



Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale  
Scali Rosciano, 6 - 57123 Livorno, Italia

R.U.P. ing. Enrico Pribaz  
D.E.C. ing. Ilaria Lotti

R.T.P.



30035 Mirano (VE)  
Viale Belvedere, 8/10  
www.fm-ingegneria.com

Tel. +39 041 5785 711  
Fax +39 041 4355 933  
portolivorno@fm-ingegneria.com



P.O. Box 1132  
3800 BC Amersfoort  
The Netherlands  
www.royalhaskoningdhv.com

Tel. +44 (0)207 222 2115  
Fax +44 (0)207 222 2659  
info@rhdhv.com



35027 Noventa Padovana (PD)  
Via Panà 56/a

Tel. +39 049 8945 087  
Fax +39 049 8707 868  
mail@hsmarinesrl.com



31027 Spresiano (TV)  
Via Tiepolo, 8  
www.gtgeo.it

Tel. +39 0422 8870 31  
Fax +39 0422 8895 89  
info@gtgeo.it

PROGETTO

**PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DELLE  
OPERE MARITTIME DI DIFESA E DEI DRAGAGGI PREVISTI  
NELLA NUOVA PRIMA FASE DI ATTUAZIONE DELLA  
PIATTAFORMA EUROPA, COMPRESO LO STUDIO DI  
IMPATTO AMBIENTALE E LA VALUTAZIONE DI INCIDENZA  
AMBIENTALE**

EMISSIONE

**PROGETTO PRELIMINARE**

TITOLO

**E - OPERE DI PROGETTO**

Relazione di calcolo preliminare delle strutture

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1					
2					
3					
4					
5					

ELABORATO N.

**E002**

DATA: 08/11/2019	SCALA: -	FILE: 1233_PP-E-002_0.doc	J.N. 1233/'19
PROGETTO L. Masiero	DISEGNO R. Bullo	VERIFICA S. Beriotto	APPROVAZIONE T. Tassi



Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-002_0.docx

## Indice generale

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CASSONI – WBS1</b>	<b>6</b>
2.1	APPROCCI UTILIZZATI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE	6
2.1.1	CALCOLO DELLE SPINTE SULLE OPERE A PARETE VERTICALE (CASSONI)	6
2.1.1.1	TRATTAZIONE ONDE STAZIONARIE (SAINFLOU)	6
2.1.1.2	TRATTAZIONE ONDE NON STAZIONARIA (GODA)	8
2.1.2	CALCOLO DELLE SPINTE AGENTI SUL MURO DI CORONAMENTO (PEDERSEN)	9
2.2	DIMENSIONAMENTO DEI CASSONI	11
2.3	CALCOLO DELLE SPINTE SULLE OPERE A PARETE VERTICALE	13
2.4	DIMENSIONAMENTO DEL MURO PARAONDE	18
2.5	CALCOLO DELLE SPINTE AGENTI SUL MURO DI CORONAMENTO	19
2.6	VERIFICHE DI STABILITÀ DEI CASSONI	20
2.6.1	TEORIA ALLA BASE – VERIFICHE A RIBALTAMENTO E SCORRIMENTO	20
2.6.2	TEORIA ALLA BASE – VERIFICHE A CAPACITÀ PORTANTE	21
2.6.3	VERIFICHE A RIBALTAMENTO E SCORRIMENTO	24
2.6.3.1	WBS1A	24
2.6.3.2	WBS1B	26
2.6.4	VERIFICHE A CAPACITÀ PORTANTE	27
2.7	CALCOLO DEI CEDIMENTI	34
2.7.1	FASI	34
2.7.2	OUTPUT	37
<b>3</b>	<b>PALANCOLATO – AREA 1A</b>	<b>38</b>
3.1	PREMESSA	38
3.2	MATERIALI	39
3.3	DATI DI INPUT	39
3.4	PARAMETRI SISMICI	40
3.5	SEZIONE GEOTECNICA DI RIFERIMENTO E MODELLAZIONE DEL TERRENO	40
3.6	RISULTATI DELLE ANALISI	43
3.6.1	DEFORMAZIONI SLE	44
3.6.2	INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE	44
3.6.3	INVILUPPO TAGLIO	45
3.6.4	TIRANTI DI ANCORAGGIO	45
	SI RIPORTA LO SFORZO NORMALE AGENTE SUL TIRANTE:	45

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-002_0.docx
--	---	---

3.7	VERIFICHE	45
3.7.1	VERIFICA DI RESISTENZA DEL PALANCOLATO A FLESSIONE	45
3.7.2	VERIFICA DI RESISTENZA DEL PALANCOLATO A TAGLIO	45
3.7.3	VERIFICA TIRANTI DI ANCORAGGIO	46
3.8	ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE	46
<b>4</b>	<b>PALANCOLATO - WBS5A</b>	<b>48</b>
4.1	PREMESSA	48
4.2	DATI DI INPUT	48
4.3	PARAMETRI SISMICI	50
4.4	SEZIONE GEOTECNICA DI RIFERIMENTO E MODELLAZIONE DEL TERRENO	51
4.5	RISULTATI DELLE ANALISI	55
4.5.1	DEFORMAZIONI SLE	56
4.5.2	DEFORMAZIONI SLD	56
4.5.3	INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE SLE-SLU	57
4.5.4	INVILUPPO MOMENTO FLETTENTE SLV	57
4.5.5	INVILUPPO TAGLIO SLE-SLU	58
4.5.6	INVILUPPO TAGLIO SLV	58
4.6	VERIFICHE	59
4.6.1	VERIFICA DI RESISTENZA DEL PALANCOLATO A FLESSIONE	59
4.7	ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE	60

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-002_0.docx
--	---	---

## Indice delle figure

Figura 2.1 - Schema proposto da Sainflou per il calcolo delle spinte in fase di cresta .....	7
Figura 2.2 - Schema proposto da Sainflou per il calcolo delle spinte in fase di cavo.....	7
Figura 2.3 - Schema proposto da Goda per il calcolo delle spinte in fase di cresta.....	8
Figura 2.4 – Schema impiegato per il calcolo delle pressioni (Pedersen, 1996).....	9
Figura 2.5- Planimetria con indicazione dei corpi d’opera e ubicazione delle sezioni tipologiche .....	11
Figura 2.6- Corpo d’opera WBS 1 - Sezione tipologica B (cassoni larghi 18 m) DIGA NORD CASSONI .....	12
Figura 2.7- Corpo d’opera WBS 1 - Sezione tipologica C(cassoni larghi 15 m) DIGA NORD CASSONI .....	13
Figura 2.8- Diagramma delle spinte in fase di cresta (Goda) per il cassone largo 18 m (sezioni B e B’)..	14
Figura 2.9 - Diagramma delle spinte in fase di cavo (Sainflou) per il cassone largo 18 m (sezioni B e B’) .....	15
Figura 2.10- Diagramma delle spinte in fase di cresta (Goda) per il cassone largo 18 m (sezione C).....	16
Figura 2.11 - Diagramma delle spinte in fase di cavo (Sainflou) per il cassone largo 15 m (sezione C)...	17
Figura 2.12 - Corpo d’opera WBS 2b - Sezione tipologica E (corrente) DIGA NORD ESTERNA COLMATA .....	18
Figura 2.13 - Diagramma delle spinte sul muro paraonde (Pedersen) .....	19
Figura 2.14 - Cassone WBS1a - Geometria e sollecitazioni .....	24
Figura 2.15 - Cassone WBS1b - Geometria e sollecitazioni .....	26
Figura 2.16 - WBS 1 - Fase iniziale. ....	34
Figura 2.17 - WBS 1 - Scavo. ....	35
Figura 2.18 - WBS 1 – Realizzazione dello scanno. ....	35
Figura 2.19 - WBS 1 - Vibrosostituzione. ....	35
Figura 2.20 - WBS 1 – Realizzazione della scogliera. ....	36
Figura 2.21 - WBS 1 – Posa dei cassoni.....	36
Figura 2.22 - WBS 2a – Completamento della scogliera.....	36
Figura 2.23 - WBS 2a – Applicazione del sovraccarico.....	37
Figura 2.24 - WBS 1 – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 30 \text{ cm}$ ).....	37
Figura 3.1 – Individuazione dell’area e planimetria delle strutture.....	38
Figura 3.2 – Campagna indagini e individuazione dei sondaggi utilizzati per l’area di interesse.....	40
Figura 3.3 Borehole del modello di calcolo .....	41
Figura 3.4- Schema del modello utilizzato .....	43
Figura 3.5 – Analisi di stabilità – Palancolato area 1a.....	47
Figura 4.1 – Parametri sismici.....	50
Figura 4.2 – Sezione geotecnica di riferimento .....	51
Figura 4.3 – Borehole di riferimento per la WBS 5a_palancolato .....	51
Figura 4.4 – Analisi di stabilità – SLU – Palancolato WBS5a .....	60
Figura 4.5 – Analisi di stabilità – SLV - Palancolato WBS5a.....	61

Progetto:  
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:  
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:  
OPERE DI PROGETTO  
1233\_PP-E-002\_0.docx

## Indice delle tabelle

Tabella 2-1- Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CASSONI 12  
Tabella 2-2- Calcolo spinte sui cassoni: verifica preliminare condizione di stazionarietà .....13  
Tabella 2-3 - Calcolo delle spinte in fase di cresta (Goda) per il cassone largo 18 m (sezioni B e B') .....14  
Tabella 2-4 - Calcolo delle spinte in fase di cavo (Sainflou) per il cassone largo 18 m (sezioni B e B') ....15  
Tabella 2-5- Calcolo delle spinte in fase di cresta (Goda) per il cassone largo 15 m (sezione C).....16  
Tabella 2-6 - Calcolo delle spinte in fase di cavo (Sainflou) per il cassone largo 15 m (sezione C).....17  
Tabella 2-7 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD ESTERNA COLMATA .....18  
Tabella 2-8-Valore della risalita dell'onda impiegato per il calcolo delle spinte sul muro di coronamento .....19  
Tabella 2-9 - Parametri di input e spinte/pressioni calcolate per il muro di coronamento .....19  
Tabella 2-10 - Coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le verifiche SLU .....20  
Tabella 2-11 - Cassone WBS1a - verifiche .....25  
Tabella 2-12 - Cassone WBS1b - verifiche .....27  
Tabella 2-13 - Sollecitazioni agenti alla base della fondazione .....27  
Tabella 3-1 – Parametri dei terreni – Area 1a .....43  
Tabella 4-1 – Parametri dei terreni – WBS5a .....55

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

## 1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli preliminari condotti per il dimensionamento delle strutture previste nell'ambito della progettazione preliminare delle opere previste dalla prima fase di attuazione della Piattaforma Europa. La relazione è stata articolata come segue:

- a) WBS 1 (WBS1a e WBS1b)
  - descrizione degli approcci di calcolo adottati per i dimensionamenti e le verifiche;
  - descrizione dei corpi d'opera e delle sezioni tipologiche caratteristiche di ciascun tratto;
  - dimensionamento dei cassoni;
  - dimensionamento del muro poaraonde;
  - verifiche di stabilità (verifica a scorrimento, ribaltamento e capacità portante)
  - verifica dei cedimenti
  
- b) Palancolato area 1a
  - determinazione dei parametri del terreno assunti nel calcolo;
  - verifica del palancolato;
  - analisi di stabilità globale.
  
- c) Paratia WBS5a
  - determinazione dei parametri del terreno assunti nel calcolo;
  - verifica del palancolato;
  - analisi di stabilità globale.

## 2 CASSONI – WBS1

### 2.1 Approcci utilizzati per il dimensionamento delle strutture

#### 2.1.1 Calcolo delle spinte sulle opere a parete verticale (cassoni)

Il calcolo delle spinte del moto ondoso sulle strutture a parete verticale (cassoni) è stato eseguito con riferimento alle condizioni di cresta e cavo d'onda di fronte all'opera, seguendo gli approcci indicati nelle "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe marittime" edite a cura del Consiglio Superiore LL.PP. nel 1996.

Nello specifico la teoria di Sainflou viene utilizzata per il dimensionamento di dighe a parete verticale soggette all'azione di onde non frangenti (onde stazionarie), mentre la teoria di Goda si applica nel caso di onde frangenti (non stazionarie). La condizione necessaria per la stazionarietà dell'onda di fronte alla parete verticale si verifica quando l'altezza libera della parete misurata sotto il livello del mare ( $d$ ) si mantiene superiore a  $1.5 H$  (dove con  $H$  si intende il valore dell'altezza d'onda massima incidente  $H_{max} = 1.67 H_s$ ).

Nel caso in cui la condizione fosse di non stazionarietà (onda frangente), poiché la trattazione di Goda non fornisce formulazioni per la fase di cavo d'onda, le spinte per il cavo sono state comunque calcolate utilizzando la trattazione di Sainflou.

##### 2.1.1.1 Trattazione onde stazionarie (Sainflou)

Le spinte calcolate con la trattazione di Sainflou per le verifiche di stabilità in fase di cresta vengono ricavate utilizzando le seguenti espressioni (Figura 2.1):

$$p_1 = \gamma \left( d + \frac{H}{\cosh kd} \right) \frac{\eta^*}{d + \eta^*}$$

$$p_2 = p_1 \frac{\eta^* - h_c}{\eta^*}$$

$$p_3 = \gamma \frac{H}{\cosh kd} \frac{h'}{d}$$

$$p_4 = p_3 \frac{b}{b + m}$$

dove

- $H$  è l'altezza d'onda di progetto assunta pari a:  $H_{1/20} \cong 1.40 H_s$  (verifiche in fase di cresta);
- il sovrizzo in fase di cresta è dato dalla formula:  $\eta^* = H + \frac{\pi H^2}{L} \frac{1}{\tanh kd}$  con  $K = \frac{2\pi}{L}$ ;
- le grandezze geometriche sono rispettivamente:  $h_c$  (altezza del coronamento del cassone),  $d$  (profondità della parete libera del cassone),  $h'$  (profondità della fondazione del cassone),  $b$  e  $m$  (dimensioni della base del cassone);
- $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua di mare (pari a  $10.10 \text{ kN/m}^3$  ovvero  $1.03 \text{ t/m}^3$ );
- $L$  è la lunghezza d'onda calcolata con riferimento al periodo medio ( $T$ ) e alla profondità del fondale antistante l'opera ( $h$ ), con la formulazione valida per acque intermedie:  $L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$ .



Le spinte calcolate con la trattazione di Sainflou per le verifiche di stabilità in fase di cavo vengono ricavate utilizzando le seguenti espressioni (Figura 2.2):

$$p_1 = \gamma \eta'$$

$$p_3 = \gamma \frac{H}{\cosh kd} \left( \frac{h' - \eta'}{d - \eta'} \right)$$

$$p_4 = p_3 \frac{b}{b + m}$$

dove

- H è l'altezza d'onda di progetto assunta pari a:  $H_{1/100} \cong 1.67 H_s$  (verifiche in fase di cavo);
- il sovralzo in fase di cavo è dato dalla formula:  $\eta' = H - \frac{\pi H^2}{L} \frac{1}{\tanh kd}$ .

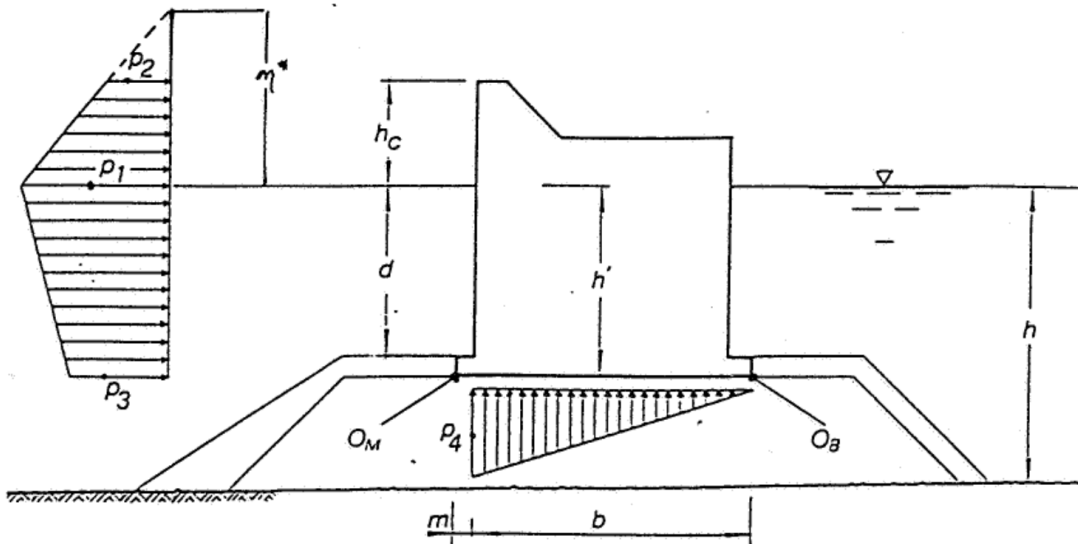


Figura 2.1 - Schema proposto da Sainflou per il calcolo delle spinte in fase di cresta

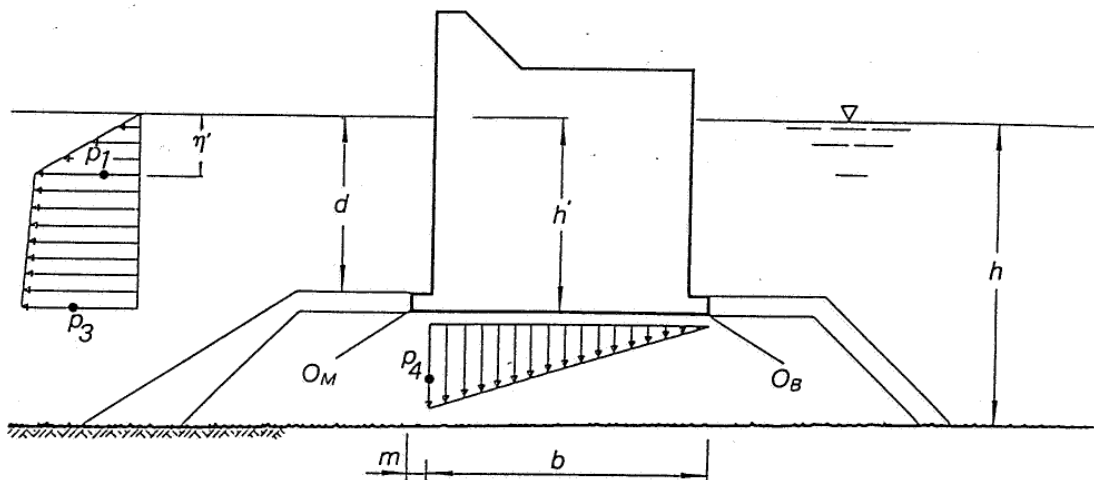


Figura 2.2 - Schema proposto da Sainflou per il calcolo delle spinte in fase di cavo

### 2.1.1.2 Trattazione onde non stazionaria (Goda)

Le spinte calcolate con la trattazione di Goda per le verifiche di stabilità in fase di cresta vengono ricavate utilizzando le seguenti espressioni (Figura 2.1):

$$p_1 = 0.5(1 + \cos \beta)(\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta) \gamma H$$

$$p_2 = p_1 \frac{\eta^* - h_c}{\eta^*}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$p_4 = 0.5(1 + \cos \beta) \alpha_1 \alpha_3 \gamma H$$

dove

- H è l'altezza d'onda di progetto massima  $H_{\max}$  determinata facendo riferimento a quanto riportato nella trattazione originale di Goda (cfr. paragrafi 3.5.5 e 4.2.2 "Random Seas and Design in Maritime Structures")
- il sovrizzo in fase di cresta è dato dalla formula:  $\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta) H$  ;
- i coefficienti  $\alpha_1 = 0.6 + 0.5 \left( \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)^2$ ,  $\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left( \frac{H}{d} \right)^2, \frac{2d}{H} \right\}$  e  $\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left( 1 - \frac{1}{\cosh kh} \right)$ ;
- $K = \frac{2\pi}{L}$  ;
- L è la lunghezza d'onda calcolata con riferimento al periodo medio (T) e alla profondità del fondale antistante l'opera (h), con la formulazione valida per acque intermedie:  $L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left( \frac{2\pi d}{L} \right)$ .
- le grandezze geometriche sono rispettivamente:  $h_c$  (altezza del coronamento del cassone) e d (profondità della parete libera del cassone);
- $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua di mare (pari a 10.10 kN/m<sup>3</sup> ovvero 1.03 t/m<sup>3</sup>);
- $\beta$  è l'angolo di inclinazione del fronte d'onda rispetto alla parete decurtato di un franco di sicurezza di 15°.

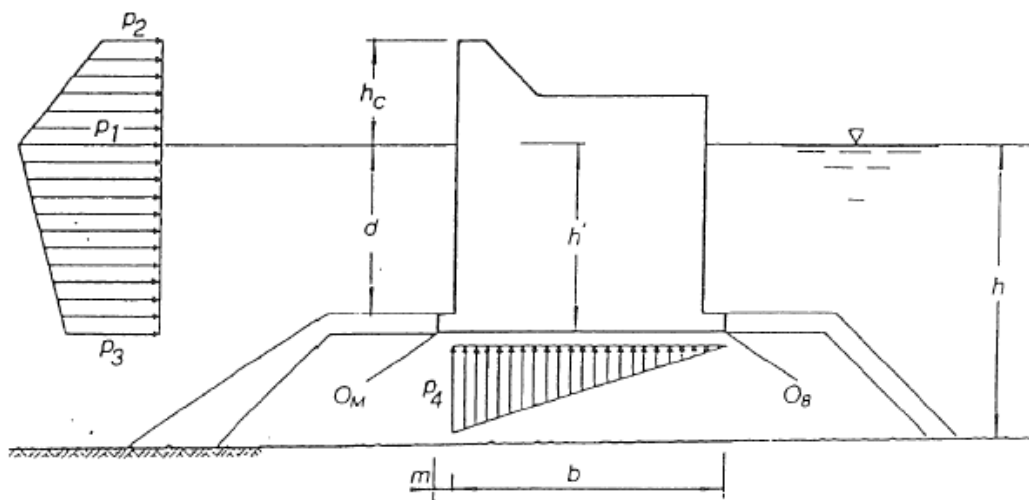


Figura 2.3 - Schema proposto da Goda per il calcolo delle spinte in fase di cresta

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-002_0.docx

Nello specifico per quanto riguarda la determinazione di  $H_{max}$  valgono le seguenti espressioni:

$$H_{max} \equiv H_{1/250} = \begin{cases} 1.8 K_s H_0' & \text{per } h/L \geq 0.2 \\ \min \{ (\beta_0^* H_0' + \beta_1 h), \beta_{max}^* H_0', 1.8 k_s H_0' \} & \text{per } h/L < 0.2 \end{cases}$$

dove

- $H_0'$  è l'altezza d'onda significativa di progetto;
- $K_s$  è un coefficiente (di "shoaling") che dipende dal rapporto  $h/L$  e  $H'/L$  (cfr. diagramma di Fig. 3.22 del "Random Seas and Design in Maritime Structures")
- Altezza d'onda massima  $H_{max}$  determinata facendo riferimento a quanto riportato nella trattazione originale di Goda (cfr. paragrafi 3.5.5 e 4.2.2 "Random Seas and Design in Maritime Structures");
- i coefficienti  $\beta_0^* = 0.028(H_0'/L)^{-0.38} \exp[20 \tan^{1.5} \theta]$ ,  $\beta_1 = 0.52 \exp[4.2 \tan \theta]$  e  $\beta_{max}^* = \max \{ 0.92, 0.32(H_0'/L)^{-0.29} \cdot \exp[2.4 \tan \theta] \}$ ;
- $\theta$  è l'angolo di inclinazione del fondale antistante all'opera.

### 2.1.2 Calcolo delle spinte agenti sul muro di coronamento (Pedersen)

Il dimensionamento del muro di coronamento è stato condotto secondo quanto indicato e raccomandato nel Rock Manual ("The use of rock in hydraulic engineering", 2nd edition, 2007, CIRIA C683); la formulazione di riferimento è quella proposta da Pedersen (1996).

L'approccio proposto da Pedersen si basa sull'assunzione che la pressione d'impatto  $p_i$  possa essere assunta pari alla pressione di ristagno corrispondente alla velocità di picco agente sull'estremità della cresta della scogliera antistante il muro. Questa assunzione deriva dal fatto che la lama d'acqua, generata dall'impatto dell'onda sulla struttura, colpisce perpendicolarmente la parete della scogliera con una velocità pari alla velocità di picco. La distribuzione delle pressioni proposta da Pedersen è rappresentata graficamente nella successiva Figura 2.4. Oltre alla pressione orizzontale di impatto  $p_i$  deve essere considerata anche la sottospinta agente sulla piattabanda del muro ( $p_u$ ).

La componente orizzontale della pressione di impatto dell'onda viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$p_i = \gamma (R_{u,0.1\%} - R_{ca})$$

dove:

- $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua di mare (pari a 10.10 kN/m<sup>3</sup> ovvero 1.03 t/m<sup>3</sup>);
- $R_{u,0.1\%}$  rappresenta la quota di risalita che viene superata dallo 0.1% delle onde della mareggiata;
- $R_{ca}$  è la quota di coronamento della scogliera antistante il muro.

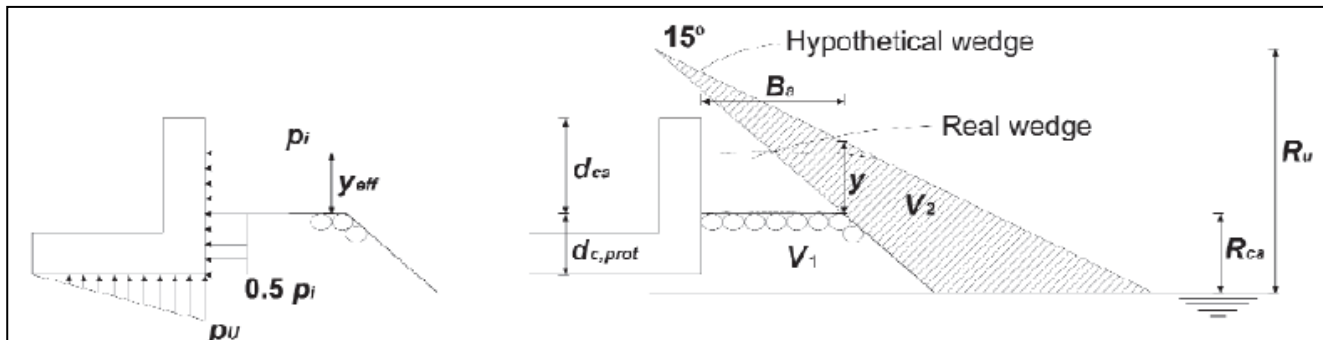


Figura 2.4 – Schema impiegato per il calcolo delle pressioni (Pedersen, 1996)

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-002_0.docx

La risalita dell'onda  $R_{u,0.1\%}$ , impiegata nella trattazione di Pedersen, viene calcolata utilizzando Le equazioni di Van der Meer e Stam (1992):

$$R_{u,n\%} / H_s = a \xi_m \quad \text{se} \quad \xi_m \leq 1.5$$

$$R_{u,n\%} / H_s = b \xi_m^c \quad \text{se} \quad \xi_m > 1.5$$

$$R_{u,n\%} / H_s = d \quad \text{valore massimo della risalita.}$$

dove:

- $H_s$  è l'altezza d'onda significativa della mareggiata di progetto;
- $\xi$  è il parametro di Iribarren calcolato con riferimento alla lunghezza d'onda al largo  $L_{0m}$  calcolata con riferimento al periodo medio dell'onda e alla pendenza della mantellata  $\alpha$ :  $\xi = \tan \alpha / \sqrt{(H_s / L_{0m})}$ ;
- $a, b, c$  e  $d$  sono dei coefficienti che dipendono dalla probabilità di superamento della quota di risalita e  $n = 0.1\%$  valgono rispettivamente: 1.12, 1.34, 0.55 e 2.58.

La risultante delle forze di impatto orizzontali, con riferimento ad una probabilità di superamento dello 0.1%, è data dalla seguente espressione:

$$F_{H,0.1\%} = 0.21 \sqrt{\frac{L_{0m}}{B_a}} \left( 1.6 p_i y_{eff} + V \frac{p_i}{2} d_{c,prot} \right)$$

dove:

- $B_a$  è la larghezza del coronamento della scogliera;
- $y_{eff}$  è l'altezza effettiva della zona di impatto pari a  $y_{eff} = \min \{y/2, d_{ca}\}$ ;
- $y = \frac{R_{u,0.1\%} - R_{ca}}{\sin \alpha} \frac{\sin 15^\circ}{\cos(\alpha - 15^\circ)}$ ;
- $d_{ca}$  è l'altezza della parte di muro non protetta;
- $d_{c,prot}$  è l'altezza della parte di muro protetta;
- $V$  è un parametro adimensionale pari a  $V = \min \{V_2 / V_1, 1\}$
- $V_1$  e  $V_2$  sono le aree rappresentate geometricamente nella precedente Figura 2.4.

Pedersen fornisce anche le formulazioni per il calcolo del momento generato dalla forza di impatto orizzontale  $M_{H,0.1\%}$  e per la pressione alla base del muro (sottospinta)  $p_{U,0.1\%}$ :

$$M_{H,0.1\%} = a F_{H,0.1\%} = 0.55 (d_{c,prot} + y_{eff}) F_{H,0.1\%}$$

$$p_{U,0.1\%} = 1.0 V p_i$$

Per quanto riguarda la distribuzione della sottospinta  $p_{U,0.1\%}$ , Pedersen propone un andamento triangolare, con massimo in corrispondenza dello spigolo lato mare del muro e pressione nulla all'estremità opposta.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

## 2.2 Dimensionamento dei cassoni

L'intervento previsto in progetto è stato suddiviso per corpi d'opera come descritto nell'elaborato 1233\_PP-D-001\_0 ("Relazione idraulico marittima") e rappresentato graficamente nella successiva Figura 2.5. Ciascun corpo d'opera a sua volta, in funzione della tipologia di struttura (opere a gettata o a parete verticale), dell'esposizione geografica e della destinazione d'uso nonché dei livelli di sicurezza attesi, è stato a sua volta suddiviso in tratti (sezioni tipologiche) con caratteristiche omogenee. Per ciascun tratto, sulla base delle analisi e delle simulazioni condotte mediante modelli matematici (cfr. 1233\_PP-D-001\_0), sono state definite le onde di progetto impiegate per i dimensionamenti.

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli condotti per il dimensionamento dei cassoni della DIGA NORD CASSONI (corpo d'opera WBS 1).

Il corpo d'opera WBS 1 (ovvero il tratto più esterno della diga Nord) è costituito da cassoni in calcestruzzo armato di altezza pari a circa 17.00 m, imbasati alla quota -13.00 m s.m.m. e con coronamento alla +4.00 m s.m.m..

