



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 scogliere

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

ELABORATO N.

**E001**

DATA: 08/11/2019	SCALA: -	FILE: 1233_PP-E-001_0.doc	J.N. 1233/'19
PROGETTO S. Beriotta	DISEGNO S. Beriotta	VERIFICA M. Tondello	APPROVAZIONE T. Tassi

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-001_0.docx
--	---	---

## Indice generale

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>APPROCCI UTILIZZATI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE SCOGLIERE</b>	<b>9</b>
2.1	DIMENSIONAMENTO DELLA MANTELLATA DI SCOGLIERE ARTIFICIALI (HUDSON)	9
2.2	DIMENSIONAMENTO DELLA MANTELLATA DI SCOGLIERE EMERSE IN MASSI NATURALI (VAN DER MEER)	10
2.3	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI (CRITERI DI RITENZIONE)	11
2.3.1	CERC	11
2.3.2	CRITERIO DI TERZAGHI	12
2.3.3	HEERTEN	12
2.3.4	CRITERIO DI IDONEITÀ MECCANICA	12
2.4	CALCOLO DELLA RISALITA DELL'ONDA PER OPERE A SCOGLIERA	12
2.5	CALCOLO DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE PER OPERE A SCOGLIERA	13
2.5.1	DISTRIBUZIONE STATISTICA DELLE ALTEZZE D'ONDA IN BASSO FONDALE	15
2.5.2	LIVELLI DI SICUREZZA CON RIFERIMENTO ALLA TRACIMAZIONE DELLE STRUTTURE	16
<b>3</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE</b>	<b>17</b>
3.1	CORPO D'OPERA WBS 1 – DIGA NORD CASSONI (TESTATA)	18
3.1.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI ARTIFICIALI	20
3.1.2	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	20
3.2	CORPO D'OPERA WBS 1 – DIGA NORD CASSONI (CORRENTE)	22
3.2.1	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	23
3.3	CORPO D'OPERA WBS 2A – DIGA NORD CHIUSURA (LATO ESTERNO E INTERNO)	25
3.3.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI ARTIFICIALI	26
3.3.2	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI NATURALI	27
3.3.3	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	28
3.4	CORPO D'OPERA WBS 2B – DIGA NORD ESTERNA COLMATA	30
3.4.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI NATURALI	31
3.4.2	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	32
3.4.3	CALCOLO DELLA RISALITA DELL'ONDA E DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE	33
3.5	CORPO D'OPERA WBS 2C – DIGA NORD DARSENA	34
3.5.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI NATURALI	35
3.5.2	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	36
3.5.3	CALCOLO DELLA RISALITA DELL'ONDA E DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE	37
3.6	CORPO D'OPERA WBS 3 – MOLO FORANEO DARSENA	38
3.6.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI NATURALI	39

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-001_0.docx
--	---	---

3.6.2	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	39
3.7	CORPO D'OPERA WBS 4A – DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST	42
3.7.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI NATURALI	43
3.7.2	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	44
3.7.3	CALCOLO DELLA RISALITA DELL'ONDA E DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE	45
3.8	CORPO D'OPERA WBS 4B – DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST	46
3.8.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI NATURALI	47
3.8.2	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	47
3.8.3	CALCOLO DELLA RISALITA DELL'ONDA E DELLA PORTATA DI TRACIMAZIONE	48
3.9	CORPO D'OPERA WBS 5A – DIGA SUD	49
3.9.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI NATURALI	50
3.9.2	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	51
3.10	CORPO D'OPERA WBS 5B – DIGA SUD ARGINE COLMATA	53
3.10.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI NATURALI	54
3.10.2	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	54
3.11	CORPO D'OPERA WBS 6 – NUOVA DIGA MELORIA	56
3.11.1	DIMENSIONAMENTO MANTELLATA IN MASSI ARTIFICIALI	57
3.11.2	DIMENSIONAMENTO DEI FILTRI	58
<b>4</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE</b>	<b>60</b>
4.1	VERIFICHE STATICHE	61
4.2	VERIFICHE SISMICHE	62
4.3	PARAMETRI GEOTECNICI	62
4.4	VIBROSOSTITUZIONE	63
4.5	WBS 1A	64
4.5.1	A2+M2+R2	65
4.5.2	SLV	65
4.6	WBS 2A	66
4.6.1	A2+M2+R2	66
4.6.2	SLV	66
4.7	WBS 2B	67
4.7.1	A2+M2+R2	67
4.7.2	SLV	67
4.8	WBS 4A	68
4.8.1	A2+M2+R2	68
4.8.2	SLV	68

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-001\_0.docx

<b>5</b>	<b>CALCOLO DEI CEDIMENTI</b>	<b>69</b>
5.1	PARAMETRI GEOTECNICI	70
5.1.1	HARDENING SOIL MODEL	70
5.1.2	MOHR-COULOMB	71
5.1.3	LINEAR ELASTIC	71
5.2	WBS 1A	72
5.2.1	FASI	72
5.2.2	OUTPUT	75
5.3	WBS 2A	76
5.3.1	FASI	76
5.3.2	OUTPUT	77
5.4	WBS 2B	78
5.4.1	FASI	78
5.4.2	OUTPUT	80
5.5	WBS 4A	82
5.5.1	FASI	82
5.5.2	OUTPUT	84

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-001\_0.docx

## Indice delle figure

Figura 2.1- Livelli di sicurezza delle opere nei confronti della tracimazione(cfr. Fukuda e a. 1974, Goda 1985) .....	17
Figura 3.1 - Planimetria con indicazione dei corpi d'opera e ubicazione delle sezioni tipologiche .....	18
Figura 3.2- Corpo d'opera WBS 1 - Sezione tipologica A (testata) DIGA NORD CASSONI.....	19
Figura 3.3 - Corpo d'opera WBS 1 - Sezione tipologica B (cassoni larghi 18 m) DIGA NORD CASSONI....	22
Figura 3.4 - Corpo d'opera WBS 1 - Sezione tipologica C(cassoni larghi 15 m) DIGA NORD CASSONI ....	23
Figura 3.5- Corpo d'opera WBS 2a - Sezione tipologica D (tratto curvo) DIGA NORD CHIUSURA .....	26
Figura 3.6- Corpo d'opera WBS 2a - Sezione tipologica D' (restante tratto) DIGA NORD CHIUSURA.....	26
Figura 3.7 - Corpo d'opera WBS 2b - Sezione tipologica E (corrente) DIGA NORD ESTERNA COLMATA.	31
Figura 3.8- Corpo d'opera WBS 2b - Sezione tipologica E (testata) DIGA NORD ESTERNA COLMATA ....	31
Figura 3.9- Corpo d'opera WBS 2c - Sezione tipologica E'' DIGA NORD DARSENA.....	35
Figura 3.10- Corpo d'opera WBS 2c - Sezione tipologica E''' DIGA NORD DARSENA.....	35
Figura 3.11- Corpo d'opera WBS 3 - Sezione tipologica E' (corrente) MOLO FORANEO DARSENA.....	39
Figura 3.12- Corpo d'opera WBS 3 - Sezione tipologica E (testata) MOLO FORANEO DARSENA .....	39
Figura 3.13- Corpo d'opera WBS 4a - Sezione tipologica F(corrente) DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST .....	43
Figura 3.14 - Corpo d'opera WBS 4a - Sezione tipologica G (testata) DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST .....	43
Figura 3.15 - Corpo d'opera WBS 4b - Sezione tipologica Q DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST...	46
Figura 3.16- Corpo d'opera WBS 5a - Sezione tipologica M (testata) DIGA SUD.....	49
Figura 3.17- Corpo d'opera WBS 5a - Sezioni tipologiche correnti N (a sinistra) e O (a destra) DIGA SUD .....	50
Figura 3.18- Corpo d'opera WBS 5b - Sezione tipologica P DIGA SUD ARGINE COLMATA .....	53
Figura 3.19- Corpo d'opera WBS 6 - Sezione tipologica H (testata) NUOVA DIGA DELLA MELORIA .....	56
Figura 3.20- Corpo d'opera WBS 6 - Sezioni tipologiche correnti da H'' (in alto) a L(in basso) NUOVA DIGA DELLA MELORIA.....	57
Figura 4.1 - Parametri sismici di progetto .....	62
Figura 4.2 – Planimetria intervento di vibroflottazione.....	63
Figura 4.3 – Spinte sul cassone in condizioni di cresta. ....	64
Figura 4.4 - Verifica di stabilità globale WBS 1a A2+M2.....	65
Figura 4.5 - Verifica di stabilità globale WBS 1a SLV.....	65
Figura 4.6 - Verifica di stabilità globale WBS 2a A2+M2.....	66
Figura 4.7 - Verifica di stabilità globale WBS 2a SLV.....	66
Figura 4.8 - Verifica di stabilità globale WBS 2b A2+M2.....	67
Figura 4.9 - Verifica di stabilità globale WBS 2b SLV.....	67
Figura 4.10 - Verifica di stabilità globale WBS 4a A2+M2.....	68
Figura 4.11 - Verifica di stabilità globale WBS 4a SLV.....	68
Figura 5.1 - WBS 1 - Fase iniziale. ....	72
Figura 5.2 - WBS 1 - Scavo. ....	73
Figura 5.3 - WBS 1 – Realizzazione dello scanno. ....	73
Figura 5.4 - WBS 1 - Vibrosostituzione. ....	73
Figura 5.5 - WBS 1 – Realizzazione della scogliera. ....	74
Figura 5.6 - WBS 1 – Posa dei cassoni.....	74
Figura 5.7 - WBS 2a – Completamento della scogliera.....	74

<b>Progetto:</b> 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	<b>Livello progettazione:</b> Progetto di fattibilità tecnico economica	<b>Elaborato:</b> OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-001_0.docx
---	--	--

Figura 5.8 - WBS 2a – Applicazione del sovraccarico.....	75
Figura 5.9 - WBS 1 – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 30 \text{ cm}$ ).....	75
Figura 5.10 - WBS 2a - Fase iniziale. ....	76
Figura 5.11 - WBS 2a - Scavo. ....	76
Figura 5.12 - WBS 2a – Realizzazione dello scanno. ....	77
Figura 5.13 - WBS 2a - Vibrosostituzione. ....	77
Figura 5.14 - WBS 2a – Realizzazione della scogliera.....	77
Figura 5.15 - WBS 2a – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 42 \text{ cm}$ ).....	78
Figura 5.16 - WBS 2b - Fase iniziale. ....	79
Figura 5.17 - WBS 2b - Scavo.....	79
Figura 5.18 - WBS 2b – Realizzazione dello scanno.....	79
Figura 5.19 - WBS 2b - Vibrosostituzione. ....	80
Figura 5.20 - WBS 2b – Realizzazione della scogliera. ....	80
Figura 5.21 - WBS 2b – Riempimento a tergo. ....	80
Figura 5.22 - WBS 2b – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 36 \text{ cm}$ ).....	81
Figura 5.23 - WBS 2b – Cedimento verticale della cassa di colmata ( $u_{y,max} = 1.5 \text{ m}$ ).....	81
Figura 5.24 - WBS 4a - Fase iniziale. ....	82
Figura 5.25 - WBS 4a - Scavo. ....	82
Figura 5.26 - WBS 4a – Realizzazione dello scanno. ....	83
Figura 5.27 - WBS 4a - Vibrosostituzione. ....	83
Figura 5.28 - WBS 4a – Realizzazione della scogliera.....	83
Figura 5.29 - WBS 4a – Riempimento a tergo.....	84
Figura 5.30 - WBS 4a – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 34 \text{ cm}$ ).....	84
Figura 5.31 - WBS 4a – Cedimento verticale della cassa di colmata ( $u_{y,max} = 2 \text{ m}$ ).....	85

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-001\_0.docx

## Indice delle tabelle

Tabella 3.1- Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CASSONI (testata).....	19
Tabella 3.2- Dimensionamento della mantellata in accropode® della testata della DIGA NORD CASSONI (WBS 1 - testata).....	20
Tabella 3.3 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CHIUSURA (lato esterno).....	25
Tabella 3.4 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CHIUSURA (lato interno) .....	25
Tabella 3.5- Dimensionamento della mantellata in accropode® della DIGA NORD CHIUSURA (WBS 2a - lato esterno) .....	27
Tabella 3.6 Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD CHIUSURA (WBS 2a - lato interno).....	27
Tabella 3.7 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD ESTERNA COLMATA .....	30
Tabella 3.8 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione della DIGA NORD ESTERNA COLMATA .....	30
Tabella 3.9- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD ESTERNA COLMATA (WBS 2b).....	32
Tabella 3.10- Calcolo della risalita e della portata di tracimazione della DIGA NORD ESTERNA COLMATA (WBS 2b).....	33
Tabella 3.11- Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD DARSENA .....	34
Tabella 3.12 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione della DIGA NORD DARSENA.....	34
Tabella 3.13- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD DARSENA (WBS 2c) .....	36
Tabella 3.14- Calcolo della risalita e della portata di tracimazione della DIGA NORD DARSENA (WBS 2c) .....	38
Tabella 3.15 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento del MOLO FORANEO DARSENA .....	38
Tabella 3.16- Dimensionamento della mantellata in massi naturali del MOLO FORANEO DARSENA (WBS 3) .....	39
Tabella 3.17 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST.....	42
Tabella 3.18 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST .....	42
Tabella 3.19- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST (WBS 4a).....	44
Tabella 3.20- Calcolo della risalita e della portata di tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST (WBS 4a).....	46
Tabella 3.21 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo della tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST .....	47
Tabella 3.22- Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST .....	47

<b>Progetto:</b> 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	<b>Livello progettazione:</b> Progetto di fattibilità tecnico economica	<b>Elaborato:</b> OPERE DI PROGETTO 1233_PP-E-001_0.docx
---	--	--

Tabella 3.23- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST (WBS 4b) .....47

Tabella 3.24- Calcolo della risalita e della portata di tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST (WBS 4b) .....49

Tabella 3.25- Caratteristiche dell’onda di progetto per il dimensionamento della DIGA SUD .....49

Tabella 3.26- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA SUD (WBS 5a).....50

Tabella 3.27 - Caratteristiche dell’onda di progetto per il dimensionamento della DIGA SUD ARGINE COLMATA .....53

Tabella 3.28- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA SUD ARGINE COLMATA (WBS 5b).....54

Tabella 3.29 - Caratteristiche dell’onda di progetto per il dimensionamento della NUOVA DIGA DELLA MELORIA.....56

Tabella 3.30- Dimensionamento della mantellata in ACCROPODE® della NUOVA DIGA DELLA MELORIA (WBS 6).....58

Tabella 4.1 – parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche (M1).....62

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-001\_0.docx

## 1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli preliminari condotti per il dimensionamento delle scogliere delle opere marittime previste nell'ambito della progettazione preliminare delle opere previste dalla prima fase di attuazione della Piattaforma Europa.

La relazione è stata articolata come segue:

- 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 delle mantellate delle strutture (in massi artificiali e/o naturali);
- verifica dei criteri di ritenzioni dei filtri granulari;
- verifica e dimensionamento dei filtri in geotessile;
- calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione (per i tratti di opera accessibili);
- verifica dei livelli di sicurezza nei confronti della tracimazione.

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-001\_0.docx

## 2 APPROCCI UTILIZZATI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE SCOGLIERE

Il presente paragrafo descrive gli approcci utilizzati per il calcolo del peso degli elementi delle mantellate in massi artificiali (accropode®) e naturali delle nuove dighe la cui realizzazione è prevista nell'ambito degli interventi di attuazione della prima fase della piattaforma Europa.

In particolare per il dimensionamento delle mantellate delle scogliere in massi artificiali è stato utilizzato l'approccio proposto da Hudson (cfr. "The Rock Manual", 2007). Invece per quanto riguarda il dimensionamento delle mantellate delle scogliere emerse in massi naturali è stato seguito l'approccio proposto da Van der Meer (cfr. "Coastal Engineering Manual", CEM 2007).

La stima della risalita dell'onda e della portata di tracimazione, per i corpi d'opera in cui è previsto l'accesso a mezzi e persone, è stato eseguito utilizzando gli approcci di calcolo riportati nel CEM. In particolare il calcolo della risalita dell'onda (runup) è stato condotto con riferimento all'approccio di de Waal e Van der Meer (de Waal & Van der Meer, 1992); mentre per il calcolo della portata di tracimazione sono state utilizzate le formulazioni di Van der Meer e Janssen (Van der Meer & Janssen, 1995).

Si riportano, inoltre, le formule proposte in letteratura per la verifica dei criteri di ritenzione dei filtri granulari e di geotessile utilizzati nel progetto. Per quanto riguarda i geotessili, si descrive anche l'approccio proposto da Lawson per la verifica dell'idoneità meccanica dei rinforzi.

### 2.1 Dimensionamento della mantellata di scogliere artificiali (Hudson)

Il dimensionamento della mantellata delle scogliere in massi artificiali (accropode®) è stato condotto secondo quanto indicato e raccomandato nel Rock Manual(2007); la formulazione di riferimento è quella generica proposta da Hudson (1953, 1959):

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = (K_D \cot \alpha)^{1/3},$$

dove:

- $H_s$  è l'altezza significativa della mareggiata di progetto;
- $D_n$  è la lunghezza del lato equivalente del cubo avente la stessa massa dell'accropode®
- $\gamma_c$  il peso specifico del calcestruzzo (assunto pari a 2.35 t/m<sup>3</sup>);
- $\gamma_a$  è il peso specifico dell'acqua (pari a 1.030 t/m<sup>3</sup>);
- $\Delta = (\gamma_c/\gamma_a)-1$
- $\cot \alpha$  è il rapporto di scarpa (orizzontale/verticale) pari a 4:3;
- $K_D$  è il coefficiente di stabilità dell'elemento.

Per quanto riguarda i valori del coefficiente di stabilità  $K_D$ , nel caso in cui venga impiegata la formulazione proposta da Hudson, SOGREAH raccomanda l'uso di un valore di  $K_D$  pari a 15 per sezione corrente e 11.5 per sezione di testata. Tali valori sono validi per sezioni con pendenza della mantellata da 3:2 a 4:3 e nel caso in cui si sia in presenza di fondali con pendenza non superiore al 3%. Nel CEM (Table VI-5-33) si specifica che il valore di  $K_D$  pari a 15 viene impiegato in presenza di onda non frangente, mentre per onda frangente si raccomanda un valore di 12.

Le sezioni sono state dimensionate in modo tale da avere un numero massimo di accropode® pari a 20 lungo la scarpata in accordo con le raccomandazioni di SOGREAH, valide per accropode® con volume superiore a 4 m<sup>3</sup>.

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-001_0.docx
--	---	---

## 2.2 Dimensionamento della mantellata di scogliere emerse in massi naturali (Van der Meer)

La formula di Van der Meer per il calcolo dei massi della mantellata di scogliere emerse fornisce il peso medio dei massi necessario a garantire la stabilità di mantellate di assegnata geometria sotto l'azione del moto ondoso incidente. Il peso medio dei massi ( $W_{50}$ ) può essere determinato una volta calcolato il valore del numero di stabilità  $N_s$ , attraverso le seguenti formule:

$$W_{50} = \gamma_s H_s^3 / \left[ N_s^3 \left( \frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \right], \quad \text{ovvero} \quad N_s = \frac{H_s}{\left( \frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) D_{50}}$$

dove

- $\gamma_s$  è il peso specifico dei massi (assunto pari a 2.6 t/m<sup>3</sup>);
- $\gamma_a$  è il peso specifico dell'acqua di mare (pari a 1.030 t/m<sup>3</sup>).
- $H$  è l'altezza d'onda significativa di progetto;
- $W_{50}$  e  $D_{50}$  sono rispettivamente il peso ed il diametro mediano dei massi.

In caso di altezza d'onda limitata dal frangimento, il CEM consiglia di ricavare l'altezza significativa attraverso la relazione che lega l'altezza significativa alla  $H_{2\%}$ , ragionevolmente assimilabile all'altezza  $H_b$ , massima in relazione al fondale. Per fondali a debole pendenza, si può assumere  $H_b = 0.78 d$ , dove  $d$  indica la profondità al piede dell'opera. Va tuttavia segnalato che nei casi sperimentali analizzati da Van der Meer il frangimento era di modesta intensità e comunque del tipo spilling: si ritiene pertanto ragionevole e cautelativo seguire le indicazioni dello stesso autore, che, in caso di frangimento molto intenso e di tipo plunging, raccomanda di utilizzare  $H = H_{2\%}/1.1 \div 1.2$ .

Il numero di stabilità legato all'onda che è mediamente responsabile del danneggiamento è dato dalle formule seguenti:

$$\frac{H}{\left( \frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) D_{50}} = 6.2 P^{0.18} S^{0.2} N^{-0.1} \xi_m^{-0.5} \quad \text{per frangimento tipo plunging}$$

$$\frac{H}{\left( \frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) D_{50}} = 1.0 P^{-0.13} S^{0.2} N^{-0.1} \sqrt{\cot \alpha} \xi_m^P \quad \text{per frangimento tipo surging}$$

dove:

- $\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_s}{g T_m^2}}}$  rappresenta il parametro di Iribarren;
- $H$  è l'altezza d'onda di progetto utilizzata nel calcolo;
- $T_m$  rappresenta il periodo medio della mareggiata, assunto pari a circa 0.87 volte il periodo di picco  $T_p$  (rapporto medio valido per spettro di tipo JONSWAP cfr. "Random Seas and Design Maritime Structures", Goda);
- $P$  è un fattore di permeabilità della struttura che vale 0.4 per strutture con mantellata in doppio strato e nucleo poco permeabile (come nel caso in esame – cfr. Figure VI-5-11 del CEM);
- $S$  è il grado di danneggiamento;
- $N$  è il numero di onde della mareggiata;
- $\alpha$  è l'angolo che la scarpata della mantellata forma con l'orizzontale.

In merito al grado di danneggiamento assunto nei dimensionamenti si fa presente che convenzionalmente, per strutture staticamente stabili, viene utilizzato un valore di  $S$  pari a 2; tale valore corrisponde ad una condizione definita come "start of damage" (danneggiamento iniziale), corrispondente ad una percentuale di danno  $D$  compresa tra 0 e 5%. Al fine di garantire una maggiore

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-001_0.docx
--	---	---

stabilità e durabilità della struttura, nei dimensionamenti delle scogliere in massi naturali, è stato utilizzato un approccio più conservativo, ovvero considerando nel calcolo un valore del parametro S pari a 1; questo valore, come riportato in appendice alla tabella 5.23 del CIRIA, corrisponde ad una condizione di “assenza di danno” (damage = zero) con possibilità di limitati assestamenti/cedimenti della struttura, ma non di dislocamento di singoli elementi della mantellata. Peraltro valori di S inferiori a 1 non hanno significato fisico

Per l’individuazione del criterio di frangimento (plunging o surging) e, quindi, della formula da usare per il calcolo del numero di stabilità, Van der Meer fornisce un valore di riferimento (critico) per il parametro di Iribarren:

$$\xi_{m,c} = (6.2P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha})^{\frac{1}{(P+0.5)}}$$

Se il parametro di Iribarren è inferiore al valore critico si ha un frangimento di tipo plunging, in caso contrario di tipo surging.

Ove la struttura sia assimilabile al tipo cosiddetto a cresta bassa, la formula di Van der Meer, può essere applicata tenendo conto di un fattore di riduzione  $\phi$  delle dimensioni dei massi, funzione dell’altezza della cresta fuori dall’acqua:

$$\phi = \frac{1}{1.25 - 4.8 \frac{R_c}{H_S} \sqrt{\frac{s_{0P}}{2\pi}}}$$

dove:

- $R_c$  rappresenta l’altezza del coronamento rispetto al livello del mare;
- $s_{0P}$  è la ripidità dell’onda, data dal rapporto tra altezza significativa e lunghezza d’onda al largo (calcolata in base al periodo di picco).

La formulazione è valida per  $0 < \frac{R_c}{H_S} \sqrt{\frac{s}{2\pi}} < 0.052$ .

Il fattore di riduzione  $\phi$  varia tra 0.8 (coronamento al livello del mare) e 1.0 (opera non tracimabile); il corrispondente fattore di riduzione del peso varia rispettivamente tra 1.0 e 0.5.

## 2.3 Dimensionamento dei filtri (criteri di ritenzione)

La progettazione dei filtri richiede la conoscenza delle caratteristiche del terreno di base, del filtro e delle condizioni al contorno di carattere idraulico, geometrico e meccanico. I criteri di ritenzione sono prevalentemente basati su considerazioni di carattere geometrico. L’effetto della forza di trascinamento esercitata dal flusso sui grani del terreno di base non viene, pertanto, considerata, ipotizzando quindi che la possibilità di movimento sia legata al rapporto tra la dimensione dei grani del terreno da proteggere e la dimensione dei pori del filtro.

### 2.3.1 CERC

Il criterio proposto dal CERC SPM (1984) è valido per mantellate di granulometria uniforme in condizioni di flusso non stazionario (esposte al moto ondoso). Il criterio si basa sulla limitazione del rapporto tra il diametro degli elementi del filtro ( $D_f$ ), o del materiale a granulometrica maggiore, e quello degli elementi del materiale di base ( $D_b$ ), o del materiale a granulometrica più fine:

$$\frac{D_f}{D_b} \leq 2.2.$$

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-001_0.docx
--	---	---

Tale verifica viene condotta con riferimento a strati contigui di materiali granulari aventi differente pezzatura (ad esempio tra mantellata e nucleo/filtro della scogliera o filtro/nucleo e imbasamento).

### 2.3.2 Criterio di Terzaghi

Il criterio di Terzaghi (1922) si basa sul principio che la granulometria del corpo filtrante deve impedire la migrazione della frazione più fine del terreno esistente in situ (terreno di base) attraverso il corpo drenante, al fine di evitare l'intasamento di questo e la progressiva erosione del terreno all'intorno. La formula di verifica proposta da Terzaghi (criterio di ritenzione) è la seguente:

$$\frac{D_{15f}}{D_{85b}} < 4$$

dove:

- $D_{15f}$  è il diametro corrispondente al 15% del passante in peso del materiale drenante;
- $D_{85b}$  è il diametro corrispondente all'85% del passante in peso del terreno da drenare.

### 2.3.3 Heerten

Il metodo proposto da Heerten (1982), applicato all'interfaccia geotessile-terreno di base, è espresso dalla seguente formula:

$$D_w < D_{50},$$

dove

- $D_w$  è l'apertura efficace di filtrazione determinata mediante test tipo "wetsieving" (EN ISO 12956);
- $D_{50}$  è il diametro mediano del materiale di base.

### 2.3.4 Criterio di idoneità meccanica

La lacerazione rappresenta il meccanismo di rottura più probabile per un geotessile utilizzato con funzione di filtro al di sotto di una protezione in pietrame. Il danneggiamento, in questo tipo di costruzioni, avviene prevalentemente durante la messa in opera. Per la verifica dell'idoneità meccanica del geotessile, cioè della capacità del geotessile stesso di sopportare le sollecitazioni meccaniche conseguenti alle fasi di costruzione, si fa riferimento al criterio proposto da Lawson (1992). I parametri di riferimento per la verifica secondo il criterio di Lawson sono la dimensione degli elementi lapidei posti sopra il geotessile (rappresentata dal  $D_{85}$  del materiale lapideo), e la resistenza caratteristica alla lacerazione del geotessile ( $F_T$  [N]), valutata secondo la prova ASTM D4533 ("trapezoidal tear test method"). La resistenza caratteristica può anche essere dedotta da prove standard analoghe a quella descritta dall'ASTM, quali la ISO 13434 o UNI 8279.

La resistenza alla lacerazione richiesta al geotessile è data dalla relazione:  $F_T \geq 1500(D_{85})^{0.75}$ .

Generalmente si applica un coefficiente di sicurezza pari a 4.

## 2.4 Calcolo della risalita dell'onda per opere a scogliera

Il calcolo della risalita, o runup, per le scogliere che delimitano il perimetro del terrapieno della colmata (tratto accessibile a mezzi e persone) è stato condotto con riferimento alla metodologia proposta nel Coastal Engineering Manual edito dal Coastal Engineering Research Center, che a sua volta fa riferimento agli studi condotti da de Waal e Van der Meer (de Waal & Van der Meer, 1992).

La metodologia utilizzata consente di valutare il runup in funzione dei parametri caratteristici dell'onda incidente, della tipologia e della geometria della mantellata; in particolare, vengono considerati:

- pendenza del profilo batimetrico;
- pendenza della mantellata ( $\tan \alpha$ );

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-001\_0.docx

- tipo e disposizione degli elementi utilizzati per la mantellata;
- profondità al piede dell'opera (d);
- periodo di picco ( $T_p$ );
- altezza significativa spettrale al piede dell'opera ( $H_s$ );
- incidenza dell'onda rispetto alla normale al paramento ( $\beta$ );
- stato del mare (swell o mare vivo).

Il valore di risalita, o runup, rispetto al livello del mare durante la mareggiata è espresso dalle seguenti espressioni:

$$\frac{RU_{2\%}}{H_s} = 1.5\xi_{OP}\gamma_r\gamma_b\gamma_h\gamma_\beta = 1.5\xi_{eq}\gamma_r\gamma_h\gamma_\beta \quad \text{per } 0.5 < \xi_{eq} \leq 2,$$

$$\frac{RU_{2\%}}{H_s} = 3.0\gamma_r\gamma_h\gamma_\beta \quad \text{per } \xi_{eq} > 2,$$

$$\xi_{OP} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_{OP}}}; \quad \xi_{eq} = \frac{\tan \alpha_{eq}}{\sqrt{s_{OP}}} \Leftrightarrow \gamma_b \xi_{OP},$$

dove:

- $RU_{2\%}$  rappresenta la quota di risalita che viene superata dal 2% delle onde della mareggiata;
- $s_{OP}$  il rapporto tra altezza significativa locale e lunghezza d'onda al largo (ricavata in base al periodo di picco);
- $\alpha_{eq}$  la pendenza media della mantellata nel tratto compreso tra la quota di  $-H_s$  e  $+H_s$  (variabile, in particolare, per l'eventuale presenza di una berma);
- i coefficienti  $\gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta$  tengono conto rispettivamente della scabrezza della mantellata, della presenza di eventuali berme sommerse o semi-sommerse poste a profondità, della distribuzione statistica delle altezze d'onda in basso fondale e dell'incidenza della direzione media di propagazione rispetto alla normale al paramento (con coefficiente differenziato per condizioni di mare vivo o di swell).

Il valore di  $\gamma_r$  è tabulato in funzione delle caratteristiche degli elementi della mantellata, mentre i restanti coefficienti sono dati dalle seguenti relazioni:

$$\gamma_b = \frac{\xi_{eq}}{\xi_{OP}},$$

$$\gamma_h = \frac{H_{2\%}}{1.4H_s},$$

dove le altezze d'onda indicate tengono conto del fatto che la distribuzione statistica delle altezze in acque basse differisce da quella di Rayleigh (si veda al proposito il paragrafo 2.5.1);

$$\gamma_\beta = \begin{cases} 1.0 & \text{per } 0^\circ \leq \beta \leq 10^\circ \\ \cos(\beta - 10^\circ) & \text{per } 10^\circ < \beta \leq 63^\circ \\ 0.6 & \text{per } \beta > 63^\circ \end{cases} \quad \text{in condizioni di swell,}$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0022\beta \quad \text{in condizioni di mare vivo.}$$

Il valore di  $\gamma_r$  è assunto pari a 0.5, considerando che le mantellate della diga Nord (per il tratto accessibile a mezzi e persone) sono costituite un doppio strato di massi naturali.

