

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA
LOTTO 1- RADDOPPIO RIPALTA – LESINA

IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO
Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.

L'Appaltatore	COMPAT S.c.a.r.l. Il Direttore Tecnico	I progettisti (il Direttore della progettazione)
data	firma (Ing. Gianguido Babini)	data firma

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I 0 7	0 1	E	Z Z	C L	I N 3 1 0 0	0 0 4	D	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	PRIMA EMISSIONE	DE MARTINO	Agosto 2021	DESSI'	Agosto 2021	BELLIZZI	Agosto 2021	T. Pelella
B	Aggiornamento per RdV	P. De Martino	Aprile 2022	E. Jr. Dessi	Aprile 2022	S. Bellizzi	Aprile 2022	T. Pelella
C	Aggiornamento per RdV n.140-152	P. De Martino	Giugno 2022	E. Jr. Dessi	Giugno 2022	S. Bellizzi	Giugno 2022	T. Pelella
D	Aggiornamento per RdV n.298	P. De Martino	Luglio 2022	E. Jr. Dessi	Luglio 2022	S. Bellizzi	Luglio 2022	T. Pelella

Mandataria 	Mandanti    	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 2 di 46

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
4	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	4
5	MATERIALI	5
6	ANALISI DEI CARICHI	6
7	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	6
8	VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI	8
8.1	VERIFICA SLE	8
8.1.1	Verifica alle tensioni	8
8.1.2	Verifiche a fessurazione	9
8.2	VERIFICA SLU	9
8.2.1	Pressoflessione	9
8.2.2	Taglio	10
9	ANALISI E VERIFICA DELLA STRUTTURA	12
9.1.1	Verifiche geotecniche	12
10	GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI	45
10.1	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO	45
10.2	AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO	45
11	INCIDENZE DI ARMATURA	46

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 3 di 46

1 PREMESSA

Il presente documento è emesso nell’ambito della redazione degli elaborati tecnici riguardanti la “Progettazione Esecutiva del Raddoppio della Linea Ferroviaria Pescara-Bari nel tratto Termoli-Lesina”, in relazione agli interventi di potenziamento delle infrastrutture nazionali previste dalla legge n. 443/2001. Oggetto della trattazione esposta nel seguito è il dimensionamento dei muri di sostegno in prossimità del nuovo tombino al fosso Pontonicchio alla pk 6+712.30.

I muri di sostegno si posizionano ortogonalmente all’asse del tombino, in prossimità della fine della sistemazione idraulica a monte della ferrovia, per la quale si prevede la formazione di una golena rivestita con massi sia sul fondo che sulle sponde laterali.

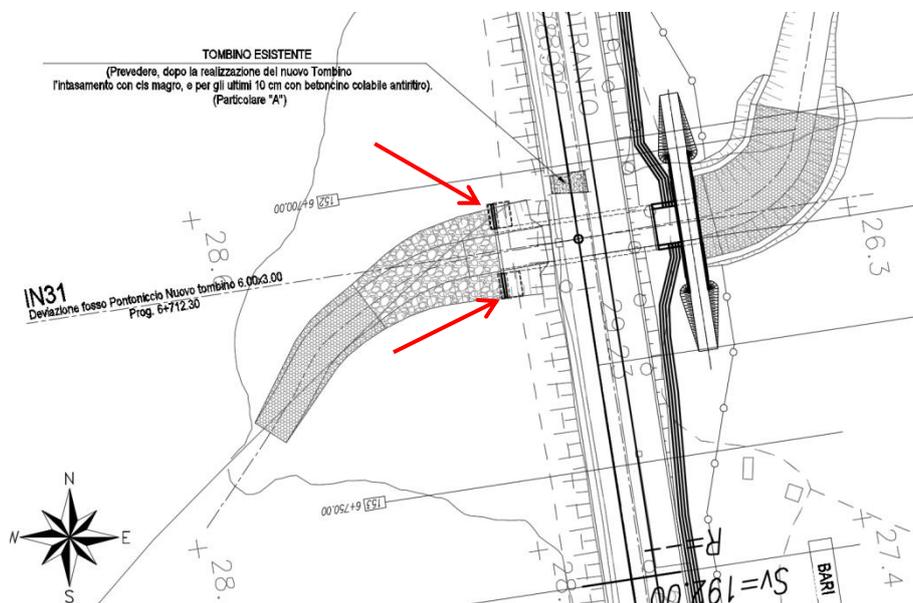


Figura 1 – Inquadramento generale opere

I muri hanno uno sviluppo di 4.60m, una fondazione diretta e presentano un’altezza totale pari a 4.90m; essi saranno realizzati in continuità con la testa di monte del tombino infisso a taglio verticale. Viste le configurazione del rilevato che grava sul paramento del muro per il calcolo si è considerata una altezza pari a circa 2/3 di quella totale.

Nei paragrafi seguenti si procederà pertanto, dopo una breve descrizione delle opere in progetto, all’esposizione di tutti i criteri generali e ipotesi alla base dei dimensionamenti effettuati, e quindi a seguire i risultati di tutte le verifiche strutturali e geotecniche eseguite.

2 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

I muri di sostegno in prossimità del nuovo tombino fosso Pontonicchio sono situati ai piedi del rilevato ferroviario esistente in corrispondenza della fine della sistemazione idraulica del fosso. Essi hanno uno sviluppo di 4.60m, una fondazione diretta di altezza 0.90m e un’altezza totale di 4,90m, di modo da raccordarsi alla testa del monolite infisso al disotto del rilevato ferroviario.

Mandataria 	Mandanti    	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D FOGLIO 4 di 46	

3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- [N.1]. Legge n.1086 del 05/11/1974 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- [N.2]. D.M. del 14/01/2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- [N.3]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- [N.4]. UNI EN 206:2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- [N.5]. UNI 11104:2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206;
- [N.6]. Regolamento della Commissione Europea N.1299/2014 del 18 novembre 2014 - Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.
- [N.7]. Eurocodice 1 EN 1991-2: 2003/AC:2010 - Eurocode 1: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges;
- [N.8]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 B - Manuale di Progettazione delle Opere Civili del 22/12/2017;
- [N.9]. RFI DTC INC PO SP IFS 001 A - Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
- [N.10]. RFI DTC SICS SP IFS 001 B - Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili del 22/12/2017;
- [N.11]. D.P.R. n.753 del 11/07/1980 e ss.mm.ii. – Nuove norme in materia di polizia, sicurezza e regolarità dell’esercizio delle ferrovie e di altri servizi di trasporto.

4 **GEOMETRIA DELLA STRUTTURA**

Il muro di sostegno nella sua configurazione finale avrà le caratteristiche geometriche rappresentati nella figura seguente:

Mandataria VIA INGEGNERIA	Mandanti HYpro HUB VIOTOP mei Infrastructures Engineering s.r.l.	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 5 di 46