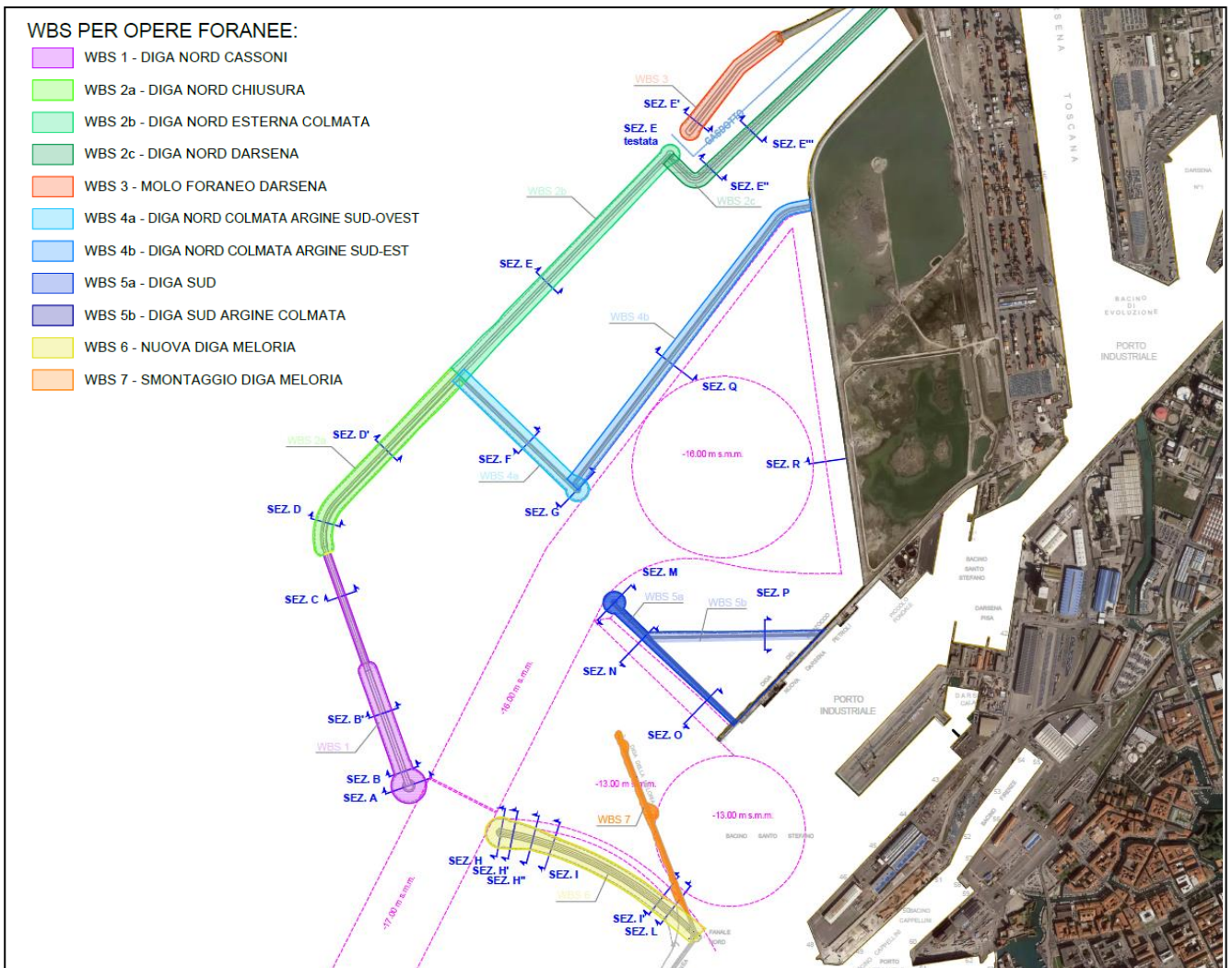


Figura 2.5- Planimetria con indicazione dei corpi d'opera e ubicazione delle sezioni tipologiche

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

Il primo tratto dell'opera (sezioni tipologiche B e B'; cfr. in Figura 2.6 è rappresentata la sezione B) è costituito da un cassone di larghezza 18, con quota di coronamento +4.00 m s.m.m. e quota di imbasamento della fondazione di -13.00 m s.m.m.. Il cassone verrà posizionato su una scogliera, imbasata alla -20.00 m s.m.m., con mantellata in massi naturali di III categoria (da 3 a 7 t), nucleo in massi di II categoria (da 1 a 3 t), pendenza delle scarpate 3:2. Per la posa della scogliera si prevede inoltre la bonifica del fondale e la realizzazione di uno scanno di imbasamento di spessore di 1.00 m pietrame 50÷500 kg, posato sul fondale mediante interposizione di un geocomposito.

Nel secondo tratto (sezione tipologica C; Figura 2.7) il cassone è posizionato direttamente sul fondale a quota -13.00 m s.m.m., previa bonifica del fondale mediante realizzazione di uno scanno di imbasamento di spessore di 1.00 m con pietrame 50÷500 kg; tra il pietrame e il fondale sarà posizionato un geocomposito. Il cassone ha una larghezza inferiore al primo tratto (15 m) e quota di coronamento +4.00 m s.m.m..

Nella successiva Tabella 2-1 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzate per il dimensionamento delle sezioni tipologiche B-B' e C.

CORPO D'OPERA WBS 1 – DIGA NORD CASSONI		
Tempo di ritorno $T_{rp}$	475 anni	
Tipologia di opera	cassoni	
Sezioni tipologiche	SEZ. B-B'	SEZ. C
Altezza significativa	6.31 m	5.51 m
Periodo di picco	13.11 s	13.11 s
Direzione di provenienza	200°N	205°N
Sovralzo	+1.52 m s.m.m.	1.52 m s.m.m.

Tabella 2-1- Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CASSONI

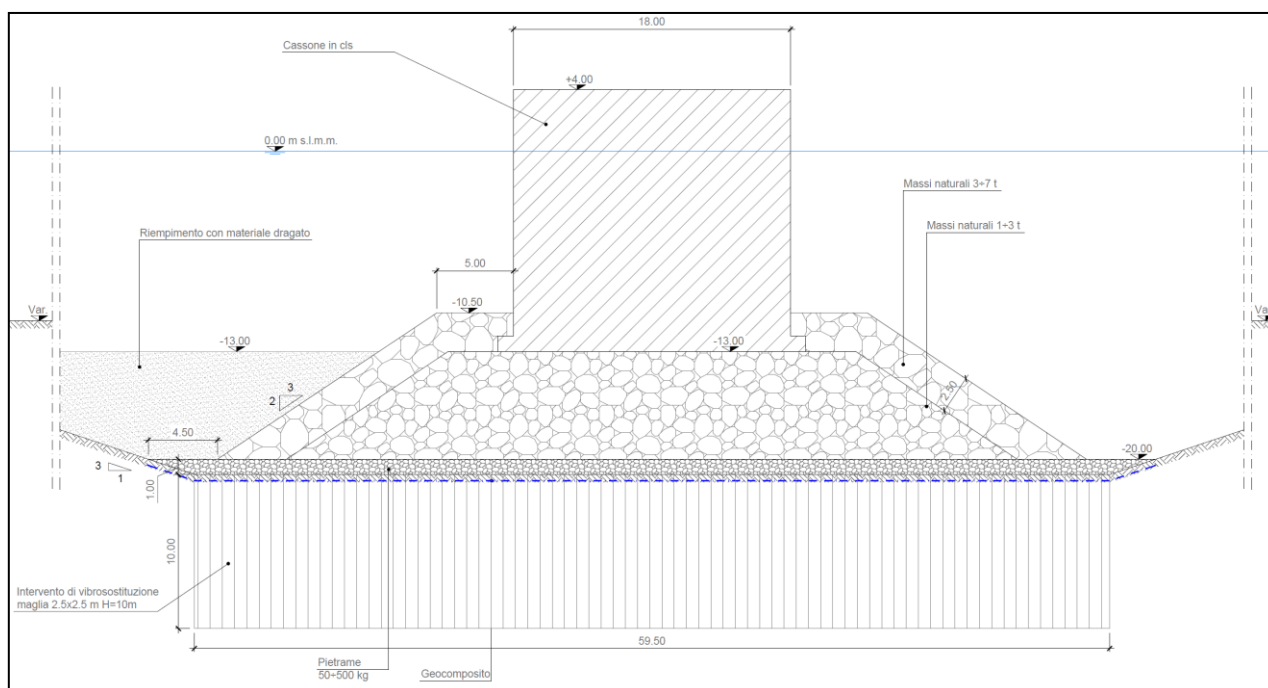


Figura 2.6- Corpo d'opera WBS 1 - Sezione tipologica B (cassoni larghi 18 m) DIGA NORD CASSONI





Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

GODA CRESTA		
$H_{max}$	m	<b>10.41</b>
$\eta^*$	m	<b>15.62</b>
profondità dello scanno d	m	10.50
profondità dello scanno d (con sovrizzo)	m	12.02
profondità della fondazione h'	m	13.00
profondità della fondazione h' (con sovrizzo)	m	14.52
quota coronamento	m	4.00
quota coronamento (con sovrizzo)	m	2.48
larghezza totale base cassone	m	20.00
aletta base m	m	1.00
larghezza b	m	19.00
$\alpha 1$		<b>0.88</b>
$\alpha 2$		<b>0.00</b>
$\alpha 3$		<b>0.81</b>
p1	kPa	<b>92.83</b>
p2	kPa	<b>78.09</b>
p3	kPa	<b>75.24</b>
p4	kPa	<b>75.27</b>

Tabella 2-3 - Calcolo delle spinte in fase di cresta (Goda) per il cassone largo 18 m (sezioni B e B')

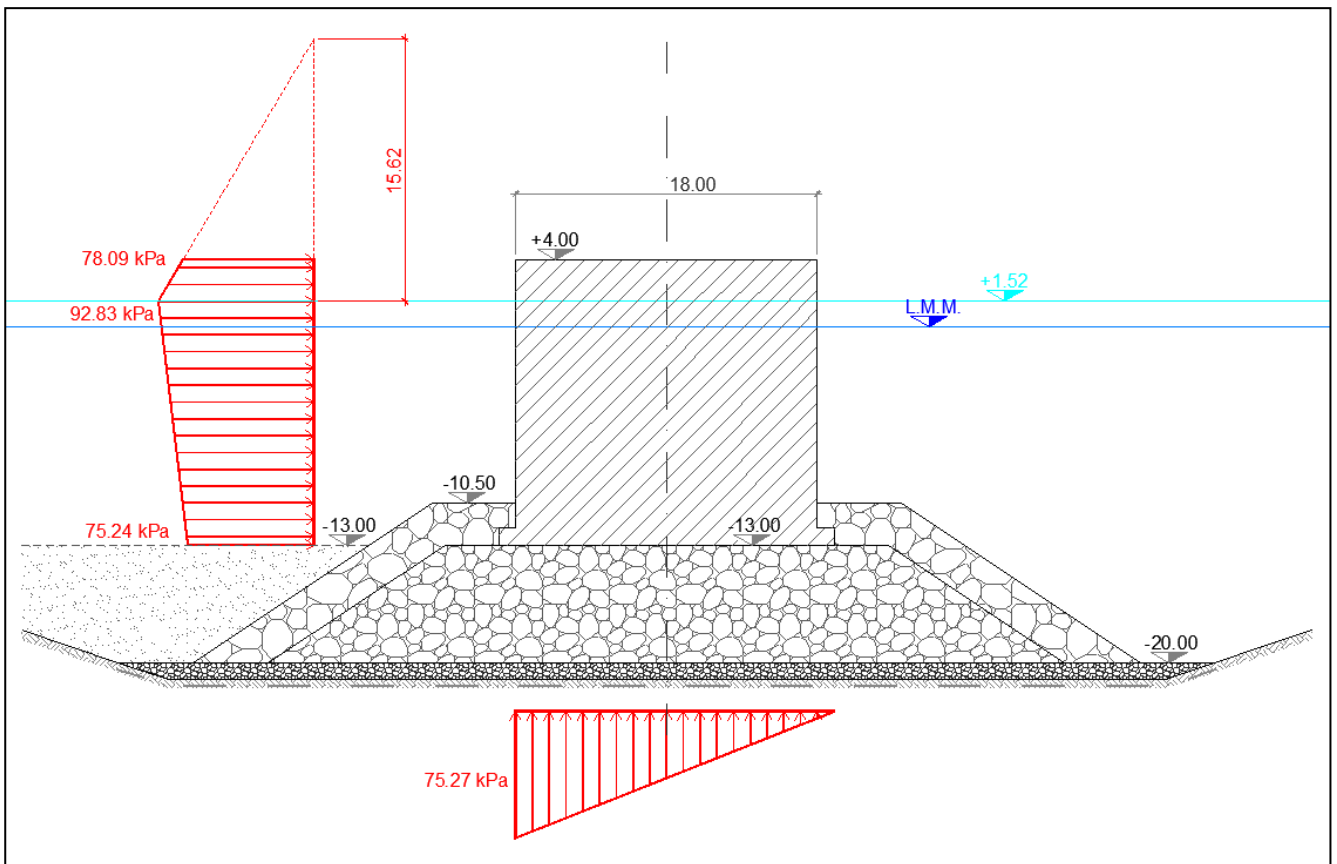


Figura 2.8- Diagramma delle spinte in fase di cresta (Goda) per il cassone largo 18 m (sezioni B e B')



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

### SAINFLOU CAVO

$H_{1/100}$	m	<b>10.54</b>
$\eta'$	m	<b>6.16</b>
profondità dello scanno h (con sovrizzo)	m	12.02
profondità della fondazione h' (con sovrizzo)	m	14.52
quota coronamento	m	4.00
quota coronamento (con sovrizzo)	m	2.48
larghezza totale base cassone	m	20.00
aletta base m	m	1.00
larghezza b	m	19.00
p1	kPa	<b>62.18</b>
p3	kPa	<b>123.03</b>
p4	kPa	<b>116.88</b>

Tabella 2-4 - Calcolo delle spinte in fase di cavo (Sainflou) per il cassone largo 18 m (sezioni B e B')

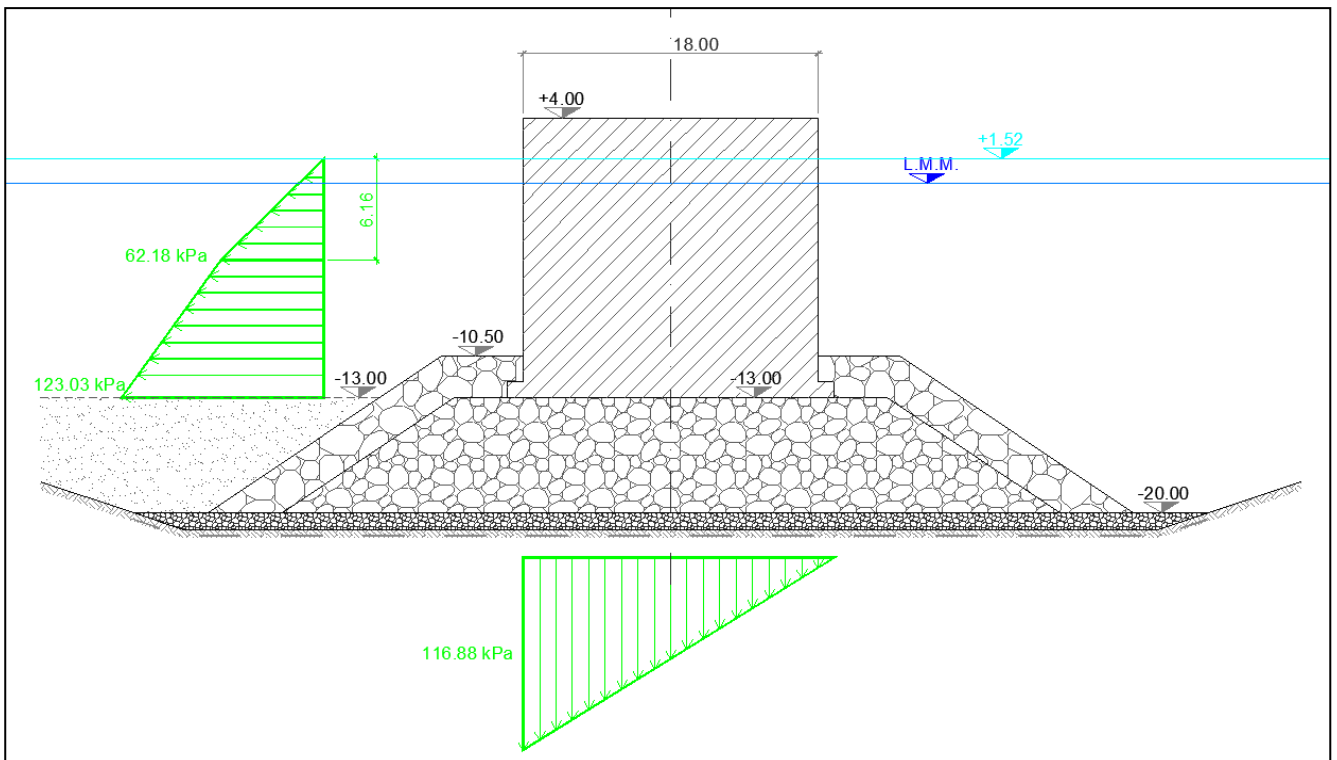


Figura 2.9 - Diagramma delle spinte in fase di cavo (Sainflou) per il cassone largo 18 m (sezioni B e B')

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

GODA CRESTA			
$H_{max}$	m		<b>9.09</b>
$\eta^*$	m		<b>13.64</b>
profondità dello scanno d	m		11.00
profondità dello scanno d (con sovrizzo)	m		12.52
profondità della fondazione h'	m		11.00
profondità della fondazione h' (con sovrizzo)	m		12.52
quota coronamento	m		4.00
quota coronamento (con sovrizzo)	m		2.48
larghezza totale base cassone	m		17.00
aletta base m	m		1.00
larghezza b	m		16.00
$\alpha_1$			<b>0.91</b>
$\alpha_2$			<b>-0.02</b>
$\alpha_3$			<b>0.84</b>
p1	kPa		<b>81.15</b>
p2	kPa		<b>66.39</b>
p3	kPa		<b>67.81</b>
p4	kPa		<b>69.67</b>

Tabella 2-5- Calcolo delle spinte in fase di cresta (Goda) per il cassone largo 15 m (sezione C)

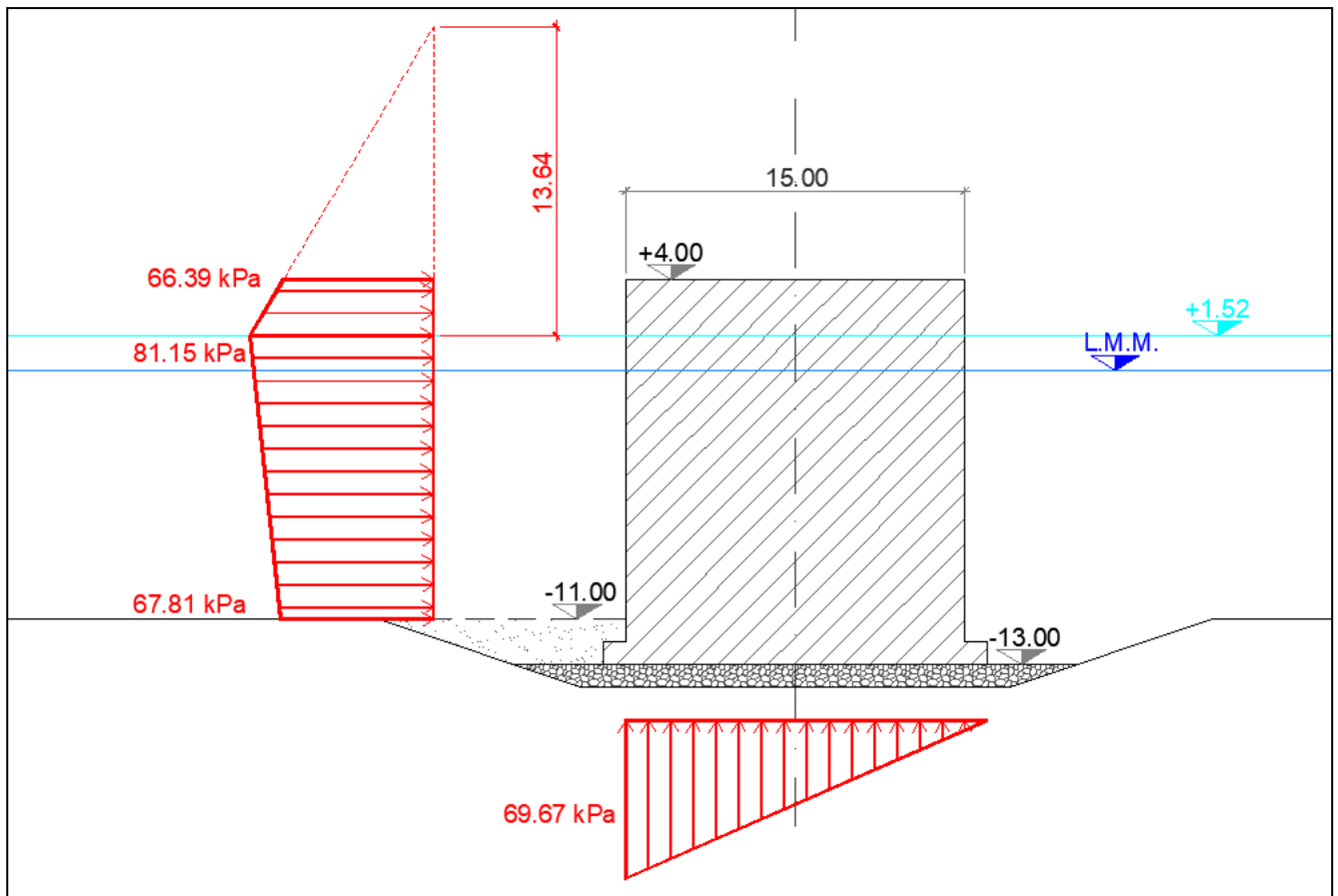


Figura 2.10- Diagramma delle spinte in fase di cresta (Goda) per il cassone largo 18 m (sezione C)

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

### SAINFLOU CAVO

$H_{1/100}$	m	<b>9.20</b>
$\eta'$	m	<b>5.40</b>
profondità dello scanno h (con sovrizzo)	m	12.52
profondità della fondazione h' (con sovrizzo)	m	12.52
quota coronamento	m	4.00
quota coronamento (con sovrizzo)	m	2.48
larghezza totale base cassone	m	17.00
aletta base m	m	1.00
larghezza b	m	16.00
p1	kPa	<b>54.55</b>
p3	kPa	<b>77.66</b>
p4	kPa	<b>73.10</b>

Tabella 2-6 - Calcolo delle spinte in fase di cavo (Sainfrou) per il cassone largo 15 m (sezione C)

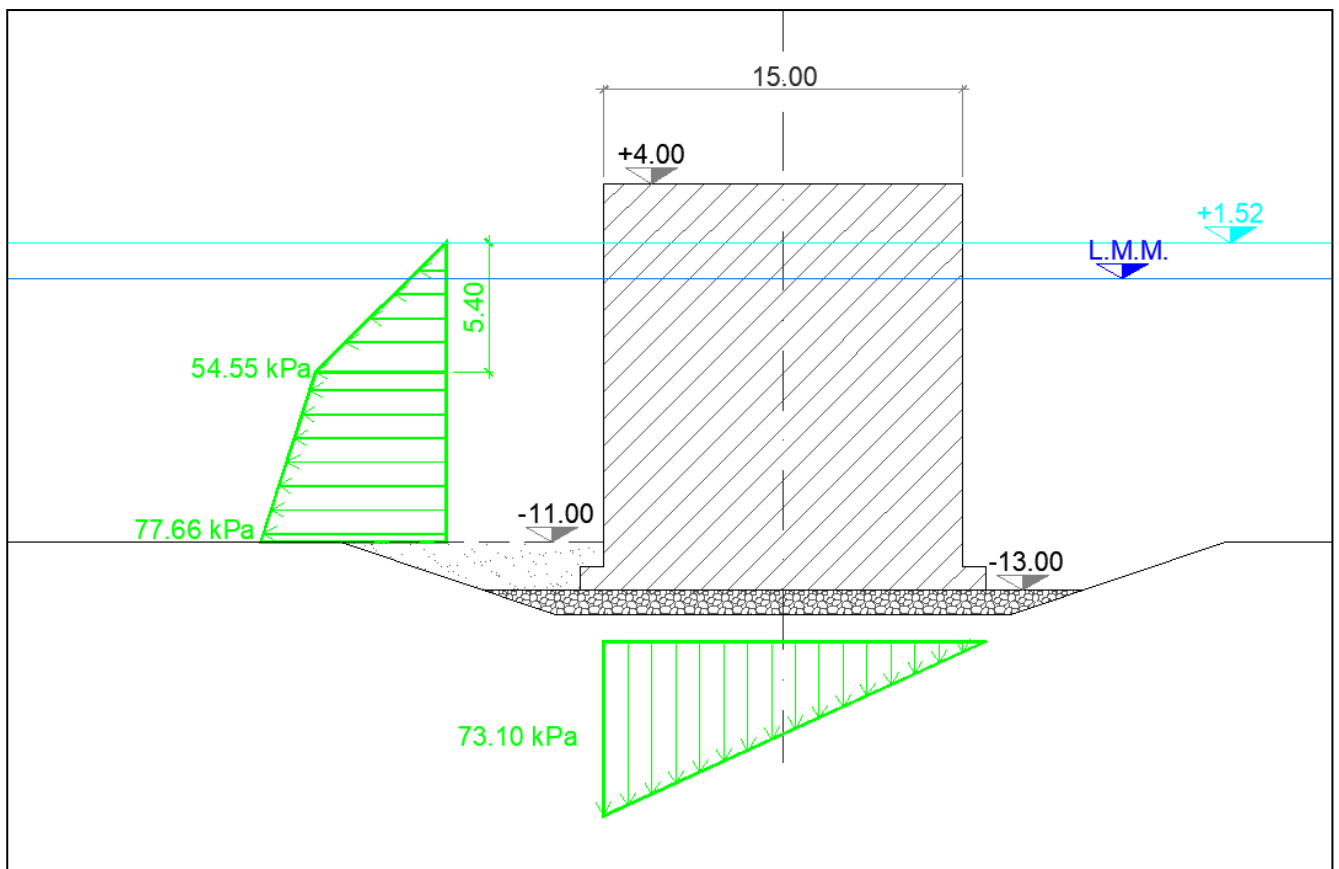


Figura 2.11 - Diagramma delle spinte in fase di cavo (Sainfrou) per il cassone largo 15 m (sezione C)

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

## 2.4 Dimensionamento del muro paraonde

Nel presente paragrafo si riportano i calcoli condotti per il dimensionamento del muro paraonde del tratto della Diga Nord (tratto esterno colmata - corpo d'opera WBS 2b; Figura 2.5). In via preliminare è stato condotto il dimensionamento solamente di questo tratto di muro, che risulta direttamente esposto alle mareggiate di Maestrale.

Il corpo d'opera WBS 2b sarà costituito da una scogliera in massi naturali di IV categoria (da 6.0 a 10.0 t) con pendenza 3:2, imbasata a profondità variabili tra -11.00 m s.m.m. e -7.00 m s.m.m., con quota di coronamento +4.50 m s.m.m.. Per contenere le portate di tracimazione a valori compatibili con la destinazione d'uso dell'opera (accessibile a mezzi e persone) verrà realizzato un muro di coronamento in calcestruzzo avente quota di sommità pari a +5.25 m s.m.m. (sezione tipologica E corrente; Figura 2.12); il muro risulta in parte protetto dalla scogliera (fino a quota +4.50 m s.m.m.). La piattabanda è larga 6 m e ha uno spessore 2.20 m; lato mare verrà realizzato un taglione di altezza pari a 1.3 m per garantire una maggiore stabilità del muro. Nella successiva Tabella 2-7 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento del muro di coronamento della diga Nord esterna colmata (sezione tipologica E corrente).

CORPO D'OPERA WBS 2b – DIGA NORD ESTERNA COLMATA	
Tempo di ritorno $T_{rp}$	224 anni
Tipologia di opera	a gettata (scogliera in massi naturali)
Sezioni tipologiche	SEZ. E (corrente)
Altezza significativa	2.57 m
Periodo di picco	9.27 s
Direzione di provenienza	293°N
Sovralzo	+1.52 m s.m.m.

Tabella 2-7 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD ESTERNA COLMATA

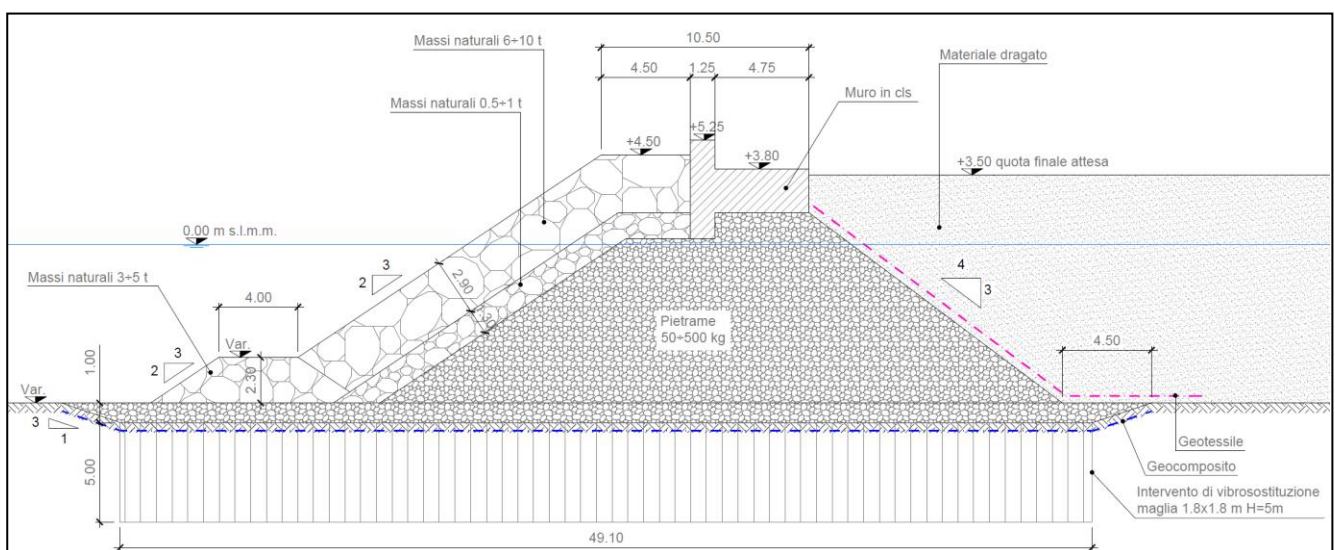


Figura 2.12 - Corpo d'opera WBS 2b - Sezione tipologica E (corrente) DIGA NORD ESTERNA COLMATA

Progetto:  
 Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:  
 Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:  
 OPERE DI PROGETTO  
 1233\_PP-E-002\_0.docx

## 2.5 Calcolo delle spinte agenti sul muro di coronamento

Il calcolo delle spinte agenti sul muro di coronamento della Diga Nord esterna colmata (corpo d'opera WBS 2b) è stato eseguito con riferimento all'approccio proposto da Pedersen, descritto nel precedente paragrafo 2.1.2.

