

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale

Porti di Bari, Brindisi, Manfredonia, Barletta, Monopoli

Ufficio di Brindisi



**COMPLETAMENTO DELLA INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE
MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE
COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST**

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. F. DI LEVERANO

Progettisti incaricati:

**ACQUA
TECNO**

ACQUATECNO S.r.l.
Via Ajaccio, 14 - ROMA
(Ing. Renato Del Prete)

MODIMAR

MODIMAR S.r.l.
Via Monte Zebio, 40 - ROMA
(Ing. Marco Tartaglino)



TITOLO ELABORATO:

CALCOLI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI

ELABORATO N° :

F.01 15

CODICE ELABORATO:

09-017-DR-015-1-CSI

		ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO			
SIGLA							
REVISIONE	N.	DATA	DESCRIZIONE	RED.	VER.	APP.	
	1	Luglio 2017	NOTA CONSIGLIO SUPERIORE LL.PP.				
	2						

DATA:

Luglio 2017

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale

Porti di Bari, Brindisi, Manfredonia, Barletta, Monopoli

Ufficio di Brindisi

**LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURA
PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA
RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E
COSTA MORENA EST**

PROGETTO DEFINITIVO

Calcoli delle strutture e degli impianti

PROGETTAZIONE:



MODIMAR S.r.l.

VIA MONTE ZEBIO, 40 ROMA



ACQUA TECNO S.r.l.

VIA Ajaccio, 14 ROMA

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti					
		09	017	DR	015	1	CSI

Indice

Capitolo 1	Premesse	2
Capitolo 2	Normativa di riferimento	3
Capitolo 3	Caratterizzazione sismica	4
	3.1 Vita nominale delle opere strutturali.....	4
	3.2 Classe d'uso.....	4
	3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica	4
	3.4 Determinazione dei principali parametri sismici.....	4
Capitolo 4	Caratteristiche dei materiali	7
	4.1 Acciaio	7
	4.2 Calcestruzzo.....	8
Capitolo 5	Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione	10
	5.1 Sezione stratigrafiche di calcolo.....	10
	5.2 Parametri geotecnici caratteristici.....	11
Capitolo 6	Vasca di colmata	12
	6.1 Livelli idrici a monte e a valle della paratia	16
	6.2 Stratigrafia di calcolo e parametri geotecnici di modello	16
	6.3 Criteri di verifica delle strutture	20
	6.4 Corrosione della paratia metallica.....	23
	6.5 Azioni variabili.....	28
	6.6 Combinazioni di carico	29
	6.7 Calcolo e verifica della paratia.....	35
	6.8 Risultati di calcolo e verifiche agli stati limite.....	42
Capitolo 7	Funzionalità dell'opera.....	64
	7.1 Verifiche idrauliche delle opere di scarico	66
	7.2 Efficienza del sedimentatore	68

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Capitolo 1 Premesse

La presente relazione "Calcoli delle strutture e degli impianti" è redatta ai sensi dell'art.23 del D.Lg.vo n. 50 del 18 Aprile 2016 "Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture" e degli artt.24 e 29 del DPR n.207 del 5 ottobre 2010

La relazione riguarda:

1. il dimensionamento e la verifica dei principali elementi strutturali della vasca di colmata da realizzarsi nel porto esterno di Brindisi, tra il pontile petrolchimico e Costa Morena Est;
2. il dimensionamento e le verifiche idrauliche delle opere di scarico delle acque in esubero.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Capitolo 2 Normativa di riferimento

Il presente progetto è redatto in conformità alla vigente normativa nazionale riportata sinteticamente nel seguito:

- L. 5/11/1971 n. 1086 – Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e da struttura metallica.
- L. 2/2/1974 n. 64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. 14/01/2008 – Norme tecniche per le costruzioni - NTC2008.
- Circ. 02/02/2009 n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni".
- UNI EN 1993-5:2007 – Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e palancole.
- D.M. 31/07/2012 - Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici
- EAU 2004 – "Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbour and Waterways".

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Capitolo 3 Caratterizzazione sismica

3.1 Vita nominale delle opere strutturali

La vita nominale (V_N) delle opere strutturali, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata, è posta per le strutture marittime di progetto pari a 50 anni ("Costruzioni di tipo 2: Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale").

3.2 Classe d'uso

La classe d'uso dell'opera è in rapporto alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche; la delibera regionale n.1214 del 31/05/2011 determina **la classe d'uso III** per le banchine portuali, "*il collasso delle quali può determinare gravi conseguenze in termini di vita umana, ovvero interruzioni prolungate del traffico*" ("Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso").

3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento (V_R), in relazione al quale sono valutate le azioni sismiche sulla struttura, è ottenuto moltiplicando la vita nominale ($V_N = 50$ anni) per il coefficiente d'uso associato alla relativa classe d'uso ($C_U = 1.50$) da cui si ricava che il periodo di riferimento è pari a 75 anni.

3.4 Determinazione dei principali parametri sismici

Il Comune di Brindisi è classificato in zona sismica 4 (Delibera di Giunta Regionale n. 153 del 02/03/2004).

I parametri sismici da utilizzare nei calcoli delle strutture sono determinati in accordo con la normativa vigente a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica nazionale è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/> e riportati in allegato al DM 14/1/2008 in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento con passo di 0.05° . In corrispondenza di ogni nodo del reticolo di riferimento, per ciascuna delle probabilità di superamento (P_{VR}) nel periodo di riferimento ($V_R = 75$ anni) sono assegnati i valori dei seguenti parametri:

- T_{C^*} = parametro necessario per la costruzione dello spettro elastico di risposta;
- a_g = accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

- F_0 = fattore che quantifica amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale

In accordo con il D.M. 14/01/2008, le verifiche geotecniche e strutturali sulle paratie sono condotte nel rispetto del solo stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV (§7.1 della normativa di riferimento), al quale corrisponde una probabilità di superamento (P_{VR}) nel periodo di riferimento (V_R) pari al 10% (tabella 3.2.I delle NTC2008).

Il periodo di ritorno dell'azione sismica per il sito in esame è dato da:

$$T_R = \frac{1}{1 - (1 - P_{VR})^{1/V_R}} = 712 \text{ anni}$$

I valori dei parametri sismici da utilizzare per la definizione dell'azione sismica di progetto sono riportati nella tabella 3.1, ricavati dall'Allegato alle NTC 2008 (id.33701)

tabella 3.1 - Porto di Brindisi: valutazione dell'azione sismica
valori di riferimento per sito su superficie piana e sottosuolo rigido

STATO LIMITE	Tr (anni)	F_0 (-)	T_C^* (s)	a_g (g)
	475	2.53	0.44	0.0431
	975	2.58	0.51	0.0539
SLV	712	2.56	0.48	0.0482

Il valore massimo dell'accelerazione a_{max} da considerare nelle analisi di progetto si determina sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche proprie del sito. Tale valore deriva dall'accelerazione massima in condizione di sito di riferimento pianeggiante su suolo rigido, adeguatamente amplificata per tener conto dell'effetto delle specifiche condizioni stratigrafiche e topografiche.

L'amplificazione locale del sisma viene presa in considerazione attraverso due coefficienti:

- coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S) variabile per ogni stato limite di riferimento; Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/08,
- coefficiente di amplificazione topografico (S_T) - Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/08.

L'accelerazione massima di riferimento, tenendo conto delle amplificazioni, è definita quindi da:

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

Per quanto riguarda le condizioni stratigrafiche, la relazione geotecnica indica una categoria di sottosuolo di tipo C che corrisponde ad un coefficiente amplificativo $S_S = 1.5$.

A riguardo delle condizioni topografiche, tutte le aree interessate dalle opere di progetto sono caratterizzate da un fondale o piano campagna lievemente inclinati; per tale motivo, le analisi di stabilità in corrispondenza delle opere sono state eseguite tenendo conto di una categoria topografica T1, che secondo Tabella 3.2.IV e Tabella 3.2.VI della normativa di riferimento corrisponde ad un coefficiente amplificativo $S_T = 1.0$.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

I valori utilizzati nelle verifiche sismiche in corrispondenza delle opere sono riassunti nella tabella 3.2

tabella 3.2- porto di Brindisi: valutazione dell'azione sismica
Valori di riferimento per la verifica delle opere dopo l'amplificazione topografica e stratigrafica

STATO LIMITE	Tempo di ritorno Tr (anni)	a_g (g)	S_s	S_T	a_{max} (g)
SLV	712	0.048	1.5	1.0	0.072

Per la determinazione delle azioni sismiche agenti sulle paratie in oggetto si utilizza il metodo pseudostatico, dove l'accelerazione sismica è definita costante nello spazio e nel tempo. Le pressioni sismiche del terreno sono ricavate applicando la teoria di Mononobe-Okabe.

L'accelerazione è definita come:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

- g è l'accelerazione di gravità,
- k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale,
- α coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti l'opera ($\alpha \leq 1$);
- β è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti ($\beta \leq 1$).

Per le paratie, in accordo col D.M. 14/01/08, l'accelerazione verticale a_v (legata agli effetti inerziali sulle masse) può essere trascurata.

Il coefficiente α , funzione dell'altezza della paratia (30 m) e del tipo di terreno (categoria di sottosuolo tipo C), risulta pari a 0.53 (diagramma di Figura 7.11.2 delle NTC2008).

Per la valutazione della spinta passiva si assume $\alpha = 1.00$.

Il coefficiente β (Figura 7.11.3 delle NTC2008), funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza, deve risultare comunque inferiore allo 0.5% dell'altezza della paratia (relazione 7.11.11 delle NTC2008); a vantaggio di sicurezza si è assunto uno spostamento massimo di 5 cm che corrisponde ad un coefficiente β pari a 0.476 pertanto i coefficienti sismici per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) risultano i seguenti:

tabella 3.3 - porto di Brindisi: valori di riferimento per la verifica delle opere

STATO LIMITE	Tr (anni)	a_{max} (g)	a_h (g)
SLV	712	0.072	0.018

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti					
		09	017	DR	015	1	CSI

Capitolo 4 Caratteristiche dei materiali

4.1 Acciaio

In sede di progettazione si possono assumere i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale (par 11.3.4.1 delle NTC2008):

$E = 210000 \text{ MPa}$ modulo elastico

$\nu = 0.3$ coefficiente di Poisson

$G = 80770 \text{ MPa}$ modulo di elasticità trasversale

$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1}$ coefficiente di espansione termica lineare

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ densità del materiale

4.1.1 Acciaio per palancole

Tubazione di acciaio: S275 J0H - UNI EN10219-1

$f_{yk} = 275 \text{ MPa}$ - tensione di snervamento

$f_{tk} = 430 \text{ MPa}$ - tensione di rottura

Palancola di acciaio: S270 GP - UNI EN10248-1

$f_{yk} = 270 \text{ MPa}$ - tensione di snervamento

$f_{tk} = 410 \text{ MPa}$ - tensione di rottura

4.1.2 Acciaio per tiranti

Barra per ancoraggi permanenti in acciaio: S355J0 - EN 10025

- Diametro $d \leq 40 \text{ mm}$:

$f_{yk} = 355 \text{ MPa}$ - tensione di snervamento

$f_{tk} = 510 \text{ MPa}$ - tensione di rottura

- Diametro $40 < d \leq 80 \text{ mm}$:

$f_{yk} = 335 \text{ MPa}$ - tensione di snervamento

$f_{tk} = 470 \text{ MPa}$ - tensione di rottura

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

4.1.3 Acciaio per cemento armato

Acciaio per le opere di c.a.: B450C - NTC 2008

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa} - \text{tensione di snervamento}$$

$$f_{tk} = 540 \text{ MPa} - \text{tensione di rottura}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450/1.15 = 391 \text{ MPa} - \text{resistenza di calcolo}$$

$$\epsilon_{yd} = 0.21 \% - \text{deformazione limite di inizio snervamento}$$

Diagramma tensione-deformazione dell'acciaio: modello σ - ϵ elastico perfettamente plastico

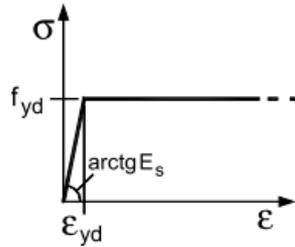


figura 4.1 - Diagramma tensione-deformazione dell'acciaio

4.2 Calcestruzzo

Le opere di c.a. sono realizzate con calcestruzzo di classe di resistenza C35/45, classe di esposizione XS3, classe di consistenza S4 e diametro massimo dell'aggregato 32 mm.

Nel seguito si riportano le principali caratteristiche meccaniche del calcestruzzo utilizzato:

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$$R_{ck} = 45 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 37.35 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 45.35 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 21.17 \text{ MPa}$$

Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo

$$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 3.35 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.56 \text{ MPa}$$

Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo

$$f_{bk} = 2.25 \times \eta \times f_{ctk} = 5.29 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 3.53 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 22000 \times [f_{cm}/10]^{0.3} = 34625 \text{ MPa}$$

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

$$V_{cls \text{ fess.}} = 0$$

$$V_{cls \text{ non fess.}} = 0.2$$

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Per il diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo è stato adottato un modello σ - ϵ parabola rettangolo illustrato nella figura seguente.

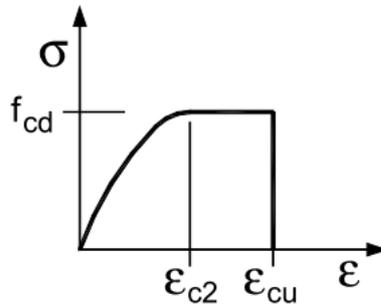


Figura 4.2 – Diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo

Per le deformazioni del modello σ - ϵ sono stati assunti i seguenti valori:

$$\epsilon_{c2} = 0.20\%$$

$$\epsilon_{cu} = 0.35\%$$

Capitolo 5 Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione

Di seguito vengono riportati in sintesi i parametri geotecnici caratteristici dei terreni assunti nei calcoli di dimensionamento e verifica delle opere in oggetto insieme alle sezioni stratigrafiche di calcolo maggiormente gravose così come definite nella specifica Relazione Geotecnica.

5.1 Sezione stratigrafiche di calcolo

Vasca - paratia combinata			
Formazione	Quota sommità m s.l.m.	Quota fondo m s.l.m.	Spessore (m)
Rilevato in Tout Venat o sabbia e limo	+1.00/+3.00	-9.00	10.00/12.00
Superficiale - Unità "A"	-9.00	-11.00	2.00
"Panchina" - Unità "B"	-11.00	-16.00	5.00
Limi Calabriani - Unità "C1"	-16.00	-25.00	9.00
Argille Calabriane - Unità "C2"	-25.00	-	-

Vasca - lato canale			
Formazione	Quota sommità m s.l.m.	Quota fondo m s.l.m.	Spessore (m)
Rilevato in Tout Venat o sabbia e limo	+1.00/+3.00	- 3.00	4.00/6.00
Superficiale - Unità "A"	-3.00	-4.00	1.00
"Panchina" - Unità "B"	-4.00	-9.00	5.00
Limi Calabriani - Unità "C1"	-9.00	-25.00	16.00
Argille Calabriane - Unità "C2"	-25.00	-	-

Vasca - lato linea di costa			
Formazione	Quota sommità m s.l.m.	Quota fondo m s.l.m.	Spessore (m)
Rilevato in Tout Venat o sabbia e limo	+1.00/+3.00	+0.00	4.00/6.00
Superficiale - Unità "A"	0.0	-7.00	7.00
"Panchina" - Unità "B"	-7.00	-9.00	2.00
Limi Calabriani - Unità "C1"	-9.00	-25.00	16.00
Argille Calabriane - Unità "C2"	-25.00	-	-

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI				Calcoli delle strutture e degli impianti				
	LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST				09	017	DR	015	1

5.2 Parametri geotecnici caratteristici

Nella tabella 5.1 vengono sinteticamente riportati i parametri geotecnici di modello utilizzati per le varie unità geotecniche, determinati alla luce della caratterizzazione geotecnica esposta nella specifica relazione.

tabella 5.1 - Parametri geotecnici caratteristici

Formazione	Tipo terreno	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E_{vc} (kPa)	E_{ur} (kPa)	u
Riempimento Tout-venant	Sabbia	19	0	28	7000	21000	0.35
Superficiale Unità "A"	Sabbia limosa	21	0	30	10000	30000	0.35
"Panchina" Unità "B"	Sabbia grossolana cementata	21	0	38	58000	92800	0.30
Limi Calabriani Unità "C1"	Limo compatto	20	20	26	58000	92800	0.30
Argille Calabriane Unità "C2"	Argilla compatta	20	20	28	R = 12000 n = 0.6	40000	0.30

Il valore dei moduli operativi E_{vc} dipendono dal livello deformativo atteso per l'opera e nel caso in esame sono ricavati a partire dall'interpretazione delle prove in situ eseguite nell'area.

In particolare nel caso delle formazioni Argilla Calabriane è stato assunto un andamento del modulo elastico di primo carico E_{vc} crescente con la profondità secondo la seguente espressione generale:

$$E_{vc} = R \cdot (p' / p_a)^n \quad \text{modulo in compressione vergine (primo carico).}$$

dove:

$p_a = 100$ kPa - pressione di riferimento (pressione atmosferica 100 kPa);

$p' = (\sigma'_v + \sigma'_h)/2$ - pressione media alla generica profondità;

R - modulo elastico corrispondente a $p' = 100$ kPa;

n - coefficiente di forma della legge compreso tra 0 e 1 (n = 0, legge costante con la profondità, n = 1 legge variabile linearmente).

Il valore del modulo di scarico-ricarico (E_{ur}) è compreso tra 1.5 ÷ 3 volte quello di primo carico.

Per la stratigrafia di calcolo adottata e la modellazione dell'interazione terreno-struttura assunta, si rimanda ai paragrafi specifici delle verifiche svolte.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Capitolo 6 Vasca di colmata

La nuova vasca di colmata (figura 6.2) è destinata al contenimento dei sedimi portuali, provenienti dalle attività di dragaggio previste in progetto.

La vasca è conterminata da elementi strutturali, che garantiscono la tenuta idraulica con permeabilità equivalente ad un materiale di spessore pari a 1.00 m e con un coefficiente di permeabilità (k) di 10^{-9} m/s; a tal fine le opere sono spinte fino alla profondità di -27.0 m s.l.m., per almeno 2.00 m nelle argille compatte Calabriane.

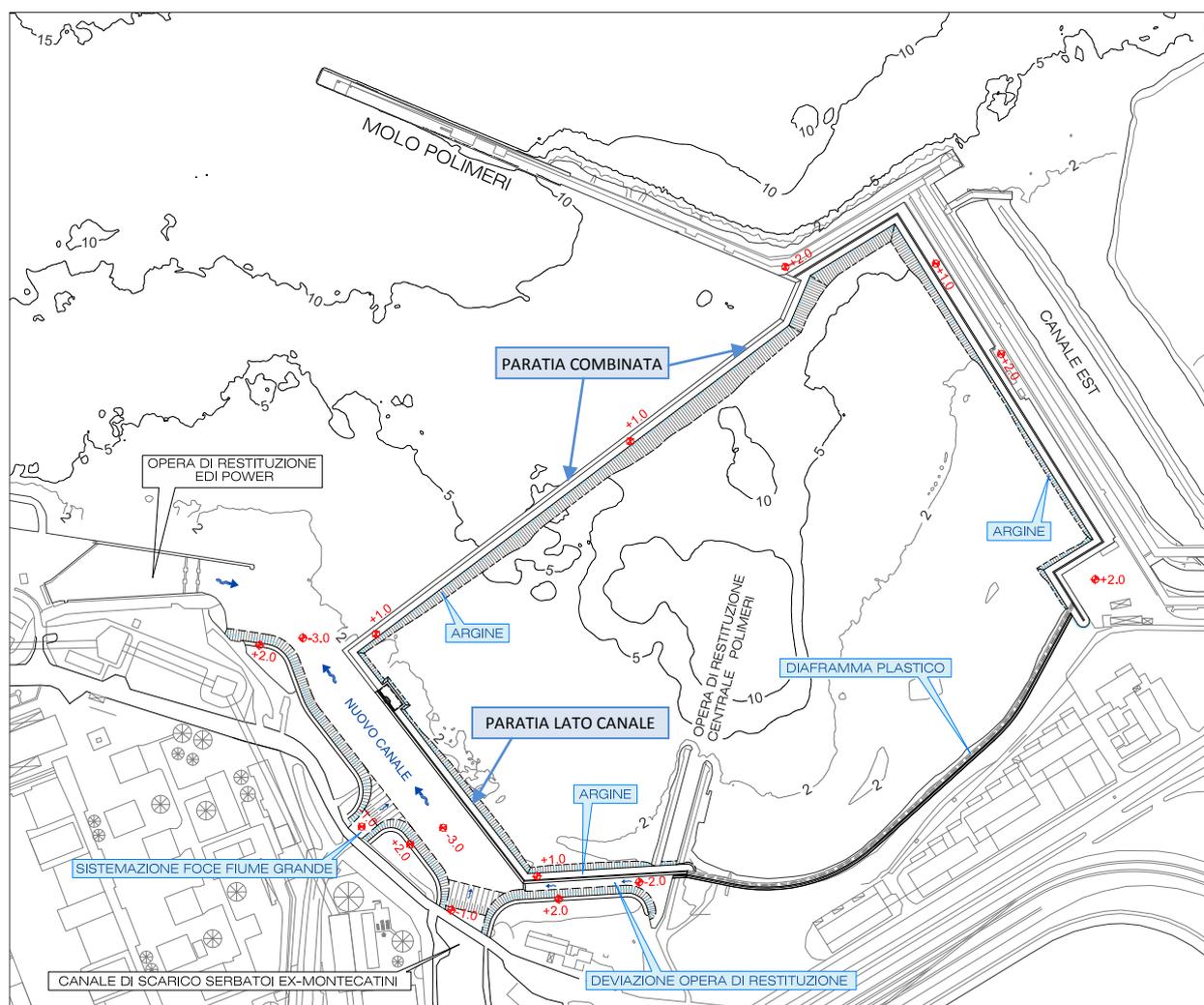


figura 6.1 - Nuova vasca di colmata con indicazione delle paratie

La conterminazione della vasca è costituita da

- paratia di palancole metalliche con un giunto ambientale di tipo AKila
 - a Nord : combinata con palo $\phi 1420$ (s=22mm) e palanca AZ18-700
 - ad Est ed Ovest: AZ28-700
- paratia semiplastica di calcestruzzo lungo l'attuale linea di costa (spessore 1.0 m)

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

La scelta realizzativa di tale di paratia è dettata da motivazioni di tipo funzionale, ambientale, esecutive, legata al futuro sviluppo di tale area portuale; in particolare dal punto di vista funzionale ed ambientale si ha la necessità di garantire una tenuta idraulica nei limiti previsti dalla normativa nazionale sulle casse di colmata in aree SIN. Da quello esecutivo invece è necessario definire le fasi realizzative dell'opera, considerando sia le attuali esigenze portuali legate alla destinazione dell'area prevista nel vigente Piano Regolatore Portuale, che al futuro sviluppo dell'area.

Si distinguono pertanto le seguenti fasi realizzative:

1) Realizzazione della vasca di colmata

- Infissione del palancoato metallico con giunto impermeabile Akila e realizzazione della paratia semiplastica di calcestruzzo fino a quota -27.0 m s.l.m.
- Riempimento dei pali di acciaio con calcestruzzo per evitare il fenomeno dell'imbozzamento.
- Rinfiacco con Tout-venant di cava atto a formare un rilevato avente quota e larghezza sommitali rispettivamente di +1.00 m s.l.m. e di 5.0 m; tale larghezza garantisce il passaggio di mezzi operatrici (20 kN/m²) e di servizio.
- Realizzazione della trave di coronamento di calcestruzzo armato fino almeno a quota +3.00 m sl.m. con la predisposizione dei tiranti di acciaio dove necessario
- colmata con materiale proveniente dal dragaggio delle aree all'interno del porto di Brindisi.