## 2.5 Calcolo della portata di tracimazione per opere a scogliera

Il calcolo della portata di tracimazione per le scogliere che delimitano il perimetro del terrapieno della colmata è stato condotto con riferimento alla metodologia proposta nel Coastal Engineering Manual

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-001_0.docx
--	---	---

edito dal Coastal Engineering Research Center, che a sua volta fa riferimento agli studi condotti da Van der Meer e Janssen (van der Meer & Janssen, 1995).

La metodologia utilizzata consente di valutare la portata media di tracimazione in funzione dei parametri caratteristici dell'onda incidente, della tipologia e della geometria della mantellata; in particolare, vengono considerati:

- pendenza del profilo batimetrico;
- pendenza della mantellata ( $\tan \alpha$ );
- tipo e disposizione degli elementi utilizzati per la mantellata;
- quota del coronamento rispetto al livello del mare incrementato del setup (RC);
- profondità al piede dell'opera (d);
- periodo di picco ( $T_p$ );
- altezza significativa al piede dell'opera (HS);
- incidenza dell'onda rispetto alla normale al paramento ( $\beta$ );
- stato del mare (swell o mare vivo).

La portata media di tracimazione, espressa in metri cubi al secondo per metro di sviluppo del coronamento, è data dalle seguenti espressioni:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_S^3}} \sqrt{\frac{S_{OP}}{\tan \alpha}} = 0.06 \exp\left(-5.2 \frac{R_C \sqrt{S_{OP}}}{H_S \tan \alpha \gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}\right) \quad \text{per } \xi_{OP} < 2,$$

$$\text{valida per } 0.3 < \frac{R_C \sqrt{S_{OP}}}{H_S \tan \alpha \gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta} < 2,$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_S^3}} = 0.2 \exp\left(-2.6 \frac{R_C}{H_S \gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}\right) \quad \text{per } \xi_{OP} > 2$$

$$\xi_{OP} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{OP}}},$$

dove:

- $\xi_{OP}$  rappresenta il rapporto tra altezza significativa locale e lunghezza d'onda al largo (ricavata in base al periodo di picco);
- i coefficienti  $\gamma_r, \gamma_b, \gamma_h, \gamma_\beta$ , già descritti nel precedente paragrafo, tengono conto rispettivamente della scabrezza della mantellata, della presenza di eventuali berme sommerse poste a profondità comprese tra la metà dell'altezza significativa al piede dell'opera e il livello del mare, della distribuzione statistica delle altezze d'onda in basso fondale e dell'incidenza della direzione media di propagazione rispetto alla normale al paramento (con coefficiente differenziato per condizioni di mare vivo o di swell).

Per quanto riguarda il coefficiente  $\gamma_\beta$  valgono, nel caso del calcolo della portata di tracimazione valgono le seguenti espressioni:

- $\gamma_\beta = \begin{cases} 1.0 & \text{per } 0^\circ \leq \beta \leq 10^\circ \\ \cos^2(\beta - 10^\circ) & \text{per } 10^\circ < \beta \leq 50^\circ \\ 0.6 & \text{per } \beta > 50^\circ \end{cases}$  in condizioni di swell,
- $\gamma_\beta = 1 - 0.0033\beta$  in condizioni di mare vivo.

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-001_0.docx

### 2.5.1 Distribuzione statistica delle altezze d'onda in basso fondale

Le caratteristiche dell'onda in acque basse sono generalmente ricavate utilizzando un modello di propagazione dell'energia dell'onda a partire dai dati al largo. La maggior parte dei modelli a disposizione fornisce come risultato l'energia locale dell'onda ( $e$ , a seconda del modello selezionato, la sua distribuzione spettrale), ma non la distribuzione delle altezze d'onda, sebbene queste grandezze rivestano un ruolo molto importante nel progetto delle strutture marittime.

In acque profonde, il comportamento approssimativamente lineare delle onde permette di considerare un andamento gaussiano dei valori istantanei del livello del mare, che porta ad una distribuzione di Rayleigh delle altezze d'onda, univocamente determinata dal valore locale dell'energia. La distribuzione statistica delle altezze d'onda in basso fondale non è invece rappresentabile con la distribuzione di Rayleigh; in particolare, nella zona in cui cominciano a frangere le onde più alte della mareggiata, la distribuzione delle altezze subisce sensibili variazioni. Queste variazioni rivestono particolare importanza nello studio statistico del runup e della tracimazione di opere poste in basso fondale, come quelle in oggetto. In particolare, l'eliminazione progressiva (verso la riva) delle onde più alte comporta una riduzione sensibile del runup e della tracimazione (riferiti al percentile 2%), della quale viene tenuto conto attraverso un opportuno coefficiente di riduzione ( $\gamma_n$ ) da applicare a runup e tracimazione.

L'approccio seguito per la valutazione della distribuzione statistica delle altezze d'onda all'interno della singola mareggiata è quello proposto da Battjes e Groenendijk (Battjes&Groenendijk, 2000). Il metodo di calcolo proposto da Battjes e Groenendijk si basa sull'analisi e sulla parametrizzazione di dati di laboratorio relativi a studi condotti in canaletta.

Tale parametrizzazione parte dall'ipotesi di considerare fenomeni in lenta evoluzione (batimetria con variazioni gradualmente), in maniera tale che la distribuzione delle altezze dipenda solamente da fattori locali. In questo modo si ottiene quello che viene comunemente chiamato "point model", la cui applicazione trova il suo campo di validità in acque poco profonde con topografia del fondale relativamente semplice (batimetria regolare e profili trasversali a debole pendenza).

La parametrizzazione dei dati utilizza una combinazione di due distribuzioni di Weibull, calibrate e validate con i dati di laboratorio. Come risultato si ottiene un modello di previsione in grado di fornire la distribuzione locale dell'altezza d'onda, utilizzando come dati di input l'energia locale dell'onda, la profondità e la pendenza del fondale. L'equazione base del modello appena proposto si basa appunto sulla combinazione di due distribuzioni di Weibull, la cui espressione è riportata di seguito:

$$F(H) \equiv Pr \left\{ H \leq H \right\} = \begin{cases} F_1(H) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{H}{H_1} \right)^{k_1} \right] & H \leq H_{tr} \\ F_2(H) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{H}{H_2} \right)^{k_2} \right] & H \geq H_{tr} \end{cases}$$

dove  $H_{tr}$  rappresenta l'altezza d'onda di transizione, gli esponenti  $k_1$  e  $k_2$  sono dei parametri di forma correlati alla curvatura della distribuzione,  $H_1$  e  $H_2$  sono dei parametri di scala.

I parametri  $H_1$  e  $H_2$  sono parametri di scala privi di un significato fisico particolare e possono pertanto essere considerati alla stregua di costanti: uno dei due viene infatti considerato come parametro indipendente e l'altro viene sostituito dal valore dell'altezza quadratica media  $H_{rms}$ . Al fine di risolvere l'equazione e calcolare il valore dei parametri appena descritti, si procede imponendo la continuità dell'equazione in corrispondenza dell'altezza di transizione  $H_{tr}$ .

In prima analisi si determina il valore dei due parametri di forma, quindi si normalizzano tutte le altezze d'onda riportate nell'equazione rispetto all'altezza quadratica media  $H_{rms}$  ottenendo così il

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-001_0.docx

valore dell'altezza di transizione. Successivamente, viene stabilita una relazione tra i parametri della distribuzione e i parametri caratteristici della batimetria e della mareggiata, quali la profondità ( $d$ ), la pendenza locale del fondale e le caratteristiche dello spettro dell'energia. A tale scopo viene introdotto il coefficiente adimensionale  $\psi \equiv \sqrt{m_0} / d$ , il quale misura l'intensità relativa dell'onda. Il parametro  $m_0$  rappresenta il momento di ordine zero dello spettro.

Il coefficiente  $\psi$  interviene direttamente nella formulazione dell'altezza quadratica media  $H_{rms}$ , la quale può essere espressa come:

$$H_{rms} \equiv (2.69 + \beta_{rms}\psi)\sqrt{m_0},$$

dove  $\beta_{rms}$ , in base al fit dei dati di laboratorio, può essere assunto pari a 3.24.

Per quanto riguarda l'altezza d'onda di transizione, essa assume espressioni differenti in relazione al valore del parametro  $\psi$ . In particolare, nel caso oggetto del presente studio, il valore di  $\psi$  risulta maggiore di 0.06; pertanto l'espressione proposta da Battjes e Groenendijk è la seguente:

$$H_{tr} \equiv (c_1 + c_2 \tan \alpha)d$$

dove  $c_1$  e  $c_2$ , ricavati dal best fit dei dati di laboratorio, sono rispettivamente pari a 0.35 e 5.8, mentre  $\tan \alpha$  rappresenta la pendenza del fondale.

Implementando le formule proposte si ottiene la tabella riportata nell'articolo di Battjes e Groenendijk (Coastal Engineering 40-2000 161-182, Tabella 2). Entrando in tabella con il valore dell'altezza di transizione normalizzata  $\bar{H}_{tr} \equiv H_{tr}/H_{rms}$ , si ottengono i corrispondenti valori di  $H_{1/3}$ ,  $H_{1/10}$ ,  $H_{2\%}$ ,  $H_{1\%}$  e  $H_{0.1\%}$ , sempre normalizzati in funzione di  $H_{rms}$ .

Nel caso in esame, volendo valutare il rapporto tra  $H_{2\%}$  e  $H_{1/3}$  per calcolare il coefficiente  $\gamma_h$  che tiene conto della distribuzione statistica delle altezze d'onda in basso fondale, i valori di input sono:

- profondità locale;
- pendenza locale del fondale ( $\tan \alpha$ );
- altezza significativa  $H_s$  (assunta corrispondente ad  $H_{m0}$ ).

#### 2.5.2 Livelli di sicurezza con riferimento alla tracimazione delle strutture

Nella successiva Figura 2.1 si riporta il grafico con i livelli di sicurezza suggeriti per le diverse tipologie di strutture (opere a scarpata, opere composite e cassoni) nei confronti dei fenomeni di tracimazione (cfr. Fukuda e a. 1974, Goda 1985). Nel caso specifico, le opere accessibili a mezzi e persone (scogliere che conterminano la colmata) saranno realizzate con scogliere in massi naturali. Trattandosi di opere a scarpata, si ritiene sufficiente limitare le portate di tracimazione a valori inferiori a 1 l/s/m, in modo tale da garantire sia la sicurezza funzionale che strutturale dell'opera.

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-001\_0.docx

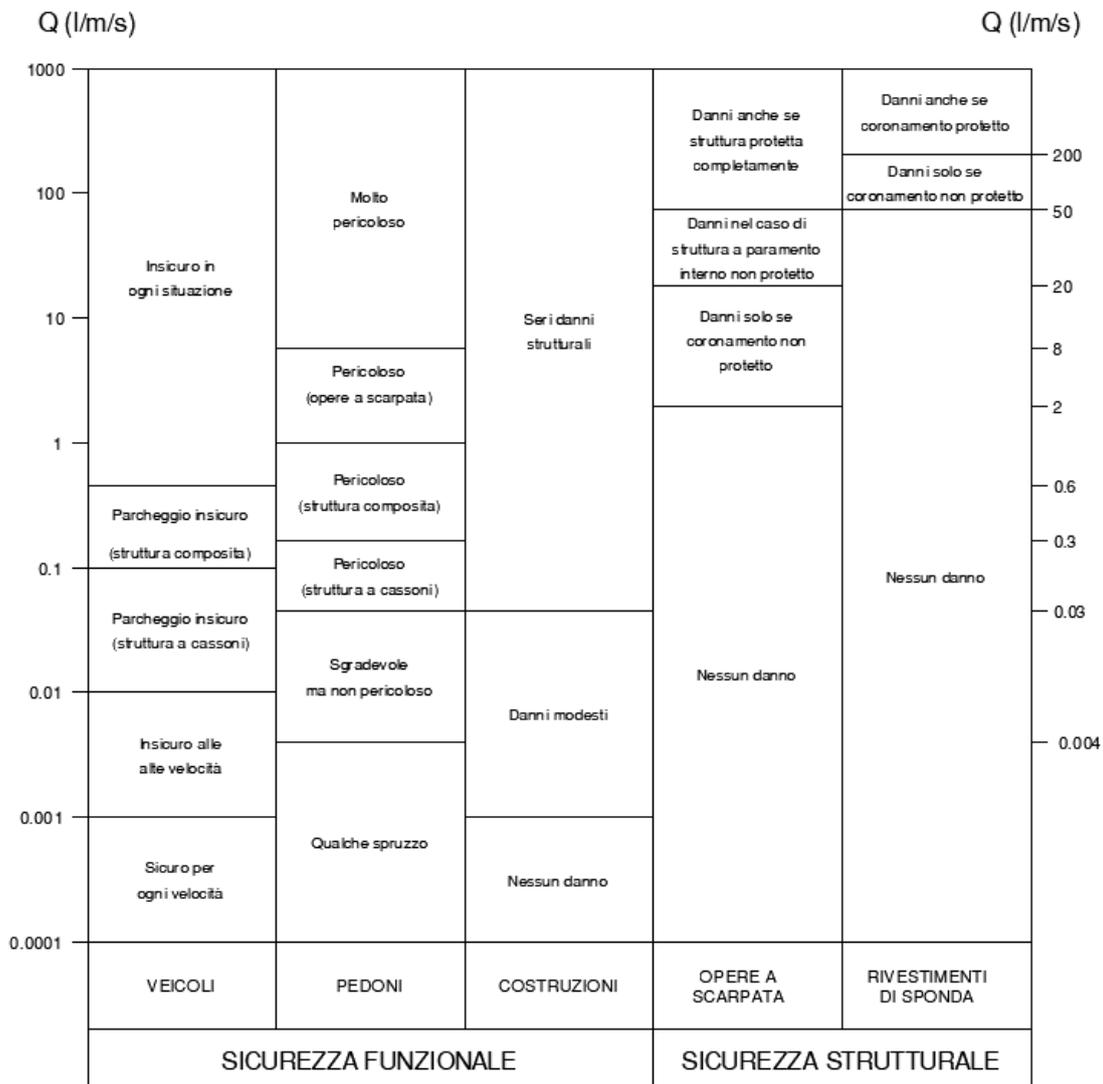


Figura 2.1- Livelli di sicurezza delle opere nei confronti della tracimazione(cfr. Fukuda e a. 1974, Goda 1985)

### 3 DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE

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 3.1. 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 con idonei 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 delle scogliere in massi artificiali (tipo accropode®) e naturali; si riportano inoltre le verifiche dei criteri di ritenzione dei filtri granulari e di geotessile.

Per i corpi d'opera accessibili a persone e mezzi, ovvero tutto il tratto di scogliera che contermina la colmata (corpi d'opera WBS 2b, 2c, 4a e 4b), è stato eseguito anche il calcolo della risalta dell'onda e della portata di tracimazione, con l'obiettivo di definire delle quote di coronamento delle opere tali da garantire i livelli di sicurezza prefissati (cfr. precedente paragrafo 2.5.2).

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-001\_0.docx

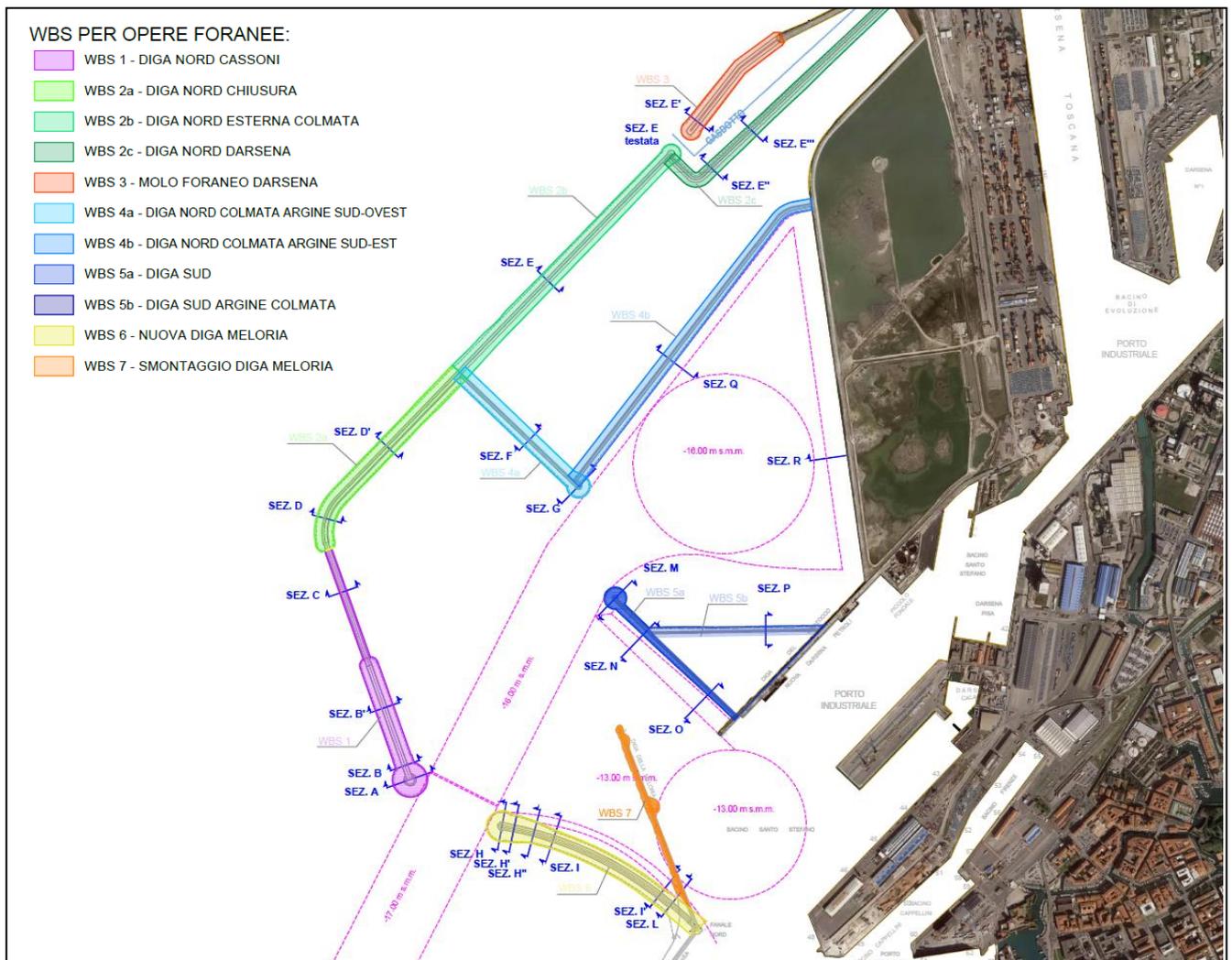


Figura 3.1 - Planimetria con indicazione dei corpi d'opera e ubicazione delle sezioni tipologiche

### 3.1 Corpo d'opera WBS 1 – DIGA NORD CASSONI (testata)

Il corpo d'opera WBS1 (ovvero il tratto più esterno della diga Nord) è costituito da cassoni in calcestruzzo 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..

In corrispondenza del tratto terminale della diga Nord in prossimità dell'imboccatura, i cassoni saranno protetti da una scogliera realizzata con massi artificiali tipo accropode® da 6 m<sup>3</sup>; la scogliera sarà imbasata alla -20.00 m s.m.m., con paramento avente pendenza 4:3 e quota di coronamento +4.50 m s.m.m. (Figura 3.2). Al di sotto della mantellata verrà disposto uno strato filtro realizzato con massi naturali di II categoria (da 1 a 3 t); il nucleo sarà costituito da pietrame di pezzatura 50÷500 kg. Per la posa di tutte le scogliere si prevede la bonifica del fondale e la realizzazione di uno scanno di imbasamento di spessore di 1.00 m sempre con pietrame 50÷500 kg, posato sul fondale mediante interposizione di un geocomposito.

Al piede della mantellata in accropode® verrà realizzata una berma con strato esterno in massi di III categoria (da 3 a 7 t), con quota di coronamento -13.50 m s.m.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-001\_0.docx

Nella successiva Tabella 3.1 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento della testata della diga Nord (sezione tipologica A).

<b>CORPO D'OPERA WBS 1 – DIGA NORD CASSONI (testata)</b>	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	140 anni
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in accropode®)
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. A
<b>Altezza significativa</b>	5.71 m
<b>Periodo di picco</b>	12.52 s
<b>Direzione di provenienza</b>	200°N
<b>Sovralzo</b>	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.1- Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CASSONI (testata)

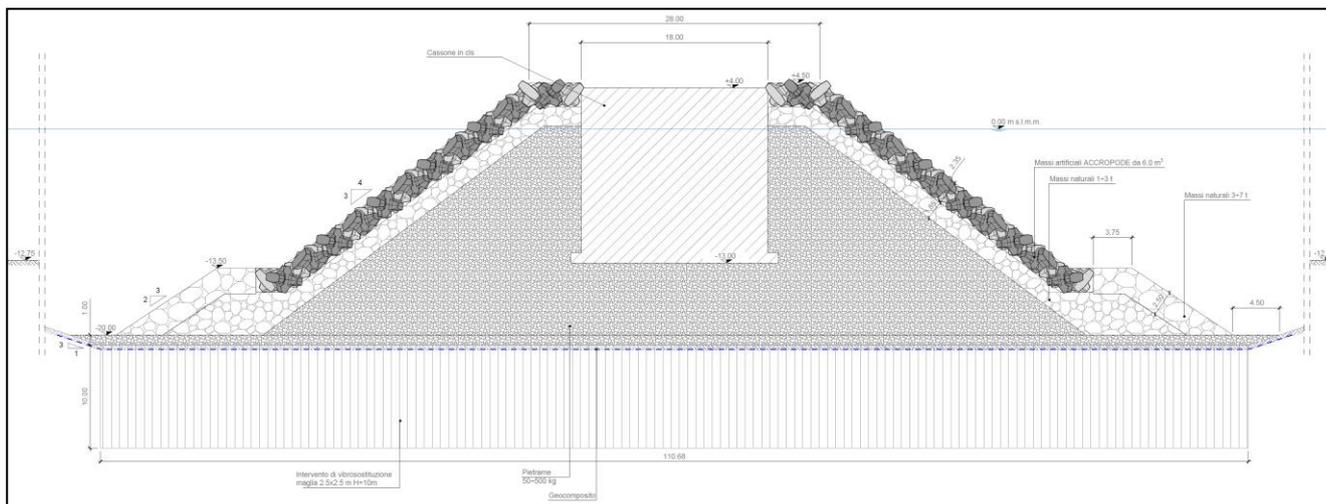


Figura 3.2- Corpo d'opera WBS 1 - Sezione tipologica A (testata) DIGA NORD CASSONI

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-001\_0.docx

### 3.1.1 Dimensionamento mantellata in massi artificiali

Il dimensionamento della mantellata in massi artificiali tipo accropode® della testata della diga Nord è stato condotto utilizzando l'approccio di Hudson descritto nel precedente paragrafo 2.1.

Di seguito in Tabella 3.2 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi artificiali e il risultato del calcolo, da cui risulta che dovranno essere impiegati massi artificiali del peso di 14.10 corrispondenti ad un volume dell'elemento pari a 6.0 m<sup>3</sup> per uno spessore del singolo strato della mantellata di 2.35 m.

Tra la mantellata e il nucleo verrà interposto uno strato filtro in massi di II categoria 1÷3 t dello spessore di 1.85 m (spessore del doppio strato); tale pezzatura rispetta i criteri suggeriti da SOGREAH per lo strato sottostante la mantellata in accropode®.

DATI DI INPUT					CALCOLO	ELEMENTO SCELTO		
Hs (m)	Pendenza scarpata	$\gamma_c$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	$K_D$	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (t)	Spessore (m)
5.71	4:3	2.35	1.03	11.5 (testata)	5.77	6.00	14.10	2.34

Tabella 3.2- Dimensionamento della mantellata in accropode® della testata della DIGA NORD CASSONI (WBS 1 - testata)

### 3.1.2 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra il filtro in massi di II categoria e il nucleo/imbasamento in pietrame è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC. Il valore del diametro del filtro  $D_f$  è stato assunto pari a quello di un masso naturale da 1.0 t (limite inferiore della pezzatura utilizzata), mentre il diametro del materiale di base  $D_b$  è stato assunto pari a quello di un masso naturale da 500 kg (limite superiore della pezzatura utilizzata). Procedendo con la verifica, si ottiene:

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	$D_f/D_b$
FILTRO	1.0	0.727	1.26 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	3.0	1.049	
NUCLEO IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

E' stata inoltre eseguita la verifica della transizione tra i massi della berma (III categoria da 3 a 7 t) e l'imbasamento in pietrame 50÷500 kg. Procedendo con la verifica, si ottiene:

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	$D_f/D_b$
MANTELLATA BERMA	3.0	1.049	1.82 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	7.0	1.391	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

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-001_0.docx
--	---	---

### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi per i materiali granulari. La formula di verifica proposta da Terzaghi è stata applicata considerando come valore di  $D_{15f}$  (diametro corrispondente al 15% del passante in peso del materiale drenante) quello corrispondente al masso che rappresenta il limite inferiore della pezzatura scelta (50 kg), da cui si ottiene:

$$D_{85b} > \frac{D_{15f}}{4} = \frac{0.268}{4} = 0.067m.$$

Ne consegue che, per soddisfare la verifica, il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Considerando che l'area di intervento risulta piuttosto estesa ed è caratterizzata da una notevole variabilità granulometrica (si passa dalle argille-limi alle sabbie e solo localmente a ghiaie), risulta necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. La geogriglia si trova a contatto con il pietrame che costituisce lo strato di imbasamento. Il valore di  $D_{85}$ , considerato nella verifica, è quello corrispondente al diametro di un masso da 500 kg (limite superiore della pezzatura utilizzata).

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito è data in questo caso dalla relazione:

$$F_T \geq 1500(D_{85})^{0.75} \Rightarrow F_T \geq 1500(0.577)^{0.75} \geq 993.1 N$$

In ragione del fatto che i massi verranno posizionati in acqua e con procedure che consentono di minimizzare le sollecitazioni meccaniche sul sottostante geocomposito, si ritiene sufficiente ai fini della verifica applicare un coefficiente di sicurezza pari a 3, che tiene conto anche della fragilità e dell'invecchiamento. In questo modo si ottiene:

$$F_T \geq 3.0kN,$$

ovvero, tenendo conto anche della larghezza del provino sottoposto a trazione pari a 76 mm, si ottiene il risultato equivalente:

$$F_T \geq 39.4kN/m.$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 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-001\_0.docx

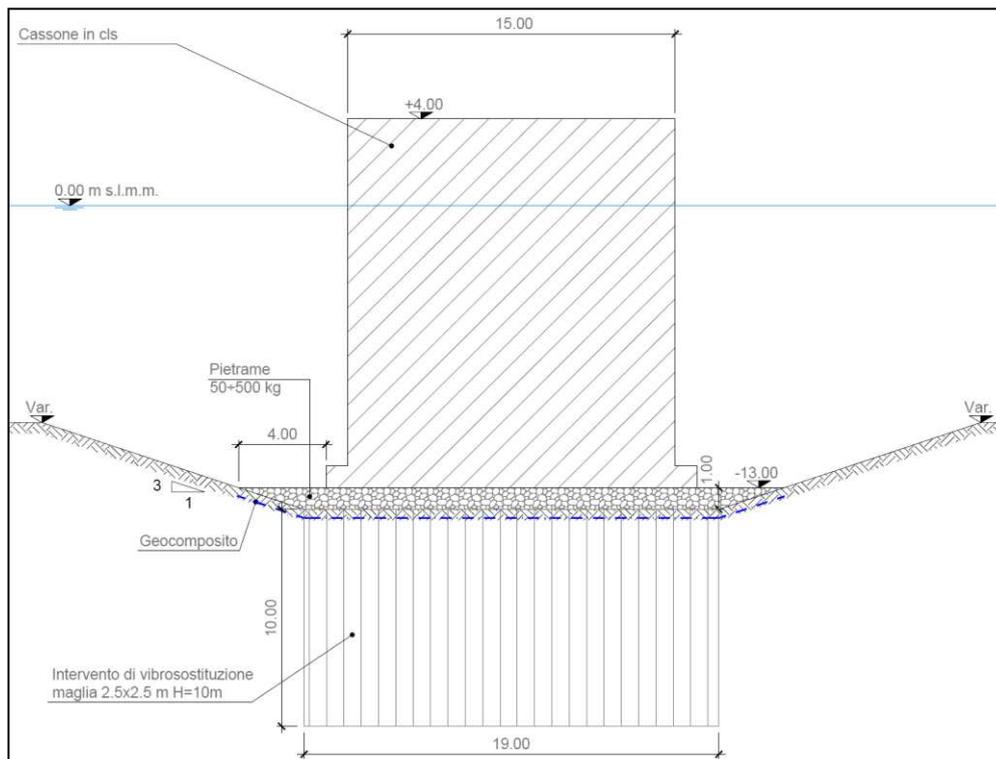


Figura 3.4 - Corpo d'opera WBS 1 - Sezione tipologica C(cassoni larghi 15 m) DIGA NORD CASSONI

### 3.2.1 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra la mantellata e imbasamento (al piede la mantellata poggia direttamente sullo scanno di imbasamento), tra mantellata e filtro e tra filtro e imbasamento è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC, con riferimento alle diverse transizioni delle sezioni D e D'. Procedendo con le verifiche, si ottiene:

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	$D_f/D_b$
MANTELLATA	3.0	1.049	1.82 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	7.0	1.391	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	$D_f/D_b$
MANTELLATA	3.0	1.049	1.00 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	7.0	1.391	
FILTRO	1.0	0.727	
	3.0	1.049	

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-001\_0.docx

<i>ELEMENTO</i>	<i>Range peso (t)</i>	<i>Range diametro (m)</i>	<i>D<sub>f</sub>/D<sub>b</sub></i>
FILTRO	1.0	<b>0.727</b>	<b>1.26 &lt; 2.22</b> (verifica soddisfatta)
	3.0	1.049	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</b>	

#### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

#### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

#### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2.

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 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-001\_0.docx

### 3.3 Corpo d'opera WBS 2a – DIGA NORD CHIUSURA (lato esterno e interno)

Il corpo d'opera WBS2a (ovvero il tratto di chiusura della diga Nord tra il corpo d'opera WBS 1 e l'area della colmata) sarà realizzato con massi artificiali tipo accropode®; la scogliera sarà imbasata circa alla -10.00 m s.m.m., con quota di coronamento a +4.50 m s.m.m., pendenza della scarpata di 4:3. Le dimensioni degli accropode® sono variabili da 4 m<sup>3</sup> nel tratto curvo (sezione D; Figura 3.5) a 2 m<sup>3</sup> nel restante tratto (sezione D'; Figura 3.6). Al di sotto della mantellata in accropode® verrà realizzato uno strato filtro costituito da un doppio strato di: massi di II categoria 1÷3 t per la sezione D (tratto curvo) e massi di I categoria 0.5÷1 t per la sezione D' (restante tratto fino alla colmata).

Al piede della mantellata in accropode® verrà realizzata una berma con massi di II-III categoria (da 2 a 4 t), con quota di coronamento variabile in funzione della quota del fondale.

Il lato interno della scogliera sarà realizzato in massi naturali di II/III categoria (pezzatura da 2 a 4 t) con pendenza della scarpata di 3:2. La mantellata in massi naturali verrà posata direttamente sul nucleo. Il nucleo e l'imbasamento saranno costituiti da pietrame di pezzatura 50÷500 kg; tra l'imbasamento e il terreno sarà interposto un geocomposito.

Nelle successive Tabella 3.3 a Tabella 3.4 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento della chiusura della diga Nord (sezioni tipologiche D e D'), lato esterno ed interno.