Si è inizialmente proceduto con il calcolo della quota di risalita dell'onda  $R_{u,0.1\%}$  (valore superato dallo 0.1% delle onde della mareggiata) utilizzando le formulazioni di Van del Meer e Stam; i dati utilizzati per il calcolo sono riportati nella successiva Tabella 2-8. Si ottiene un valore della risalita di circa 7.6 m; tuttavia, considerando la limitazione del valore di  $R_{u,0.1\%,max}$ , è stato considerato nei calcoli successivi un valore di 6.63 m.

Di seguito, in Tabella 2-1, si riportano i parametri geometrici di input impiegati per il calcolo delle spinte agenti sul muro di coronamento (spinta orizzontale e sottospinta) e i risultati ottenuti; in **Errore. L'origine r** iferimento non è stata trovata. sono rappresentati i diagrammi di spinta.

$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$T_m$ (s)	Pendenza mantellata	Parametri adimensionali ( $n=0.1\%$ )				$R_{u,0.1\%}$ (m)	$R_{u,0.1,max\%}$ (m)
				a	b		d		
2.57	9.27	8.06	3:2	1.12	1.34	7.57	2.58	7.57	6.63

Tabella 2-8–Valore della risalita dell'onda impiegato per il calcolo delle spinte sul muro di coronamento

DATI DI INPUT									SPINTE/PRESSIONI CALCOLATE			
$R_{ca}$ (m s.m.m.)	$B_a$ (m)	$d_{ca}$ (m)	$d_{c,prot}$ (m)	$V_1$ ( $m^2$ )	$V_2$ ( $m^2$ )	$V$ (adimensionale)	$y$ (m)	$y_{eff}$ (m)	$F_{H,0.1\%}$ (kN/m)	$a$ (m)	$M_{H,0.1\%}$ (kNm/m)	$P_{U,0.1\%}$ (kPa/m)
5.25	4.50	0.75	4.20	20.1	32.0	1	1.80	0.75	121.27	2.72	442.45	36.87

Tabella 2-9 - Parametri di input e spinte/pressioni calcolate per il muro di coronamento

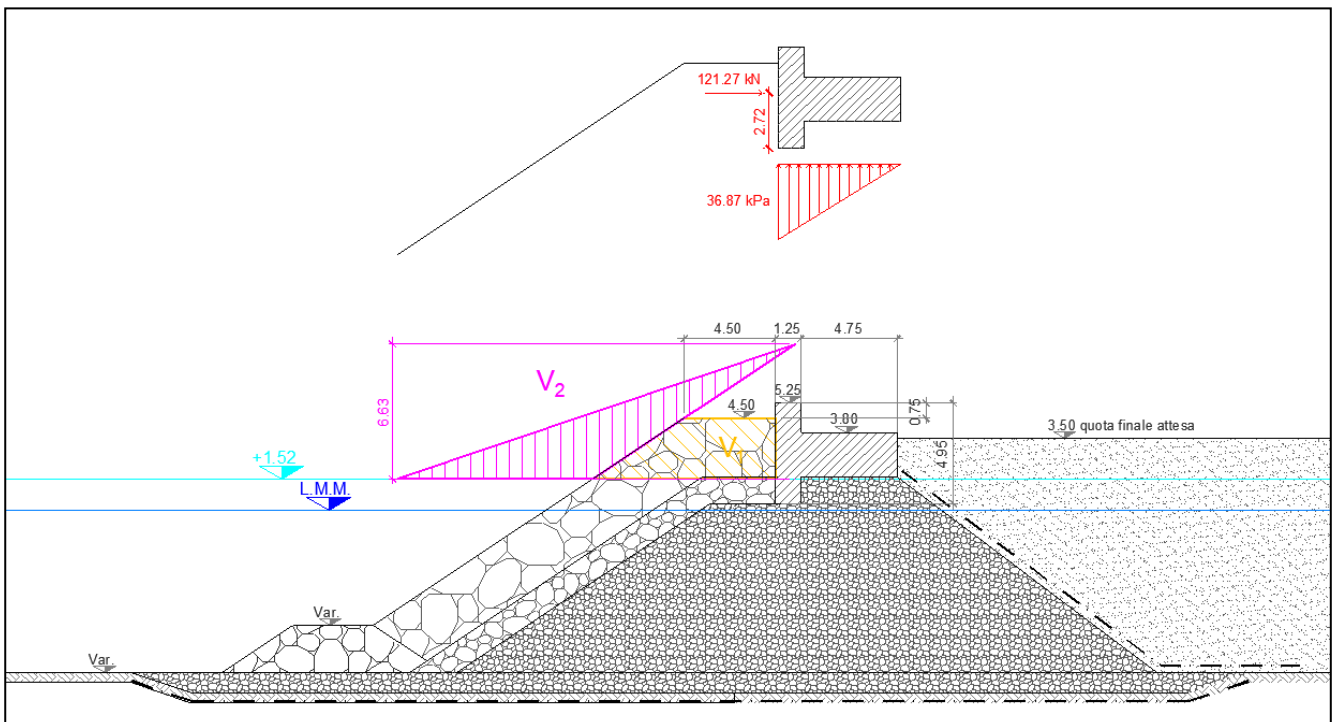


Figura 2.13 - Diagramma delle spinte sul muro paraonde (Pedersen)

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-002_0.docx
--	---	---

## 2.6 Verifiche di stabilità dei cassoni

### 2.6.1 Teoria alla base – Verifiche a ribaltamento e scorrimento

Le verifiche al ribaltamento e alla traslazione sul piano di posa dei cassoni sono state eseguite allo Stato Limite Ultimo secondo quanto previsto dal DM 17.01.2018 “Norme tecniche sulle costruzioni”:

Per la verifica alla traslazione, è stato utilizzato l’Approccio 2 (A1+M1+R3), mentre per la verifica al ribaltamento è stato utilizzato l’approccio EQU+M2, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle seguenti:

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l’effetto delle azioni**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

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

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell’angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell’unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno**

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Tabella 2-10 - Coefficienti parziali per le azioni, per i parametri geotecnici e per le verifiche SLU

Le verifiche sono state condotte per cassoni fondati a -3.50 m s.l.m.m. Di seguito si riporta il calcolo dei pesi e dei carichi comprensivi della spinta e sottospinta idrostatica calcolati rispetto al baricentro del

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-002_0.docx
--	---	---

cassone per la verifica a scorrimento e riportati nel punto O (sullo spigolo della platea di fondazione) per la verifica a ribaltamento. Alla fine sono riportati i fattori di sicurezza ottenuti per le due verifiche, che risultano sempre superiori ai coefficienti di sicurezza imposti da normativa;

Lo scorrimento dell'opera di sostegno avviene nel momento in cui le componenti delle forze parallele al piano di contatto tra fondazione e terreno vincono l'attrito ed eventuale coesione terreno-fondazione e, qualora fosse presente, la frazione della spinta passiva.

Il coefficiente di sicurezza si ottiene dal rapporto tra le forze stabilizzanti e mobilizzanti:

$$\frac{F_{stab}}{F_{mob}} = \frac{(P_C + P_T) \cdot \tan(\delta)}{S_q} > 1.10$$

dove:

- $P_C$  = Forze verticali – Peso del cassone;
- $P_T$  = Forze verticali – Peso del terreno/acqua interni al cassone;
- $S_q$  = componenti delle forze normali al piano di scorrimento – spinta delle onde;
- $\delta$  = coefficiente di attrito terreno-fondazione ( $\tan \delta=0.6$ );

Il ribaltamento consiste nella possibilità di rotazione dell'opera di sostegno attorno ad un centro di rotazione, convenzionalmente preso nel punto più a valle della fondazione. Il coefficiente di sicurezza si ottiene dal rapporto tra i momenti stabilizzanti e quelli ribaltanti:

$$\frac{M_{stab}}{M_{mob}} = \frac{\sum P_C \cdot b_C + \sum P_T \cdot b_T}{\sum S_q \cdot h} > 1.00$$

dove:

- $P_C$  = Forze verticali – Peso del cassone;
- $P_T$  = Forze verticali – Peso del terreno/acqua interni al cassone;
- $b_C, b_T, h$  = relativi bracci delle forze rispetto al punto di rotazione.

$$FS_{scorrimento} = \text{Forze stabilizzanti} / \text{Forze instabilizzanti} \geq 1.1$$

$$FS_{ribaltamento} = \text{Momenti stabilizzanti} / \text{Momenti instabilizzanti} \geq 1$$

## 2.6.2 Teoria alla base – Verifiche a capacità portante

Per il calcolo della capacità portante della fondazione superficiale viene utilizzata la formula di Brinch-Hansen:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma_s B' N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} d_{\gamma} + q' N_q s_q i_q b_q g_q d_q + c' N_c s_c i_c b_c g_c d_c$$

dove:

- $\gamma_s$  : peso di volume del terreno;
- $q'$  : carico agente sul piano di posa della fondazione;
- $c'$  : coesione
- $B' = B - 2e$  : larghezza fittizia della fondazione

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto di fattibilità tecnico economica	OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-002_0.docx

- $B$ : larghezza della fondazione;
- $e = M / N$ : eccentricità del carico;
- $M$ : momento agente sulla fondazione;
- $N$ : sforzo normale agente sulla fondazione;
- $N_\gamma, N_q, N_c$ : fattori di capacità portante;
- $s_\gamma, s_q, s_c$ : fattori di forma della fondazione;
- $i_\gamma, i_q, i_c$ : fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
- $b_\gamma, b_q, b_c$ : fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;
- $g_\gamma, g_q, g_c$ : fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;
- $d_\gamma, d_q, d_c$ : fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa.

Per i fattori  $N_q$  e  $N_c$ , si fa riferimento alle espressioni ricavate da Prandtl e Reissner:

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

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \text{an} \varphi$$

dove  $\varphi$  è l'angolo d'attrito del terreno.

Per  $N_\gamma$ , si fa riferimento all'espressione proposta da Brinch Hansen:

$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan \varphi$$

Per i fattori  $s_\gamma, s_q$  e  $s_c$  si fa riferimento alle seguenti espressioni:

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \frac{B'}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L} \cdot \tan \varphi$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L}$$

dove  $L$  è la lunghezza della fondazione.

Per i fattori  $i_\gamma, i_q$  e  $i_c$ , si fa riferimento alle espressioni di Brinch Hansen:

$$i_\gamma = 1 - \left[ \frac{(0.7 - \beta_2/450) \cdot H}{N + B' \cdot L \cdot c' \cdot \cot \text{an} \varphi} \right]^5$$

$$i_q = 1 - \left[ \frac{0.5 \cdot H}{N + B' \cdot L \cdot c' \cdot \cot \text{an} \varphi} \right]^5$$

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

dove  $\beta_2$  è l'angolo di inclinazione del piano di posa espresso in gradi.

Per quanto riguarda i fattori  $b_\gamma, b_q$  e  $b_c$ , si fa riferimento alle espressioni di Brinch Hansen:



Progetto:  
 Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:  
 Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:  
 OPERE DI PROGETTO  
 1233\_PP-E-002\_0.docx

$$b_\gamma = e^{-2.7 \cdot \beta_2 \cdot \tan \varphi}$$

$$b_q = e^{-2 \cdot \beta_2 \cdot \tan \varphi}$$

$$b_c = 1 - \frac{\beta_2}{147^\circ}$$

Per quanto riguarda i fattori  $g_\gamma$ ,  $g_q$  e  $g_c$ , si fa riferimento alle espressioni di Brinch Hansen:

$$g_\gamma = g_q = (1 - 0.5 \cdot \tan \beta_1)^5$$

$$g_c = 1 - \frac{\beta_1}{147^\circ}$$

dove  $\beta_1$  è l'angolo di inclinazione del piano campagna espresso in gradi.

Per quanto riguarda i fattori  $d_\gamma$ ,  $d_q$  e  $d_c$ , si fa riferimento alle seguenti espressioni:

$$d_\gamma = 1$$

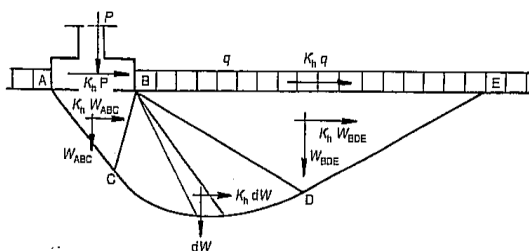
$$d_q = \begin{cases} 1 + 2 \cdot \tan \varphi \cdot (1 - \sin \varphi)^2 \cdot \frac{s}{B'} \\ 1 + 2 \cdot \tan \varphi \cdot (1 - \sin \varphi)^2 \cdot \arctan\left(\frac{s}{B'}\right) \end{cases} \begin{pmatrix} \frac{s}{B'} \leq 1 \\ \frac{s}{B'} > 1 \end{pmatrix}$$

$$d_c = \begin{cases} 1 + 0.4 \cdot \frac{s}{B'} \\ 1 + 0.4 \cdot \arctan\left(\frac{s}{B'}\right) \end{cases} \begin{pmatrix} \frac{s}{B'} \leq 1 \\ \frac{s}{B'} > 1 \end{pmatrix}$$

dove  $s$  è la profondità della fondazione nel terreno.

Per tener conto della riduzione della capacità portante di una fondazione superficiale in condizioni sismiche vengono inoltre considerati i fattori correttivi proposti da Peck e Paolucci:

**Effetti inerziali dovuti al sisma  
 (Paolucci & Pecker, 1995)**



**Effetti inerziali: fattori correttivi z**

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma z_\gamma + c N_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q$$

$$z_c = 1 - 0.32 k_h$$

$$z_\gamma = z_\gamma = \left(1 - \frac{k_h}{\tan \varphi}\right)^{0.35}$$

$$k_h = \frac{\gamma_I \cdot S \cdot a_g}{g}$$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

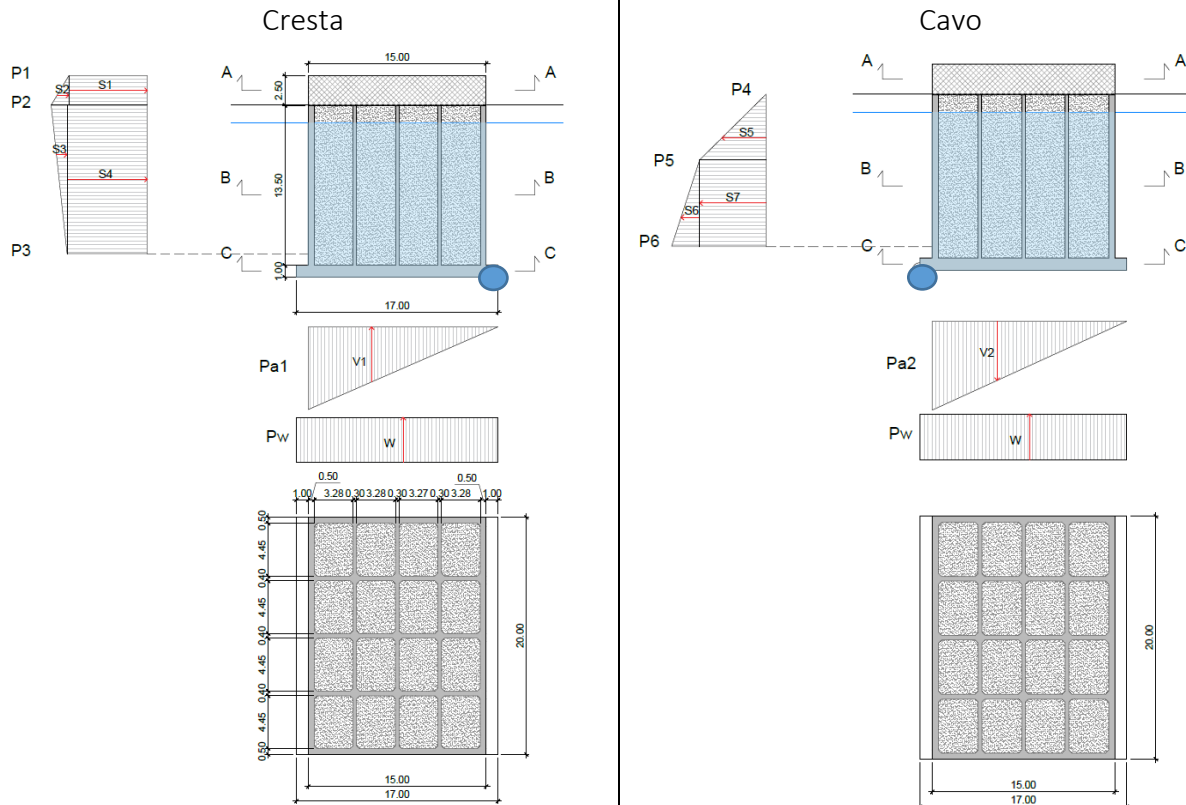
OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

### 2.6.3 Verifiche a ribaltamento e scorrimento

#### 2.6.3.1 WBS1a

Si riporta in seguito le caratteristiche geometriche del cassone della WBS 1a il quale presenta dimensioni in sommità pari a 15x20 m ed un'altezza pari a 17 m. Per una corretta lettura si riportano le nomenclature delle spinte. A favore di sicurezza non si è preso in considerazione la spinta idrastatica opposta all'onda.



wbs1a								
PESI SPECIFICI		GEOMETRIA						
	$\gamma$ [kN/mc]		n°	B [m]	L [m]	A [mq]	H [m]	Vol [mc]
Calcestruzzo	25,00	Struttura			20,00		17,00	
Acqua di mare	10,30	Sez. A-A	1,00	15,00	20,00		2,50	750,00
Cluster	21,00	Sez. B-B	1,00			68,82	13,50	929,07
Cls magro	23,00	Sez. C-C	1,00	17,00	20,00		1,00	340,00
		Cluster	1,00			231,18	13,50	3120,93
		Zavorra	1,00			231,18	0,00	0,00
TERRENO								
$\phi'$ [°]	40,00							
ONDA CRESTA								
				B [m]		A [m]	Quota slmm. [m]	Press. Cresta [kN/mq]
		P1 (quota cresta)					4,00	66,39
		P2 (quota cavo)					1,52	81,15
		P3 (quota alla base)					-11,00	67,81
		Sottop. Pa1		16,00				69,67
		Spinta W				197,00		
ONDA CAVO								
		P5 (quota cavo)					1,52	
		P6 (quota -4,64)					-4,64	54,55
		P7 (quota alla base)					-13,00	77,66
		Sottop. Pa2		16,00				73,10
		Spinta W				197,00		

Figura 2.14 - Cassone WBS1a - Geometria e sollecitazioni

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

CRESTA											
RESISTENZE - R				AZIONI - A				VERIFICHE			
PESI PROPRI E MOMENTI IN o				SPINTE DOVUTE ALL'ONDA				VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R3)			
	P [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]		S [kN/m]	S [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]			
Peso Sez. A-A	18.750,00	8,50	159.375,00	Spinta S1	164,65	3.292,94	13,76	45.310,91	tgφ		0,839
Peso Sez. B-B	23.226,75	8,50	197.427,38	Spinta S2	18,30	366,05	13,35	4.885,52	Resis. R		39.050,76
Peso Sez. C-C	8.500,00	8,50	72.250,00	Spinta S3	83,51	1.670,17	8,35	13.940,34	Azione A		33.463,18
Peso Cluster	65.539,53	8,50	557.086,01	Spinta S4	848,98	16.979,62	6,26	106.292,45	FS		1,17 >1,1
Peso Zavorra	0,00	8,50	0,00			22.308,78		170.429,21			
	116.016,28		986.138,38								
CAVO											
RESISTENZE - R				AZIONI - A				VERIFICHE			
PESI PROPRI E MOMENTI IN o				SPINTE DOVUTE ALL'ONDA				VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R3)			
	P [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]		S [kN/m]	S [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]			
Peso Sez. A-A	18.750,00	8,50	159.375,00	Spinta S5	168,01	3.360,28	10,41	34.991,72	tgφ		0,839
Peso Sez. B-B	23.226,75	8,50	197.427,38	Spinta S6	96,60	1.932,00	2,79	5.383,83	Resis. R		53.081,17
Peso Sez. C-C	8.500,00	8,50	72.250,00	Spinta S7	456,04	9.120,76	4,18	38.124,78	Azione A		21.619,55
Peso Cluster	65.539,53	8,50	557.086,01			14.413,04		78.500,32	FS		2,46 >1,1
Peso Zavorra	0,00	8,50	0,00								
	116.016,28		986.138,38								
CAVO											
RESISTENZE - R				AZIONI - A				VERIFICHE			
PESI PROPRI E MOMENTI IN o				SPINTE DOVUTE ALL'ONDA				VERIFICA A RIBALTAMENTO (EQU+M2)			
	P [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]		S [kN/m]	S [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]			
				(onda) V1	557,36	11147,2	10,67	118.903,47	Resis. M <sub>R</sub>		887.524,54
				(archim) W	2029,1	40582	8,50	344.947,00	Azione M <sub>A</sub>		813.440,72
									FS		1,09 >1

Tabella 2-11 - Cassone WBS1a - verifiche

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

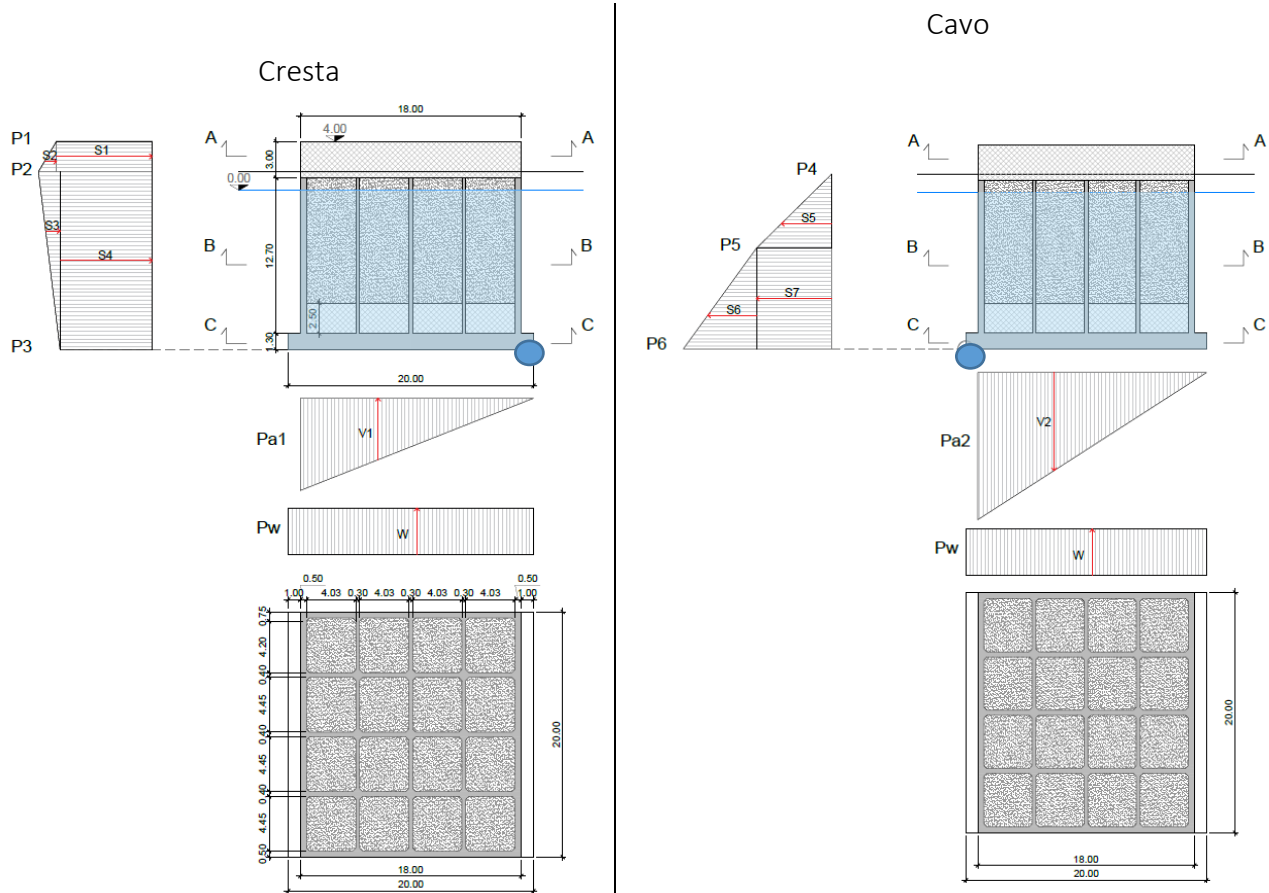
Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

### 2.6.3.2 WBS1b

Si riporta in seguito le caratteristiche geometriche del cassone della WBS 1b il quale presenta dimensioni in sommità pari a 18x20 m ed un'altezza pari a 17 m.



wbs1b							
PESI SPECIFICI		GEOMETRIA					
	$\gamma$ [kN/mc]	n°	B [m]	L [m]	A [mq]	H [m]	Vol [mc]
Calcestruzzo	25,00	Struttura		20,00		17,00	
Acqua di mare	10,30	Sez. A-A	1,00	18,00	20,00	3,00	1080,00
Cluster $\gamma_{sat}$	21,00	Sez. B-B	1,00			12,70	957,83
Cl. magro	23,00	Sez. C-C	1,00	20,00	20,00	1,30	520,00
		Cluster	1,00			10,20	2902,72
		Zavorra	1,00			2,50	711,45
TERRENO							
$\phi'$ [°]	40,00						
ONDA CRESTA							
			B [m]		A [m]	Quota slmm.	Press. Cresta [kN/mq]
						4,00	78,09
						1,52	92,83
						-13,00	75,24
			19,00				75,27
					236,00		
ONDA CAVO							
						1,52	
						-4,64	62,18
						-13,00	123,03
			19,00				122,39
					236,00		

Figura 2.15 - Cassone WBS1b - Geometria e sollecitazioni

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

CRESTA											
RESISTENZE - R				AZIONI - A				VERIFICHE			
PESI PROPRI E MOMENTI IN o				SPINTE DOVUTE ALL'ONDA				VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R3)			
	P [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]		S [kN/m]	S [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]	tgφ		
Peso Sez. A-A	27.000,00	10,00	270.000,00	Spinta S1	193,66	3.873,26	15,76	61.042,64	Resis. R	0,839	
Peso Sez. B-B	23.945,85	10,00	239.458,50	Spinta S2	18,28	365,55	15,35	5.610,00	Azione A	47.504,36	
Peso Sez. C-C	13.000,00	10,00	130.000,00	Spinta S3	127,70	2.554,07	9,68	24.723,38			
Peso Cluster	60.957,04	10,00	609.570,36	Spinta S4	1.092,48	21.849,70	7,26	158.628,79	FS	1,11	>1,1
Peso Zavorra	16.363,35	10,00	163.633,50			28.642,58		250.004,82			
	141.266,24		1.412.662,36								
CAVO											
RESISTENZE - R				AZIONI - A				VERIFICHE			
PESI PROPRI E MOMENTI IN o				SPINTE DOVUTE ALL'ONDA				VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R3)			
	P [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]		S [kN/m]	S [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]	tgφ		
Peso Sez. A-A	27.000,00	10,00	270.000,00	Spinta S5	191,51	3.830,29	10,41	39.886,07	Resis. R	0,839	
Peso Sez. B-B	23.945,85	10,00	239.458,50	Spinta S6	254,35	5.087,06	2,79	14.175,94	Azione A	65.504,68	
Peso Sez. C-C	13.000,00	10,00	130.000,00	Spinta S7	519,82	10.396,50	4,18	43.457,35	FS	2,26	>1,1
Peso Cluster	60.957,04	10,00	609.570,36			19.313,84		97.519,36			
Peso Zavorra	16.363,35	10,00	163.633,50								
	141.266,24		1.412.662,36								
CAVO											
RESISTENZE - R				AZIONI - A				VERIFICHE			
PESI PROPRI E MOMENTI IN o				SPINTE DOVUTE ALL'ONDA				VERIFICA A SCORRIMENTO (A1+M1+R3)			
	P [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]		S [kN/m]	S [kN]	B <sub>o</sub> [m]	M <sub>o</sub> [kNm]	tgφ		
Peso Sez. A-A	27.000,00	10,00	270.000,00	(onda) V1	715,07	14.301,30	12,67	181.149,80	Resis. MR	1.271.396,12	
Peso Sez. B-B	23.945,85	10,00	239.458,50	(archim) W	2430,8	48.616,00	10,00	486.160,00	Azione MA	1.181.507,92	
Peso Sez. C-C	13.000,00	10,00	130.000,00						FS	1,08	>1
Peso Cluster	60.957,04	10,00	609.570,36								
Peso Zavorra	16.363,35	10,00	163.633,50								
	141.266,24		1.412.662,36								

Tabella 2-12 - Cassone WBS1b - verifiche

#### 2.6.4 Verifiche a capacità portante

La capacità portante dei cassoni viene calcolata sulle condizioni di cresta, utilizzando le seguenti sollecitazioni:

WBS1a			WBS1b		
CRESTA			CRESTA		
SLE			SLE		
P [kN]		M <sub>o</sub> [kNm]	P [kN]		M <sub>o</sub> [kNm]
64.287,08		119.151,15	78.348,94		212.711,28
SLU			SLU		
P [kN]		M <sub>o</sub> [kNm]	P [kN]		M <sub>o</sub> [kNm]
110.239,16		216.441,88	135.030,11		356.782,09