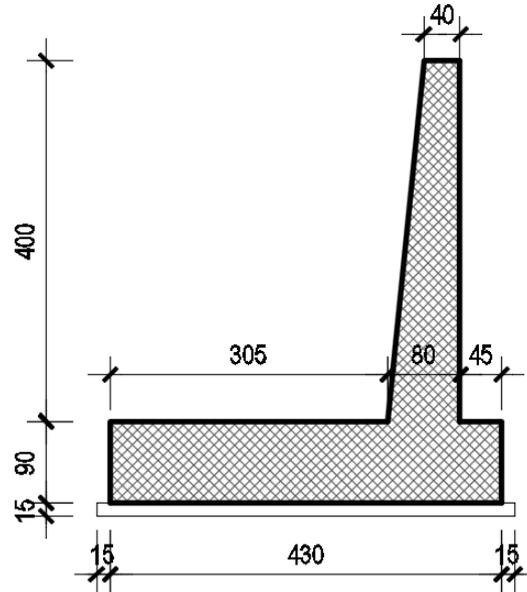


Figura 2 – Sezione muri di sostegno

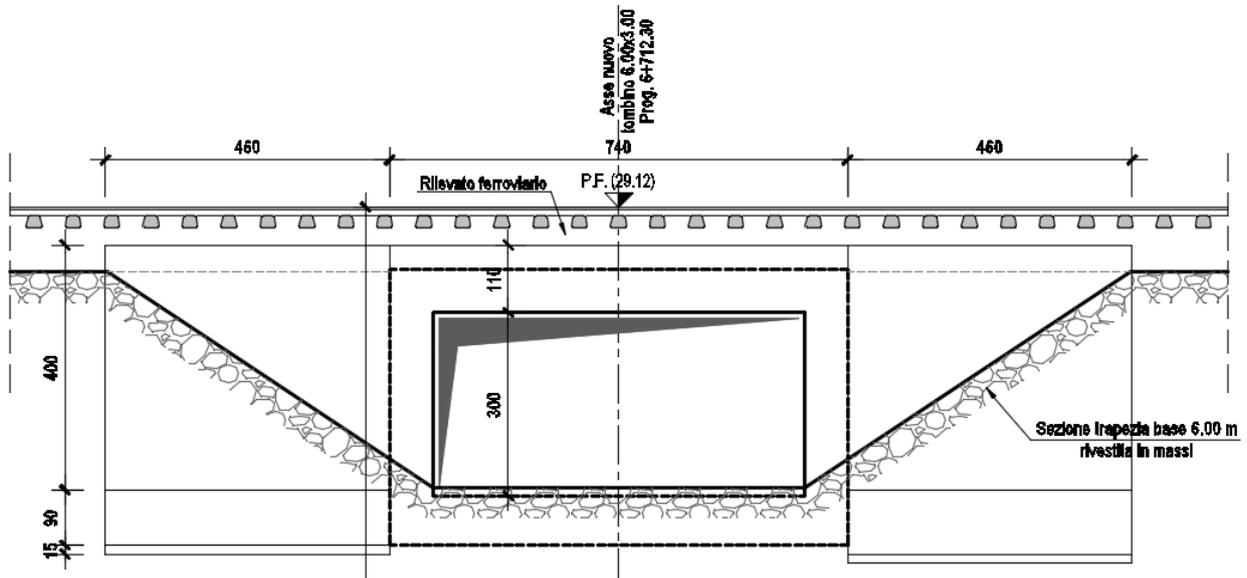


Figura 3 – Vista muri di sostegno

5 MATERIALI

Per le opere in c.a. si adotta:

Calcestruzzo

Classe di resistenza

C32/40

Resistenza cubica caratteristica a compressione

R_{ck}

=

40 N/mm²

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 6 di 46

Resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f_{ck}	=	33,20 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	γ_c	=	1,5
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	=	0,85
Resistenza di progetto a compressione	f_{cd}	=	18,81 N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica a compressione	f_{cm}	=	41,20 N/mm ²
Modulo elastico medio	E_{cm}	=	33642,78 N/mm ²
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	=	3,10 N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	f_{efm}	=	3,72 N/mm ²

Barre di armatura

Tipologia			B450C
Resistenza caratteristica a snervamento	f_{yk}	=	450,00 N/mm ²
Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio	γ_s	=	1,15
Resistenza di progetto a snervamento	f_{yd}	=	391,30 N/mm ²
Modulo elastico longitudinale	E_s	=	210000,00 N/mm ²

6 ANALISI DEI CARICHI

I carichi utilizzati per il progetto e la verifica dei manufatti sono dovuti alla presenza del terreno a tergo del muro. A favore di sicurezza si considera la presenza di un carico variabile a monte del muro pari a **10 kN/mq** in condizioni statiche e **5 kN/mq** in condizioni sismiche.

I coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno, da utilizzare per l'Approccio 2 (A1 + M1 + R3) sono i seguenti:

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_f	1,0	1,0

7 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Le caratteristiche geotecniche del volume di terreno che interagisce con l'opera sono state desunte tenendo conto di quanto risultante nel Profilo Geotecnico dell'opera, tenendo conto della Caratterizzazione dei Litotipi riportata nella Relazione e geotecnica Generale. A tal riguardo, si riporta per chiarezza, uno stralcio del Profilo Geotecnico riferito all'area interessata dalla realizzazione dell'opere oggetto di dimensionamento nell'ambito del presente documento:

Mandataria VIA INGEGNERIA	Mandanti HYpro HUB VIOTOP mei Infrastructures Engineering s.r.l.	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 7 di 46

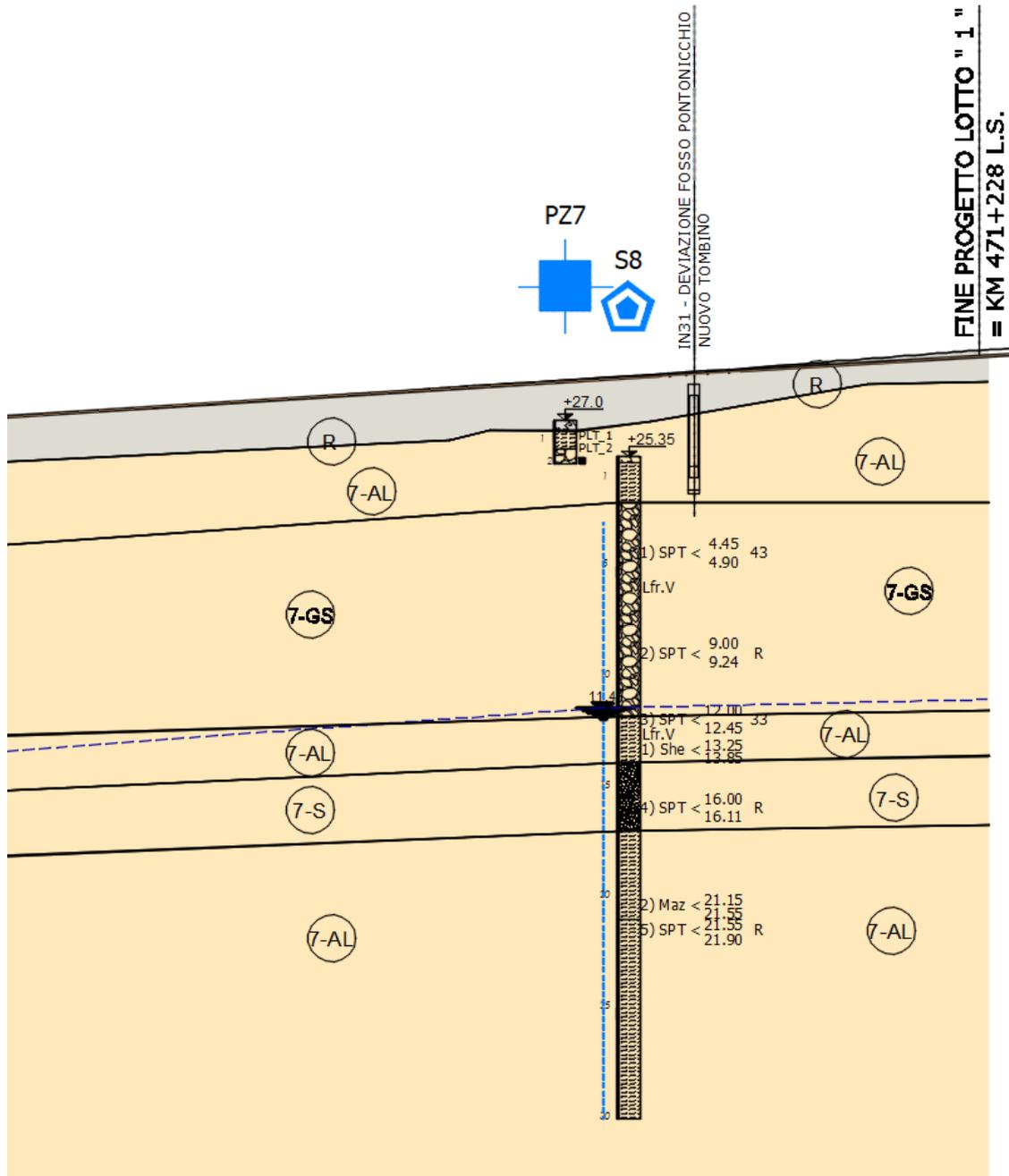


Figura 4. Stralcio del profilo geotecnico

Dall'esame di quanto riportato nello stralcio grafico riportato in precedenza, emerge che il volume di terreno direttamente interagente con il monolite, è individuato dai seguenti litotipi:

- Litotipo 7AL – dalla quota di imposta della soletta e sino a -0.50m da tale quota
- Litotipo 7GS – dal passaggio stratigrafico per uno spessore di 9.75m

Mandataria 	Mandanti    	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 8 di 46

Di seguito si riportano i parametri fisico-meccanici per il litotipo in esame, in accordo a quanto indicato a riguardo nella Relazione Geotecnica Generale:

Conglomerati di Campomarino - Unità 7AL (Argille limose e limi argillosi)

$\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 24 \div 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 75 \div 350 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 300 \div 400 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$G_o = 100 \div 320 \text{ MPa}$	modulo di deformazione a taglio iniziale
$E_o = 200 \div 800 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale

Riguardo il livello di falda, dal profilo geotecnico locale si evince che la superficie piezometrica è posizionata a circa 9.70m di profondità dalla quota di imposta della fondazione (nel massimo livello di escursione), per cui è possibile considerarla pressoché ininfluenza nei confronti sia delle analisi e verifica, sia per le fasi provvisionali di scavo e realizzazione delle opere provvisionali.

8 VERIFICHE STRUTTURALI – CRITERI GENERALI

8.1 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.

8.1.1 Verifica 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 quelli previsti da manuale di progettazione [8].

Tensioni di compressione del calcestruzzo

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

- Per combinazioni di carico caratteristica (rara): $\sigma_{c,lim} < 0,55 \cdot f_{ck}$;
- Per combinazioni di carico quasi permanente: $\sigma_{c,lim} < 0,40 \cdot f_{ck}$;

Tensioni di trazione nell'acciaio

Per le armature ordinarie deve essere rispettato il seguente limite: $\sigma_{s,lim} < 0,75 \cdot f_{yk}$.