CORPO D'OPERA WBS 2a – DIGA NORD CHIUSURA (lato esterno)		
Tempo di ritorno $T_{rp}$	224 anni	
Tipologia di opera	a gettata (scogliera in accropode®)	
Sezioni tipologiche	SEZ. D (tratto curvo)	SEZ. D' (restante tratto)
Altezza significativa	4.31 m	3.12 m
Periodo di picco	12.75 s	9.27 s
Direzione di provenienza	213°N	306°N
Sovralzo	+1.52 m s.m.m.	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.3 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CHIUSURA (lato esterno)

CORPO D'OPERA WBS 2a – DIGA NORD CHIUSURA (lato interno)	
Tempo di ritorno $T_{rp}$	224 anni
Tipologia di opera	a gettata (scogliera in massi naturali)
Sezioni tipologiche	SEZ. D'
Altezza significativa	1.64 m
Periodo di picco	10.17 s
Direzione di provenienza	174°N
Sovralzo	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.4 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD CHIUSURA (lato interno)



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-001_0.docx
--	---	---

realizzazione della mantellata della sezione corrente della nuova diga della Meloria (successivo corpo d'opera WBS 6; paragrafo 3.11.1). Tra la mantellata e il nucleo verrà interposto uno strato filtro in massi di II categoria 1÷3 t dello spessore di 1.85 m (spessore del doppio strato); tale pezzatura rispetta i criteri suggeriti da SOGREAH per lo strato sottostante la mantellata in accropode®.

Per il restante tratto (sezione D') sarebbero sufficienti massi artificiali da 1.00 m<sup>3</sup>; si ritiene comunque cautelativo non utilizzare elementi di volume inferiore a 2.0 m<sup>3</sup>; pertanto verranno impiegati massi artificiali del peso di 4.70 t corrispondenti ad un volume dell'elemento pari a 2.0 m<sup>3</sup> per uno spessore del singolo strato della mantellata di 1.65 m.

Tra la mantellata e il nucleo verrà interposto uno strato filtro in massi di I categoria 0.5÷1 t dello spessore di 1.30 m (spessore del doppio strato); tale pezzatura rispetta i criteri suggeriti da SOGREAH per lo strato sottostante la mantellata in accropode®.

DATI DI INPUT						CALCOLO	ELEMENTO SCELTO		
SEZIONE	Hs (m)	Pendenza scarpata	$\gamma_c$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	K <sub>D</sub>	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (t)	Spessore (m)
D	5.71	4:3	2.35	1.03	11.5 (testata)	2.48	4.00(*)	9.40	2.05
D'	3.12	4:3	2.35	1.03	15.0 (corrente non frangente)	0.72	2.00(**)	4.70	1.65

(\*) Volume incrementato a 4.00 m<sup>3</sup> per uniformare pezzature (cfr. vedi Tabella 3.30)

(\*\*) Volume cautelativamente incrementato da 1.00 a 2.00 m<sup>3</sup>

Tabella 3.5- Dimensionamento della mantellata in accropode® della DIGA NORD CHIUSURA (WBS 2a - lato esterno)

### 3.3.2 Dimensionamento mantellata in massi naturali

Il dimensionamento della mantellata in massi naturali del tratto di chiusura della diga Nord (sezioni D e D', lato interno al bacino portuale) è stato condotto utilizzando l'approccio di Van der Meer per scogliere emerse descritto nel precedente paragrafo 2.2.

Di seguito in Tabella 3.6 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi naturali e il risultato del calcolo.

Applicando l'approccio proposto da Van der Meer per mantellate di scogliere emerse, è stata determinata la condizione più sfavorevole per il dimensionamento della mantellata, corrispondente alla transizione tra condizione di frangimento tipo plunging e surging. Tale condizione si verifica nel caso specifico per valori del periodo inferiori al valore sopra indicato (circa 7.8 s per il T<sub>p</sub>).

Considerando il peso medio derivante dal calcolo (circa 2.3 t corrispondenti ad un masso di II categoria), si è cautelativamente scelto di ampliare il range della pezzatura e di impiegare massi di II-III categoria (da 2.0 a 4.0 t), con spessore del doppio strato di 2.10 m.

DATI DI INPUT							CALCOLO		PEZZATURA UTILIZZATA		
Hs (m)	Tp (s)	Pend. scarp.	$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	P	S	Peso medio W <sub>50</sub> (t)	Peso range(t)	Peso range(t)	CAT.	Spessore (m)
1.64	10.17	3:2	2.6	1.03	0.4	1	2.29	1.72÷1.86	2.0÷4.0	II-III	2.10

Tabella 3.6 Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD CHIUSURA (WBS 2a - lato interno)

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-001\_0.docx

### 3.3.3 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra il filtro/mantellata/berma in massi naturali (di pezzatura variabile a seconda della sezione considerata) e il nucleo/imbasamento è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC, con riferimento alle diverse transizioni delle sezioni D e D'. Procedendo con le verifiche, si ottiene:

<b>SEZIONE D (latoesterno)</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>Range peso (t)</b>	<b>Range diametro (m)</b>	<b><math>D_f/D_b</math></b>
FILTRO	1.0	<b>0.727</b>	<b>1.26 &lt; 2.22</b> (verifica soddisfatta)
	3.0	1.049	
NUCLEO IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</b>	

<b>SEZIONE D' (latoesterno)</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>Range peso (t)</b>	<b>Range diametro (m)</b>	<b><math>D_f/D_b</math></b>
FILTRO	0.5	<b>0.577</b>	<b>1.00 &lt; 2.22</b> (verifica soddisfatta)
	1.0	0.727	
NUCLEO IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</b>	

<b>SEZIONI D e D' (latoesterno)</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>Range peso (t)</b>	<b>Range diametro (m)</b>	<b><math>D_f/D_b</math></b>
BERMA	2.0	<b>0.916</b>	<b>1.59 &lt; 2.22</b> (verifica soddisfatta)
	4.0	1.154	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</b>	

<b>SEZIONI D e D' (latointerno)</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>Range peso (t)</b>	<b>Range diametro (m)</b>	<b><math>D_f/D_b</math></b>
MANTELLATA	2.0	<b>0.916</b>	<b>1.59 &lt; 2.22</b> (verifica soddisfatta)
	4.0	1.154	
NUCLEO IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</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-001\_0.docx

### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2.

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 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-001\_0.docx

### 3.4 Corpo d'opera WBS 2b – DIGA NORD ESTERNA COLMATA

Il corpo d'opera WBS2b (ovvero il tratto di scogliera della diga Nord che contermina verso mare la colmata fino alla nuova darsena adiacente alla foce dello Scolmatore) sarà costituito da una scogliera in massi naturali di IV categoria (da 6.0 a 10.0 t), 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.. La mantellata avrà pendenza pari a 3:2 (sezione tipologica E; Figura 3.7) con l'eccezione della testata che avrà pendenza inferiore (2:1, sezione E testata; Figura 3.8).

Al di sotto della mantellata verrà realizzato uno strato filtro costituito da un doppio strato di massi di I categoria 0.5÷1 t. Il nucleo e l'imbasamento saranno realizzati con pietrame di pezzatura 50÷500 kg; tra l'imbasamento e il terreno sarà interposto un geocomposito.

Al piede della mantellata lato mare verrà realizzata una berma con massi di III categoria (da 3 a 5 t), con quota di coronamento variabile in funzione della quota del fondale.

Nella successiva Tabella 3.7 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento dei massi della diga Nord esterna colmata (sezioni tipologiche E corrente ed E testata), mentre in Tabella 3.8 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto ( $T_R$  50 anni) utilizzata per il calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione.

CORPO D'OPERA WBS 2b – DIGA NORD ESTERNA COLMATA		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	224 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. E (corrente)	SEZ. E (testata)
<b>Altezza significativa</b>	2.57 m	2.48 m
<b>Periodo di picco</b>	9.27	9.27 s
<b>Direzione di provenienza</b>	293°N	286°N
<b>Sovralzo</b>	+1.52 m s.m.m.	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.7 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD ESTERNA COLMATA

CORPO D'OPERA WBS 2b – DIGA NORD ESTERNA COLMATA	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	50 anni
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. E
<b>Altezza significativa</b>	2.50 m
<b>Periodo di picco</b>	9.06 s
<b>Direzione di provenienza</b>	298°N
<b>Sovralzo</b>	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.8 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione della 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

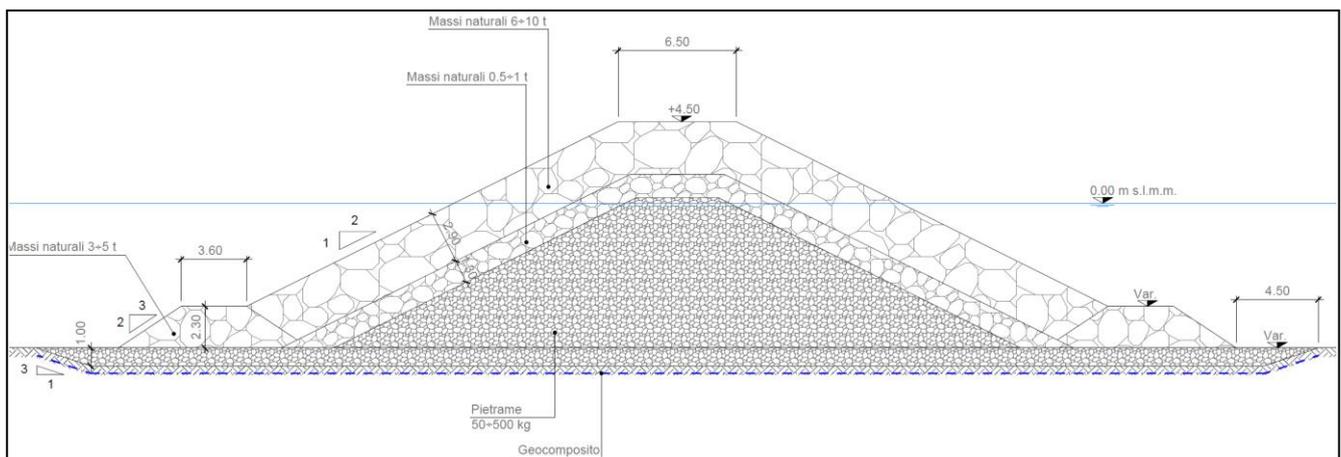
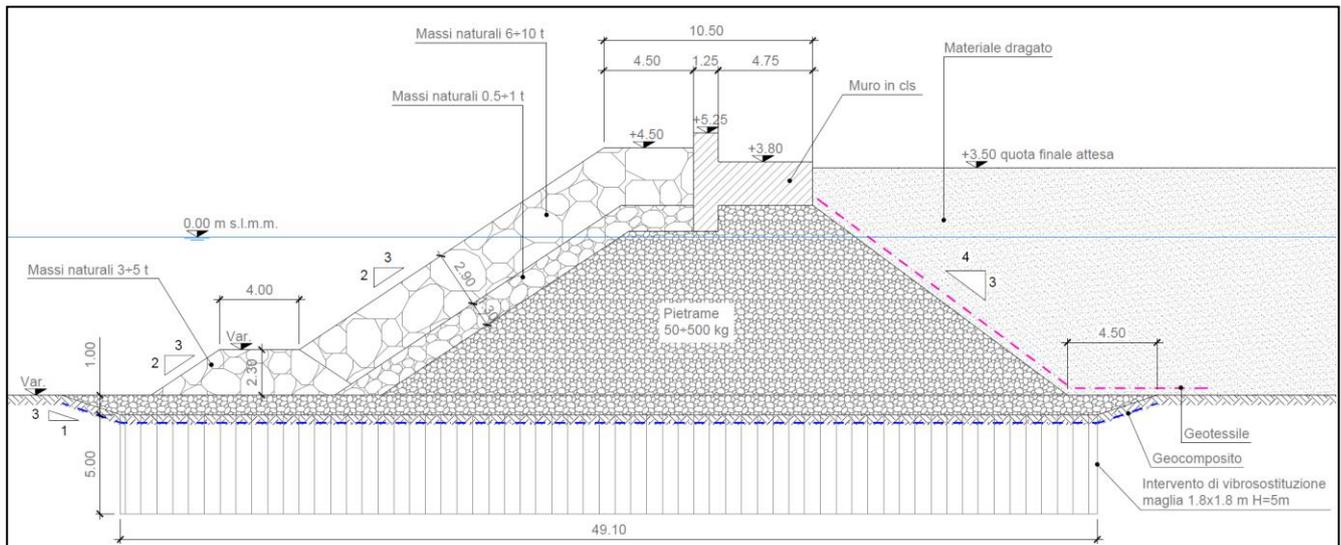
Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-001\_0.docx



### 3.4.1 Dimensionamento mantellata in massi naturali

Il dimensionamento della mantellata in massi naturali del tratto di scogliera della diga Nord esterna colmata (sezioni E corrente ed E testata) è stato condotto utilizzando l'approccio di Van der Meer per scogliere emerse descritto nel precedente paragrafo 2.2.

Di seguito in Tabella 3.9 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi naturali e il risultato del calcolo. Il dimensionamento per la sezione di testata è stato condotto considerando, a favore di sicurezza, una maggiorazione del 30% della pezzatura ottenuta dal calcolo.

L'approccio proposto da Van der Meer fornisce un peso dei massi compatibile con elementi di IV categoria di pezzatura compresa tra 6.0 e 10.0 t per la sezione corrente. Per quanto riguarda la sezione di testata, al fine di utilizzare la medesima pezzatura utilizzata per la sezione corrente (ovvero massi di peso non superiore a 10 t), è stata ridotta la pendenza della scarpata (da 3:2 a 1:2). In questo caso si ottiene dal calcolo una pezzatura compresa circa tra 5 e 8 t; per uniformità sono stati comunque impiegati massi da 6.0 a 10.0 t.

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-001\_0.docx

DATI DI INPUT								CALCOLO		PEZZATURA UTILIZZATA		
SEZIONE	Hs (m)	Tp (s)	Pend. scarp.	$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	P	S	Peso medio W <sub>50</sub> (t)	Peso range(t)	Peso range(t)	CAT.	Spessore (m)
E corrente	2.57	9.27	3:2	2.6	1.03	0.4	1	8.12	6.09÷10.15	6.0÷10.0	IV	2.90
E testata	2.48	9.27	2:1	2.6	1.03	0.4	1	6.33 <sup>(*)</sup>	4.74÷7.91	6.0÷10.0	IV	2.90

(\*) Valore incrementato del 30% per sezione di testata

Tabella 3.9- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD ESTERNA COLMATA (WBS 2b)

### 3.4.2 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra mantellata e filtro, tra filtro e nucleo/imbasamento e tra berma e imbasamento è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC, con riferimento alle diverse transizioni della sezione E. Procedendo con le verifiche, si ottiene:

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	$D_f/D_b$
MANTELLATA	6.0	1.321	1.82 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	10.0	1.567	
FILTRO	0.5	0.577	
	1.0	0.727	

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	$D_f/D_b$
FILTRO	0.5	0.577	1.00 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	1.0	0.727	
NUCLEO IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	$D_f/D_b$
BERMA	3.0	1.049	1.82 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	5.0	1.244	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

#### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo

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-001_0.docx
--	---	---

strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2.

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 kN/m.

### 3.4.3 Calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione

Considerando la mareggiata estrema con tempo di ritorno di 50 anni è stata valutata la risalita dell'onda  $R_{U2\%}$  e la portata di tracimazione  $q$  con riferimento alle condizioni più gravose (altezza significativa massima) per il tratto di opera considerato (WBS 2b). I risultati sono riportati nella successiva Tabella 3.10.

Il calcolo mostra come la risalita dell'onda (più precisamente la quota di risalita che viene superata dal 2% delle onde della mareggiata) raggiunga in condizioni di swell la quota di sommità del muro di coronamento. In queste condizioni la portata di tracimazione si mantiene al di sotto di 1 l/s/m, garantendo quindi un certo livello di sicurezza funzionale dell'opera. Si fa presente comunque che l'accesso alle scogliere in caso di mareggiate eccezionali ( $TR \geq 50$  anni) dovrebbe essere interdetto ed eventualmente limitato alle operazioni di manutenzione straordinaria ove strettamente necessarie ed eseguite da personale allo scopo attrezzato e istruito.

DATI DI INPUT						COEFFICIENTI					CALCOLO		
$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$DIR$ (°N)	Sovralzo (m s.m.m.)	Pend. scarp.	Quotacor. (m s.m.m.)	Condizione	$\gamma_R$	$\gamma_b$	$\gamma_{\beta,ris.}$	$\gamma_{\beta,trac.}$	$\gamma_h$	$R_{U2\%}$ (m s.m.m.)	$q$ (l/s/m)
2.50	9.06	298	+1.52	3:2	+5.25	swell	0.5	1.0	0.995	0.989	1.0	+5.25	0.971
						mare vivo	0.5	1.0	0.965	0.947	1.0	+5.14	0.686

Tabella 3.10- Calcolo della risalita e della portata di tracimazione della DIGA NORD ESTERNA COLMATA (WBS 2b)

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-001\_0.docx

### 3.5 Corpo d'opera WBS 2c – DIGA NORD DARSENA

Il corpo d'opera WBS2c (ovvero il tratto di scogliera sul lato interno della nuova darsena che verrà realizzata alla foce dello Scolmatore) sarà costituito in parte (sezione tipologica E''; Figura 3.9) da una scogliera in massi naturali di II-III categoria (da 2.0 a 4.0 t) e per il restante tratto (sezione E'''; Figura 3.10) da una mantellata in scogliera in massi di I categoria (da 0.5 a 1.0 t). L'opera è imbasata su profondità variabili tra -7.00 m s.m.m. e -2.00 m s.m.m.; la pendenza della mantella è pari a 3:2 e la quota di coronamento è di +4.50 m s.m.m..

La mantellata verrà posata direttamente sul nucleo, costituito, come lo strato di imbasamento, da pietrame di pezzatura 50÷500 kg; tra l'imbasamento e il terreno sarà interposto un geocomposito.

Nella successiva Tabella 3.11 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento dei massi della diga Nord darsena (sezioni tipologiche E'' ed E'''), mentre Tabella 3.12 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto (TR 50 anni) utilizzata per il calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione.

CORPO D'OPERA WBS 2c – DIGA NORD DARSENA		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	224 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. E''	SEZ. E'''
<b>Altezza significativa</b>	1.10 m	1.75 m
<b>Periodo di picco</b>	9.27	9.27 s
<b>Direzione di provenienza</b>	301°N	295°N
<b>Sovralzo</b>	+1.52 m s.m.m.	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.11- Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD DARSENA

CORPO D'OPERA WBS 2c – DIGA NORD DIGA NORD DARSENA	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	50 anni
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. E''
<b>Altezza significativa</b>	1.63 m
<b>Periodo di picco</b>	9.06 s
<b>Direzione di provenienza</b>	296°N
<b>Sovralzo</b>	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.12 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione della DIGA NORD DARSENA

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-001\_0.docx

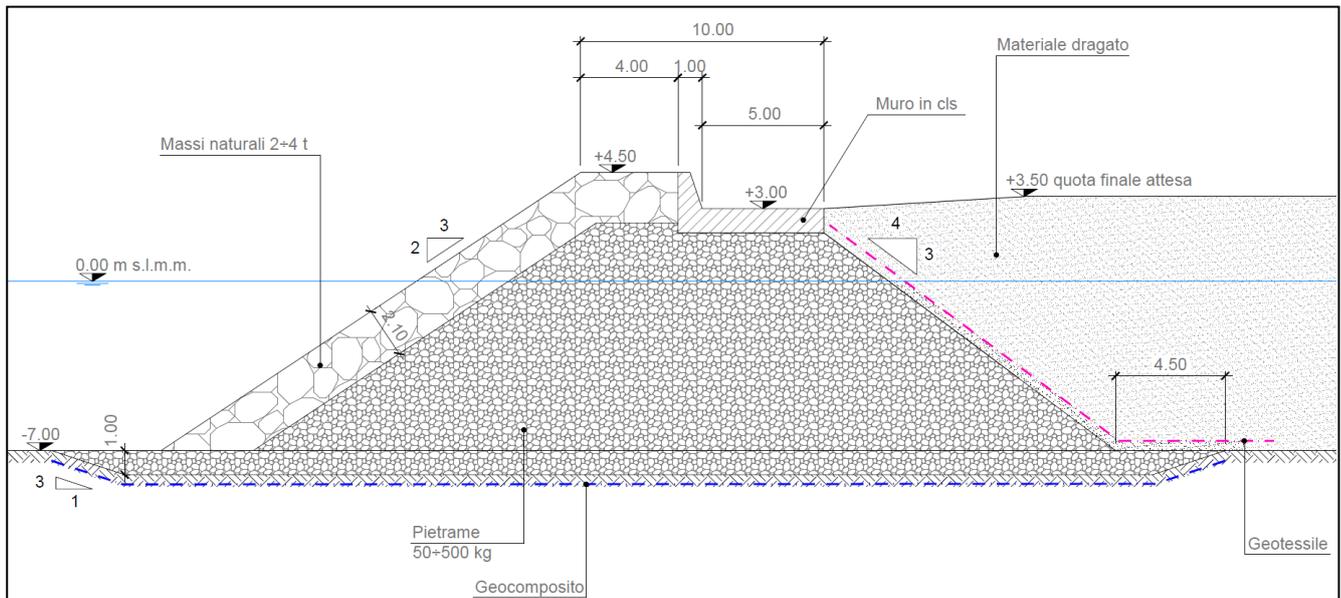


Figura 3.9- Corpo d'opera WBS 2c - Sezione tipologica E'' DIGA NORD DARSENA

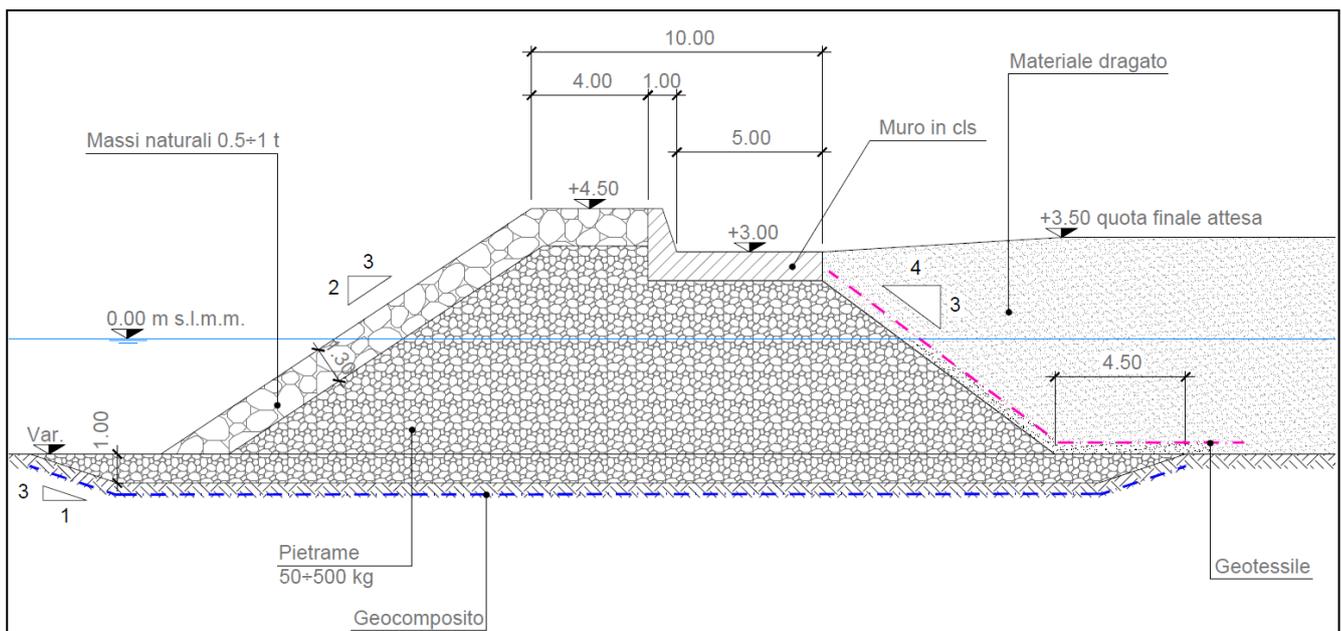


Figura 3.10- Corpo d'opera WBS 2c - Sezione tipologica E''' DIGA NORD DARSENA

### 3.5.1 Dimensionamento mantellata in massi naturali

Il dimensionamento della mantellata in massi naturali del tratto di scogliera della diga Nord lungo il lato interno della costruenda darsena alla foce dello scolmatore (sezioni E'' ed E''') è stato condotto utilizzando l'approccio di Van der Meer per scogliere emerse descritto nel precedente paragrafo 2.2. Di seguito in Tabella 3.13 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi naturali e il risultato del calcolo.

Applicando l'approccio proposto da Van der Meer per mantellate di scogliere emerse, è stata determinata la condizione più sfavorevole per il dimensionamento della mantellata, corrispondente alla transizione tra condizione di frangimento tipo plunging e surging. Tale condizione si verifica nel

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-001_0.docx
--	---	---

caso specifico per valori del periodo inferiori al valore sopra indicato ( $T_p$  circa 8.1 s per la sezione E''' e 6.4 s per la sezione E'').

Inizialmente è stato condotto il dimensionamento con riferimento al valore massimo di altezza significativa che si presenta in corrispondenza del corpo d'opera WBS 2c, pari a 1.75 m (cfr. sezione E'''). Con riferimento a queste condizioni di input, si ottiene un peso dei massi compatibile con elementi di II-III categoria di pezzatura compresa tra 2.0 e 4.0 t.

Al fine di ottimizzare il progetto, si è quindi proceduto verificando il valore di altezza significativa limite necessario per poter passare ad una pezzatura 0.5÷1.0 t (I categoria). Tale valore è risultato pari a circa 1.10 m e di conseguenza un tratto del corpo d'opera WBS 2c (sezione tipologica E''), più protetto in quanto ridossato sul lato SW della darsena) verrà realizzato con una mantellata di pezzatura inferiore.

DATI DI INPUT								CALCOLO		PEZZATURA UTILIZZATA		
SEZIONE	Hs (m)	Tp (s)	Pend. scarp.	$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	P	S	Peso medio W <sub>50</sub> (t)	Peso range(t)	Peso range(t)	CAT.	Spessore (m)
E'''	1.75	9.27	3:2	2.6	1.03	0.4	1	2.78	2.08÷3.47	2.0÷4.0	II-III	2.10
E''	1.10	9.27	3:2	2.6	1.03	0.4	1	0.69	0.52÷0.86	0.5÷1.0	I	1.30

Tabella 3.13- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD DARSENA (WBS 2c)

### 3.5.2 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra la mantellata (in massi naturali di differente pezzatura a seconda della sezione tipologica) e il nucleo/imbasamento in pietrame di pezzatura 50÷500 kg è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC. Procedendo con le verifiche, si ottiene:

SEZIONE E''			
ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	D <sub>f</sub> /D <sub>b</sub>
MANTELLATA	0.5	0.577	1.00 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	1.0	0.727	
NUCLEO IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

SEZIONE E'''			
ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	D <sub>f</sub> /D <sub>b</sub>
MANTELLATA	2.0	0.916	1.59 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	4.0	1.154	
NUCLEO IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

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-001_0.docx
--	---	---

### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2.

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 kN/m.

### 3.5.3 Calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione

Considerando la mareggiata estrema con tempo di ritorno di 50 anni è stata valutata la risalita dell'onda  $R_{U2\%}$  e la portata di tracimazione  $q$  con riferimento alle condizioni più gravose (altezza significativa massima) per il tratto di opera considerato (WBS 2c). I risultati sono riportati nella successiva Tabella 3.14. Il calcolo mostra come la risalita dell'onda (più precisamente la quota di risalita che viene superata dal 2% delle onde della mareggiata) raggiunga una quota di circa +3.90 m s.m.m. (inferiore alla quota di coronamento del muro). In queste condizioni la portata di tracimazione si mantiene al di sotto di 0.1 l/s/m; la sezione risulta sicura sia dal punto di vista funzionale (per il parcheggio di veicoli e il transito di pedoni) che strutturale.

DATI DI INPUT						COEFFICIENTI					CALCOLO		
$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$DIR$ (°N)	$Sovralzo$ (m s.m.m.)	$Pend.$ $scarp.$	$Quotacor.$ (m s.m.m.)	Condizione	$\gamma_R$	$\gamma_b$	$\gamma_{\beta,ris.}$	$\gamma_{\beta,trac.}$	$\gamma_h$	$R_{U2\%}$ (m s.m.m.)	$q$ (l/s/m)
1.63	9.06	296	+1.52	3:2	+4.50	swell	0.5	1.0	0.990	0.981	1.0	+3.84	0.080
						mare vivo	0.5	1.0	0.960	0.941	1.0	+3.87	0.053

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-001\_0.docx

Tabella 3.14- Calcolo della risalita e della portata di tracimazione della DIGA NORD DARSENA (WBS 2c)

### 3.6 Corpo d'opera WBS 3 – MOLO FORANEO DARSENA

Il corpo d'opera WBS 3 (ovvero il molo esterno della nuova darsena adiacente alla foce dello scolmatore) sarà costituito da una scogliera in massi naturali di III-IV categoria (da 4.0 a 8.0 t), imbasata a profondità variabili tra -7.00 m s.m.m. e -2.00 m s.m.m., con quota di coronamento +4.50 m s.m.m. e pendenza della scarpata pari a 2:1 (sezione E'; Figura 3.11). Per omogeneità con l'altra sezione di testata dell'imboccatura della darsena (cfr. corpo d'opera WBS 2b; cfr. precedente paragrafo 3.4) la mantellata della sezione di testata (sezione tipologica E testata; Figura 3.12) sarà realizzata con massi di IV categoria (da 6.0 a 10.0 t).

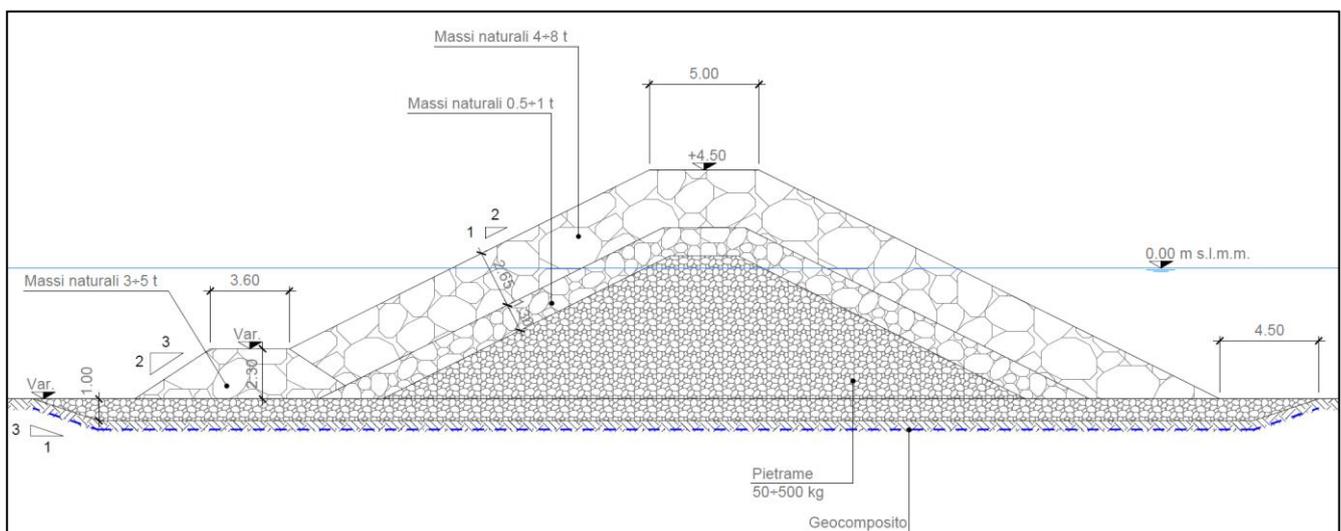
Al di sotto della mantellata verrà realizzato uno strato filtro costituito da un doppio strato di massi di I categoria 0.5÷1 t. Il nucleo e l'imbasamento saranno costituiti da pietrame di pezzatura 50÷500 kg; tra l'imbasamento e il terreno sarà interposto un geocomposito.

