

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

Dot. Ing. RENATO DEL PRETE
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:

RELAZIONE SULLE STRUTTURE
DELLA CASSA DI COLMATA

ELABORATO N° :

B.03 04

CODICE ELABORATO:

09-017-DR-004-1-VAR

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione sulle strutture della cassa di colmata

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

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	Descrizione delle strutture	10
Capitolo 6	Criteri di verifica delle strutture	16
	6.1 Corrosione della paratia metallica.....	19
	6.2 Azioni variabili.....	22
	6.3 Combinazioni di carico	22
Capitolo 7	Criteri di verifica delle strutture	24
	7.2 Verifiche agli stati limite ultimi (SLU, SLV) e di esercizio (SLE).....	32

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

Capitolo 1 Premesse

La presente relazione "Relazione sulle strutture della cassa di colmata" 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 26 comma1.c del DPR n.207 del 5 ottobre 2010

Nella relazione è riportata la descrizione delle tipologie strutturali, gli schemi e i modelli di calcolo relativi alle strutture previste nell'ambito del progetto definitivo dei "*lavori per il completamento dell'infrastrutturazione portuale mediante banchinamento e realizzazione della retrostante colmata tra il pontile petrolchimico e Costa Morena est*"

In particolare sono riportate le ipotesi assunte per le verifiche di stabilità delle opere di contornamento (paratie metalliche e di calcestruzzo) della nuova vasca di colmata, che si spingono fino a quota -27.50 m s.l.m., intestandosi per almeno 2.0 m nella argilla compatta garantendo l'impermeabilità della vasca nel rispetto dei limiti di Normativa Ambientale:

- Paratia metallica combinata palo-palancola, rinfiata con un argine di Tout-Venant, e posta lungo il lato Nord della vasca;
- paratia metallica di palancole, rinfiata con Tout-venant e posta lungo il lato est a delimitare il nuovo canale di raccolta (quota canale: -3.00 m slm)
- paratia metallica di palancole, collocata lungo il lato Ovest, in prossimità del molo Petrolchimico; il tout venant è utilizzato sia come riempimento tra la paratia ed il molo che come rinfianco.
- paratia semiplastica di calcestruzzo armato, posta lungo il lato sud in corrispondenza dell'attuale linea di riva.

Le verifiche delle paratie sono state svolte secondo le indicazioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 ("Norme tecniche per le costruzioni") e della relativa circolare applicativa considerando, la nuova struttura nelle varie fasi realizzative e di funzionalità ed in particolare:

- *fase 1: vasca di colmata*
- *fase 2: piazzale per contenitori (possibile futuro sviluppo)*

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	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	Tempo di ritorno T_r (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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

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	Tempo di ritorno (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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	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

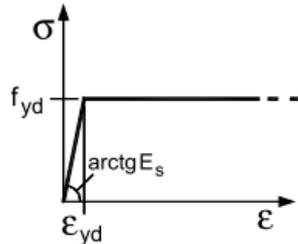


figura 4.1 - Diagramma tensione-deformazione dell'acciaio

4.2 Calcestruzzo

Le opere di c.a., relative alla paratia, 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

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

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

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	1

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

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

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

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

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

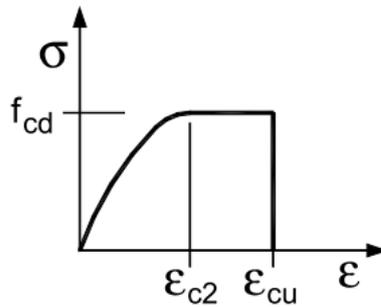


Figura 4.2 – Diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo

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

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

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

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	1

Capitolo 5 Descrizione delle strutture

Il progetto prevede la realizzazione di una vasca di colmata (capacità vasca a quota +1.00 m slm: 800.000 m³) nel porto esterno di Brindisi nella area compresa tra il Pontile Petrolchimico e Costa Morena Est; tale area è destinata dal Piano Regolatore Portuale vigente al contenimento di sedimi portuali. La cassa (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** figura 5.1) è delimitata ad est dallo stesso molo Petrolchimico ed a Sud dall'attuale linea di costa.

Lungo il suo perimetro la vasca è conterminata da una paratia, che garantisce la tenuta idraulica (permeabilità equivalente ad un materiale di spessore pari a 1.00 m e con un coefficiente di permeabilità - k di 10⁻⁹ m/s) sia laterale che inferiormente estendosi fino alla profondità di -27.0 m s.l.m., penetrando per almeno 2.00 m nelle formazione impermeabile di argille compatte Calabriane.