2) Banchina per ormeggio per navi porta contenitori

- realizzazione delle paratie di ancoraggio e delle relative trave di coronamento mediante Infissione o trivellazione dei pali di c.a. affiancati fino quota -15.00 m s.l.m. lungo il lato Nord e infissione di palancole metalliche AZ18-700 fino a quota -8.00 m s.l.m. lungo il lato Ovest
- posa in opera di tiranti di acciaio che collegano le paratie lato mare con quelle di ancoraggio;
- dragaggio del fondale antistante la banchina (lato Nord) a quota -13.00 m s.l.m.
- completamento delle travi di bordo e di ancoraggio con scanature necessarie all'installazione della gru su rotaie
- pavimentazione (sovraccarico accidentale: 40 kN/m²) e arredi (bitte da 100 t ogni 20 m)

Le palancole sono scelte tra i prodotti tipo ARCELOR-MITTAL catalogo 2015. Tale scelta è indicativa e sostituibile con analoghe soluzioni purché siano garantite le caratteristiche prestazionali minime richieste sia in termini di resistenza strutturale che di durabilità, sia a breve che a lungo termine.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori caratteristici minimi richiesti delle sezioni adottate per il modello di calcolo utilizzato; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per le sezioni soggette a corrosione.

tabella 6.1 - paratia di palancole lato canale - molo polimeri e di ancoraggio

Posizione	Esterno	ancoraggio
Palanca	AZ28-700	AZ18-700
Lunghezza	28.00 m	9.00 m
Q.ta testa	+1.00 m s.l.m.	+1.00 m s.l.m.
Q.ta infissione	-27.00 m s.l.m.	-8.00 m s.l.m.
Area sezione	280.3 cm ²	194.9 cm ²
J _{x,el} (momento d'inerzia della sezione)	89070 cm ⁴	52920 cm ⁴
J _{x,tot} (momento d'inerzia per m di muro)	63620 cm ⁴ /m	37800 cm ⁴ /m
h _e (profondità equivalente)	19.7 cm	16.6 cm
W _x (modulo elastico)	3865 cm ³	2520 cm ³
b (larghezza)	140 cm	140 cm
Tipo di acciaio	S270GP	
classe	2	2
Momento resistente	994 kNm	648 kNm

tabella 6.2 - tiranti di ancoraggio

posizione	U.M.	Lato Nord	Lato Ovest
Tipologia tiranti		permanenti	
Diametro nominale minimo (al netto della filettatura)	mm	80	40
Q.ta tiranti	m s.l.m.	+1.00	+1.00
Interasse	m	1.50	1.40
A _{min}	cm ²	50.26	12.57
A _{min}	cm ² /m	33.50	4.49
Lunghezza nominale (distanza assi palancole)	m	30.00	12.00
Tipo di acciaio		S355J0	
Nota: valori minimi per sezioni integre non corrose le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere paragrafo dedicato)			

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

tabella 6.3 - PALANCOLATO ESTERNO - lato Nord

Tipologia palancolato	Palo $\Phi 1420$ - AZ18-700
Palo $\Phi 1420$ - s = 22 mm	
Lunghezza	28.50 m
Q.ta testa	+1.50 m s.l.m.
Q.ta infissione	-27.00 m s.l.m.
Area sezione	966 cm ²
J _{x,pa} (momento d'inerzia della sezione)	2361085 cm ⁴
W _x (modulo elastico)	33255 cm ³
D/s	65
Tipo di acciaio	S275J0H
classe	3
Momento resistente	8710 kNm
Palancola secondaria AZ18-700	
Lunghezza	28.50 m
Q.ta testa	+1.50 m s.l.m.
Q.ta infissione	-27.00 m s.l.m.
Area sezione	194.9 cm ²
J _{x,pl} (momento d'inerzia della sezione)	52920 cm ⁴
W _x (modulo elastico)	2520 cm ³
b (larghezza)	140 cm
Tipo di acciaio	S270GP
classe	2
Momento resistente	648 kNm
Palo-palancola combinata	
B (larghezza complessiva)	=142+140+3+3 = 288 cm
Area della sezione per m di muro	= (879.2+194.9+11.8+11.8)/2.88 = 381.1 cm ² /m
massa	300 kg/m ²
J _{x,tot} (momento d'inerzia per m di muro)	838196 cm ⁴ /m
h _e (profondità equivalente)	46.5 cm
classe	3
Momento resistente	8743 kNm
Momento resistente per m di muro	3035 kNm/m
Nota: valori minimi per sezioni integre non corrose le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere paragrafo dedicato)	

tabella 6.4 - Paratia di ancoraggio per palo-palancola

Tipologia paratia	pali affiancati DN1200
Lunghezza	20.00 m
Q.ta testa	+3.00 m s.l.m.
Q.ta infissione	-17.00 m s.l.m.
Area della sezione per m di muro	9425 cm ² /m
massa	2356 kg/m ²
J _{min}	8482300 cm ⁴ /m
h _e (profondità equivalente)	100.6 cm
Classe di calcestruzzo	C35/45 - XS3
Tipo di acciaio	B450C
Armatura	24 ϕ 26
Momento resistente	1969 kNm/m
Nota: valori minimi per sezioni integre non corrose le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere paragrafo dedicato)	

6.1 Livelli idrici a monte e a valle della paratia

Nelle verifiche sono stati assunti i seguenti livelli idrici cautelativi in conformità con quelli determinati nello studio meteomarinario:

- lato mare : -0.40 m s.l.m. (Media delle basse maree sizigiali - vedi tabella 6.5)
- lato vasca: +1.00 m s.l.m. (quota di sfioro della vasca di sedimentazione)

tabella 6.5 - Livelli di marea per il paraggio in esame (studio meteomarinario)

INNALZAMENTO		ABBASSAMENTO	
Massimo livello atteso attuale	m (MSL)	Minimo livello atteso attuale	m (MSL)
Alta marea MHHW	0.12	Bassa marea MLLW	-0.12
Sovralzo (set-up) barico	0.33	Set-down meteorologico (effetto barico)	-0.27
Sovralzo di vento	0.07		
	0.52		-0.39

6.2 Stratigrafia di calcolo e parametri geotecnici di modello

Di seguito viene riportata la stratigrafia di riferimento con i parametri geotecnici dei terreni assunti nei calcoli di dimensionamento e verifica delle paratie di contenimento nelle 2 fasi realizzative:

- *FASE 1: realizzazione della vasca di colmata*

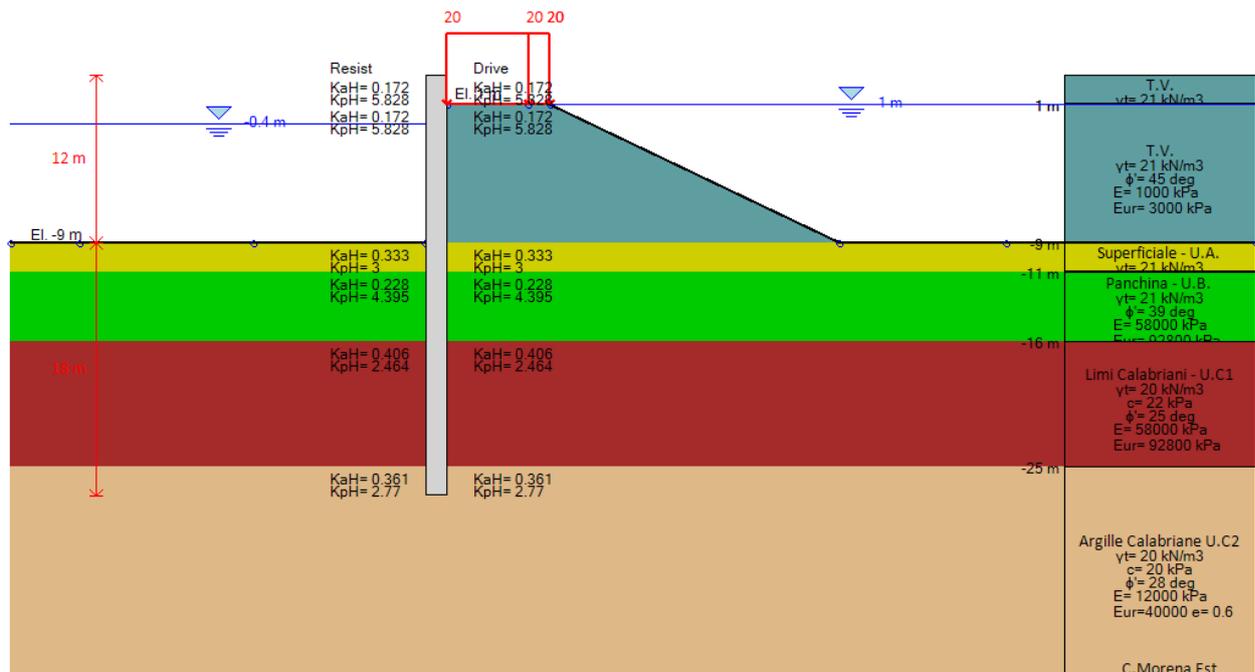


figura 6.2 - vasca di colmata con paratia combinata palo - palanca

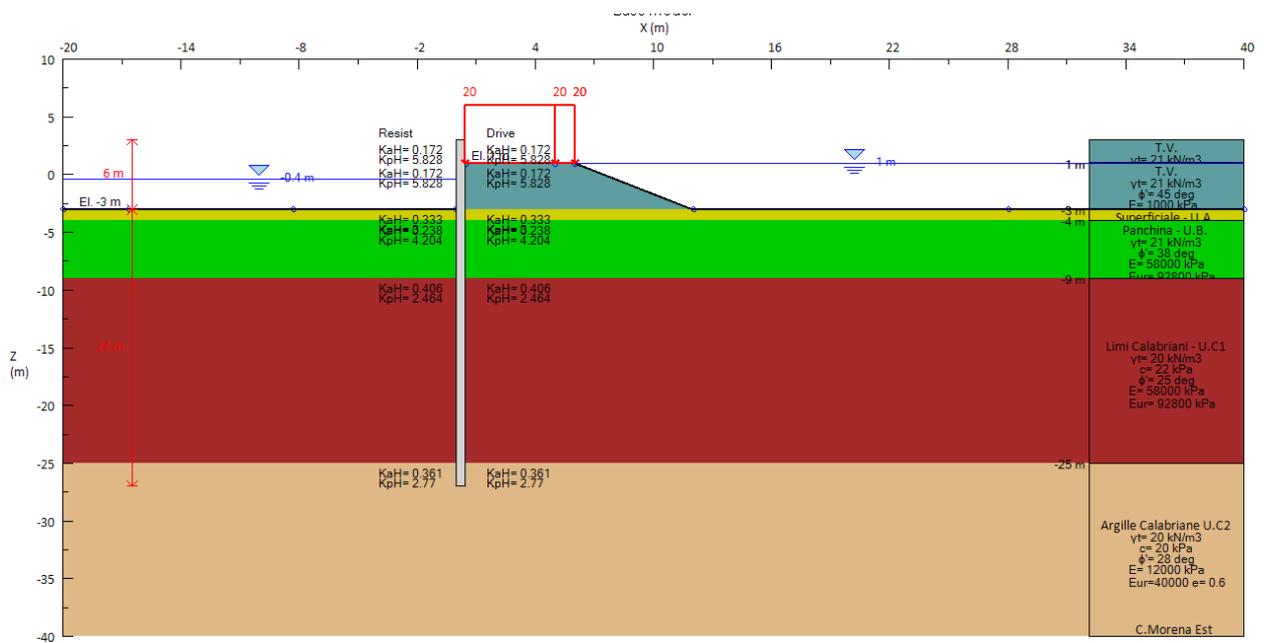


figura 6.3 - vasca di colmata con paratia di palancole - lato canale

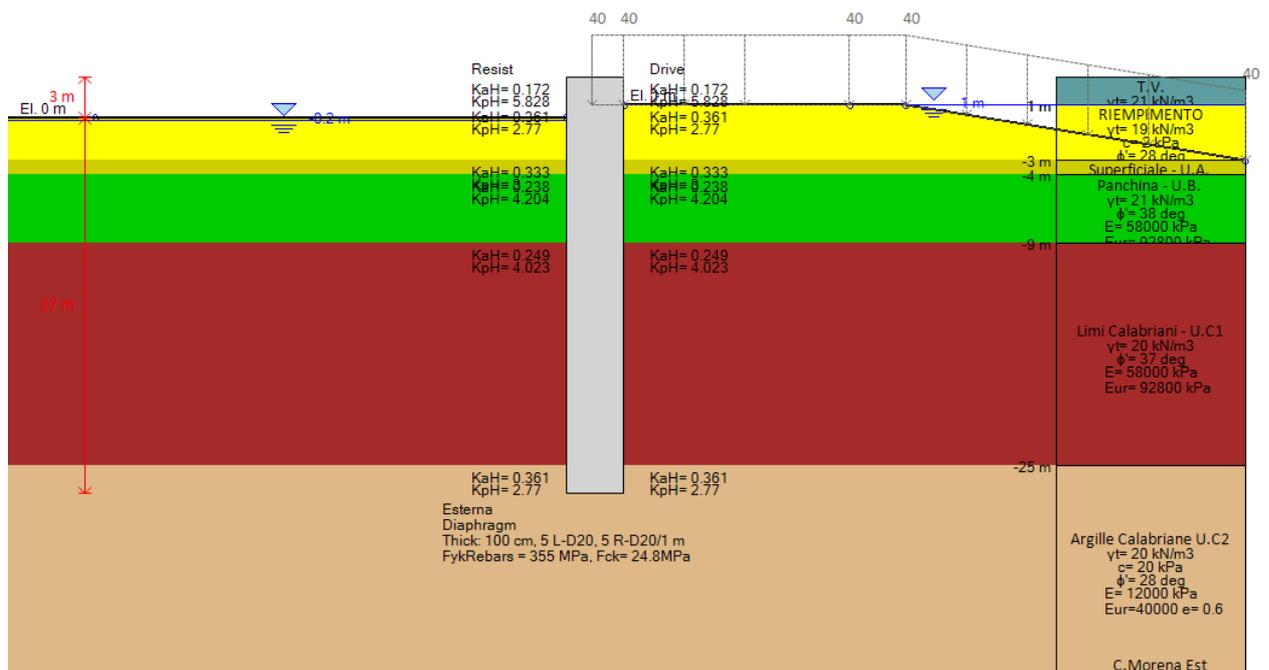


figura 6.4 - paratia semiplastica di calcestruzzo - lato linea di costa

● **FASE 2: Realizzazione banchina di ormeggio e piazzale porta-contenitori**

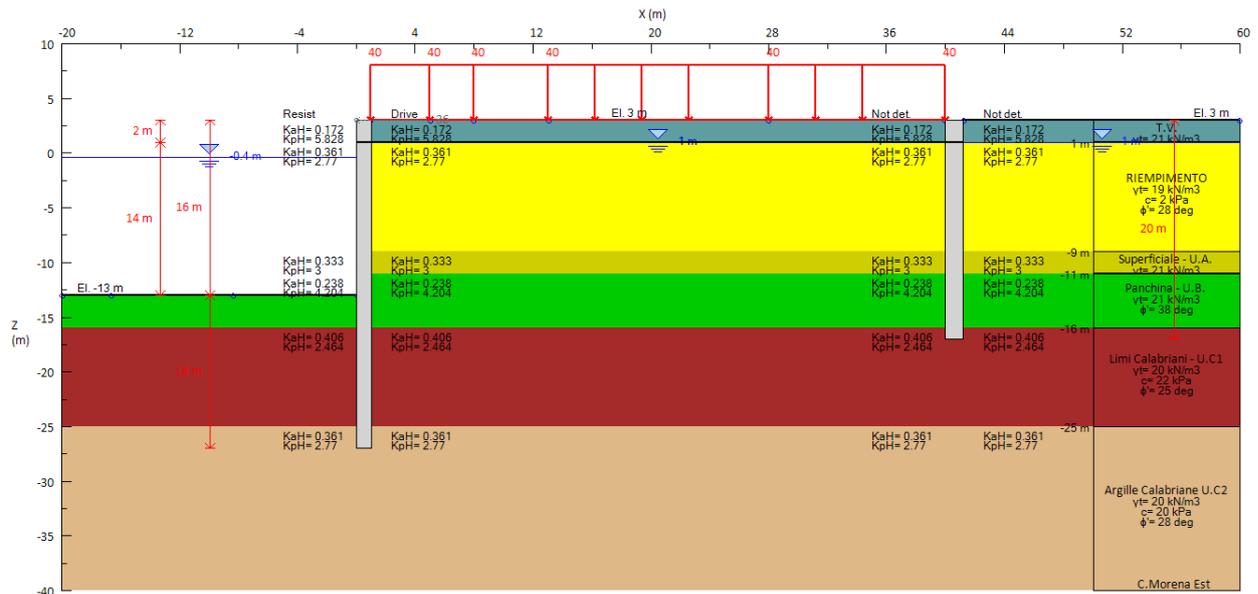


figura 6.5 - Piazzale con palo - palancola

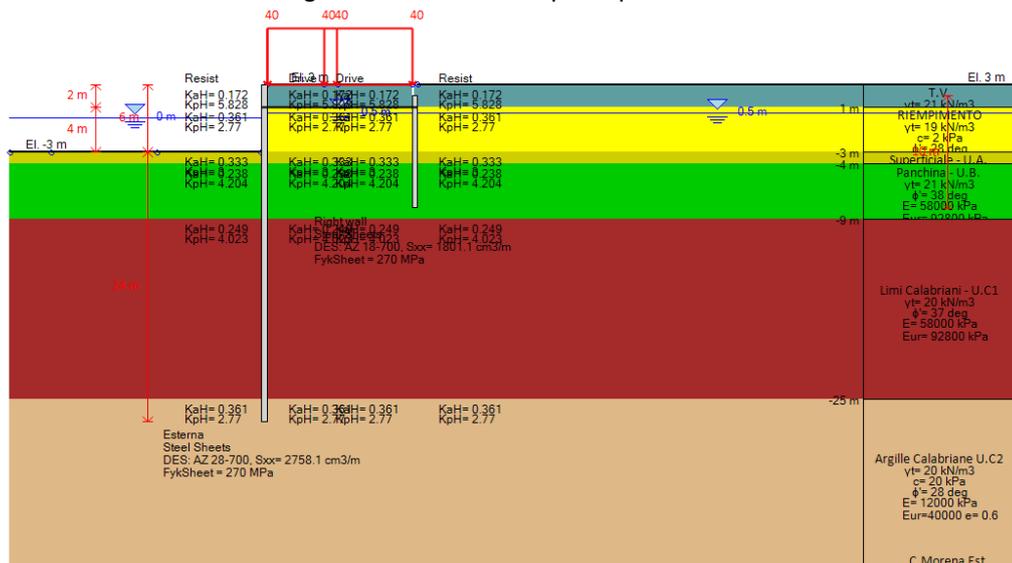


figura 6.6 - Piazzale con palancola - lato canale

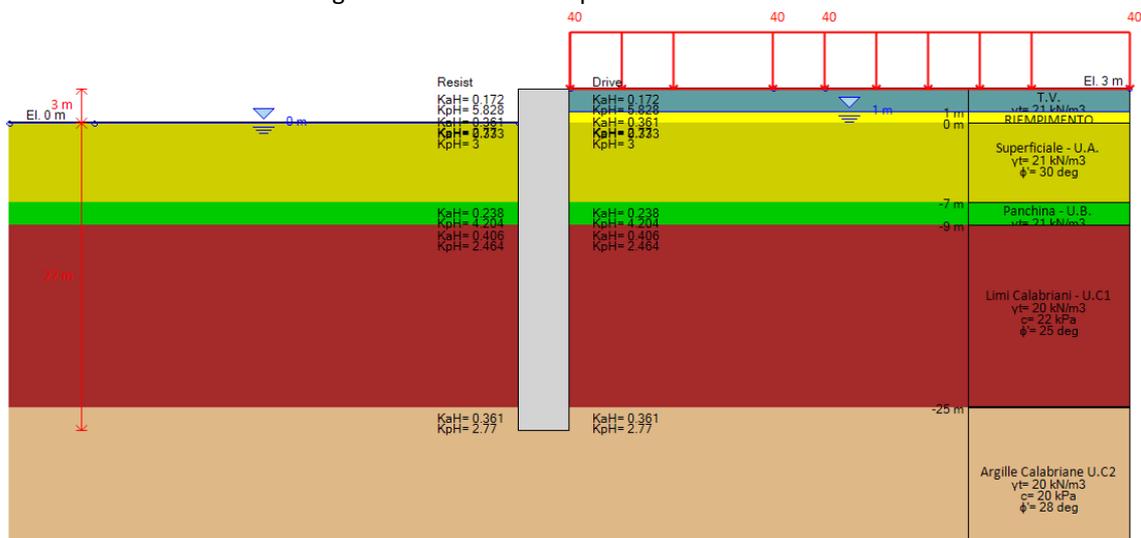


figura 6.7 - paratia semiplastica di calcestruzzo - lato linea di costa

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Riporto TV (tout venant da q.ta +1.00 m slm a q.ta fondale.):

$$\begin{array}{lll} \gamma = 21 \text{ kN/m}^3 & \phi' = 45^\circ & c' = 0 \text{ kPa} \\ \nu = 0.30 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & K_0 = 0.292 \\ E_{vc}' = 7 \text{ Mpa} & E_{ur}' = 21 \text{ Mpa} & \end{array}$$

Riempimento (materiale dragato da q.ta +1.00 m slm a q.ta fondale):

$$\begin{array}{lll} \gamma = 19 \text{ kN/m}^3 & \phi' = 28^\circ & c' = 0.0 \text{ kPa} \\ \nu = 0.30 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & K_0 = 0.530 \\ E_{vc}' = 7 \text{ Mpa} & E_{ur}' = 21 \text{ Mpa} & \end{array}$$

Strato Superficiale U. A (sabbia limosa spessore 2.0 m - 7.0 m):

$$\begin{array}{lll} \gamma = 21 \text{ kN/m}^3 & \phi' = 30^\circ & c' = 0 \text{ kPa} \\ \nu = 0.35 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & \\ E_{vc}' = 10 \text{ Mpa} & E_{ur}' = 30 \text{ Mpa} & \end{array}$$

Panchina (sabbie grossolana leggermente cementata - spessore 2.0 - 5.0 m s.l.m.) - Unità B:

$$\begin{array}{lll} \gamma = 21 \text{ kN/m}^3 & \phi' = 39^\circ & c' = 0 \text{ kPa} \\ \nu = 0.3 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & \\ E_{vc} = 58 \text{ MPa} & E_{ur}' = 93 \text{ Mpa} & \end{array}$$

Limi Calabriani (argilla limosa compatta fino a q.ta -25.00 m s.l.m.) - Unità C1:

$$\begin{array}{lll} \gamma = 20 \text{ kN/m}^3 & \phi' = 25^\circ & c' = 22 \text{ kPa} \\ \nu = 0.3 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & \\ E_{vc} = 58 \text{ MPa} & E_{ur}' = 93 \text{ Mpa} & \end{array}$$

Argille Calabriani (argilla compatta da q.ta -25.00 m s.l.m.) - Unità C2:

$$\begin{array}{lll} \gamma = 20 \text{ kN/m}^3 & \phi' = 28^\circ & c' = 20 \text{ kPa} \\ \nu = 0.3 & K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)} & K_0 = 0.398 \\ E_{vc} = 12 \cdot (p' / p_a)^{0.5} & E_{ur}' = 40 \text{ Mpa} & \end{array}$$

Note: ai fini della determinazione della spinta attiva e passiva del terreno sul palancoato, nei calcoli si è ipotizzato a scopo cautelativo che l'angolo di attrito terreno-parete sia nullo.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Prima di eseguire la seconda fase dell'intervento è necessario attendere che il materiale dragato abbia raggiunto le caratteristiche meccaniche minime previste in progetto.

6.3 Criteri di verifica delle strutture

Le verifiche di sicurezza vengono effettuate agli Stati Limite Ultimi (SLU) ed agli Stati Limite di Esercizio (SLE) in ottemperanza alla normativa nazionale "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008, secondo i criteri sotto riportati.

