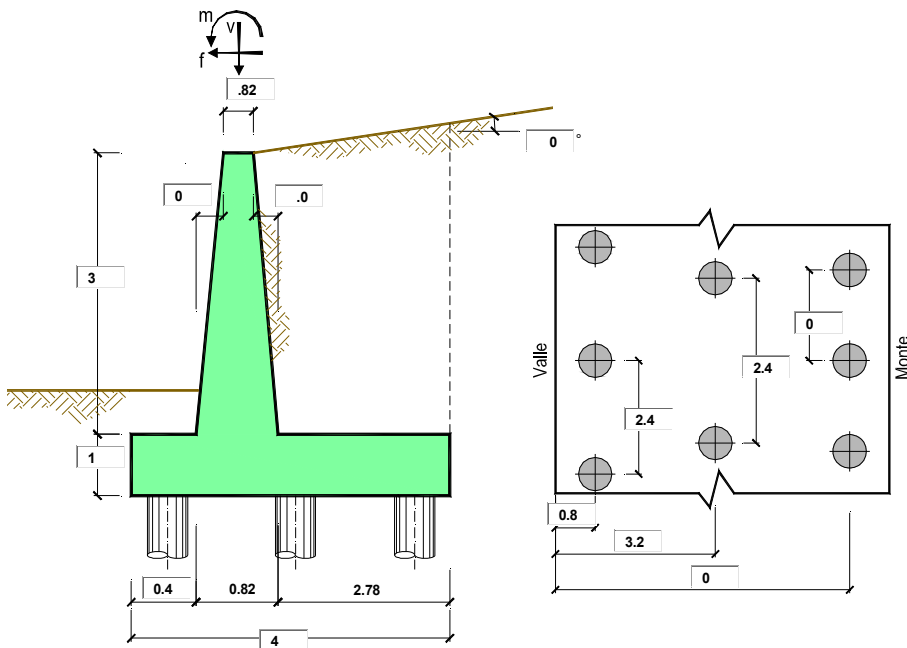
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	38 di 55

## 8. RISULTATI E VERIFICHE MURI DI PROTEZIONE STAZIONE DI DITTAINO

### 8.1 Azioni eccezionali da urto

Per la definizione delle azioni si rimanda al paragrafo 7.1.1

### 8.2 Determinazione delle azioni in fondazione

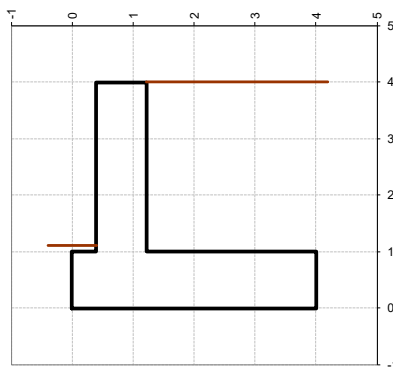


OPERA [Esempio](#)

Combinazioni coefficienti parziali di verifica

SLU	A1+M1	<input type="radio"/>
	A2+M2	<input type="radio"/>
SLE (DM88)		<input type="radio"/>
altro		<input checked="" type="radio"/>

Peso Specifico del Calcestruzzo  $\gamma_{cls} = 25.00$  (kN/m<sup>3</sup>)



Carichi	Effetto	Coeff. Parziale	A1 (STR)	A2 (GEO)	SLE	altro
Permanenti	favorevole	$\gamma_G$	1.00	1.00	1.00	1.00
	sfavorevole		1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	favorevole	$\gamma_Q$	0.00	0.00	0.00	1.00
	sfavorevole		1.50	1.30	1.00	1.50

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
RSV3 40 D 26 CL MU0000 003 A 39 di 55

Parametro	Coeff. Parziale	M1	M2	SLE	altro	
angolo d'attrito	$\tan \phi_k$	$\gamma_{\phi}$	1.00	1.25	1.00	1.00
peso unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1.00	1.00	1.00	1.00

Dati Geotecnici		valori caratteristici		valori di progetto	
		SLE		STR/GEO	
Dati Terrapieno	Angolo di attrito del terrapieno	(°)	$\phi'$	38.00	38.00
	Peso Unità di Volume del terrapieno	(kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$	18.00	18.00
	Angolo di attrito terreno-superficie ideale	(°)	$\delta$	0.00	0.00

Dati Sismici	Accelerazione sismica	$a_g/g$	0	(-)
	Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	$S_s$	0	(-)
	Coefficiente Amplificazione Topografico	$S_T$	0	(-)
	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_s$	0	(-)
	Coefficiente sismico orizzontale	$k_h$	0	(-)
	Coefficiente sismico verticale	$k_v$	0.0000	(-)
	Muro libero di traslare o ruotare			<input checked="" type="radio"/> si <input type="radio"/> no

Coefficienti di Spinta	SLE		STR/GEO	
	Coeff. di Spinta Attiva Statico	$k_a$	0.238	0.238
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma +	$k_{as+}$	0.238	0.238
	Coeff. Di Spinta Attiva Sismica sisma -	$k_{as-}$	0.238	0.238

Carichi Agenti		valori caratteristici		valori di progetto	
		SLE - sisma		STR/GEO	
Carichi permanenti	Sovraccarico permanente	(kN/m <sup>2</sup> )	$q_p$	0.00	0.00
	Sovraccarico su zattera di monte	<input type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> no			
	Forza Orizzontale in Testa permanente	(kN/m)	$f_p$	133.93	133.93
	Forza Verticale in Testa permanente	(kN/m)	$v_p$	0.00	0.00
Condizioni Statiche	Momento in Testa permanente	(kNm/m)	$m_p$	348.21	348.21
	Sovraccarico Accidentale in condizioni statiche	(kN/m <sup>2</sup> )	$q$	0.00	0.00
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	$f$	0.00	0.00
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni statiche	(kN/m)	$v$	0.00	0.00
	Momento in Testa accidentale in condizioni statiche	(kNm/m)	$m$	0.00	0.00
Condizioni Sismiche	Coefficienti di combinazione condizione frequente $\psi_1$		0.75	condizione quasi permanente $\psi_2$	0.00
Condizioni Sismiche	Sovraccarico Accidentale in condizioni sismiche	(kN/m <sup>2</sup> )	$q_s$	0.00	
	Forza Orizzontale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	$f_s$	0.00	
	Forza Verticale in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kN/m)	$v_s$	0.00	
	Momento in Testa accidentale in condizioni sismiche	(kNm/m)	$m_s$	0.00	

## CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI

### Calcestruzzo

classe cls	<input type="text" value="C30/37"/>		
Rck	37	(MPa)	
fck	30	(MPa)	
fcm	38		
Ec	32837	(MPa)	
$\alpha_{cc}$	0.85		
$\gamma_c$	1.50		
$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$	17.00	(MPa)	
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{2/3}$	2.90	(MPa)	

### Tensioni limite (tensioni ammissibili)

condizioni statiche		
$\sigma_c$	9.75	Mpa
$\sigma_r$	260	Mpa

### condizioni sismiche

$\sigma_c$	8.5	Mpa
$\sigma_r$	260	Mpa

### Valore limite di apertura delle fessure

Frequente	<input type="text" value="w1"/>	0.2	mm
Quasi Permanente	<input type="text" value="w1"/>	0.2	mm

### Acciaio

tipo di acciaio	<input type="text" value="B450C"/>	
$f_{yk}$	450	(MPa)
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391.30	(MPa)

$E_s$	=	210000	(MPa)
$\epsilon_{ys}$	=	0.19%	

coefficiente omogeneizzazione acciaio  $n = 15$

### Copriferro (distanza asse armatura-bordo)

$c = 6.00$  (cm)

### Copriferro minimo di normativa (ricoprimento armatura)

$c_{min} = 5.00$  (cm)

### Interfero tra I e II strato

$l_{I-II} = 5.00$  (cm)

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	40 di 55

**DATI DI PROGETTO:**

**Geometria del Muro**

Elevazione	H3 =	3.00	(m)
Aggetto Valle	B2 =	0.00	(m)
Spessore del Muro in Testa	B3 =	0.82	(m)
Aggetto monte	B4 =	0.00	(m)

**Geometria della Fondazione**

Larghezza Fondazione	B =	4.00	(m)
Spessore Fondazione	H2 =	1.00	(m)
Suola Lato Valle	B1 =	0.40	(m)
Suola Lato Monte	B5 =	2.78	(m)

Peso Specifico del Calcestruzzo	$\gamma_{cls}$ =	25.00	(kN/m <sup>3</sup> )
---------------------------------	------------------	-------	----------------------

**FORZE VERTICALI**

- Peso del Muro (Pm)

		SLE	STR/GEO
Pm1 =	$(B2 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	0.00	0.00
Pm2 =	$(B3 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls})$	61.50	61.50
Pm3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma_{cls}) / 2$	0.00	0.00
Pm4 =	$(B \cdot H2 \cdot \gamma_{cls})$	100.00	100.00
Pm =	Pm1 + Pm2 + Pm3 + Pm4	161.50	161.50

- Peso del terreno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro (Pt)

Pt1 =	$(B5 \cdot H3 \cdot \gamma')$	150.12	150.12
Pt2 =	$(0,5 \cdot (B4+B5) \cdot H4 \cdot \gamma')$	0.00	0.00
Pt3 =	$(B4 \cdot H3 \cdot \gamma') / 2$	0.00	0.00
Sovr =	$q_p \cdot (B4+B5)$	0.00	0.00
Pt =	Pt1 + Pt2 + Pt3 + Sovr	150.12	150.12

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$q \cdot (B4+B5)$	0	0
Sovr acc. Sism	$q_s \cdot (B4+B5)$	0	0

**MOMENTI DELLE FORZE VERT. RISPETTO AL PIEDE DI VALLE DEL MURO**

- Muro (Mm)

Mm1 =	$Pm1 \cdot (B1 + 2/3 \cdot B2)$	0.00	0.00
Mm2 =	$Pm2 \cdot (B1 + B2 + 0,5 \cdot B3)$	49.82	49.82
Mm3 =	$Pm3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/3 \cdot B4)$	0.00	0.00
Mm4 =	$Pm4 \cdot (B/2)$	200.00	200.00
Mm =	Mm1 + Mm2 + Mm3 + Mm4	249.82	249.82

- Terrapieno e sovr. perm. sulla scarpa di monte del muro

Mt1 =	$Pt1 \cdot (B1 + B2 + B3 + B4 + 0,5 \cdot B5)$	391.81	391.81
Mt2 =	$Pt2 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot (B4+B5))$	0.00	0.00
Mt3 =	$Pt3 \cdot (B1 + B2 + B3 + 2/3 \cdot B4)$	0.00	0.00
Msovr =	$Sovr \cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4+B5))$	0.00	0.00
Mt =	Mt1 + Mt2 + Mt3 + Msovr	391.81	391.81

- Sovraccarico accidentale sulla scarpa di monte del muro

Sovr acc. Stat	$\cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4+B5))$	0.00	0.00
Sovr acc. Sism	$\cdot (B1 + B2 + B3 + 1/2 \cdot (B4+B5))$	0.00	0.00



Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	41 di 55

### INERZIA DEL MURO E DEL TERRAPIENO

- Inerzia del muro (Ps)

Ps h =	$P_m \cdot k_h$	(kN/m)	0.00
Ps v =	$P_m \cdot k_v$	(kN/m)	0.00

- Inerzia orizzontale e verticale del terrapieno a tergo del muro (Pts)

Ptsh =	$P_t \cdot k_h$	(kN/m)	0.00
Ptsv =	$P_t \cdot k_v$	(kN/m)	0.00

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs h)

MPs1 h =	$k_h \cdot P_m 1 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kN/m)	0.00
MPs2 h =	$k_h \cdot P_m 2 \cdot (H_2 + H_3/2)$	(kN/m)	0.00
MPs3 h =	$k_h \cdot P_m 3 \cdot (H_2 + H_3/3)$	(kN/m)	0.00
MPs4 h =	$k_h \cdot P_m 4 \cdot (H_2/2)$	(kN/m)	0.00
MPs h =	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4$	(kN/m)	0.00

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del muro (MPs v)