Al piede della mantellata lato mare verrà realizzata una berma con massi di III categoria (da 3 a 5 t), con quota di coronamento variabile in funzione della quota del fondale.

Nella successiva Tabella 3.15 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento dei massi del molo foraneo della darsena (sezioni tipologiche E' corrente ed E testata).

CORPO D'OPERA WBS 3 –MOLO FORANEO DARSENA		
Tempo di ritorno $T_{rp}$	224 anni	
Tipologia di opera	a gettata (scogliera in massi naturali)	
Sezioni tipologiche	SEZ. E' (corrente)	SEZ. E (testata)
Altezza significativa	2.76 m	2.60 m
Periodo di picco	9.27 s	9.27 s
Direzione di provenienza	285°N	285°N
Sovralzo	+1.52 m s.m.m.	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.15 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento del MOLO FORANEO DARSENA



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-001\_0.docx

Figura 3.11- Corpo d'opera WBS 3 - Sezione tipologica E' (corrente) MOLO FORANEO DARSENA

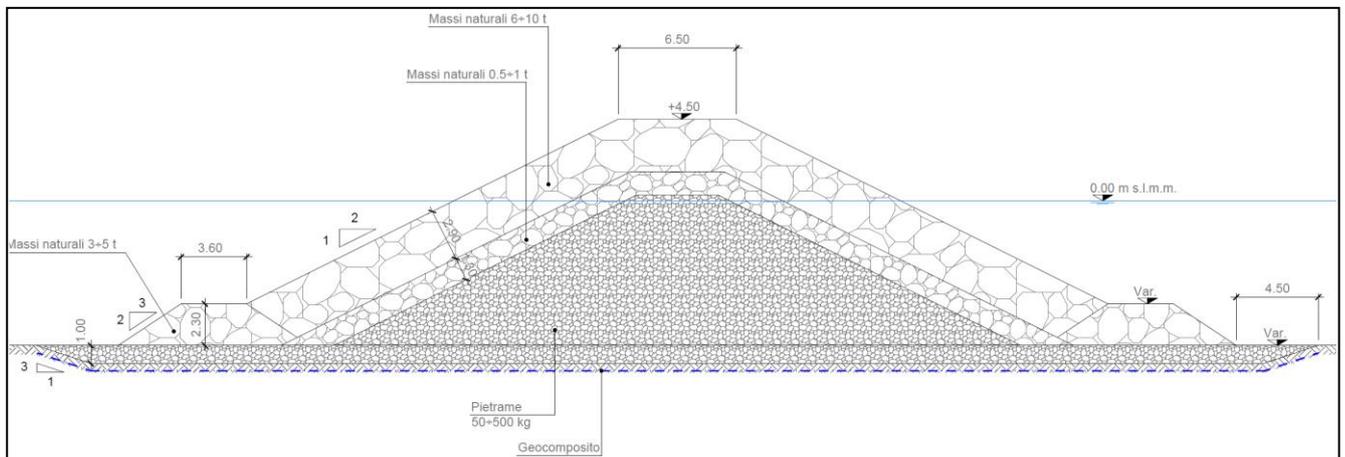


Figura 3.12- Corpo d'opera WBS 3 - Sezione tipologica E (testata) MOLO FORANEO DARSENA

### 3.6.1 Dimensionamento mantellata in massi naturali

Il dimensionamento della mantellata in massi naturali del molo foraneo della darsena (sezioni E' corrente ed E testata) è stato condotto utilizzando l'approccio di Van der Meer per scegliere emerse descritto nel precedente paragrafo 2.2.

Di seguito in Tabella 3.16 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi naturali e il risultato del calcolo. Il dimensionamento per la sezione di testata è stato condotto considerando, a favore di sicurezza, una maggiorazione del 30% della pezzatura ottenuta dal calcolo.

L'approccio proposto da Van der Meer fornisce un peso dei massi compatibile con elementi di III-IV categoria di pezzatura compresa tra 4.0 e 8.0 t per la sezione corrente.

Per quanto riguarda la sezione di testata, dal calcolo si ottiene una pezzatura compresa tra 5.3 e 8.8 t. Per uniformità con l'altra testata della darsena (cfr. vedi dimensionamento di cui alla Tabella 3.9), sono stati comunque impiegati massi da 6.0 a 10.0 t.

DATI DI INPUT								CALCOLO		PEZZATURA UTILIZZATA		
SEZIONE	Hs (m)	Tp (s)	Pend. scarp.	$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	P	S	Peso medio W <sub>50</sub> (t)	Peso range(t)	Peso range(t)	CAT.	Spessore (m)
E' corrente	2.76	9.27	2:1	2.6	1.03	0.4	1	6.19	4.64÷7.74	4.0÷8.0	III-IV	2.65
E testata	2.60	9.27	2:1	2.6	1.03	0.4	1	7.04 <sup>(*)</sup>	5.28÷8.80	6.0÷10.0	IV	2.90

(\*) Valore incrementato del 30% per sezione di testata

Tabella 3.16- Dimensionamento della mantellata in massi naturali del MOLO FORANEO DARSENA (WBS 3)

### 3.6.2 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra mantellata e filtro, mantellata e imbasamento (in corrispondenza del piede interno della sezione corrente la mantellata è a diretto contatto con l'imbasamento), tra filtro e nucleo/imbasamento, tra berma e imbasamento è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal

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-001\_0.docx

CERC, con riferimento alle diverse transizioni delle sezioni E ed E'. Procedendo con le verifiche, si ottiene:

<i>SEZIONE E testata</i>			
<i>ELEMENTO</i>	<i>Range peso (t)</i>	<i>Range diametro (m)</i>	<i>D<sub>f</sub>/D<sub>b</sub></i>
MANTELLATA	6.0	<b>1.321</b>	1.82 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	10.0	1.567	
FILTRO	0.5	0.577	
	1.0	<b>0.727</b>	

<i>SEZIONE E' corrente</i>			
<i>ELEMENTO</i>	<i>Range peso (t)</i>	<i>Range diametro (m)</i>	<i>D<sub>f</sub>/D<sub>b</sub></i>
MANTELLATA	4.0	<b>1.154</b>	1.59 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	8.0	1.454	
FILTRO	0.5	0.577	
	1.0	<b>0.727</b>	

<i>SEZIONE E' corrente</i>			
<i>ELEMENTO</i>	<i>Range peso (t)</i>	<i>Range diametro (m)</i>	<i>D<sub>f</sub>/D<sub>b</sub></i>
MANTELLATA	4.0	<b>1.154</b>	2.00 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	8.0	1.454	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</b>	

<i>SEZIONI E testata ed E' corrente</i>			
<i>ELEMENTO</i>	<i>Range peso (t)</i>	<i>Range diametro (m)</i>	<i>D<sub>f</sub>/D<sub>b</sub></i>
BERMA	3.0	<b>1.049</b>	1.82 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	5.0	1.244	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</b>	

<i>SEZIONI E testata ed E' corrente</i>			
<i>ELEMENTO</i>	<i>Range peso (t)</i>	<i>Range diametro (m)</i>	<i>D<sub>f</sub>/D<sub>b</sub></i>
FILTRO	0.5	<b>0.577</b>	1.00 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	1.0	0.727	
NUCLEO	0.05	0.268	

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-001_0.docx
--	---	---

<b>IMBASAMENTO</b>	0.5	<b>0.577</b>	
--------------------	-----	--------------	--

#### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

#### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

#### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2.

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 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-001\_0.docx

### 3.7 Corpo d'opera WBS 4a – DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST

Il corpo d'opera WBS 4a (ovvero l'argine in scogliera della diga Nord che la colmata sul lato Sud-Ovest) sarà costituito da una scogliera in massi naturali di III categoria (da 3.0 a 5.0 t), imbasata a profondità di circa -9.00 m s.m.m., con quota di coronamento +4.00 m s.m.m. e pendenza della scarpata pari a 3:2 (sezione F; Figura 3.13).

In prossimità del canale dragato si prevede di allargare la sezione da 5 a 10 m al coronamento; la mantellata sarà sempre in massi naturali di III categoria (da 3.0 a 5.0 t), imbasata ad una profondità pari a -16.00 m s.m.m., con quota di coronamento +4.00 m s.m.m. e con paramento avente pendenza 3:2 (sezione G; Figura 3.14).

Al di sotto della mantellata verrà realizzato uno strato filtro costituito da un doppio strato di massi di I categoria 0.5÷1 t. Il nucleo e l'imbasamento saranno costituiti da pietrame di pezzatura 50÷500 kg; tra l'imbasamento e il terreno sarà interposto un geocomposito. In alcuni tratti si prevede inoltre di migliorare il piano di imposta mediante la realizzazione di vibro sostituzione

Nella successiva Tabella 3.17 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento dei massi della diga Nord colmata argine Sud-Ovest (sezioni tipologiche F corrente e G testata), mentre in Tabella 3.18 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto ( $T_R$  50 anni) utilizzata per il calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione.

CORPO D'OPERA WBS 4a - DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST		
Tempo di ritorno $T_{rp}$	224 anni	
Tipologia di opera	a gettata (scogliera in massi naturali)	
Sezioni tipologiche	SEZ. F (corrente)	SEZ. G (testata)
Altezza significativa	1.92 m	1.35 m
Periodo di picco	12.75 s	12.75 s
Direzione di provenienza	194°N	198°N
Sovralzo	+1.52 m s.m.m.	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.17 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST

CORPO D'OPERA WBS 4a - DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST	
Tempo di ritorno $T_{rp}$	50 anni
Sezioni tipologiche	SEZ. F
Altezza significativa	1.63 m
Periodo di picco	12.00 s
Direzione di provenienza	193°N
Sovralzo	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.18 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST

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-001\_0.docx

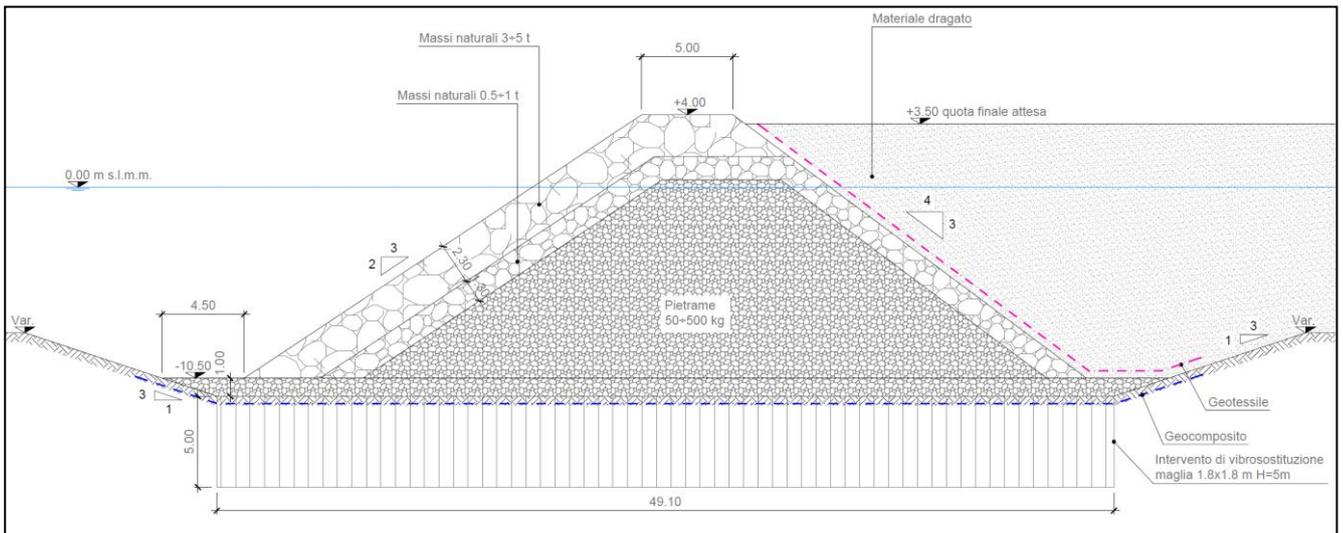


Figura 3.13- Corpo d'opera WBS 4a - Sezione tipologica F(corrente) DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST

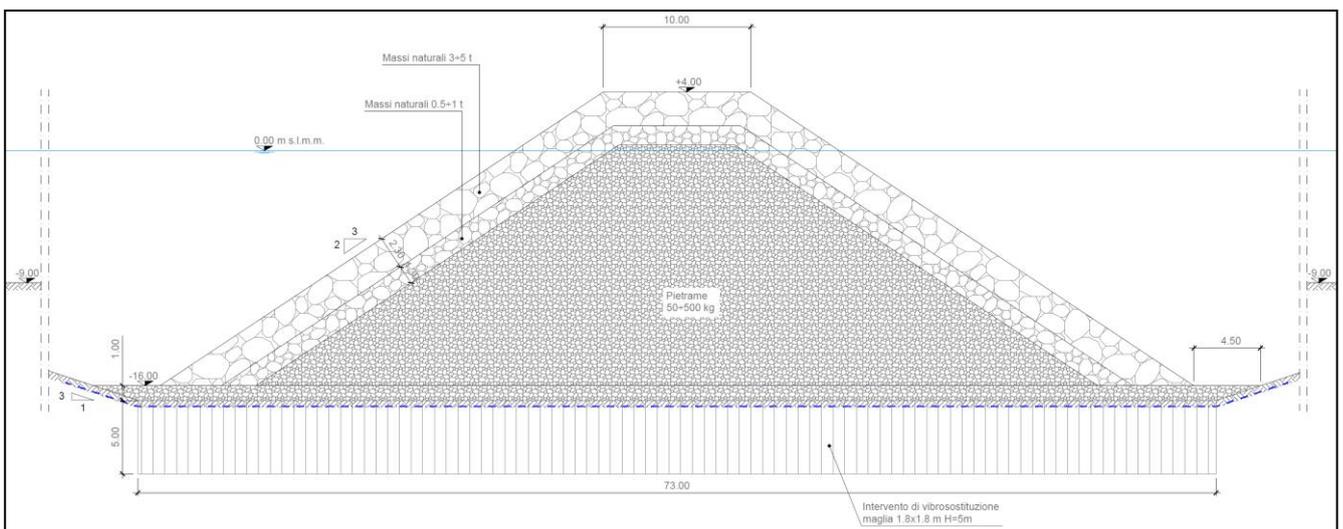


Figura 3.14 - Corpo d'opera WBS 4a - Sezione tipologica G (testata) DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST

### 3.7.1 Dimensionamento mantellata in massi naturali

Il dimensionamento della mantellata in massi naturali del tratto di scogliera della diga Nord colmata argine Sud-Ovest (sezioni F corrente e G testata) è stato condotto utilizzando l'approccio di Van der Meer per scogliere emerse descritto nel precedente paragrafo 2.2.

Di seguito in Tabella 3.19 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi naturali e il risultato del calcolo. Il dimensionamento per la sezione di testata è stato condotto considerando, a favore di sicurezza, una maggiorazione del 30% della pezzatura ottenuta dal calcolo.

Applicando l'approccio proposto da Van der Meer per mantellate di scogliere emerse, è stata determinata la condizione più sfavorevole per il dimensionamento della mantellata, corrispondente alla transizione tra condizione di frangimento tipo plunging e surging. Tale condizione si verifica nel caso specifico per valori del periodo inferiori al valore sopra indicato ( $T_p$  circa 8.4 s per la sezione F e 7.1 s per la sezione 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-001_0.docx
--	---	---

L'approccio proposto da Van der Meer fornisce un peso dei massi compatibile con elementi di III categoria di pezzatura compresa tra 3.0 e 5.0 t per la sezione corrente F.

Per quanto riguarda la sezione di testata, dal calcolo si ottiene una pezzatura compresa tra 1.2 e 2.1 t. Per uniformità con l'intero tratto (cfr. sezione corrente F) anche la testata verrà realizzata con massi di III categoria da 3.0 a 5.0 t.

DATI DI INPUT								CALCOLO		PEZZATURA UTILIZZATA		
SEZIONE	Hs (m)	Tp (s)	Pend. scarp.	$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	P	S	Peso medio W <sub>50</sub> (t)	Peso range(t)	Peso range(t)	CAT.	Spessore (m)
F corrente	1.92	12.75	3:2	2.6	1.03	0.4	1	3.67	2.75÷4.58	3.0÷5.0	III	2.30
G testata	1.35	12.75	3:2	2.6	1.03	0.4	1	1.66 <sup>(*)</sup>	1.24÷2.07	3.0÷5.0	III	2.30

(\*) Valore incrementato del 30% per sezione di testata

Tabella 3.19- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST (WBS 4a)

### 3.7.2 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra mantellata e filtro, mantellata e imbasamento (in corrispondenza del piede la mantellata è a diretto contatto con l'imbasamento) e tra filtro e nucleo/imbasamento è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC, con riferimento alle diverse transizioni delle sezioni F e G. Procedendo con le verifiche, si ottiene:

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	D <sub>f</sub> /D <sub>b</sub>
MANTELLATA	3.0	1.049	1.44 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	5.0	1.244	
FILTRO	0.5	0.577	
	1.0	0.727	

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	D <sub>f</sub> /D <sub>b</sub>
MANTELLATA	3.0	1.049	1.82 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	5.0	1.244	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	D <sub>f</sub> /D <sub>b</sub>
FILTRO	0.5	0.577	1.00 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	1.0	0.727	
NUCLEO	0.05	0.268	

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-001_0.docx
--	---	---

<b>IMBASAMENTO</b>	0.5	<b>0.577</b>	
--------------------	-----	--------------	--

#### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

#### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

#### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2.

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 kN/m.

#### 3.7.3 Calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione

Considerando la mareggiata estrema con tempo di ritorno di 50 anni è stata valutata la risalita dell'onda  $R_{U2\%}$  e la portata di tracimazione  $q$  con riferimento alle condizioni più gravose (altezza significativa massima) per il tratto di opera considerato (WBS 4a). I risultati sono riportati nella successiva Tabella 3.20.

Il calcolo mostra come la risalita dell'onda (più precisamente la quota di risalita che viene superata dal 2% delle onde della mareggiata) raggiunga una quota di circa +3.80 m s.m.m. (inferiore alla quota di coronamento della scogliera). In queste condizioni la portata di tracimazione si mantiene al di sotto di 0.2 l/s/m; l'opera risulta sicura sia dal punto di vista funzionale (per il parcheggio di veicoli e il transito di pedoni) che strutturale.

DATI DI INPUT						COEFFICIENTI					CALCOLO		
$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$DIR$ (°N)	$Sovralzo$ (m s.m.m.)	$Pend.$ $scarp.$	$Quotacor.$ (m s.m.m.)	Condizione	$\gamma_R$	$\gamma_b$	$\gamma_{\beta,ris.}$	$\gamma_{\beta,trac.}$	$\gamma_h$	$R_{U2\%}$ (m s.m.m.)	$q$ (l/s/m)
1.63	12.0	193	+1.52	3:2	+4.00	swell	0.5	1.0	0.934	0.872	1.0	+3.80	0.149
						mare vivo	0.5	1.0	0.960	0.898	1.0	+3.80	0.194

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-001\_0.docx

Tabella 3.20- Calcolo della risalita e della portata di tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-OVEST (WBS 4a)

### 3.8 Corpo d'opera WBS 4b – DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST

Il corpo d'opera WBS 4b (ovvero l'argine in scogliera della diga Nord che la colmata sul lato Sud-Est) sarà costituito da una scogliera in massi naturali di II categoria (da 1.0 a 3.0 t), imbasata a profondità variabili tra -9.00 m s.m.m. e -5.00 m s.m.m., con quota di coronamento +4.00 m s.m.m. e pendenza della scarpata pari a 3:2 (sezione Q; Figura 3.15).

La mantellata in massi naturali poggia direttamente sul nucleo realizzato in pietrame 50÷500 kg. Il nucleo e l'imbasamento saranno costituiti da pietrame di pezzatura 50÷500 kg; tra l'imbasamento e il terreno sarà interposto un geocomposito.

Nella successiva Tabella 3.21 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento dei massi della diga Nord colmata argine Sud-Est (sezione tipologica Q), mentre in Tabella 3.22 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto ( $T_R$  50 anni) utilizzata per il calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione.

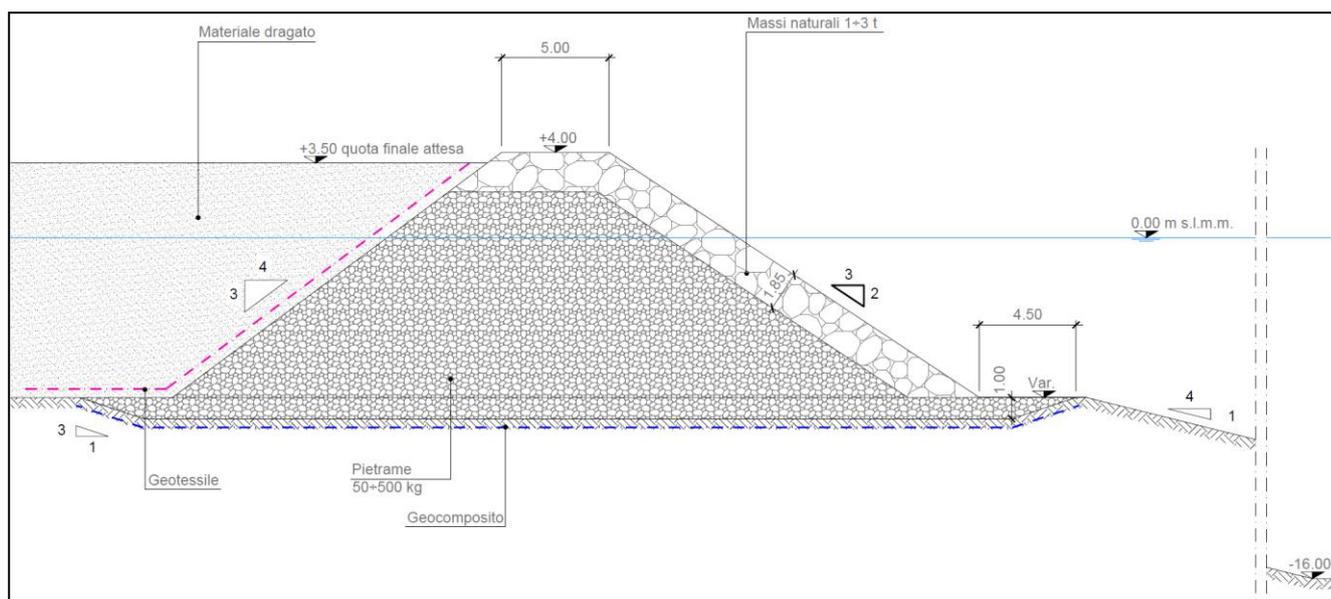


Figura 3.15 - Corpo d'opera WBS 4b - Sezione tipologica Q DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST

CORPO D'OPERA WBS 4b - DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST	
Tempo di ritorno $T_{rp}$	224 anni
Tipologia di opera	a gettata (scogliera in massi naturali)
Sezioni tipologiche	SEZ. Q
Altezza significativa	1.46 m
Periodo di picco	12.75 s
Direzione di provenienza	185°N
Sovralzo	+1.52 m s.m.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-001_0.docx
--	---	---

Tabella 3.21 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo della tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST

CORPO D'OPERA WBS 4b - DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST	
Tempo di ritorno $T_{rp}$	50 anni
Sezioni tipologiche	SEZ. Q
Altezza significativa	1.20 m
Periodo di picco	12.00 s
Direzione di provenienza	186°N
Sovralzo	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.22- Caratteristiche dell'onda di progetto per il calcolo di risalita e tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST

### 3.8.1 Dimensionamento mantellata in massi naturali

Il dimensionamento della mantellata in massi naturali del tratto di scogliera della diga Nord colmata argine Sud-Est(sezioneQ) è stato condotto utilizzando l'approccio di Van der Meer per scogliere emerse descritto nel precedente paragrafo 2.2.

Di seguito in Tabella 3.23 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi naturali e il risultato del calcolo. Applicando l'approccio proposto da Van der Meer per mantellate di scogliere emerse, è stata determinata la condizione più sfavorevole per il dimensionamento della mantellata, corrispondente alla transizione tra condizione di frangimento tipo plunging e surging. Tale condizione si verifica nel caso specifico per valori del periodo inferiori al valore sopra indicato ( $T_p$ circa 7.4 s).

L'approccio proposto da Van der Meer fornisce un peso dei massi compatibile con elementi di II categoria di pezzatura compresa tra 1.0 e 3.0 t.

DATI DI INPUT							CALCOLO		PEZZATURA UTILIZZATA		
$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	Pend. scarp.	$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	P	S	Peso medio $W_{50}(t)$	Peso range(t)	Peso range(t)	CAT.	Spessore (m)
1.46	12.75	3:2	2.6	1.03	0.4	1	1.61	1.21÷2.02	1.0÷3.0	II	1.85

Tabella 3.23- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST (WBS 4b)

### 3.8.2 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra mantellata e nucleo/imbasamento è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC, con riferimento alla sezione tipologica Q. Procedendo con la verifica, si ottiene:

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	$D_f/D_b$
MANTELLATA	1.0	0.727	1.26 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	3.0	1.049	

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-001_0.docx
--	---	---

IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</b>	

### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2. La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 kN/m.

### 3.8.3 Calcolo della risalita dell'onda e della portata di tracimazione

Considerando la mareggiata estrema con tempo di ritorno di 50 anni è stata valutata la risalita dell'onda  $R_{U2\%}$  e la portata di tracimazione  $q$  con riferimento alle condizioni più gravose (altezza significativa massima) per il tratto di opera considerato (WBS 4b). I risultati sono riportati nella successiva Tabella 3.24.

Il calcolo mostra come la risalita dell'onda (più precisamente la quota di risalita che viene superata dal 2% delle onde della mareggiata) raggiunga una quota di poco superiore a +3.00 m s.m.m. (ben inferiore alla quota di coronamento della scogliera). In queste condizioni la portata di tracimazione è pressoché trascurabile (circa 0.001 l/s/m); l'opera risulta sicura sia dal punto di vista funzionale (per il parcheggio di veicoli e il transito di pedoni) che strutturale.

DATI DI INPUT						COEFFICIENTI					CALCOLO		
$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	$DIR$ (°N)	$Sovralzo$ (m s.m.m.)	$Pend.$ <i>scarp.</i>	$Quotacor.$ (m s.m.m.)	$Condizione$	$\gamma_R$	$\gamma_b$	$\gamma_{\beta,ris.}$	$\gamma_{\beta,trac.}$	$\gamma_h$	$R_{U2\%}$ (m s.m.m.)	$q$ (l/s/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-001\_0.docx

1.20	12.0	186	+1.52	3:2	+4.00	swell	0.5	1.0	0.656	0.600	1.0	+2.70	<0.0001
						mare vivo	0.5	1.0	0.870	0.805	1.0	+3.09	0.001

Tabella 3.24- Calcolo della risalita e della portata di tracimazione della DIGA NORD COLMATA ARGINE SUD-EST (WBS 4b)

### 3.9 Corpo d'opera WBS 5a – DIGA SUD

Il corpo d'opera WBS 5a (ovvero il tratto di scogliera esterno della diga Sud) sarà costituito da una scogliera in massi naturali di III-IV categoria (da 4.0 a 8.0 t), imbasata a profondità variabili tra -9.00 m s.m.m. e -3.00 m s.m.m., con quota di coronamento +2.50 m s.m.m. e pendenza della scarpata pari a 3:2 (sezioni correnti N e O; Figura 3.17. In prossimità del canale dragato si prevede la realizzazione di una testata in massi naturali sempre di III-IV categoria (da 4.0 a 8.0 t), imbasata ad una profondità pari a -16.00 m s.m.m., con coronamento più largo (si passa da 5 m alla radice a 10 m in testata) a quota +2.50 m s.m.m. e con paramento avente pendenza 3:2 (sezione M; Figura 3.16).

La mantellata in massi naturali poggia su uno strato filtro in massi di I categoria (da 0.5 a 1.0 t), mentre il nucleo e l'imbasamento saranno costituiti da pietrame di pezzatura 50÷500 kg; tra l'imbasamento e il terreno sarà interposto un geocomposito.

Nella successiva Tabella 3.25 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento dei massi della diga Sud (sezioni tipologiche M testata e N-O correnti).

CORPO D'OPERA WBS 5a - DIGA SUD (esterna)		
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	140 anni	
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)	
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. N-O (corrente)	SEZ. M (testata)
<b>Altezza significativa</b>	2.27 m	1.74 m
<b>Periodo di picco</b>	12.52 s	12.52 s
<b>Direzione di provenienza</b>	228°N	227°N
<b>Sovralzo</b>	+1.52 m s.m.m.	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.25- Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA SUD

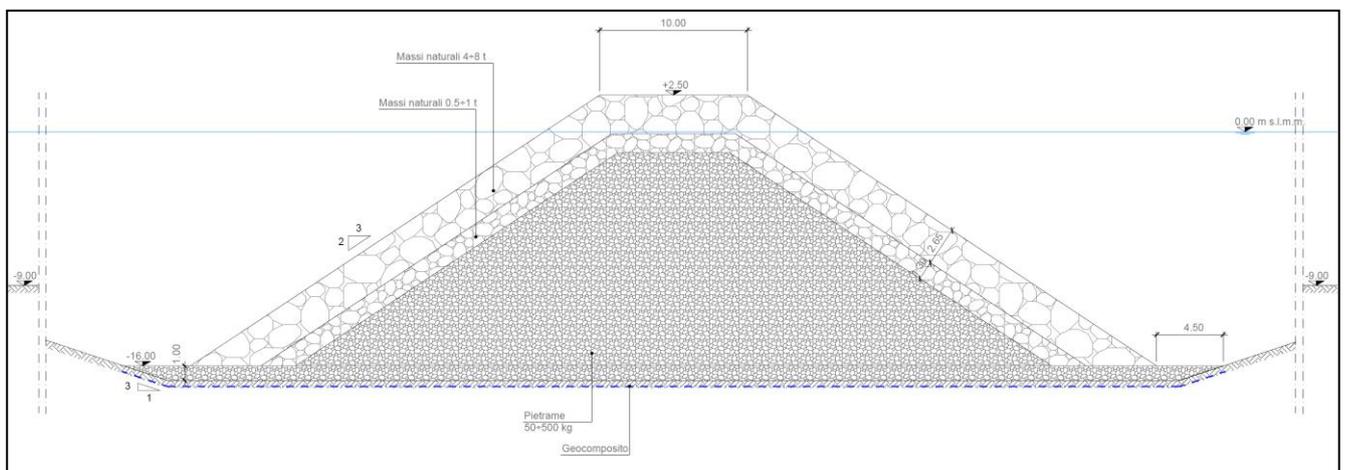


Figura 3.16- Corpo d'opera WBS 5a - Sezione tipologica M (testata) DIGA SUD

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-001\_0.docx

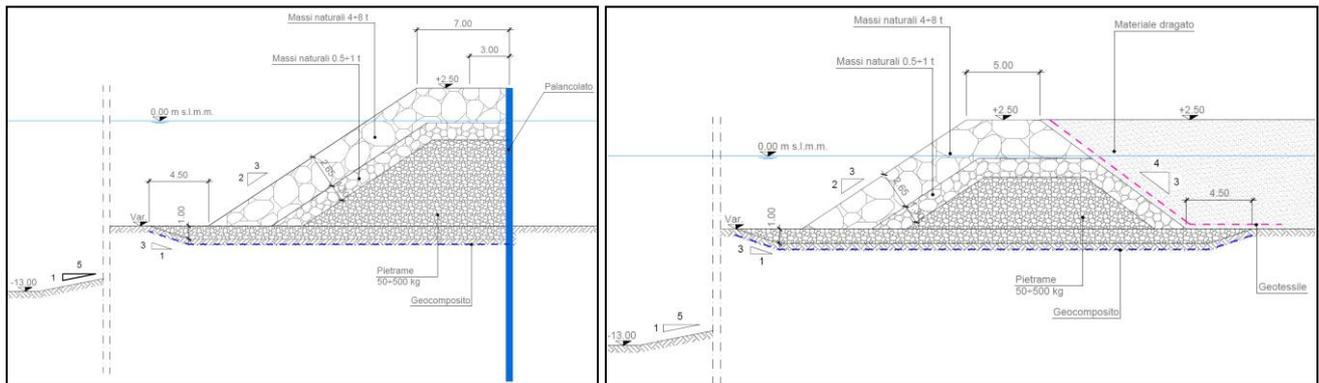


Figura 3.17- Corpo d'opera WBS 5a - Sezioni tipologiche correnti N (a sinistra) e O (a destra) DIGA SUD

### 3.9.1 Dimensionamento mantellata in massi naturali

Il dimensionamento della mantellata in massi naturali del tratto di scogliera della diga Sud (sezioni N-O correnti e M testata) è stato condotto utilizzando l'approccio di Van der Meer per scogliere emerse descritto nel precedente paragrafo 2.2.