Per le strutture di sostegno come le paratie, e relativamente al caso in esame si devono considerare i seguenti stati limite ultimi:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
 - collasso per carico limite verticale;
 - sfilamento di uno o più ancoraggi
 - Instabilità globale del sistema terreno-opera
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia
 - Raggiungimento della resistenza di uno o più ancoraggi
- SLE
 - Verifica degli spostamenti della paratia (acciaio)
 - verifica delle tensioni e della fessurazione per il calcestruzzo armato

Verifiche nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU) ed in condizioni sismiche (SLV)

Deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto delle azioni o dell'effetto delle azioni e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Per ogni caso di carico critico, i valori di progetto degli effetti delle azioni (E_d) devono essere determinati combinando i valori di progetto delle azioni permanenti G_i , delle azioni variabili Q_j e se presenti dell'azioni sismica E_s , che si verificano simultaneamente:

$$E_d = \sum_i \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_{Qk} (Q_{1k} + \sum_j \psi_{0j} Q_{jk}) - \text{combinazione fondamentale}$$

$$E_d = \sum_i G_{ik} + E_{AE} + \sum_j \psi_{2j} Q_{jk} - \text{combinazione sismica}$$

assumendo per i coefficienti parziali γ_G e γ_Q e per i coefficienti di combinazione ψ_{0j} e ψ_{2j} i valori definiti nella tabella 6.1 (in particolare per il sovraccarico di banchina si assumono i valori dei

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

coefficienti Ψ relativi alla categoria F: peso del veicolo ≤ 30 kN mentre per il tiro alla bitta quelli relativi all'azione del vento).

tabella 6.6 - valori dei coefficienti di combinazione (Tab. 2.5.I delle NTC2008)

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0i}	Ψ_{1j}	Ψ_{2i}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

La verifica per le opere di sostegno flessibili (paratie realizzate con palancolati metallici) deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 ed M2) e per le resistenze (R1). Pertanto i calcoli e le verifiche sono condotte secondo le seguenti due combinazioni

- STR: A1+M1+R1
- GEO: A2+M2+R1

dove R, relativo alla resistenza dei materiali è da assumere caso per caso in funzione del tipo di verifica. Nel caso specifico $\gamma_R = 1$.

Per la combinazione fondamentale (non sismica) i coefficienti parziali relativi alle due combinazioni di carico (STR e GEO) definiti per le azioni (A1 e A2) e per i parametri geotecnici (M1 ed M2) sono ricavabili dalla tabella 6.7

Per la combinazione sismica i coefficienti relativi alle azioni sono assunti pari a $\gamma_F = 1$, per entrambe le combinazioni di carico.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

tabella 6.7 - valori dei coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni e coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tab. 6.2.I e Tab. 6.2.II delle NTC2008)

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE γ_F	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1) STR	(M2) GEO
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
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

L'incremento della spinta del terreno dovuta al sisma è valutata utilizzando la seguente formulazione:

$$E_{AE} = 0.5 \cdot \gamma^* \cdot K_{AE} \cdot H^2$$

ove, per valutare il coefficiente di spinta attivo K_{AE} in condizioni sismiche si è utilizzato la nota espressione di MONONOBE-OKABE:

CONDIZIONI DI SPINTA ATTIVA

$\beta \leq \phi - \theta$:
$$K_{AE} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (3-6)$$

$\beta > \phi - \theta$:
$$K_{AE} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$

CONDIZIONI DI SPINTA PASSIVA

$$K_{p,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\phi + \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi + \beta) \cdot \text{sen}(\psi + \theta)}} \right]^2} \quad (\text{EC8 con } (3-7))$$

$\delta=0^\circ$ ¹⁷

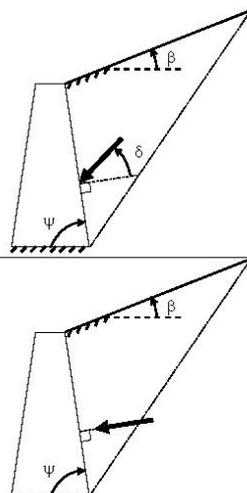


figura 6.8 - espressione di Mononobe-Okabe

In presenza di acqua libera sui palancolati è necessario tenere in conto della sovrappressione dell'acqua dovuta all'effetto idrodinamico (Westergaard), avente risultante pari a

$$p_w = \frac{7}{8} \cdot k_w \cdot \gamma_w \cdot (z_w \cdot H_w)^{1/2}$$

essendo $k_h = a_h$ il coefficiente di spinta sismica orizzontale e H_w l'altezza del pelo libero dalla quota di valle del terreno.

Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE)

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Le combinazioni da considerare per le verifiche agli stati limite di esercizio sono definite dalle seguenti espressioni:

Combinazione caratteristica (o rara):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Combinazione frequente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Combinazione quasi permanente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Nelle condizioni di servizio si controllano le ampiezze degli spostamenti delle paratie in relazione alle prestazioni attese per l'opera stessa.

6.4 Corrosione della paratia metallica

La corrosione della paratia metallica (cap.4 della EN 1993-5:2007 e degli Annessi Nazionali) determina una riduzione dello spessore delle palancole. L'entità di tale riduzione dipende, oltre che dal tempo di vita dell'opera, dalla natura del terreno in cui la paratia è infissa e dalla zona di aggressione dell'acqua marina sul fronte lato mare della paratia.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

tabella 6.8- valori raccomandati di corrosione (Tab.4.1 e Tab. 4.2 del EC3-5)

Table 4-1: Recommended value for the loss of thickness [mm] due to corrosion for piles and sheet piles in soils, with or without groundwater

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist, ...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Polluted natural soils and industrial sites	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressive natural soils (swamp, marsh, peat, ...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Non-compacted and non-aggressive fills (clay, schist, sand, silt, ...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Non-compacted and aggressive fills (ashes, slag, ...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
Notes:					
1) Corrosion rates in compacted fills are lower than those in non-compacted ones. In compacted fills the figures in the table should be divided by two.					
2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.					

Table 4-2: Recommended value for the loss of thickness [mm] due to corrosion for piles and sheet piles in fresh water or in sea water

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Common fresh water (river, ship canal, ...) in the zone of high attack (water line)	0,15	0,55	0,90	1,15	1,40
Very polluted fresh water (sewage, industrial effluent, ...) in the zone of high attack (water line)	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30
Sea water in temperate climate in the zone of high attack (low water and splash zones)	0,55	1,90	3,75	5,60	7,50
Sea water in temperate climate in the zone of permanent immersion or in the intertidal zone	0,25	0,90	1,75	2,60	3,50
Notes:					
1) The highest corrosion rate is usually found in the splash zone or at the low water level in tidal waters. However, in most cases, the highest bending stresses occur in the permanent immersion zone, see Figure 4-1.					
2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.					

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Considerando che la vita nominale della struttura è pari a 50 anni ed adottando le prescrizioni della UNI EN 1993-5:2007, si ottengono i valori descritti nella tabella 6.9

tabella 6.9 - valori di calcolo di corrosione

A C E G MHW MLW	Zone of high attack (splash zone); Zone of high attack (Low water zone); Buried zone (Water side); Buried zone (Soil side) Mean high water; Mean low water	B D F	Intertidal zone; Permanent immersion zone; Anchor;	VITA UTILE 50 ANNI	
				CORROSIONE	
				Lato mare	Lato terra
				3,75 mm	1,2 mm
				1,75 mm	1,2 mm
				3,75 mm	1,2 mm
				1,75 mm	1,2 mm
				0,6 mm	0,6 mm

Per le verifiche della strutture vengono individuate quattro zone soggette alla corrosione:

- Zona di massima corrosione lato mare - splash zone (A) e Low water zone(C)

Nella parte di palancoato al di sopra dell'escursione di marea ed in quella in corrispondenza della zona di bassa marea (M.L.W.L.) la corrosione risulta particolarmente elevata ed è pari a 3.75 mm in 50 anni (0.075 mm/anno); sul lato terra è presente il terreno di riporto che è caratterizzato da una corrosione di 1.20 mm in 50 anni.

- Zona di immersione permanente (D) e zona di escursione di marea (B)

La corrosione sul lato mare in corrispondenza della zona di immersione permanente e di quella di escursione mareale è pari a 1.75 mm (50 anni); Nel lato terra è stato considerato a scopo cautelativo la presenza di un terreno non compattato e non aggressivo caratterizzato da una corrosione di 1.20 mm.

- Zona di infissione del palancoato (E e G)

Questa zona è caratterizzata da una corrosione in 50 anni (lato mare e lato interno) di 0.6 mm.

Il modulo di resistenza relativo a 50 anni di vita sia del palancoato metallico che dei tiranti è calcolato sul profilo residuo (tabella 6.10 e tabella 6.11) . Le verifiche di resistenza degli elementi strutturali sono condotte confrontando le massime sollecitazioni con la resistenza offerta dalle sezioni di palancoato relative alla zone di corrosione in cui esse ricadono.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

tabella 6.10 - Principali parametri geometrici della paratia a a palancole
sezione integra e sezione corrosa (50 anni)

Palancole combinato: tubo DN1420 s=22 mm - AZ18-700				
	sezione integra	sezione corrosa		
		splash zone	Zona di immersione permanente	Zona di infissione
J_{min} [cm ⁴ /m]	838196	733155	775170	812516
W_{min} [cm ³ /m]	11806	10362	10941	11454
A_{min} [cm ² /m]	403	297	313	326
A_v [cm ² /m]	213	189	199	208
Palancole - AZ28-700				
	sezione integra	sezione corrosa		
		splash zone	Zona di immersione permanente	Zona di infissione
J_{min} [cm ⁴ /m]	63620	40462	49471	57783
W_{min} [cm ³ /m]	2760	1749	2155	2512
A_{min} [cm ² /m]	200	126	156	182
A_v [cm ² /m]	82	52	64	75
Palancole - AZ18-700 - ancoraggio				
	sezione integra	sezione corrosa		
		splash zone	Zona di immersione permanente	Zona di infissione
J_{min} [cm ⁴ /m]	37800	18496	26249	33100
W_{min} [cm ³ /m]	1800	885	1256	1584
A_{min} [cm ² /m]	139	67	96	122
A_v [cm ² /m]	52	24	35	45

tabella 6.11 - valori minimi richiesti dei tiranti di ancoraggio
sezione integra e per corrosione

Tirante di ancoraggio Φ_{min} 80 mm/1.5			
sezione integra		sezione corrosa a 50 anni posa nel terreno	
A_{min} [cm ²]	50.24	A_{min} [cm ²]	47.27
A_{min} [cm ² /m]	33.50	A_{min} [cm ² /m]	31.51
Tirante di ancoraggio Φ_{min} 40 mm/2.8			
sezione integra		sezione corrosa a 50 anni posa nel terreno	
A_{min} [cm ²]	12.56	A_{min} [cm ²]	11.10
A_{min} [cm ² /m]	4.48	A_{min} [cm ² /m]	3.96

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti					
		09	017	DR	015	1	CSI

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

6.5 Azioni variabili

Le azioni variabili (Q_k) sono le azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:

- di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
- di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura.

Nel caso in esame sono state considerate le seguenti azioni variabili:

1. fase n.1: vasca di colmata
 - Q_{1_v1} – **Sovraccarico sul terrapieno** 20 kN/m² (verticale)
2. fase n.2: banchina per ormeggio navi portacontainer
 - Q_{2_v1} – **Sovraccarico banchina** 40 kN/m² (verticale)
 - Q_{2_v2} – **carico della gru a cavalletto** 600 kN/m per rotaia (verticale);
 - Q_{2_h1} – **Tiro alla bitta** 50 kN/m (orizzontale).
 - Q_{2_h2} – **vento sulla gru a cavalletto** 60 kN/m per rotaia (orizzontale).
 - Q_{2_h3} – **carico della gru in condizioni sismiche** $0.018 \times 600 = 11$ kN/m (orizzontale su rotaia).

Per la paratia adiacente al canale e per quella semiplastica si considera per la fase 2 solo il carico Q_{2_v1} .

Il sovraccarico agente sul terrapieno e/o sulla banchina (tipo Q_{v1}) è considerato come carico uniformemente ripartito mentre Q_{v2} agisce direttamente sulla sovrastruttura delle due paratie, non determinando sollecitazione flessionali o taglianti su di esse; il valore del tiro alla bitta Q_{h1} è dato da bitte da 100 t (1000 kN) disposte ogni 20 m lungo il filo banchina.

Il carico Q_{2_h3} è agente sulla testa del coronamento in corrispondenza delle rotaie.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

6.6 Combinazioni di carico

Di seguito sono riportati le combinazioni di carico e i relativi coefficienti di combinazione (tabella 6.7) utilizzate nelle 2 fasi:

Fase 1: il sovraccarico (Q_{1_v1}) agente sul terrapieno retrostante è attribuibile alla cat.F delle NTC

Fase 2: Il sovraccarico verticale agente sulla banchina (Q_{2_v1}) è attribuibile alla categoria G (rimesse e parcheggi per autoveicoli di peso > 30 kN) per la quale i valori dei coefficienti di combinazione sono riportati nella tabella seguente.

Per quanto riguarda il sovraccarico variabile del tiro alla bitta e del vento sulla gru a cavalletto, ai fini delle combinazioni di carico è assegnato alla categoria "vento".

tabella 6.12 - valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria F – rimesse e parcheggi (per autoveicoli < 30 kN)	0.7	0.7	0.6
Categoria G – rimesse e parcheggi (per autoveicoli > 30 kN)	0.7	0.5	0.3
Vento - tiro alla bitta	0.6	0.2	0.0

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI		Calcoli delle strutture e degli impianti				
	LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURA PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST		09	017	DR	015	1

6.6.1 Fase 1 : vasca di colmata

Stati Limiti di Ultimi - CONDIZIONI NON SISMICHE	
SLU – GEO	(A2 + M2 + R1)
COMB1_1	$E_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_1 + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_2$
G_1 = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
γ_{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti	coefficiente parziale per i carichi permanenti (A2) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole
Q_{V1} - azione variabile dominante	sovraccarico 20 kN/m ²
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni	Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008
γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili	coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.3 sfavorevole ; 0.0 favorevole
γ_Y = coeff. parziale geotecnico - peso dell'unità di volume	1.0 (M2)
$\gamma_{c'}$ = coeff. parziale geotecnico - la coesione efficace	1.25 (M2)
$\gamma_{\phi'}$ = coeff. parziale geotecnico - tangente dell'angolo di resistenza al taglio	1.25 (M2)
γ_R = coeff. parziali geotecnici per le resistenze	1.0 (R1)

Nota 1: Per le verifiche di tipo geotecnico GEO, la conferma della convergenza del modello di calcolo utilizzato relativo a ciascuna verifica SLU – GEO è indice di stabilità dell'opera.

Stati Limiti di Ultimi - CONDIZIONI NON SISMICHE	
SLU – STR	(A1 + M1 + R1)
COMB1_2	$E_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q2} Q_2 + \gamma_{Q1} \Psi_{01} Q_1$
G_1 = insieme delle azioni permanenti	spinta del terreno sulla paratia
γ_{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti	coefficiente parziale per i carichi permanenti (A1) 1.3 sfavorevole ; 1.0 favorevole
Q_{V1} = azione variabile dominante	sovraccarico 20 kN/m ²
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni	Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008
γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili	coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 1.5 sfavorevole ; 0.0 favorevole
γ_Y = coeff. parziale geotecnico - peso dell'unità di volume	1.0 (M1)
$\gamma_{c'}$ = coeff. parziale geotecnico - la coesione efficace	1.0 (M1)
$\gamma_{\phi'}$ = coeff. parziale geotecnico - tangente dell'angolo di resistenza al taglio	1.0 (M1)
γ_R = coeff. parziali geotecnici per le resistenze	1.0 (R1)
γ_R = coeff. parziali geotecnici per le resistenze	1.0 (R1)

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI		Calcoli delle strutture e degli impianti				
	LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST		09	017	DR	015	1

Stati Limiti di Ultimi - CONDIZIONI SISMICHE		
SLU_EQK – GEO		(A2 + M2 + R1)
COMB1-3		$E_d = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} \Psi_{21} Q_1 + \gamma_{Q2} \Psi_{22} Q_2$
G ₁ = insieme delle azioni permanenti		spinta del terreno sulla paratia
E = azione sismica		incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia
γ _{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti		coefficiente parziale per i carichi permanenti (A2) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole
Q _{V1} = azione variabile dominante	Ψ ₂₁ = 0.6	sovraccarico terrapieno 20 kN/m ²
Ψ _{2j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008
γ _{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili		coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.0 sfavorevole ; 0.0 favorevole
γ _Y = coeff. parziale geotecnico - peso dell'unità di volume		1.0 (M2)
γ _{c'} = coeff. parziale geotecnico - la coesione efficace		1.25 (M2)
γ _{Φ'} = coeff. parziale geotecnico - tangente dell'angolo di resistenza al taglio		1.25 (M2)
γ _R = coeff. parziali geotecnici per le resistenze		1.0 (R1)

Nota 3: Per le verifiche di tipo geotecnico GEO, la conferma della convergenza del modello di calcolo utilizzato relativo a ciascuna verifica SLU_EQK – GEO è indice di stabilità dell'opera.

Stati Limiti di Ultimi - CONDIZIONI SISMICHE		
SLU_EQK – STR		(A1 + M1 + R1)
COMB1-4		$E_d = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} \Psi_{21} Q_1 + \gamma_{Q2} \Psi_{22} Q_2$
G ₁ = insieme delle azioni permanenti		spinta del terreno sulla paratia
E = azione sismica		incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia
γ _{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti		coefficiente parziale per i carichi permanenti (A1) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole
Q _{V1} = azione variabile dominante	Ψ ₂₁ = 0.6	sovraccarico terrapieno 20 kN/m ²
Ψ _{2j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008
γ _{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili		coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 1.0 sfavorevole ; 0.0 favorevole
γ _Y = coeff. parziale geotecnico - peso dell'unità di volume		1.0 (M1)
γ _{c'} = coeff. parziale geotecnico - la coesione efficace		1.0 (M1)
γ _{Φ'} = coeff. parziale geotecnico - tangente dell'angolo di resistenza al taglio		1.00 (M1)
γ _R = coeff. parziali geotecnici per le resistenze		1.0 (R1)

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

6.6.2 Fase 2 : banchina di ormeggio navi portacontainer e/o relativo piazzale

Stati Limiti di Ultimi - condizioni non sismiche		
SLU – GEO		$(A2 + M2 + R1) - E_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_1 + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_2$
G_1 = insieme delle azioni permanenti		spinta del terreno sulla paratia
γ_{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti		coefficiente parziale per i carichi permanenti (A2) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole
γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili		coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.3 sfavorevole ; 0.0 favorevole
γ_Y = coeff. parziale geotecnico - peso dell'unità di volume		1.0 (M2)
$\gamma_{c'}$ = coeff. parziale geotecnico - la coesione efficace		1.25 (M2)
$\gamma_{\phi'}$ = coeff. parziale geotecnico - tangente dell'angolo di resistenza al taglio		1.25 (M2)
γ_R = coeff. parziali geotecnici per le resistenze		1.0 (R1)
COMB. 2.1		
Q_{V1} = azione variabile dominante		sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Q_{h1} = azione variabile	$\Psi_{02} = 0.6$	tiro alla bitta 50 kN/m e spinta vento gru 60 kN/m 0 per la paratia lato canale e semiplastica
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008
COMB. 2.2		
Solo paratia combinata		
Q_{V1} = azione variabile dominante		tiro alla bitta 50 kN/m + Vento sulla gru 60 kN/m
Q_{h1} = azione variabile	$\Psi_{02} = 0.7$	sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008

Nota : Per le verifiche di tipo geotecnico GEO, la conferma della convergenza del modello di calcolo utilizzato relativo a ciascuna verifica SLU– GEO è indice di stabilità dell'opera.

Stati Limiti di Ultimi - condizioni non sismiche		
SLU – STR		$(A1 + M1 + R1) - E_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_1 + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_2$
G_1 = insieme delle azioni permanenti		spinta del terreno sulla paratia
γ_{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti		coefficiente parziale per i carichi permanenti (A1) 1.3 sfavorevole ; 1.0 favorevole
γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili		coefficiente parziale per le azioni variabili (A) 1.5 sfavorevole ; 0.0 favorevole
γ_Y = coeff. parziale geotecnico - peso dell'unità di volume		1.0 (M1)
$\gamma_{c'}$ = coeff. parziale geotecnico - la coesione efficace		1.0 (M1)
$\gamma_{\phi'}$ = coeff. parziale geotecnico - tangente dell'angolo di resistenza al taglio		1.0 (M1)
γ_R = coeff. parziali geotecnici per le resistenze		1.0 (R1)
COMB. 2.3		
Q_{V1} = azione variabile dominante		sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Q_{h1} = azione variabile	$\Psi_{02} = 0.6$	0 - tiro alla bitta 50 kN/m - spinta vento gru 60 kN/m 0 per la paratia lato canale e semiplastica
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008
COMB. 2.4		
Solo paratia combinata		
Q_{V1} = azione variabile dominante		tiro alla bitta 50 kN/m - Vento sulla gru 60 kN/m
Q_{h1} = azione variabile	$\Psi_{02} = 0.7$	sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI		Calcoli delle strutture e degli impianti				
	LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST		09	017	DR	015	1

Stati Limiti di Ultimi - condizioni sismiche		
SLU_EQK – GEO		$(A2 + M2 + R1) - E_d = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} \Psi_{21} Q_1 + \gamma_{Q2} \Psi_{22} Q_2$
G ₁ = insieme delle azioni permanenti		spinta del terreno sulla paratia
E = azione sismica		Incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia
γ_{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti		coefficiente parziale per i carichi permanenti (A2) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole
γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili		coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.0 sfavorevole ; 0.0 favorevole
γ_Y = coeff. parziale geotecnico - peso dell'unità di volume		1.0 (M2)
$\gamma_{c'}$ = coeff. parziale geotecnico - la coesione efficace		1.25 (M2)
$\gamma_{\phi'}$ = coeff. parziale geotecnico - tangente dell'angolo di resistenza al taglio		1.25 (M2)
γ_R = coeff. parziali geotecnici per le resistenze		1.0 (R1)
COMB. 2.5		
Q_{V1} = azione variabile dominante	$\Psi_{21} = 0.6$	sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Q_{h1} = azione variabile	$\Psi_{22} = 0.0$	tiro alla bitta 50 kN/m e spinta vento gru 60 kN/m
Q_{h3} = azione variabile	$\Psi_{23} = 1.0$	Sisma su gru 11kN/m
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008

Nota : Per le verifiche di tipo geotecnico GEO, la conferma della convergenza del modello di calcolo utilizzato relativo a ciascuna verifica SLU_EQK– GEO è indice di stabilità dell'opera.

Stati Limiti di Ultimi - condizioni sismiche		
SLU_EQK – STR		$(A1 + M1 + R1) - E_d = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} \Psi_{21} Q_1 + \gamma_{Q2} \Psi_{22} Q_2$
G ₁ = insieme delle azioni permanenti		spinta del terreno sulla paratia
E = azione sismica		Incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia
γ_{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti		coefficiente parziale per i carichi permanenti (A1) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole
γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili		coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 1.0 sfavorevole ; 0.0 favorevole
γ_Y = coeff. parziale geotecnico - peso dell'unità di volume		1.0 (M1)
$\gamma_{c'}$ = coeff. parziale geotecnico - la coesione efficace		1.0 (M1)
$\gamma_{\phi'}$ = coeff. parziale geotecnico - tangente dell'angolo di resistenza al taglio		1.0 (M1)
γ_R = coeff. parziali geotecnici per le resistenze		1.0 (R1)
COMB. 2.6		
Q_{V1} = azione variabile dominante	$\Psi_{21} = 0.6$	sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Q_{h1} = azione variabile	$\Psi_{22} = 0.0$	tiro alla bitta 50 kN/m e spinta vento gru 60 kN/m
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Stati Limiti di Esercizio		
SLE - RARA		$E_d = G_1 + Q_1 + \Psi_{02} Q_2$
G ₁ = insieme delle azioni permanenti		spinta del terreno sulla paratia
COMB. 2.6		
Q _{v1} = azione variabile dominante		sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Q _{h1} = azione variabile	$\Psi_{02} = 0.6$	tiro alla bitta 50 kN/m e spinta vento gru 60 kN/m 0 per la paratia lato canale e semiplastica
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008
COMB.2.7		
Solo paratia combinata		
Q _{v1} = azione variabile dominante		tiro alla bitta 50 kN/m + Vento sulla gru 60 kN/m
Q _{h1} = azione variabile	$\Psi_{02} = 0.7$	sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008
SLE - FREQUENTE		$E_d = G_1 + \Psi_{11} Q_1 + \Psi_{22} Q_2$
G ₁ = insieme delle azioni permanenti		spinta del terreno sulla paratia
COMB. 2.8		
Solo paratia semiplastica		
Q _{v1} = azione variabile dominante	$\Psi_{11} = 0.5$	sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008
SLE - QUASI PERMANENTE		$E_d = G_1 + \Psi_{21} Q_1 + \Psi_{22} Q_2$
G ₁ = insieme delle azioni permanenti		spinta del terreno sulla paratia
COMB. 2.9		
Solo paratia semiplastica		
Q _{v1} = azione variabile dominante	$\Psi_{21} = 0.3$	sovraccarico banchina 40 kN/m ²
Ψ_{0j} - coefficiente combinazione delle azioni		Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008

Nota : Per le verifiche degli stati limite di esercizio SLE, vengono calcolati i valori di deformazioni/spostamenti massimi delle palancole in termini di freccia massima orizzontale (δ_{max}) che corrispondono a quelli indotti dall'azione dei carichi e sovraccarichi accidentali nella combinazioni relativa alla verifica SLE-RARA; per la paratia semiplastica verranno calcolati i valori delle tensioni e dell'apertura delle fessure (SLE-RARA, SLE - FREQUENTE, SLE - QUASI PERMANENTE)

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

6.7 Calcolo e verifica della paratia

Per il calcolo e la verifica della paratia che delimita la vasca è utilizzato il software specialistico PARATIE PLUS di Harpaceas S.r.l.