MPs1 v =	$k_v \cdot P_m 1 \cdot (B_1 + 2/3 \cdot B_2)$	(kN/m)	0.00
MPs2 v =	$k_v \cdot P_m 2 \cdot (B_1 + B_2 + B_3/2)$	(kN/m)	0.00
MPs3 v =	$k_v \cdot P_m 3 \cdot (B_1 + B_2 + B_3 + B_4/3)$	(kN/m)	0.00
MPs4 v =	$k_v \cdot P_m 4 \cdot (B/2)$	(kN/m)	0.00
MPs v =	$MPs1 + MPs2 + MPs3 + MPs4$	(kN/m)	0.00

- Incremento orizzontale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts h)

MPts1 h =	$k_h \cdot P_t 1 \cdot (H_2 + H_3/2)$	(kNm/m)	0.00
MPts2 h =	$k_h \cdot P_t 2 \cdot (H_2 + H_3 + H_4/3)$	(kNm/m)	0.00
MPts3 h =	$k_h \cdot P_t 3 \cdot (H_2 + H_3 \cdot 2/3)$	(kNm/m)	0.00
MPts h =	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	0.00

- Incremento verticale di momento dovuto all'inerzia del terrapieno (MPts v)

MPts1 v =	$k_v \cdot P_t 1 \cdot (H_2 + H_3/2) - (B - B_5/2) \cdot 0.5$	(kNm/m)	0.00
MPts2 v =	$k_v \cdot P_t 2 \cdot (H_2 + H_3 + H_4/3) - (B - B_5/3) \cdot 0.5$	(kNm/m)	0.00
MPts3 v =	$k_v \cdot P_t 3 \cdot (H_2 + H_3 \cdot 2/3) - (B_1 + B_2 + B_3 + 2/3 \cdot B_4) \cdot 0.5$	(kNm/m)	0.00
MPts v =	$MPts1 + MPts2 + MPts3$	(kNm/m)	0.00

### CONDIZIONE STATICA

#### SPINTE DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO

- Spinta totale condizione statica

		SLE	STR/GEO
St =	$0,5 \cdot \gamma \cdot (H_2 + H_3 + H_4) \cdot k_a$	(kN/m)	34.26
Sq perm =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4) \cdot k_a$	(kN/m)	0.00
Sq acc =	$q \cdot (H_2 + H_3 + H_4) \cdot k_a$	(kN/m)	0.00

- Componente orizzontale condizione statica

Sth =	$St \cdot \cos \delta$	(kN/m)	34.26
Sqh perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00
Sqh acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \cos \delta$	(kN/m)	0.00

- Componente verticale condizione statica

Stv =	$St \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00
Sqv perm =	$Sq \text{ perm} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00
Sqv acc =	$Sq \text{ acc} \cdot \sin \delta$	(kN/m)	0.00

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	42 di 55

**MOMENTI DELLA SPINTA DEL TERRENO E DEL SOVRACCARICO**

		SLE	STR/GEO
MSt1 =	$Sth \cdot ((H2+H3+H4)/3)$	(kN/m) 45.67	45.67
MSt2 =	$Stv \cdot B$	(kN/m) 0.00	0.00
MSq1 perm=	$Sqh \text{ perm} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$	(kN/m) 0.00	0.00
MSq2 perm=	$Sqv \text{ perm} \cdot B$	(kN/m) 0.00	0.00
MSq1 acc =	$Sqh \text{ acc} \cdot ((H2+H3+H4)/2)$	(kN/m) 0.00	0.00
MSq2 acc =	$Sqv \text{ acc} \cdot B$	(kN/m) 0.00	0.00

**MOMENTI DOVUTI ALLE FORZE ESTERNE**

Mfext perm=	$mp + fp \cdot (H3 + H2) + vp \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	(kNm/m) 883.93	883.93
Mfext acc =	$m + f \cdot (H3 + H2) + v \cdot (B1 + B2 + B3/2)$	(kNm/m) 0.00	0.00

**AZIONI COMPLESSIVE SULLA FONDAZIONE**

Risultante forze verticali (N)

N perm	$= Pm + Pt + v_p + Stv + Sqv \text{ perm} + Sqv \text{ acc}$	(kN/m) 311.62	311.62
N acc min	$= v + Sqv \text{ acc}$	(kN/m) 0.00	0.00
N acc max	$= v + Sqv \text{ acc} + q \text{ acc}$	(kN/m) 0.00	0.00

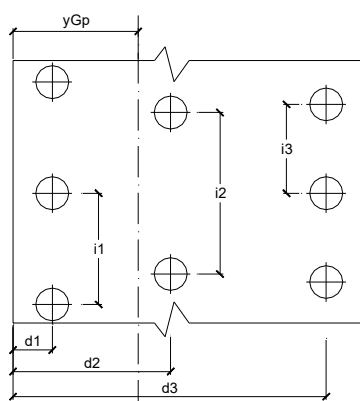
Risultante forze orizzontali (T)

T perm	$= Sth + Sqh \text{ perm} + fp$	(kN/m) 168.19	168.19
T acc	$= Sqh \text{ acc} + f$	(kN/m) 0.00	0.00

Risultante dei momenti rispetto al piede di valle (MM)

MM perm	$= \Sigma M$	(kNm/m) -287.98	-287.98
MM acc (Nmin)	$= \Sigma M$	(kNm/m) 0.00	0.00
MM acc (Nmax)	$= \Sigma M$	(kNm/m) 0.00	0.00

**Caratteristiche della Palificata**



Fila n° 1	distanza asse bordo valle (d1)	0.80	(m)	interasse pali (i1) =	2.40	(m)
Fila n° 2	distanza asse bordo valle (d2)	3.20	(m)	interasse pali (i2) =	2.40	(m)
Fila n° 3	distanza asse bordo valle (d3)	0.00	(m)	interasse pali (i3) =	0.00	(m)

Asse Baricentrico della Palificata ( $y_{Gp}$ ) = 2.000 (m)

Risultante forze verticali ( $N_p = N$ )

Risultante forze orizzontali ( $T_p = T$ )

Momento rispetto al baricentro della palificata ( $M_p$ )