Tabella 2-13 - Sollecitazioni agenti alla base della fondazione

In seguito si riportano le verifiche effettuate su WBS1a e WBS1b

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

VERIFICA CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONI SUPERFICIALI		
Ultimo aggiornamento 29/07/2019		
<b>PROGETTO</b>	1233_Porto Livorno	
<b>LIVELLO DI PROGETTAZIONE</b>	Progetto preliminare	
<b>J.N.</b>	1233	
<b>DATA</b>	07/11/2019	
<b>DESCRIZIONE</b>	WBS1a	
GEOMETRIA FONDAZIONE		
<b>TIPO DI FONDAZIONE :</b>	<input type="text" value="1"/>	<b>P</b>
(1) Plinto / Platea		
(2) Trave		
<b>L</b> (lato maggiore fondazione)	<input type="text" value="20"/>	m
<b>B</b> (lato minore fondazione)	<input type="text" value="17"/>	m
<b>H</b> (altezza fondazione)	<input type="text" value="1"/>	m
<b>l</b> (lato maggiore dado)	<input type="text" value="0"/>	m
<b>b</b> (lato minore dado)	<input type="text" value="0"/>	m
<b>h1</b> (altezza dado)	<input type="text" value="0"/>	m
<b>D</b> (altezza terreno stabilizzante)	<input type="text" value="0"/>	m
$\gamma_{fon}$ (peso specifico fondazione)	<input type="text" value="25"/>	kN/mc
$\gamma_{terr}$ (peso spec. terreno sopra fond.)	<input type="text" value="18"/>	kN/mc
$\alpha$ (angolo inclinazione fondazione>0)	<input type="text" value="0"/>	°
$\beta$ (angolo inclinazione pendio>0)	<input type="text" value="0"/>	°
$a_g/g$ (accelerazione sismica orizz.)		
<b>S</b> (coeff. stratigrafico)		
<b>Punto Applicazione forze esterne</b>	<input type="text" value="1"/>	
(1) Forze applicate a quota H+h1 - P1		
(2) Forze applicate a quota fondo scavo - P2		
Braccio Forze esterne	<input type="text" value="1,0"/>	m
Volume cls fondazione	<input type="text" value="340"/>	mc
Volume terreno sopra fondazione	<input type="text" value="0"/>	mc
P.P.1 peso proprio fondazione (k)	<input type="text" value="8500"/>	kN
P.P.2 peso proprio terreno sopra fondazione (k)	<input type="text" value="0"/>	kN
P.P.1 + P.P.2	<input type="text" value="8500"/>	kN
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEL TERRENO		
<b>QUOTA FALDA DA P.C.</b>		
<b>hw</b> (quota falda da p.c. >0)	<input type="text" value="0"/>	m
<b>TERRENO TIPO 1</b>		
$\gamma_{k1}$ (peso specifico naturale terreno)	<input type="text" value="18"/>	kN/mc
<b>TERRENO TIPO 2</b>		
$d_2$ (spessore strato)	<input type="text" value="10"/>	m
$\phi'_{k2}$ (angolo di attrito)	<input type="text" value="26"/>	°
$c'_{k2}$ (coesione efficace)	<input type="text" value="46"/>	kPa
$C_{u,k2}$ (coesione non drenata)	<input type="text" value="0"/>	kPa
$\gamma_{k2}$ (peso specifico naturale)	<input type="text" value="19"/>	kN/mc
<b>G</b> (modulo di elasticità trasversale)	<input type="text" value="4615"/>	kPa
<b>TERRENO TIPO 3</b>		
$\phi'_{k3}$ (angolo di attrito)	<input type="text" value="23"/>	°
$c'_{k3}$ (coesione efficace)	<input type="text" value="12"/>	kPa
$C_{u,k3}$ (coesione non drenata)	<input type="text" value="0"/>	kPa
$\gamma_{k3}$ (peso specifico naturale)	<input type="text" value="17"/>	kN/mc
<b>G</b> (modulo di elasticità trasversale)	<input type="text" value="2692"/>	kPa
<b>TERRENO EQUIVALENTE DA MEDIA PESATA</b> $H_{cuneo}$ 13,6 m $\phi'_{k,eq}$ 25 ° $c'_{k,eq}$ 36,994774 kPa $C_{u,k,eq}$ 0 kPa $\gamma_{k,eq}$ 18 kN/mc <b>G</b> 4106 kPa		
TIPO DI VERIFICA		
<b>TIPO DI VERIFICA</b>	<input type="text" value="1"/>	$\Rightarrow$
(1) Drenata	DRENATA	
(2) Non Drenata		
<b>FORMULA PER IL CALCOLO DI <math>N_y</math></b>	<input type="text" value="2"/>	
(1) Meyerhof (1963)	BRINCH - HANSEN	
(2) Brinch - Hansen (1970)		
(3) Vesic (1975)		
(4) Spangler - Handy (1982)		
<b>FATTORI CORRETTIVI</b>	<input type="text" value="2"/>	
(1) Meyerhof (1963)	BRINCH - HANSEN	
(2) Brinch - Hansen (1970)		
(3) Vesic (1970)		
<b>VERIFICA IN DIREZIONE</b>	<input type="text" value="1"/>	
(1) Y (Momento $M_{xx}$ e forza $F_Y // B$ )	B	
(2) X (Momento $M_{yy}$ e forza $F_X // L$ )		
<b>VERIFICA DRENATA: PRESSIONE EFFICACE</b> $\phi'_{k,eq}$ 25,205421 ° $c'_{k,eq}$ 36,994774 kPa $C_{u,k,eq}$ 0 kPa $D \cdot \gamma$ 0 kPa contributo peso stabilizzante $\gamma$ 8,5 kN/mc contributo forze di attrito		
<b>RIEPILOGO VERIFICHE:</b> (1) D.M. 17/01/2018		
	$q_d$ (kPa)	$q_{max}$ (kPa)
(4) A1+M1+R3	589	345
(4) A1+M1+R3	583	581
		verifica
		<b>SI</b>
		<b>SI</b>
<b>N.B. Nelle verifiche non drenate utilizzare i coeff. di Brinch - Hansen</b>		

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

**CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE (D.M. 17/01/2018)**

<b>PROGETTO</b>	1233_Porto Livorno				<b>(1) SLE - RARA</b>
<b>LIVELLO DI PROGETTAZIONE</b>	Progetto preliminare				
<b>J.N.</b>	1233				
<b>DATA</b>	07/11/2019				
<b>DESCRIZIONE</b>	WBS1a				
<b>NORMATIVA</b>	(1) D.M. 17/01/2018				
<b>COMBINAZIONE</b>	(1) SLE - RARA		<b>OK</b>		

---

**COMBINAZIONI E CARICHI DI PROGETTO**

<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	1	D.M.14/01/2008 D.M.17/01/2018	X . . . . .	(1) SLE - RARA	Metodo TA D.M.11/03/1988
(1) D.M. 17/01/2018				(2) A1+M1+R1	Approccio 1 comb. 1 D.M.14/01/2008
(2) EUROCODE 7 (UNI EN 1997-1:2005)				(3) A2+M2+R2	Approccio 1 comb. 2 D.M.14/01/2008
				(4) A1+M1+R3	Approccio 2 D.M.17/01/2018 e D.M.14/01/2008
				(5) SISMA	
<b>COMBINAZIONE</b>	1	EC7		(11) A1+M1+R1	Approccio 1 comb. 1
				(12) A2+M2+R1	Approccio 1 comb. 2
				(13) A1+M1+R2	Approccio 2
				(14) A1+M2+R3	Approccio 3
				(15) SISMA	

---

Tipo di carico	D.M.17/01/2018					EUROCODE 7 (UNI EN 1997-1:2005)			
	SLE	A1	A2	SISMA		A1	A2	SISMA	
Pesi propri	1	1,3	1	1		1,35	1	1	
Permanenti strutturali	1	1,3	1	1		1,35	1	1	
Permanenti non strutturali	1	1,5	1,3	1		1,35	1	1	
Variabili	1	1,5	1,3	1		1,5	1,3	1	

---

Parametri terreno	SLE	M1	M2	SISMA	M1	M2	SISMA
	tan φ (angolo di attrito)	1	1	1,25	1	1	1,25
c' (coesione apparente)	1	1	1,25	1	1	1,25	1,25
Cu (resistenza non drenata)	1	1	1,4	1	1	1,4	1,4

---

Resistenze	SLE	R1	R2	R3	SISMA	R1	R2	R3	SISMA
	Capacità portante	3	1	1,8	2,3	2,3	1	1,4	1
Scorrimento	1,5	1,5	1,1	1,1	1,1	1	1,1	1	1

---

**CARICHI DI PROGETTO**

<b>INSERIMENTO CARICHI</b>	2			
(1) CARICHI CARATTERISTICI				
(2) CARICHI COMBINATI DI PROGETTO				

**CARICHI CARATTERISTICI**

	Gk	Qk
N [kN]	0	0
Fy [kN]	0	0
Mx [kNm]	0	0
Fx [kNm]	0	0
My [kNm]	0	0

**CARICHI DI PROGETTO (Gd+Qd)**  
**INSERIRE CARICHI!!!**

	Gd + Qd
N [kN]	64.287
Fy [kN]	0
Mx [kNm]	119.151
Fx [kNm]	0
My [kNm]	0

**SOLLECITAZIONI DI PROGETTO**

p.p.fond. + p.p.ter. (k) [kN]	8.500
p.p.fond. + p.p.ter. (d) [kN]	8.500
N <sub>d</sub> [kN]	64.287
Fy <sub>d</sub> [kN]	0
Mx <sub>d</sub> [kNm]	119.151
Fx <sub>d</sub> [kN]	0
My <sub>d</sub> [kNm]	0

**SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLA BASE**

N <sub>tot</sub> [kN]	72.787
Fy <sub>tot</sub> [kN]	0
Mx <sub>tot</sub> [kNm]	119.151
Fx <sub>tot</sub> [kN]	0
My <sub>tot</sub> [kNm]	0
ex = Mx / N <sub>tot</sub> (lungo lato B)	1,64
REAGENTE	2,83
ey = My / N <sub>tot</sub> (lungo lato L)	0,00
REAGENTE	3,33

**TENSIONE VERT. LUNGO LATO 'B'**

**TENSIONE VERT. LUNGO LATO 'L'**

---

**VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE**

<b>PARAMETRI DI RESISTENZA CARATTERISTICI</b>				
φ <sub>k,eq</sub> (angolo di attrito) [°]	25			
c' <sub>k,eq</sub> (coesione apparente) [kPa]	37			
Cu <sub>k,eq</sub> (coesione non drenata) [kPa]	0			
<b>PARAMETRI DI RESISTENZA DI PROGETTO</b>				
φ <sub>d</sub> (angolo di attrito) [°]	25			
c' <sub>d</sub> (coesione apparente) [kPa]	37			
Cu <sub>d</sub> (coesione non drenata) [kPa]	0			
<b>FATTORI CAPACITA' PORTANTE</b>				
Nc PRANDTL (1921)	21,04			
Nq PRANDTL (1921)	10,91			
Nγ	7,00			
<b>TIPO DI FONDAZIONE</b>	1	P		
<b>TIPO DI VERIFICA</b>	1	DRENATA		
<b>CALCOLO DI N<sub>y</sub></b>	2	BRINCH - HANSEN		
<b>FATTORI CORRETTIVI</b>	2	BRINCH - HANSEN		
<b>DIREZIONE DI CALCOLO</b>	1	B		
<b>FATTORI SISMICI</b>	2	NO		
<b>PUNZONAMENTO</b>				
Ir (indice di rigidezza)	58	⇒	Fattori di punzonamento = 1	
Icr (indice critico)	50			
<b>FORMULA GENERALE :</b>				
$q_{ult} = c N_{c,c} s_{i,c} d_b g_c z_c \Psi_c + q N_{q,q} s_{i,q} d_b g_c z_q \Psi_q + \frac{1}{2} B \gamma N_{\gamma,\gamma} s_{i,\gamma} d_b g_\gamma z_\gamma \Psi_\gamma$				
<b>FATTORI CORRETTIVI</b>				
Fattori forma	BRINCH - HANSEN	⇒	S <sub>c</sub> 1,36	S <sub>q</sub> 1,32
Fattori inclinazione carico	BRINCH - HANSEN	⇒	I <sub>c</sub> 1,00	I <sub>q</sub> 1,00
Fattori di approfondimento	BRINCH - HANSEN	⇒	D <sub>c</sub> 1,00	D <sub>q</sub> 1,00
Fattori inclinazione fondazione	BRINCH - HANSEN	⇒	B <sub>c</sub> 1,00	B <sub>q</sub> 1,00
Fattori inclinazione p.c.	BRINCH - HANSEN	⇒	G <sub>c</sub> 1,00	G <sub>q</sub> 1,00
Fattori sismici	PAOLUCCI E PECKER	⇒	Z <sub>c</sub> 1,00	Z <sub>q</sub> 1,00
Fattori di punzonamento	VESIC	⇒	Ψ <sub>c</sub> 1,00	Ψ <sub>q</sub> 1,00

---

(A) Componente per coesione - Nc [kPa]	1.055	⇒				
(B) Componente per sovracc. - Nq [kPa]	0		<b>q<sub>ult</sub> (A+B+C)</b>	1.350 kPa		
(C) Componente per attrito - Nγ [kPa]	295		<b>q<sub>d</sub> (q<sub>ult</sub>/FS)</b>	450 kPa		
			<b>Q<sub>ult</sub> (q<sub>ult</sub> x B' x L')</b>	370.694 kN		
			<b>Q<sub>d</sub> (Q<sub>ult</sub>/FS)</b>	123.565 kN		

---

<b>q<sub>d</sub> (q<sub>ult</sub>/FS)</b>	=	450 kPa	>	q <sub>max</sub> =	338 kPa	VERIFICA CAP. PORTANTE SODDISFATTA
<b>τ<sub>d</sub> (τ<sub>ult</sub>/FS)</b>	=	67 kPa	>	τ <sub>max</sub> =	0 kPa	VERIFICA SCORRIMENTO SODDISFATTA

La verifica SLE risulta soddisfatta in quanto q<sub>max</sub>=450 > q<sub>d</sub>=338 kPa

R.T.P.: F&M Ingegneria SpA – Haskoning DHV Nederland B.V. – HS Marine Srl – G&T Srl

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE (D.M. 17/01/2018)

PROGETTO 1233\_Porto Livorno
LIVELLO DI PROGETTAZIONE Progetto preliminare
J.N. 1233
DATA 07/11/2019
DESCRIZIONE WBS1a
NORMATIVA (1) D.M. 17/01/2018
COMBINAZIONE (4) A1+M1+R3 OK

(4) A1+M1+R3

COMBINAZIONI E CARICHI DI PROGETTO

NORMATIVA DI RIFERIMENTO 1
(1) D.M. 17/01/2018
(2) EUROCODE 7 (UNI EN 1997-1:2005)

D.M.14/01/2008

- (1) SLE - RARA Metodo TA D.M.11/03/1988
(2) A1+M1+R1 Approccio 1 comb. 1 D.M.14/01/2008
(3) A2+M2+R2 Approccio 1 comb. 2 D.M.14/01/2008
(4) A1+M1+R3 Approccio 2 D.M.17/01/2018 e D.M.14/01/2008
(5) SISMA
(11) A1+M1+R1 Approccio 1 comb. 1
(12) A2+M2+R1 Approccio 1 comb. 2
(13) A1+M1+R2 Approccio 2
(14) A1+M2+R3 Approccio 3
(15) SISMA

COMBINAZIONE 4

EC7

Table with 4 columns: Tipo di carico, SLE, A1, A2, SISMA, A1, A2, SISMA. Rows include Pesì propri, Permanenti strutturali, Permanenti non strutturali, Variabili.

Table with 4 columns: Parametri terreno, SLE, M1, M2, SISMA, M1, M2, SISMA. Rows include tan phi, c', Cu.

Table with 4 columns: Resistenze, SLE, R1, R2, R3, SISMA, R1, R2, R3, SISMA. Rows include Capacità portante, Scorrimento.

CARICHI DI PROGETTO

INSERIMENTO CARICHI 2
(1) CARICHI CARATTERISTICI
(2) CARICHI COMBINATI DI PROGETTO

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

p.p fond. + p.p ter. (k) [kN] 8.500
p.p fond. + p.p ter. (d) [kN] 11.050
Nd [kN] 110.239
Fyd [kN] 0
Mxd [kNm] 216.441
Fxd [kN] 0
Myd [kNm] 0

SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLA BASE

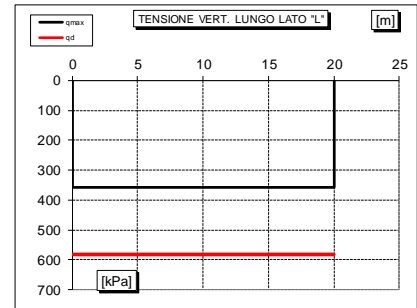
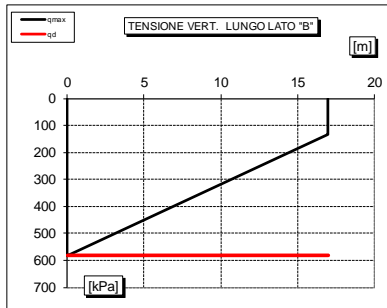
Ntot [kN] 121.289
Fy tot [kN] 0
Mx tot [kNm] 216441
Fx tot [kN] 0
My tot [kNm] 0
ex = Mx / Ntot (lungo lato B) 1,78
REAGENTE 2,83
ey = My / Ntot (lungo lato L) 0,00
REAGENTE 3,33

CARICHI CARATTERISTICI

Table with 2 columns: Gk, Qk. Rows include N, Fy, Mx, Fx, My.

CARICHI DI PROGETTO (Gd+Qd)

Table with 2 columns: Gd + Qd. Rows include N, Fy, Mx, Fx, My.



VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE

PARAMETRI DI RESISTENZA CARATTERISTICI
phi\_k,eq (angolo di attrito) [°] 25
c\_k,eq (coesione apparente) [kPa] 37
Cu\_k,eq (coesione non drenata) [kPa] 0

PARAMETRI DI RESISTENZA DI PROGETTO
phi\_d (angolo di attrito) [°] 25
c'\_d (coesione apparente) [kPa] 37
Cu\_d (coesione non drenata) [kPa] 0

FATTORI CAPACITA' PORTANTE
Nc PRANDTL (1921) 21,04
Nq PRANDTL (1921) 10,91
Ny 7,00

TIPO DI FONDAZIONE 1 P
TIPO DI VERIFICA 1 DRENATA
CALCOLO DI Ny 2 BRINCH - HANSEN
FATTORI CORRETTIVI 2 BRINCH - HANSEN
DIREZIONE DI CALCOLO 1 B
FATTORI SISMICI 2 NO
PUNZONAMENTO
Ir (indice di rigidezza) 58 => Fattori di punzonamento = 1
Icr (indice critico) 50
FORMULA GENERALE:
qult = cNs\_i d\_i b\_i g\_i z\_i Psi\_c + qNs\_i d\_i b\_i g\_i z\_i Psi\_q + 1/2 B gamma Ns\_i d\_i b\_i g\_i z\_i Psi\_gamma

FATTORI CORRETTIVI
Fattori di forma BRINCH - HANSEN => Sc 1,35 Sq 1,32 Sy 0,73
Fattori inclinazione carico BRINCH - HANSEN => Ic 1,00 Ia 1,00 If 1,00
Fattori di approfondimento BRINCH - HANSEN => Dc 1,00 Da 1,00 Df 1,00
Fattori inclinazione fondazione BRINCH - HANSEN => Bc 1,00 Bq 1,00 Bf 1,00
Fattori inclinazione p.c. BRINCH - HANSEN => Gc 1,00 Gq 1,00 Gf 1,00
Fattori sismici PAOLUCCI E PECKER => Zc 1,00 Zq 1,00 Zy 1,00
Fattori di punzonamento VESIC => Psi\_c 1,00 Psi\_q 1,00 Psi\_gamma 1,00

(A) Componente per coesione - Nc [kPa] 1.049
(B) Componente per sovracc - Nq [kPa] 0
(C) Componente per attrito - Ny [kPa] 291
Quit (A+B+C) 1.340 kPa
qd (Quit/FS) 583 kPa
Quit (Quit x B x L) 360.053 kN
Qd (Quit/FS) 156.545 kN

qd (Quit/FS) = 583 kPa > qmax = 581 kPa VERIFICA CAP. PORTANTE SODDISFATTA
tau\_d (tauult/FS) = 153 kPa > tau\_max = 0 kPa VERIFICA SCORRIMENTO SODDISFATTA

La verifica SLU risulta soddisfatta in quanto q\_max=583 > q\_d=581 kPa

R.T.P.: F&M Ingegneria SpA - Haskoning DHV Nederland B.V. - HS Marine Srl - G&T Srl



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

Ultimo aggiornamento 29/07/2019

## VERIFICA CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONI SUPERFICIALI

**PROGETTO** 1233\_Porto Livorno  
**LIVELLO DI PROGETTAZIONE** Progetto preliminare  
**J.N.** 1233  
**DATA** 07/11/2019  
**DESCRIZIONE** WBS1b

### GEOMETRIA FONDAZIONE

**TIPO DI FONDAZIONE :**  **P**  
 (1) Plinto / Platea  
 (2) Trave

L (lato maggiore fondazione)	<input type="text" value="20"/>	m
B (lato minore fondazione)	<input type="text" value="20"/>	m
H (altezza fondazione)	<input type="text" value="1,3"/>	m
l (lato maggiore dado)	<input type="text" value="0"/>	m
b (lato minore dado)	<input type="text" value="0"/>	m
h1 (altezza dado)	<input type="text" value="0"/>	m
D (altezza terreno stabilizzante)	<input type="text" value="2,5"/>	m
$\gamma_{fon}$ (peso specifico fondazione)	<input type="text" value="25"/>	kN/mc
$\gamma_{terr}$ (peso spec. terreno sopra fond.)	<input type="text" value="18"/>	kN/mc
$\alpha$ (angolo inclinazione fondazione>0)	<input type="text" value="0"/>	°
$\beta$ (angolo inclinazione pendio>0)	<input type="text" value="0"/>	°
$a_g/g$ (accelerazione sismica orizz.)		
S (coeff. stratigrafico)		

**Punto Applicazione forze esterne**   
 (1) Forze applicate a quota H+h1 - P1  
 (2) Forze applicate a quota fondo scavo - P2

Braccio Forze esterne	<input type="text" value="1,3"/>	m
Volume cls fondazione	<input type="text" value="520"/>	mc
Volume terreno sopra fondazione	<input type="text" value="480"/>	mc
P.P.1 peso proprio fondazione (k)	<input type="text" value="13000"/>	kN
P.P.2 peso proprio terreno sopra fondazione (k)	<input type="text" value="8640"/>	kN
P.P.1 + P.P.2	<input type="text" value="21640"/>	kN

### PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI DEL TERRENO

**QUOTA FALDA DA P.C.**  
**hw** (quota falda da p.c. >0)  m

**TERRENO TIPO 1**  
 $\gamma_{k1}$  (peso specifico naturale terreno)  kN/mc

**TERRENO TIPO 2**  
 $d_2$  (spessore strato)  m  
 $\phi'_{k2}$  (angolo di attrito)  °  
 $c'_{k2}$  (coesione efficace)  kPa  
 $C_{u,k2}$  (coesione non drenata)  kPa  
 $\gamma_{k2}$  (peso specifico naturale)  kN/mc  
 $G$  (modulo di elasticità trasversale)  kPa

**TERRENO TIPO 3**  
 $\phi'_{k3}$  (angolo di attrito)  °  
 $c'_{k3}$  (coesione efficace)  kPa  
 $C_{u,k3}$  (coesione non drenata)  kPa  
 $\gamma_{k3}$  (peso specifico naturale)  kN/mc  
 $G$  (modulo di elasticità trasversale)  kPa

**SEZIONE FONDAZIONE**

**TERRENO EQUIVALENTE DA MEDIA PESATA**

$H_{cuneo}$	<input type="text" value="16,0"/>	m
$\phi_{k,eq}$	<input type="text" value="25"/>	°
$c'_{k,eq}$	<input type="text" value="33"/>	kPa
$C_{u,k,eq}$	<input type="text" value="0"/>	kPa
$\gamma_{k,eq}$	<input type="text" value="18"/>	kN/mc
G	<input type="text" value="3894"/>	kPa

### TIPO DI VERIFICA

**TIPO DI VERIFICA**  ⇒  
 (1) Drenata DRENATA  
 (2) Non Drenata

**FORMULA PER IL CALCOLO DI  $N_y$**    
 (1) Meyerhof (1963) BRINCH - HANSEN  
 (2) Brinch - Hansen (1970)  
 (3) Vesic (1975)  
 (4) Spangler - Handy (1982)

**FATTORI CORRETTIVI**   
 (1) Meyerhof (1963) BRINCH - HANSEN  
 (2) Brinch - Hansen (1970)  
 (3) Vesic (1970)

**VERIFICA IN DIREZIONE**   
 (1) Y (Momento Mxx e forza FY // B)  
 (2) X (Momento Myy e forza FX // L)

**VERIFICA DRENATA: PRESSIONE EFFICACE**

$\phi_{k,eq}$	<input type="text" value="24,874608"/>	°
$c'_{k,eq}$	<input type="text" value="33,245558"/>	kPa
$C_{u,k,eq}$	<input type="text" value="0"/>	kPa
D - $\gamma$	<input type="text" value="20"/>	kPa
$\gamma$	<input type="text" value="8,2"/>	kN/mc

contributo peso stabilizzante  
 contributo forze di attrito

**RIEPILOGO VERIFICHE:**  
 (1) D.M. 17/01/2018

	qd (kPa)	qmax (kPa)	verifica
(4) A1+M1+R3	<input type="text" value="703"/>	<input type="text" value="426"/>	<b>SI</b>
(4) A1+M1+R3	<input type="text" value="698"/>	<input type="text" value="675"/>	<b>SI</b>

N.B. Nelle verifiche non drenate utilizzare i coeff. di Brinch - Hansen

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

**CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE (D.M. 17/01/2018)**

**PROGETTO** 1233\_Porto Livorno  
**LIVELLO DI PROGETTAZIONE** Progetto preliminare  
**J.N.** 1233  
**DATA** 07/11/2019  
**DESCRIZIONE** WBS1b  
**NORMATIVA** (1) D.M. 17/01/2018  
**COMBINAZIONE** (1) SLE - RARA **OK**

**(1) SLE - RARA**

**COMBINAZIONI E CARICHI DI PROGETTO**

**NORMATIVA DI RIFERIMENTO** **1**  
 (1) D.M. 17/01/2018  
 (2) EUROCODE 7 (UNI EN 1997-1:2005)

**COMBINAZIONE** **1**

D.M.14/01/2008  
 D.M.17/01/2018  
 EC7

X  
 (1) SLE - RARA  
 (2) A1+M1+R1  
 (3) A2+M2+R2  
 (4) A1+M1+R3  
 (5) SISMA  
 (11) A1+M1+R1  
 (12) A2+M2+R1  
 (13) A1+M1+R2  
 (14) A1+M2+R3  
 (15) SISMA

Metodo TA D.M.11/03/1988  
 Approccio 1 comb. 1 D.M.14/01/2008  
 Approccio 1 comb. 2 D.M.14/01/2008  
 Approccio 2 D.M.17/01/2018 e D.M.14/01/2008  
 Approccio 1 comb. 1  
 Approccio 1 comb. 2  
 Approccio 2  
 Approccio 3

Tipo di carico	D.M.17/01/2018					EUROCODE 7 (UNI EN 1997-1:2005)		
	SLE	A1	A2	SISMA		A1	A2	SISMA
Pesi propri	1	1,3	1	1		1,35	1	1
Permanenti strutturali	1	1,3	1	1		1,35	1	1
Permanenti non strutturali	1	1,5	1,3	1		1,35	1	1
Variabili	1	1,5	1,3	1		1,5	1,3	1

Parametri terreno	SLE	M1	M2	SISMA	M1	M2	SISMA
	tan φ (angolo di attrito)	1	1	1,25	1	1	1,25
c' (coesione apparente)	1	1	1,25	1	1	1,25	1,25
Cu (resistenza non drenata)	1	1	1,4	1	1	1,4	1,4

Resistenze	SLE	R1	R2	R3	SISMA	R1	R2	R3	SISMA
	Capacità portante	3	1	1,8	2,3	2,3	1	1,4	1
Scorrimento	1,5	1	1,1	1,1	1,1	1	1,1	1	1

**CARICHI DI PROGETTO**

**INSERIMENTO CARICHI** **2**  
 (1) CARICHI CARATTERISTICI  
 (2) CARICHI COMBINATI DI PROGETTO

**SOLLECITAZIONI DI PROGETTO**

p.p fond. + p.p ter. (k) [kN] 21.640  
 p.p fond. + p.p ter. (d) [kN] 21.640  
 N<sub>d</sub> [kN] 78.348  
 F<sub>yd</sub> [kN] 0  
 M<sub>xd</sub> [kNm] 212.711  
 F<sub>xd</sub> [kN] 0  
 M<sub>yd</sub> [kNm] 0

**SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLA BASE**

N<sub>tot</sub> [kN] 99.988  
 F<sub>y tot</sub> [kN] 0  
 M<sub>x tot</sub> [kNm] 212711  
 F<sub>x tot</sub> [kN] 0  
 M<sub>y tot</sub> [kNm] 0  
 ex = M<sub>x</sub> / N<sub>tot</sub> (lungo lato B) 2,13  
 REAGENTE 3,33  
 ey = M<sub>y</sub> / N<sub>tot</sub> (lungo lato L) 0,00  
 REAGENTE 3,33

**CARICHI CARATTERISTICI**

	G <sub>k</sub>	Q <sub>k</sub>
N [kN]	0	0
F <sub>y</sub> [kN]	0	0
M <sub>x</sub> [kNm]	0	0
F <sub>x</sub> [kN]	0	0
M <sub>y</sub> [kNm]	0	0

**CARICHI DI PROGETTO (Gd+Qd)**  
**INSERIRE CARICHI!!!**

	G <sub>d</sub> + Q <sub>d</sub>
N [kN]	78.348
F <sub>y</sub> [kN]	0
M <sub>x</sub> [kNm]	212.711
F <sub>x</sub> [kN]	0
M <sub>y</sub> [kNm]	0

**TENSIONE VERT. LUNGO LATO "B"**

**TENSIONE VERT. LUNGO LATO "L"**

**VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE**

PARAMETRI DI RESISTENZA CARATTERISTICI	VALORE
φ <sub>k,eq</sub> (angolo di attrito) [°]	25
c' <sub>k,eq</sub> (coesione apparente) [kPa]	33
c <sub>u,k,eq</sub> (coesione non drenata) [kPa]	0

PARAMETRI DI RESISTENZA DI PROGETTO	VALORE
φ <sub>d</sub> (angolo di attrito) [°]	25
c' <sub>d</sub> (coesione apparente) [kPa]	33
c <sub>u,d</sub> (coesione non drenata) [kPa]	0

FATTORI CAPACITA' PORTANTE	VALORE
N <sub>c</sub> PRANDTL (1921)	20,55
N <sub>q</sub> PRANDTL (1921)	10,53
N <sub>γ</sub>	6,63

**TIPO DI FONDAZIONE** 1 P  
**TIPO DI VERIFICA** 1 DRENATA  
**CALCOLO DI N<sub>y</sub>** 2 BRINCH - HANSEN  
**FATTORI CORRETTIVI** 2 BRINCH - HANSEN  
**DIREZIONE DI CALCOLO** 1 B  
**FATTORI SISMICI** 2 NO  
**PUNZIONAMENTO**  
 I<sub>r</sub> (indice di rigidezza) 48 ⇒ Fattori di punzonamento = 1  
 I<sub>cr</sub> (indice critico) 43  
**FORMULA GENERALE:**  

$$q_{ult} = cN_{s,c}i_d b_c g_c z_c \Psi_c + qN_{s,i}i_d b_i g_i z_i \Psi_i + \frac{1}{2} B \gamma N_{s,i} i_d b_i g_i z_i \Psi_i$$