PARATIE PLUS è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale. Il problema è ricondotto ad un problema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria. La modellazione numerica dell’interazione terreno-struttura è del tipo “TRAVE SU SUOLO ELASTICO”: le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno. La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un’analisi statica incrementale:

- Analisi CLASSICA tramite metodi all’equilibrio limite;
- Analisi STATICA INCREMENTALE: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson.

Il modello di calcolo tiene conto degli elementi caratteristici della sezione in oggetto:

- caratteristiche geotecniche degli strati interessati;
- caratteristiche geometriche e meccaniche costituenti la struttura in oggetto ;
- fasi costruttive (vedere nel presente capitolo la descrizione delle fasi costruttive).

Per le verifiche di tipo geotecnico GEO, la conferma della convergenza del modello di calcolo relativo a ciascuna verifica SLU–GEO e SLU_EQK–GEO è indice di stabilità dell’opera (la paratia non è labile per plasticizzazione del terreno resistente).

La conterminazione della vasca lungo il lato Nord (banchina), il lato Ovest (canale) ed il lato sud (linea di costa) è realizzata secondo le seguenti fasi costruttive:

6.7.1 Fase 1: realizzazione della vasca di contenimento

Fase 1.1 - infissione della paratia metallica e realizzazione della paratia semiplastica, con quota della testa a +1.50 m s.l.m. e quota del piede a -27.00 m s.l.m. (nel modello di calcolo è stata considerata a scopo cautelativo una quota di sommità +3.00 m s.l.m. che corrisponde alla quota del finito della banchina); il terreno naturale è a quota:

- -3.00 ÷ -9.00 m s.l.m. per la paratia combinata (figura 6.9),

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

- - 3.00 m s.l.m. per la paratia lato canale (figura 6.10)
- + 0.00 m s.l.m. per la paratia di c.a. (figura 6.11)

Fase 1.2 - rinfiando lato vasca con Tout-Venant di cava (larghezza berma di sommità: 5.0 m - pendenza scarpata: 3/2), per le sole paratie metalliche.

Fase 1.3 - Riempimento della vasca con materiale proveniente dai dragaggi dei fondali interni allo specchio portuale.

6.7.2 Fase 2: realizzazione della banchina di ormeggio navi porta contenitori e del relativo piazzale

Fase 2.1 - Realizzazione della paratia di ancoraggio all'interno della vasca:

- pali di c.a DN1200 affiancati trivellati/infissi per la parete combinata
- palancole AZ18-700 lato canale con quota testa +2.00 m s.l.m. e quota piede - 8.00 m s.l.m.;

Fase 2.2 - posa dei tiranti a +1.00 m s.l.m. (nel modello di calcolo corrisponde a Stage 2);

Fase 2.3 - riempimento-ricoprimento del sistema d'ancoraggio e di tutto il piazzale di nuova realizzazione fino a q.ta +3.0 m s.l.m. di calcolo (nel modello di calcolo corrisponde a Stage 3);

Fase 2.4 - dragaggio del fondale lato Ovest della paratia fino a quota di progetto (-13.00 m s.l.m.);

Fase 2.5 - Completamento della trave di coronamento e della pavimentazione

Fase 2.6 - applicazione del sovraccarico di banchina (azione variabile) come uniformemente distribuito (nel modello di calcolo corrisponde a Stage 6);

Fase 2.7 - applicazione del tiro alla bitta se prevista (azione variabile) alla q.ta +3.00 m s.l.m. (nel modello di calcolo corrisponde a Stage 7);

Fase 2.8 - applicazione del sisma (nel modello di calcolo corrisponde a Stage 8).

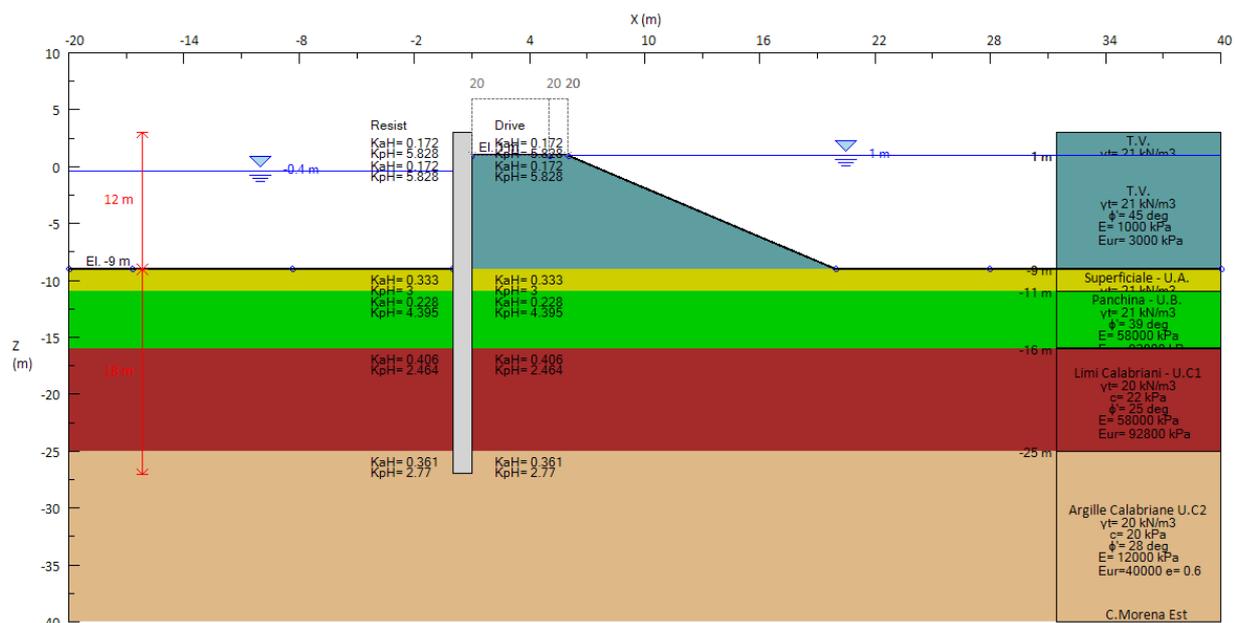


figura 6.9

Fase 1.1 e 1.2 - lato Nord - paratia combinata palo-palancola

infissione paratia e rinfianco con Tout-venant

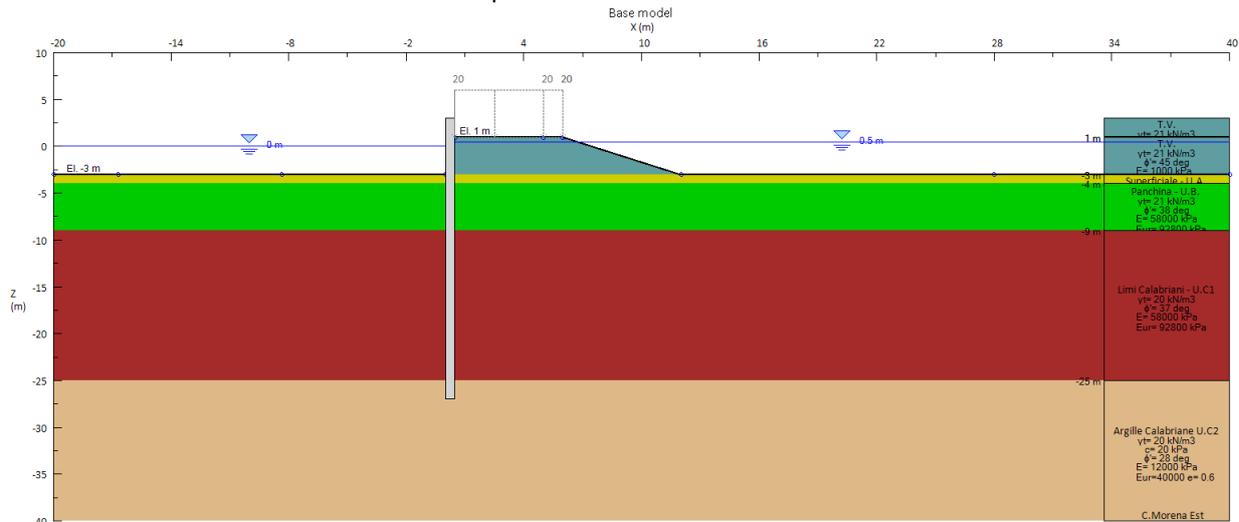


figura 6.10

Fase 1.1 e 1.2 - lato canale - paratia di palancole infissione paratia e rinfianco con Tout-venant

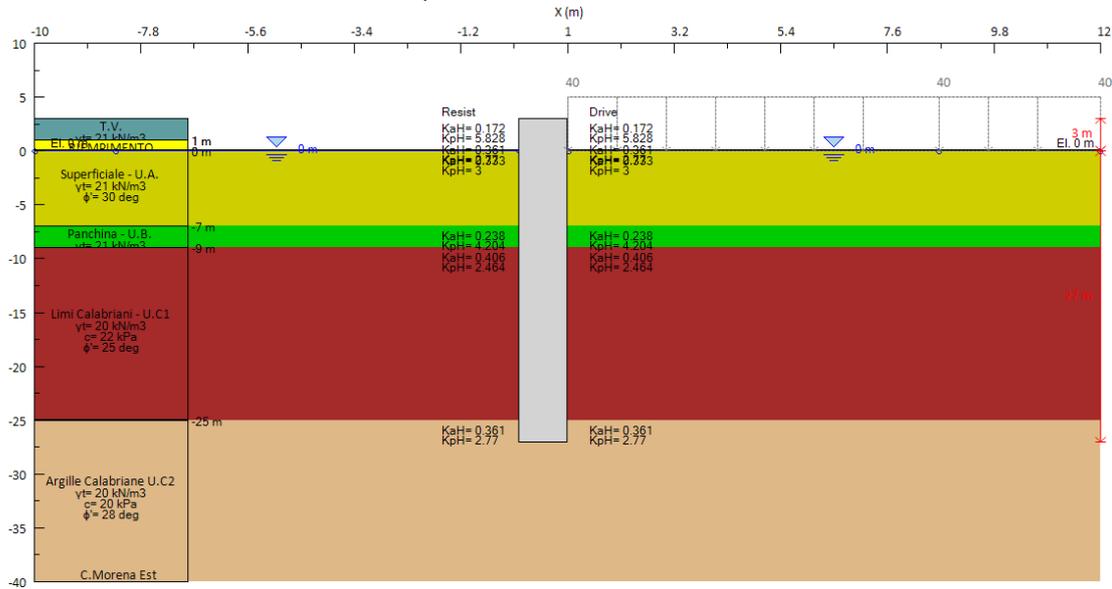


figura 6.11

Fase 1.1 - lato terra - paratia semiplastica - realizzazione della paratia

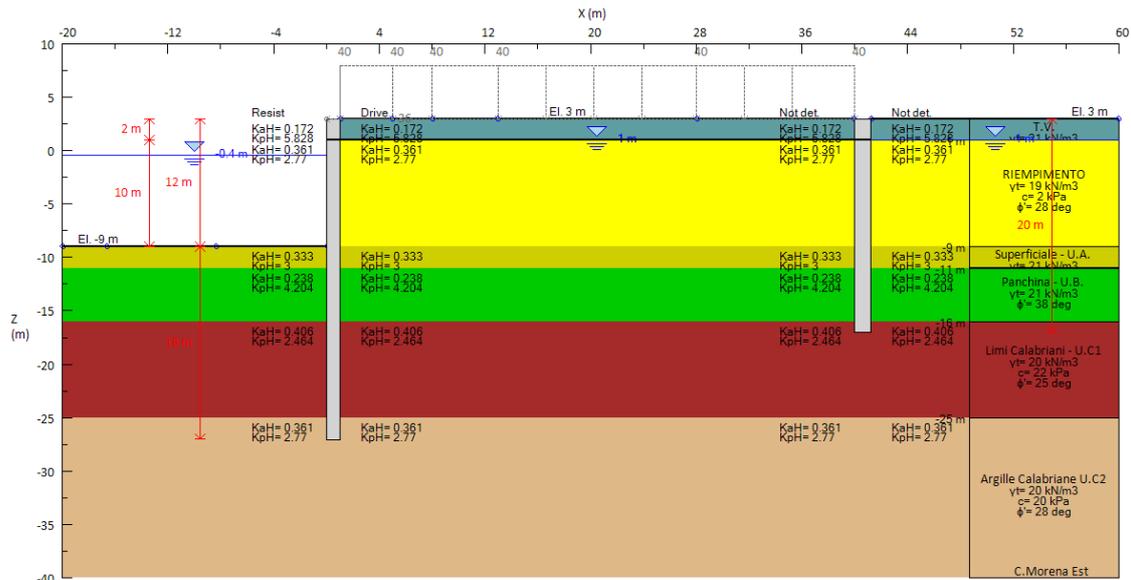


figura 6.12- fase 2.1 - 2.2 e 2.3 - lato Nord - paratia combinata palo-palancole
riempimento cassa di colmata, realizzazione pali e tirante di ancoraggio, completamento banchina

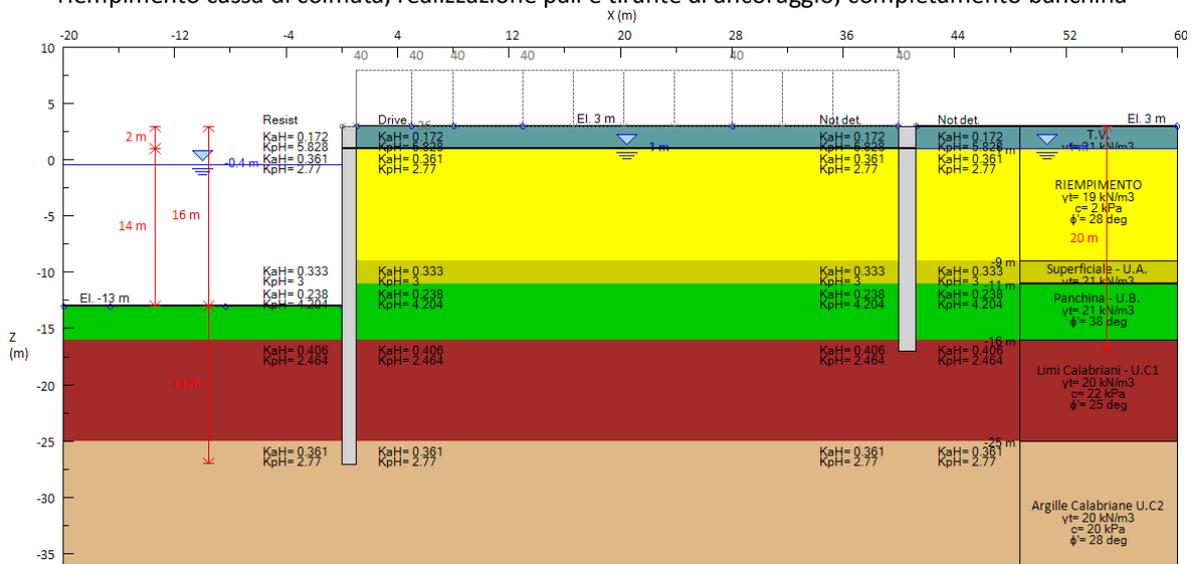


figura 6.13 - fase 2.4 e 2.5 - lato Nord - paratia combinata palo-palancole
Dragaggio lato mare (-13.00 m s.l.m.)

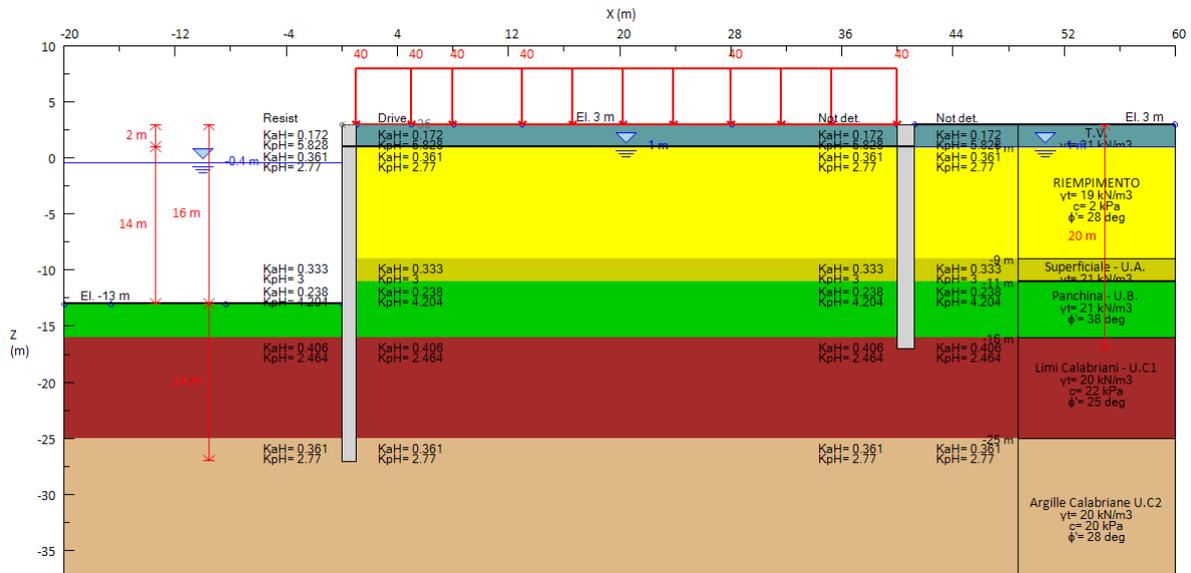


figura 6.14 - fase 2.6 - paratia combinata palo-palancole
applicazione del sovraccarico accidentale su terrapieno

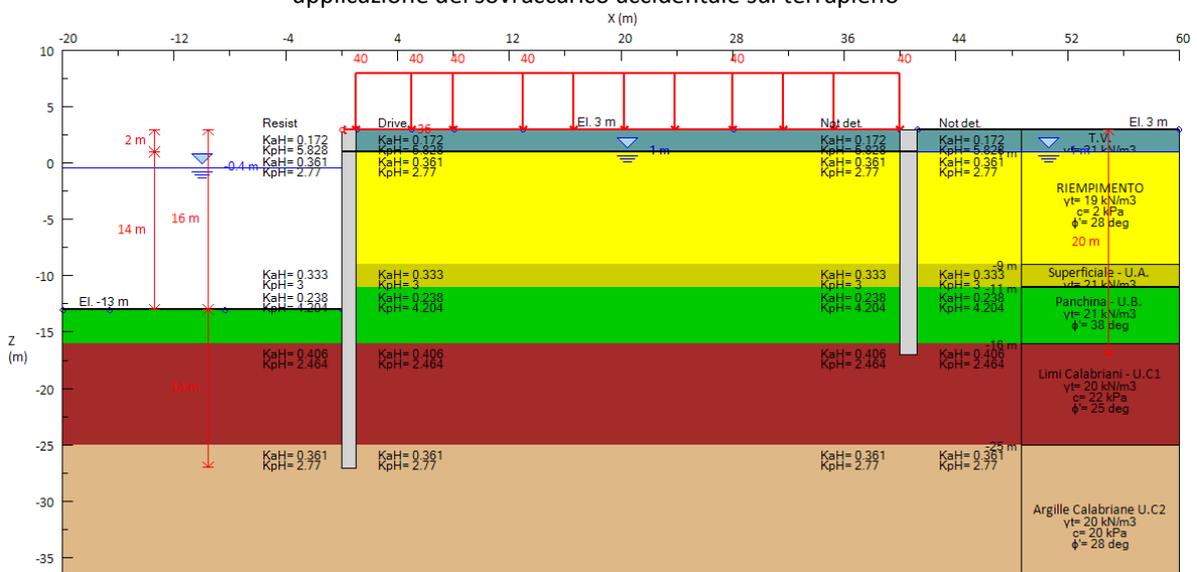


figura 6.15 - fase 2.7a - paratia combinata palo-palancole
applicazione del sovraccarico accidentale sul terrapieno
e quota parte del tiro della bitta o del vento sulla gru

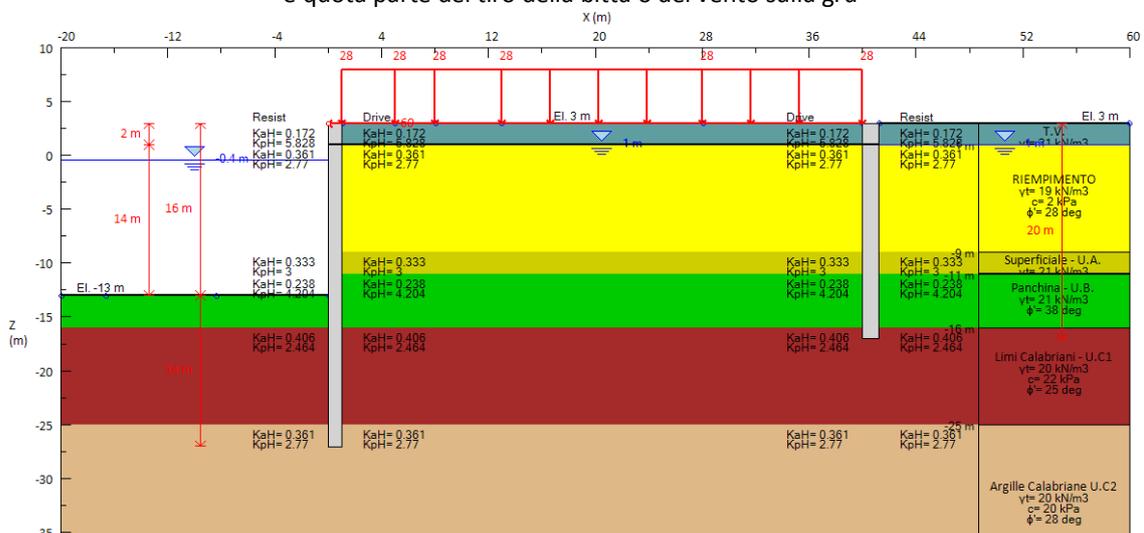


figura 6.16 - fase 2.7b - paratia di palo-palancola
applicazione del tiro della bitta o del vento sulla gru

e di quota parte del sovraccarico accidentale sul terrapieno

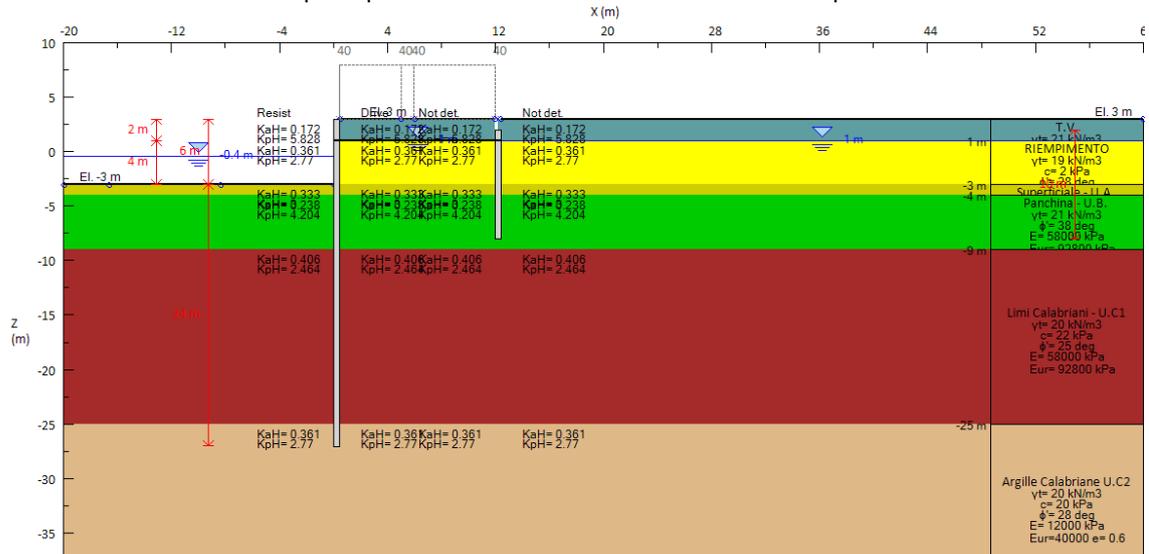


figura 6.17 fase 2.1 - 2.2 - 2.3 e 2.5 - paratia di palancole AZ28-700
 riempimento cassa di colmata, realizzazione paratia ancoraggio (AZ18-700)
 tirante di ancoraggio e completamento piazzale