Di seguito in Tabella 3.26 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi naturali e il risultato del calcolo. Il dimensionamento per la sezione di testata è stato condotto considerando, a favore di sicurezza, una maggiorazione del 30% della pezzatura ottenuta dal calcolo.

Applicando l'approccio proposto da Van der Meer per mantellate di scogliere emerse, è stata determinata la condizione più sfavorevole per il dimensionamento della mantellata, corrispondente alla transizione tra condizione di frangimento tipo plunging e surging. Tale condizione si verifica nel caso specifico per valori del periodo inferiori al valore sopra indicato ( $T_p$  circa 9.2 s per le sezioni N-O e 8.1 s per la sezione M).

L'approccio proposto da Van der Meer fornisce un peso dei massi compatibile con elementi di III-IV categoria di pezzatura compresa tra 4.0 e 8.0 t per la sezione corrente (sezioni tipologiche N e O).

Per quanto riguarda la sezione di testata, dal calcolo si ottiene una pezzatura compresa tra 2.7 e 4.4 t. Per uniformità con l'intero tratto (cfr. sezioni N-O) anche la testata verrà realizzata con massi di III-IV categoria da 4.0 a 8.0 t.

DATI DI INPUT								CALCOLO		PEZZATURA UTILIZZATA		
SEZIONE	Hs (m)	Tp (s)	Pend. scarp.	$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	P	S	Peso medio W50(t)	Peso range(t)	Peso range(t)	CAT.	Spessore (m)
N-O corrente	2.27	12.52	3:2	2.6	1.03	0.4	1	6.07	4.55÷7.59	4.0÷8.0	III-IV	2.65
M testata	1.74	12.52	3:2	2.6	1.03	0.4	1	3.55 <sup>(*)</sup>	2.66÷4.44	4.0÷8.0	III-IV	2.65

(\*) Valore incrementato del 30% per sezione di testata

Tabella 3.26- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA SUD (WBS 5a)

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-001\_0.docx

### 3.9.2 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra mantellata e filtro, mantellata e imbasamento (in corrispondenza del piede la mantellata è a diretto contatto con l'imbasamento) e tra filtro e nucleo/imbasamento è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC, con riferimento alle diverse transizioni delle sezioni M, N e O. Procedendo con le verifiche, si ottiene:

<i>ELEMENTO</i>	<i>Range peso (t)</i>	<i>Range diametro (m)</i>	<i>D<sub>f</sub>/D<sub>b</sub></i>
MANTELLATA	4.0	<b>1.154</b>	1.59 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	8.0	1.454	
FILTRO	0.5	0.577	
	1.0	<b>0.727</b>	

<i>ELEMENTO</i>	<i>Range peso (t)</i>	<i>Range diametro (m)</i>	<i>D<sub>f</sub>/D<sub>b</sub></i>
MANTELLATA	4.0	<b>1.154</b>	2.00 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	8.0	1.454	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</b>	

<i>ELEMENTO</i>	<i>Range peso (t)</i>	<i>Range diametro (m)</i>	<i>D<sub>f</sub>/D<sub>b</sub></i>
FILTRO	0.5	<b>0.577</b>	1.00 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	1.0	0.727	
NUCLEO IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	<b>0.577</b>	

#### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

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-001\_0.docx

### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2.

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 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-001\_0.docx

### 3.10 Corpo d'opera WBS 5b – DIGA SUD ARGINE COLMATA

Il corpo d'opera WBS 5b (ovvero il tratto argine che delimita la colmata della diga Sud sul lato interno) sarà costituito da una scogliera in massi naturali di II categoria (da 1.0 a 3.0 t), imbasata a profondità variabili tra -7.00 m s.m.m. e -3.00 m s.m.m., con quota di coronamento +2.50 m s.m.m. e pendenza della scarpata pari a 3:2 (sezione P; Figura 3.18).

La mantellata in massi naturali poggia direttamente sul nucleo realizzato in pietrame 50÷500 kg. Il nucleo e l'imbasamento saranno costituiti da pietrame di pezzatura 50÷500 kg; tra l'imbasamento e il terreno sarà interposto un geocomposito.

A tergo della mantellata verranno collocati i blocchi in calcestruzzo derivanti dallo smontaggio della diga della Meloria.

Nella successiva Tabella 3.27 si riportano le caratteristiche dell'onda di progetto utilizzata per il dimensionamento dei massi della diga Sud argine colmata (sezione tipologica P).

CORPO D'OPERA WBS 5b - DIGA SUD ARGINE COLMATA	
<b>Tempo di ritorno <math>T_{rp}</math></b>	140 anni
<b>Tipologia di opera</b>	a gettata (scogliera in massi naturali)
<b>Sezioni tipologiche</b>	SEZ. P
<b>Altezza significativa</b>	0.72 m
<b>Periodo di picco</b>	12.52 s
<b>Direzione di provenienza</b>	311°N
<b>Sovralzo</b>	+1.52 m s.m.m.

Tabella 3.27 - Caratteristiche dell'onda di progetto per il dimensionamento della DIGA SUD ARGINE COLMATA

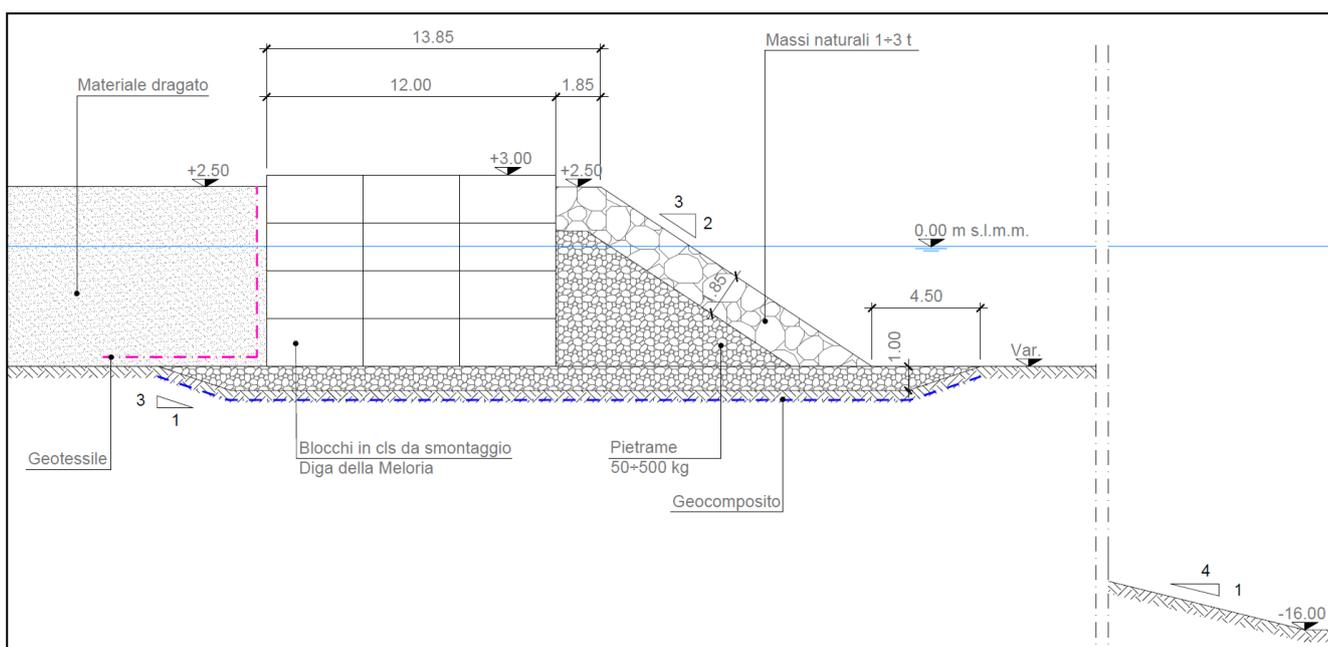


Figura 3.18- Corpo d'opera WBS 5b - Sezione tipologica P DIGA SUD ARGINE COLMATA

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-001_0.docx
--	---	---

### 3.10.1 Dimensionamento mantellata in massi naturali

Il dimensionamento della mantellata in massi naturali del tratto di scogliera della diga Sud argine colmata (sezione P) è stato condotto utilizzando l'approccio di Van der Meer per scogliere emerse descritto nel precedente paragrafo 2.2.

Di seguito in Tabella 3.28 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi naturali e il risultato del calcolo. Applicando l'approccio proposto da Van der Meer per mantellate di scogliere emerse, è stata determinata la condizione più sfavorevole per il dimensionamento della mantellata, corrispondente alla transizione tra condizione di frangimento tipo plunging e surging. Tale condizione si verifica nel caso specifico per valori del periodo inferiori al valore sopra indicato ( $T_p$  circa 5.2 s).

L'approccio proposto da Van der Meer fornisce un peso dei massi compatibile con elementi di III-IV categoria di pezzatura compresa tra 4.0 e 8.0 t per la sezione corrente (sezioni tipologiche N e O).

Dal calcolo si ottiene una pezzatura compresa tra 0.15 e 0.25 t; a favore di sicurezza per le mantellate delle scogliere si è scelto di impiegare pezzature non inferiori alla II categoria. Pertanto la mantellata verrà realizzata con massi di II categoria da 1.0 a 3.0 t.

DATI DI INPUT							CALCOLO		PEZZATURA UTILIZZATA		
$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	Pend. scarp.	$\gamma_s$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	P	S	Peso medio $W_{50}(t)$	Peso range(t)	Peso range(t)	CAT.	Spessore (m)
0.72	12.52	3:2	2.6	1.03	0.4	1	0.19	0.14÷0.24	1.0÷3.0	II	1.85

Tabella 3.28- Dimensionamento della mantellata in massi naturali della DIGA SUD ARGINE COLMATA (WBS 5b)

### 3.10.2 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra mantellata e nucleo/imbasamento è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC, con riferimento alla sezione tipologica P. Procedendo con la verifica, si ottiene:

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	$D_f/D_b$
MANTELLATA	1.0	0.727	1.26 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	3.0	1.049	
IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

#### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

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-001\_0.docx

### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2.

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 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-001\_0.docx

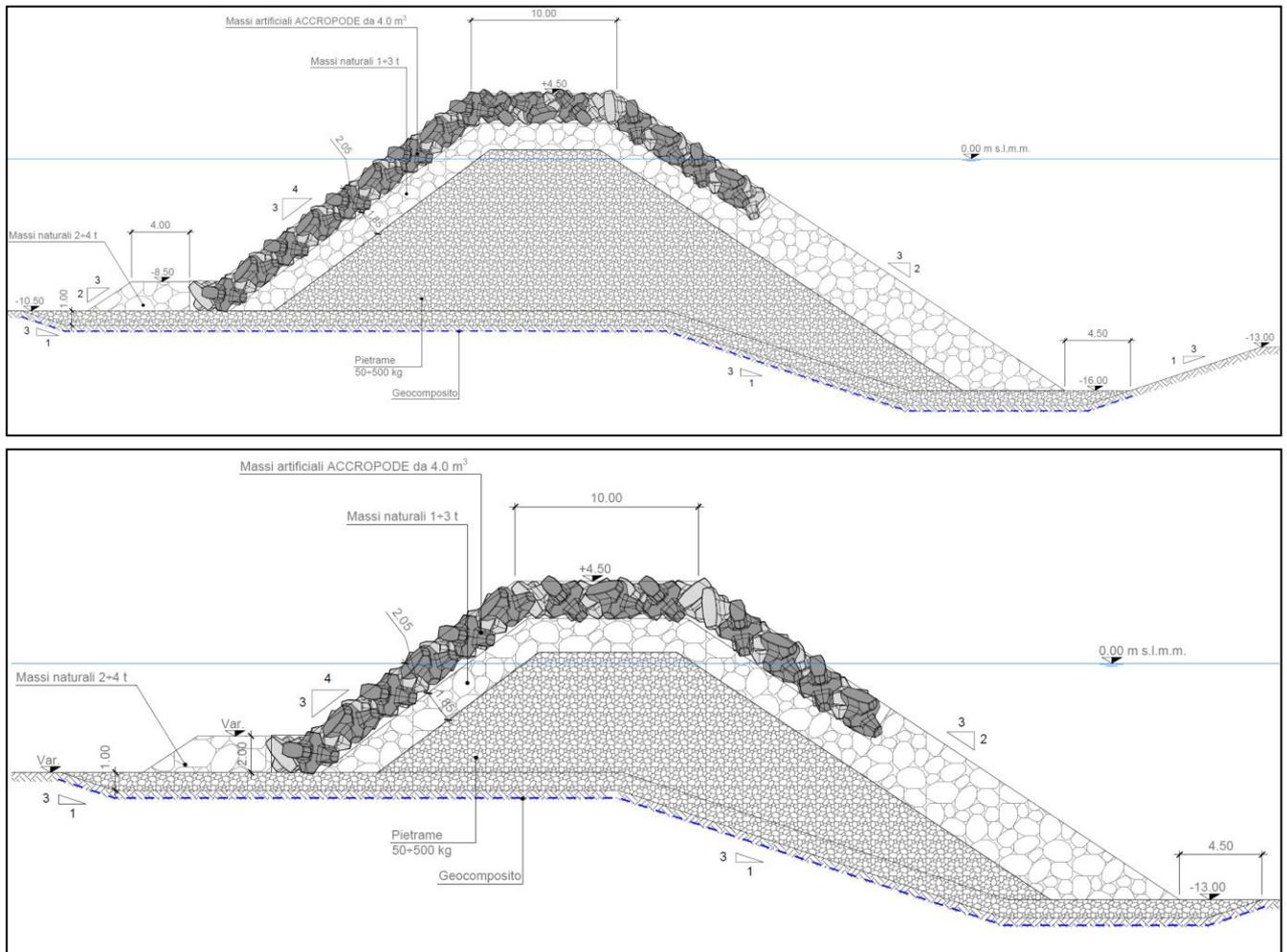


Figura 3.20- Corpo d'opera WBS 6 - Sezioni tipologiche correnti da H' (in alto) a L(in basso) NUOVA DIGA DELLA MELORIA

### 3.11.1 Dimensionamento mantellata in massi artificiali

Il dimensionamento della mantellata in massi artificiali tipo accropode® della nuova diga della Meloria (sezione H per la testata e da H' a L per la sezione corrente) è stato condotto utilizzando l'approccio di Hudson descritto nel precedente paragrafo 2.1.

Di seguito in Tabella 3.30 si riassumono i dati di input impiegati per il dimensionamento della mantellata in massi artificiali e il risultato del calcolo.

Per la sezione corrente (sezioni da H' aL) verranno impiegati massi artificiali del peso di 9.40 t corrispondenti ad un volume dell'elemento pari a 4.0 m<sup>3</sup> per uno spessore del singolo strato della mantellata di 2.05 m.

Per la testata (sezione H) sarebbero sufficienti massi artificiali da 1.00 m<sup>3</sup>; tuttavia considerando l'importanza dell'opera (che di fatto delimita l'imboccatura del porto sul lato Sud-est) si è ritenuto ragionevole uniformare le due testate (diga Nord e Meloria). Pertanto anche la testata della Nuova diga della Meloria verrà realizzata con massi artificiali del peso di 14.10 t corrispondenti ad un volume dell'elemento pari a 6.0 m<sup>3</sup> per uno spessore del singolo strato della mantellata di 2.35 m (cfr. vedi precedente paragrafo 3.1.1).

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-001_0.docx
--	---	---

Tra la mantellata e il nucleo verrà interposto uno strato filtro in massi di II categoria 1÷3 t dello spessore di 1.85 m (spessore del doppio strato); tale pezzatura rispetta i criteri suggeriti da SOGREAH per lo strato sottostante la mantellata in accropode.

DATI DI INPUT						CALCOLO	ELEMENTO SCELTO		
SEZIONE	Hs (m)	Pendenza scarpata	$\gamma_c$ (t/m <sup>3</sup> )	$\gamma_a$ (t/m <sup>3</sup> )	K <sub>D</sub>	Volume (m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Peso (t)	Spessore (m)
H (testata)	3.00	4:3	2.35	1.03	11.5 (testata)	0.84	6.00(*)	14.10	2.35
da H'a L (corrente)	4.80	4:3	2.35	1.03	12.0 (corrente frangente)	3.28	4.00	9.40	2.05

(\*) Volume incrementato a 6.00 m<sup>3</sup> per uniformare pezzatura con testata diga Nord (cfr. vedi Tabella 3.2)

Tabella 3.30- Dimensionamento della mantellata in ACCROPODE® della NUOVA DIGA DELLA MELORIA (WBS 6)

### 3.11.2 Dimensionamento dei filtri

#### Verifica transizione filtro/nucleo

La verifica della transizione tra il filtro in massi naturali e il nucleo/imbasamento è stata eseguita utilizzando il criterio proposto dal CERC. Procedendo con la verifica, si ottiene:

ELEMENTO	Range peso (t)	Range diametro (m)	D <sub>f</sub> /D <sub>b</sub>
FILTRO	1.0	0.727	1.26 < 2.22 (verifica soddisfatta)
	3.0	1.049	
NUCLEO IMBASAMENTO	0.05	0.268	
	0.5	0.577	

#### Verifica della transizione tra imbasamento e terreno di fondazione

La verifica della transizione tra imbasamento (in pietrame di pezzatura compresa tra 50 e 500 kg) e terreno di fondazione è stata eseguita utilizzando il criterio di ritenzione proposto da Terzaghi. Come riportato nel precedente paragrafo 3.1.2, per soddisfare la verifica il terreno di fondazione dovrebbe essere costituito da ghiaia (pezzatura superiore a 7 cm). Risulta pertanto necessario interporre tra lo strato di imbasamento e il fondale un geotessile. Nel caso specifico, per rispettare anche il criterio di idoneità meccanica, si è optato per un geocomposito costituito dall'accoppiamento di una geogriglia e di un geotessile nontessuto agugliato da fiocco.

#### Verifica del filtro in geotessile

Per la verifica del criterio di filtrazione tra geotessile e terreno di base è stato utilizzato il criterio proposto da Heerten (1982). Considerando che, sulla base delle informazioni disponibili, il materiale che costituisce il fondale dell'area in cui verranno realizzate le nuove opere è caratterizzato prevalentemente da sabbie medio-fini, si ritiene sufficiente che l'apertura efficace di filtrazione del geotessile risulti inferiore a 0.1 mm.

<p>Progetto:</p> <p>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</p>	<p>Livello progettazione:</p> <p>Progetto di fattibilità tecnico economica</p>	<p>Elaborato:</p> <p>OPERE DI PROGETTO</p> <p>1233_PP-E-001_0.docx</p>
---	--	--

### Verifica dell'idoneità meccanica

La verifica dell'idoneità meccanica del geocomposito è stata eseguita con riferimento alle caratteristiche della geogriglia (elemento di rinforzo) che lo compone, utilizzando il criterio proposto da Lawson. Per il dettaglio della verifica si rimanda al precedente paragrafo 3.1.2.

La resistenza alla trazione richiesta al geocomposito, tenuto conto degli opportuni coefficienti di sicurezza, risulta pari a:

$$F_T \geq 39.4 \text{ kN/m.}$$

Per soddisfare la verifica la geogriglia dovrà avere resistenza a trazione superiore a 40 kN/m; nel caso specifico, a favore di sicurezza, verrà impiegato un geocomposito con geogriglia da 50 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-001\_0.docx

## 4 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche di stabilità globale delle scogliere sono state condotte utilizzando il software Slide versione 5.042 (2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes) prodotto dalla Rocscience Inc., 31 Balsam Ave., Toronto, Ontario, M4E 1B2 Canada (www.rocscience.com).

Slide è un programma per l'analisi di stabilità dei pendii in terra con i metodi dell'Equilibrio Limite. Consente di analizzare sia superfici di rottura circolari che di forma generica, in presenza di falda, sisma e terreno pluristratificato. Il software prevede anche l'inserimento di opere d'intervento come muri, tiranti, pali, terre rinforzate e sistemazioni a gradoni. Si compone di una finestra di lavoro, dimensionabile secondo le proprie esigenze, all'interno della quale viene visualizzato il pendio nelle varie fasi di calcolo. Le caratteristiche geometriche del pendio, gli elementi ad esso connessi (sovraccarichi, opere di sostegno, sollecitazioni sismiche) e i parametri geotecnici del terreno possono essere inseriti e modificati all'interno dell'area di lavoro, attivando le opportune opzioni disponibili nei Menu a discesa del programma e nelle Toolbar spostabili.

Per le verifiche è stato considerato il metodo di Bishop, che 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

$$FS = \frac{M_S}{M_R}$$

dove:

- $M_R = r \cdot \sum_{i=1}^n W_i \cdot \sin \alpha_i$ : momento delle forze ribaltanti;
- $M_S = \sum_{i=1}^n (c + \sigma_i \cdot \tan \phi_i) \cdot \Delta l_i$ : momento stabilizzante;
- $r$ : raggio del conchio considerato;
- $\Delta l_i$ : lunghezza della base del conchio 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  $FS$  (assunto uguale a quello dell'equazione generale), si ricava  $N_i$  dall'equilibrio alla traslazione verticale:

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

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:

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

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

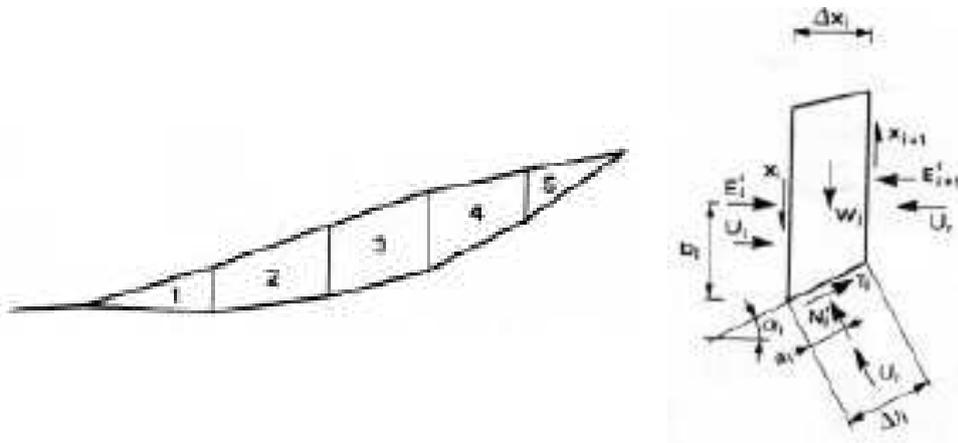
Livello progettazione:

Progetto di fattibilità tecnico economica

Elaborato:

OPERE DI PROGETTO

1233\_PP-E-001\_0.docx



#### 4.1 Verifiche statiche

Secondo quanto prescritto dal DM 17/01/2018, Le verifiche sono state effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

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	$\gamma_Y$	$\gamma_Y$	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

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-001\_0.docx

## 4.2 Verifiche sismiche

In condizioni sismiche si impiega lo stesso approccio utilizzato per le condizioni statiche, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a  $\gamma_R = 1.2$ .

Per i parametri sismici utilizzati e di seguito riportati, si è fatto riferimento alla relazione sismica (elaborato 1233\_PP-B-004\_0).

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			

	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

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.035	0.073	0.000
kv	--	0.018	0.036	--
Amax [m/s²]	0.577	0.735	1.880	2.310
Beta	--	0.470	0.380	--

Figura 4.1 - Parametri sismici di progetto

## 4.3 Parametri geotecnici

Di seguito si riportano i dati di input di Slide dove è possibile leggere le caratteristiche meccaniche dei terreni utilizzate per le verifiche.

Per la definizione dei parametri geotecnici, si rimanda al modello geotecnico riportato nella relazione geotecnica (elaborato 1233\_PP-B-003\_0).

Tabella 4.1 – parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche (M1).

	T	A	L	S	G
A		<b>Argilla (A)</b> $\phi' = 20$ $c' = 20$ kPa	<b>Argilla-limoso (AL)</b> $\phi' = 15$ $c' = 20$ kPa	<b>Argilla Sabbiosa (AS)</b> $\phi' = 10$ $c' = 20$ kPa	
L	<b>Limo con resti vegetali (Lveg)</b> $\phi' = 20$ $c' = 0$ kPa	<b>Limo argilloso (LA)</b> $\phi' = 22$ $c' = 15$ kPa		<b>Limo sabbioso (LS)</b> $\phi' = 26$ $c' = 0$ kPa	
S			<b>Sabbia limosa (SL)</b> $\phi = 29$ $c' = 0$ kPa	<b>Sabbia (S)</b> $\phi = 30$ $c' = 0$ kPa	
			<b>Sabbia limosa compatta (SLc)</b> $\phi = 32$ $c' = 0$ kPa	<b>Sabbia compatta (Sc)</b> $\phi = 34$ $c' = 0$ kPa	
G			<b>Ghiaia Limosa (GL)</b> $\phi = 32$ $c' = 0$ kPa		<b>Ghiaia sabbiosa (GS)</b> $\phi = 38$ $c' = 0$ kPa

#### 4.4 Vibrosostituzione

Date le caratteristiche meccaniche e deformative dei terreni in sito, per ridurre l'entità dei cedimenti si prevede di eseguire un intervento di vibrosostituzione avente le seguenti caratteristiche:

- WBS 1:
  - Maglia quadrata di lato 2.5 m
  - Lunghezza 10 m dalla quota di imbasamento dello scanno
- WBS 2a:
  - Maglia quadrata di lato 2.5 m
  - Lunghezza 5 m dalla quota di imbasamento dello scanno
- WBS 2b e WBS 4a:
  - Maglia quadrata di lato 1.8 m
  - Lunghezza 5 m dalla quota di imbasamento dello scanno

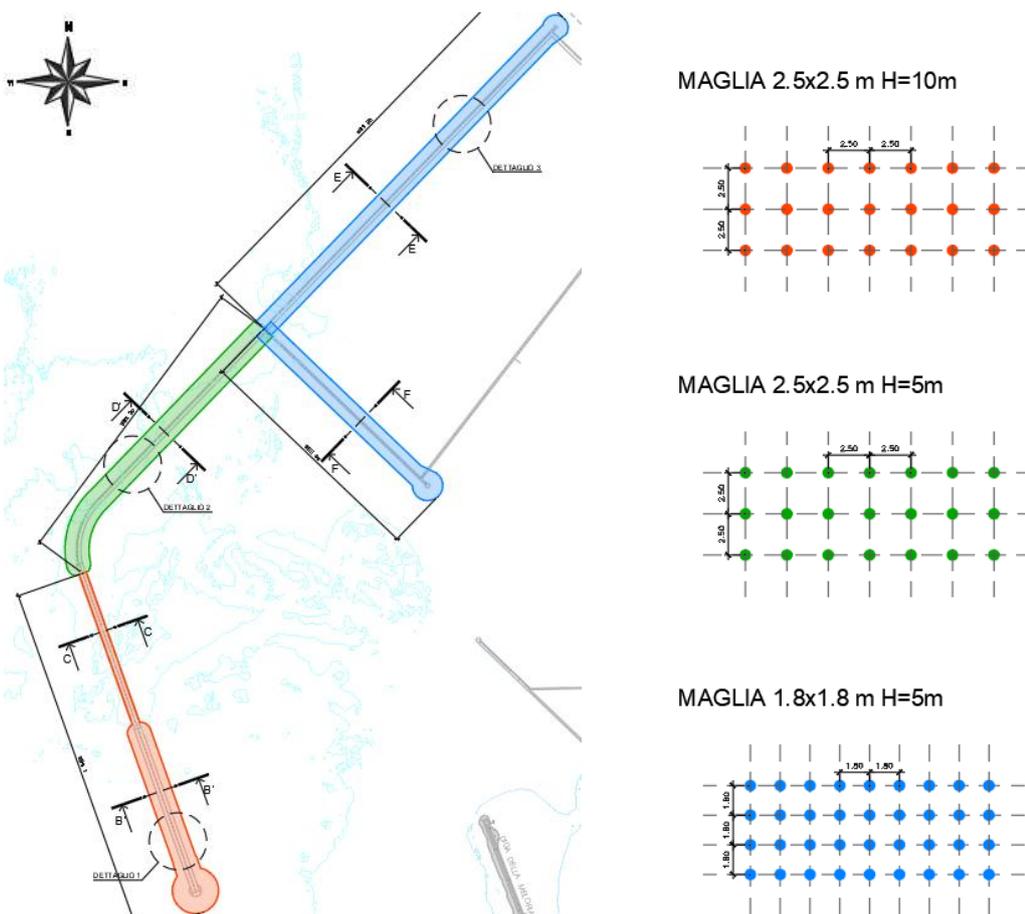


Figura 4.2 – Planimetria intervento di vibroflottazione

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-001\_0.docx

Il terreno migliorato è stato simulato come terreno equivalente avente caratteristiche medie pesate sull'area in funzione della maglia e del tipo di terreno trattato:

Parametro	SL_2.5x2.5	LS_2.5x2.6	LS_1.8x1.8	Lveg_1.8x1.8	AL_2.5x2.5	
GHIAIA di riempimento	$D_c$ (m)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	$i_c$ (m)	2.5	2.5	1.8	1.8	2.5
	$A_c$ (mq)	0.503	0.503	0.503	0.503	0.503
	$A_{tot}$ (mq)	6.250	6.250	3.240	3.240	6.250
	$E_c$ (kPa)	35000	35000	35000	35000	35000
	$\varphi_c$ (°)	40	40	40	40	40
	$c'_c$ (kPa)	0	0	0	0	0
Terreno in sito	$A_t$ (mq)	5.747	5.747	2.737	2.737	5.747
	$E_t$ (kPa)	15000	10000	10000	1000	8000
	$\varphi_t$ (°)	29	26	26	20	20
	$c'_t$ (kPa)	0	0	0	0	20
Terreno equivalente	$E_{eq}$ (kPa)	16608	12011	13879	6275	10171
	$\varphi_{eq}$ (°)	30	27	28	23	22
	$c'_{eq}$ (kPa)	0	0	0	0	18

#### 4.5 WBS 1a

Per le verifiche della scogliera WBS 1a in condizioni statiche è stato considerato il carico dovuto al moto ondoso in condizioni di cresta (più gravoso), in condizioni sismiche, invece, è stato considerato il solo sovraccarico accidentale sulla sommità del cassone ( $q = 20$  kPa).