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.		COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 9 di 46

8.1.2 Verifiche a fessurazione

La verifica di fessurazione consiste nel controllare l'ampiezza dell'apertura delle fessure sotto combinazione di carico frequente e combinazione quasi permanente. In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio è possibile definire l'apertura limite delle fessure secondo il prospetto seguente:

Tabella 1. Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione.

Gruppi di esigenza	Condizioni ambientali	Combinazione di azione	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_{d,lim}$	Stato limite	$w_{d,lim}$
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto Aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

risultando:

$$- w_1=0,2 \text{ mm}; \quad w_2=0,3 \text{ mm}; \quad w_3=0,4 \text{ mm}.$$

Per le verifiche a fessurazione del calcestruzzo armato si adotta la classe di esposizione **XC4** ed una tipologia di armatura poco sensibile. Tale classe di esposizione rientra nelle condizioni ambientali aggressive, come desumibile dalla tabella 4.1.III del D.M. 14/01/2008.

Alle prescrizioni normative presenti nell'NTC si sostituiscono nel caso specifico quelle fornite dal manuale di progettazione opere civili RFI al §2.5.1.8.3.2.4 secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

Per strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive, qual è il caso delle strutture in esame così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del D.M. 14/01/2008, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture, l'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

$$\delta_f \leq w_1 = 0,2 \text{ mm (combinazione di carico caratteristica)}$$

8.2 Verifica SLU

8.2.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione, viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC08, 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.

La verifica delle sezioni viene eseguita secondo il metodo degli stati limite basato sulle seguenti ipotesi:

Mandataria VIA INGEGNERIA	Mandanti HYpro HUB VIOTOP mei Infrastructures Engineering s.r.l.	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 10 di 46

- Conservazione delle sezioni piane;
- Calcestruzzo non resistente a trazione;
- Perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo.

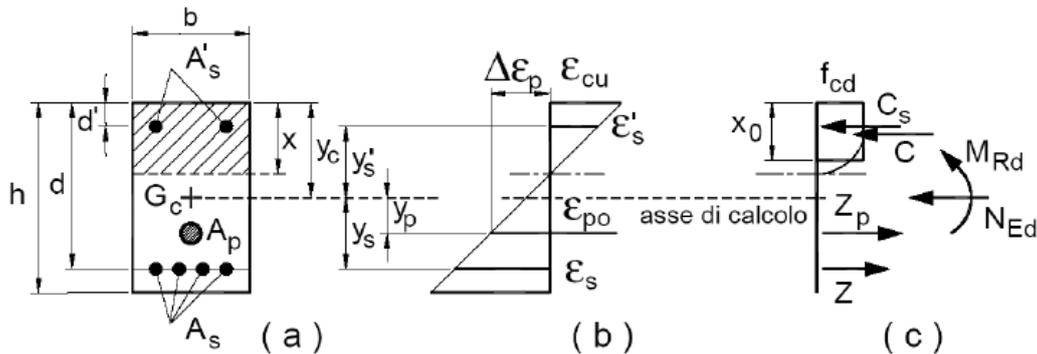


Figura 4. Schema per la valutazione della capacità resistente di una sezione presso-inflessa.

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 compressione assiale (sforzo normale) dell'azione;
- M_{Ed} è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione

8.2.2 Taglio

8.2.2.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

La resistenza a taglio V_{Rd} della membratura a sezione rettangolare priva di specifiche armature trasversali risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot f_{ck}^{1/2} \cdot k^{3/2}$$

e dove

- d è l'altezza utile della sezione in [mm];
- $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d)$ è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ($\leq 0,02$);
- $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$ è la tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0,2 \cdot f_{cd}$);
- b_w è la larghezza minima della sezione in [mm]

Mandataria 	Mandanti   	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D FOGLIO 11 di 46	

8.2.2.2 Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio V_{Rd} è pari al minimo tra la resistenza di calcolo a “taglio trazione” V_{Rsd} e la resistenza di calcolo a “taglio compressione” V_{Rcd} .

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

essendo θ l'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento che deve soddisfare le seguenti limitazioni:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

e dove si è posto:

A_{sw} area dell'armatura trasversale;

s interasse tra due armature trasversali consecutive;

α angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

f'_{cd} resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo ($f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$);

α_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 $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} < 0,5 f_{cd}$
		$2,5 \cdot (1 - \sigma_{cp} / f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} \leq \sigma_{cp} < f_{cd}$

Mandataria VIA INGEGNERIA	Mandanti HYpro HUB VIOTOP mei Infrastructures Engineering s.r.l.	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 12 di 46

9 ANALISI E VERIFICA DELLA STRUTTURA

9.1.1 Verifiche geotecniche

➤ Calcolo della spinta attiva con Coulomb

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di Coulomb è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_a :

$d < (b - \varphi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t = Peso unità di volume del terreno;

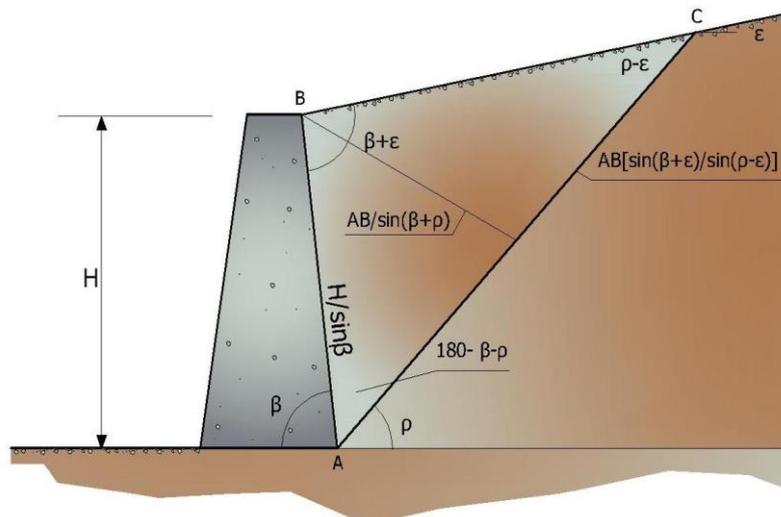
b = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ = Angolo di attrito terra-muro;

ε = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H = Altezza della parete.



Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

Mandataria 	Mandanti    	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 13 di 46

➤ **Calcolo della spinta attiva con Rankine**

Se $e = d = 0$ e $b = 90^\circ$ (muro con parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta S_t si semplifica nella forma:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale. In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terramuro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di K_a di Rankine si presenta come segue:

$$K_a = \cos \varepsilon \frac{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \varphi}}{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \varphi}}$$

➤ **Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe**

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di Mononobe & Okabe riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo ε , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo b , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità ϑ tale che:

$$\tan \vartheta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_h} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

➤ **Calcolo coefficienti sismici**

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni (NTC 2018):

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right); \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove

β_m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a: $\beta_m = 0.38$ nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m = 0.47$ nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

Mandataria 	Mandanti    	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D FOGLIO 14 di 46	

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario. I valori del coefficiente β_m possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di Figura 7.11.3 di cui al successivo § 7.11.6.3.2.

Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di specifici studi, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e utilizzando valori di β_m incrementati del 50% rispetto a quelli innanzi indicati e comunque non superiori all'unità. Le NTC 2008 calcolano i coefficienti k_h e k_v in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right); k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno il coefficiente β_m assume valore unitario. Per i muri liberi di traslare o ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuto al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di studi specifici, si assume che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

a_{\max} = Accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = Accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

S = coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica S_S e di amplificazione topografica S_T .

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - PVR)}$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Per l'applicazione dell'Eurocodice 8 (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$k_h = \frac{a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S}{g}$$

a_{gR} = Accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante;

γ_I = Fattore di importanza;

S = Soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E);

$a_g = a_{gR} \gamma_I$ è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale k_v è definito in funzione di k_h , e vale:

Mandataria 	Mandanti    	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 15 di 46

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Effetto dovuto alla coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto nella spinta per effetto della coesione, è stata calcolata un'altezza critica Z_c come segue:

$$Z_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_a}} - \frac{Q \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}}{\gamma}$$

dove

Q = Carico agente sul terrapieno.

Se $Z_c < 0$ è possibile sovrapporre direttamente gli effetti, con decremento pari a:

$$S_c = P_c \cdot H$$

con punto di applicazione pari a $H/2$.