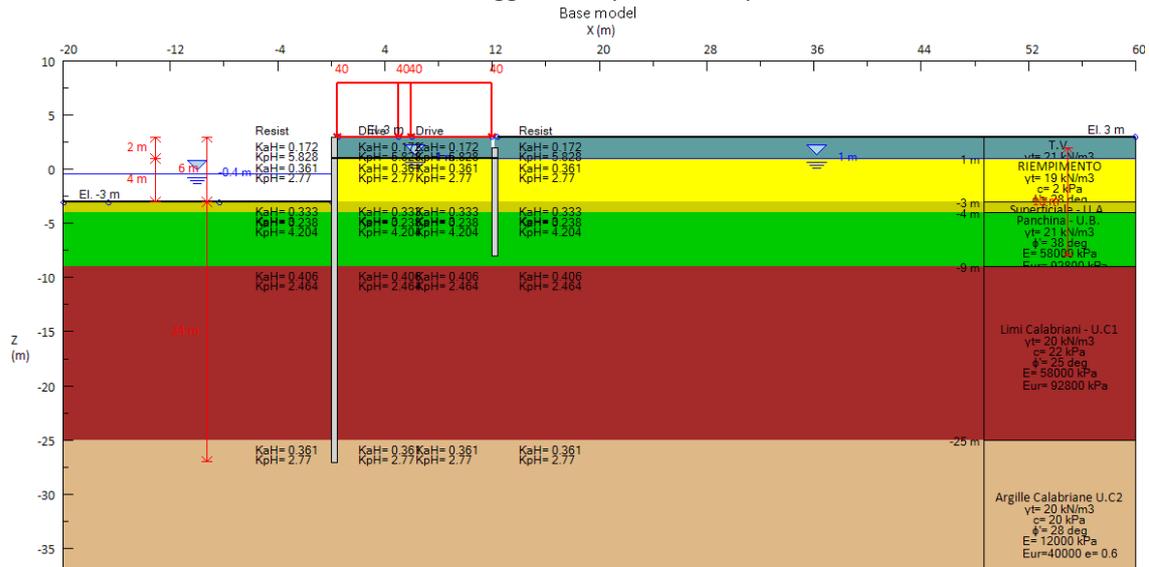


figura 6.18 fase 2.6 - paratia di palancole AZ28-700
 applicazione del sovraccarico accidentale sul terrapieno

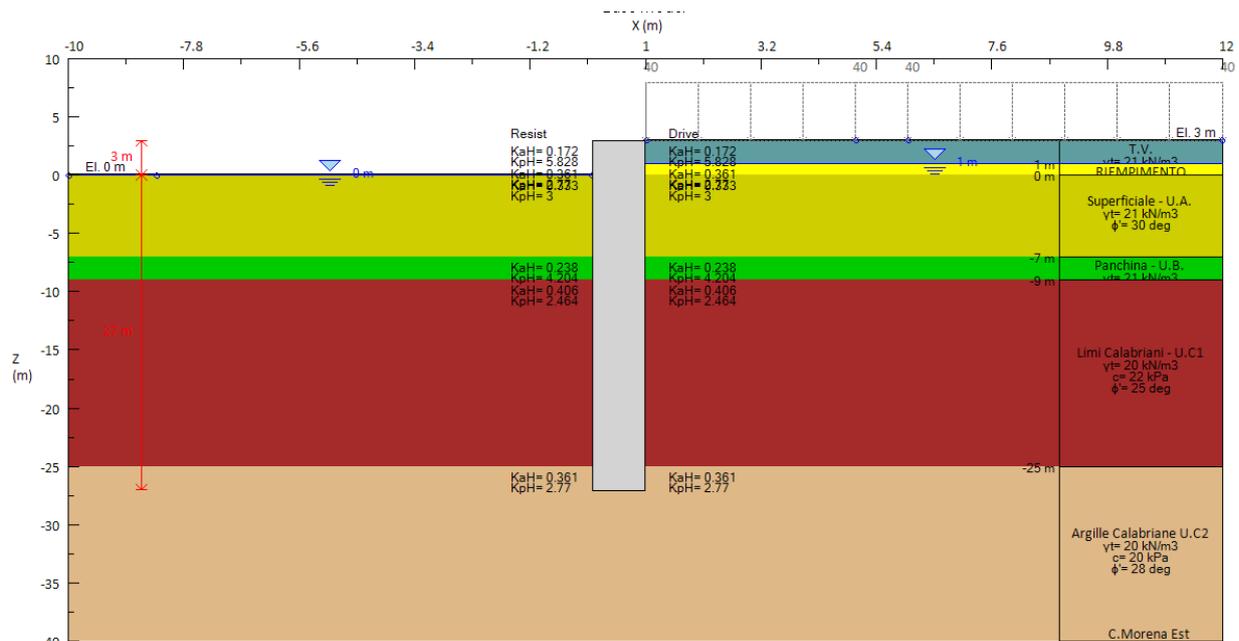


figura 6.19 - fase 2.3 - paratia semiplastica,
riempimento cassa di colmata e completamento piazzale

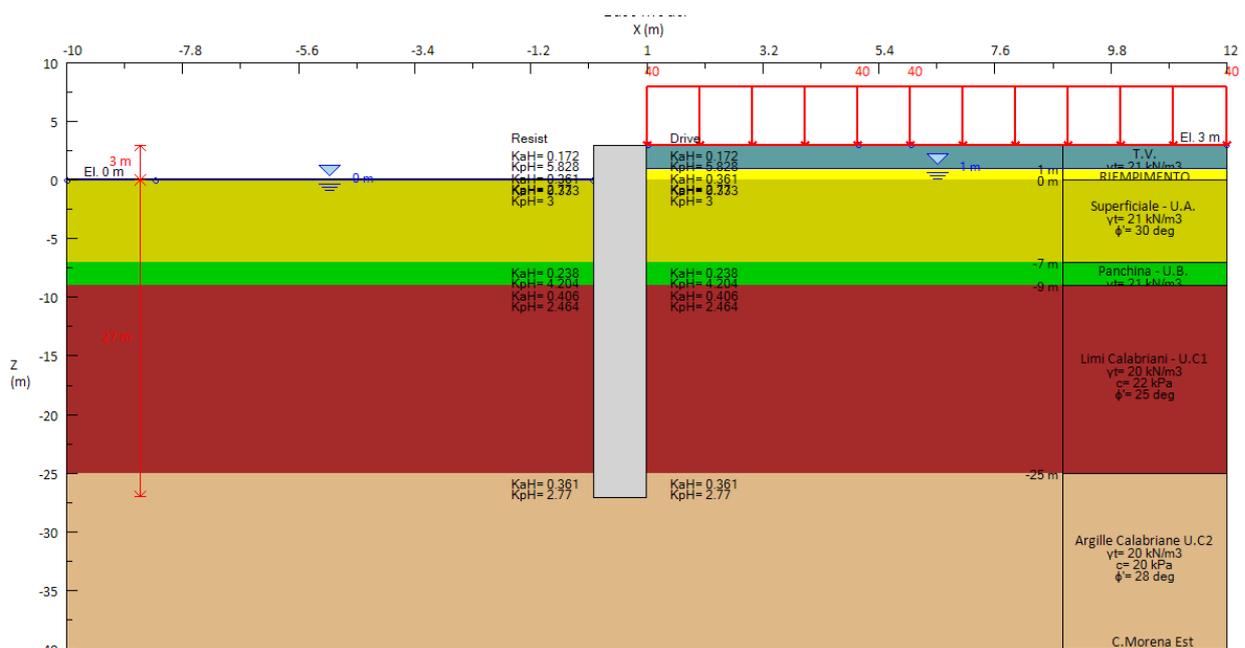


figura 6.20 - fase 2.6 - paratia semiplastica,
applicazione del sovraccarico accidentale sul terrapieno

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

6.8 Risultati di calcolo e verifiche agli stati limite

Con riferimento ai criteri di verifica delle strutture di seguito si riportano i risultati delle verifiche agli stati limiti ultimi di tipo geotecnico (GEO) e di tipo strutturale (STR) in condizioni non sismiche (SLU) e sismiche (SLU_EQK) e i risultati delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE).

6.8.1 Verifiche di tipo geotecnico (GEO)

Lo Stato Limite Ultimo di collasso per rotazione attorno ad un punto (atto di moto rigido) e di instabilità globale del sistema terreno-opera sono stati verificati per le seguenti combinazioni di carico, sia in condizioni statiche (SLU) che in condizioni dinamiche (SLU_EQK):

FASE 1 - Vasca di colmata

- SLU (GEO) – COMB.1.1 (A2+M2+R1)
- SLU_EQK (GEO) – COMB.1.3 (1.0+M2+R1)

FASE 2 - banchina di ormeggio navi porta contenitori

- SLU (GEO) – COMB.2.1 (A2+M2+R1)
- SLU (GEO) – COMB.2.2 (A2+M2+R1)
- SLU_EQK (GEO) – COMB.2.5 (1.0+M2+R1)

I risultati delle verifiche sono espressi sia in termini di conferma della convergenza del modello di calcolo che è indice di stabilità dell'opera (la paratia non è labile per plasticizzazione del terreno resistente) e sia in termini di coefficienti di sicurezza come risultati delle verifiche effettuate attraverso il modulo di calcolo "analisi classica tramite metodi all'equilibrio limite" di PARATIE PLUS.

I coefficienti di sicurezza della struttura sono rispettivamente:

- "F_s rotazione": rapporto tra il momento resistente ed il momento ribaltante;
- "F_s infissione": indicazione sull'efficacia della profondità di infissione.

Dalla tabella si osserva che le combinazioni di carico più gravose per tutte le tipologie di paratie sono quelle relative alla fase 1 sia non sismica, con il sovraccarico sul piazzale come azione variabile dominante (SLU (GEO) – COMB1) e quella sismica.

Comunque risulta che i coefficiente di sicurezza, frutto dell'analisi convenzionale all'equilibrio limite, siano superiori al valore unitario e per tanto la verifica risulta soddisfatta.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

tabella 6.13 - risultati delle verifiche di tipo geotecniche (GEO) agli stati limiti ultimi

		Risultato analisi	Parete combinata		Parete lato canale		Parete semiplastica	
			FS rotazione	FS infissione	FS rotazione	FS infissione	FS rotazione	FS infissione
FASE 1 - Vasca di colmata								
SLU (GEO) COMB.1.1	A2+M2+R1	soluzione converge	1.59	1.50	3.2	3.2	5.1	10.3
SLU_EQK (GEO) COMB1.3	1.0+M2+R1	soluzione converge	1.4	1.32	3.1	3.2	3.3	3.8
FASE 2 - Banchina di ormeggio navi porta contenitori e piazzale retrostante								
SLU (GEO) COMB.2.1	A2+M2+R1	soluzione converge	3.20	7.00	4.28	12	3.2	3.1
SLU (GEO) COMB.2.2	A2+M2+R1	soluzione converge	3.39	8.75	\	\	\	\
SLU_EQK (GEO) COMB.2.3	1.0+M2+R1	soluzione converge	3.37	7.0	4.0	12.0	3.1	3.3

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

6.8.2 Verifiche di tipo strutturale (STR)

La resistenza strutturale della paratia è stata verificata per le seguenti combinazioni di carico, definite precedentemente, sia in condizioni statiche (SLU) che in condizioni sismiche (SLU_EQK):

FASE 1 - Vasca di colmata

- SLU (STR) – COMB.1.2 (A1+M1+R1)
- SLU_EQK (STR) – COMB.1.4 (1.0+M1+R1)

FASE 2 - banchina di ormeggio

- SLU (STR) – COMB.2.3 (A1+M1+R1)
- SLU (STR) – COMB.2.4 (A1+M1+R1)
- SLU_EQK (STR) – COMB.2.6 (1.0+M1+R1)

Tabella 6-1 - lato Nord - paratia di palo-palancola
risultati delle verifiche di tipo strutturale (STR) agli stati limiti ultimi

		Parete combinata		Paratia di ancoraggio		Tirante di ancoraggio	
		Momento massimo paratia (kNm/m)	Taglio massimo paratia (kN/m)	Momento massimo paratia (kN-m/m)	Taglio massimo paratia (kN/m)	Massima reazione vincoli (kN/m)	Massima reazione vincoli (kN)
FASE 1 - Vasca di colmata							
SLU (STR) COMB.1.2	A1+M1+R1	2734.9	354	-	-	-	-
SLU_EQK (STR) COMB.1.4	1.0+M1+R1	2642.2	367	-	-	-	-
FASE 2 - banchina di ormeggio							
SLU (STR) COMB.2.3	A1+M1+R1	2520	582	1432	573	655	950
SLU (STR) COMB.2.4	A1+M1+R1	2362	578	1456	582	664	963
SLU_EQK (STR) COMB.2.6	1.0+M1+R1	1804	444	1001	400.6	454	660

Le sollecitazioni agenti sulla struttura combinata, sia in condizioni statiche (SLU) che in quelle sismiche (SLU_EQK), relative alle verifiche strutturali (STR) sono riportate nelle figure seguenti.

Dalle simulazioni effettuate e sintetizzate nelle tabelle e figure, emerge che:

- le maggiori sollecitazioni agenti sul palancoolato di banchina si hanno nella condizione statica, relativa al rinfianco della vasca in cui l'azione variabile agente è il sovraccarico nella fase 1-SLU (STR-COMB1.2).

- Il palancolato di ancoraggio e i relativi tiranti sono soggetti alle maggiori sollecitazioni nella condizione statica in cui l'azione variabile dominante è il tiro alla bitta o l'azione del vento sulla gru (SLU_STR-COMB2.4).

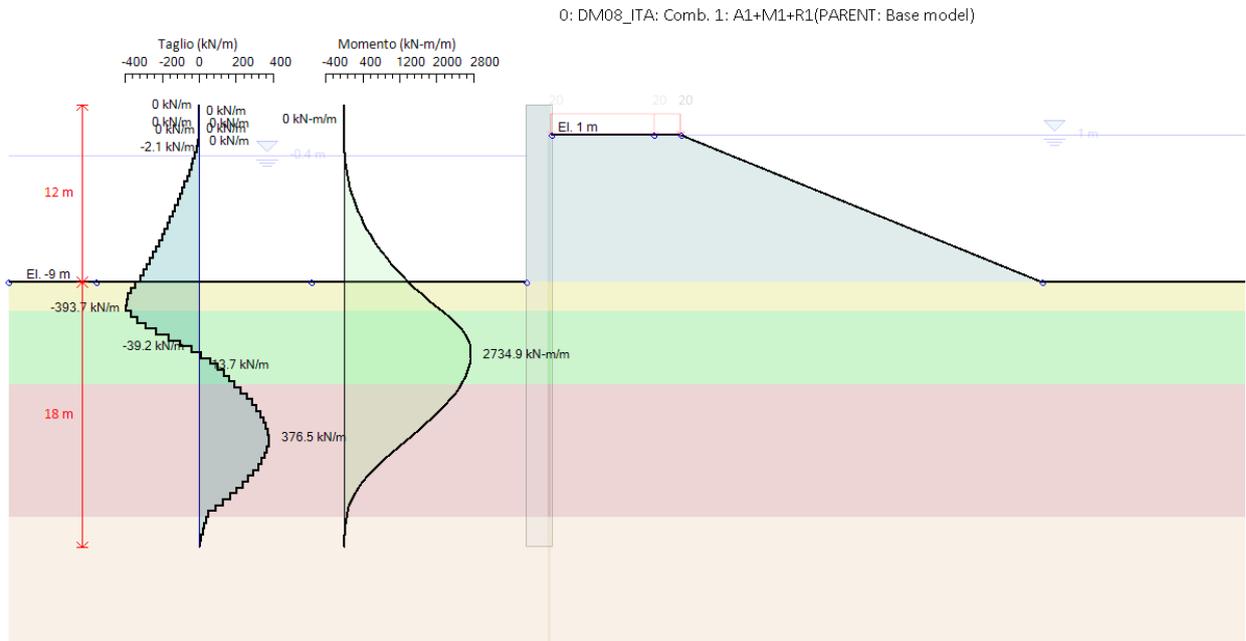


Figura 6.21 – Fase 1 - massime sollecitazioni (Tmax, Mmax) agenti sul palancolato combinato SLU(STR) – COMB.1.2

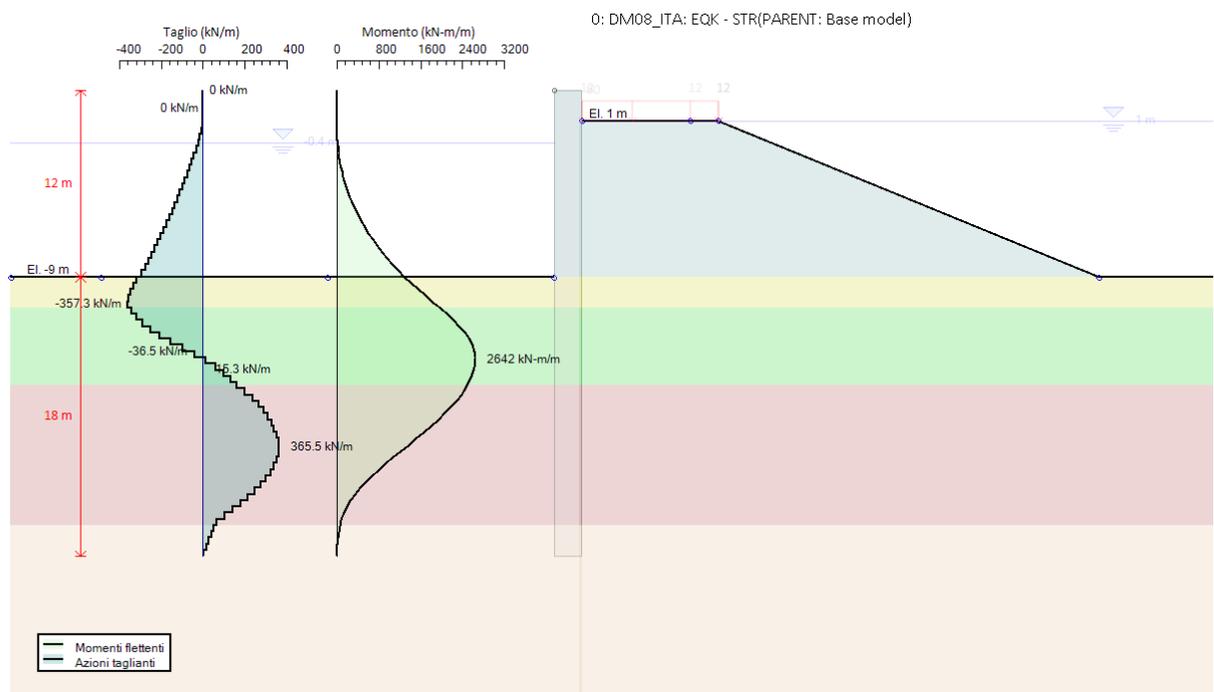


Figura 6.22 – Fase 1(sismica) - massime sollecitazioni (Tmax, Mmax) agenti sul palancolato combinato SLU_EQK(STR) – COMB.1.4

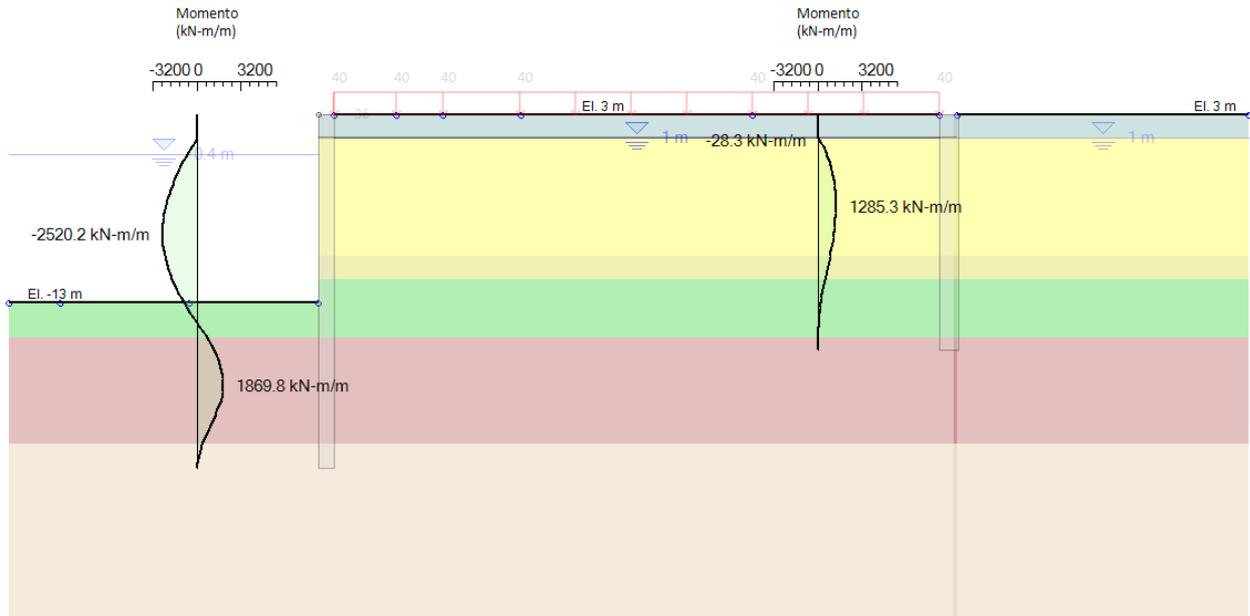


figura 6.23
 Momento massimo (M_{max}) agente sul palancoato combinato - SLU(STR)–COMB2.3

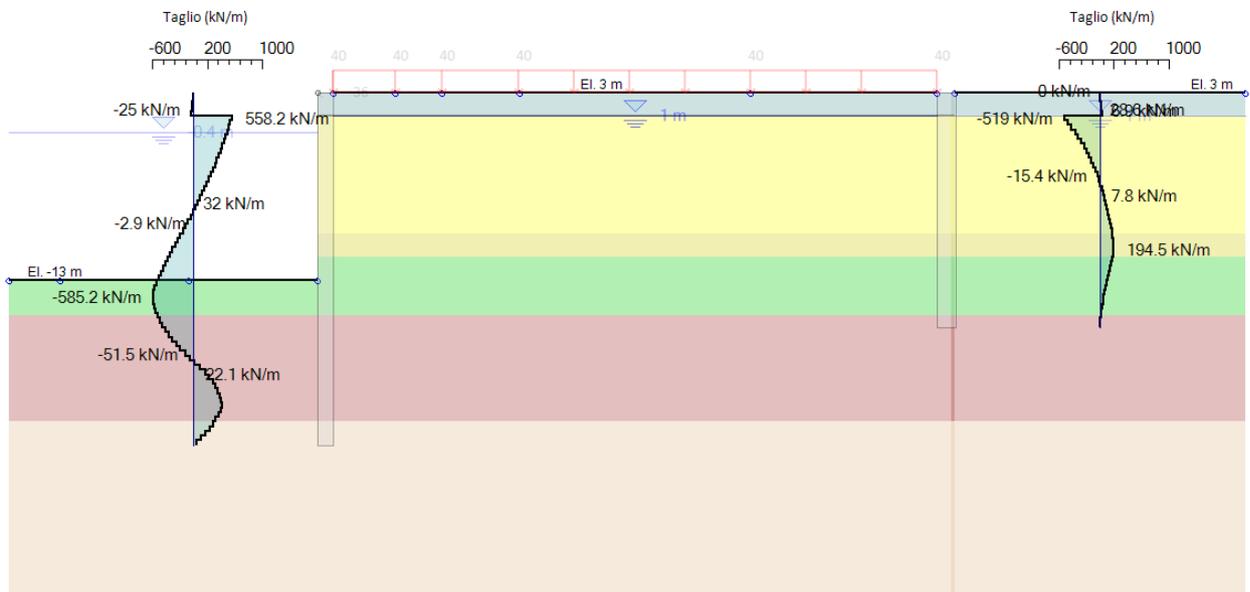


figura 6.24
 Taglio massimo (V_{MAX}) agente sul palancoato combinato - SLU(STR)–COMB2.3