$M_p = y_{Gp} \cdot N_p - MM$

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	43 di 55

Sollecitazioni rispetto al baricentro della palificata SLU

caso	Np		Mp		Tp		
	[kN/m]		[kNm/m]		[kN/m]		
	Permanenti	Accidentali	Permanenti	Accidentali	Permanenti	Accidentali	
statico	Nmin	311.62	0.00	911.22	0.00	168.19	0.00
	Nmax	311.62	0.00	911.22	0.00		
sisma+	Nmin	311.62		911.22		168.19	
	Nmax	311.62		911.22			
sisma-	Nmin	311.62		911.22		168.19	
	Nmax	311.62		911.22			

Sollecitazioni sui pali SLU

caso	N pali all.1		N pali all.2		N pali all.3		T pali	
	[kN]		[kN]		[kN]		[kN]	[kN]
statico	Nmin	1285.16		-537.27				201.82
	Nmax	1285.16		-537.27				
sisma+	Nmin	1285.16		-537.27				201.82
	Nmax	1285.16		-537.27				
sisma-	Nmin	1285.16		-537.27				201.82
	Nmax	1285.16		-537.27				

Sollecitazioni rispetto al baricentro della palificata SLE / caratteristiche

caso	Np			Mp			Tp	
	[kN/m]			[kNm/m]			[kN/m]	
	Permanenti	Acc. Nmin	Acc. Nmax	Permanenti	Acc. Nmin	Acc. Nmax	Permanenti	Accidentali
statico	rara	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00
	freq.	311.62	0.00	0	911.22	0.00	0.00	168.19
	quasi perm		0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
sisma+	Nmin		311.62			911.22		168.19
	Nmax		311.62			911.22		
sisma-	Nmin		311.62			911.22		168.19
	Nmax		311.62			911.22		

Sollecitazioni sui pali SLE/ caratteristiche

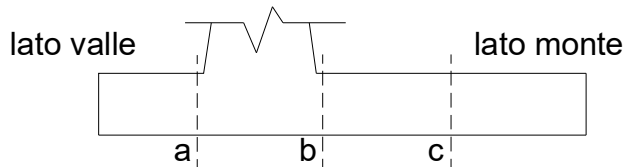
caso	N pali all.1		N pali all.2		N pali all.3		T pali	
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
statico	rara		0.00		0.00			0.00
	freq.	1285.16		-537.27				201.82
	Nmin		0.00		0.00			0.00
statico	rara		0.00		0.00			0.00
	freq.	1285.16		-537.27				201.82
	Nmax		0.00		0.00			0.00
sisma+	Nmin	1285.16		-537.27				201.82
	Nmax	1285.16		-537.27				
sisma-	Nmin	1285.16		-537.27				201.82
	Nmax	1285.16		-537.27				

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	44 di 55

**Verifica allo Stato Limite Ultimo**

**CALCOLO SOLLECITAZIONI SOLETTA DI FONDAZIONE**



**Mensola Lato Valle**

$$M_a = \sum N_i \cdot (B_1 - d_i) / i_i - PP \cdot (1 \pm kv) \cdot B_1^2 / 2$$

$$T_a = \sum N_i / i_i - PP \cdot (1 \pm kv)$$

Σ estesa a tutti i pali presenti sulla mensola

**Mensola Lato Monte**

$$M_b = \sum N_i \cdot (B_5 - (B - d_i)) / i_i - [PP \cdot B_5^2 / 2 + p_{vb} \cdot B_5^2 / 2 + (p_m - p_{vb}) \cdot B_5^2 / 3] \cdot (1 \pm kv) - (St_v + Sq_v) \cdot B_5$$

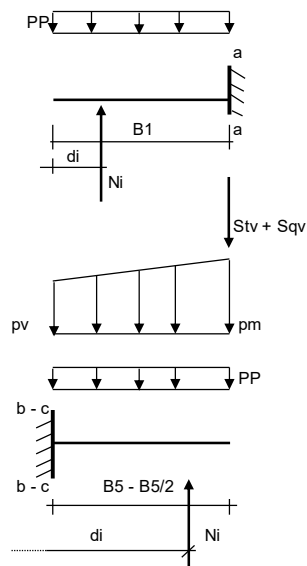
$$M_c = \sum N_i \cdot (B_5 / 2 - (B - d_i)) / i_i - [PP \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + p_{vc} \cdot (B_5 / 2)^2 / 2 + (p_m - p_{vc}) \cdot (B_5 / 2)^2 / 3] \cdot (1 \pm kv) - (St_v + Sq_v) \cdot B_5 / 2$$

$$V_b = \sum N_i / i_i - [PP \cdot B_5 + p_{vb} \cdot B_5 + (p_m - p_{vb}) \cdot B_5] \cdot (1 \pm kv) - (St_v + Sq_v)$$

$$V_c = \sum N_i / i_i - [PP \cdot (B_5 / 2) + p_{vc} \cdot (B_5 / 2) + (p_m - p_{vc}) \cdot (B_5 / 2)] \cdot (1 \pm kv) - (St_v + Sq_v)$$

Σ estesa a tutti i pali presenti sulla mensola

Peso Proprio	PP	=	25.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	pm	=	54.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	p <sub>vb</sub>	=	54.00	(kN/m <sup>2</sup> )
	p <sub>vc</sub>	=	54.00	(kN/m <sup>2</sup> )



caso	Ma	Va	Mb	Vb	Mc	Vc
	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]
statico	-2.00	-10.00	-748.52	-443.48	-208.40	-333.67
sisma+	-2.00	-10.00	-748.52	-443.48	-333.67	-333.67
sisma-	-2.00	-10.00	-748.52	-443.48	-333.67	-333.67