Carico uniforme sul terrapieno

Un carico Q, uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_a \cdot Q \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Per integrazione, una spinta pari a S_q :

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto di applicazione ad $H/2$, avendo indicato con K_a il coefficiente di spinta attiva secondo Muller-Breslau

➤ **Spinta attiva in condizioni sismiche**

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sul muro è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma \cdot (1 \pm k_v) \cdot KH^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Dove:

H= Altezza muro;

k_v = Coefficiente sismico verticale;

g= Peso per unità di volume del terreno;

K= Coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico);

E_{ws} = Spinta idrostatica dell'acqua;

E_{wd} = Spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica $E_{wd} = 0$, ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo θ della

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 16 di 46

formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{\text{wd}} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

Con H' altezza del livello di falda misurato a partire dalla base del muro.

➤ **Spinta idrostatica**

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo g_t con g'_t ($g'_t = g_{\text{saturo}} - g_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

➤ **Resistenza passiva**

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni risulta lineare del tipo:

$$P_t = K_p \cdot \gamma_t \cdot z$$

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_p$$

Avendo indicato con:

$$K_p = \frac{\sin^2(\varphi + \beta)}{\sin^2 \beta \cdot \sin(\beta - \delta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi + \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

(Muller-Breslau) con valori limiti di δ pari a:

$$\delta < \beta - \varphi - \varepsilon$$

L'espressione di K_p secondo la formulazione di Rankine assume la seguente forma:

$$K_p = \frac{\cos \varepsilon + \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \varphi}}{\cos \varepsilon - \sqrt{\cos^2 \varepsilon - \cos^2 \varphi}}$$

Mandataria 	Mandanti    	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 17 di 46

➤ **Carico limite di fondazioni superficiali su terreni**

VESIC - Analisi a breve termine

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q$$

Dove:

$A' = B'L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u = Coesione non drenata;

q = Pressione litostatica totale sul piano di posa;

s_c = Fattore di forma;

$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'}\right)$ per fondazioni rettangolari, il valore di s_c viene assunto pari ad 1 per fondazioni nastriformi

d_c = Fattore di profondità;

$d_c = 0.4 \cdot K$ con $K = \frac{D}{B}$ se $\frac{D}{B} \leq 1$ altrimenti $K = \arctan \frac{D}{B}$

i_c = Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H ;

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f = Area efficace della fondazione;

c_a = Aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

VESIC - Analisi a lungo termine

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q' N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma' B' N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

Fattori di forma

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 18 di 46

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \cdot \tan \varphi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'}\right) \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'}\right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \varphi'}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}}$$

Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.4K$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \varphi \cdot (1 - \sin \varphi) \cdot K$$

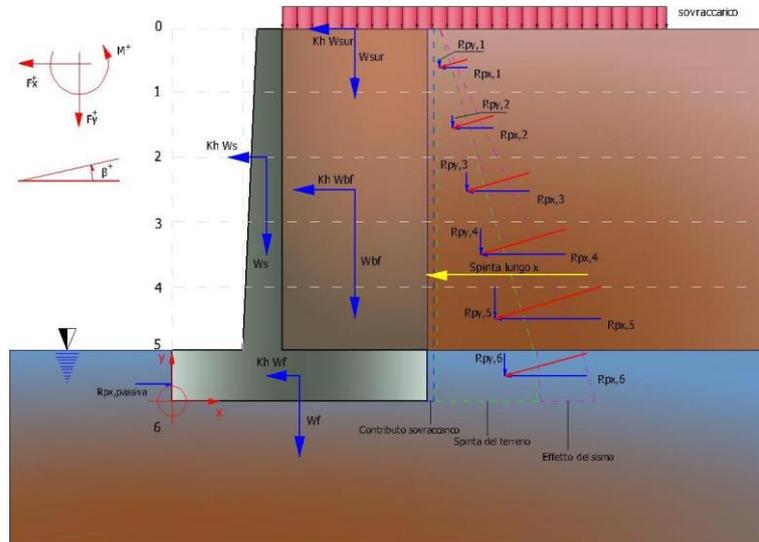
$$\text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \leq 1 \text{ altrimenti } K = \arctan \frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

➤ **Sollecitazioni muro**

Per il calcolo delle sollecitazioni il muro è stato discretizzato in n-tratti in funzione delle sezioni significative e per ogni tratto sono state calcolate le spinte del terreno (valutate secondo un piano di rottura passante per il paramento lato monte), le risultanti delle forze orizzontali e verticali e le forze inerziali.

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 19 di 46



Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

Calcolo delle spinte per le verifiche globali

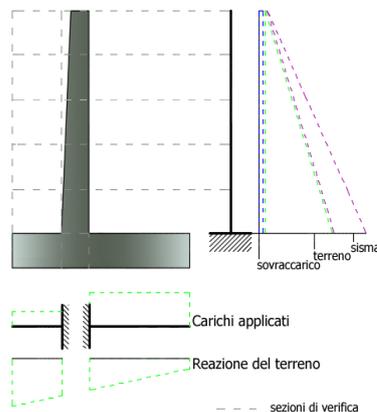
Le spinte sono state valutate ipotizzando un piano di rottura passante per l'estradosso della mensola di fondazione lato monte, tale piano è stato discretizzato in n-tratti.

Convenzione segni

- Forze verticali positive se dirette dall'alto verso il basso;
- Forze orizzontali positive se dirette da monte verso valle;
- Coppie positive se antiorarie;
- Angoli positivi se antiorari.

SCHEMA STATICO E CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Lo schema statico utilizzato per il calcolo delle caratteristiche di sollecitazioni è quello della trave incastrata (*vedi figura*), la mensola di elevazione può essere caricata da carichi distribuiti (spinta attiva del terreno, contributo del sovraccarico, incremento di spinta per la presenza di falda, incremento di spinta per effetto del sisma...) ma anche da carichi concentrati (forze inerziali, azioni aggiuntive sulla sezione del muro, tiranti...). Il momento flettente delle azioni viene riferito al baricentro della generica sezione di verifica.



Mandataria 	Mandanti   	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 20 di 46

Analogamente, per la fondazione di valle e di monte, si assume lo stesso schema statico della mensola di elevazione: si tratta di travi ad asse rettilineo che possono essere caricate da carichi distribuiti verticali, da forze o coppie concentrate.

Per il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione il programma sfrutta il metodo analitico facendo riferimento alle caratteristiche positive della convenzione sui segni adottata.

VERIFICHE STRUTTURALI

Secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite ultimi, la verifica di sicurezza di un elemento strutturale corrisponde al verificarsi, sezione per sezione, della seguente relazione simbolica:

$$E_d \leq R_d$$

in cui:

E_d rappresenta una sollecitazione di progetto (*ad esempio uno sforzo flettente, torcente, oppure una sollecitazione composta etc.*), prodotta dalle azioni agenti F_{dj} sul muro, valutate in base ai propri valori caratteristici e maggiorate in base a opportuni coefficienti di combinazione: $F_{dj} = F_{kj} \gamma F_j$

Per sollecitazioni composte (*ad esempio presso-flessione*) la verifica presuppone l'istituzione di un metodo di misura della sicurezza e la relazione precedente risulta essere, in questo caso, solo simbolica. Si supponga, ad esempio, che in una data sezione agiscano contemporaneamente le sollecitazioni di progetto N_{Ed} ed M_{Ed} (sforzo normale e momento flettente); ad esse corrispondono infinite coppie di valori resistenti N_R, M_R che nel loro insieme costituiscono la linea di frontiera di un dominio resistente. La misura della sicurezza, in questo caso, consiste nel controllare che il punto rappresentativo delle sollecitazioni di progetto allo stato limite ultimo ricada internamente o al più sulla linea di frontiera di tale dominio, detto di sicurezza

R_d è il valore di calcolo della corrispondente sollecitazione resistente sviluppata dai materiali costituenti la sezione, le cui resistenze di calcolo sono ottenute a partire da quelle caratteristiche mediante l'applicazione di coefficienti riduttivi (detti parziali per le resistenze) allo scopo di assicurare il prefissato grado di sicurezza: $R_{di} = R_{ki} / \gamma_{Mi}$

RESISTENZA DI CALCOLO DEI MATERIALI

La resistenza di calcolo f_{cd} a compressione del calcestruzzo da considerare nel calcolo agli stati limite ultimi per il conglomerato è la seguente:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

dove:

- α_{cc} coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata;
- f_{ck} resistenza cilindrica caratteristica del conglomerato;
- γ_c coefficiente di sicurezza parziale del calcestruzzo.

La resistenza di calcolo dell'acciaio a snervamento f_{yd} è la seguente:

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 21 di 46

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

dove:

f_{yk} resistenza caratteristica (o nominale) dell'acciaio allo snervamento;

γ_s coefficiente di sicurezza parziale dell'acciaio.

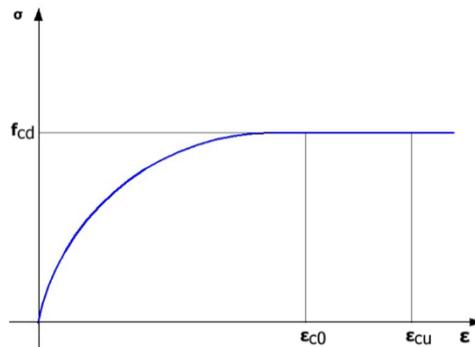
DIAGRAMMA DI CALCOLO TENSIONE-DEFORMAZIONE DEL CALCESTRUZZO

Dei vari diagrammi si è utilizzato quello a parabola-rettangolo di figura ad oggi ritenuto il più attendibile nel calcolo di resistenza (specie in presenza di sforzo normale).