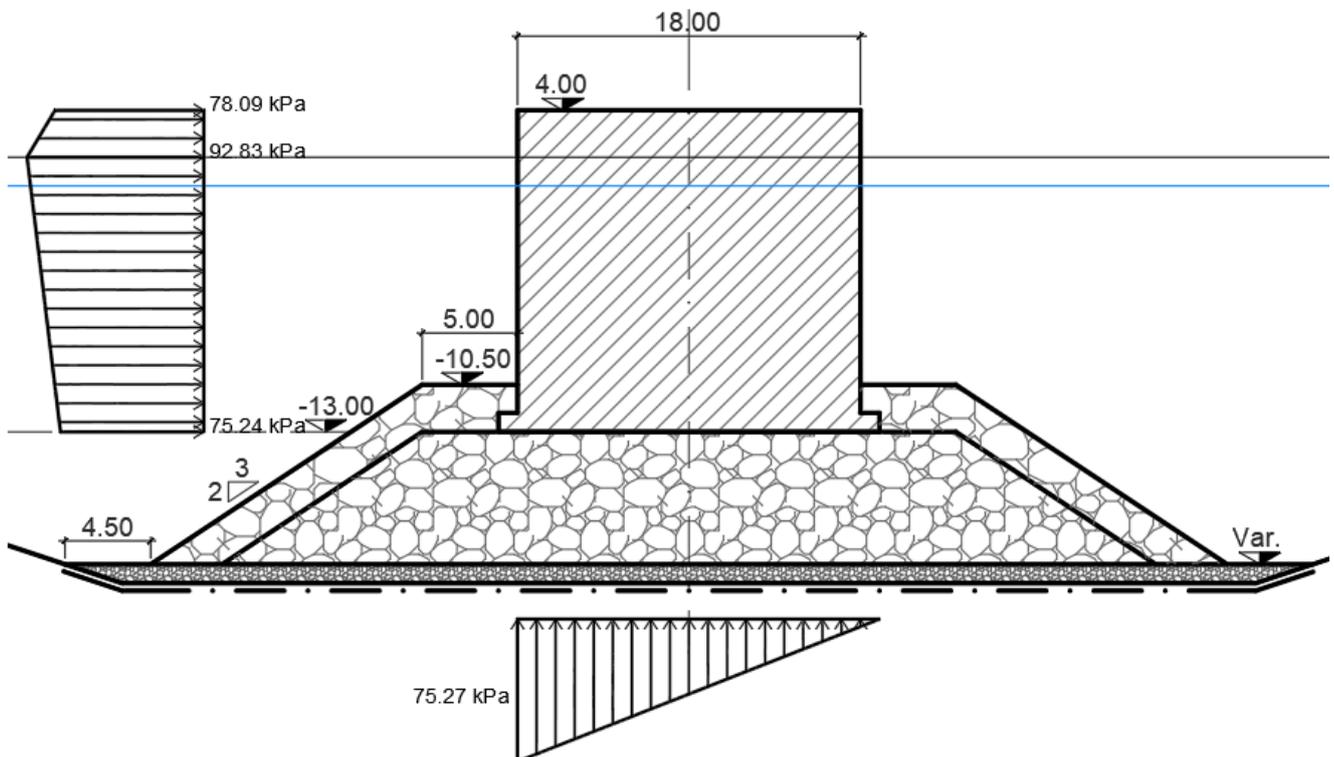


Figura 4.3 – Spinte sul cassone in condizioni di cresta.

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-001\_0.docx

#### 4.5.1 A2+M2+R2

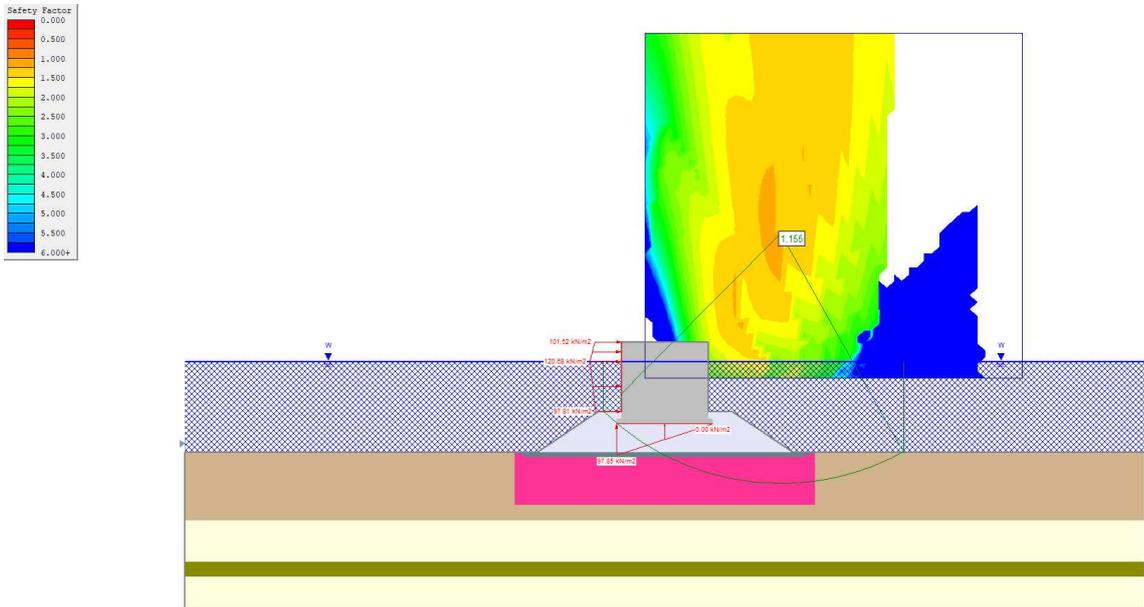


Figura 4.4 - Verifica di stabilità globale WBS 1a A2+M2

FS = 1.155 > 1.1 → verificato

#### 4.5.2 SLV

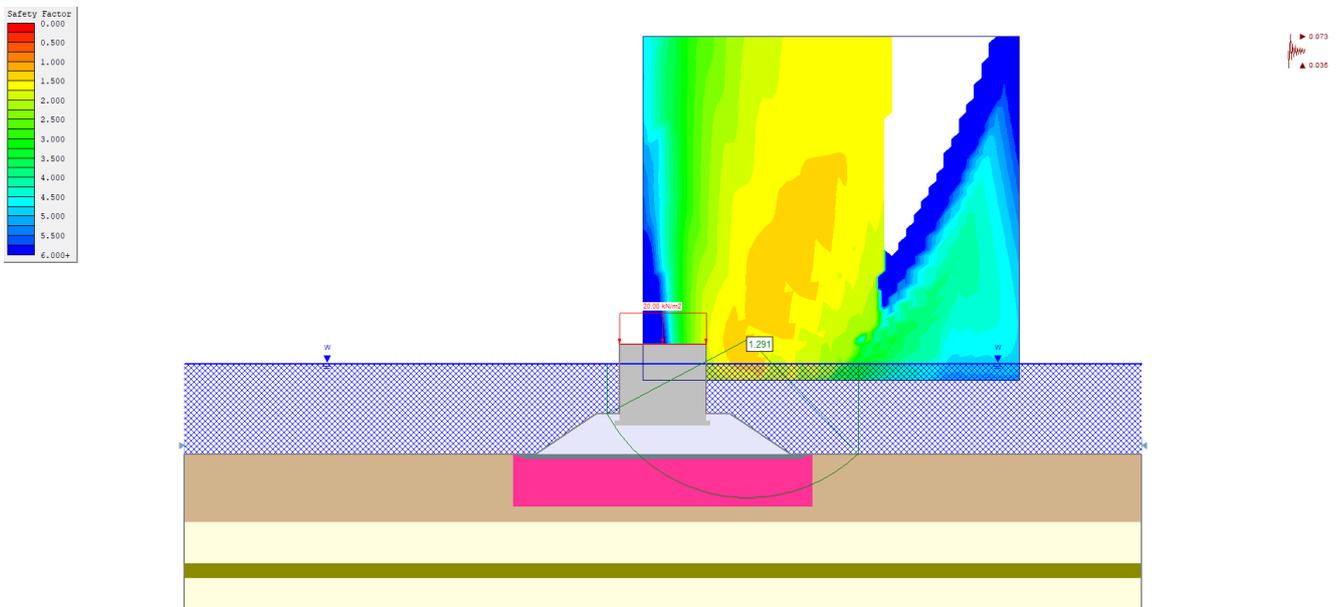


Figura 4.5 - Verifica di stabilità globale WBS 1a SLV

FS = 1.291 > 1.2 → verificato

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-001\_0.docx

## 4.6 WBS 2a

### 4.6.1 A2+M2+R2

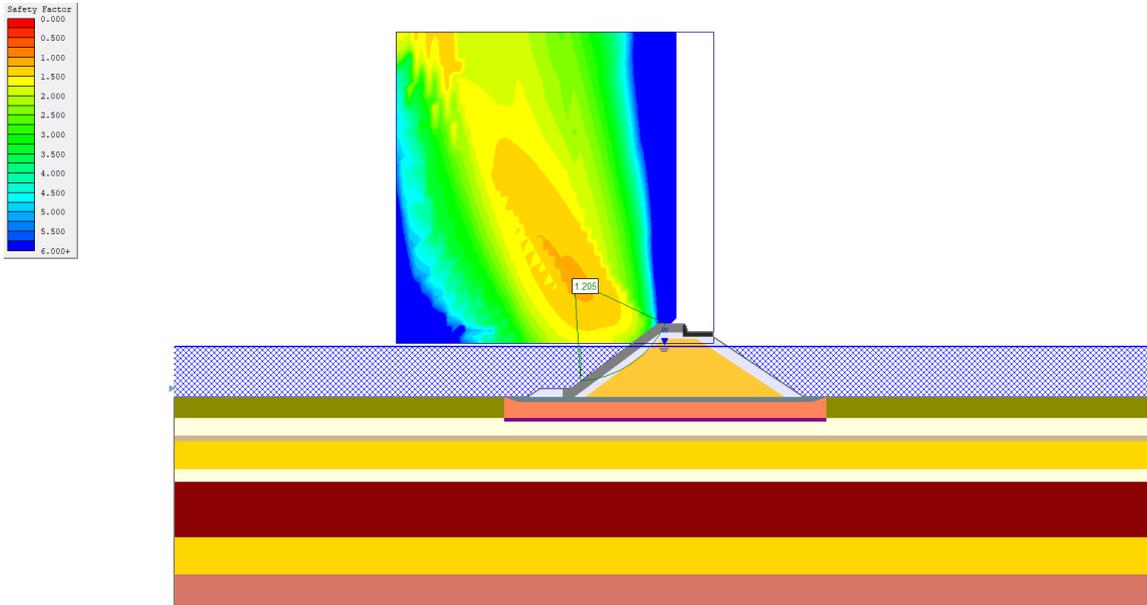


Figura 4.6 - Verifica di stabilità globale WBS 2a A2+M2

FS = 1.205 > 1.1 → verificato

### 4.6.2 SLV

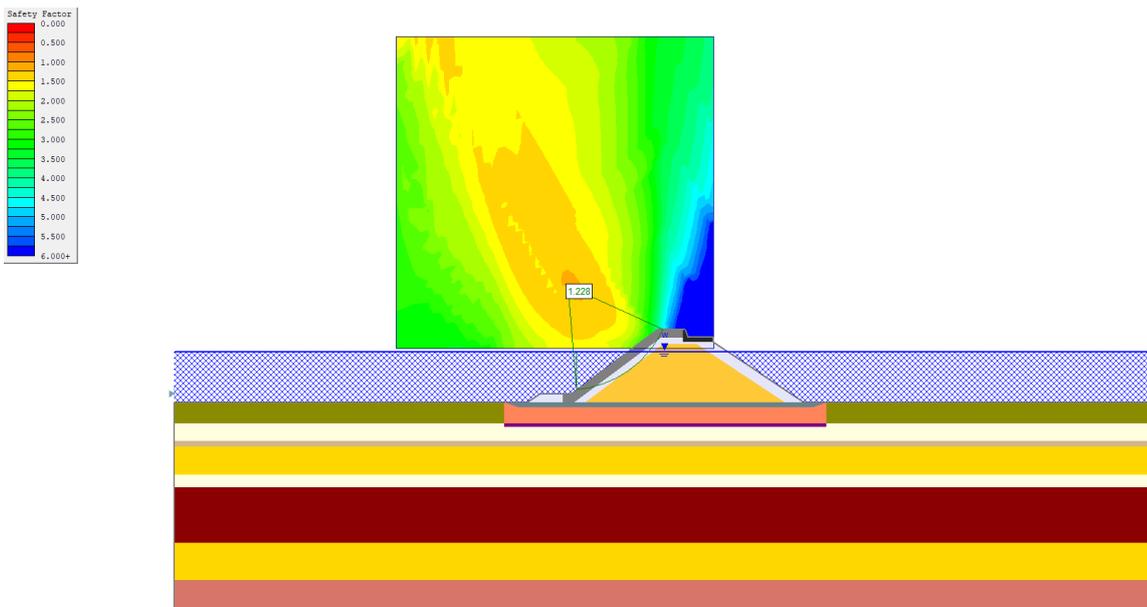


Figura 4.7 - Verifica di stabilità globale WBS 2a SLV

FS = 1.228 > 1.2 → verificato

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-001\_0.docx

## 4.7 WBS 2b

### 4.7.1 A2+M2+R2

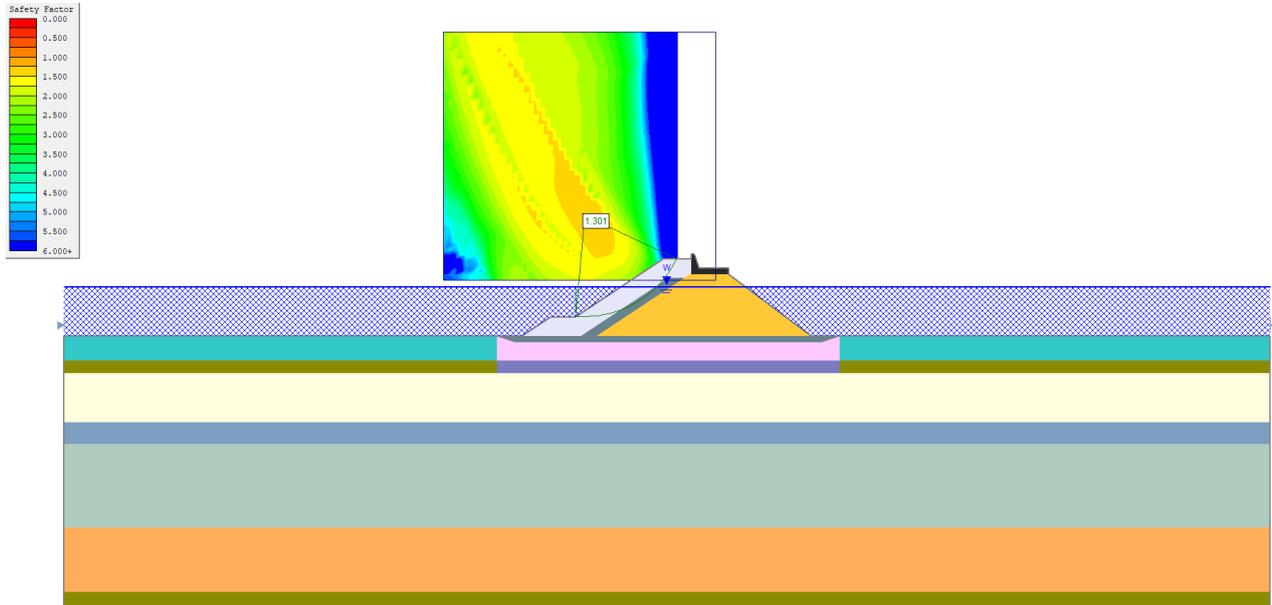


Figura 4.8 - Verifica di stabilità globale WBS 2b A2+M2

FS = 1.301 > 1.1 → verificato

### 4.7.2 SLV

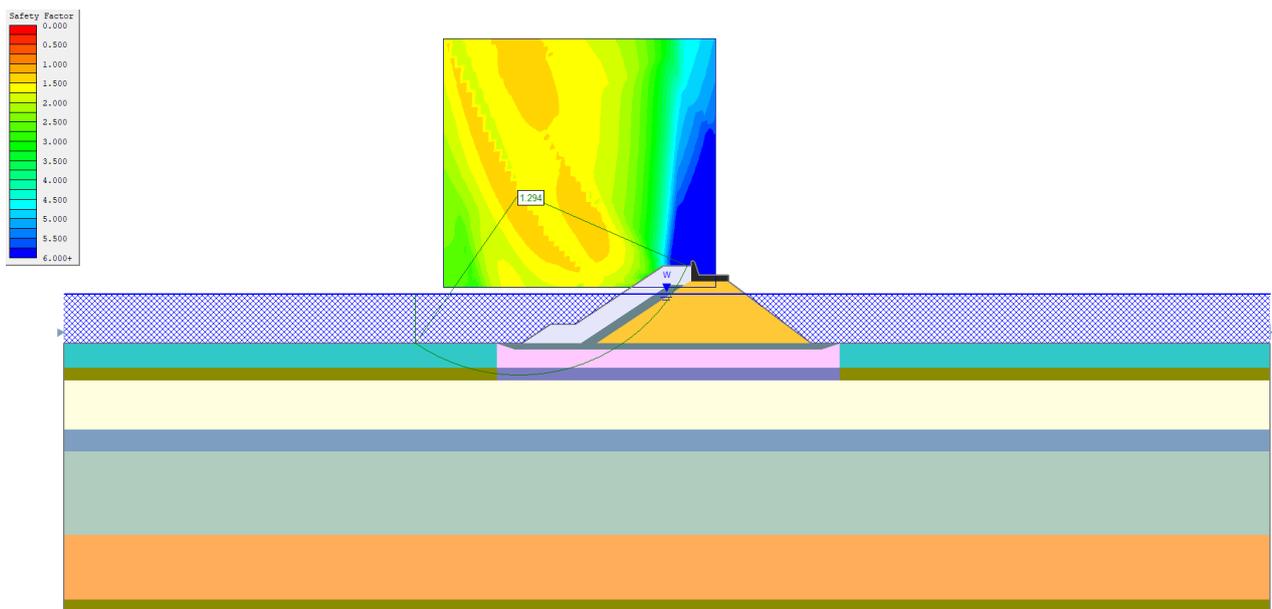


Figura 4.9 - Verifica di stabilità globale WBS 2b SLV

FS = 1.294 > 1.2 → verificato

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-001\_0.docx

## 4.8 WBS 4a

### 4.8.1 A2+M2+R2

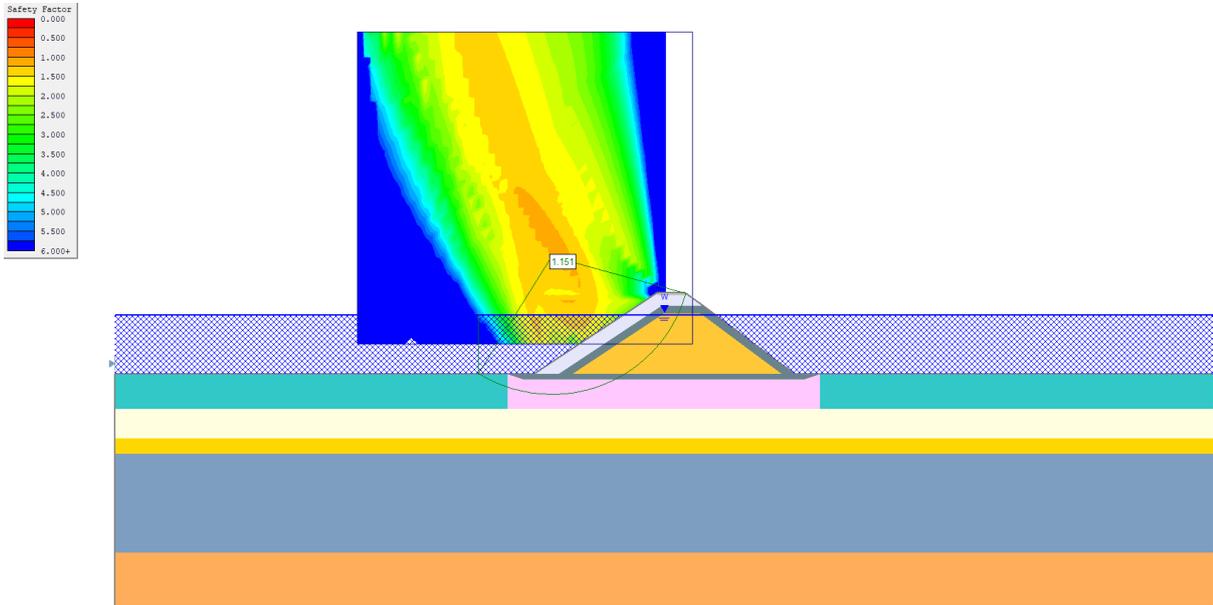


Figura 4.10 - Verifica di stabilità globale WBS 4a A2+M2

FS = 1.151 > 1.1 → verificato

### 4.8.2 SLV

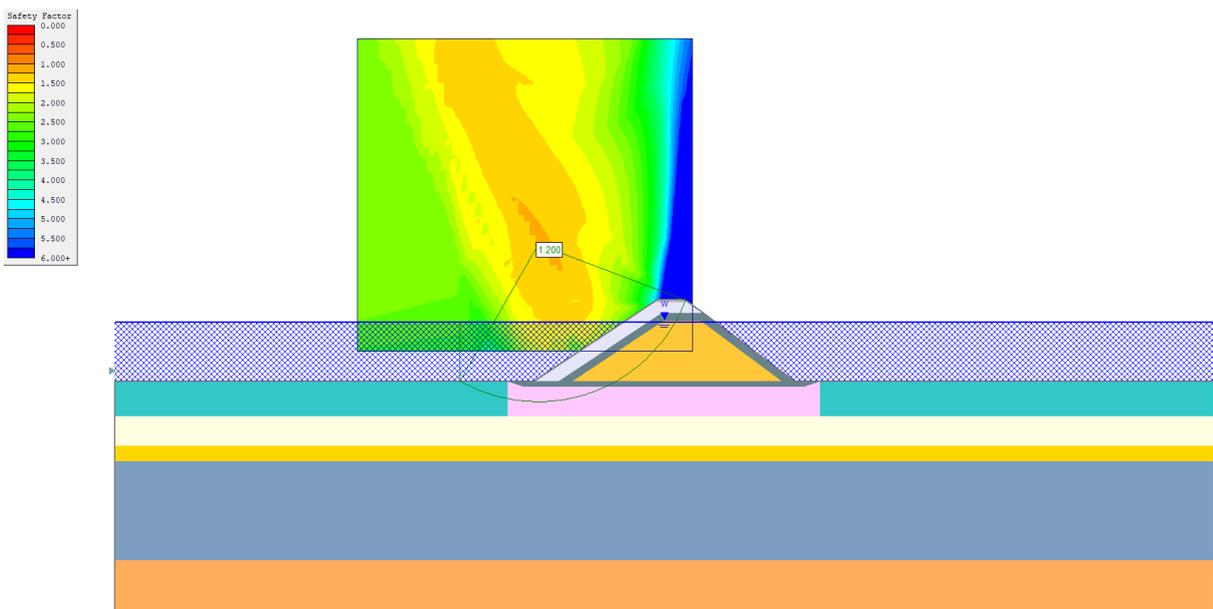


Figura 4.11 - Verifica di stabilità globale WBS 4a SLV

FS = 1.200 = 1.2 → verificato

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-001\_0.docx

## 5 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Il calcolo dei cedimenti delle scogliere è stato eseguito in stato piano di deformazione mediante l'utilizzo del software Plaxis 2D 2019 (copyright program by Plaxis bv P.O. Box 572, 2600 AN Delft, Netherlands).

Plaxis 2D è un codice di calcolo agli elementi finiti per la modellazione numerica dei terreni e delle rocce nei problemi riguardanti l'ingegneria geotecnica, che permette di tenere conto del comportamento del terreno seguendo contemporaneamente, per passi successivi, la variazione di stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e degli elementi strutturali collegati. Il calcolo prevede la suddivisione delle diverse fasi (corrispondenti all'applicazione di carichi, o a modifiche della configurazione geometrica per scavi o riporti, o a modifiche delle pressioni idrostatiche, o a dissipazione di pressioni neutre) in step di calcolo, ed è possibile quindi seguire l'evoluzione delle condizioni del terreno parallelamente alle prevedibili fasi costruttive. All'interno di ogni fase di carico il programma perviene all'equilibrio attraverso una serie di iterazioni sfruttando la matrice di rigidezza iniziale (metodo di Newton-Raphson modificato).

In output sono disponibili, per ogni passo:

- spostamenti in tutti i nodi del sistema;
- stato tensionale in tutti i punti di integrazione;
- sollecitazioni di momento flettente, sforzo normale e taglio negli elementi beam.

Sono disponibili vari modelli costitutivi per simulare il comportamento del terreno e di altri continui. Tra questi modelli rivestono particolare importanza per l'analisi in oggetto il classico modello di Mohr-Coulomb (MC) ed il modello Hardening Soil Model (HS), un modello elastoplastico incrudente che riproduce in condizioni di primo carico triassiale un legame tensioni - deformazioni di tipo iperbolico. L'incrudimento è funzione sia delle deformazioni distorsionali plastiche sia delle deformazioni volumetriche plastiche; il modello è quindi in grado di simulare, tra l'altro, la riduzione irreversibile di volume di un terreno sottoposto a compressione lungo percorsi di carico proporzionali a partire da una condizione di normal-consolidazione.

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-001\_0.docx

## 5.1 Parametri geotecnici

### 5.1.1 Hardening soil model

Property	Unit	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value
<b>Material set</b>								
Identification number		1	2	3	5	6	8	9
Identification		_AL	_LS	_SL	_TV	_Massi	_SL_compatta	_AS
Material model		Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour		 RGB 161, 226, 232	 RGB 134, 234, 162	 RGB 236, 232, 156	 RGB 77, 102, 51	 RGB 182, 200, 195	 RGB 252, 185, 130	 RGB 195, 229, 249
Comments								
<b>General properties</b>								
$Y_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	19.00	19.00	19.00	19.00	20.00	19.00	19.00
$Y_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	19.50	19.50	19.50	19.50	20.50	19.50	19.50
<b>Stiffness</b>								
$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	8000	10.00E3	15.00E3	20.00E3	40.00E3	20.00E3	9000
$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	8000	10.00E3	15.00E3	20.00E3	40.00E3	20.00E3	9000
$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	24.00E3	30.00E3	45.00E3	60.00E3	120.0E3	60.00E3	27.00E3
power (m)		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
<b>Strength</b>								
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	15.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.00
$\varphi$ (phi)	°	20.00	26.00	29.00	40.00	40.00	32.00	20.00
$\psi$ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Property	Unit	Value	Value	Value	Value	Value	Value
<b>Material set</b>							
Identification number		11	14	15	16	18	19
Identification		_Filtro	_Lveg	_GS	_LA	_Riempimento	_A
Material model		Hardening soil	Hardening soil				
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour		 RGB 182, 226, 190	 RGB 185, 209, 173	 RGB 200, 182, 137	 RGB 240, 251, 167	 RGB 241, 253, 196	 RGB 179, 195, 55
Comments							
<b>General properties</b>							
$Y_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
$Y_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	.50	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50
<b>Stiffness</b>							
$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	20.00E3	1000	40.00E3	8000	5000	13.00E3
$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	20.00E3	1000	40.00E3	8000	5000	13.00E3
$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	60.00E3	3000	120.0E3	24.00E3	15.00E3	39.00E3
power (m)		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
<b>Strength</b>							
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	1.000	0.000	0.000	15.00	0.000	20.00
$\varphi$ (phi)	°	40.00	20.00	38.00	22.00	20.00	20.00
$\psi$ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

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-001\_0.docx

### 5.1.2 Mohr-Coulomb

Property	Unit	Value	Value	Value	Value	Value
<b>Material set</b>						
Identification number		7	10	17	20	21
Identification		_Vibrosostituzione_AL_2.5	_Vibrosostituzione_SL_2.5	_Vibrosostituzione_Lveg_1.8	_Vibrosostituzione_LS_2.5	_Vibrosostituzione_LS_1.8
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour		 RGB 251, 162, 212	 RGB 251, 9, 82	 RGB 241, 228, 246	 RGB 243, 68, 153	 RGB 232, 47, 249
Comments						
<b>General properties</b>						
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50
<b>Stiffness</b>						
E	kN/m <sup>2</sup>	30.00E3	51.00E3	18.90E3	36.00E3	42.00E3
$\nu$ ( $\nu$ )		0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
<b>Strength</b>						
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	14.00	0.000	0.000	0.000	0.000
$\phi$ ( $\phi$ )	°	22.00	30.00	23.00	27.00	28.00

### 5.1.3 Linear Elastic

Property	Unit	Value	Value	Value
<b>Material set</b>				
Identification number		4	12	13
Identification		_Cassone	_Accropodi	_CLS
Material model		Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
Drainage type		Non-porous	Drained	Non-porous
Colour		 RGB 107, 112, 112	 RGB 230, 181, 132	 RGB 64, 64, 64
Comments				
<b>General properties</b>				
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	22.90	23.75	25.00
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	22.90	23.75	25.00
<b>Stiffness</b>				
E	kN/m <sup>2</sup>	31.22E6	300.0E3	3.122E6
$\nu$ ( $\nu$ )		0.2000	0.2000	0.2000

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-001\_0.docx

## 5.2 WBS 1a

### 5.2.1 Fasi

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

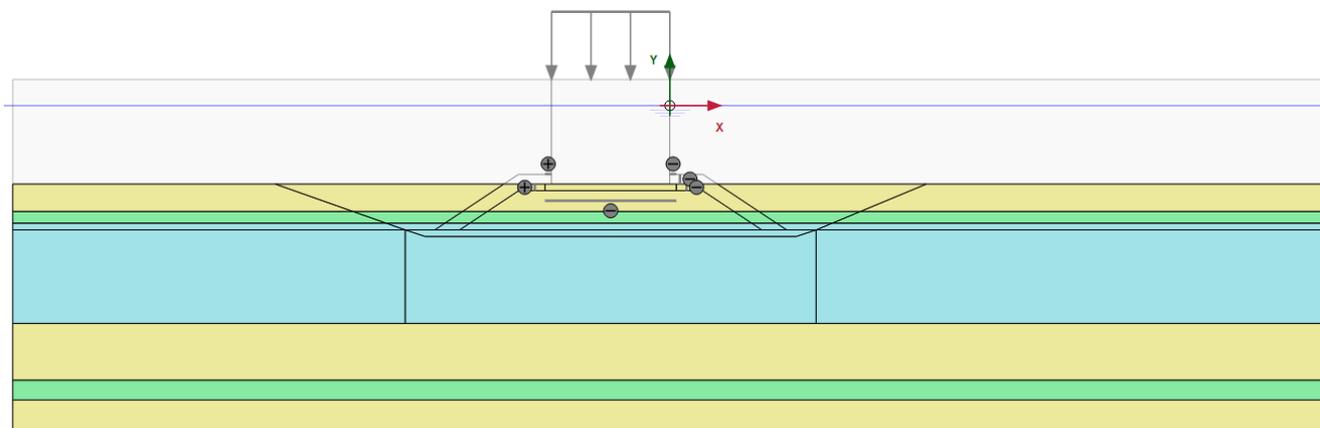


Figura 5.1 - WBS 1 - Fase iniziale.