**CALCOLO SOLLECITAZIONI PARAMENTO VERTICALE DEL MURO**

**Azioni sulla parete e Sezioni di Calcolo**

$$M_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2 \cdot h / 3$$

$$M_{t \text{ sism}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz.}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a \text{ orizz.}}) \cdot h^2 \cdot h / 2 \quad \text{o} \cdot h / 3$$

$$M_q = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot q \cdot h^2$$

$$M_{\text{ext}} = m + f \cdot h$$

$$M_{\text{inerzia}} = \sum P_m \cdot b_i \cdot kh \quad (\text{solo con sisma})$$

$$N_{\text{ext}} = v$$

$$N_{\text{pp+inerzia}} = \sum P_m \cdot (1 \pm kv)$$

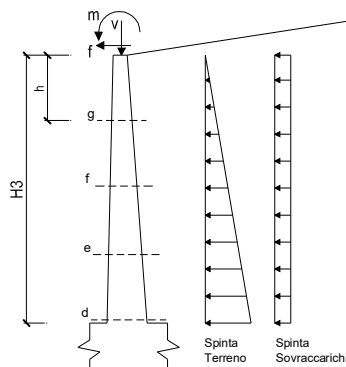
$$V_{t \text{ stat}} = \frac{1}{2} K_{a \text{ orizz.}} \cdot \gamma \cdot (1 \pm kv) \cdot h^2$$

$$V_{t \text{ sism}} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (K_{a \text{ orizz.}} \cdot (1 \pm kv) - K_{a \text{ orizz.}}) \cdot h^2$$

$$V_q = K_{a \text{ orizz.}} \cdot q \cdot h$$

$$V_{\text{ext}} = f$$

$$V_{\text{inerzia}} = \sum P_m \cdot kh$$



Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	45 di 55

condizione statica

sezione	h	Mt	Mq	M <sub>ext</sub>	M <sub>tot</sub>	N <sub>ext</sub>	N <sub>pp</sub>	N <sub>tot</sub>
	[m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.00	19.27	0.00	750.00	769.27	0.00	61.50	61.50
e-e	2.25	8.13	0.00	649.55	657.68	0.00	46.13	46.13
f-f	1.50	2.41	0.00	549.11	551.51	0.00	30.75	30.75
g-g	0.75	0.30	0.00	448.66	448.96	0.00	15.38	15.38

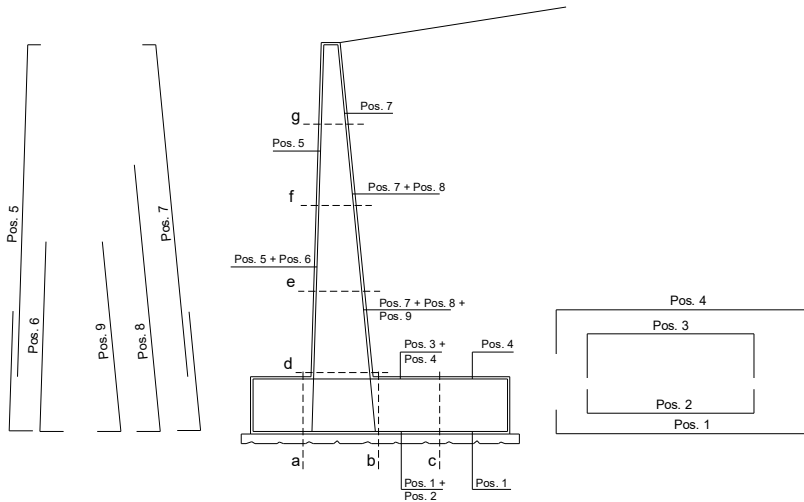
sezione	h	Vt	Vq	V <sub>ext</sub>	V <sub>tot</sub>
	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
d-d	3.00	19.27	0.00	133.93	153.20
e-e	2.25	10.84	0.00	133.93	144.77
f-f	1.50	4.82	0.00	133.93	138.75
g-g	0.75	1.20	0.00	133.93	135.13

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	46 di 55

### 8.3 Verifica del muro in elevazione

#### SCHEMA DELLE ARMATURE

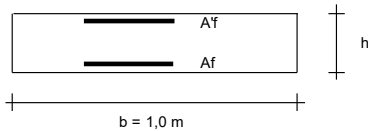


#### ARMATURE

pos	n°/ml	φ	II strato	pos	n°/ml	φ	II strato
1	10.0	24	<input type="checkbox"/>	5	5.0	26	<input type="checkbox"/>
2	10.0		<input type="checkbox"/>	6	0.0	0	<input checked="" type="checkbox"/>
3	0.0	16	<input type="checkbox"/>	7	10.0	24	<input type="checkbox"/>
4	10.0	24	<input type="checkbox"/>	8	0.0	24	<input type="checkbox"/>
				9	10.0	24	<input type="checkbox"/>

Calcola

#### VERIFICHE



a-a pos 1-2-3-4  
b-b pos 1-2-3-4  
c-c pos 1-4  
d-d pos 5-6-7-8-9  
e-e pos 5-6-7-8-9  
f-f pos 5-7-8  
g-g pos 5-7

Sez.	M	N	h	Af	A'f	Mu	Mu/M
(-)	(kNm)	(kN)	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>2</sup> )	(kNm)	(-)
a - a	-2.00	0.00	1.00	45.24	45.24	1582.79	791.40
b - b	-748.52	0.00	1.00	45.24	45.24	1582.79	2.11
c - c	-333.67	0.00	1.00	45.24	45.24	1582.79	4.74
d - d	769.27	61.50	0.82	90.48	26.55	2420.00	3.15
e - e	657.68	46.13	0.82	90.48	26.55	2416.49	3.67
f - f	551.51	30.75	0.82	45.24	26.55	1272.93	2.31
g - g	448.96	15.38	0.82	45.24	26.55	1267.68	2.82

(n.b.: M+ tende le fibre di intradosso, M- tende le fibre di estradosso)

Sez.	V <sub>Ed</sub>	h	V <sub>rd</sub>	σ staffe	i orizz.	i vert.	θ	V <sub>Rsd</sub>	
(-)	(kN)	(m)	(kN)	(mm)	(cm)	(cm)	(°)	(kN)	
a - a	10.00	1.00	401.37	10	20	20	21.8	1625.01	Armatura a taglio non necessaria
b - b	443.48	1.00	401.37	10	20	20	21.8	1625.01	Sezione verificata
c - c	333.67	1.00	401.37	10	20	20	21.8	1625.01	Armatura a taglio non necessaria
d - d	153.20	0.82	462.96	10	20	20	21.8	1313.83	Armatura a taglio non necessaria
e - e	144.77	0.82	460.82	10	20	20	21.8	1313.83	Armatura a taglio non necessaria
f - f	138.75	0.82	364.94	10	20	20	21.8	1313.83	Armatura a taglio non necessaria
g - g	135.13	0.82	362.80	10	20	20	21.8	1313.83	Armatura a taglio non necessaria

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
RSV3 40 D 26 CL MU0000 003 A 47 di 55