L'arco di parabola presenta il suo asse parallelo all'asse delle tensioni e un segmento di retta parallelo all'asse delle deformazioni e tangente alla parabola nel punto di sommità. Il vertice della parabola ha ascissa ϵ_{c2} e la deformazione massima del segmento corrisponde a quella di ϵ_{cu} fissata dalle norme; l'ordinata massima del diagramma è pari a f_{cd} .

L'arco di parabola sopra definito è analiticamente rappresentato dalla seguente equazione:

$$\sigma = 2 \cdot f_{cd} \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c0}} - f_{cd} \frac{\epsilon_c^2}{\epsilon_{c0}^2}$$



Il valore di ϵ_{c0} è pari a 0,002 per classi di resistenza pari od inferiore a C50/60 con $\epsilon_{cu} = 0,0035$. Per classi di resistenza superiori è (f_{ck} in Mpa):

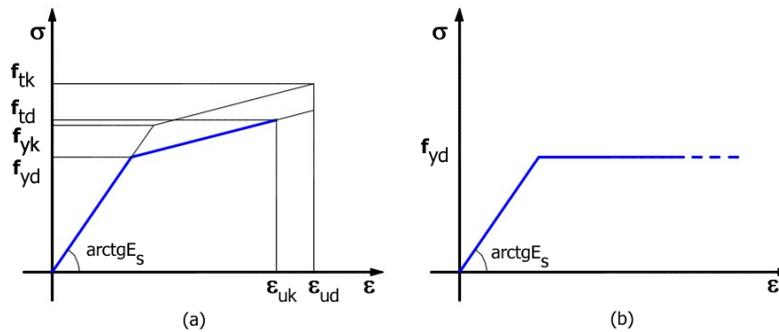
$$\epsilon_{c2} = 0.002 + 0.000085 \cdot (f_{ck} - 50)^{0.53}$$

$$\epsilon_{c2} = 0.0026 + 0.0035 \cdot [(90 - f_{ck}) / 100]^4$$

DIAGRAMMA DI CALCOLO TENSIONE-DEFORMAZIONE DEL CALCESTRUZZO

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 22 di 46

I diagrammi tensione-deformazione dell'acciaio utilizzati sono: (a) bilineare finito con incrudimento; (b) elastico-perfettamente plastico indefinito. Come deformazione ultima di progetto va assunto il valore di $\epsilon_{ud} = 0,9 \epsilon_{uk}$, essendo ϵ_{uk} la deformazione uniforme ultima che deve essere $\geq 0,075$ per l'acciaio B450C e $k=f_{tk}/f_{yk}$ (rapporto di sovrarresistenza) compreso tra 1,15 e 1,35.



Volendo fissare, in assenza di specifici dati sperimentali, un diagramma di progetto che tenga conto del valore minimo d'incrudimento $k=1,15$ si può porre:

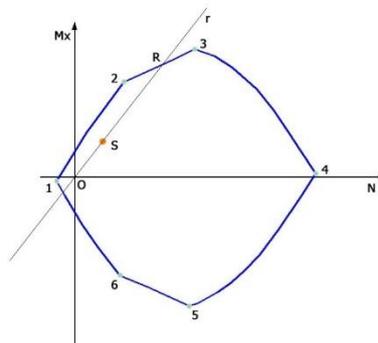
$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 4500/1,15 = 3913 \text{ daN/cm}^2$$

$$\epsilon_{ud} = 0,9 \times 0,075 = 0,0675$$

$$f_{td} = k' \times f_{yd} \approx k \times f_{yd} = 1,15 \times 3913 = 4500$$

VERIFICA DI PRESSOFLESSIONE

Assegnata una generica coppia di sollecitazioni di progetto N_S-M_{xS} rappresentata in figura dal punto **S**, la sezione si considera verificata se **S** risulta interno al dominio di resistenza o, al massimo, appartenente alla curva di frontiera del dominio medesimo. Per esprimere, invece, il controllo per via numerica si sceglie una retta passante per il punto **S** e si determina l'intersezione **R** con la frontiera del dominio. La sezione si considera verificata se il rapporto tra le lunghezze dei segmenti è ≥ 1 , essendo **O** un punto qualsiasi della retta purché interno al dominio.



La retta utilizzata per il confronto è quella passante per l'origine **O** degli assi **N-Mx** denominata **r** in figura, è importante notare che i momenti M_x sono riferiti al baricentro della sezione di verifica.

Mandataria 	Mandanti    	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D FOGLIO 23 di 46	

VERIFICA A TAGLIO

Il calcolo di verifica a taglio è basato sul rispetto della (4.1.22) DM 2008 :

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

con V_{Rd} si indica il taglio resistente. La verifica viene effettuata considerando dapprima la sezione senza armatura a taglio, in tal caso il taglio resistente verrà valutato dalla seguente relazione (4.1.2.1.3.1 NTC):

$$V_{Rd} = \left\{ \frac{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (V_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (4.1.23)$$

In sostanza la resistenza a taglio dipende fortemente dall'altezza utile d della sezione, ma anche dalla classe del calcestruzzo f_{ck} e dall'aliquota di armatura tesa longitudinale a flessione $\rho_l = A_{sl} / b_w \cdot d$. Nel nostro caso è marginale o nullo l'incremento della resistenza da sforzo normale costituita dal termine $0.15 \cdot \sigma_{cp}$. Il programma MDC opera un primo dimensionamento delle armature a flessione ottenendo così un valore iniziale dell'aliquota ρ_l . Se applicando la suddetta (4.1.23) la corrispondente resistenza a taglio V_{Rd} non soddisfa la (4.1.26) vengono aggiunte ulteriori barre longitudinali a flessione incrementando così ρ_l fino ad un massimo dell'1% ($\rho_l = 0,01$). Se anche con la percentuale di armatura tesa dell'1% la sezione non è verificata a taglio è necessario procedere all'incremento dell'altezza utile d della sezione e/o all'impiego di un calcestruzzo con una maggiore resistenza caratteristica f_{ck} .

In genere l'aumento del numero di barre longitudinali tese avviene solo in ristrette zone poste in prossimità del nodo di convergenza della mensola con la fondazione. Se in tali zone, sia pure con verifica a taglio positiva, il progettista dovesse valutare un eccessivo scostamento tra il momento di progetto e quello resistente (segno di un notevole incremento delle barre longitudinali tese), potrà ritenere opportuno incrementare, a suo giudizio, la dimensione trasversale d dell'elemento interessato (e/o utilizzare un calcestruzzo di classe superiore) onde ridurre o annullare il suddetto incremento.

MINIMI DI ARMATURA

La percentuale geometrica ρ di armatura longitudinale di calcolo, con ρ rapporto tra l'area dell'armatura longitudinale e l'area della sezione del pilastro, deve essere compresa entro i seguenti limiti:

$$1\% \leq \rho \leq 4\% \quad (7.4.28)$$

Le verifiche delle combinazioni sismiche per le strutture di fondazione (pali compresi) verranno eseguite in modalità e sostanzialmente elastica cioè la resistenza a flessione (semplice o composta) verrà limitata al raggiungimento del momento di prima plasticizzazione, cioè al momento più piccolo tra quello che comporta il raggiungimento della tensione di snervamento nell'acciaio e quello che comporta il raggiungimento della deformazione unitaria di compressione pari a 0.002 nel calcestruzzo (il programma per il calcestruzzo utilizza comunque il legame costitutivo parabolico). Ciò comporterà una riduzione della resistenza a flessione (rispetto a quella calcolata allo stato limite ultimo) di di circa il 10% nelle strutture con piccolo o nullo sforzo assiale e fino al 30% per i pali di fondazione. Per le travi di fondazione l'armatura minima superiore ed inferiore deve essere almeno pari allo 0,2% dell'area della sezione trasversale.

Mandataria



Mandanti



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA – BARI

IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO
Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.