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-001\_0.docx

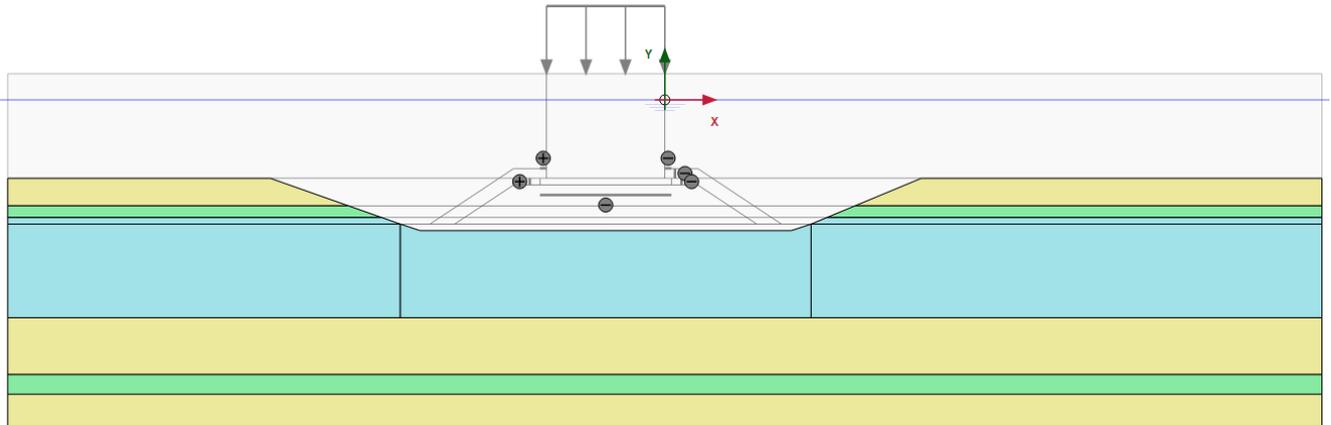


Figura 5.2 - WBS 1 - Scavo.

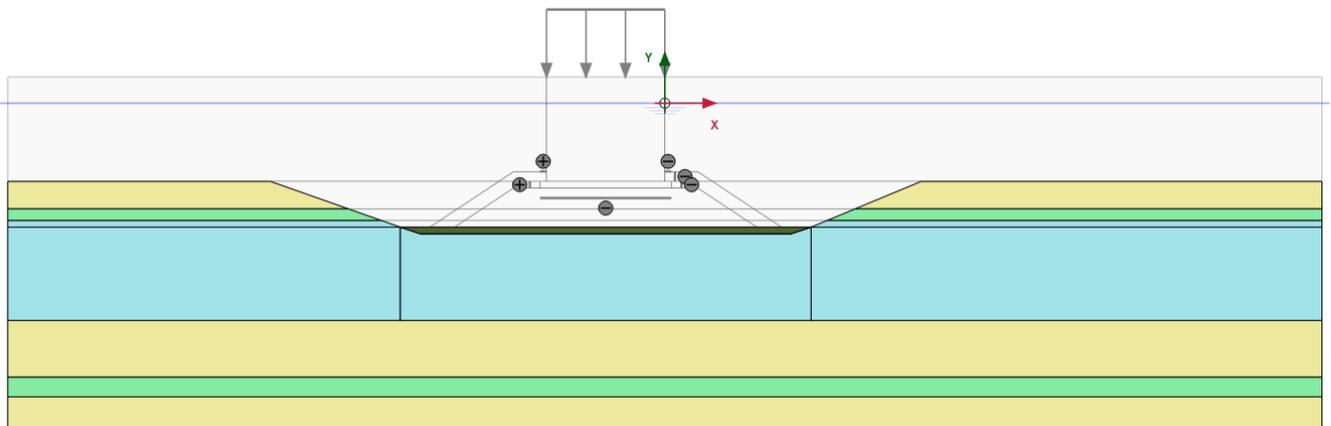


Figura 5.3 - WBS 1 – Realizzazione dello scavo.

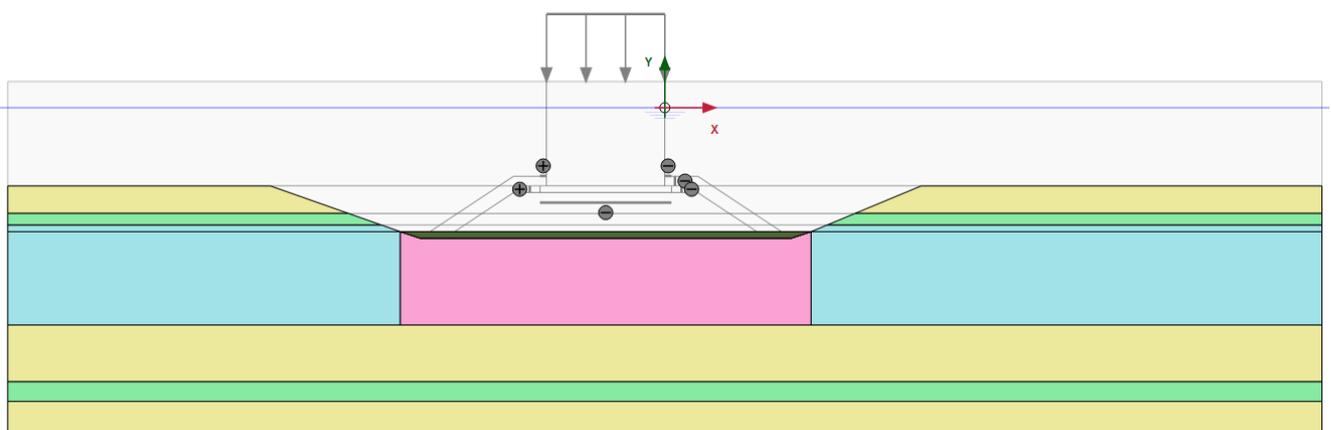


Figura 5.4 - WBS 1 - Vibrosostituzione.

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-001\_0.docx

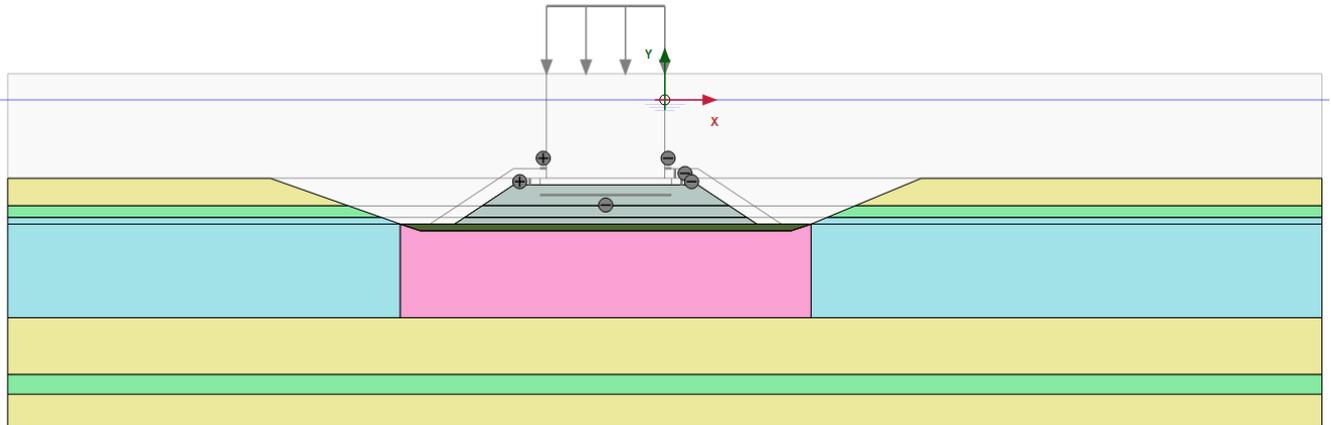


Figura 5.5 - WBS 1 – Realizzazione della scogliera.

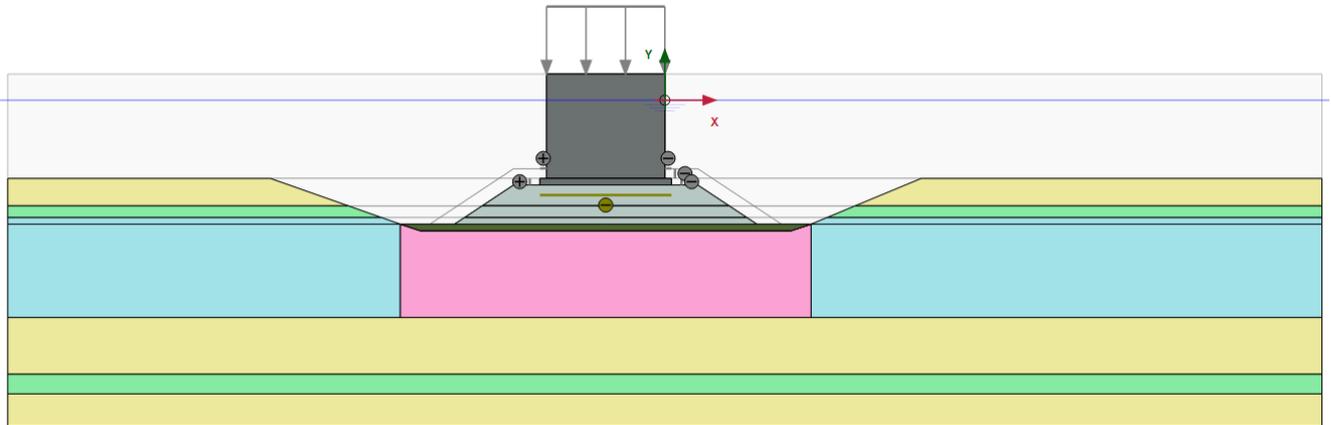


Figura 5.6 - WBS 1 – Posa dei cassoni.

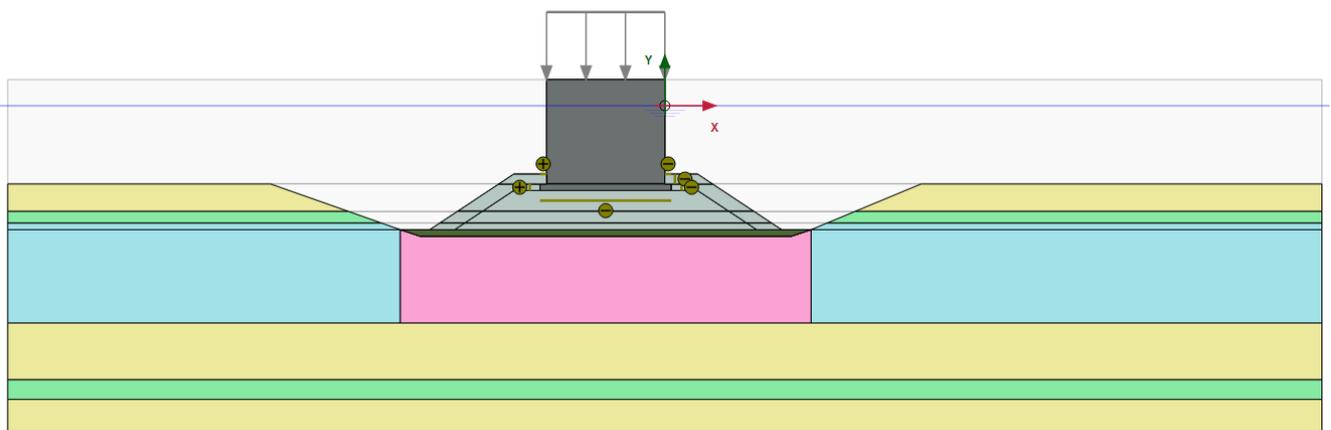


Figura 5.7 - WBS 2a – Completamento della scogliera.

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-001\_0.docx

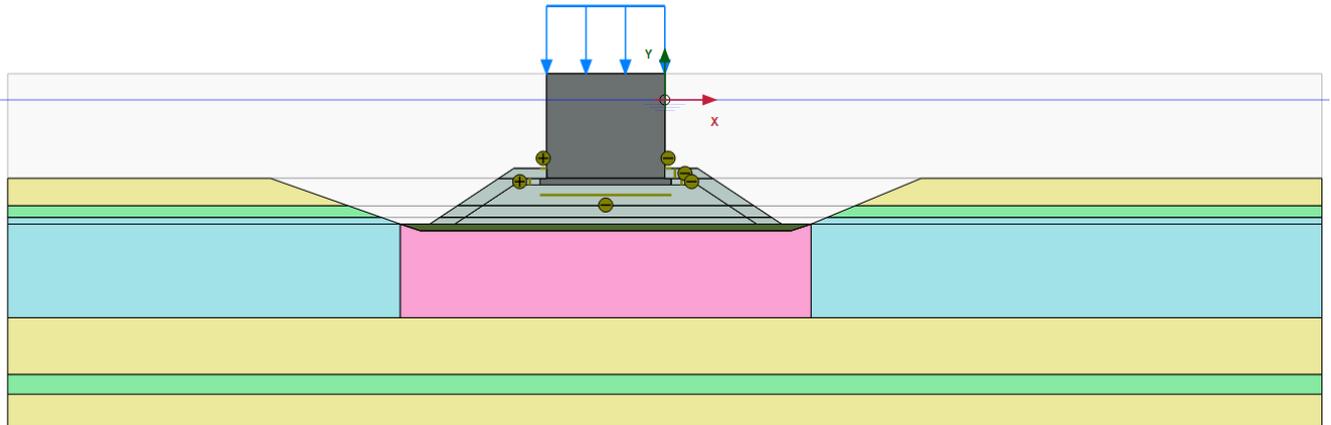


Figura 5.8 - WBS 2a – Applicazione del sovraccarico.

### 5.2.2 Output

Di seguito si riportano i cedimenti verticali a lungo termine.

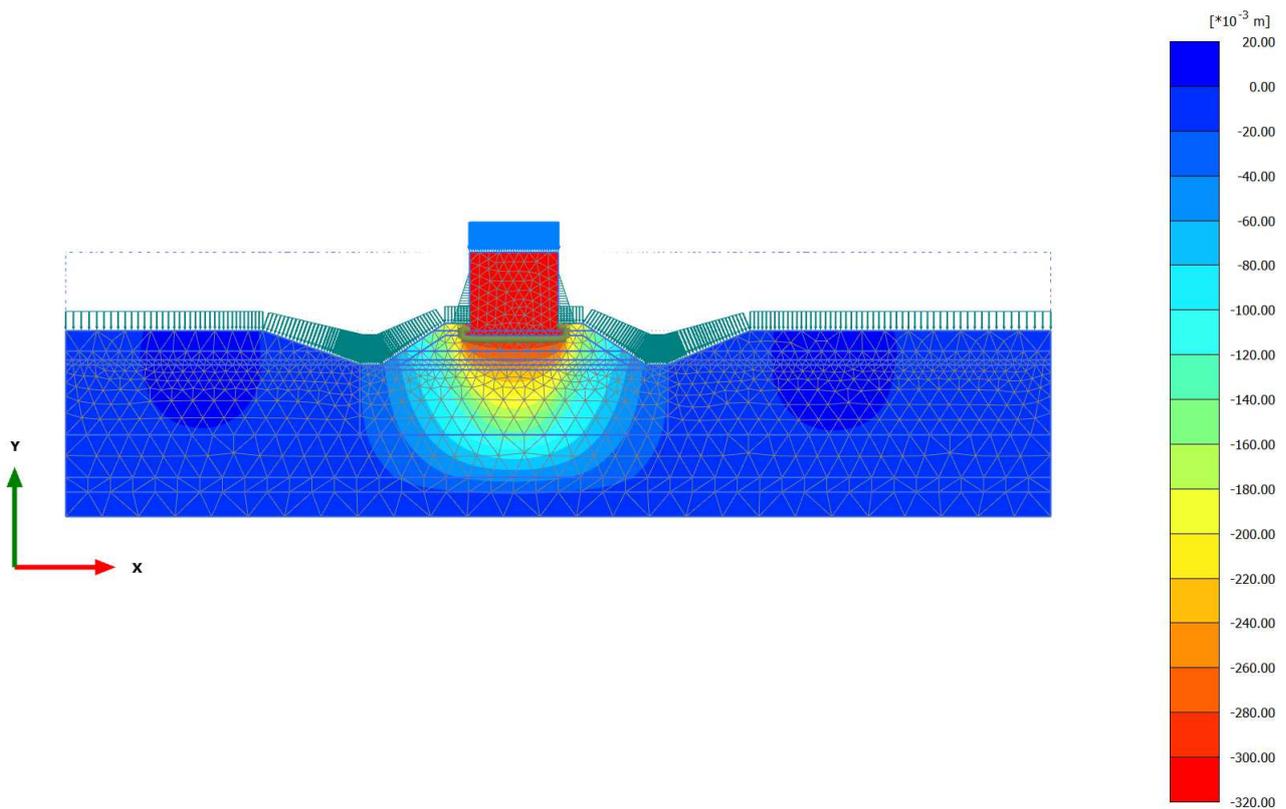


Figura 5.9 - WBS 1 – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 30$  cm).

## 5.3 WBS 2a

### 5.3.1 Fasi

- Fase iniziale
- Azzeramento
- Scavo
- Azzeramento
- Realizzazione dello scanno
- Vibrosostituzione
- Azzeramento
- Realizzazione della scogliera

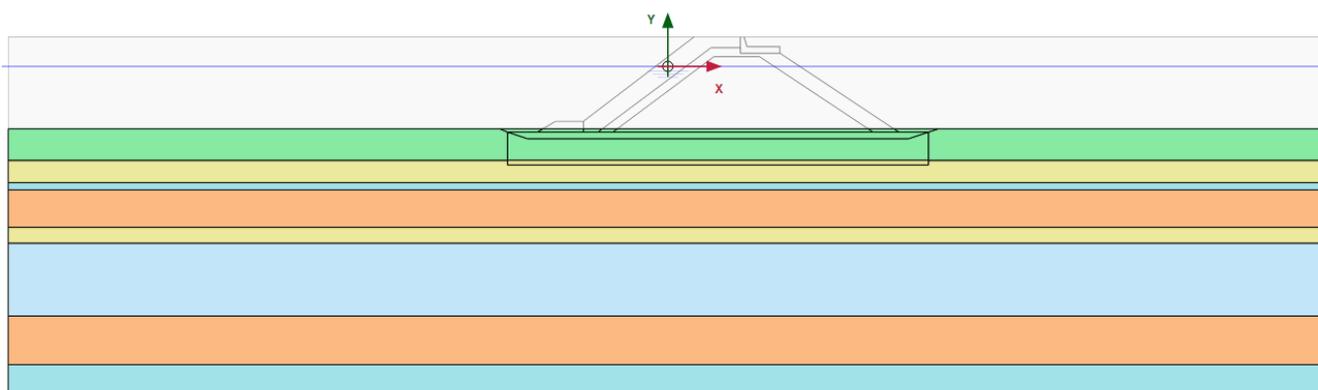


Figura 5.10 - WBS 2a - Fase iniziale.

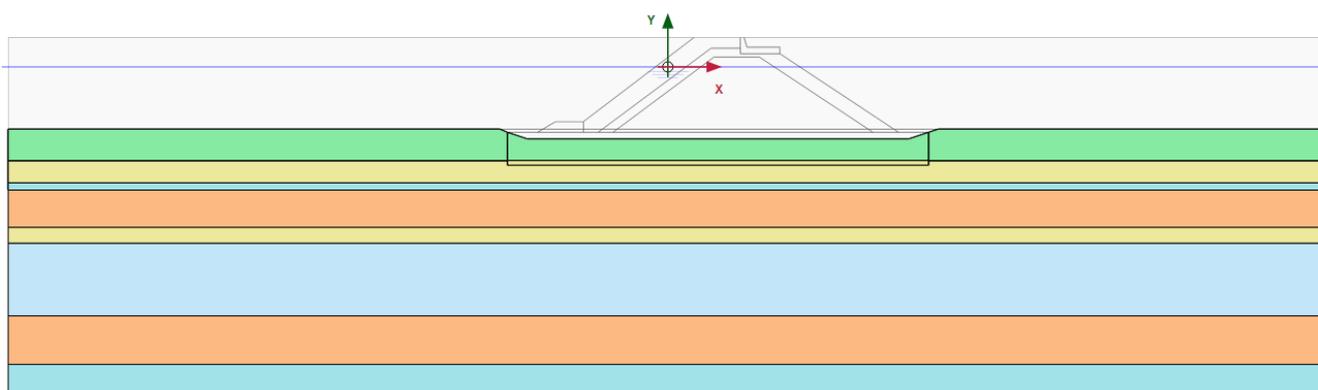


Figura 5.11 - WBS 2a - Scavo.

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-001\_0.docx

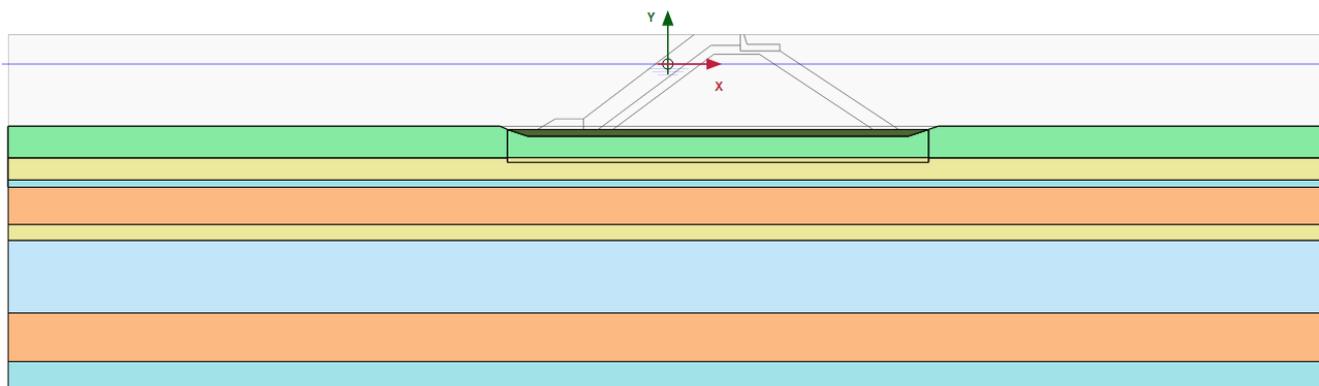


Figura 5.12 - WBS 2a – Realizzazione dello scanno.

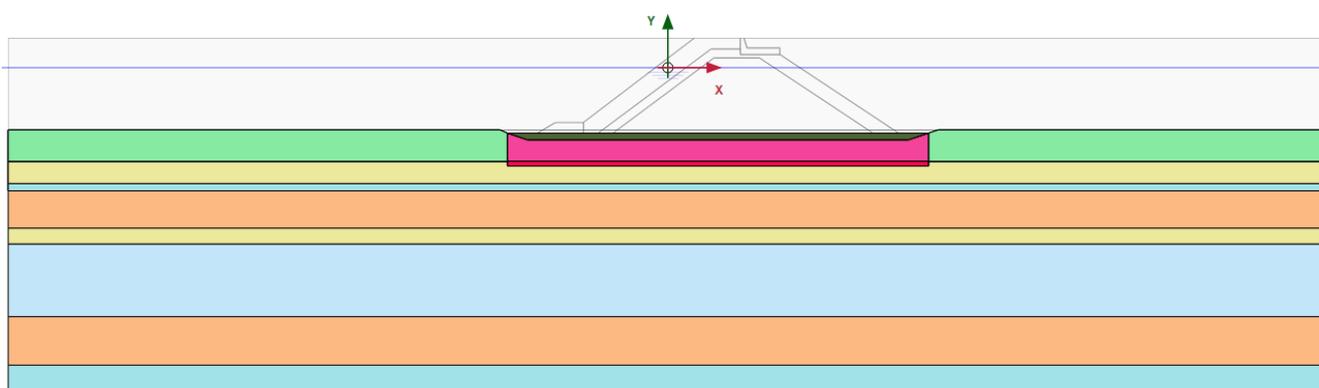


Figura 5.13 - WBS 2a - Vibrosostituzione.

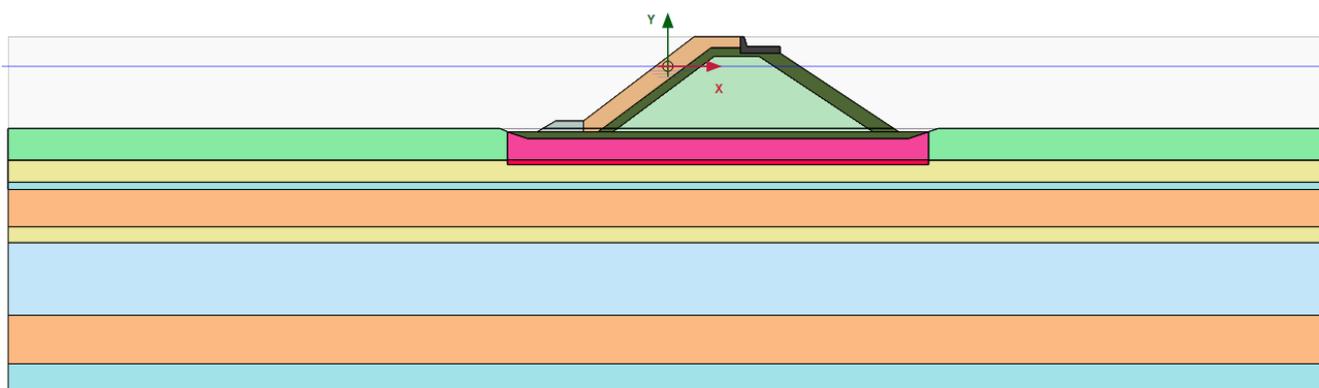


Figura 5.14 - WBS 2a – Realizzazione della scogliera.

### 5.3.2 Output

Di seguito si riportano i cedimenti verticali a lungo termine.

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-001\_0.docx

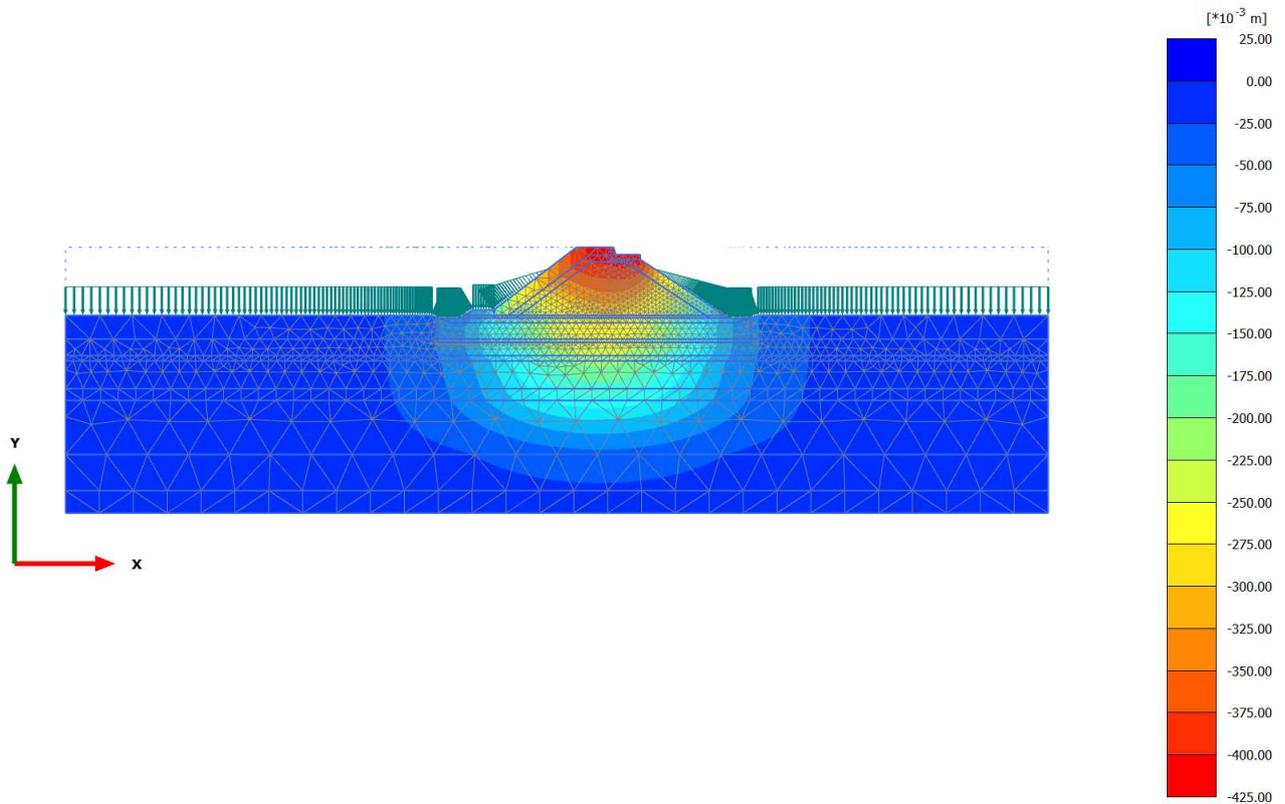


Figura 5.15 - WBS 2a – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 42 \text{ cm}$ ).

## 5.4 WBS 2b

### 5.4.1 Fasi

- Fase iniziale
- Azzeramento
- Scavo
- Azzeramento
- Realizzazione dello scanno
- Vibrosostituzione
- Azzeramento
- Realizzazione della scogliera
- Riempimento a tergo

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-001\_0.docx

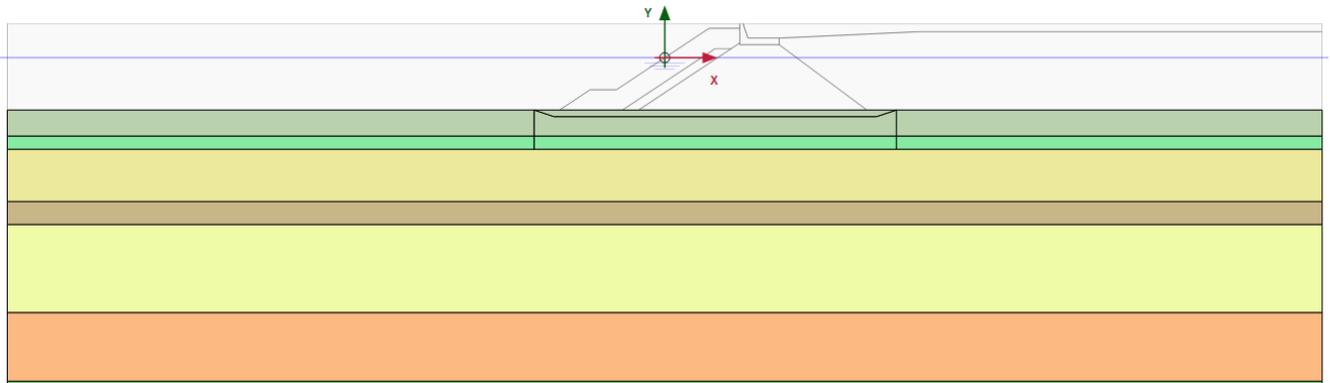


Figura 5.16 - WBS 2b - Fase iniziale.