## 8.4 Verifica di portanza dei pali di fondazione

### CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

**CANTIERE:** linea Palermo Catania

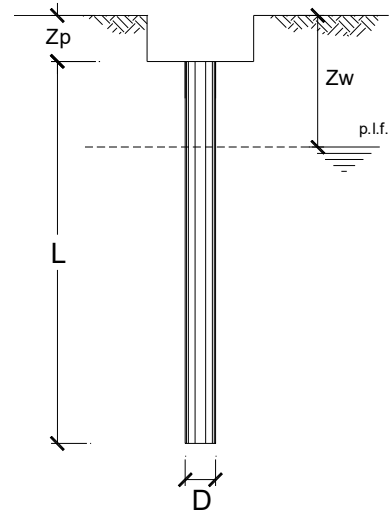
**OPERA:**

stazione di dittaino

**DATI DI INPUT:**

Diametro del Palo (D): 0.80 (m) Area del Palo (Ap): 0.503 (m<sup>2</sup>)  
Quota testa Palo dal p.c. (z<sub>p</sub>): 1.00 (m) Quota falda dal p.c. (z<sub>w</sub>): 3.50 (m)  
Carico Assiale Permanente (G): 1285 (kN) Carico Assiale variabile (Q): 0 (kN)  
Numero di strati 2 L<sub>palo</sub> = 12.00 (m)

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo			permanenti	variabili	γ <sub>b</sub>	γ <sub>s</sub>	γ <sub>s</sub> traz
			γ <sub>G</sub>	γ <sub>Q</sub>			
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA	<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DM88			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ <sub>3</sub>	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ <sub>4</sub>	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00

#### PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c <sub>med</sub> (kPa)	Φ <sub>med</sub> (°)	c <sub>u med</sub> (kPa)
1	11.00	alluvioni	18.00	5.0	25.0	70.0
2	1.00	ghiaia	19.00		35.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.58	0.47		0.60
0.43	0.70		

(n.b.: lo spessore degli strati è computato dalla quota di intradosso del plinto)

#### PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m <sup>3</sup> )	c <sub>min</sub> (kPa)	Φ <sub>min</sub> (°)	c <sub>u min</sub> (kPa)
1	11.00	alluvioni	18.00	5.0	25.0	70.0
2	1.00	ghiaia	19.00		35.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
0.58	0.47		0.60
0.43	0.70		

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	48 di 55

### RISULTATI

Strato	Spess (-) (m)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)
1	11.00	alluvioni	1161.1					1161.1				
2	1.00	ghiaia	101.7	17.05	0.00	2387.5	1200.1	101.7	17.05	0.00	2387.5	1200.1

#### CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_g \cdot \gamma_g + N_q \cdot \gamma_q$$

$$N_d = 1285.0 \text{ (kN)}$$

#### CAPACITA' PORTANTE MEDIA

$$\text{base } R_{b;cal \text{ med}} = 1200.1 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s;cal \text{ med}} = 1262.8 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c;cal \text{ med}} = 2462.9 \text{ (kN)}$$

#### CAPACITA' PORTANTE MINIMA

$$\text{base } R_{b;cal \text{ min}} = 1200.1 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s;cal \text{ min}} = 1262.8 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{c;cal \text{ min}} = 2462.9 \text{ (kN)}$$

#### CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b;cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{b;cal \text{ min}}/\xi_4) = 727.3 \text{ (kN)}$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s;cal \text{ med}}/\xi_3 ; R_{s;cal \text{ min}}/\xi_4) = 765.3 \text{ (kN)}$$

$$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 1492.7 \text{ (kN)}$$

#### CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{c,d} = R_{b,k}/\gamma_b + R_{s,k}/\gamma_s$$

$$R_{c,d} = 1492.7 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{c,d} / N_d$$

$$F_s = 1.16$$



### 8.5 Verifica strutturale pali di fondazione

Le sollecitazioni agenti sul singolo palo, sono le seguenti:

$$N_{\max} = 1285 \text{ kN}$$

$$T_{\max} = 201.85 \text{ kN}$$

Il comportamento del palo singolo sottoposto a forze orizzontali è stata analizzato con il metodo di Matlock & Reese.

Nel caso di piccoli spostamenti orizzontali il comportamento del palo singolo, nei confronti di carichi trasversali, può essere trattato risolvendo la seguente equazione differenziale in campo lineare

$$E_p \cdot I_p \cdot \frac{d^4 y}{dz^4} - E_s \cdot y = 0$$

essendo:

$E_p, I_p$  = modulo elastico e momento d'inerzia del palo

$E_s$  = modulo di reazione orizzontale secante del terreno

$z$  = coordinata generica lungo il palo con origine alla testa del palo

Nel caso di:

- pali interamente immersi in un terreno omogeneo;
- pali caricati in testa da una forza orizzontale  $V$  e da un momento  $M$  di incastro dovuto alla traslazione del plinto senza rotazione;

si ottengono le seguenti espressioni generali:

*spostamento orizzontale lungo il fusto del palo*

$$y_z = \frac{A_y \cdot V \cdot T^3}{E \cdot I} + \frac{B_y \cdot M \cdot T^2}{E \cdot I}$$

*rotazione lungo il fusto del palo*

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	50 di 55

$$g_z = \frac{A_s \cdot V \cdot T^2}{E \cdot I} + \frac{B_s \cdot M \cdot T}{E \cdot I}$$

*momento flettente lungo il fusto del palo*

$$M_z = A_m \cdot V \cdot T + B_m \cdot M$$

*taglio lungo il fusto del palo*

$$V_z = A_v \cdot V + \frac{B_v \cdot M}{T}$$

*reazione orizzontale del terreno*

$$p_z = \frac{A_p \cdot V}{T} + \frac{B_p \cdot M}{T^2}$$

dove:

$A_y, B_y, A_s, B_s, A_m, B_m, A_v, B_v, A_p, B_p$  = coefficienti adimensionali

$E, I$  modulo elastico e momento d'inerzia del palo

$T$  fattore di rigidità  $(EI/E_s)^{1/4}$  e  $(EI/E_s)^{1/5}$  nel caso di  $E_s$  rispettivamente costante e variabile con la profondità. Il primo caso si applica generalmente a terreni coesivi normalconsolidati il secondo caso a terreni granulari.