COMMESSA
LI07

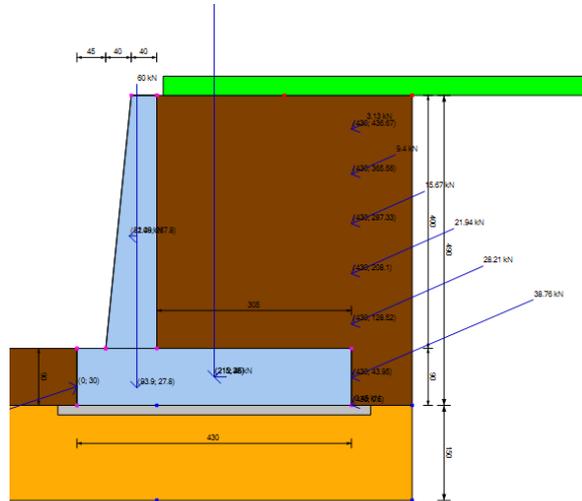
LOTTO
01

CODIFICA
E ZZ CL

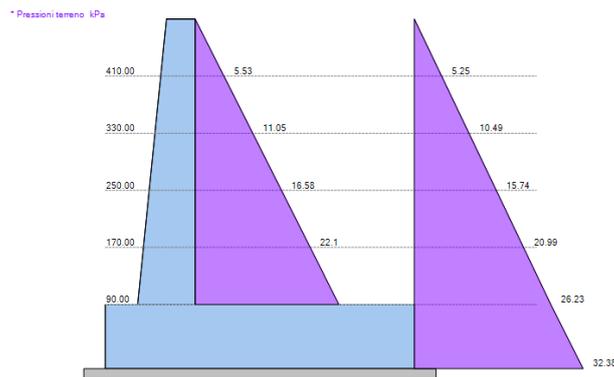
DOCUMENTO
IN 3100 004

REV.
D

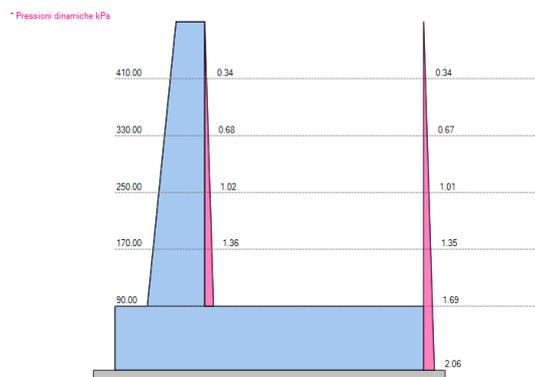
FOGLIO
24 di 46



Distribuzione forze agenti

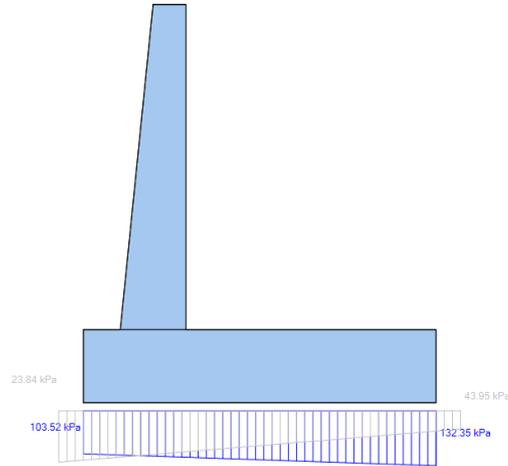


Pressioni terreno



Pressioni dinamiche

Mandataria VIA INGEGNERIA	Mandanti HYpro HUB VIOTOP mei Infrastructures Engineering s.r.l.	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 25 di 46



Pressioni terreno

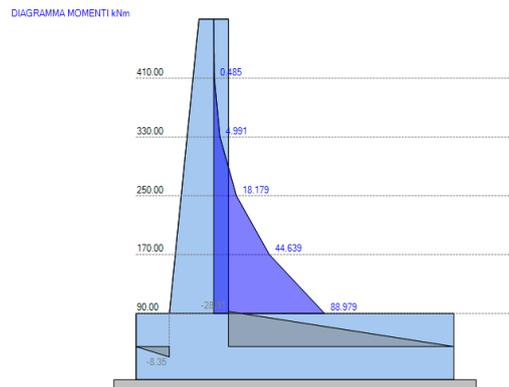


Diagramma momenti

Dati generali muro

Altezza muro	400,0 cm
Spessore testa muro	40,0 cm
Risega muro lato valle	40,0 cm
Risega muro lato monte	0,0 cm
Sporgenza mensola a valle	45,0 cm
Sporgenza mensola a monte	305,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	90,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	90,0 cm

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	75,0 [anni]

Mandataria 	Mandanti   	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 26 di 46

Stratigrafia

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazione dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m³)	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	250	0	19.50	24	0.00	18	No		Conglomerati UNITÀ 7AL

FATTORI DI COMBINAZIONE

A1+M1+R1

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.30
3	Peso terreno mensola	1.30
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1
	Ribaltamento	1

A2+M2+R2

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1.00
2	Spinta terreno	1.00
3	Peso terreno mensola	1.00
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	1.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1.25
2	Coesione efficace	1.25
3	Resistenza non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1
2	Scorrimento	1

Mandataria 	Mandanti   	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 27 di 46

3	Partecipazione spinta passiva	1
	Ribaltamento	1

EQU+M2

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	0.90
2	Spinta terreno	1.10
3	Peso terreno mensola	1.00
4	Spinta falda	1.00
5	Spinta sismica in x	1.00
6	Spinta sismica in y	0.00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1.25
2	Coesione efficace	1.25
3	Resistenza non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1
	Ribaltamento	1

Carichi distribuiti

Descrizione	Ascissa iniziale (cm)	Ascissa finale (cm)	Valore iniziale (kPa)	Valore finale (kPa)	Profondità (cm)
carico traffico	10.0	795.0	10.0	10.0	0.0

- Verifiche carico limite

A1+M1+R1 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.0246
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0123

A2+M2+R2 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.1236
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0618

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	165,42 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	436,33 kN
Somma momenti	-804,66 kNm
Larghezza fondazione	430,0 cm
Lunghezza	415,0 cm
Eccentricità su B	30,58 cm
Peso unità di volume	17,65 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	23,04 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	90,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	19,5 KN/m ³
Nq	8,7

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 28 di 46

Nc	18,1
Ng	8,25
Fattori di forma	
sq	1,38
sc	1,43
sg	0,64
Inclinazione carichi	
iq	0,48
ic	0,42
ig	0,3
Fattori di profondità	
dq	1,08
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	594,38 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	1,36

Carico limite verificato Csq>1

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	184,42 cm
Larghezza della fondazione	430,0 cm
x = 0.0 cm	144.78 kPa
x = 430.0 cm	58.17 kPa

EQU+M2 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.1236
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0618

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	173,04 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	411,08 kN
Somma momenti	-723,96 kNm
Larghezza fondazione	430,0 cm
Lunghezza	415,0 cm
Eccentricità su B	38,89 cm
Peso unità di volume	17,65 KN/m ³
Angolo di resistenza al taglio	23,04 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	90,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	19,5 KN/m ³
Nq	8,7
Nc	18,1
Ng	8,25
Fattori di forma	
sq	1,36
sc	1,41
sg	0,66
Inclinazione carichi	
iq	0,43
ic	0,36

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 29 di 46

ig	0,25
Fattori di profondità	
dq	1,08
dc	1,1
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	489,66 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	1,19

Carico limite verificato Csq>1

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	176,11 cm
Larghezza della fondazione	430,0 cm
x = 0.0 cm	147.47 kPa
x = 430.0 cm	43.73 kPa

- Verifiche a ribaltamento e a scorrimento sul piano di posa

A1+M1+R1 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.0246
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0123

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
490,0	410,0	19,5	0,0	24,0	18,0	0,0	0,0
410,0	330,0	19,5	0,0	24,0	18,0	0,0	0,0
330,0	250,0	19,5	0,0	24,0	18,0	0,0	0,0
250,0	170,0	19,5	0,0	24,0	18,0	0,0	0,0
170,0	90,0	19,5	0,0	24,0	18,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.		COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 30 di 46

Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
18,0	0,37	0,39	0,02	0,35	0,12	0,02	0,01
18,0	0,37	0,39	0,02	0,35	0,12	0,02	0,01
18,0	0,37	0,39	0,02	0,35	0,12	0,02	0,01
18,0	0,37	0,39	0,02	0,35	0,12	0,02	0,01
18,0	0,37	0,39	0,02	0,35	0,12	0,02	0,01

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota iniziale strato (cm)
 Qf Quota finale strato (cm)
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	490,0	410,0	3,01	0,98	436,67	436,67
2	410,0	330,0	9,03	2,93	365,56	365,56
3	330,0	250,0	15,04	4,89	287,33	287,33
4	250,0	170,0	21,06	6,84	208,1	208,1
5	170,0	90,0	27,08	8,8	128,52	128,52

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py Peso del muro (kN);
 Px Forza inerziale (kN);
 Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
410,0	0,22	8,8	102,9	448,8
330,0	0,47	19,2	100,8	405,6
250,0	0,77	31,2	98,5	360,8
170,0	1,1	44,8	96,2	314,8
90,0	1,48	60,0	93,9	267,8

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
 Fx Forza in direzione x (kN);
 Fy Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);
 H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
410,0	3,23	9,78	0,48	48,0
330,0	12,51	23,11	4,99	56,0
250,0	27,85	40,0	18,18	64,0
170,0	49,25	60,44	44,64	72,0
90,0	76,7	84,44	88,98	80,0

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.		COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 31 di 46