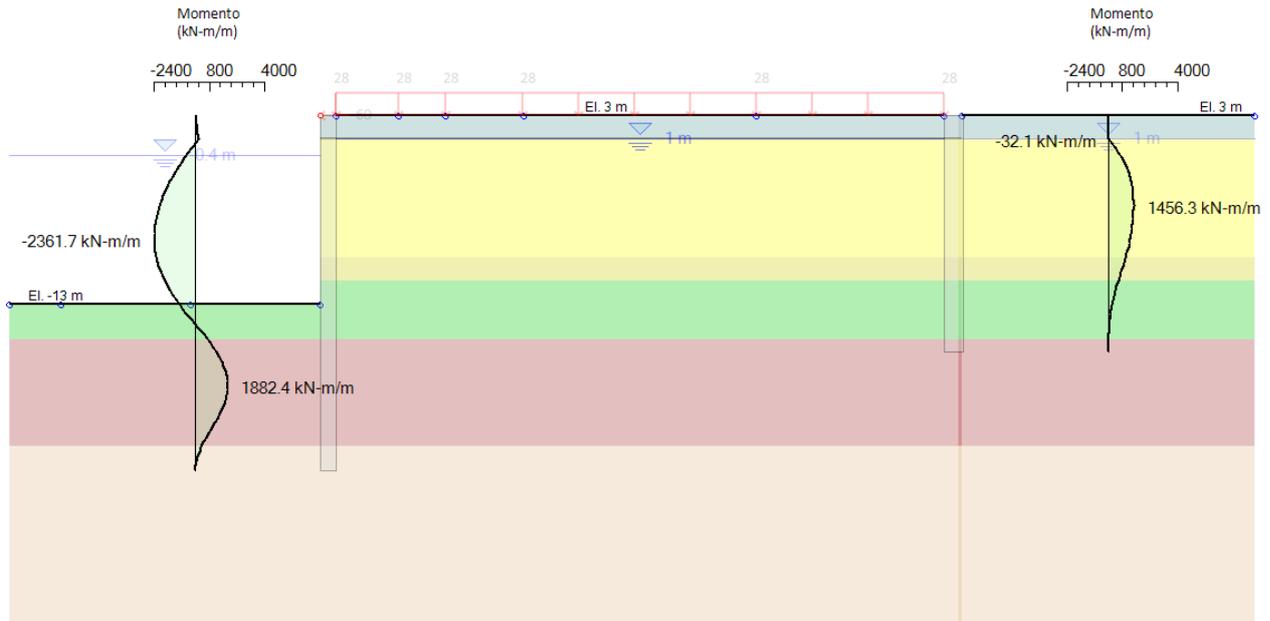


figura 6.25
 Momento massimo (M_{max}) agente sul palancoato combinato - SLU(STR)–COMB2.4

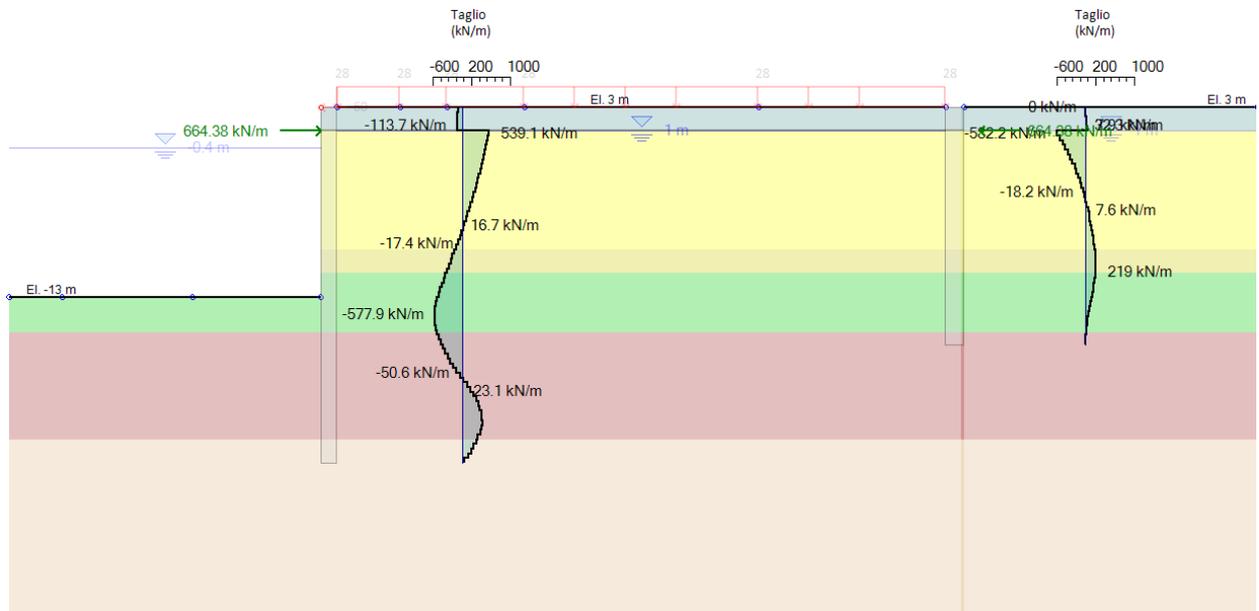


figura 6.26
 Taglio massimo (V_{max}) agente sul palancoato combinato e massima azione sul tirante - SLU(STR)–COMB2.4

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

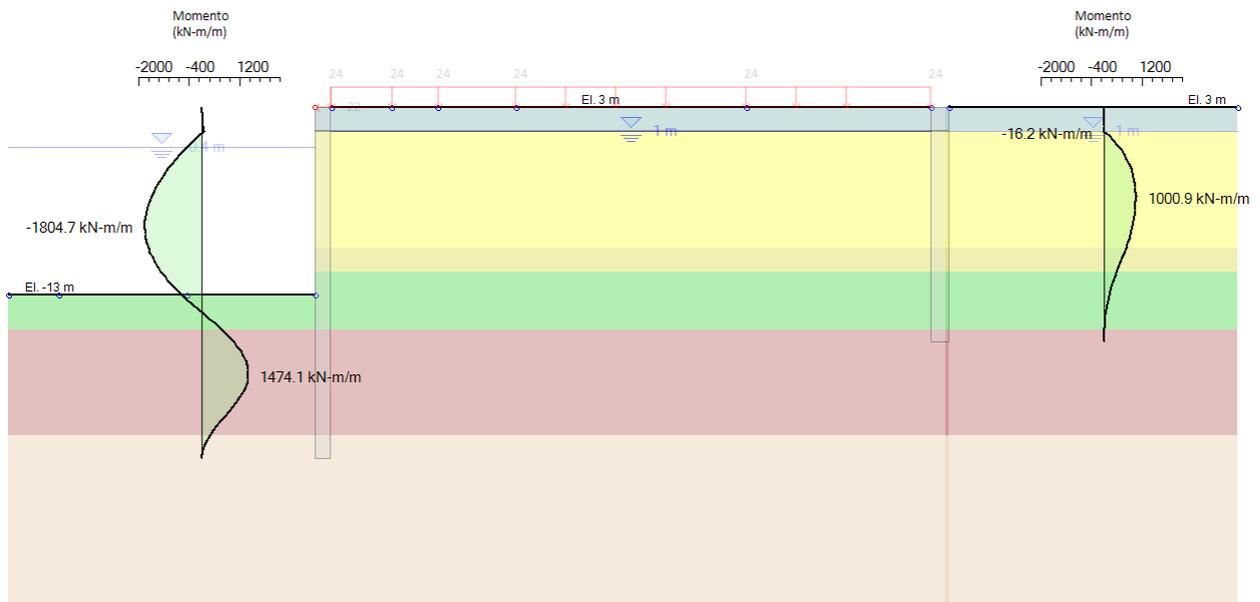


figura 6.27
 MOMENTO MASSIMO (M_{MAX}) AGENTE SUL PALANCOLATO DI BANCHINA E DI ANCORAGGIO
 SLV_EQK(STR)–COMB 2.6

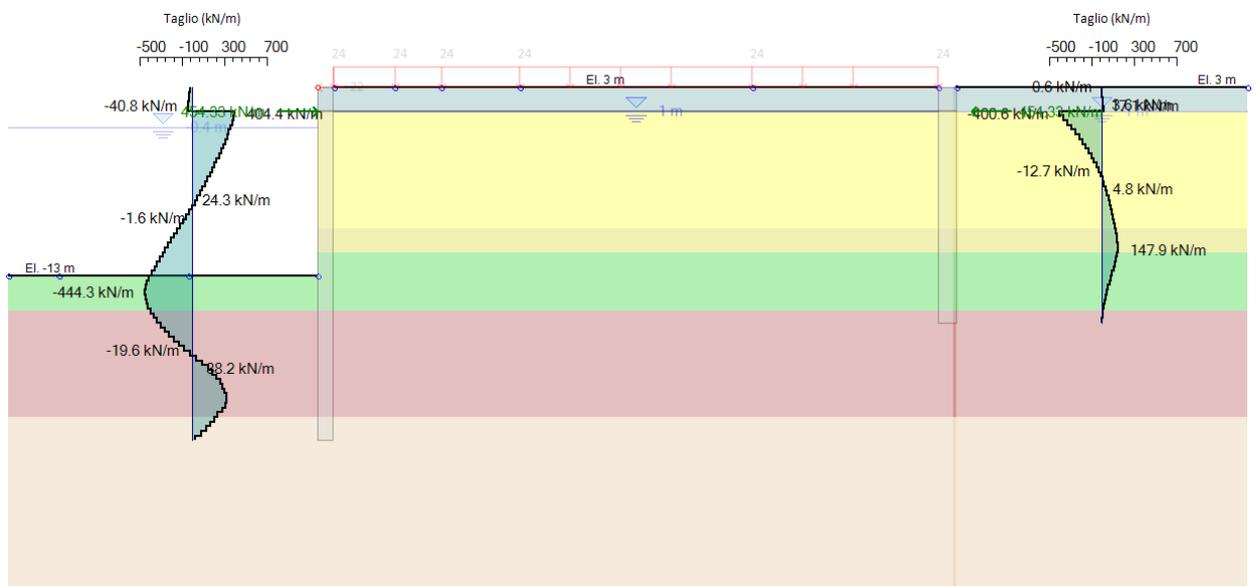


figura 6.28
 TAGLIO MASSIMO (V_{MAX}) AGENTI SUL PALANCOLATO DI BANCHINA E DI ANCORAGGIO
 MASSIMA AZIONE DEL TIRANTE (N_{MAX})
 SLV_EQK(STR)–COMB 2.6

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI				Calcoli delle strutture e degli impianti				
	LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST				09	017	DR	015	1

Tabella 6-2 - lato canale - paratia con palancole tipo AZ28-700
risultati delle verifiche di tipo strutturale (STR) agli stati limiti ultimi

		Paratia lato canale		paratia di ancoraggio		Tirante di ancoraggio	
		Momento massimo paratia (kNm/m)	Taglio massimo paratia (kN/m)	Momento massimo paratia (kN-m/m)	Taglio massimo paratia (kN/m)	Massima reazione vincoli (kN/m)	Massima reazione vincoli (kN)
FASE 1 - Vasca di colmata							
SLU (STR) COMB.1.2	A1+M1+R1	410	123				
SLU_EQK (STR) COMB.1.4	1.0+M1+R1	484	124				
FASE 2 - Piazzale							
SLU (STR) COMB.2.3	A1+M1+R1	355	163	115	115	156	218
SLU_EQK (STR) COMB.2.6	1.0+M1+R1	240.4	112	87	86	113	160

Le sollecitazioni agenti sulla struttura lato canale, sia in condizioni statiche (SLU) che in quelle sismiche (SLU_EQK), relative alle verifiche strutturali (STR) sono riportate nelle figure seguenti.

Dalle simulazioni effettuate e sintetizzate nelle tabelle e figure, emerge che:

- le maggiori sollecitazioni agenti sulla paratia lato canale si hanno nella fase 1 ed in condizioni sismiche in cui l'azione variabile è dovuta al sovraccarico verticale SLU_EQK (STR) comb 1.4).
- la parati di ancoraggio e i relativi tiranti sono soggetti alle maggiori sollecitazioni nella condizione statica (in fase 2) in cui l'azione variabile dominante è il sovraccarico verticale (SLU_STR-comb 2.3).

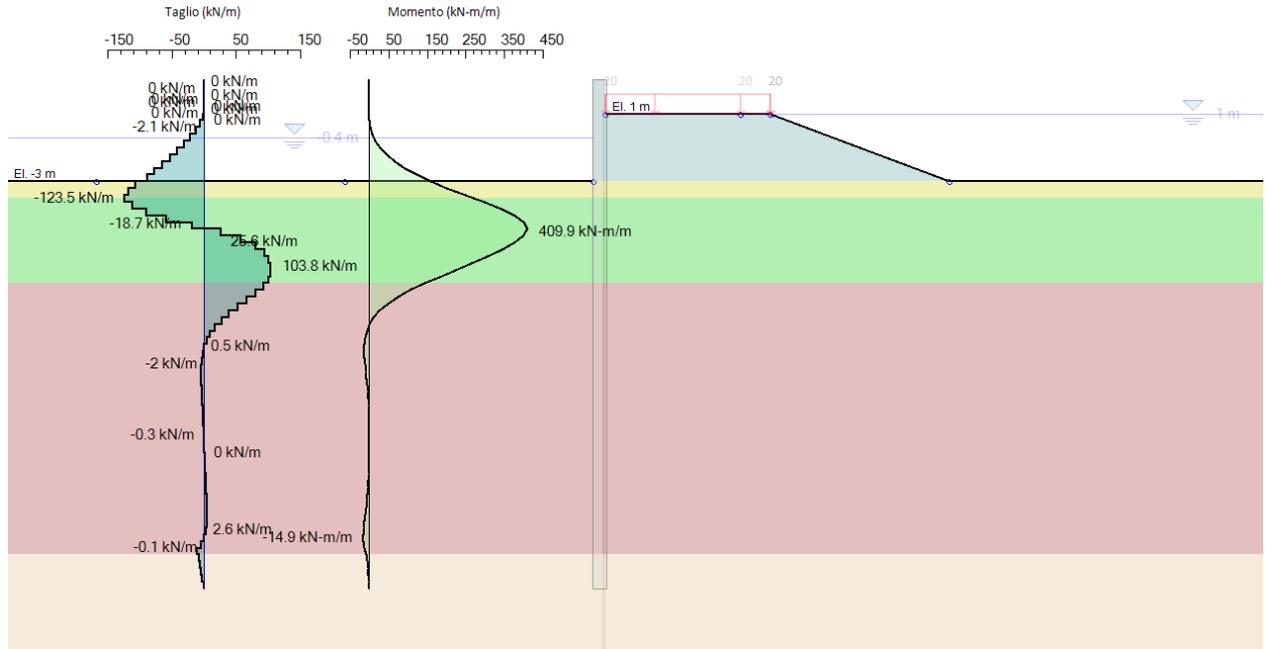


figura 6.29 - lato canale - paratia di palancole AZ28-700
Fase 1 - massime sollecitazioni (T_{max} , M_{max}) agenti sulla paratia lato canale
SLU(STR) – COMB.1.2

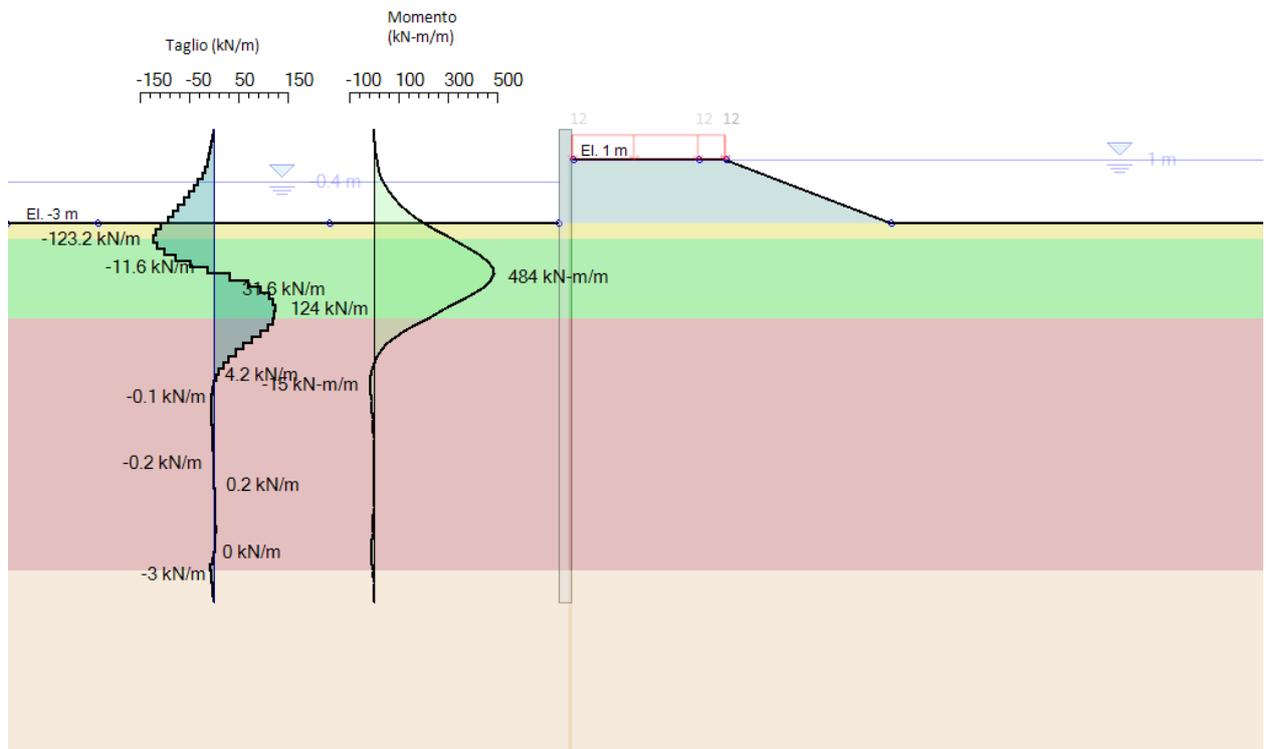


figura 6.30 - lato canale - paratia di palancole AZ28-700
Fase 1 - sismica - massime sollecitazioni (T_{max} , M_{max}) agenti sulla paratia lato canale
(SLV - STR – COMB.1.4 - sismica)

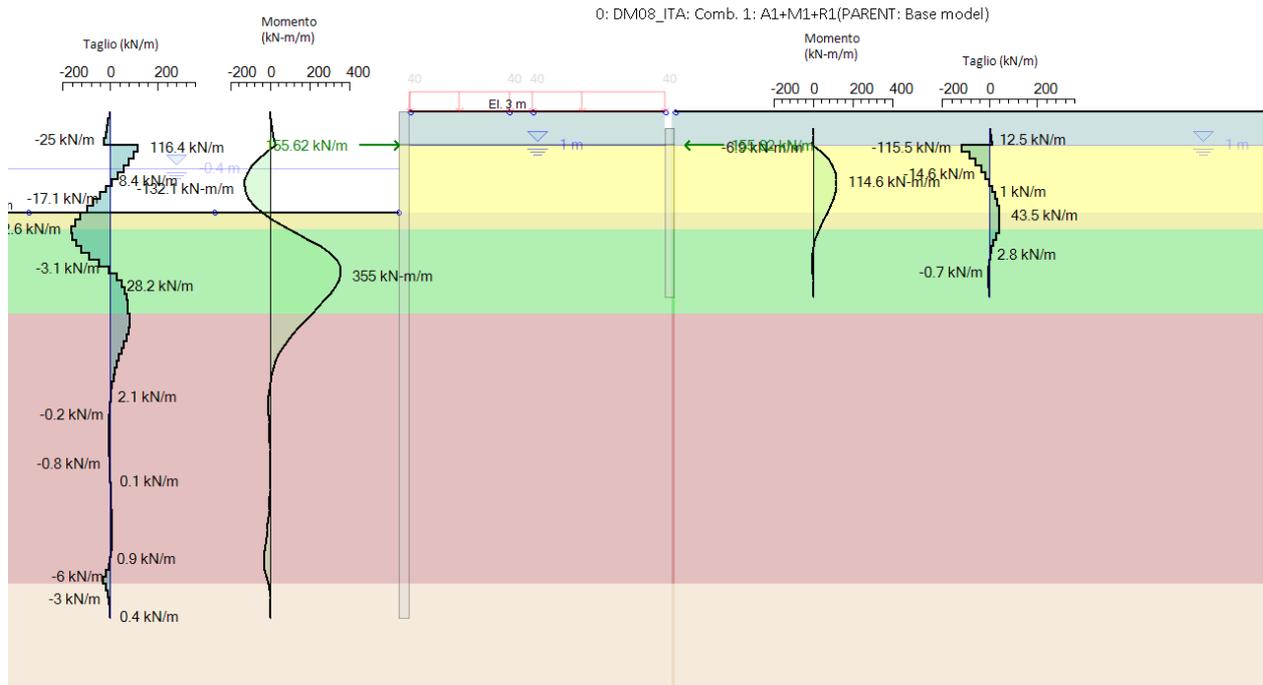


figura 6.31 - lato canale - paratia di palancole AZ28-700
 Fase 2 - massime sollecitazioni (T_{max} , M_{max} , N_{max}) agenti sulla paratia lato canale,
 su quello di ancoraggio e sul canale
 SLU(STR) – COMB.2.3

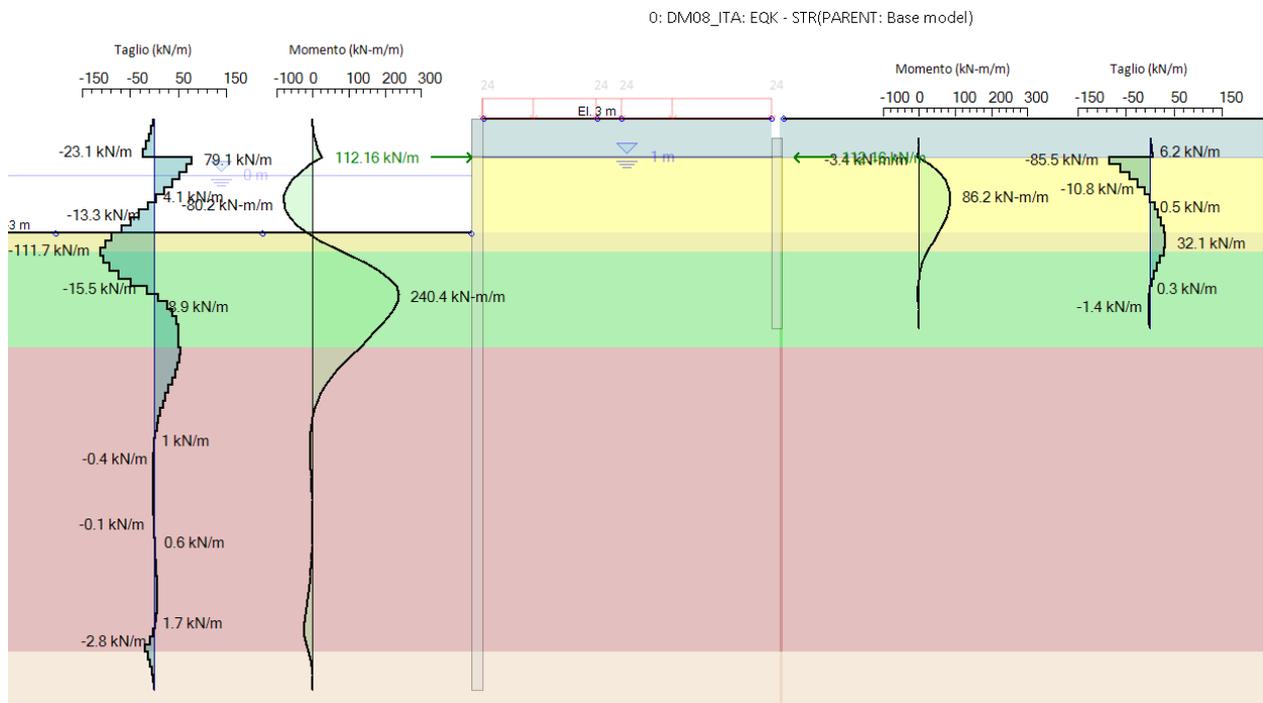


figura 6.32 - lato canale - paratia di palancole AZ28-700
 Fase 2 - massime sollecitazioni (T_{max} , M_{max} , N_{max}) agenti sulla paratia lato canale,
 su quello di ancoraggio e sul canale
 (SLV - STR – COMB.2.6 - sismica)

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Tabella 6-3 - lato costa - paratia semiplastica di calcestruzzo C35/45
risultati delle verifiche di tipo strutturale (STR) agli stati limiti ultimi

Paratia semiplastica			
		Momento massimo paratia (kNm/m)	Taglio massimo paratia (kN/m)
FASE 1 - Vasca di colmata			
SLU (STR) COMB.1.2	A1+M1+R1	150	26
SLU_EQK (STR) COMB.1.4	1.0+M1+R1	233	40
FASE 2 - Piazzale			
SLU (STR) COMB.2.3	A1+M1+R1	910	150
SLU_EQK (STR) COMB.2.6	1.0+M1+R1	685	114

Le sollecitazioni agenti sulla struttura lato canale, sia in condizioni statiche (SLU) che in quelle sismiche (SLU_EQK), relative alle verifiche strutturali (STR) sono riportate nelle figure seguenti.