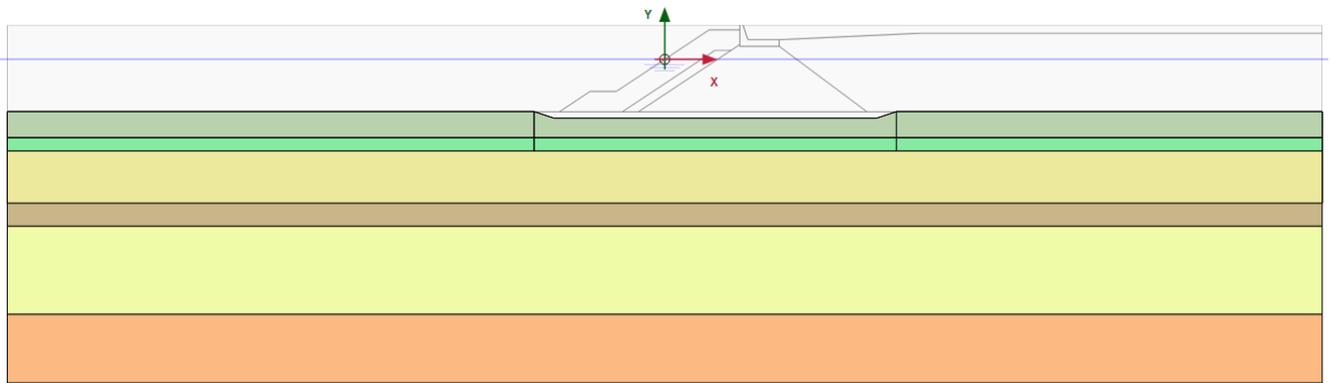


Figura 5.17 - WBS 2b - Scavo.

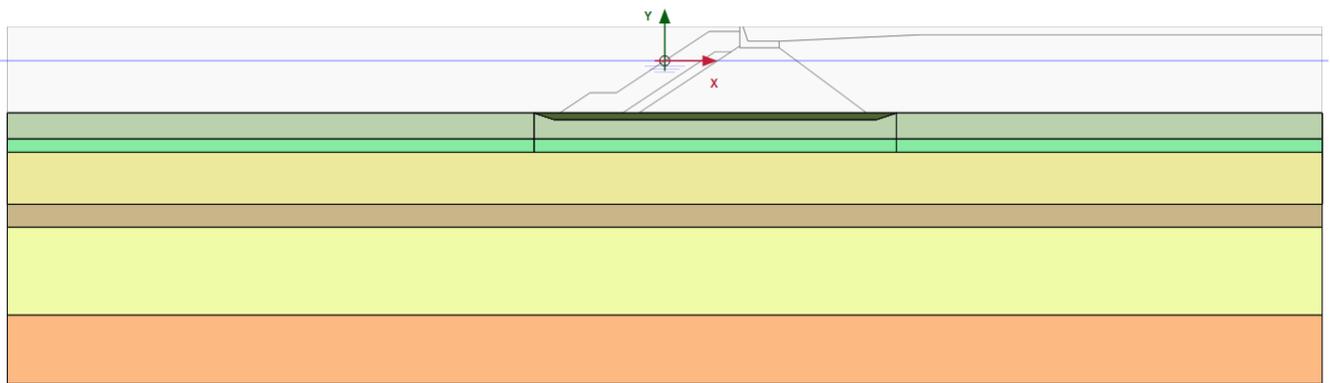


Figura 5.18 - WBS 2b - Realizzazione dello scanno.

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-001\_0.docx

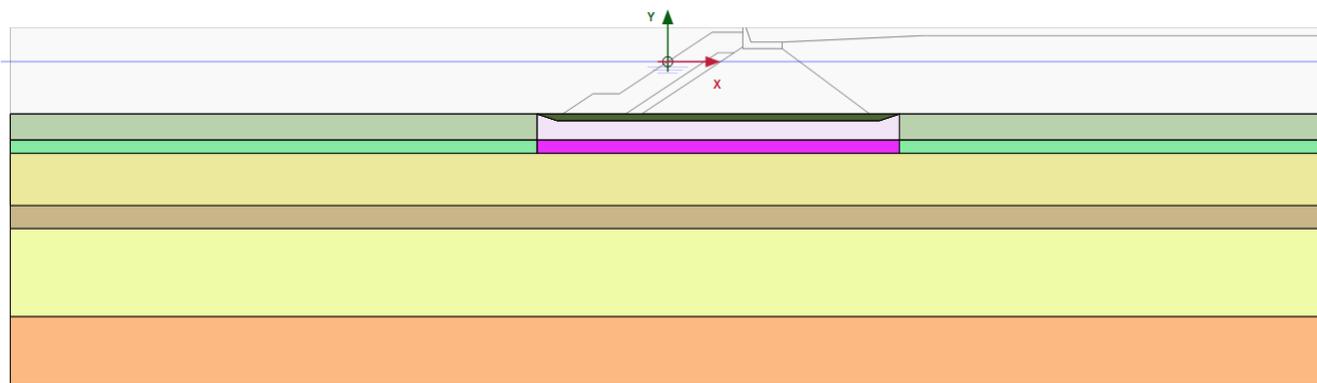


Figura 5.19 - WBS 2b - Vibrosostituzione.

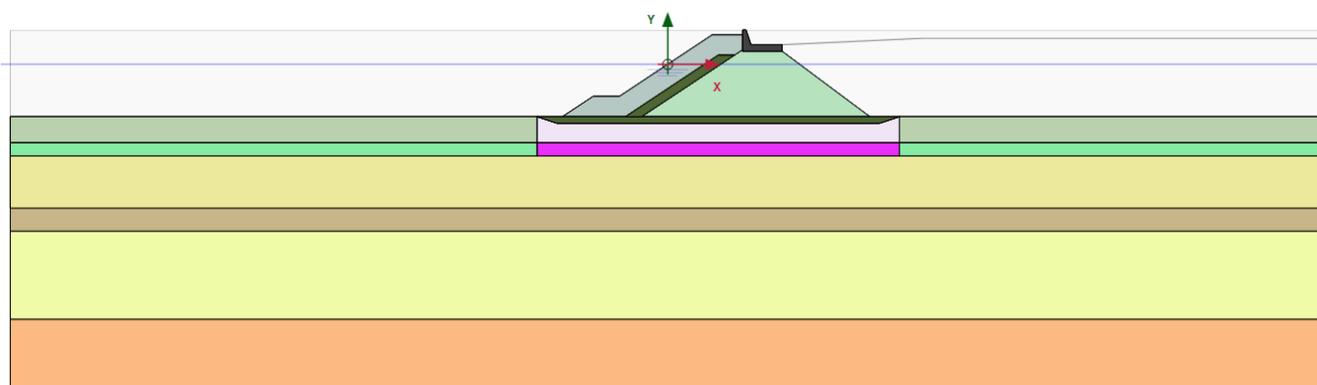


Figura 5.20 - WBS 2b – Realizzazione della scogliera.

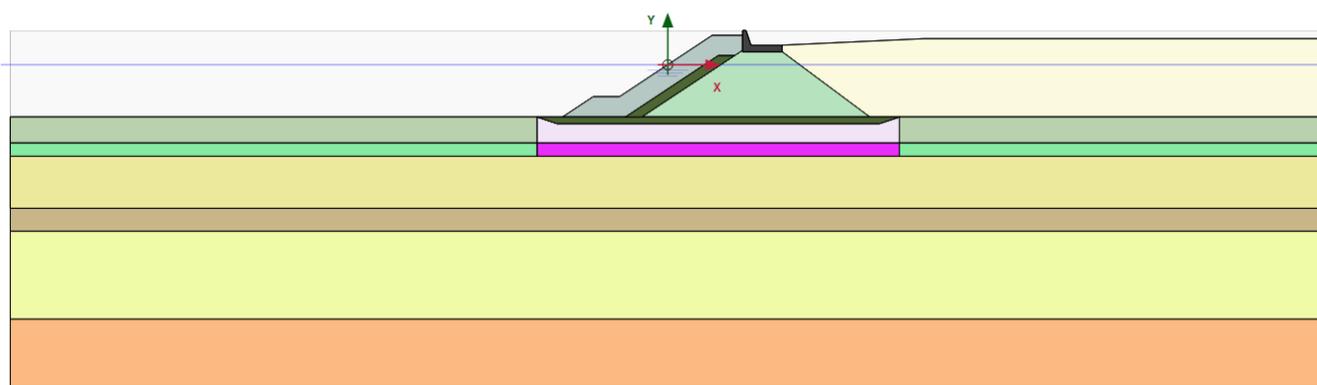


Figura 5.21 - WBS 2b – Riempimento a tergo.

#### 5.4.2 Output

Di seguito si riportano i cedimenti verticali a lungo termine.

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-001\_0.docx

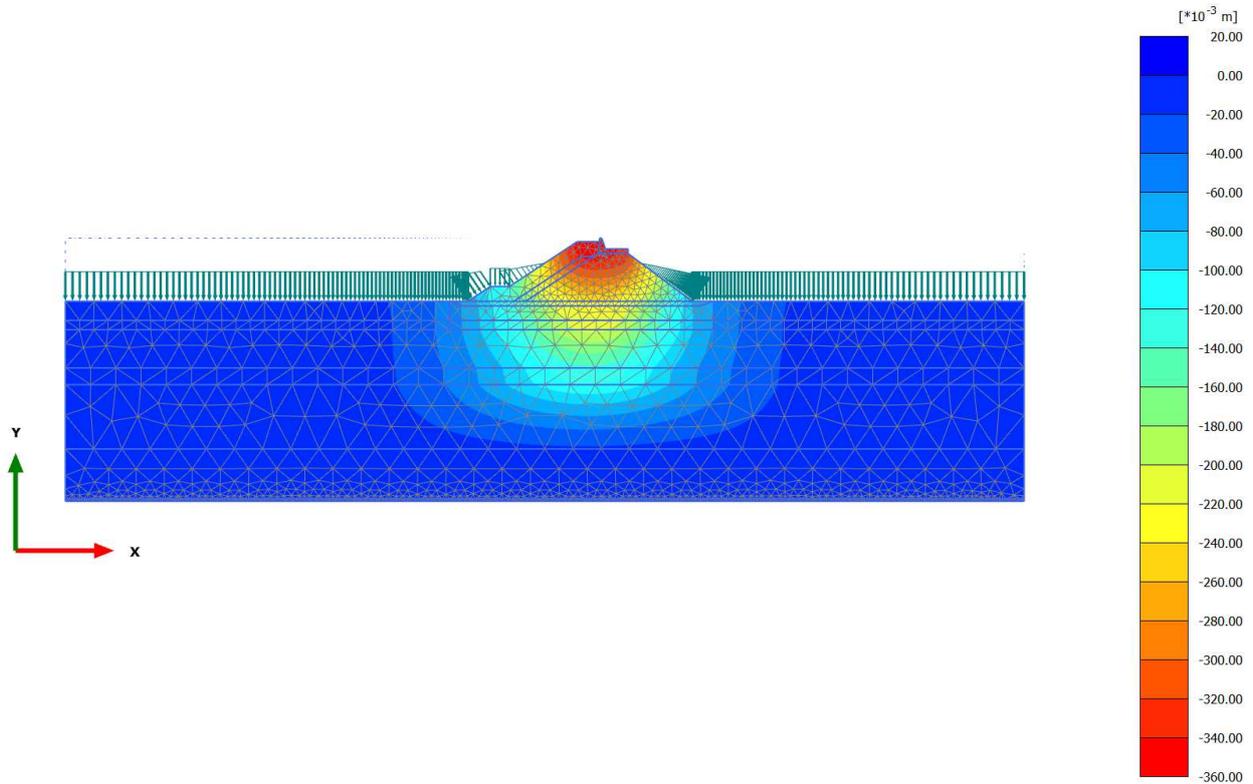


Figura 5.22 - WBS 2b – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 36$  cm).

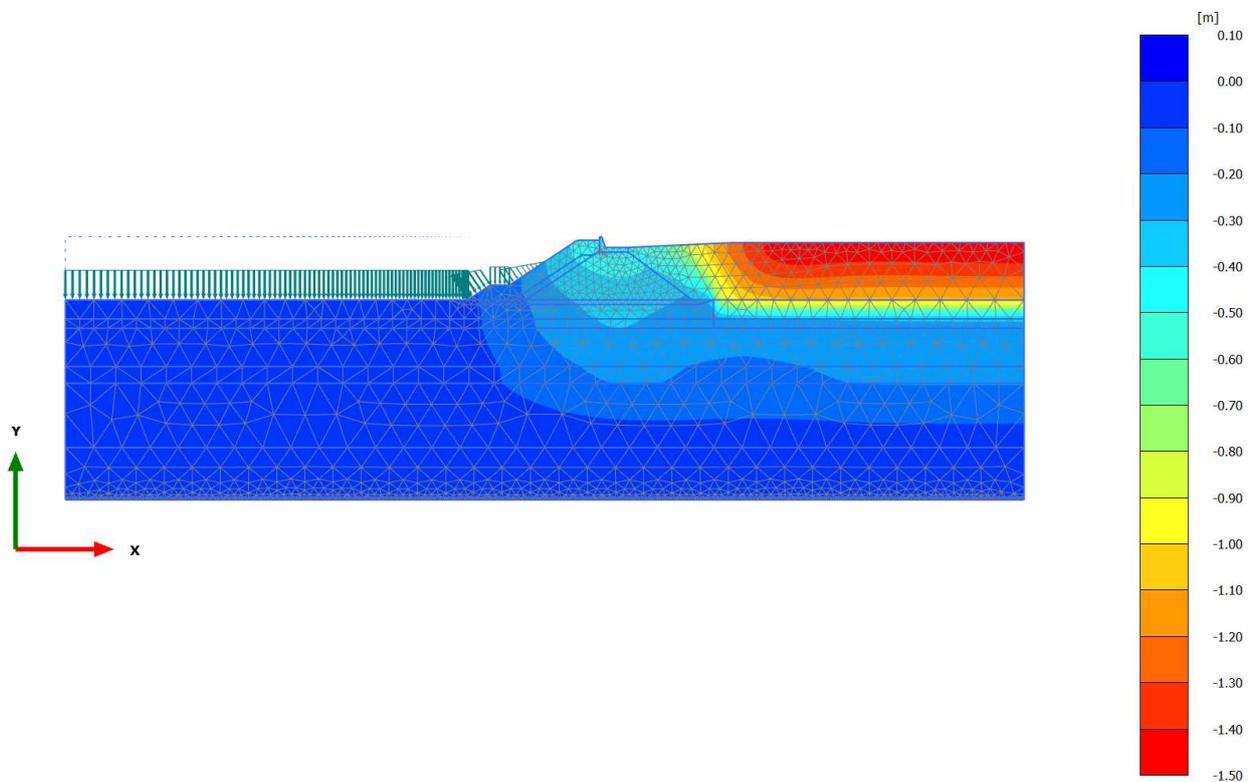


Figura 5.23 - WBS 2b – Cedimento verticale della cassa di colmata ( $u_{y,max} = 1.5$  m).

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-001\_0.docx

## 5.5 WBS 4a

### 5.5.1 Fasi

- Fase iniziale
- Azzeramento
- Scavo
- Azzeramento
- Realizzazione dello scanno
- Vibrosostituzione
- Azzeramento
- Realizzazione della scogliera
- Riempimento a tergo

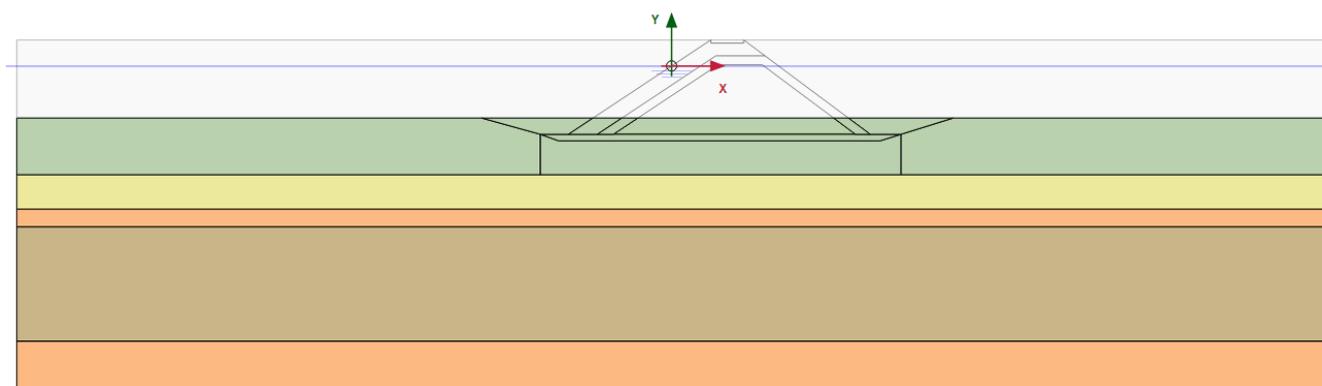


Figura 5.24 - WBS 4a - Fase iniziale.

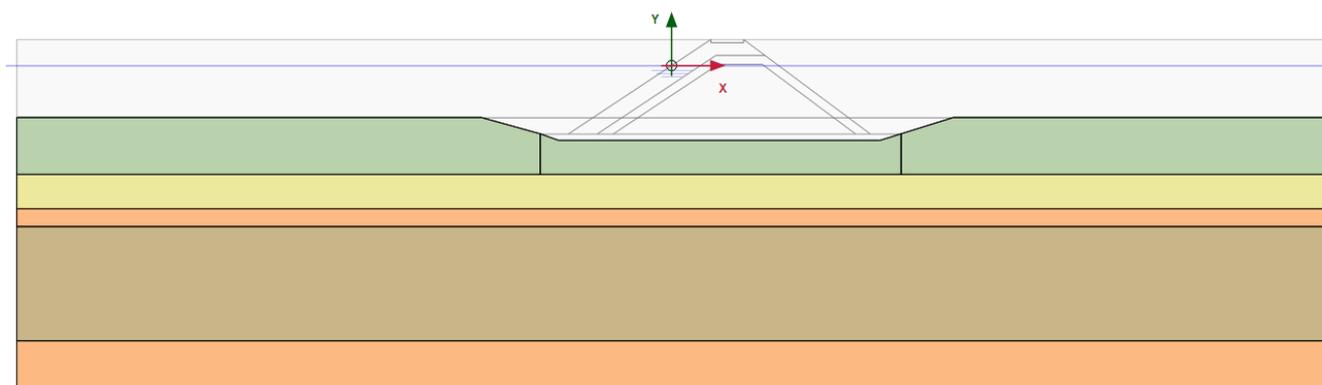


Figura 5.25 - WBS 4a - Scavo.

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-001\_0.docx

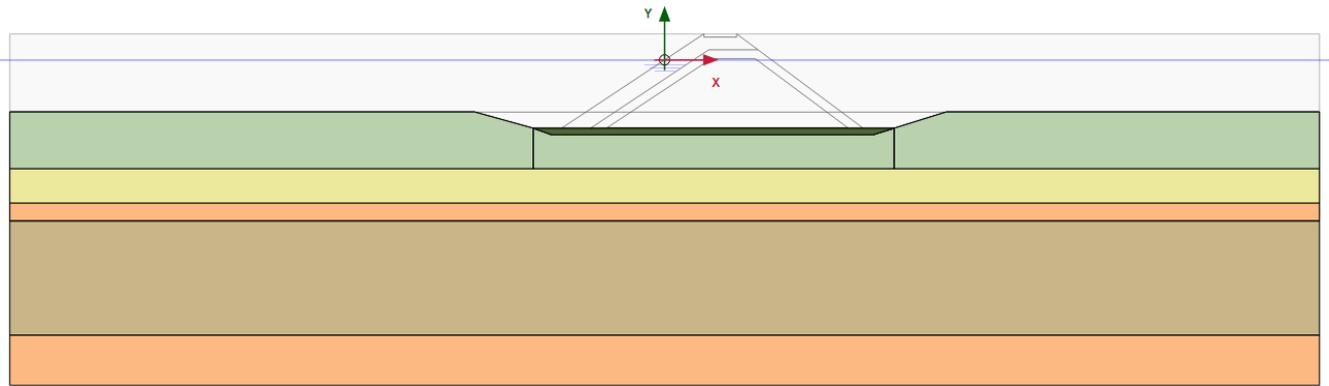


Figura 5.26 - WBS 4a – Realizzazione dello scanno.

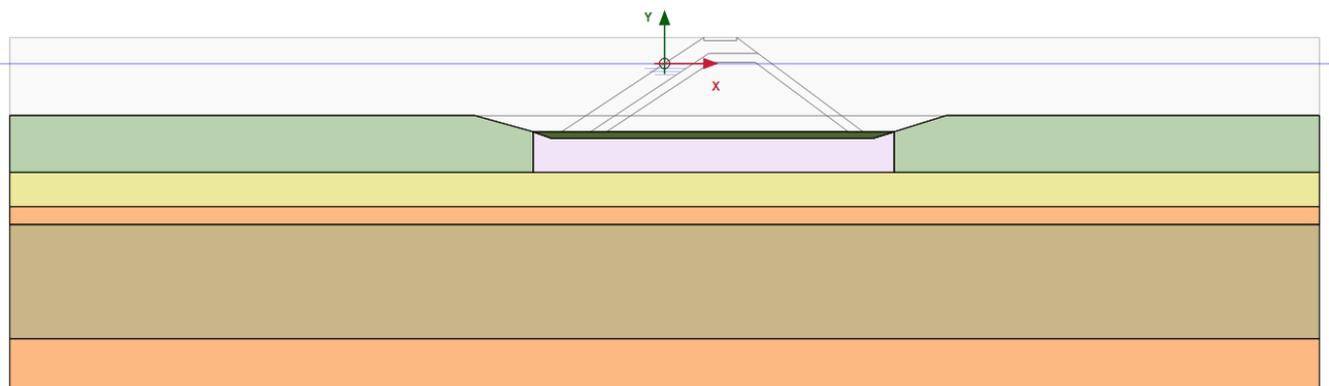


Figura 5.27 - WBS 4a - Vibrosostituzione.

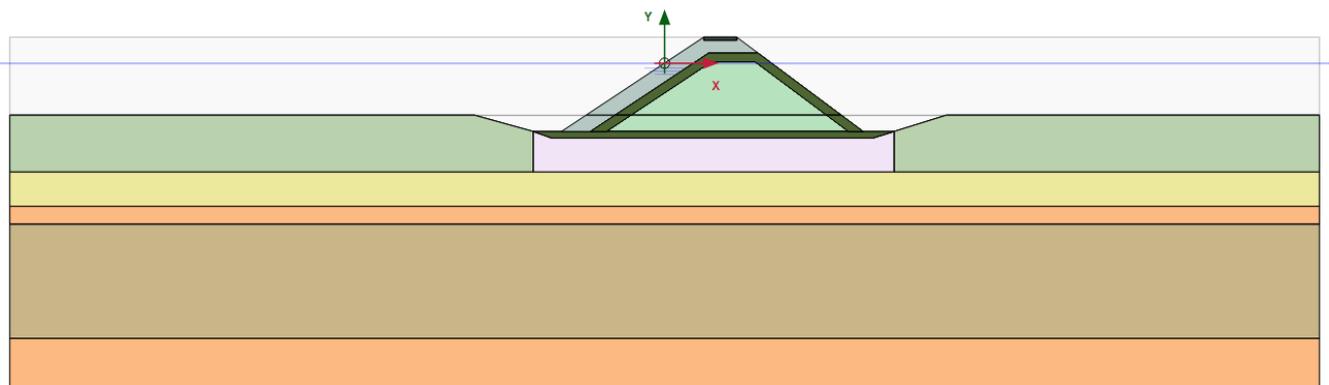


Figura 5.28 - WBS 4a – Realizzazione della scogliera.

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-001\_0.docx

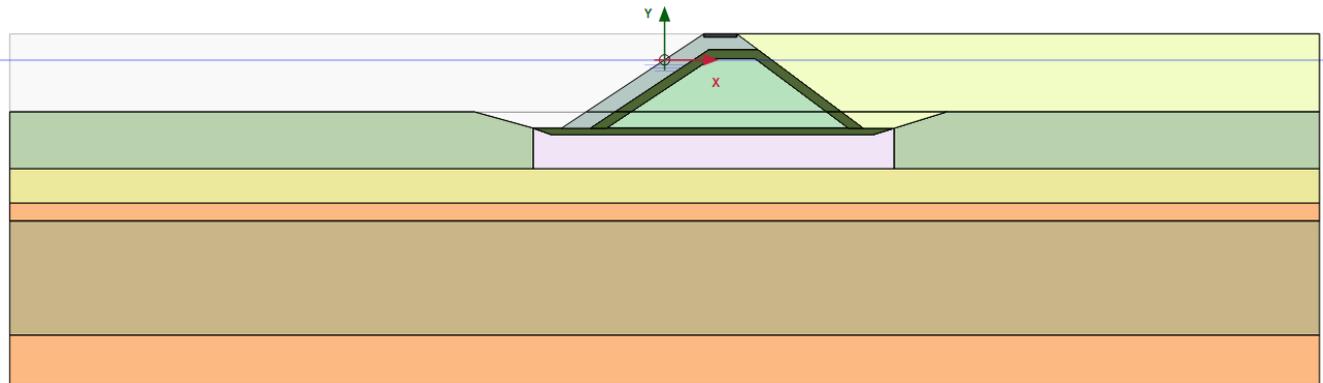


Figura 5.29 - WBS 4a – Riempimento a tergo.

### 5.5.2 Output

Di seguito si riportano i cedimenti verticali a lungo termine.

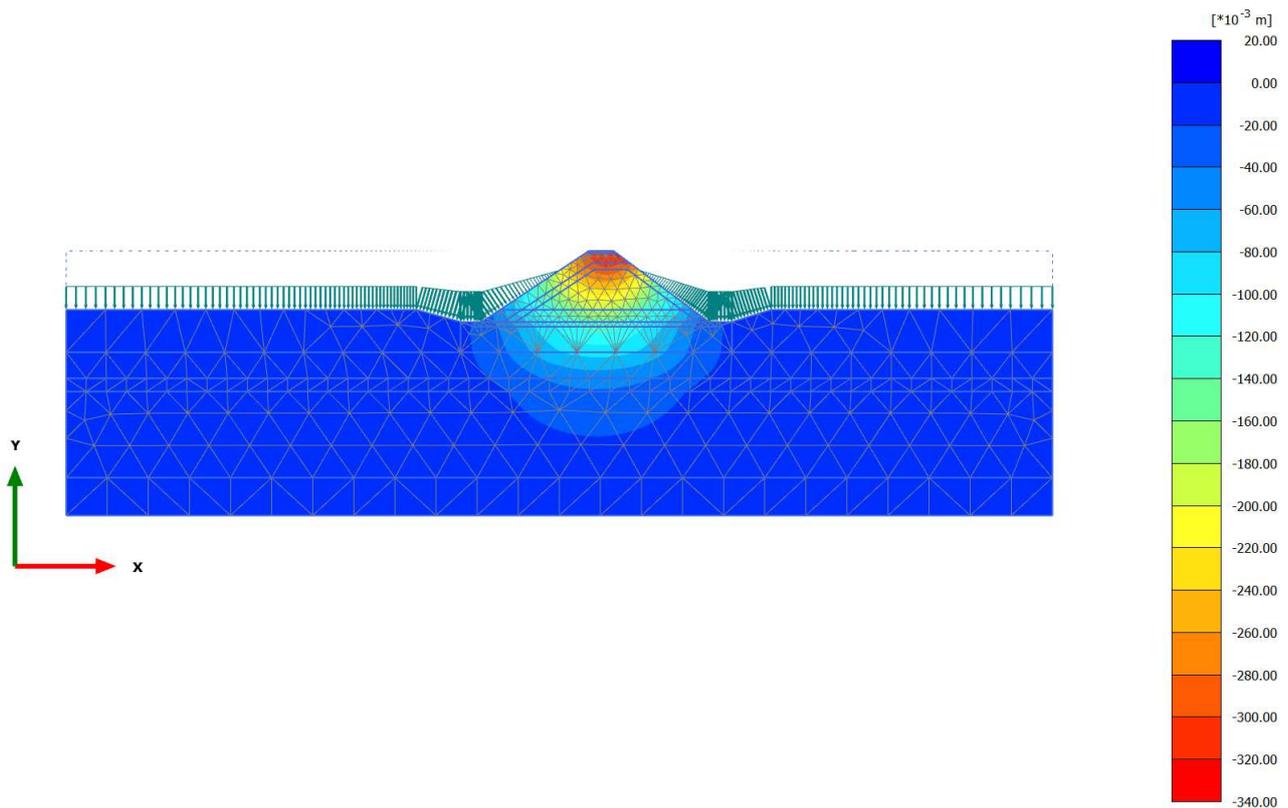


Figura 5.30 - WBS 4a – Cedimento verticale scogliera ( $u_{y,max} = 34$  cm).

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-001\_0.docx

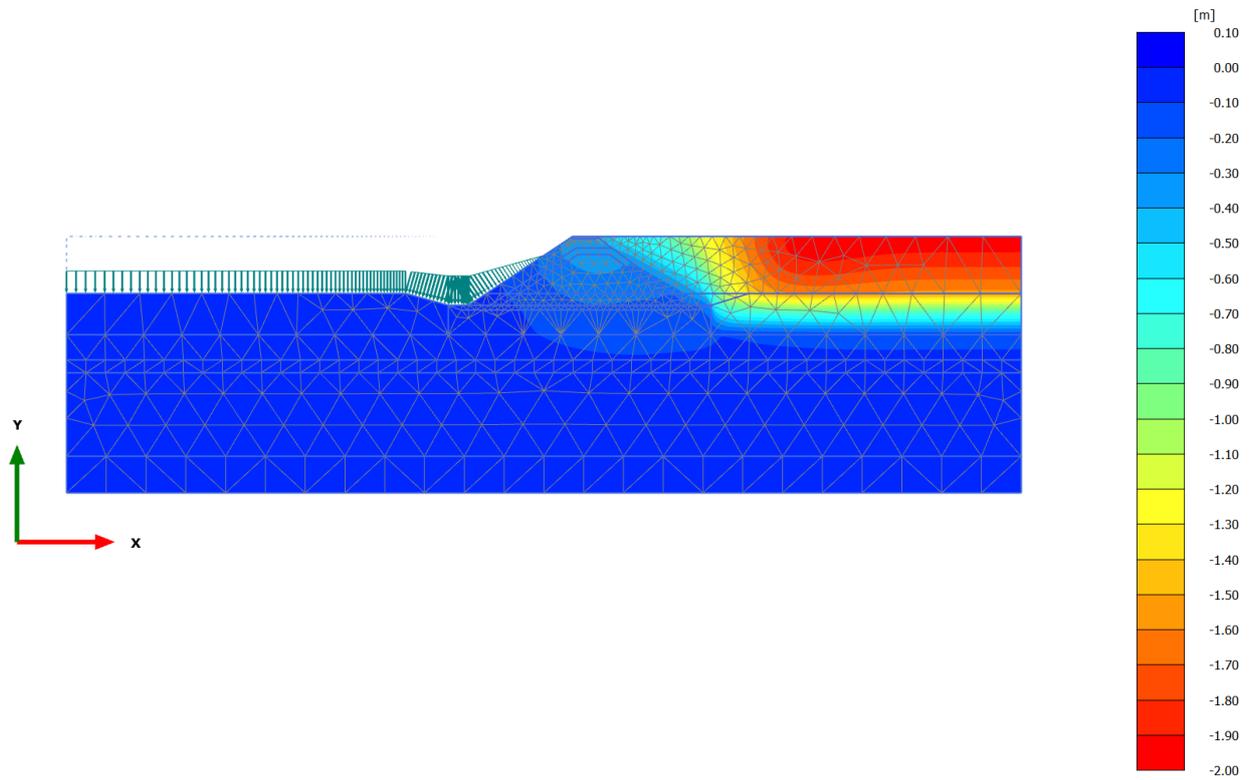


Figura 5.31 - WBS 4a – Cedimento verticale della cassa di colmata ( $u_{y,max} = 2 \text{ m}$ ).