I coefficienti adimensionali sopra indicati sono funzione della flessibilità relativa, rappresentata dai rapporti  $Z_{max} = L/T$  e  $Z = z/T$ , essendo  $L$  la lunghezza del palo e  $z$  la profondità generica riferita alla testa del palo.

I coefficienti adimensionali sono ricavabili dalla tabella 1 nel caso di  $E_s$  costante con la profondità e pali flessibili ( $z/T > 10$ ) e dalla tab. 2 per  $E_s$  variabile con la profondità.

Nel caso di modulo  $E_s$  variabile con la profondità ( $E_s = k_h z$ ), in prima approssimazione, l'analisi può essere effettuata con le equazioni e tabelle valide per  $E_s$  costante facendo riferimento ad un modulo medio  $E_s$  calcolato tra la profondità della testa palo ( $z_t$ ) e  $z_t + 3 \div 4$  volte il diametro del palo.

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	51 di 55

Nel caso di pali impediti di ruotare in testa, il momento di incastro può essere calcolato imponendo nulla la rotazione  $q_0$  alla testa del palo. Successivamente, con i valori di  $V$  e  $M_t$ , si procede al calcolo utilizzando le espressioni sopra riportate.

si riportano qui di seguito le risultanze del calcolo del momento di incastro e la verifica a flessione.

Si assume cautelativamente un modulo di reazione orizzontale pari a  $10000\text{kN/m}^3$

**Metodo di Matlock & Reese**

Caso di terreno con modulo costante con la profondità

**Caratteristiche palo**

tipologia (p=palo;m=micropalo)		p
diametro (m)		0.80
lunghezza (m)	L	12.0
modulo elastico cls (kPa)	$E_c$	3.122E+07
modulo elastico acciaio (kPa)		
modulo elastico di calcolo (kPa)	E	3.122E+07
momento d'inerzia (m <sup>4</sup> )	I	0.020
resist. caratt. Cls (MPa)	Rck	30
tratto scalzato (m)	l	0

**Caratteristiche terreno**

modulo reazione orizz. (kN/m <sup>2</sup> )	$E_s$	10,000
fattore di rigidezza (m)	T	2.81
L/T	$\lambda$	4.263
coeff. di profondità max	$Z_{max}$	4.3

**Carichi agenti**

carico orizzontale (kN)	Vt	202.0
momento di incastro (kNm)	Mt	-401.9

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	52 di 55

**Risultati**

z/T	z (m)	y (mm)	$\theta$ (rad)	M (kNm)	V (kN)
0.0	0	5.07	4.08E-09	-401.87	202.00
-0.1	-0.28	5.06	1.28E-05	-346.99	187.81
-0.2	-0.56	4.98	4.59E-05	-295.87	173.78
-0.3	-0.84	4.88	9.94E-05	-249.34	159.71
-0.4	-1.13	4.74	1.68E-04	-206.08	146.23
-0.5	-1.41	4.57	2.50E-04	-167.06	133.00
-0.6	-1.69	4.39	3.42E-04	-131.56	120.51
-0.7	-1.97	4.19	4.44E-04	-99.00	108.49
-0.8	-2.25	3.98	5.48E-04	-70.18	96.94
-0.9	-2.53	3.76	6.60E-04	-44.53	86.02
-1.0	-2.81	3.52	7.75E-04	-21.90	75.85
-1.2	-3.38	3.07	1.01E-03	15.24	57.20
-1.4	-3.94	2.61	1.23E-03	42.48	41.12
-1.6	-4.50	2.18	1.45E-03	62.25	27.71
-1.8	-5.07	1.77	1.65E-03	74.67	16.60
-2.0	-5.63	1.41	1.84E-03	81.43	7.80
-2.5	-7.04	0.68	2.20E-03	80.33	-6.71
-3.0	-8.44	0.21	2.44E-03	66.20	-12.57
-3.50	-9.85	-0.07	0.00	47.70	-13.84
-4.00	-11.26	-0.19	0.00	26.84	-11.24
-4.50	-12.67	-0.22	0.00	16.14	-8.37
-5.0	-14.07	-0.19	2.64E-03	6.17	-5.52
-10	-28.15	0.01	2.54E-03	0.00	0.00

**Coefficienti per palo caricato orizzontalmente su terreno con modulo costante con la profondità**

z/t	Ay	As	Am	Av	By	Bs	Bm	Bv
0.0	1.412	-0.998	0	1	0.998	-1.412	1	0
-0.1	1.313	-0.993	0.093	0.864	0.861	-1.31	0.995	-0.093
-0.2	1.214	-0.98	0.173	0.738	0.735	-1.214	0.981	-0.173
-0.3	1.117	-0.959	0.24	0.621	0.618	-1.117	0.96	-0.24
-0.4	1.022	-0.932	0.297	0.514	0.512	-1.022	0.933	-0.297
-0.5	0.93	-0.9	0.343	0.416	0.414	-0.93	0.901	-0.343
-0.6	0.842	-0.864	0.38	0.328	0.326	-0.842	0.865	-0.38
-0.7	0.758	-0.824	0.409	0.248	0.246	-0.758	0.825	-0.409
-0.8	0.677	-0.783	0.43	0.176	0.174	-0.677	0.783	-0.43