FATTORI CORRETTIVI	VALORE	FATTORI CORRETTIVI	VALORE	FATTORI CORRETTIVI	VALORE			
Fattori di forma	BRINCH - HANSEN	⇒	S <sub>c</sub>	1,40	S <sub>q</sub>	1,37	S <sub>y</sub>	0,69
Fattori inclinazione carico	BRINCH - HANSEN	⇒	I <sub>c</sub>	1,00	I <sub>q</sub>	1,00	I <sub>y</sub>	1,00
Fattori di approfondimento	BRINCH - HANSEN	⇒	D <sub>c</sub>	1,05	D <sub>q</sub>	1,07	D <sub>y</sub>	1,00
Fattori inclinazione fondazione	BRINCH - HANSEN	⇒	B <sub>c</sub>	1,00	B <sub>q</sub>	1,00	B <sub>y</sub>	1,00
Fattori inclinazione p.c.	BRINCH - HANSEN	⇒	G <sub>c</sub>	1,00	G <sub>q</sub>	1,00	G <sub>y</sub>	1,00
Fattori sismici	PAOLUCCI E PECKER	⇒	Z <sub>c</sub>	1,00	Z <sub>q</sub>	1,00	Z <sub>y</sub>	1,00
Fattori di punzonamento	VESIC	⇒	Ψ <sub>c</sub>	1,00	Ψ <sub>q</sub>	1,00	Ψ <sub>y</sub>	1,00

(A) Componente per coesione - N <sub>c</sub> [kPa]	VALORE	q <sub>ult</sub> (A+B+C)	VALORE
1.007		1.609 kPa	
(B) Componente per sovracc - N <sub>q</sub> [kPa]	307	q <sub>d</sub> (q <sub>ult</sub> /FS)	536 kPa
(C) Componente per attrito - N <sub>γ</sub> [kPa]	295	q <sub>ult</sub> (q <sub>ult</sub> x B' x L')	506.669 kN
		q <sub>d</sub> (q <sub>ult</sub> /FS)	168.890 kN

**q<sub>d</sub> (q<sub>ult</sub>/FS) = 536 kPa > q<sub>max</sub> = 410 kPa VERIFICA CAP. PORTANTE SODDISFATTA**  
**τ<sub>d</sub> (τ<sub>ult</sub>/FS) = 77 kPa > τ<sub>max</sub> = 0 kPa VERIFICA SCORRIMENTO SODDISFATTA**

La verifica SLE risulta soddisfatta in quanto q<sub>max</sub>=536 > q<sub>d</sub>=410 kPa

R.T.P.: F&M Ingegneria SpA – Haskoning DHV Nederland B.V. – HS Marine Srl – G&T Srl

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE (D.M. 17/01/2018)																																									
<b>PROGETTO</b>	1233_Porto Livorno			<b>(4) A1+M1+R3</b>																																					
<b>LIVELLO DI PROGETTAZIONE</b>	Progetto preliminare																																								
<b>J.N.</b>	1233																																								
<b>DATA</b>	07/11/2019																																								
<b>DESCRIZIONE</b>	WBS1b																																								
<b>NORMATIVA</b>	(1) D.M. 17/01/2018																																								
<b>COMBINAZIONE</b>	(4) A1+M1+R3 <span style="color: red;">OK</span>																																								
COMBINAZIONI E CARICHI DI PROGETTO																																									
<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	1	D.M.14/01/2008			<ul style="list-style-type: none"> <li>· (1) SLE - RARA Metodo TA D.M.11/03/1988</li> <li>· (2) A1+M1+R1 Approccio 1 comb. 1 D.M.14/01/2008</li> <li>· (3) A2+M2+R2 Approccio 1 comb. 2 D.M.14/01/2008</li> <li>· <b>X</b> (4) A1+M1+R3 Approccio 2 D.M.17/01/2018 e D.M.14/01/2008</li> <li>· (5) SISMA</li> </ul>																																				
(1) D.M. 17/01/2018																																									
(2) EUROCODE 7 (UNI EN 1997-1:2005)		EC7			<ul style="list-style-type: none"> <li>· (11) A1+M1+R1 Approccio 1 comb. 1</li> <li>· (12) A2+M2+R1 Approccio 1 comb. 2</li> <li>· (13) A1+M1+R2 Approccio 2</li> <li>· (14) A1+M2+R3 Approccio 3</li> <li>· (15) SISMA</li> </ul>																																				
<b>COMBINAZIONE</b>	4																																								
D.M.14/01/2008																																									
<b>Tipo di carico</b>		<b>SLE</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>SISMA</b>		<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>SISMA</b>																																
Pesi propri	1,3	1	1,3	1	1		1,35	1	1																																
Permanenti strutturali	1,3	1	1,3	1	1		1,35	1	1																																
Permanenti non strutturali	1,5	1	1,5	1,3	1		1,35	1	1																																
Variabili	1,5	1	1,5	1,3	1		1,5	1,3	1																																
EUROCODE 7 (UNI EN 1997-1:2005)																																									
<b>Parametri terreno</b>		<b>SLE</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>SISMA</b>		<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>SISMA</b>																																
tan φ (angolo di attrito)	1	1	1	1,25	1		1	1,25	1,25																																
c' (coesione apparente)	1	1	1	1,25	1		1	1,25	1,25																																
Cu (resistenza non drenata)	1	1	1	1,4	1		1	1,4	1,4																																
Resistenze																																									
<b>Capacità portante</b>	2,3	<b>SLE</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>SISMA</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>SISMA</b>																															
Scorrimento	1,1	1,5	1	1,1	1,1	1,1	1	1,1	1	1																															
CARICHI DI PROGETTO																																									
<b>INSERIMENTO CARICHI</b>	2	<b>CARICHI CARATTERISTICI</b>				<b>CARICHI DI PROGETTO (Gd+Qd)</b>																																			
(1) CARICHI CARATTERISTICI		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gk</th> <th>Qk</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N [kN]</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Fy [kN]</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Mx [kNm]</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Fx [kNm]</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>My [kNm]</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>					Gk	Qk	N [kN]	0	0	Fy [kN]	0	0	Mx [kNm]	0	0	Fx [kNm]	0	0	My [kNm]	0	0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gd + Qd</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N [kN]</td> <td style="text-align: center;">135.030</td> </tr> <tr> <td>Fy [kN]</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Mx [kNm]</td> <td style="text-align: center;">356.782</td> </tr> <tr> <td>Fx [kNm]</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>My [kNm]</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> </tbody> </table>					Gd + Qd	N [kN]	135.030	Fy [kN]	0	Mx [kNm]	356.782	Fx [kNm]	0	My [kNm]	0		
	Gk					Qk																																			
N [kN]	0					0																																			
Fy [kN]	0					0																																			
Mx [kNm]	0					0																																			
Fx [kNm]	0	0																																							
My [kNm]	0	0																																							
	Gd + Qd																																								
N [kN]	135.030																																								
Fy [kN]	0																																								
Mx [kNm]	356.782																																								
Fx [kNm]	0																																								
My [kNm]	0																																								
(2) CARICHI COMBINATI DI PROGETTO																																									
<b>SOLLECITAZIONI DI PROGETTO</b>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>p.p fond. + p.p ter. (k)</td> <td style="text-align: right;">21.640</td> </tr> <tr> <td>p.p fond. + p.p ter. (d)</td> <td style="text-align: right;">28.132</td> </tr> <tr> <td>N<sub>d</sub> [kN]</td> <td style="text-align: right;">135.030</td> </tr> <tr> <td>Fy<sub>d</sub> [kN]</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>Mx<sub>d</sub> [kNm]</td> <td style="text-align: right;">356.782</td> </tr> <tr> <td>Fx<sub>d</sub> [kN]</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>My<sub>d</sub> [kNm]</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> </tbody> </table>				p.p fond. + p.p ter. (k)	21.640	p.p fond. + p.p ter. (d)	28.132	N <sub>d</sub> [kN]	135.030	Fy <sub>d</sub> [kN]	0	Mx <sub>d</sub> [kNm]	356.782	Fx <sub>d</sub> [kN]	0	My <sub>d</sub> [kNm]	0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>N<sub>tot</sub> [kN]</td> <td style="text-align: right;">163.162</td> </tr> <tr> <td>Fy<sub>tot</sub> [kN]</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>Mx<sub>tot</sub> [kNm]</td> <td style="text-align: right;">356.782</td> </tr> <tr> <td>Fx<sub>tot</sub> [kN]</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>My<sub>tot</sub> [kNm]</td> <td style="text-align: right;">0</td> </tr> <tr> <td>ex = Mx / N<sub>tot</sub> (lungo lato B)</td> <td style="text-align: right;">2,19</td> </tr> <tr> <td><b>REAGENTE</b></td> <td style="text-align: right; color: red;">3,33</td> </tr> <tr> <td>ey = My / N<sub>tot</sub> (lungo lato L)</td> <td style="text-align: right;">0,00</td> </tr> <tr> <td><b>REAGENTE</b></td> <td style="text-align: right; color: red;">3,33</td> </tr> </tbody> </table>				N <sub>tot</sub> [kN]	163.162	Fy <sub>tot</sub> [kN]	0	Mx <sub>tot</sub> [kNm]	356.782	Fx <sub>tot</sub> [kN]	0	My <sub>tot</sub> [kNm]	0	ex = Mx / N <sub>tot</sub> (lungo lato B)	2,19	<b>REAGENTE</b>	3,33	ey = My / N <sub>tot</sub> (lungo lato L)	0,00	<b>REAGENTE</b>	3,33
p.p fond. + p.p ter. (k)	21.640																																								
p.p fond. + p.p ter. (d)	28.132																																								
N <sub>d</sub> [kN]	135.030																																								
Fy <sub>d</sub> [kN]	0																																								
Mx <sub>d</sub> [kNm]	356.782																																								
Fx <sub>d</sub> [kN]	0																																								
My <sub>d</sub> [kNm]	0																																								
N <sub>tot</sub> [kN]	163.162																																								
Fy <sub>tot</sub> [kN]	0																																								
Mx <sub>tot</sub> [kNm]	356.782																																								
Fx <sub>tot</sub> [kN]	0																																								
My <sub>tot</sub> [kNm]	0																																								
ex = Mx / N <sub>tot</sub> (lungo lato B)	2,19																																								
<b>REAGENTE</b>	3,33																																								
ey = My / N <sub>tot</sub> (lungo lato L)	0,00																																								
<b>REAGENTE</b>	3,33																																								
<b>SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLA BASE</b>																																									
VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE																																									
<b>PARAMETRI DI RESISTENZA CARATTERISTICI</b>					<b>TIPO DI FONDAZIONE</b>																																				
φ <sub>k,eq</sub> (angolo di attrito) [°]	25				1	P																																			
c' k <sub>eq</sub> (coesione apparente) [kPa]	33				<b>TIPO DI VERIFICA</b>																																				
C <sub>u, k,eq</sub> (coesione non drenata) [kPa]	0				1	DRENATA																																			
<b>PARAMETRI DI RESISTENZA DI PROGETTO</b>					<b>CALCOLO DI N<sub>y</sub></b>																																				
φ <sub>d</sub> (angolo di attrito) [°]	25				2	BRINCH - HANSEN																																			
c' d (coesione apparente) [kPa]	33				<b>FATTORI CORRETTIVI</b>																																				
C <sub>u, d</sub> (coesione non drenata) [kPa]	0				2	BRINCH - HANSEN																																			
<b>FATTORI CAPACITA' PORTANTE</b>					<b>DIREZIONE DI CALCOLO</b>																																				
Nc PRANDTL (1921)	20,55				1	B																																			
Nq PRANDTL (1921)	10,53				<b>FATTORI SISMICI</b>																																				
Nγ	6,63				2	NO																																			
<b>FATTORI CORRETTIVI</b>					<b>PUNZIONAMENTO</b>																																				
Fattori di forma	BRINCH - HANSEN ⇒ Sc 1,40				Ir (indice di rigidezza)	48 ⇒ Fattori di punzonamento = 1																																			
Fattori inclinazione carico	BRINCH - HANSEN ⇒ Ic 1,00				Icr (indice critico)	43																																			
Fattori di approfondimento	BRINCH - HANSEN ⇒ Dc 1,05				<b>FORMULA GENERALE :</b>																																				
Fattori inclinazione fondazione	BRINCH - HANSEN ⇒ Bc 1,00				$q_{ult} = c N_{s,c} i_d d_c b_c g_c z_c \Psi_c + q N_{s,q} i_d d_q b_q g_q z_q \Psi_q + \frac{1}{2} B' \gamma N_{s,\gamma} i_d b' g' z' \Psi_\gamma$																																				
Fattori inclinazione p.c.	BRINCH - HANSEN ⇒ Gc 1,00																																								
Fattori sismici	PAOLUCCI E PECKER ⇒ Zc 1,00																																								
Fattori di punzonamento	VESIC ⇒ Ψc 1,00																																								
(A) Componente per coesione - Nc [kPa]	1.005				<b>q<sub>ult</sub> (A+B+C)</b> <span style="float: right;">1.605 kPa</span>																																				
(B) Componente per sovracc - Nq [kPa]	306				<b>q<sub>d</sub> (q<sub>ult</sub>/FS)</b> <span style="float: right;">698 kPa</span>																																				
(C) Componente per attrito - Nγ [kPa]	294				<b>Q<sub>ult</sub> (q<sub>ult</sub> x B' x L')</b> <span style="float: right;">501.599 kN</span>																																				
					<b>Q<sub>d</sub> (Q<sub>ult</sub>/FS)</b> <span style="float: right;">218.086 kN</span>																																				
					$q_d (q_{ult}/FS) = 698 \text{ kPa} > q_{max} = 675 \text{ kPa}$																																				
					$\tau_d (\tau_{ult}/FS) = 172 \text{ kPa} > \tau_{max} = 0 \text{ kPa}$																																				
					VERIFICA CAP. PORTANTE SODDISFATTA																																				
					VERIFICA SCORRIMENTO SODDISFATTA																																				

La verifica SLU risulta soddisfatta in quanto q<sub>max</sub>=698 > q<sub>d</sub>=675 kPa

R.T.P.: F&M Ingegneria SpA – Haskoning DHV Nederland B.V. – HS Marine Srl – G&T Srl

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

## 2.7 Calcolo dei cedimenti

Il calcolo dei cedimenti dei cassoni è stato eseguito in stato piano di deformazione mediante l'utilizzo del software Plaxis 2D 2019.

### 2.7.1 Fasi

- Fase iniziale
- Azzeramento
- Scavo
- Azzeramento
- Realizzazione dello scanno
- Vibrosostituzione
- Azzeramento
- Realizzazione della scogliera
- Posa dei cassoni
- Completamento della scogliera
- Applicazione del sovraccarico ( $q = 20 \text{ kPa}$ )

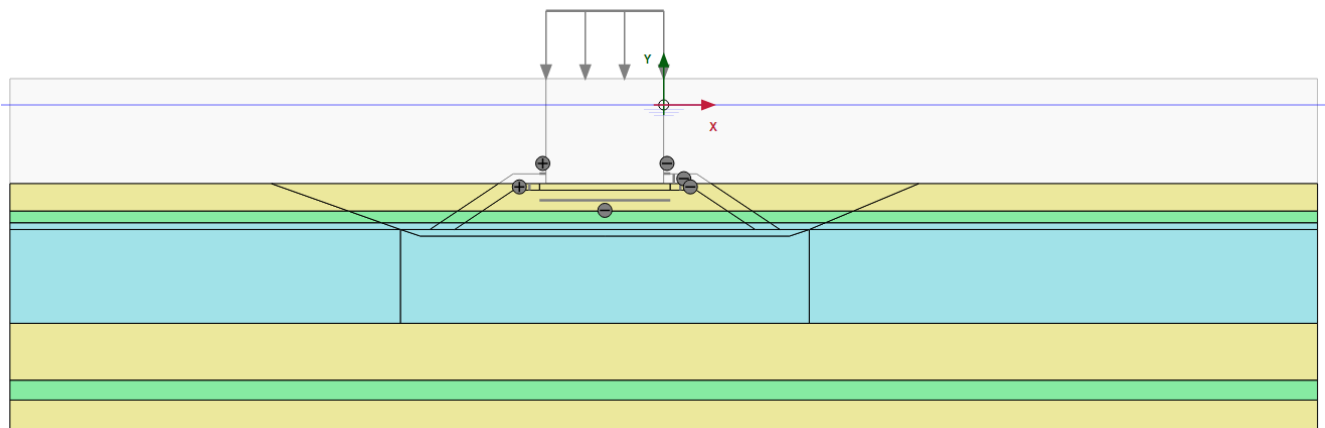


Figura 2.16 - WBS 1 - Fase iniziale.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

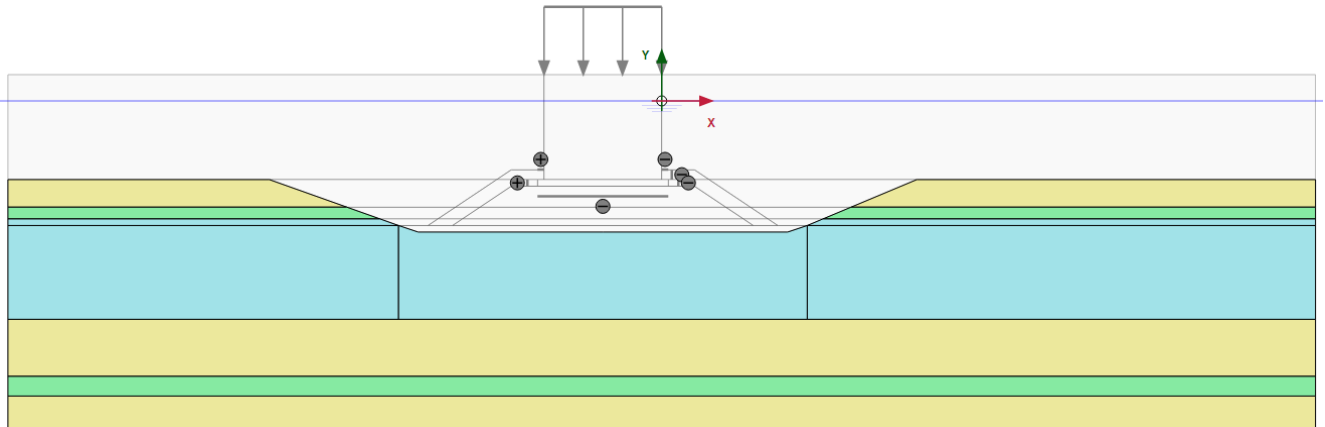


Figura 2.17 - WBS 1 - Scavo.

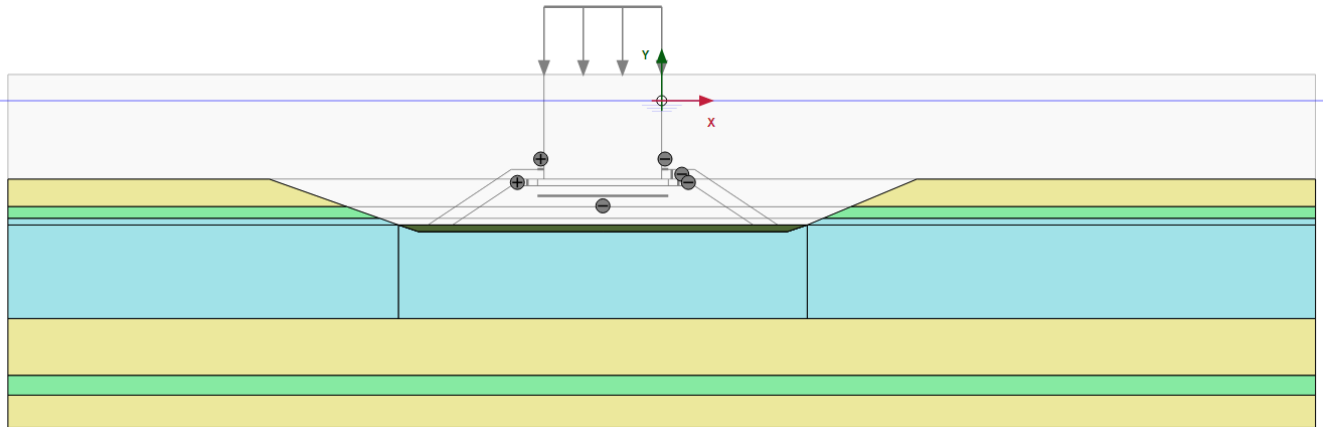


Figura 2.18 - WBS 1 - Realizzazione dello scanno.

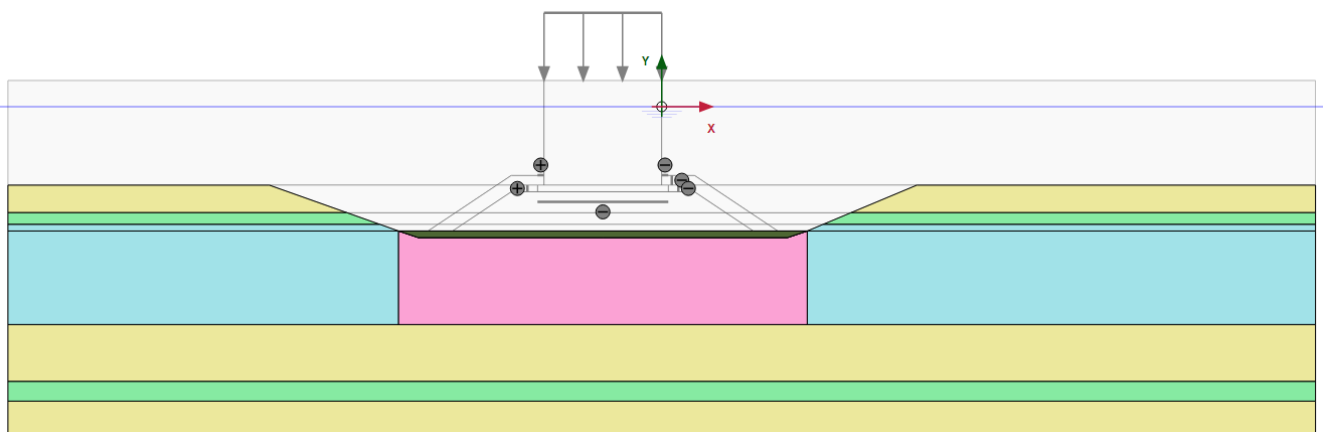


Figura 2.19 - WBS 1 - Vibrosostituzione.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

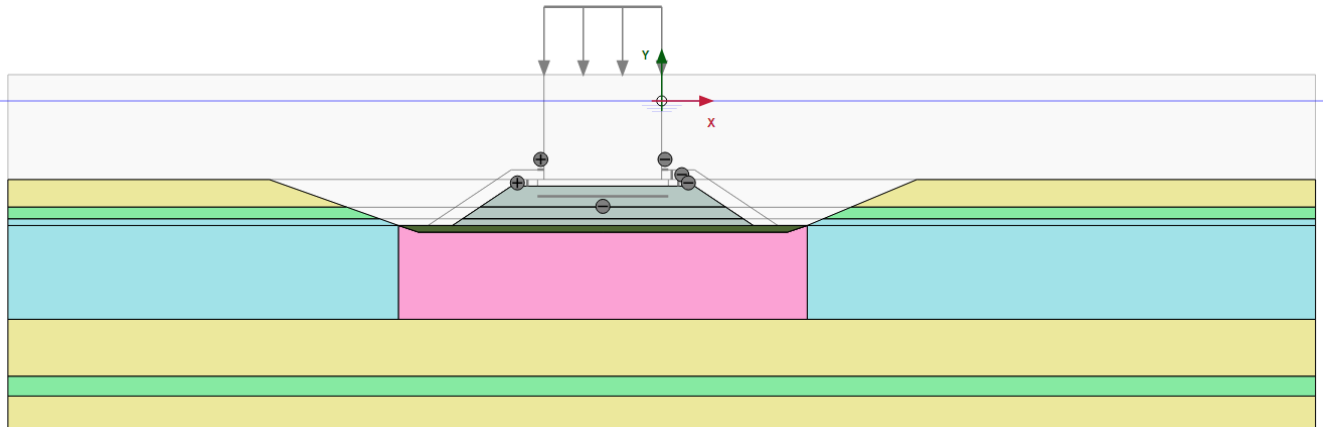


Figura 2.20 - WBS 1 – Realizzazione della scogliera.

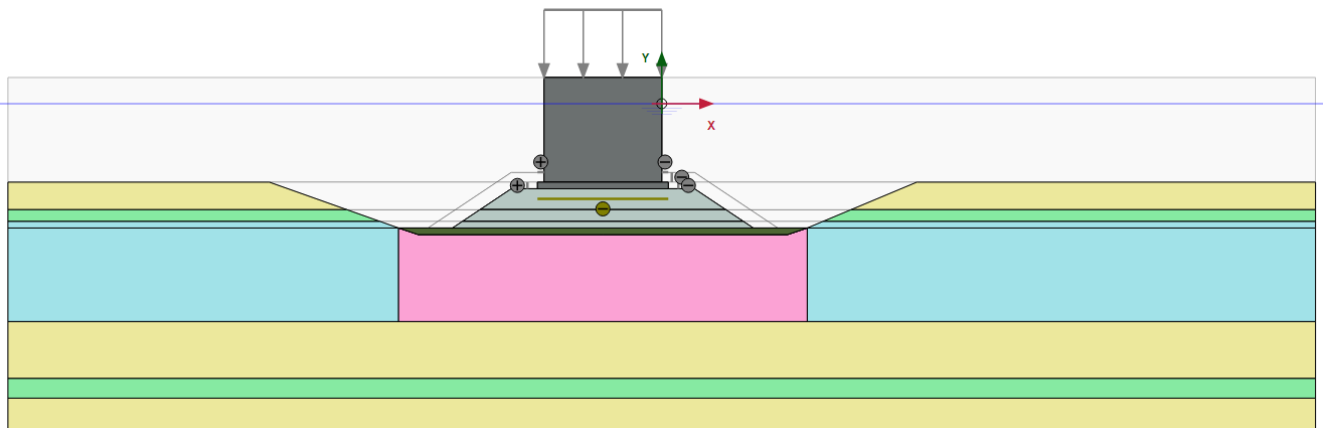


Figura 2.21 - WBS 1 – Posa dei cassoni.

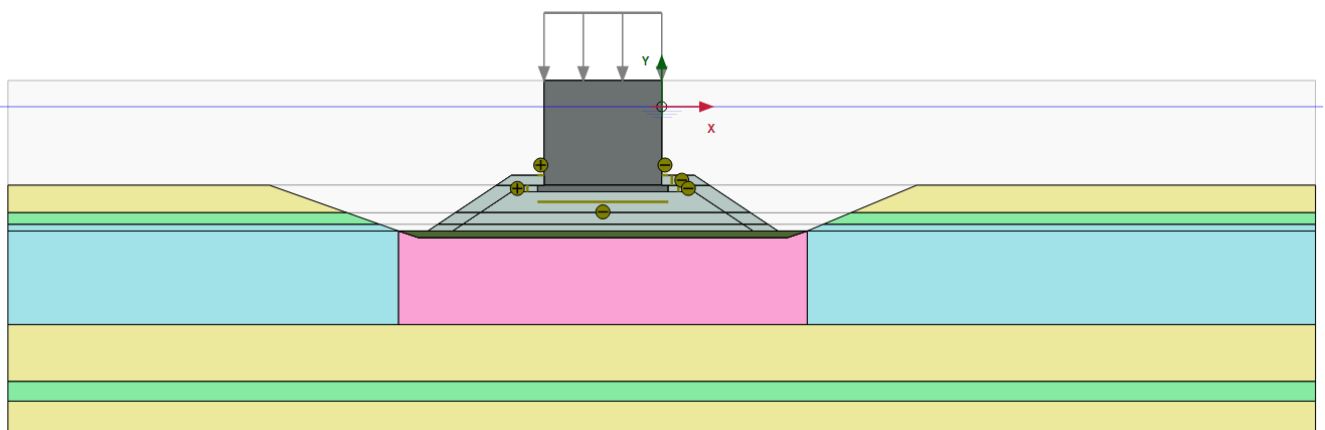


Figura 2.22 - WBS 2a – Completamento della scogliera.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

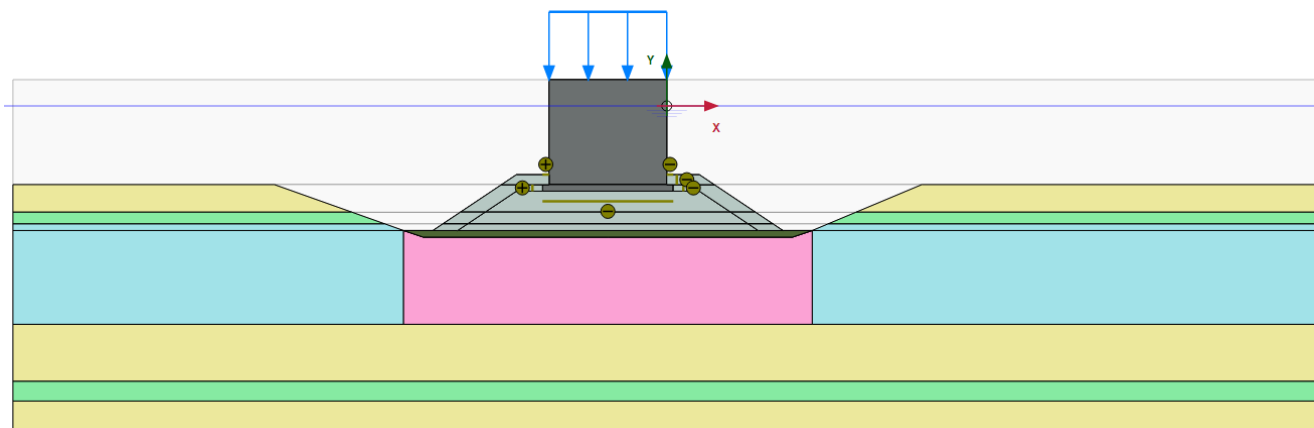


Figura 2.23 - WBS 2a – Applicazione del sovraccarico.

## 2.7.2 Output

Di seguito si riportano i cedimenti verticali a lungo termine.