Dalle simulazioni effettuate e sintetizzate nelle tabelle e figure, emerge che le maggiori sollecitazioni agenti sulla paratia semiplastica si hanno nella fase finale, in condizioni non sismiche in cui l'azione variabile è dovuta al sovraccarico verticale SLU (STR) - comb 2.3.

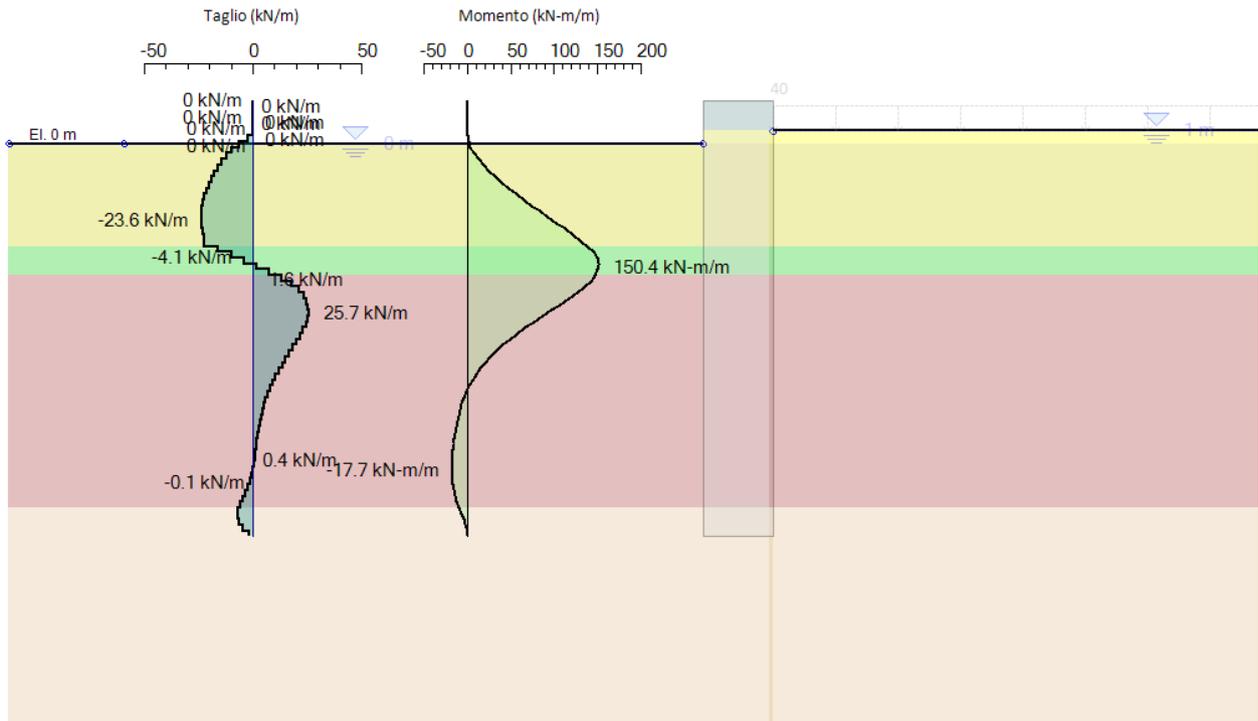


figura 6.33 - lato costa - paratia semiplastica
Fase 1 - massime sollecitazioni (T_{max} , M_{max}) agenti sulla paratia
SLU(STR) – COMB.1.2

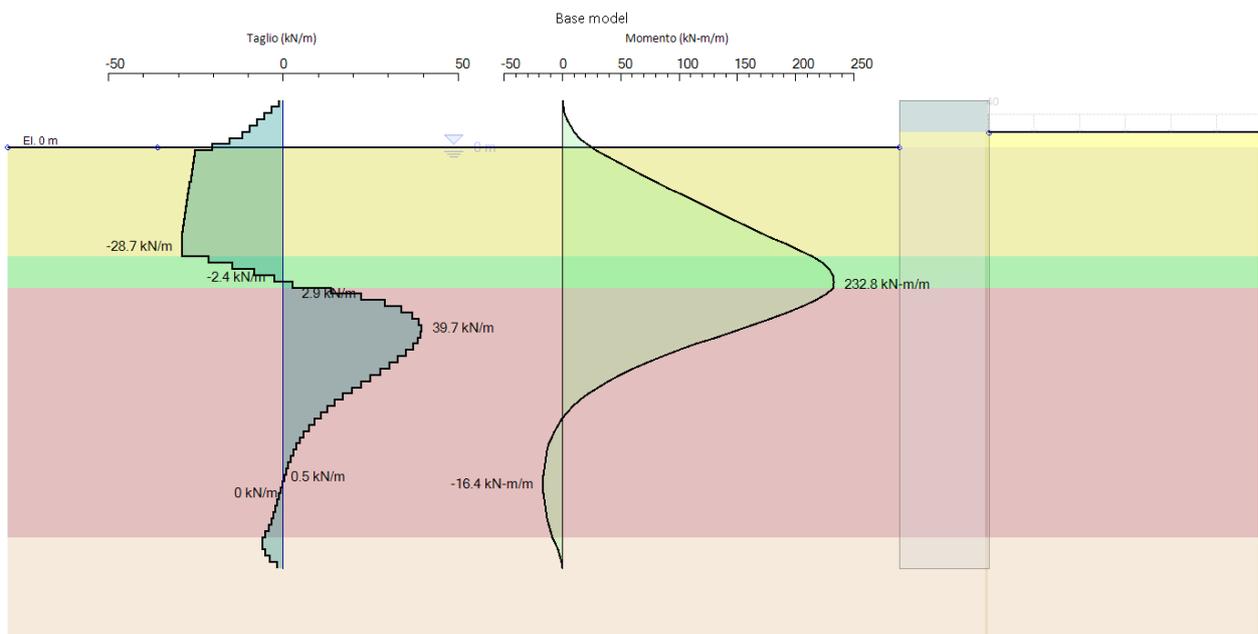


figura 6.34 - lato costa - paratia semiplastica
Fase 1 - massime sollecitazioni (T_{max} , M_{max}) agenti sulla paratia in condizioni sismiche
SLU_EQK (STR)– COMB.1.4

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

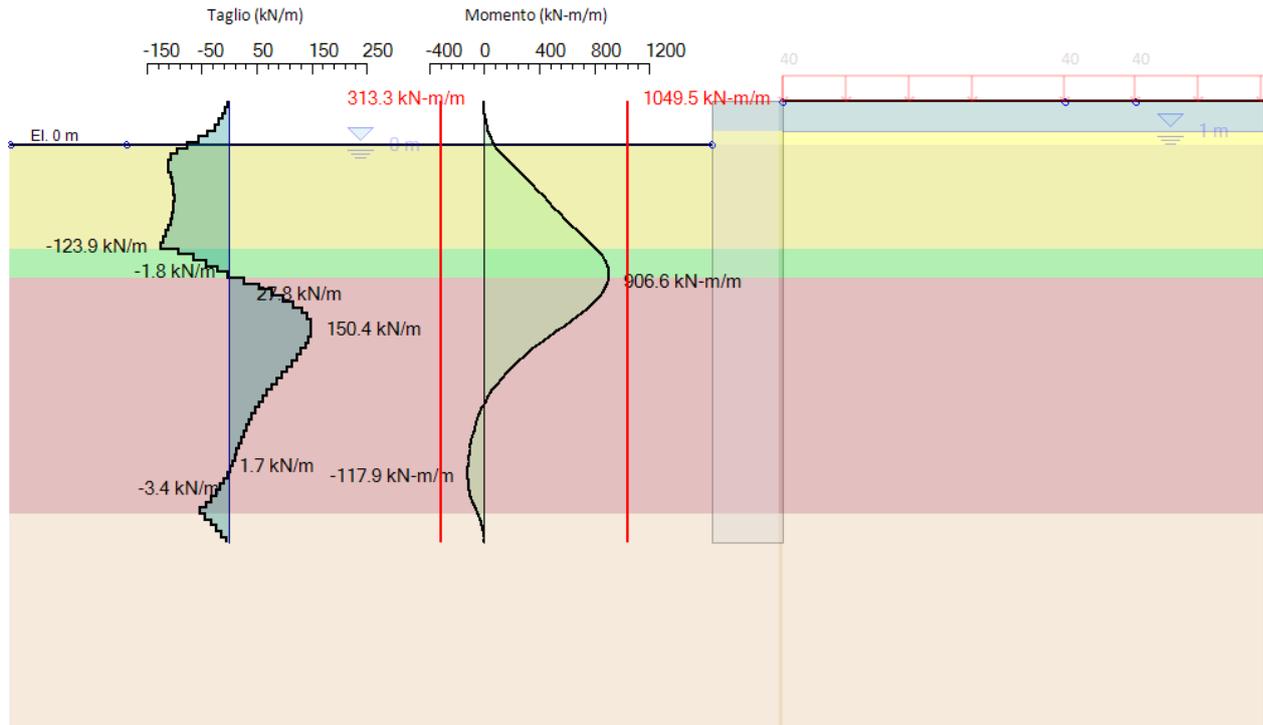


figura 6.35 - lato costa - paratia semiplastica
Fase 2 - massime sollecitazioni (T_{max} , M_{max}) agenti sulla paratia
SLU(STR) – COMB.2.3

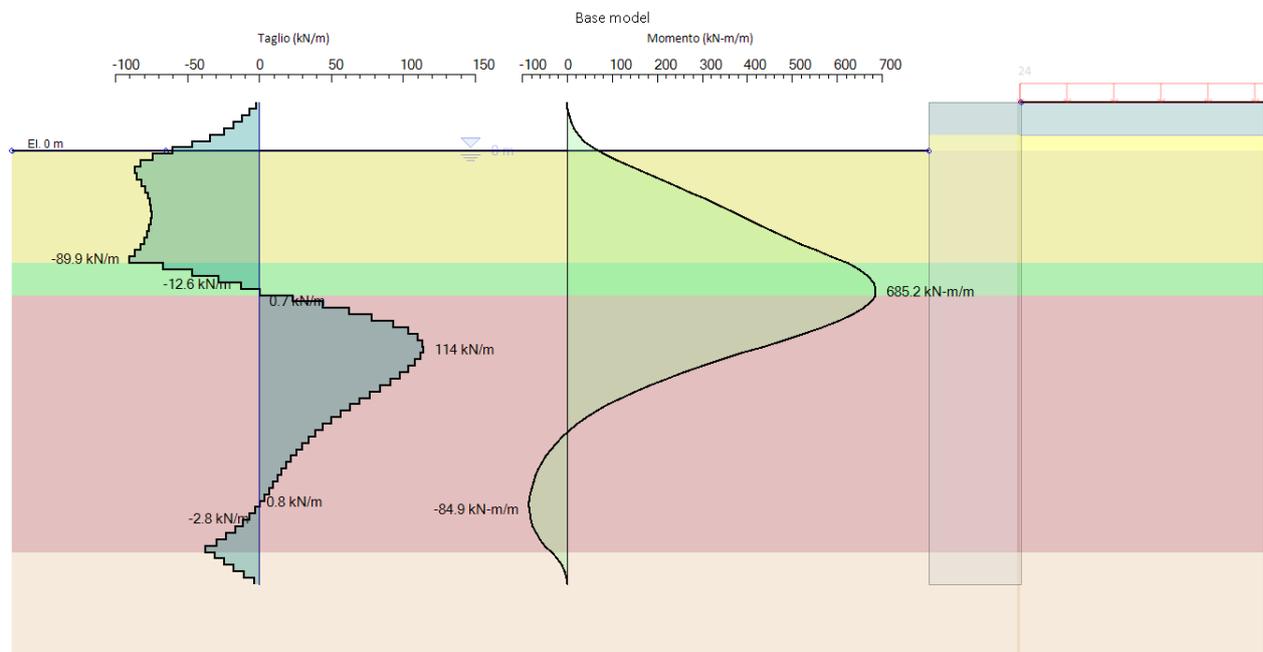


figura 6.36 - lato costa - paratia semiplastica
Fase 2 - condizioni sismiche - massime sollecitazioni (T_{max} , M_{max}) agenti sulla paratia
SLU_EQK (STR)– COMB.2.6

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Paratia metallica di contenimento

Dall'analisi dei risultati emerge che le massime sollecitazioni si sviluppano tra la zona di "immersione permanente" e quella di "infissione" (momento e taglio massimo). A scopo cautelativo le verifiche per le strutture fronte mare sono state condotte considerando la sola sezione corrosa relativa a "immersione permanente"; la resistenza offerta (V_{rd}) all'azione tagliante è data dalla seguente relazione:

$$V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

Si ottiene pertanto per il

lato Nord - palo palanca

$$V_{sd} = 582 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{199 \cdot 27.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 3000.9 \text{ kN/m} - \text{comb 2.3}$$

lato canale - palanca

$$V_{sd} = 163 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{64 \cdot 27.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 968 \text{ kN/m} - \text{comb 2.3}$$

Essendo $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$, non c'è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando solo la sollecitazione di flessione semplice; Il massimo momento resistente per strutture in classe 3 (M_{rd}) è dato da:

$$M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Si ottiene pertanto per il

lato Nord - palo palanca

$$M_{sd} = 2735 \text{ kNm/m} < M_{rd} = \frac{10941 \cdot 10^{-3} \cdot 275}{1.05} = 2865 \text{ kNm/m} - \text{comb 1.2}$$

lato Ovest - palanca

$$M_{sd} = 484 \text{ kNm/m} < M_{rd} = \frac{2155 \cdot 10^{-3} \cdot 275}{1.05} = 564 \text{ kNm/m} - \text{comb 1.4}$$

Paratia semiplastica di contenimento

sezione resistente della paratia semiplastica: 1.00 (H) × 1.00 (L)

Calcestruzzo: C35/45

Armatura longitudinale lato interno: ϕ 20 / 10

Armatura longitudinale lato esterno: ϕ 20 / 20

copriferro: 7 cm

Momento resistente: 1096 kNm/m > 910 kNm/m

Taglio resistente: 349 kN/m > 150 kN/m (senza armatura a taglio)

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Paratia di ancoraggio

lato Nord : pali DN1200 accostati di c.a. infissi/trivellati

Diametro palo: 1.2 m (classe di resistenza calcestruzzo C35/45)

Armatura longitudinale palo: 24 ϕ 26 (acciaio tipo B450C)

Armatrua trasversale: Anelli ϕ 12/20

Momento max resistente per singolo palo: 2000 kNm

Momento max resistente per m di paratia: 2000/1.2= 1670 kNm/m > 1456 kNm/m

Taglio max resistente (procedura proposta da Clarke): 785 kN

Taglio max resistente (per m di paratia): 785/1.2 = 654 kN/m > 582 kN/m

lato canale: palancole tipo AZ18-700

La verifica (V_{rd}) all'azione tagliante è data dalla seguente relazione:

$$V_{sd} = 115 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{35 \cdot 27.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 529 \text{ kN/m} - \text{comb 2.3}$$

Essendo $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{Rd}$, non c'è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando solo la sollecitazione di flessione semplice:

$$M_{sd} = 115 \text{ kNm/m} < M_{rd} = \frac{1256 \cdot 10^{-3} \cdot 275}{1.05} = 328 \text{ kNm/m} - \text{comb 2.3}$$

Tiranti di ancoraggio

I tiranti di ancoraggio sono realizzati con barre in acciaio S 355:

lato Nord: Φ 80 ad interasse costante di 1.45 m.

La sollecitazione massima resistente (N_{Rd}) del tirante (Eurocodice 3 parte 5 par. 7.2.3) è data dal valore minimo tra:

- $N_{tg} = 4727 \times 335 / (1.05 \times 1000) = 1508 \text{ kN}$ (resistenza della sezione corrente);
- $N_{tt} = 0.9 \times 4254 \times 470 / (1.25 \times 1000) = 1440 \text{ kN}$ (resistenza della sezione in corrispondenza della filettatura)

Pertanto si ottiene $N_{Rd} = 1440 \text{ kN} > 963 \text{ kN}$ (comb 2.4)

lato Ovest: Φ 40 ad interasse costante di 1.40m.

La sollecitazione massima resistente (N_{Rd}) del tirante (Eurocodice 3 parte 5 par. 7.2.3) è data dal valore minimo tra:

- $N_{tg} = 1110 \times 335 / (1.05 \times 1000) = 354 \text{ kN}$ (resistenza della sezione corrente);
- $N_{tt} = 0.9 \times 999 \times 470 / (1.25 \times 1000) = 338 \text{ kN}$ (resistenza della sezione in corrispondenza della filettatura)

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Pertanto si ottiene $N_{Rd} = 338 \text{ kN} > 218 \text{ kN}$ (comb 2.3)

6.8.3 Verifiche agli stati limiti di esercizio (SLE)

Paratie metalliche

Le verifiche agli stati limiti di esercizio (nella combinazione rara) consentono di determinare i massimi spostamenti a cui essa è soggetta la paratia metallica.

Paratia combinata (figg.6.36-6.38)

I pali di acciaio, una volta infissi, vengono riempiti con il calcestruzzo per evitare i fenomeni di imbozzamento; le verifiche sia agli SLU sono state eseguite trascurando, in favore di sicurezza, la presenza del cls. Per stimare l'entità degli spostamenti attesi è necessario considerare la rigidità del sistema costituito dal palo riempito con cls e dalla palanca. Tale rigidità è determinata come somma dei momenti d'inerzia dei singoli elementi di acciaio (I_s) e di calcestruzzo (I_c), opportunamente omogeneizzati ($n = E_s/E_c = 6$).

	1/n	Momento Inerzia J (cm ⁴)	Momento Inerzia unitario J (cm ⁴ / m)
Palo-palanca (acciaio)	1	2414005	838196
Palo interno (cls)	1/6	17597202	6110140
Momento Inerzia Equivalentente		5315449	1845642

Si osserva come il momento di inerzia equivalente sia pari a circa il doppio di quello del solo palo-palanca.

Nella tabella seguente sono riportati per le varie condizioni di carico e fasi realizzative gli spostamenti assoluti della sommità della paratia; vengono inoltre indicati gli spostamenti rapportati alla condizione della trave di coronamento una volta realizzata (successivamente al rinfianco con il Tout-venant).

id		Spostamento (cm)	Spostamento relativo (cm)
1	Fase 1 - solo rinfianco	20	0
2	Fase 1 - carico variabile	23	3
3	Fase 2 contemporanea azione del tiro alla bitta, del vento sulla gru e di un'aliquota del massimo sovraccarico verticale	27	7

Paratia lato canale (figg.6.39-6.41)

Analogamente a quanto visto nel paragrafo precedente si riportano gli spostamenti della sommità della paratia sia assoluti e che quelli rapportati alalo scenario di rinfianco della paratia:

id		Spostamento (cm)	Spostamento relativo (cm)
1	Fase 1 - solo rinfiacco	8	0
2	Fase 1 - carico variabile	11	3
3	Fase 2 - massimo sovraccarico verticale	10	2

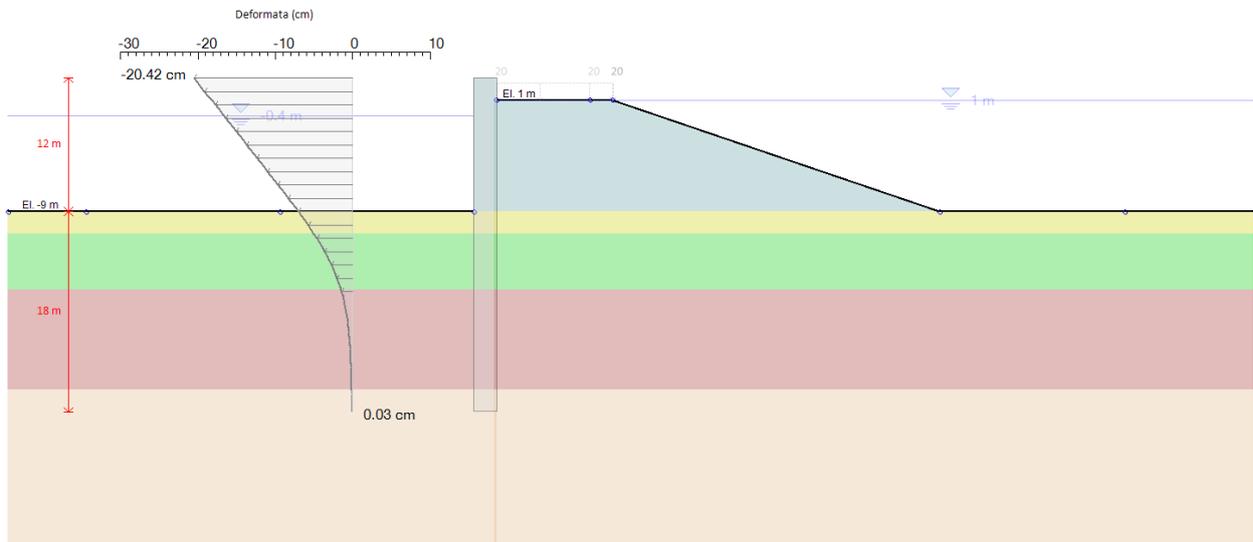


figura 6.37 (id.1) - fase 1 - rinfiacco con tout-venant - spostamenti della paratia

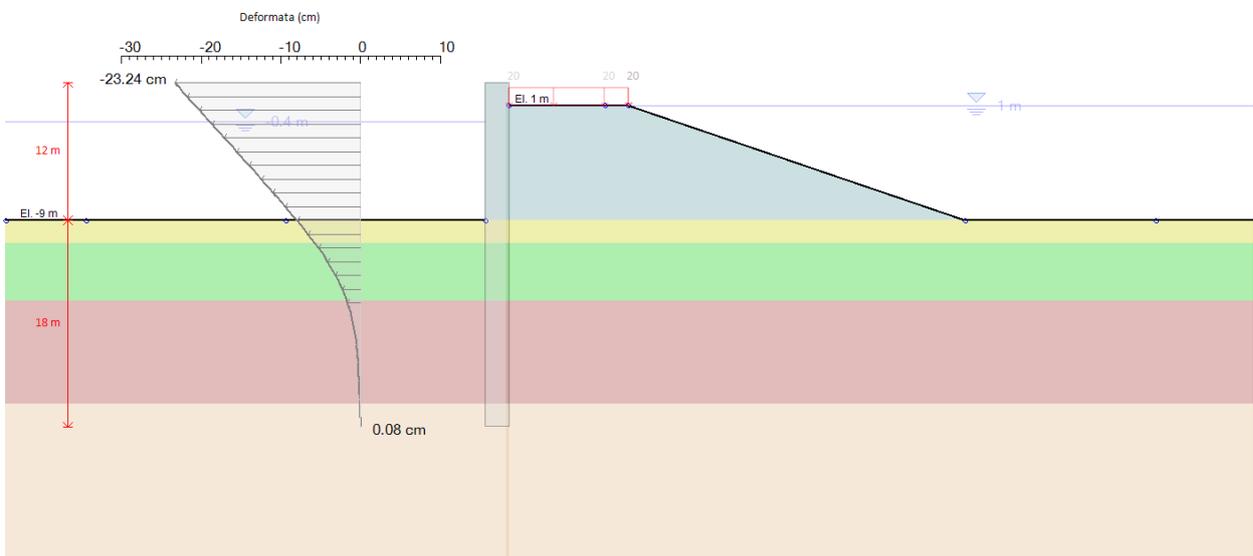


figura 6.38 (id.2) - fase 1 - applicazione del carico variabile - spostamenti della paratia