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

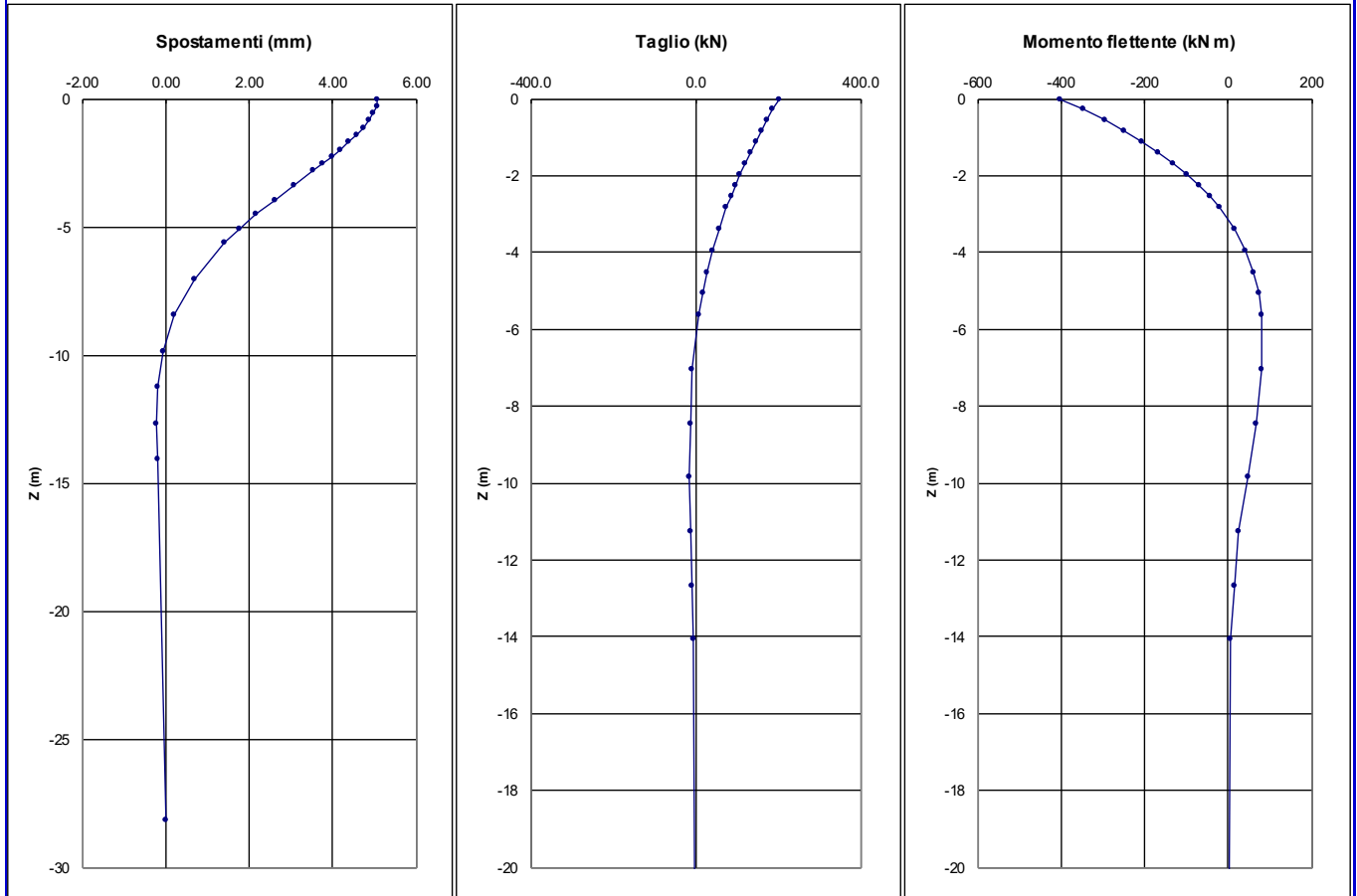
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	53 di 55

-0.9	0.601	-0.739	0.444	0.112	0.11	-0.601	0.739	-0.444
-1.0	0.529	-0.694	0.452	0.056	0.054	-0.529	0.694	-0.452
-1.2	0.4	-0.603	0.453	-0.037	-0.039	-0.4	0.603	-0.453
-1.4	0.288	-0.514	0.438	-0.106	-0.107	-0.288	0.514	-0.438
-1.6	0.194	-0.429	0.412	-0.154	-0.155	-0.194	0.428	-0.412
-1.8	0.116	-0.35	0.378	-0.185	-0.185	-0.116	0.349	-0.378
-2.0	0.054	-0.278	0.339	-0.201	-0.202	-0.054	0.277	-0.339
-2.5	-0.047	-0.134	0.236	-0.2	-0.201	0.047	0.134	-0.236
-3.0	-0.088	-0.04	0.144	-0.164	-0.165	0.088	0.039	-0.144
-3.5	-0.093	0.014	0.074	-0.118	-0.118	0.093	-0.014	-0.07
-4.0	-0.079	0.038	0.026	-0.074	-0.074	0.079	-0.03	-0.026
-4.5	-0.059	0.043	-0.002	-0.04	-0.04	0.059	-0.043	0.002
-5.0	-0.038	0.038	-0.016	-0.016	-0.016	0.038	-0.038	0.016
-10.0	0	-0.002	0	0	-0.002	-0.003	0	0

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	54 di 55

TITOLO



Il momento flettente massimo agente sul palo è 401 kN/m.

Il palo viene armato con 20 $\varnothing$ 20

La verifica risulta soddisfatta.

Muro Di protezione – Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RSV3	40 D 26	CL	MU0000 003	A	55 di 55

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

File Materiali Opzioni Visualizza ?

Titolo : \_\_\_\_\_

Sezione circolare cava

Raggio esterno  [cm]

Raggio interno  [cm]

N° barre uguali

Diametro barre  [cm]

Copriferro (baric.)  [cm]

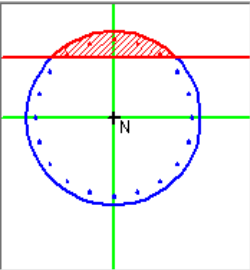
N° barre  Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re  Trapezi

a T  Circolare

Rettangoli  Coord.



Sollecitazioni

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Sd</sub>  kN

M<sub>xSd</sub>  kN m

M<sub>ySd</sub>

P.to applicazione N

Centro  Baricentro cls

Coord.[cm] xN  yN

Tipo rottura

lato acciaio - Acciaio snervato

Metodo di calcolo

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

Metodo n

Tipo flessione

Retta  Deviata

Vertici:  N° rett.

Calcola MRd  Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

Precompresso

Predeformazione acciaio  ‰

Materiali

FeB44k  C25/30

$\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{cu}$

$f_{yd}$   N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$

$E_s$   N/mm<sup>2</sup>  $\alpha_c$   ?

$E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?

$\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$

$\sigma_{s,adm}$   N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$    $\tau_{c1}$

M<sub>xRd</sub>  kN m

$\sigma_c$   N/mm<sup>2</sup>

$\sigma_s$   N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_c$   ‰

$\epsilon_s$   ‰

d  cm

x  x/d