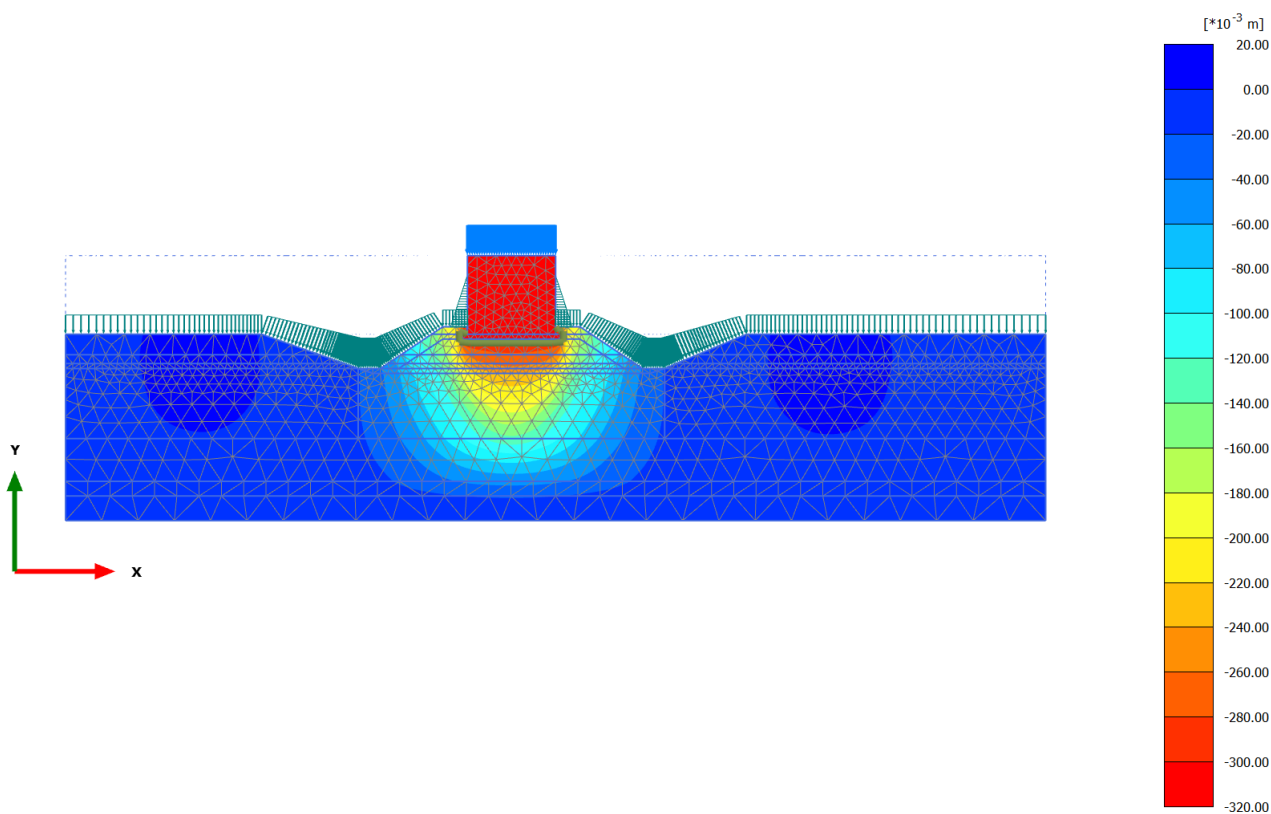


Figura 2.24 - WBS 1 – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 30 \text{ cm}$ ).

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

### 3 PALANCOLATO – AREA 1a

#### 3.1 Premessa

Il presente capitolo riporta le verifiche geotecniche e strutturali del palancolato di risvolto posizionato a nord, a sostegno dell'area 1a.

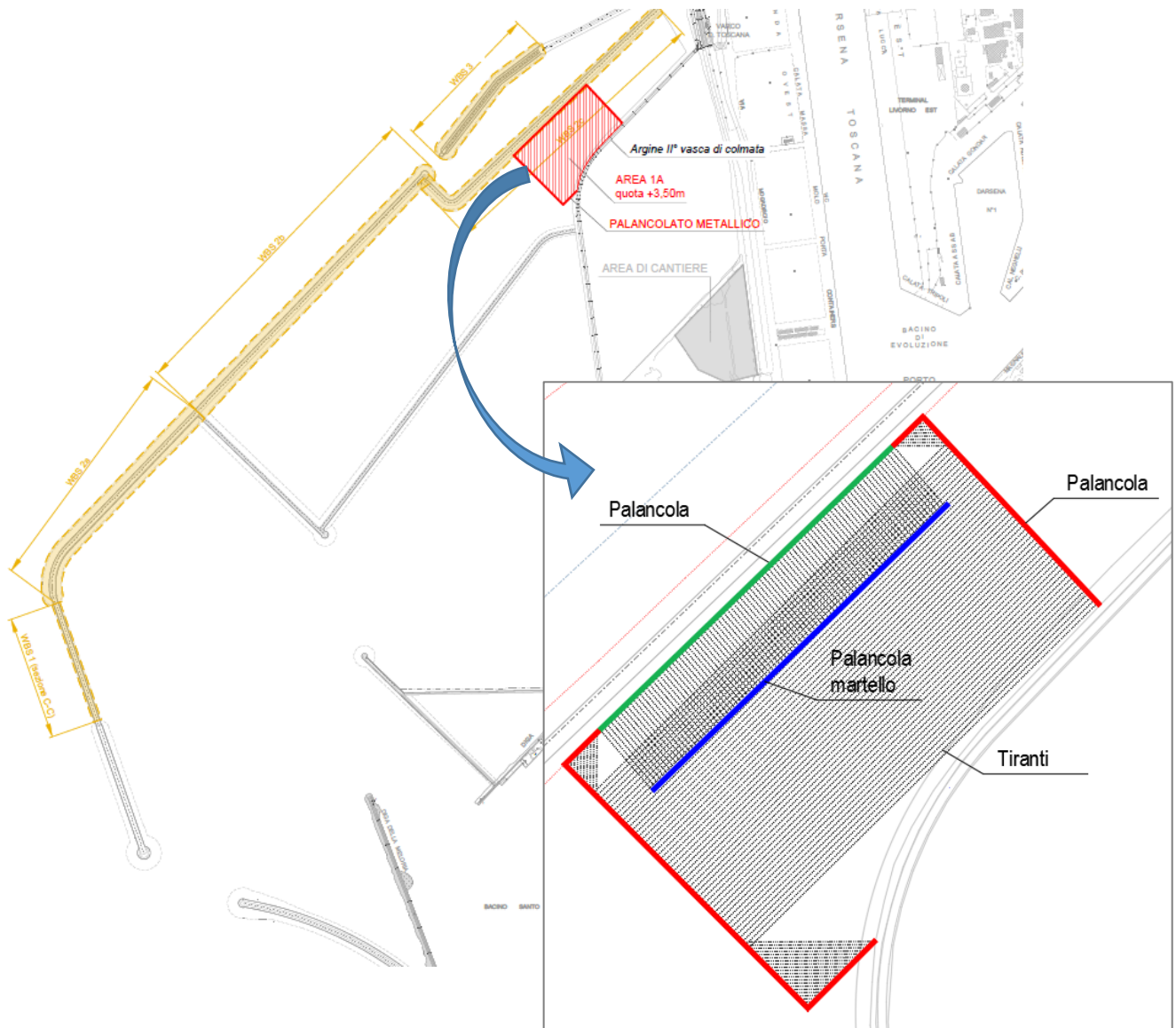


Figura 3.1 – Individuazione dell'area e planimetria delle strutture

L'opera di sostegno è composta da palancole AZ26-700N, vincolata in testa a quota +1.0 m s.l.m.m. con tiranti a barra  $\varnothing=50$  mm ad interasse 2.80 m.

Si possono individuare due sistemi composti da:

- Palancola(rosso) - tirante – palancola;
- Palancola(verde) - tirante - palancola martello(blu).



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

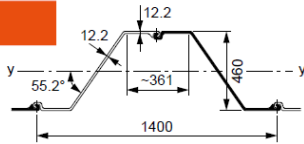
OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

### 3.2 Materiali

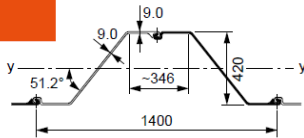
- Palancola (in rosso e in verde nell'immagine precedente) AZ26-700; Lunghezza L=21,0 m

Section	S - Single pile D - Double pile T - Triple pile	Sectional area	Mass	Moment of inertia	Elastic section modulus	Radius of gyration	Coating area <sup>1)</sup>
		cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	m <sup>2</sup> /m
AZ 26-700	Per S	131.0	102.9	41800	1815	17.86	0.97
	Per D	262.1	205.7	83610	3635	17.86	1.93
	Per m of wall	187.2	146.9	59720	2600	17.86	1.38



- Palancola martello (in blu): AZ18-700; Lunghezza L=16,0 m

Section	S - Single pile D - Double pile T - Triple pile	Sectional area	Mass	Moment of inertia	Elastic section modulus	Radius of gyration	Coating area <sup>1)</sup>
		cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	m <sup>2</sup> /m
AZ 18-700	Per S	97.5	76.5	26460	1260	16.47	0.93
	Per D	194.9	153.0	52920	2520	16.47	1.86
	Per m of wall	139.2	109.3	37800	1800	16.47	1.33



- Tiranti di ancoraggio: Ø=50 mm

Diametro nominale Ø [mm]	Tensione snerv. / rottura f <sub>0,2k</sub> /f <sub>tk</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]	Sezione trasversale A [mm <sup>2</sup> ]	Carico snervamento F <sub>yk</sub> [kN]	Carico ultimo F <sub>tk</sub> [kN]	Peso [kg/m]	Peso DCP [kg/m]	Omolog.
16	500/550	201	101	111	1.58	5.2	○
20	500/550	314	157	173	2.47	5.9	○
25	500/550	491	245	270	3.85	7.0	○
28	500/550	616	308	339	4.83	8.6	○
32	500/550	804	402	442	6.31	9.5	○
40	500/550	1,257	628	691	9.86	13.6	○
50	500/550	1,963	982	1,080	15.41	21.0	○
63.5	555/700	3,167	1,758	2,217	24.86	32.4	○

### 3.3 Dati di input

Le analisi sono state condotte con il software 'PLAXIS 2D V2015', il quale permette di simulare in stato bidimensionale l'opera di progetto, a partire dallo stato di fatto. Data la geometria dell'opera, si è condotta un'analisi in stato piano di deformazione, mediante elementi "plate" di rigidità assiale e flessionale equivalente, mentre per i tiranti di ancoraggio sono stati impiegati dei vincoli fissi. Nella modellazione si è considerato quanto segue:

- Modello 2D Plane Strain con elementi a 15 nodi
- Terreni con modelli costitutivo Hardening Small Model.
- Palancole AZ26-700 con elementi "plate":
  - Modulo di Young E = 210000 MPa
  - Coefficiente di Poisson ν = 0.2
  - Momento d'inerzia I = 59720 cm<sup>4</sup>/m

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

- Ancoraggio con elementi "Anchor":
  - Modulo di Young  $E = 210000 \text{ Mpa}$
  - Diametro  $d=50 \text{ mm}$
  - Interasse  $i=2.80$

Le fasi simulate nel software Plaxis sono le seguenti:

1. Stato iniziale: terreno di sedime indisturbato;
2. Infissione parete;
3. Esecuzione tirante e riporto del terreno fino a quota +3.50 m s.l.m.m.

### 3.4 Parametri sismici

Il palancolato di sostegno all'area 1a risulta essere un' opera provvisoria e a "perdere" in quanto verrà posizionato del materiale proveniente dal dragaggio a valle in una fase successiva, pertanto, nel calcolo non verranno prese in considerazione le azioni sismiche.

### 3.5 Sezione geotecnica di riferimento e modellazione del terreno

I parametri di riferimento del terreno sono stati considerati utilizzando dati della campagna geognostica pregressa del 2008 e del 2010. In modo particolare si prende in considerazione il sondaggio S9 per la definizione delle quote delle unità stratigrafiche e dei sondaggi C3-C4 per confronto. I sondaggi sono visibili nella relazione geotecnica 1233\_PP-B-003.

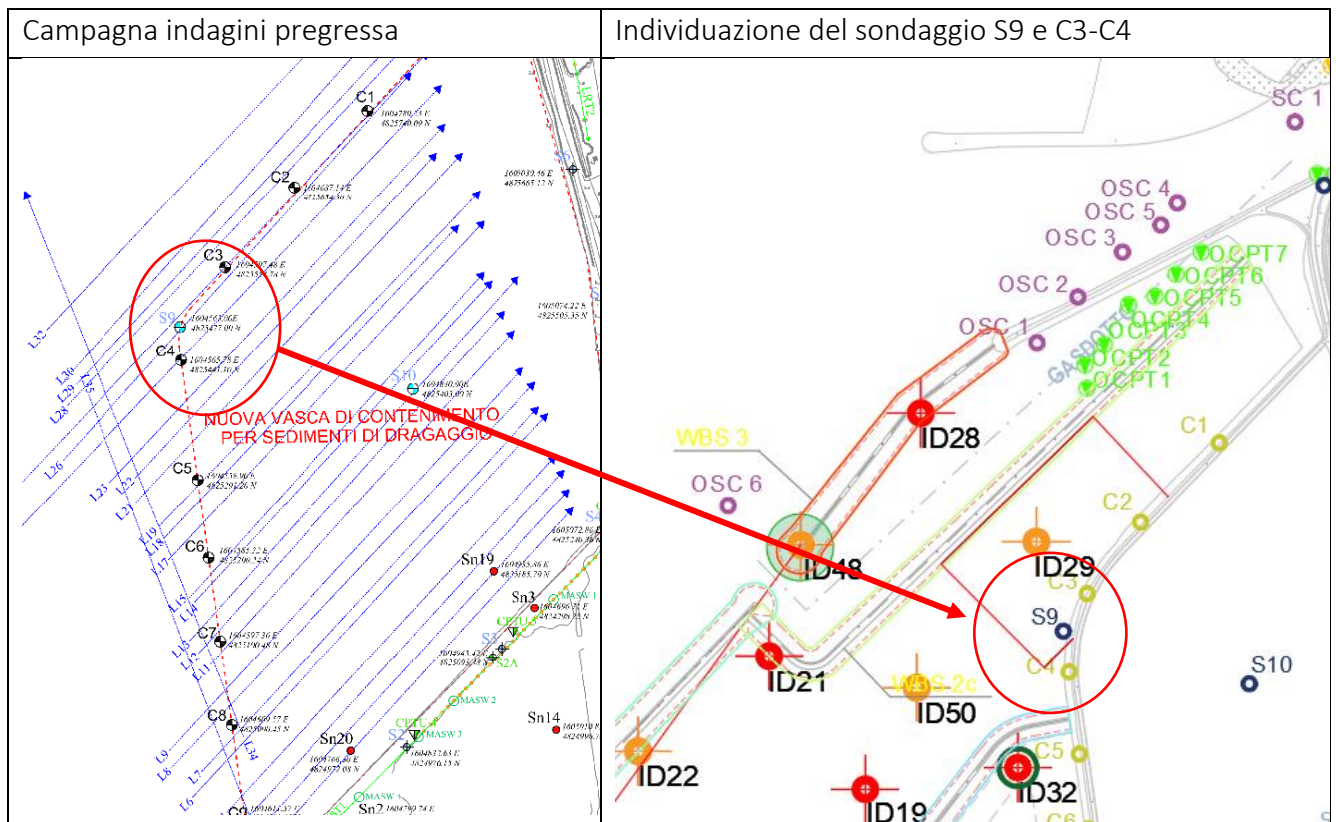


Figura 3.2 – Campagna indagini e individuazione dei sondaggi utilizzati per l'area di interesse

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

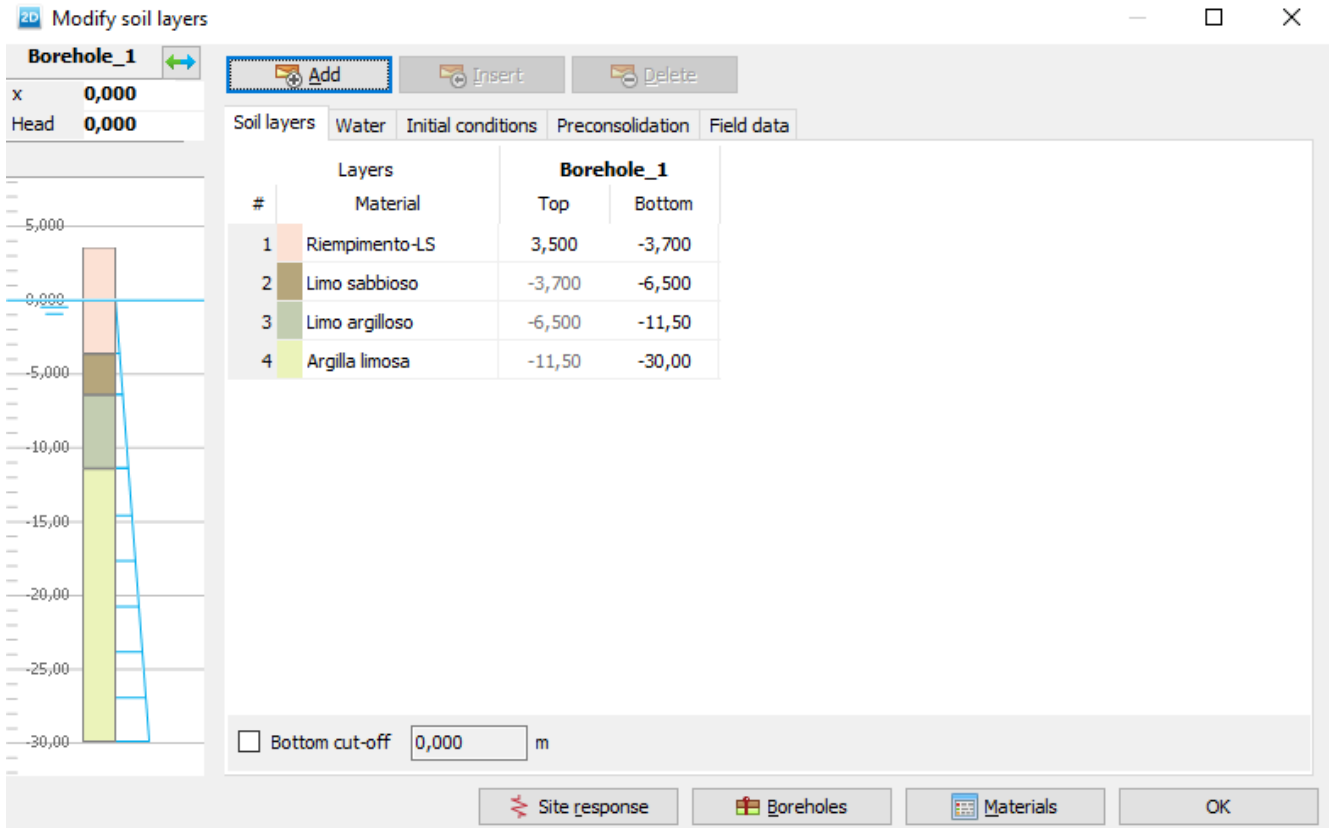


Figura 3.3 Borehole del modello di calcolo

I cui parametri sono:

Property	Unit	Value
<b>Material set</b>		
Identification		Argilla limosa
Material model		Hardening soil
Drainage type		Drained
Colour		RGB 235, 243, 186
Comments		
<b>General properties</b>		
$Y_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	16,00
$Y_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,00
<b>Advanced</b>		
<b>Void ratio</b>		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>
$e_{init}$		0,5000
$e_{min}$		0,000
$e_{max}$		999,0
<b>Damping</b>		
Rayleigh $\alpha$		0,000
Rayleigh $\beta$		0,000
<b>Stiffness</b>		
$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	7000
$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	7000
$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	21,00E3
power (m)		0,9500
<b>Alternatives</b>		
Use alternatives		<input type="checkbox"/>
$C_c$		0,04929
$C_s$		0,01479
$e_{init}$		0,5000
<b>Strength</b>		
$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	5,000
$\phi'$ (phi)	°	21,00
$\psi$ (psi)	°	0,000
<b>Advanced</b>		
Set to default values		<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Stiffness</b>		
$V'_{ur}$		0,2000
$P_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0
$K_0^{nc}$		0,6416
<b>Strength</b>		
$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000
$Y_{ref}$	m	0,000
$R_f$		0,9000

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

	Property	Unit	Value	Property	Unit	Value
Limo argilloso	<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
	Identification		Limo argilloso	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	8000
	Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	8000
	Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	16,00E3
	Colour		RGB 195, 205, 177	power (m)		0,7500
	Comments			<b>Alternatives</b>		
	<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,00	$C_c$		0,04312
	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	$C_s$		0,01941
	<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
	<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
	Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	7,000
	$e_{init}$		0,5000	$\varphi' (phi)$	°	22,00
	$e_{min}$		0,000	$\psi (psi)$	°	0,000
	$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
	<b>Damping</b>			Set to default values		<input checked="" type="checkbox"/>
	Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>		
Rayleigh $\beta$		0,000	$\nu'_{ur}$		0,2000	
			$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0	
			$K_0^{nc}$		0,6254	
			<b>Strength</b>			
			$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	
			$\gamma_{ref}$	m	0,000	
			$R_f$		0,9000	
Limo sabbioso	<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
	Identification		Limo sabbioso	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	6000
	Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	6000
	Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	18,00E3
	Colour		RGB 182, 166, 124	power (m)		0,6000
	Comments			<b>Alternatives</b>		
	<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,00	$C_c$		0,05750
	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	$C_s$		0,01725
	<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
	<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
	Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,000
	$e_{init}$		0,5000	$\varphi' (phi)$	°	25,00
	$e_{min}$		0,000	$\psi (psi)$	°	0,000
	$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
	<b>Damping</b>			Set to default values		<input checked="" type="checkbox"/>
	Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>		
Rayleigh $\beta$		0,000	$\nu'_{ur}$		0,2000	
			$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0	
			$K_0^{nc}$		0,5774	
			<b>Strength</b>			
			$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	
			$\gamma_{ref}$	m	0,000	
			$R_f$		0,9000	

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

Property	Unit	Value	Property	Unit	Value
<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
Identification		Riempimento-LS	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	5000
Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	5000
Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	15,00E3
Colour		RGB 252, 225, 212	power (m)		0,6000
Comments			<b>Alternatives</b>		
<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,00	$C_c$		0,06900
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	$C_s$		0,02070
<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	1,000
$e_{init}$		0,5000	$\varphi' (phi)$	°	24,00
$e_{min}$		0,000	$\psi (psi)$	°	0,000
$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
<b>Damping</b>			Set to default values		<input checked="" type="checkbox"/>
Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>		
Rayleigh $\beta$		0,000	$v'_{ur}$		0,2000
			$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0
			$K_0^{nc}$		0,5933
			<b>Strength</b>		
			$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000
			$\gamma_{ref}$	m	0,000
			$R_f$		0,9000

Tabella 3-1 – Parametri dei terreni – Area 1a

### 3.6 Risultati delle analisi

Si riportano i valori delle sollecitazioni e degli spostamenti orizzontali della parete calcolati nella condizione più gravosa.

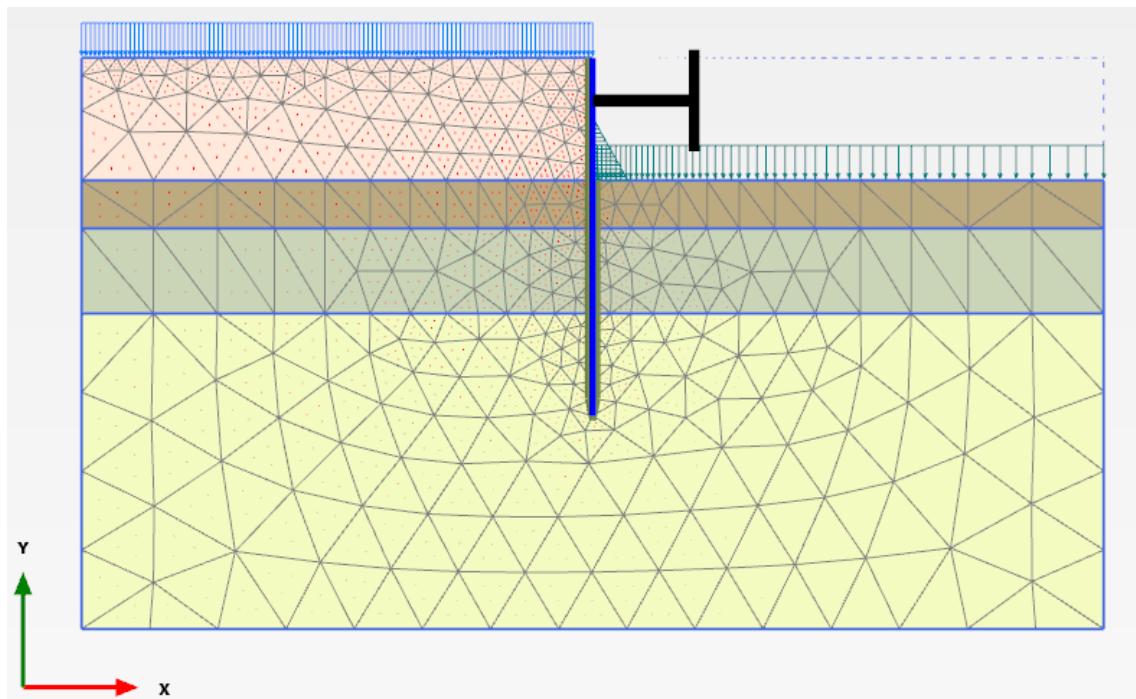


Figura 3.4- Schema del modello utilizzato

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

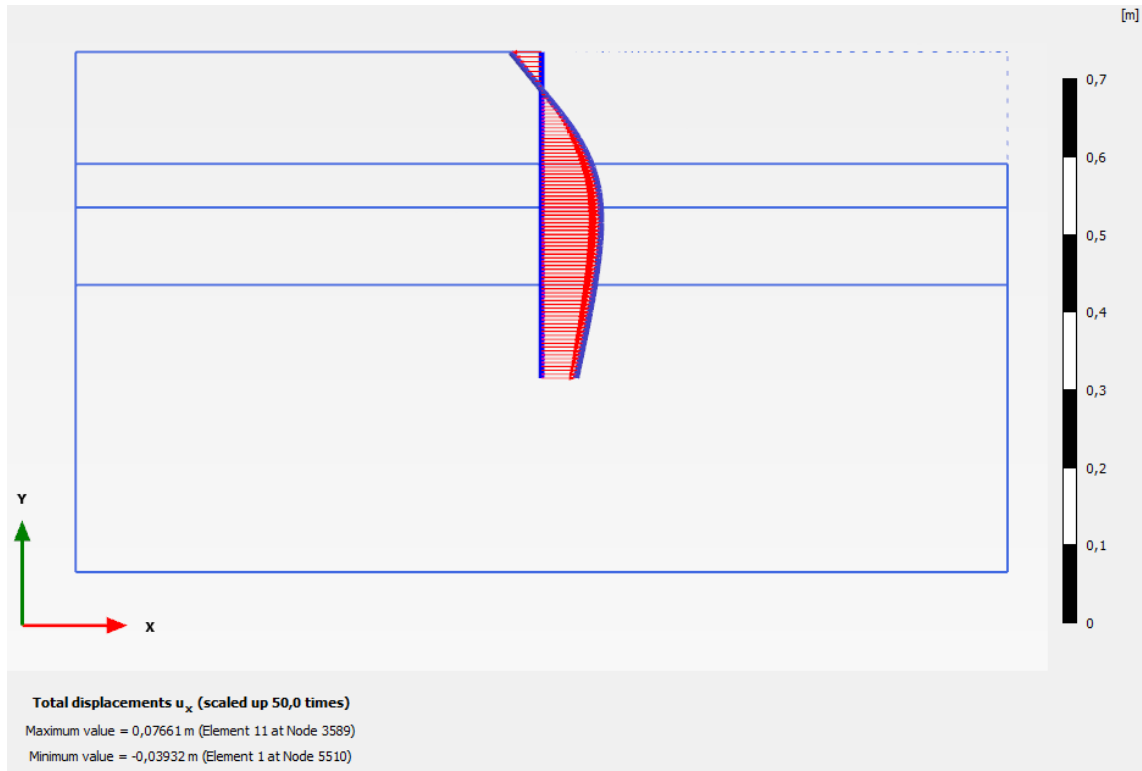
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

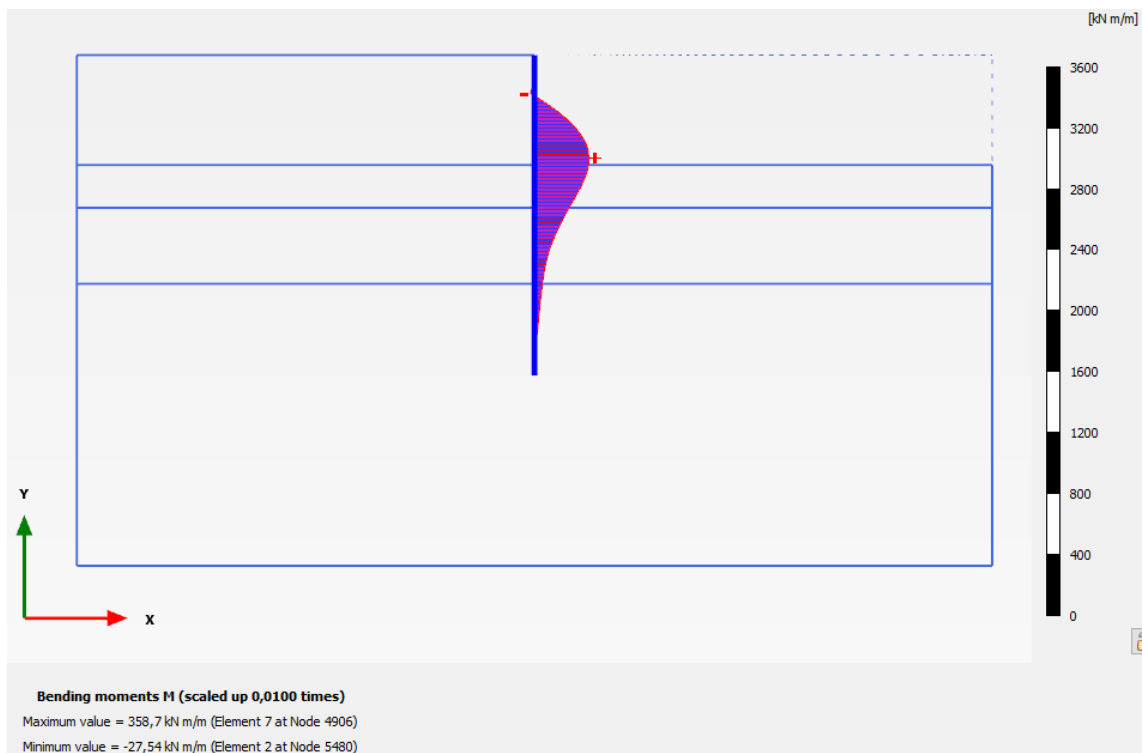
1233\_PP-E-002\_0.docx

### 3.6.1 Deformazioni SLE



Le simulazioni evidenziano spostamenti orizzontali massimi dell'ordine di:  $7,6 \text{ cm} < 0,005 \times H = 10,5 \text{ cm}$

### 3.6.2 Involuppo momento flettente



$M_{\max} = 359,0 \text{ kN/m}$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

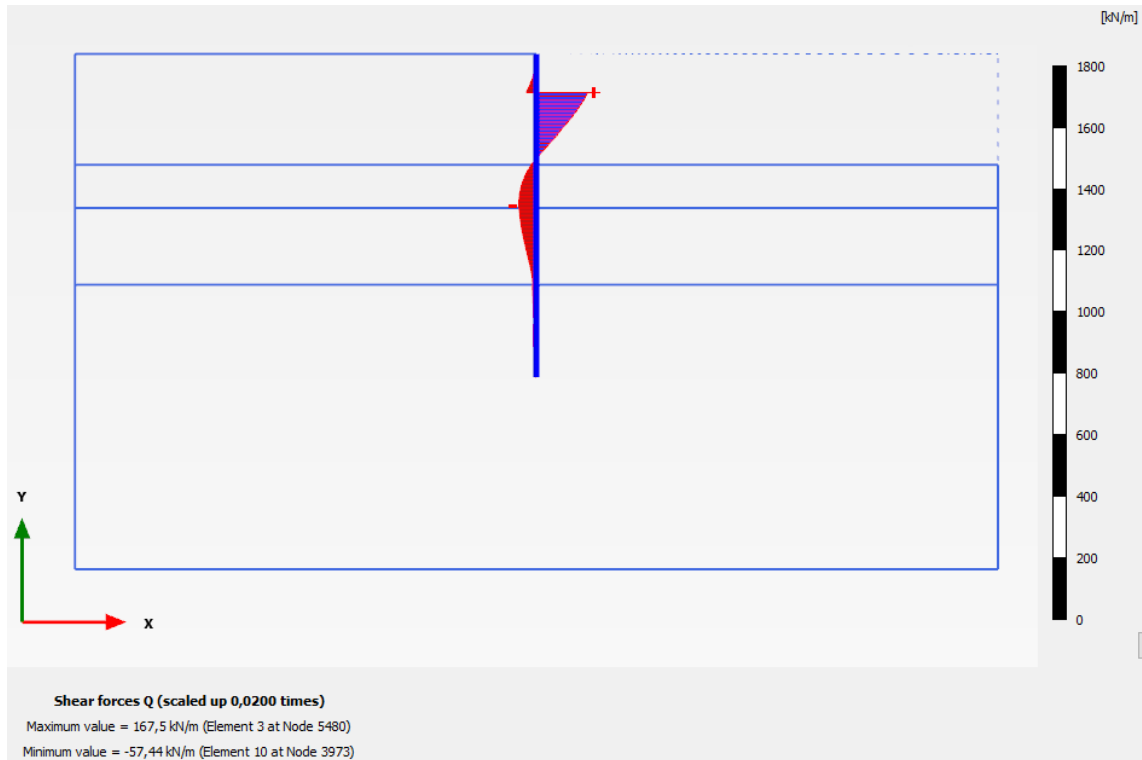
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

### 3.6.3 Inviluppo taglio



Tmax=167,5 kN/m

### 3.6.4 Tiranti di ancoraggio

Si riporta lo sforzo normale agente sul tirante:

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N <sub>min</sub> [kN]	N <sub>max</sub> [kN]	Φ <sub>z</sub> [°]	Length [m]
FixedEndAnchor_1_1	5480	1	0,000	1,000	-561,129	-561,129	0,000	0,000	1,000

Sollecitazione massima sul singolo tirante agli SLU = 561 (kN) x1.3 = 729,3 kN

## 3.7 Verifiche

### 3.7.1 Verifica di resistenza del palancoato a flessione

La verifica risulta:

- $M_{C,rd} / M_{Ed} > 1$
- $M_{Ed} = M_{SLUmax} \cdot i = (359 \cdot 1.3) \cdot 1.4 = 653.4 \text{ kNm}$
- $M_{C,rd} = W \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = 2600 \cdot 355 / (1.05 \cdot 1000) = 879 \text{ kNm}$
- $M_{C,rd} / M_{Ed} = 879 / 653.4 = 1.34 > 1$

dove  $M_{C,d}$  è il momento resistente di calcolo. La verifica risulta soddisfatta in campo elastico.