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

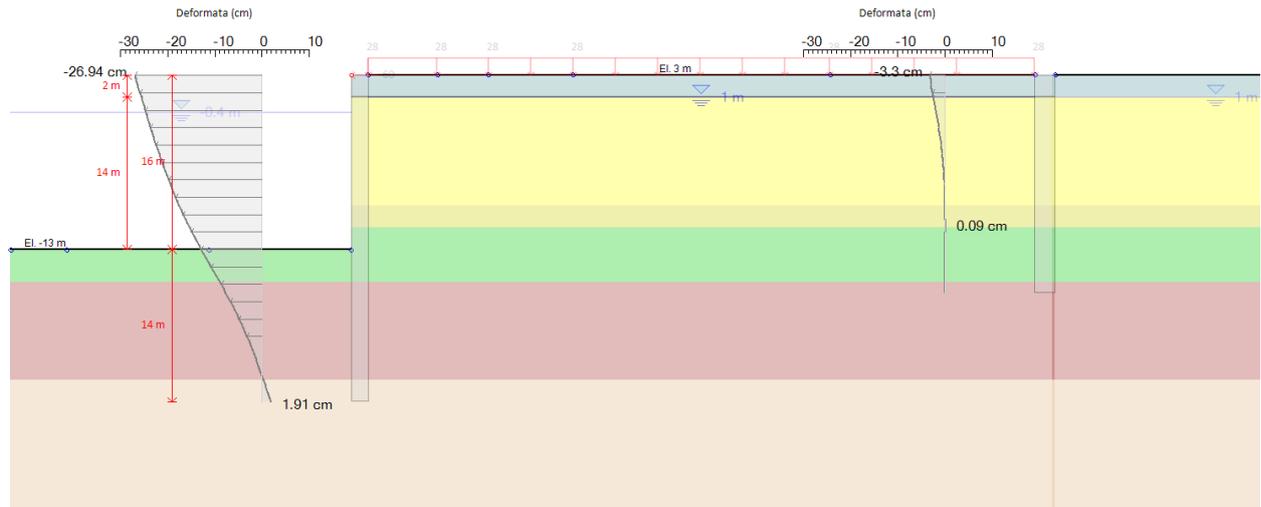


figura 6.39 (id.3) - fase 2 - scenario definitivo - applicazione del carico variabile (tiro alla bitta e vento sulla gru e parte del sovraccarico verticale) - spostamenti della paratia

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti					
		09	017	DR	015	1	CSI

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Paratia semiplastica

Gli elementi di calcestruzzo devono essere verificati agli SLE controllando sia le tensioni che l'apertura delle fessure. In particolare:

- nella combinazione rara:
 $M = 647.6 \text{ kNm/m}$
 $\sigma_s = 2421 \text{ kg/cm}^2 < 0.8 \times f_{yk} = 3600 \text{ kg/cm}^2$ (tensione dell'acciaio)
 $\sigma_c = 56 \text{ kg/cm}^2 < 0.6 \times f_{ck} = 224 \text{ kg/cm}^2$ (tensione del calcestruzzo)
- nella combinazione frequente:
 $M = 491.5 \text{ kNm/m}$
 $w = 0.19 \leq 0.2 \text{ mm}$ (apertura delle fessure in ambiente aggressivo)
- nella combinazione quasi permanente:
 $M = 429.8 \text{ kNm/m}$
 $\sigma_c = 37 \text{ kg/cm}^2 < 0.45 \times f_{ck} = 168 \text{ kg/cm}^2$ (tensione del calcestruzzo)
 $w = 0.17 \leq 0.2 \text{ mm}$ (apertura delle fessure in ambiente aggressivo)

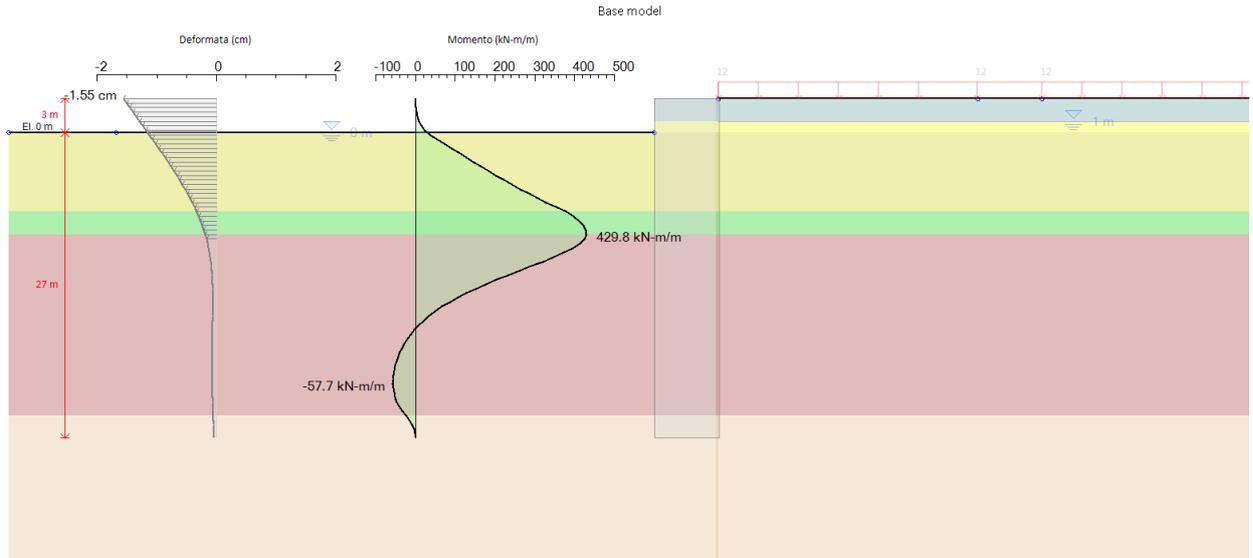


figura 6.43 - combinazione quasi permanente

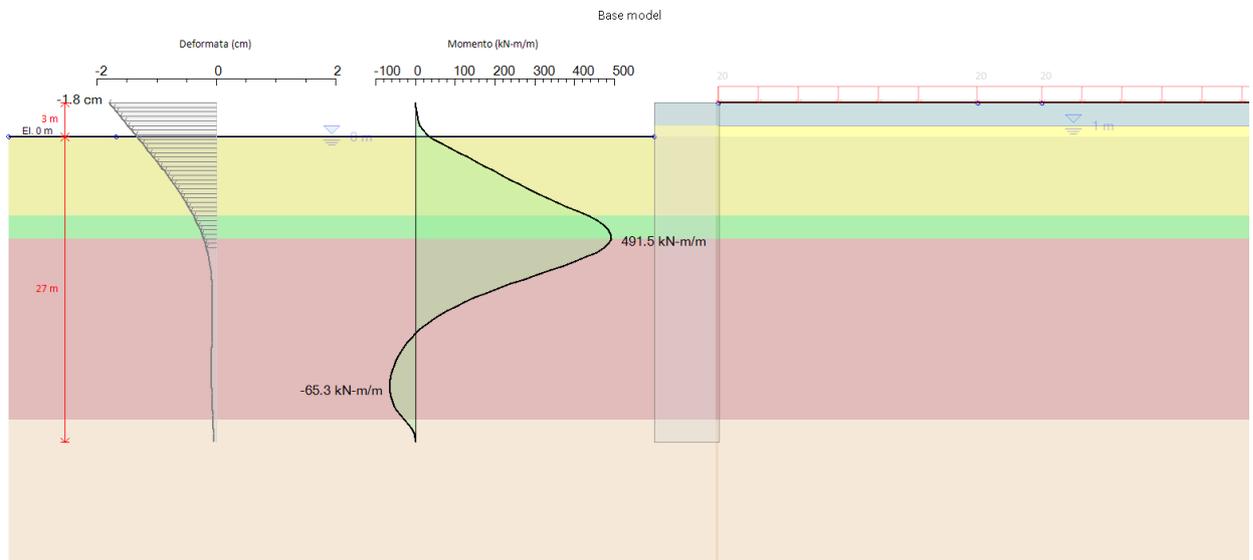


figura 6.44 - combinazione frequente

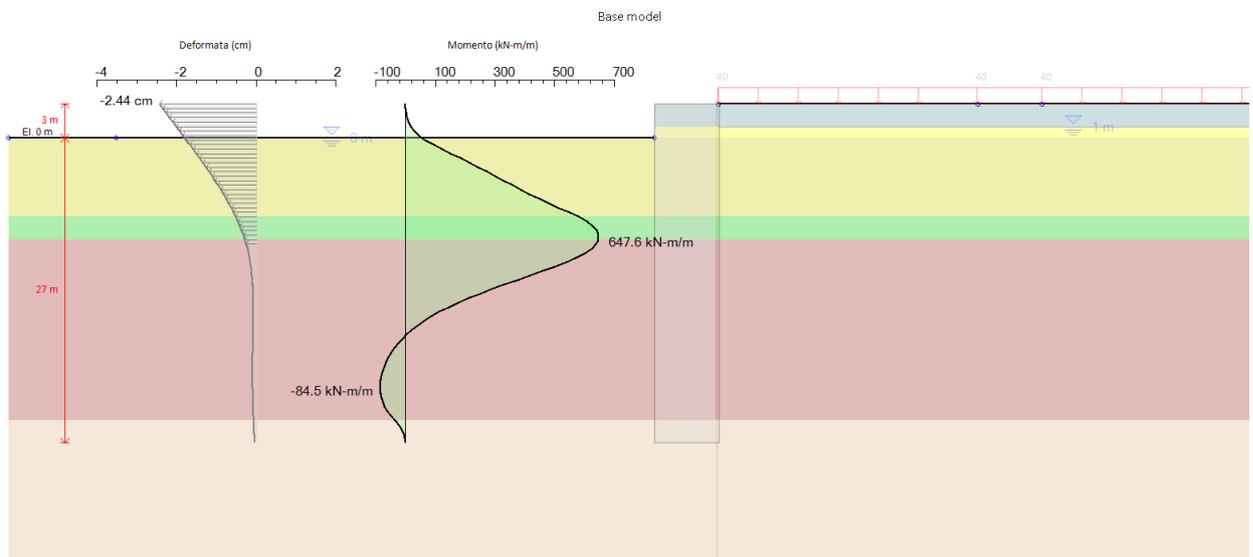


figura 6.45 - combinazione rara

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Capitolo 7 Funzionalità dell'opera

Il materiale proveniente dal dragaggio del porto esterno di Brindisi, costituito essenzialmente da sabbia e da sabbia-limoso, verrà conferito direttamente nella vasca di colmata attraverso l'impianto di sollevamento di cui sono dotate le draghe idrauliche autocaricanti (tipo TSHD o CSD). Queste una volta ormeggiate lungo il filo Nord-Ovest della vasca, scaricheranno i sedimenti attraverso una serie di tubazioni di opportuno diametro nelle varie zone della vasca, permettendo un'immissione omogenea e controllata del materiale. Una minima parte dei sedimenti verrà scavata, trasportata ed immessa nella vasca con mezzi meccanici (ad es. motopontone con escavatore attrezzato con benna stagna). Una serie di accorgimenti tecnici consentirà inoltre una migliore distribuzione dei sedimenti nella vasca e un ottimale occupazione dei volumi disponibili, quali:

- un sistema di tubazioni con diversi punti di scarico - diffusori;
- utilizzo di tubazione facilmente movimentabili nelle varie zone della vasca,;
- utilizzo anche di mezzi anfibi e/o di escavatori posizionato su pontone componibile nella vasca, che non opereranno nelle fasi di immissione dei sedimenti nella vasca

Per garantire lo smaltimento delle acque in esubero durante la fase di conferimento, al fine di garantire il rispetto dei parametri minimi ambientali, la vasca sarà dotata di organi di sfioro, di sedimentazione, di scarico (impianto di sollevamento con possibilità di interrompere immediatamente lo scarico in caso di emergenza) e di punti di controllo della qualità delle acque in uscita (boe multiparametriche).

Tale sistema di scarico garantisce che i processi di sedimentazione del materiale immesso nella vasca si completino all'interno della vasca stessa e che le acque che fuoriescono rispettino i limiti imposta dalla normativa sui solidi sospesi (SST - 80 mg/l).

Per accelerare ulteriormente i processi di sedimentazione si può prevedere di utilizzare anche delle panne galleggianti che verranno posizionate a monte del primo manufatto di sfioro e di scarico della vasca. In questo modo l'acqua e le particelle solide trasportate in sospensione a causa della presenza delle panne galleggianti per attraversare l'ostacolo devono deviare per passare al disotto di questo e quindi le particelle solide in questo passaggio risultano animate da una velocità diretta verso il basso che ne favorisce la deposizione.

Il funzionamento dell'opera di smaltimento delle acque in esubero è il seguente:

1. Una miscela (slurry) di sedimenti (25%) e acqua (75%) verrà immesso nella vasca con una portata media giornaliera di 7.500 m³/g di sedimenti, corrispondente a 30.000 m³/g di slurry.
2. il livello idrico nella vasca tenderà a salire sino quota + 0.30 m s.l.m; entrerà quindi in funzione il primo manufatto di sfioro (L = 10 m) che consentirà il passaggio delle acque verso l'area di sedimentazione.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti					
		09	017	DR	015	1	CSI

3. Nella zona di sedimentazione, le acque di esubero percorreranno un canale a superficie libera (lunghezza in asse: circa 160 m, larghezza media di circa 65 m) fino ad oltrepassare il secondo sfioro (L = 30 m - quota sfioro: l.m.m) e giungere nell'area di carico, chiarificate.
4. Nella vasca di carico un impianto di sollevamento costituito da 3 pompe + una di riserva è in grado di trasferire l'intera portata di 360 l/s (31.000 m³/g) verso il bacino portuale.
5. Una boa multiparametrica installata all'interno della vasca di carico garantisce il controllo in continuo dei principali parametri chimico fisico. Il funzionamento dell'impianto verrà tempestivamente interrotto in caso di superamento dei limiti dei solidi sospesi totali (SST) . Solo quando la concentrazione sarà tornata sotto i limiti si potrà riniziare a sversare materiale e a rimettere in funzione l'impianto di sollevamento.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI	Calcoli delle strutture e degli impianti				
	LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	09	017	DR	015	1

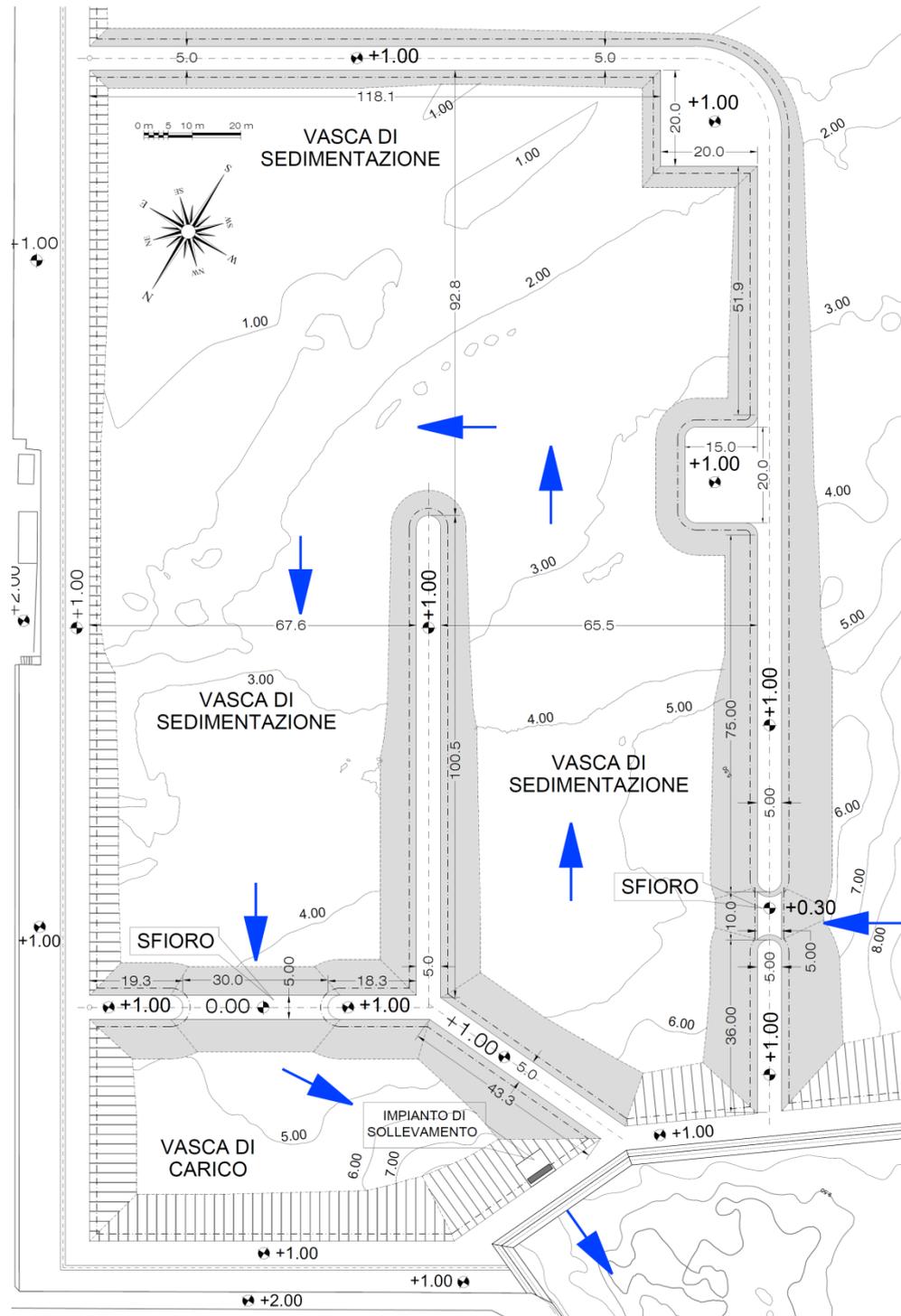


figura 7.1 - Organo di sfioro e di scarico - Vasca di sedimentazione

7.1 Verifiche idrauliche delle opere di scarico

Durante le fasi di riempimento della vasca dovrà uscire dagli organi di scarico un volume d'acqua pari al volume di materiale immesso al suo interno (slurry: acqua e sedimenti). La portata di dimensionamento delle opere è di $30.000 \text{ m}^3/\text{g}$ ($0.35 \text{ m}^3/\text{s}$), pari alla produzione complessiva media giornaliera dei mezzi impiegati.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

7.1.1 Passaggio dell'acqua dalla vasca di colmata alla vasca di sedimentazione e da qui all'area di carico

Per valutare la quota del livello idrico nella vasca di colmata e nella vasca di sedimentazione si utilizza l'espressione valida per uno stramazzo in soglia grossa secondo cui:

$$Q = L \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h^{1.5}}$$

Dove:

- Q è la portata di sfioro corrispondente alla portata di miscela immessa nella vasca è pari a 0.35 m³/s (1250 m³/ora)
- L = 10 m e 30 m - rispettivamente primo e secondo sfioro
- $\mu = 0.385$ - coefficiente di efflusso per stramazzo su soglia grossa
- h è la differenza tra il livello idrico nelle vasche e la quota del ciglio sfiorante

Ne deriva che per poter sfiorare la portata di progetto è necessario che il livello idrico nella vasca di colmata si innalzi di circa 7.0 cm rispetto alla quota di sfioro, portandosi alla quota di +0.37 m s.l.m, mentre nella vasca di sedimentazione il livello in prossimità dello stramazzo è pari +0.04 m s.l.m. (+0.04 cm sulla quota di stramazzo), inferiore alla quota del primo stramazzo.

7.1.2 Canale di sedimentazione

Il canale di sedimentazione raccoglie attraverso il primo sfioratore l'acqua proveniente dalla vasca di colmata. E' di forma pressoché trapezoidale delimitata dal fondale naturale e ai lati dalle scogliere in tout-venant (Larghezza: circa 65 m e lunghezza di circa 160 m), avente nella parte terminale un'ulteriore soglia sfiorante (+ 0.00 m s.l.m.) di collegamento con l'area di carico, monitoraggio e controllo.

Considerando che la portata è pari a 0.35 m³/s e considerando in maniera estremamente cautelativa la quota del fondale fissa a -0.50 m s.l.m, si ottiene:

- la quota carico totale in corrispondenza della soglia è pari a 0.00+0.036 =+0.036 m s.l.m. - formulazione precedente con L = 30 m;
- la quota del livello idrico in corrispondenza dell'inizio del canale è pari a 0.04 m s.l.m., inferiore alla quota della prima soglia (+0.30 m s.l.m), garantendo la disconnessione idraulica tra le due vasche; il calcolo è stato eseguito in condizioni di moto permanente assumendo $n = 0.030$ (coefficiente di Manning per "Earth bottom and rubble side").

7.1.3 Vasca di carico, monitoraggio e controllo

Nella vasca di carico saranno installati un impianto di sollevamento ed una boa con sonda multiparametrica. L'impianto, costituito da 3+1 pompe di tipo sommersa adatta ad ambienti marini con particelle solide, è in grado di sollevare e scaricare nel bacino portuale complessivamente 360 l/s in continuo; tutte le 4 pompe funzioneranno ciclicamente (3 attive e 1 in riposo), in modo tale da consentire un funzionamento ed un logoramento omogeneo di tutte le 4 pompe.

Da ciascuna pompa partirà una tubazioni DN200 di acciaio inox nella parte sommersa e di Pead in quella emersa, che scaricheranno a quota +0.75 m s.l.m all'interno del bacino portuale.

Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale	Ufficio di BRINDISI LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Calcoli delle strutture e degli impianti				
		09	017	DR	015	1

Il sistema di sollevamento si attiverà automaticamente quando il livello idrico raggiungerà quota +0.00 m s.l.m. e si disattiverà quando il livello idrico nella vasca di carico scende sotto la quota -0.50 m s.l.m. Tale valori garantiscono la disconnessione idraulica con la vasca di sedimentazione e permettono un tempo di riposo all'impianto.

Nel caso in cui le concentrazioni di SST superino i livelli minimi accettabili il sistema verrà spento e verrà data immediata comunicazione alla draga di fermare le operazioni di refluentamento.

7.2 Efficienza del sedimentatore

Il materiale dragato è costituito sostanzialmente da materiale sabbioso o sabbioso pelitico, pertanto la legge di Stokes può essere applicata per valutare l'efficienza della vasca di sedimentazione, con le debite correzioni, legate alla forma e concentrazione delle particelle e alla velocità del fluido.

Nel caso in esame la velocità dell'acqua nella vasca di sedimentazione è data da

$$V = Q/(L \times h)$$

dove

$Q = 0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ - portata che defluisce

$L = 65 \text{ m}$ - larghezza della vasca

$h_1 = 0.50 \text{ m}$ - profondità minima della vasca rispetto alla quota di sfioro da cui la velocità media nella vasca è data $V = 1.0 \text{ cm/s}$

Affinché tutte le particelle solide con dimensioni maggiori di "d" sedimentano, occorre che loro velocità di sedimentazione sia maggiore di (V_s):

$$V_s = V \times h / L$$

dove

$V = 1.0 \text{ cm/s}$ - velocità della corrente

$h = 4.00 \text{ cm}$ - quota idrica nella vasca di sedimentazione rispetto al ciglio sfiorante

$L = 160 \text{ m}$ - lunghezza minima del percorso della particella

Si ottiene quindi che la velocità (V_s) minima di sedimentazione dei granuli deve essere pari 0.0003 cm/s , che corrisponde ad un diametro teorico di 0.004 mm .

Si osserva quindi che vista la natura del materiale dragato (sabbia - sabbia pelitica) e la velocità minima di sedimentazione (0.0003 cm/s), la vasca è in grado di garantire il rispetto dei limiti di scarico relativi al SST (80 mg/l).