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (430,0/0,0)$
Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (430,0/490,0)$
Centro di rotazione $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
490,0	410,0	19,5	0,0	24,0	24,0	0,0	0,0
410,0	330,0	19,5	0,0	24,0	24,0	0,0	0,0
330,0	250,0	19,5	0,0	24,0	24,0	0,0	0,0
250,0	170,0	19,5	0,0	24,0	24,0	0,0	0,0
170,0	90,0	19,5	0,0	24,0	24,0	0,0	0,0
90,0	1,0	19,5	0,0	24,0	18,0	0,0	0,0
1,0	0,0	17,65	0,0	28,0	18,7	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
24,0	0,37	0,39	0,02	0,34	0,15	0,02	0,01
24,0	0,37	0,39	0,02	0,34	0,15	0,02	0,01
24,0	0,37	0,39	0,02	0,34	0,15	0,02	0,01
24,0	0,37	0,39	0,02	0,34	0,15	0,02	0,01
24,0	0,37	0,39	0,02	0,34	0,15	0,02	0,01
18,0	0,37	0,39	0,02	0,35	0,12	0,02	0,01
18,7	0,32	0,34	0,02	0,3	0,1	0,02	0,01

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota iniziale strato (cm)
Qf	Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
----	----	-----	-----	--------	--------

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 32 di 46

1	490,0	410,0	2,86	1,27	436,67	436,67
2	410,0	330,0	8,59	3,82	365,56	365,56
3	330,0	250,0	14,32	6,37	287,33	287,33
4	250,0	170,0	20,04	8,92	208,1	208,1
5	170,0	90,0	25,77	11,47	128,52	128,52
6	90,0	1,0	35,58	15,39	43,95	44,33
7	1,0	0,0	0,44	0,19	0,5	0,5

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
90,0	0,0	17,65	180,0	28,0	18,7	0,0	180,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

μ	Kp	Kpx	Kpy
198,7	2,77	-2,62	-0,89

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota iniziale strato (cm)
Qf	Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	90,0	0,0	-18,76	-6,35	30,0	30,0

Sollecitazioni totali

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.		COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 33 di 46

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	107,6	47,45	-28,53
Peso muro	1,48	60,0	-52,39
Peso fondazione	2,38	96,75	-206,94
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	5,85	309,27	-841,25
Spinte fondazione	-18,76	-6,35	-5,63
	98,55	507,12	-1134,74

Momento stabilizzante -1326,61 kNm
Momento ribaltante 191,87 kNm

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante -1326,61 kNm
Momento ribaltante 191,87 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento C_{sv} 6,91
Muro verificato a ribaltamento C_{sv}>1

MENSOLA A VALLE

X_{progr.} Ascissa progressiva (cm);
F_x Forza in direzione x (kN);
F_y Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

X _{progr.}	F _x	F _y	M	H
45,0	-18,76	-43,48	-8,35	90,0

MENSOLA A MONTE

X_{progr.} Ascissa progressiva (cm);
F_x Forza in direzione x (kN);
F_y Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

X _{progr.}	F _x	F _y	M	H
125,0	0,44	-18,51	-28,31	90,0

A2+M2+R2 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale K_h 0.1236
Coefficiente sismico verticale K_v 0.0618

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 34 di 46

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
490,0	410,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
410,0	330,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
330,0	250,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
250,0	170,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
170,0	90,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota iniziale strato (cm)
Qf	Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	490,0	410,0	3,55	1,15	436,67	436,67
2	410,0	330,0	10,66	3,46	365,56	365,56
3	330,0	250,0	17,77	5,77	287,33	287,33
4	250,0	170,0	24,87	8,08	208,1	208,1

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.		COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 35 di 46

5 170,0 90,0 31,98 10,39 128,52 128,52

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
410,0	4,64	9,95	0,93	48,0
330,0	16,59	23,82	7,4	56,0
250,0	35,84	41,59	25,05	64,0
170,0	62,39	63,27	59,43	72,0
90,0	96,25	88,87	116,14	80,0

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (430,0/0,0)$
Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (430,0/490,0)$
Centro di rotazione $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato (cm);
G Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
490,0	410,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
410,0	330,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
330,0	250,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
250,0	170,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
170,0	90,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
90,0	1,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
1,0	0,0	17,65	0,0	23,04	18,7	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.
Ka Coefficiente di spinta attiva.
Kd Coefficiente di spinta dinamica.
Dk Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 36 di 46

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,7	0,38	0,5	0,15	0,36	0,12	0,14	0,05

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota iniziale strato (cm)
Qf	Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	490,0	410,0	3,52	1,25	436,67	436,67
2	410,0	330,0	10,56	3,76	365,56	365,56
3	330,0	250,0	17,6	6,27	287,33	287,33
4	250,0	170,0	24,65	8,78	208,1	208,1
5	170,0	90,0	31,69	11,29	128,52	128,52
6	90,0	1,0	43,57	15,38	44,0	44,12
7	1,0	0,0	0,54	0,19	0,5	0,5

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato (cm);
G	Peso unità di volume (KN/m ³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
90,0	0,0	17,65	180,0	23,04	18,7	0,0	180,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.		COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 37 di 46

μ	Kp	Kpx	Kpy
198,7	2,29	-2,17	-0,73

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota iniziale strato (cm)
Qf	Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	90,0	0,0	-15,48	-5,24	30,0	30,0

Sollecitazioni totali

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	132,12	46,92	13,99
Peso muro	7,42	60,0	-36,48
Peso fondazione	11,96	96,75	-202,63
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	29,4	237,9	-574,9
Spinte fondazione	-15,48	-5,24	-4,64
	165,42	436,33	-804,66

Momento stabilizzante	-1126,28 kNm
Momento ribaltante	321,62 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	180,9 kN
Sommatoria forze verticali	441,57 kN
Coefficiente di attrito	0,43
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	441,57 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	180,9 kN
Resistenza terreno	203,31 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	1,12
Traslazione verificata Csd>1	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-1126,28 kNm
Momento ribaltante	321,62 kNm

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 38 di 46

Coeff. sicurezza ribaltamento C_{sv} **3,5**
Muro verificato a ribaltamento C_{sv}>1

EQU+M2 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale K_h 0.1236
 Coefficiente sismico verticale K_v 0.0618

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

- Q_i Quota iniziale strato (cm);
- Q_f Quota finale strato (cm);
- G Peso unità di volume (KN/m³);
- Eps Inclinazione dello strato. (°);
- Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
- Delta Angolo attrito terra muro;
- c Coesione (kPa);
- β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
- Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Q _i	Q _f	G	Eps	Fi	Delta	c	β
490,0	410,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
410,0	330,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
330,0	250,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
250,0	170,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
170,0	90,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

- μ Angolo di direzione della spinta.
- K_a Coefficiente di spinta attiva.
- K_d Coefficiente di spinta dinamica.
- D_k Coefficiente di incremento dinamico.
- K_{ax}, K_{ay} Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
- D_{kx}, D_{ky} Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	K _a	K _d	D _k	K _{ax}	K _{ay}	D _{kx}	D _{ky}
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05

Spinte risultanti e punto di applicazione

- Q_i Quota iniziale strato (cm)
- Q_f Quota finale strato (cm)
- R_{px}, R_{py} Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
- Z(R_{px}) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
- Z(R_{py}) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.		COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 39 di 46

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	490,0	410,0	3,81	0,92	436,67	436,67
2	410,0	330,0	11,44	2,77	365,56	365,56
3	330,0	250,0	19,06	4,62	287,33	287,33
4	250,0	170,0	26,68	6,46	208,1	208,1
5	170,0	90,0	34,31	8,31	128,52	128,52

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzia)

Py Peso del muro (kN);
Px Forza inerziale (kN);
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
410,0	0,98	7,92	102,9	448,8
330,0	2,14	17,28	100,8	405,6
250,0	3,47	28,08	98,5	360,8
170,0	4,98	40,32	96,2	314,8
90,0	6,67	54,0	93,9	267,8

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
410,0	4,79	8,84	1,02	48,0
330,0	17,38	20,97	8,09	56,0
250,0	37,78	36,39	27,27	64,0
170,0	65,97	55,09	64,57	72,0
90,0	101,97	77,09	126,0	80,0

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per $(x_{r1}, y_{r1}) = (430,0/0,0)$
Piano di rottura passante per $(x_{r2}, y_{r2}) = (430,0/490,0)$
Centro di rotazione $(x_{ro}, y_{ro}) = (0,0/0,0)$

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato (cm);
G Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;

Mandataria 	Mandanti   	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 40 di 46

c Coesione (kPa);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
490,0	410,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
410,0	330,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
330,0	250,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
250,0	170,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
170,0	90,0	19,5	0,0	19,61	19,61	0,0	0,0
90,0	1,0	19,5	0,0	19,61	18,0	0,0	0,0
1,0	0,0	17,65	0,0	23,04	18,7	0,0	0,0