### 3.7.2 Verifica di resistenza del palancoato a taglio

La verifica risulta:

- $V_{pl,Rd} / V_{Ed}$
- $V_{Ed} = T_{SLUmax} \cdot i = (167.5 \cdot 1.3) \cdot 1.4 = 304.9 \text{ kN}$

R.T.P.: F&M Ingegneria SpA – Haskoning DHV Nederland B.V. – HS Marine Srl – G&T Srl

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto di fattibilità tecnico economica	Elaborato: OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-002_0.docx
--	---	---

-  $A_{anima} = t_w \cdot (h - t_f) = 12.2 \cdot (460 - 12.2) = 5463.1 \text{ mm}^2$   
-  $V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}) = 5463,1 \cdot 355 / (1.05 \cdot \sqrt{3} \cdot 1000) = 1066.39 \text{ kN} > V_{ed}$   
La verifica risulta soddisfatta in campo elastico.

### 3.7.3 Verifica tiranti di ancoraggio

Secondo il D.M. 17.01.2018 si riporta il calcolo della resistenza strutturale dell'acciaio componente il singolo tirante  $\varnothing 50 \text{ mm}$ , assumendo il tiro massimo sul singolo tirante di 729,3 kN. Il calcolo viene effettuato in combinazione ultima (SLU\_A1+M1+R3):

$$R_{id} = F_s / (\gamma_M) = 982 / 1.15 = 853 \text{ kN (SLU)} > 729,3 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta.

## 3.8 Analisi di stabilità globale

Le verifiche di stabilità globale sono state effettuate con il metodo di Bishop con l'ausilio del software Slide in accordo con quanto riportato nel D.M. 17 Gennaio 2018 - "Norme Tecniche per le costruzioni". Il metodo assume che la superficie di scivolamento possa essere assimilata ad un arco di circonferenza. Se si considera la massa interessata dallo scivolamento suddivisa in n conci, il fattore di sicurezza può essere espresso in termini di momenti generati dalle forze agenti sui singoli conci rispetto al centro della circonferenza stessa.

dove:

- $M_R = r \cdot \sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin \alpha_i$  : momento delle forze ribaltanti;
- $M_S = \sum_{i=1}^n (c + \sigma_i \cdot \tan \varphi_i) \cdot \Delta L_i$  : momento stabilizzante;
- $r$  : raggio del concio considerato;
- $\Delta L_i$  : lunghezza della base del concio considerato.

Nel metodo di Bishop si assume che le azioni agenti all'interfaccia dei conci abbiano risultante orizzontale, perciò, se si esprime la resistenza mobilizzata come un'aliquota della resistenza al taglio tramite il fattore di sicurezza (assunto uguale a quello dell'equazione generale), si ricava dall'equilibrio alla traslazione verticale:

$$N_i = \frac{W_i - u_i \cdot \Delta x_i - (1/FS) \cdot c \cdot \Delta x_i \cdot \tan \alpha_i}{\cos \alpha_i \cdot [1 + (\tan \alpha_i \cdot \tan \varphi_i) / FS]}$$

Si ottiene quindi:

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n [c \cdot \Delta x_i + (W_i - u_i \cdot \Delta x_i) \cdot \tan \alpha_i] \cdot [1/M_i(\alpha)]}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

dove:

$$M_i(\alpha) = \cos \alpha_i \cdot \left( 1 + \frac{\tan \alpha_i \cdot \tan \varphi_i}{FS} \right)$$



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

Analisi di stabilità in combinazione statica SLU (A2M2R2):

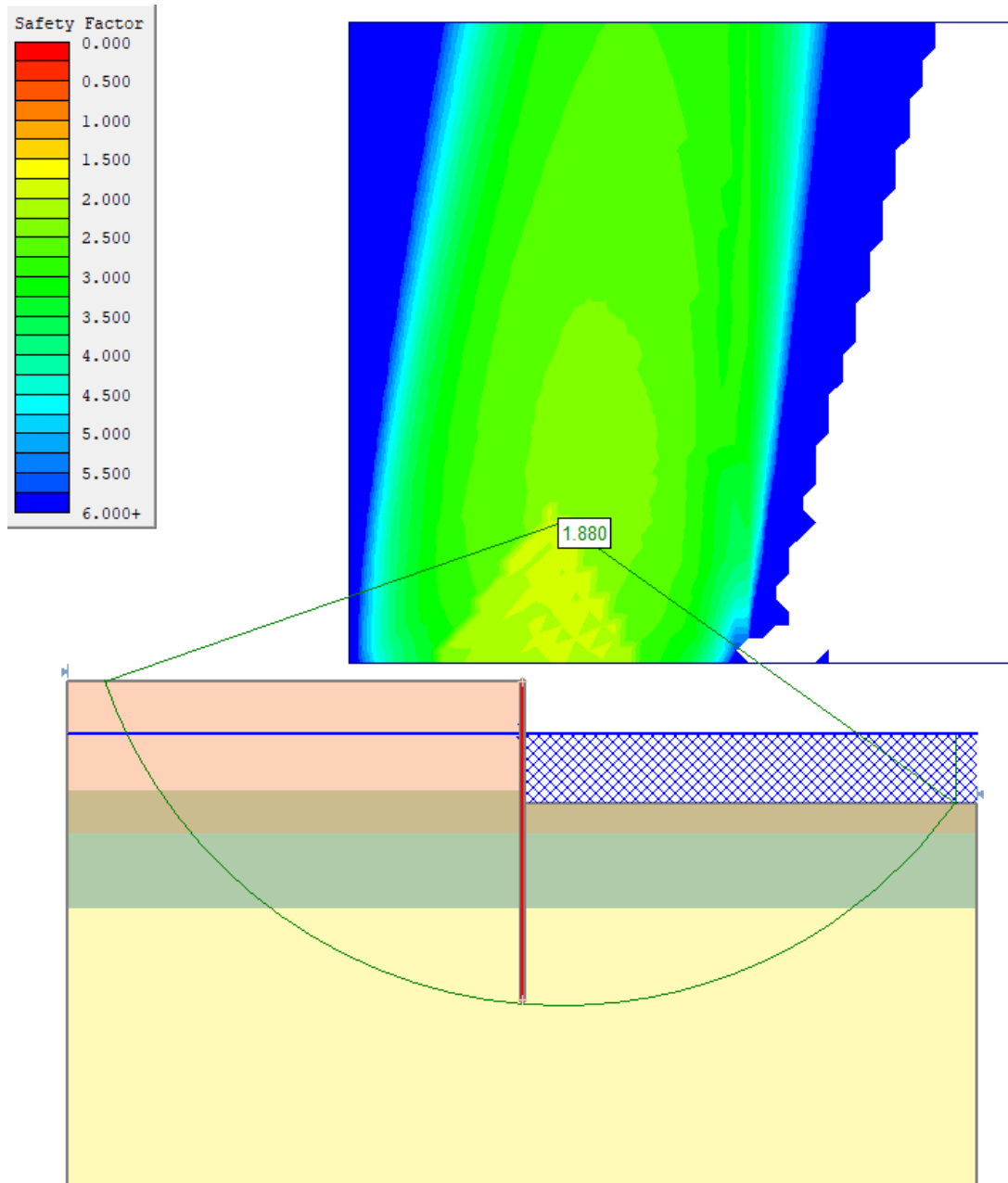


Figura 3.5 – Analisi di stabilità – Palancolato area 1a

coefficiente di sicurezza  $FS = 1.880 > 1.1 = R2$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

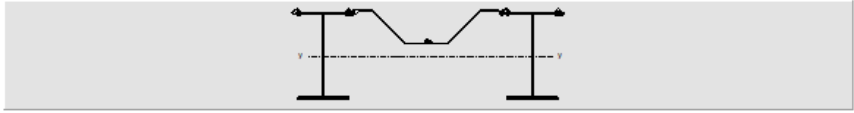
## 4 PALANCOLATO - WBS5a

### 4.1 Premessa

Il presente capitolo riporta le verifiche geotecniche e strutturali della paratia presente nella WBS 5a per un tratto di 165 m, realizzato con parete combinata HZ1080MB-AZ18-700 avente lunghezza L=25 m.

System Properties: HZ 1080M B-12/AZ 18-700

Wx(HZM)	Wx(RHRZ)	Ix sys	Ax sys	Width b	g 60%	g 80%	g 100%
cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>4</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	m	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
8340	9295	476790	226,2	1,93	218,6	237,8	257,1



Le analisi sono state condotte con il software 'PLAXIS 2D V2015', il quale permette di simulare in stato bidimensionale l'opera di progetto, a partire dallo stato di fatto. Data la geometria dell'opera, si è condotta un'analisi in stato piano di deformazione, mediante elementi "plate" di rigidità assiale e flessionale equivalente.

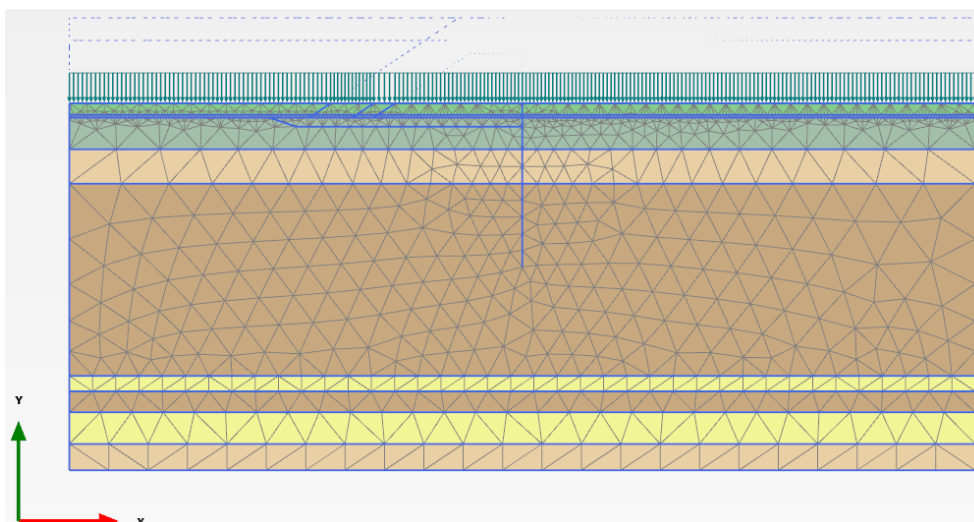
### 4.2 Dati di input

Nella modellazione con Plaxis si è considerato quanto segue:

- Modello 2D Plane Strain con elementi a 15 nodi
- Terreni con modelli costitutivo Hardening Small Model e Linear Elastic per la mantellata.
- Palancole con elementi "plate":
  - Modulo di Young  $E = 210000 \text{ MPa}$
  - Coefficiente di Poisson  $\nu = 0.2$
  - Momento d'inerzia  $I = 476790 \text{ cm}^4/\text{m}$

Le fasi simulate nel software Plaxis sono le seguenti:

1. Stato iniziale: terreno di sedime indisturbato;



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

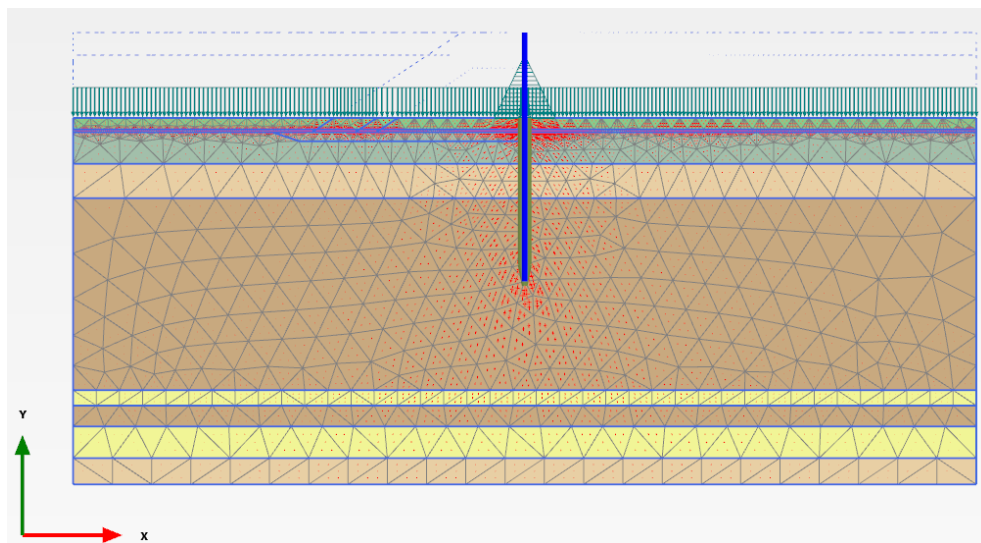
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

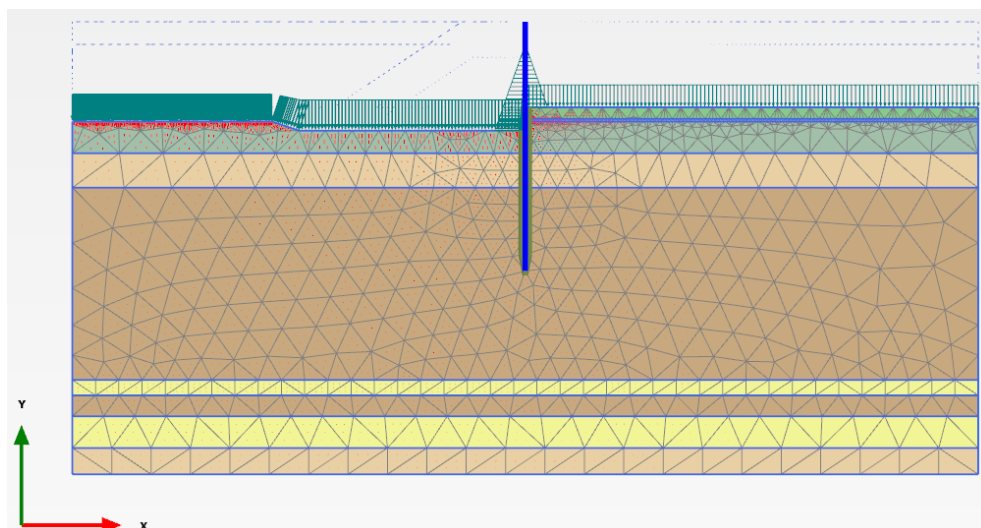
OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

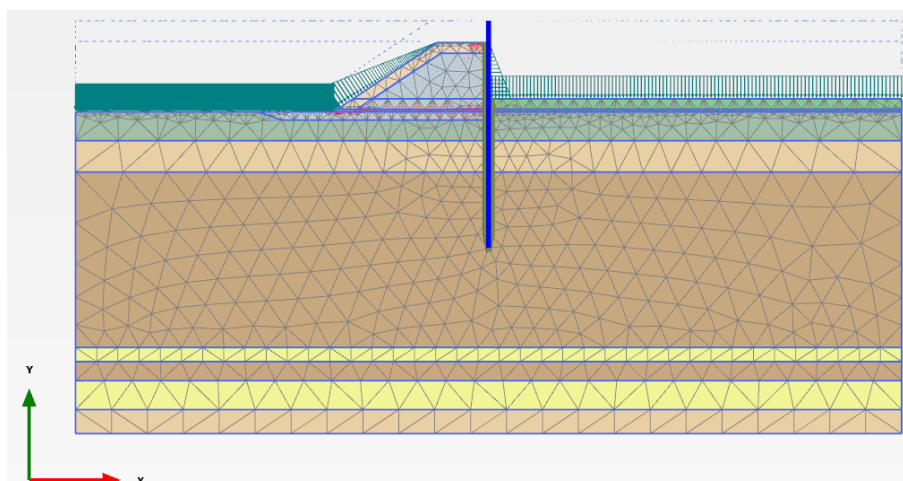
2. Infissione parete combinata;



3. Scavo del terreno;



4. Inserimento dello scanco+nucleo+filtro



5. Inserimento mantellata

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

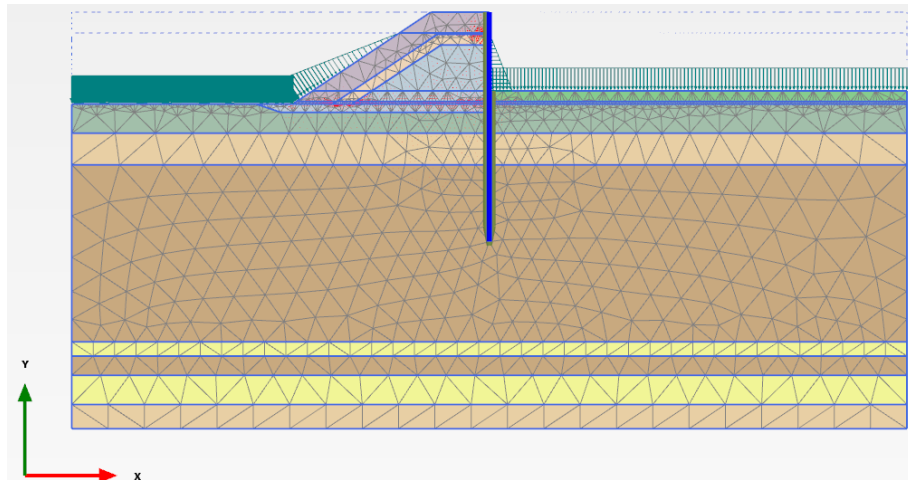
Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx



6. Sisma (SLD e SLV)

### 4.3 Parametri sismici

Come riportato sulla relazione sismica 1233\_PP-B-004 vengono impiegati i seguenti parametri:

- Classe d'Uso dell'opera e Vita nominale: III → CU = 1.5 - VN = 50 anni
- Categoria del suolo Categoria C

#### Stati limite

	Classe Edificio				
	III. Affollamento significativo...				
	Vita Nominale	50			
	Interpolazione	Media ponderata			
<b>CU = 1.5</b>					
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]	
Operatività (SLO)	45	0.039	2.583	0.231	
Danno (SLD)	75	0.050	2.545	0.249	
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.128	2.474	0.274	
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.161	2.506	0.280	
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75				

#### Coefficienti sismici

	Tipo	Paratie NTC 2018			
<input type="checkbox"/>	Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.				
	H (m)	us (m)			
	25	0.125			
	Cat. Sottosuolo	C			
	Cat. Topografica	T1			
		SLO	SLD	SLV	SLC
SS	Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,46
CC	Coeff. funz categoria	1,70	1,66	1,61	1,60
ST	Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
<input type="checkbox"/>	Acc.ne massima attesa al sito [m/s <sup>2</sup> ]	0.6			
Coefficienti		SLO	SLD	SLV	SLC
kh		0.018	0.023	0.059	0.073
kv		--	--	--	--
Amax	[m/s <sup>2</sup> ]	0.577	0.735	1.881	2.311
Beta		0.491	0.491	0.491	0.491

Figura 4.1 – Parametri sismici

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

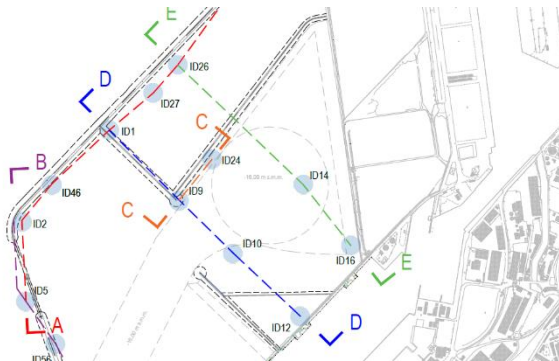
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

### 4.4 Sezione geotecnica di riferimento e modellazione del terreno



La sezione per il borehole di riferimento per il modello di calcolo è la sezione D-D, in particolare in prossimità della ID10.

Questa presenta alternanza di strati sabbiosi con buone caratteristiche meccaniche.

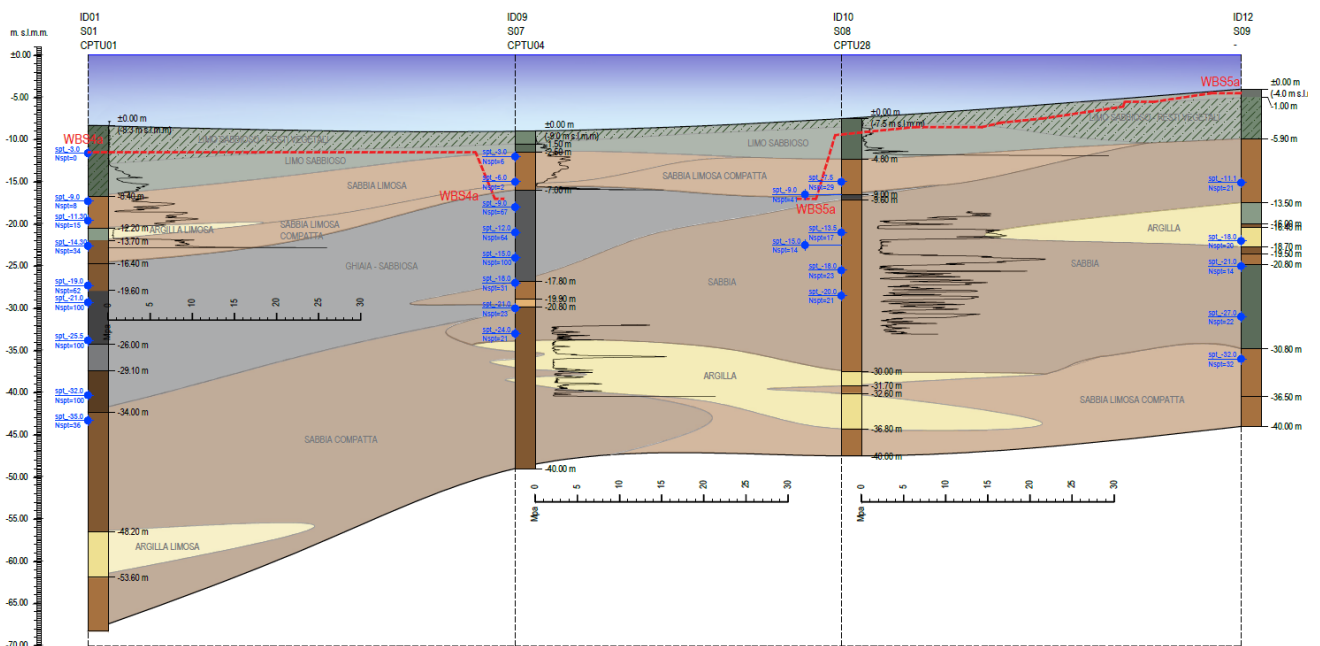


Figura 4.2 – Sezione geotecnica di riferimento

La borehole di riferimento è la seguente:

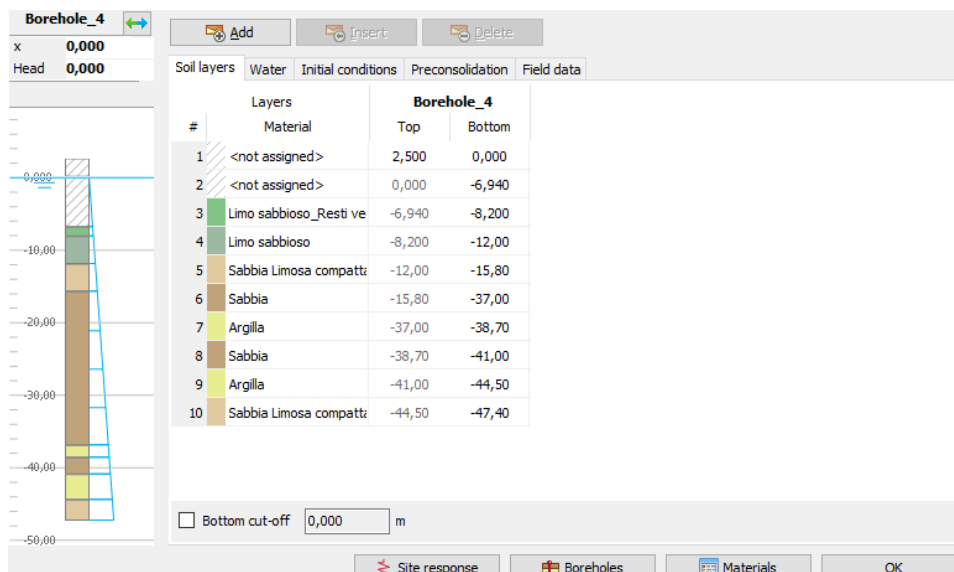


Figura 4.3 – Borehole di riferimento per la WBS 5a\_palancolato

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

I cui parametri sono:

	Property	Unit	Value	Property	Unit	Value
Argilla	<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
	Identification		Argilla	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	13,50E3
	Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	13,50E3
	Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	40,50E3
	Colour		RGB 232, 237, 146	power (m)		1,000
	Comments			<b>Alternatives</b>		
	<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	17,00	$C_c$		0,02556
	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,00	$C_s$		7,667E-3
	<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
	<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
	Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	15,00
	$e_{init}$		0,5000	$\varphi' (phi)$	°	21,00
	$e_{min}$		0,000	$\psi (psi)$	°	0,000
	$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
<b>Damping</b>			Set to default values		<input type="checkbox"/>	
Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>			
Rayleigh $\beta$		0,000	$v'_{ur}$		0,2000	
			$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0	
			$K_0^{nc}$		0,6416	
			<b>Strength</b>			
			$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	2,000	
			$\gamma_{ref}$	m	3,000	
			$R_f$		0,9000	
Limo sabbioso	<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
	Identification		Limo sabbioso	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	10,00E3
	Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	10,00E3
	Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	30,00E3
	Colour		RGB 157, 185, 164	power (m)		0,6500
	Comments			<b>Alternatives</b>		
	<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	16,50	$C_c$		0,03450
	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	$C_s$		8,543E-3
	<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
	<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
	Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,000
	$e_{init}$		0,5000	$\varphi' (phi)$	°	26,00
	$e_{min}$		0,000	$\psi (psi)$	°	0,000
	$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
<b>Damping</b>			Set to default values		<input type="checkbox"/>	
Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>			
Rayleigh $\beta$		0,000	$v'_{ur}$		0,3000	
			$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0	
			$K_0^{nc}$		0,5616	
			<b>Strength</b>			
			$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	
			$\gamma_{ref}$	m	0,000	
			$R_f$		0,9000	