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.
 Ka Coefficiente di spinta attiva.
 Kd Coefficiente di spinta dinamica.
 Dk Coefficiente di incremento dinamico.
 Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
 Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
19,61	0,43	0,57	0,17	0,41	0,15	0,16	0,06
18,0	0,44	0,57	0,16	0,41	0,13	0,16	0,05
18,7	0,38	0,5	0,15	0,36	0,12	0,14	0,05

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota iniziale strato (cm)
 Qf Quota finale strato (cm)
 Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
 Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
 Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	490,0	410,0	3,78	1,0	436,67	436,67
2	410,0	330,0	11,33	2,99	365,56	365,56
3	330,0	250,0	18,88	4,99	287,33	287,33
4	250,0	170,0	26,43	6,99	208,1	208,1
5	170,0	90,0	33,98	8,98	128,52	128,52
6	90,0	1,0	46,72	12,24	44,0	44,12
7	1,0	0,0	0,58	0,15	0,5	0,5

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
 Qf Quota finale strato (cm);
 G Peso unità di volume (KN/m³);
 Eps Inclinazione dello strato. (°);
 Fi Angolo di resistenza a taglio (°);

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 41 di 46

Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte ($^{\circ}$);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β	Note
90,0	0,0	17,65	180,0	23,04	18,7	0,0	180,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

μ Angolo di direzione della spinta.
Kp Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

μ	Kp	Kpx	Kpy
198,7	2,29	-2,17	-0,73

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota iniziale strato (cm)
Qf Quota finale strato (cm)
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	90,0	0,0	-15,48	-5,24	30,0	30,0

Sollecitazioni totali

Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	141,68	37,34	70,79
Peso muro	6,67	54,0	-32,83
Peso fondazione	10,76	87,07	-182,37
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	29,4	237,9	-574,9
Spinte fondazione	-15,48	-5,24	-4,64
	173,04	411,08	-723,96

Momento stabilizzante -1058,66 kNm
Momento ribaltante 334,7 kNm

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 42 di 46

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	178,53 kN
Sommatoria forze verticali	416,32 kN
Coefficiente di attrito	0,43
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	416,32 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	188,53 kN
Resistenza terreno	192,57 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	1,08
Traslazione verificata Csd>1	

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-1058,66 kNm
Momento ribaltante	334,7 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	3,16
Muro verificato a ribaltamento Csv>1	

- Verifiche strutturali

A1+M1+R1 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0.0246
Coefficiente sismico verticale Kv	0.0123

Sollecitazioni sul muro

Quota	Origine ordinata minima del muro (cm).			
Fx	Forza in direzione x (kN);			
Fy	Forza in direzione y (kN);			
M	Momento (kNm);			
H	Altezza sezione di calcolo (cm);			

Quota	Fx	Fy	M	H
410,0	3,23	9,78	0,48	48,0
330,0	12,51	23,11	4,99	56,0
250,0	27,85	40,0	18,18	64,0
170,0	49,25	60,44	44,64	72,0
90,0	76,7	84,44	88,98	80,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afv	Area dei ferri lato valle.
Afm	Area dei ferri lato monte.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);

Mandataria 	Mandanti   	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI				
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 43 di 46

Sic. VT $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd
4Ø20 (12,56)	4Ø20 (12,56)10,15	612,02	S	230,76	0,0
4Ø20 (12,56)	4Ø20 (12,56)23,63	735,96	S	251,42	0,0
4Ø20 (12,56)	4Ø20 (12,56)41,08	862,07	S	271,49	0,0
4Ø20 (12,56)	4Ø20 (12,56)61,8	990,62	S	291,2	0,0
4Ø20 (12,56)	4Ø20 (12,56)86,35	1122,2	S	310,7	0,0

MENSOLA A VALLE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
45,0	-18,76	-43,48	-8,35	90,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi Area dei ferri inferiori.
Afs Area dei ferri superiori.
Nu Sforzo normale ultimo (kN);
Mu Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd
4Ø20 (12,56)	4Ø20 (12,56)	19,21	1249,61	S	320,22

MENSOLA A MONTE

Xprogr. Ascissa progressiva (cm);
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
125,0	0,44	-18,51	-28,31	90,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi Area dei ferri inferiori.
Afs Area dei ferri superiori.

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.		COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 44 di 46

Nu Sforzo normale ultimo (kN);
 Mu Momento flettente ultimo (kNm);
 Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
 Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);
 Sic. VT $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
 Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vrd
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	0,5	1242,0	S	317,54

A2+M2+R2 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh 0.1236
 Coefficiente sismico verticale Kv 0.0618

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
 Fx Forza in direzione x (kN);
 Fy Forza in direzione y (kN);
 M Momento (kNm);
 H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
410,0	4,64	9,95	0,93	48,0
330,0	16,59	23,82	7,4	56,0
250,0	35,84	41,59	25,05	64,0
170,0	62,39	63,27	59,43	72,0
90,0	96,25	88,87	116,14	80,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afv Area dei ferri lato valle.
 Afm Area dei ferri lato monte.
 Nu Sforzo normale ultimo (kN);
 Mu Momento flettente ultimo (kNm);
 Vrd Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
 Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);
 Sic. VT $\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
 Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	10,15	612,02	S	230,78	0,0	
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	24,29	736,11	S	251,52	0,0	
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	42,22	862,39	S	271,72	0,0	
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	64,3	991,41	S	291,61	0,0	

EQU+M2 [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh 0.1236
 Coefficiente sismico verticale Kv 0.0618

Mandataria 	Mandanti  	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.		COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 45 di 46

Sollecitazioni sul muro

Quota	Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
410,0	4,79	8,84	1,02	48,0
330,0	17,38	20,97	8,09	56,0
250,0	37,78	36,39	27,27	64,0
170,0	65,97	55,09	64,57	72,0
90,0	101,97	77,09	126,0	80,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afv	Area dei ferri lato valle.
Afm	Area dei ferri lato monte.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vrd	Resistenza a taglio senza armature trasversali Vrd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	$\min\{Vrd; Vwd\}/Vsdu$
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vrd	Vwd	Sic. VT
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	8,98	611,79	S	230,63	0,0	
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	21,65	735,49	S	251,11	0,0	
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	37,1	860,97	S	270,98	0,0	
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	56,31	988,88	S	290,43	0,0	
4Ø20 (12.56)	4Ø20 (12.56)	78,36	1119,34	S	309,63	0,0	

10 GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI

10.1 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO

Titolo del codice di calcolo: Gesotru MDC

Autore, produttore e distributore: Geotru s.r.l.,

Versione: Versione: 2022.30.8.1040

10.2 Affidabilità del codice di calcolo

MDC è un programma per l'analisi di muri di sostegno a gravità e in c.a. con fondazioni dirette o su pali anche in presenza di tiranti.

Il software esegue il calcolo geotecnico utilizzando, a scelta dell'utente, le teorie di Coulomb, Rankine e Mononobe ed Okabe (Coulomb in presenza di sisma) ed effettua tutte le verifiche prescritte dalla normativa vigente, tra cui quella di stabilità globale,

Mandataria  Mandanti    	PROGETTO ESECUTIVO LINEA PESCARA – BARI					
IN31 – TOMBINO AL FOSSO PONTONICCHIO Relazione di Calcolo – Muri di sostegno in c.a.	COMMESSA LI07	LOTTO 01	CODIFICA E ZZ CL	DOCUMENTO IN 3100 004	REV. D	FOGLIO 46 di 46

anche in condizioni sismiche. Il calcolo strutturale esegue il dimensionamento delle armature, agli SLU e la verifica della sezione reagente a diverse quote. Il calcolo della spinta attiva con il metodo di Coulomb è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida. Si evidenzia dai test effettuati l'affidabilità del software in oggetto. Si riscontrano scarti minimi sia per il calcolo delle spinte, sia per il calcolo dei coefficienti di sicurezza a ribaltamento ed a scorrimento, sia per il calcolo del coefficiente di sicurezza nella verifica a stabilità globale.

Si evidenzia inoltre che per il calcolo del fattore di sicurezza a stabilità globale è stato utilizzato il metodo di Fellenius.

11 INCIDENZE DI ARMATURA

Le principali armature presenti nel muro di contenimento sono costituite da:

Muro		Armatura Tesa	Armatura Compresa
Soletta di Fondazione	100 x 90[cm]	Φ20/ 25	Φ20 / 25
Parete Frontale	100 x var. [cm]	Φ20/ 25	Φ20 / 25

Dalle verifiche condotte, il valore di resistenza a taglio V_{rd} (Resistenza a taglio senza armature trasversali) ottempera tutte le verifiche previste dalla norma. Ai fini tecnologici si adotta una armatura orizzontale nel paramento pari a $1+1\Phi 14/25$. Analogamente in fondazione si considera si adotta un'armatura di ripartizione $1+1\Phi 14/25$ ai fini tecnologici. Non si considerano diametri inferiori al fine di garantire una maggiore durabilità dell'opera.

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

Parete Frontale	100 kg/mc
Soletta di Fondazione	100 kg/mc