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

	Property	Unit	Value	Property	Unit	Value
Limo sabbioso_Resti vegetali	<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
	Identification		Limo sabbioso_Resti vegetali	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	2000
	Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	2000
	Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	6000
	Colour		RGB 130, 196, 135	power (m)		0,7000
	Comments			<b>Alternatives</b>		
	<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	16,50	$C_c$		0,1725
	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	$C_s$		0,04271
	<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
	<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
	Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,000
	$e_{init}$		0,5000	$\varphi'$ (phi)	°	22,00
	$e_{min}$		0,000	$\psi$ (psi)	°	0,000
	$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
	<b>Damping</b>			Set to default values		<input type="checkbox"/>
	Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>		
Rayleigh $\beta$		0,000	$v'_{ur}$		0,3000	
			$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0	
			$K_0^{nc}$		0,6254	
			<b>Strength</b>			
			$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	
			$\gamma_{ref}$	m	0,000	
			$R_f$		0,9000	
Sabbia	<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
	Identification		Sabbia	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	17,50E3
	Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	17,50E3
	Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	52,50E3
	Colour		RGB 193, 163, 123	power (m)		0,5000
	Comments			<b>Alternatives</b>		
	<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,00	$C_c$		0,01971
	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	$C_s$		4,882E-3
	<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
	<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
	Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,000
	$e_{init}$		0,5000	$\varphi'$ (phi)	°	30,00
	$e_{min}$		0,000	$\psi$ (psi)	°	0,000
	$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
	<b>Damping</b>			Set to default values		<input type="checkbox"/>
	Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>		
Rayleigh $\beta$		0,000	$v'_{ur}$		0,3000	
			$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0	
			$K_0^{nc}$		0,5000	
			<b>Strength</b>			
			$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	
			$\gamma_{ref}$	m	0,000	
			$R_f$		0,9000	



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

Property	Unit	Value	Property	Unit	Value
<b>Sabbia Limosa compatta</b>			<b>Sabbia Limosa compatta</b>		
<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
Identification		Sabbia Limosa compatta	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	20,00E3
Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	20,00E3
Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	60,00E3
Colour		RGB 224, 200, 159	power (m)		0,5000
Comments			<b>Alternatives</b>		
<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,00	$C_c$		0,01725
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	$C_s$		4,271E-3
<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,000
$e_{init}$		0,5000	$\varphi' (phi)$	°	33,00
$e_{min}$		0,000	$\psi (psi)$	°	0,000
$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
<b>Damping</b>			Set to default values		<input type="checkbox"/>
Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>		
Rayleigh $\beta$		0,000	$v'_{ur}$		0,3000
			$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0
			$K_0^{nc}$		0,4554
			<b>Strength</b>		
			$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000
			$\gamma_{ref}$	m	0,000
			$R_f$		0,9000
<b>Nucleo-scanno</b>			<b>Nucleo-Scanno</b>		
<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
Identification		Nucleo-Scanno	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	20,00E3
Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	20,00E3
Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	60,00E3
Colour		RGB 183, 199, 209	power (m)		0,5000
Comments			<b>Alternatives</b>		
<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	19,00	$C_c$		0,01725
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	$C_s$		4,271E-3
<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,000
$e_{init}$		0,5000	$\varphi' (phi)$	°	38,00
$e_{min}$		0,000	$\psi (psi)$	°	0,000
$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
<b>Damping</b>			Set to default values		<input type="checkbox"/>
Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>		
Rayleigh $\beta$		0,000	$v'_{ur}$		0,3000
			$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0
			$K_0^{nc}$		0,3843
			<b>Strength</b>		
			$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000
			$\gamma_{ref}$	m	0,000
			$R_f$		0,9000



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

Filtro	Property	Unit	Value	Property	Unit	Value
	<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
	Identification		Filtro	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	20,00E3
	Material model		Hardening soil	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	20,00E3
	Drainage type		Drained	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	60,00E3
	Colour		RGB 230, 206, 178	power (m)		0,5000
	Comments			<b>Alternatives</b>		
	<b>General properties</b>			Use alternatives		<input type="checkbox"/>
	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	19,00	$C_c$		0,01725
	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00	$C_s$		4,271E-3
	<b>Advanced</b>			$e_{init}$		0,5000
	<b>Void ratio</b>			<b>Strength</b>		
	Dilatancy cut-off		<input type="checkbox"/>	$c'_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	20,00
	$e_{init}$		0,5000	$\phi'$ (phi)	°	40,00
	$e_{min}$		0,000	$\psi$ (psi)	°	1,000
	$e_{max}$		999,0	<b>Advanced</b>		
	<b>Damping</b>			Set to default values		<input type="checkbox"/>
	Rayleigh $\alpha$		0,000	<b>Stiffness</b>		
	Rayleigh $\beta$		0,000	$v'_{ur}$		0,3000
				$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100,0
				$K_0^{nc}$		0,3572
				<b>Strength</b>		
				$c'_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000
				$\gamma_{ref}$	m	0,000
				$R_f$		0,9000
Mantellata	Property	Unit	Value	Property	Unit	Value
	<b>Material set</b>			<b>Stiffness</b>		
	Identification		Mantellata	$E'$	kN/m <sup>2</sup>	30,00E6
	Material model		Linear elastic	$\nu'$ (nu)		0,2000
	Drainage type		Drained	<b>Alternatives</b>		
	Colour		RGB 190, 177, 189	$G$	kN/m <sup>2</sup>	12,50E6
	Comments			$E_{oed}$	kN/m <sup>2</sup>	33,33E6
	<b>General properties</b>					
	$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00			
	$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,00			

Tabella 4-1 – Parametri dei terreni – WBS5a

## 4.5 Risultati delle analisi

Si riportano i valori delle sollecitazioni e degli spostamenti orizzontali della parete combinata calcolati nella condizione più gravosa.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

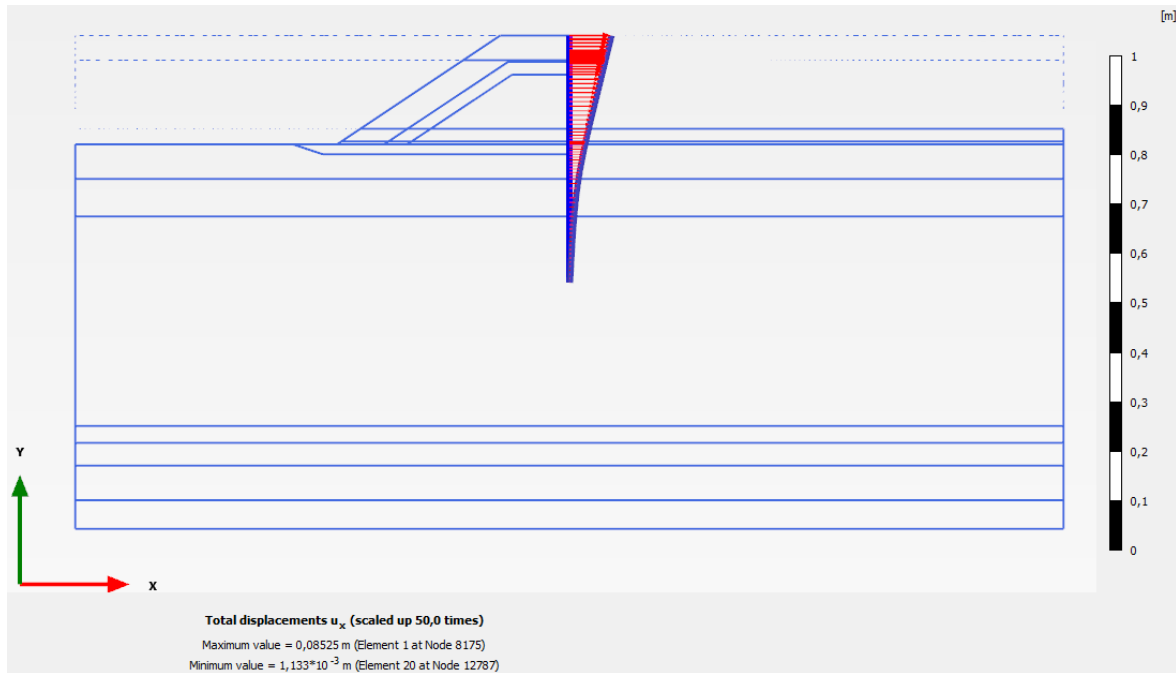
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

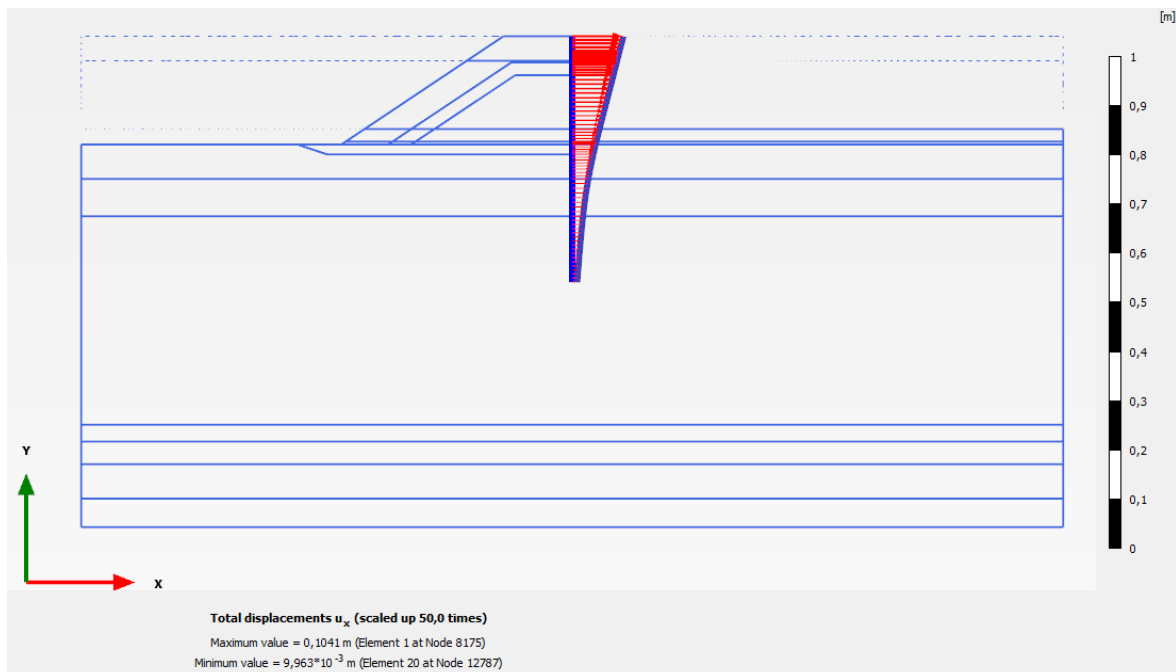
1233\_PP-E-002\_0.docx

#### 4.5.1 Deformazioni SLE



Le simulazioni evidenziano spostamenti orizzontali massimi dell'ordine di 8.5 cm

#### 4.5.2 Deformazioni SLD



Gli spostamenti orizzontali massimi agli SLD sono dell'ordine di 10.4 cm < 12.5 cm ammissibili pari a 0.005 volte l'altezza

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

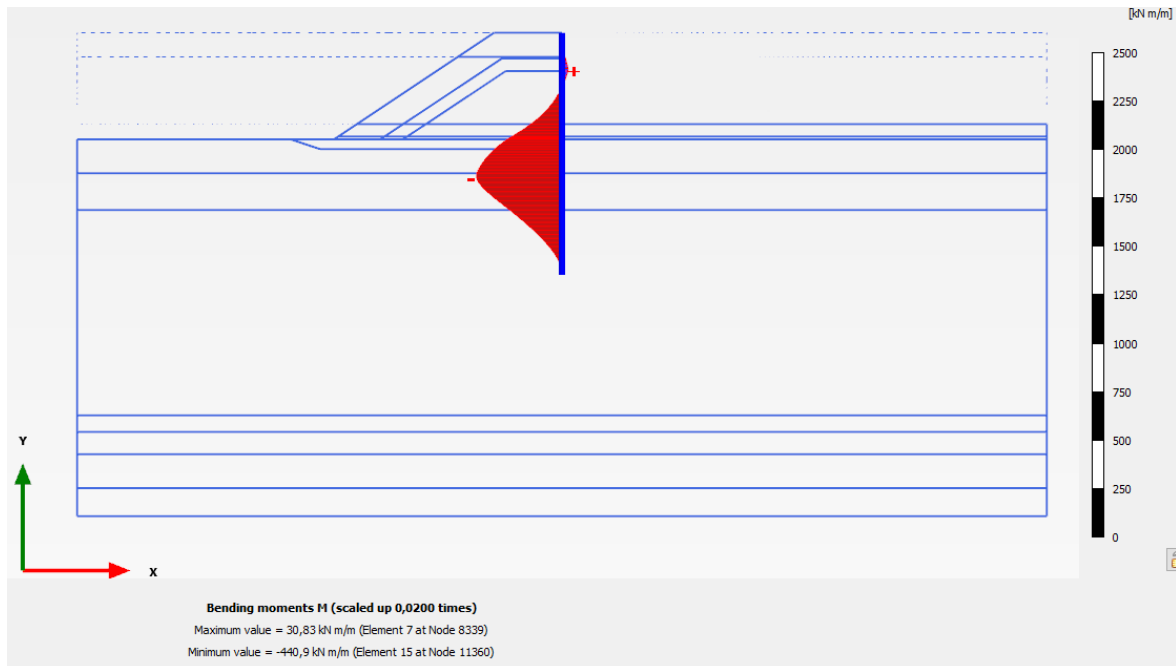
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

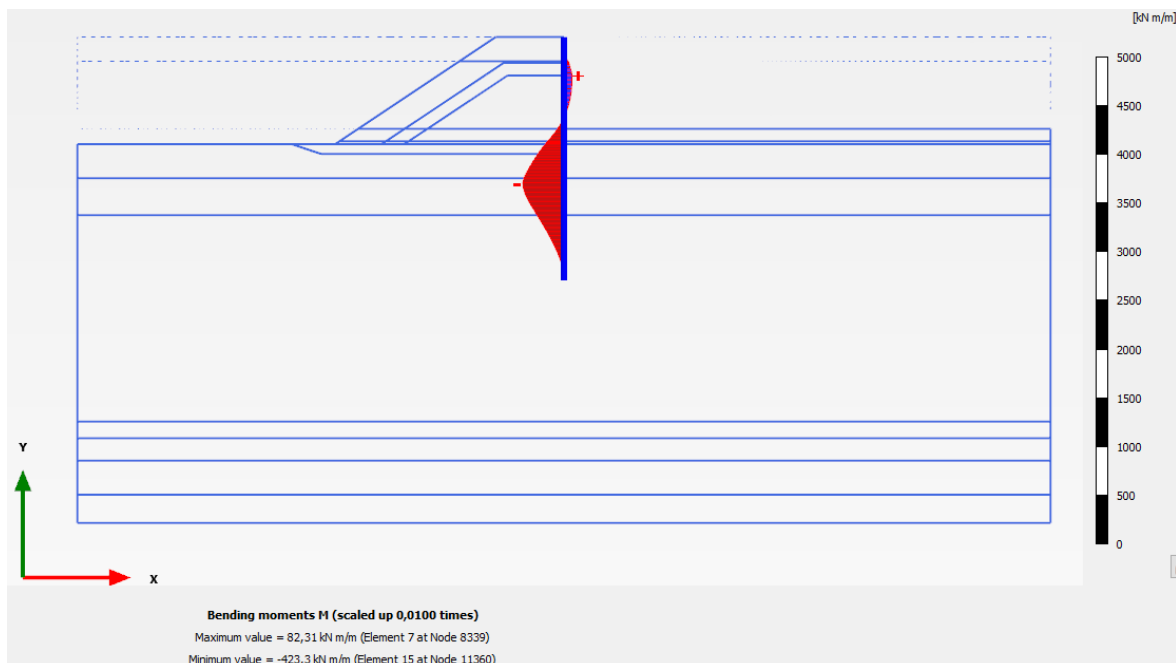
1233\_PP-E-002\_0.docx

#### 4.5.3 Inviluppo momento flettente SLE-SLU



Il momento massimo agli SLE risulta pari a 441 kNm/m mentre agli SLU si pone  $441 \times 1.3 = 573.3$  kNm/m

#### 4.5.4 Inviluppo momento flettente SLV



Il momento massimo agli SLV risulta pari a 423.3 kNm/m.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

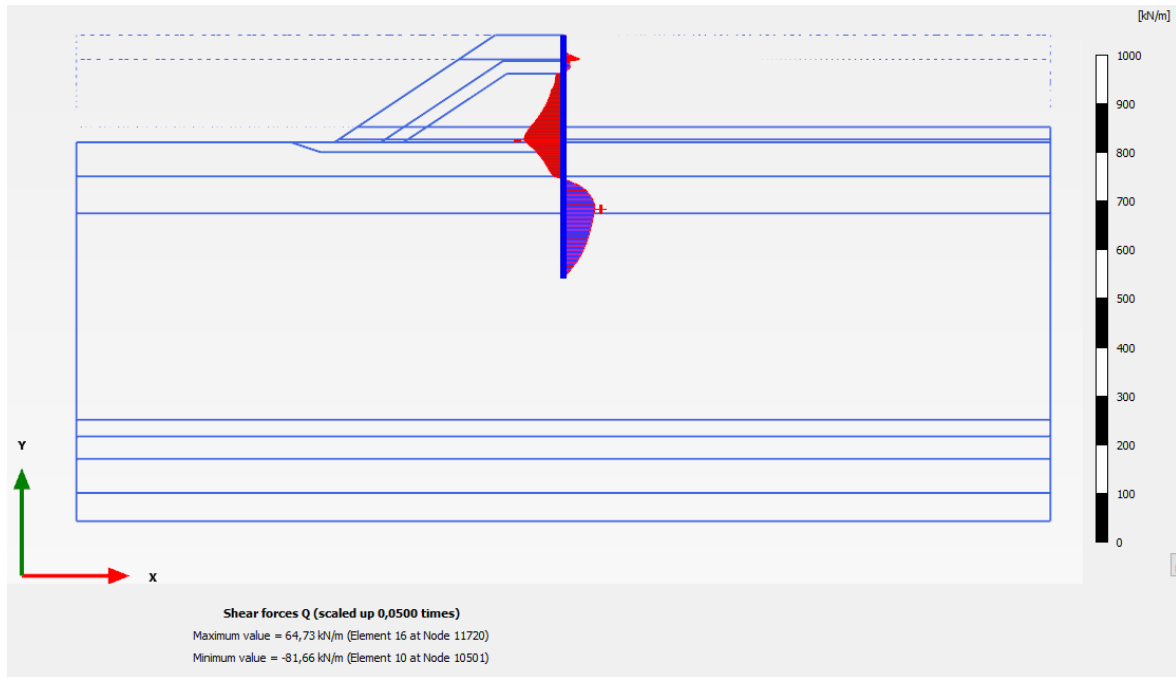
Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

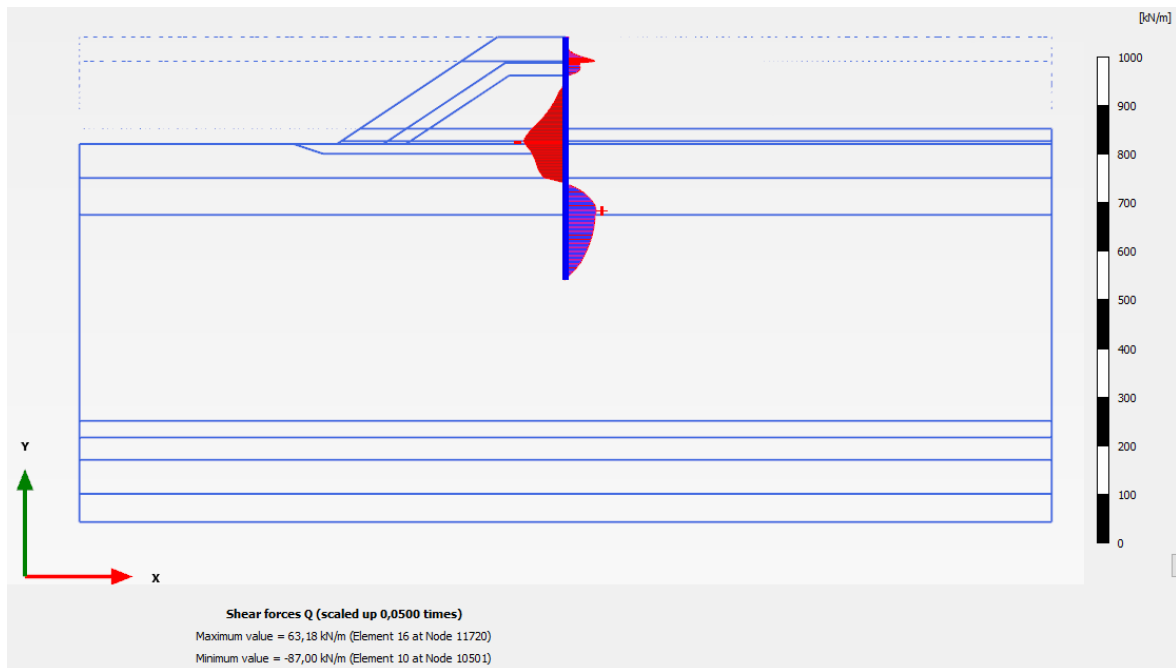
1233\_PP-E-002\_0.docx

#### 4.5.5 Involuppo taglio SLE-SLU



Il taglio massimo agli SLE risulta pari a 82 kN/m mentre agli SLU  $82 \times 1,3 = 106.6$  kN/m

#### 4.5.6 Involuppo taglio SLV



Il taglio massimo agli SLV risulta pari a 87 kN/m.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

## 4.6 Verifiche

### 4.6.1 Verifica di resistenza del palancolato a flessione

Per il palancolato combinato la verifica è stata svolta con il programma di calcolo HZM AZ stresses della Arcelor

The screenshot shows the HZM AZ Stresses software interface. The main window displays the following information:

- Input Data:** Bending Moment: 573 kNm/m, Compression Load: 470 kN/m, Deflection: 9 cm.
- Material List:** HZM / AZ Comb.: 44. The list shows various HZM and AZ combinations with their corresponding  $W_x$  (cm<sup>3</sup>/m) values. The selected combination is HZ 1080M B-12/AZ 18-700 with  $W_x = 8340$ .
- Steel Grades:** HZM: S 355 GP (355 MPa), RZ / RH: S 460 AP (460 MPa), AZ: S 355 GP (355 MPa).
- Safety Factors Sf:** HZM: 3,75, RZ / RH: 5,29, AZ: 13,10.
- System Properties:** HZ 1080M B-12/AZ 18-700. The table below shows the properties for this system.

Wx(HZM)	Wx(RHRZ)	Ix sys	Ax sys	Width b	g 60%	g 80%	g 100%
cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>3</sup> /m	cm <sup>4</sup> /m	cm <sup>2</sup> /m	m	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>
8340	9295	476790	226,2	1,93	218,6	237,8	257,1

The interface also includes a diagram of the pile system and a status bar at the bottom indicating "0 < Compression load =< 55300".

La verifica risulta soddisfatta.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

## 4.7 Analisi di stabilità globale

Analisi di stabilità in combinazione statica SLU (A2M2R2):

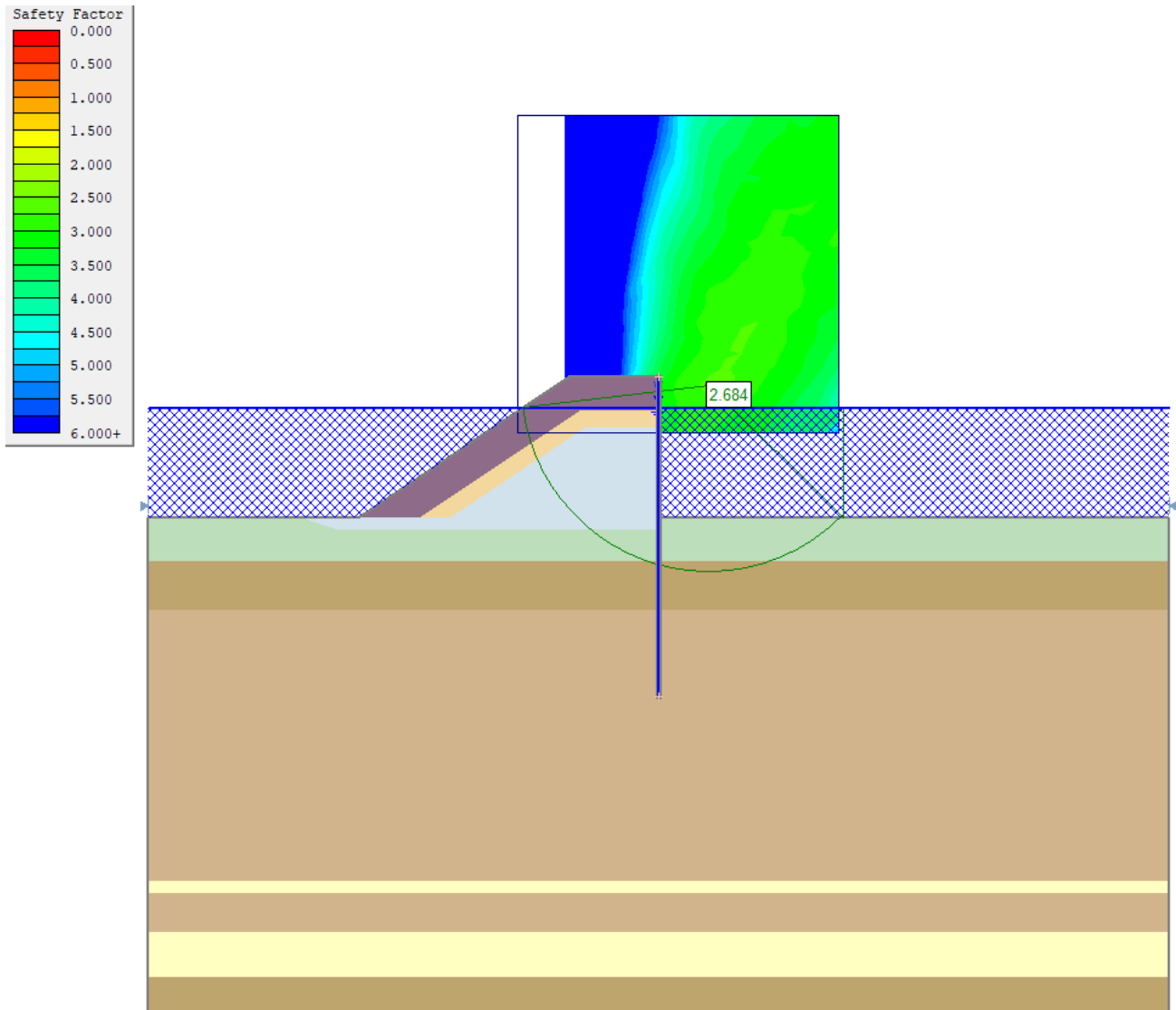


Figura 4.4 – Analisi di stabilità – SLU – Palancolato WBS5a

coefficiente di sicurezza  $FS = 2.684 > 1.1 = R2$

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-002\_0.docx

Analisi di stabilità in combinazione statica SLV:

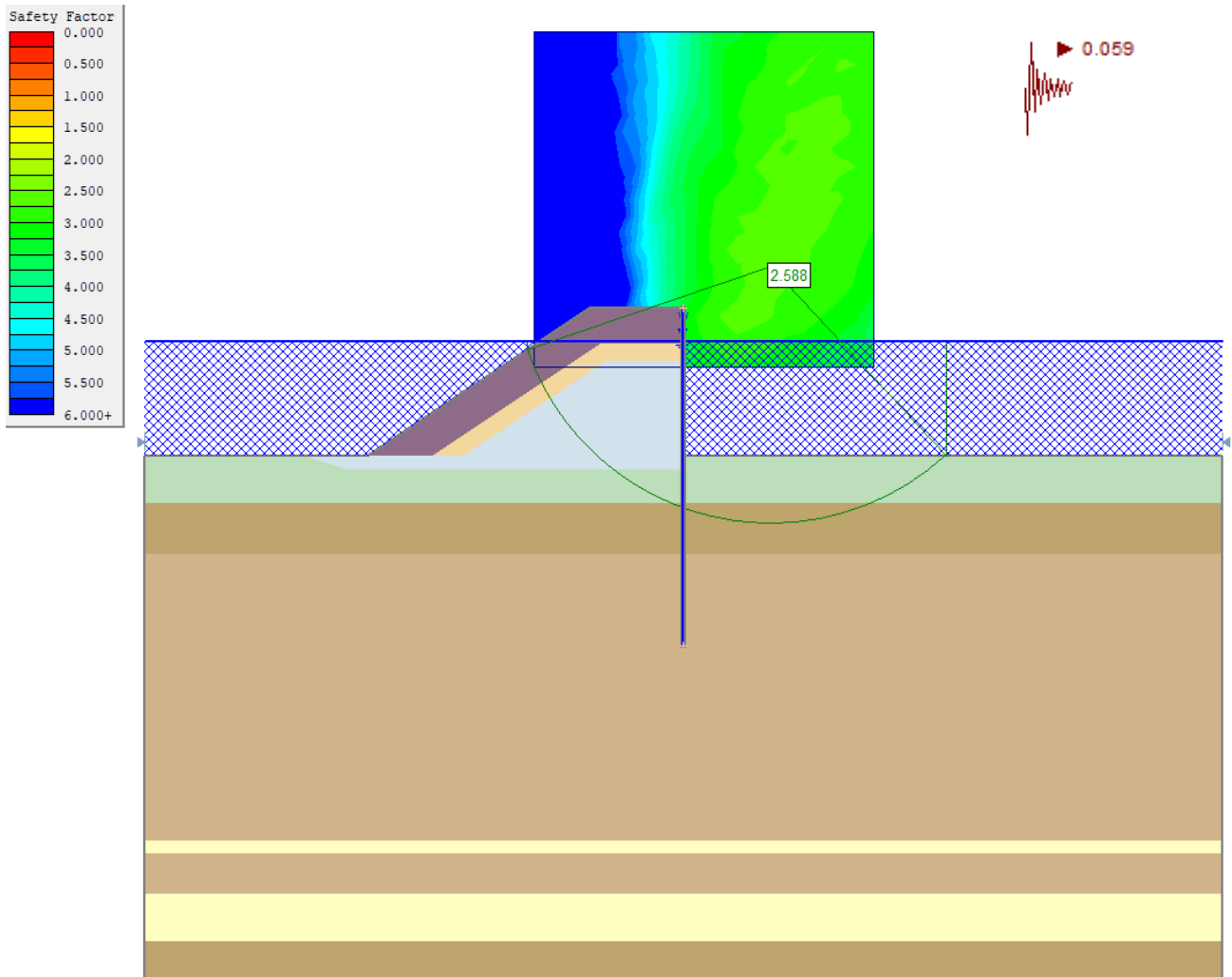


Figura 4.5 – Analisi di stabilità – SLV - Palancolato WBS5a

coefficiente di sicurezza  $FS = 2.588 > 1.2$