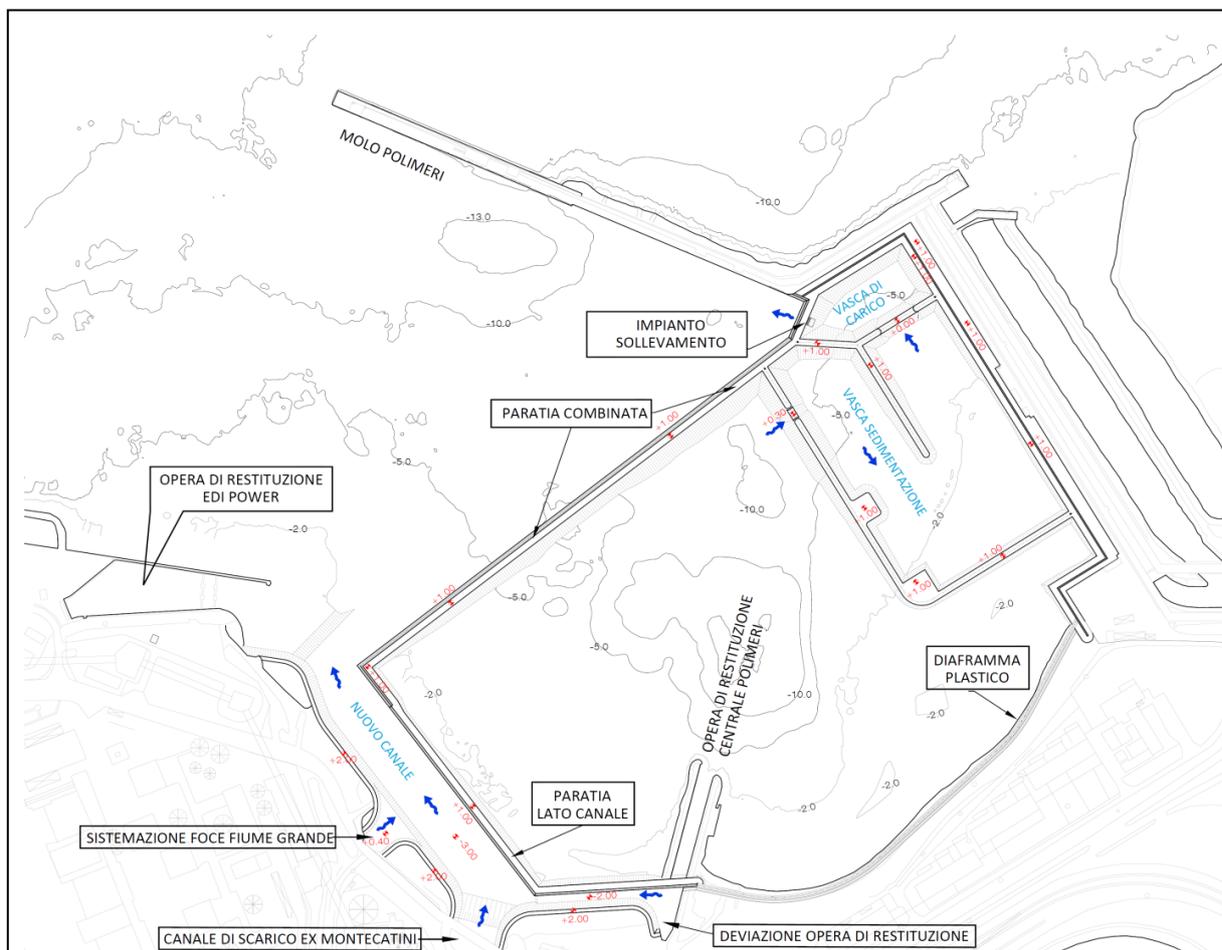


figura 5.1 - Nuova vasca di colmata con indicazione delle paratie

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

La paratia si estende per un'altezza di 28.5 m tra le quote +1.50 e -27.00 m s.m. ed è costituita da

- palancole metalliche con un giunto ambientale di tipo AKila
 - lungo il lato fronte mare (Nord): del tipo combinata palo $\phi 1420$ ($s=22\text{mm}$) - palancole AZ18-700 - lunghezza: circa 500 m (figura 5.2)
 - lungo il lato del canale (ad Est e in parte a Sud) e lungo il lato adiacente al molo Petrolchimico (Ovest): del tipo AZ28-700 - lunghezza rispettivamente di circa 310 m e di circa 475 m (figura 5.3)
- diaframma continuo di calcestruzzo armato C35/45 con spessore 1.0 m e con una lunghezza di 392 m, posto a Sud lungo l'attuale linea di costa; è realizzato con attrezzatura tipo idrofresa, a conci alterni e successiva fresatura del coniglio intermedio per garantire la tenuta idraulica con $k < 10^{-9}$ m/s.

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	1

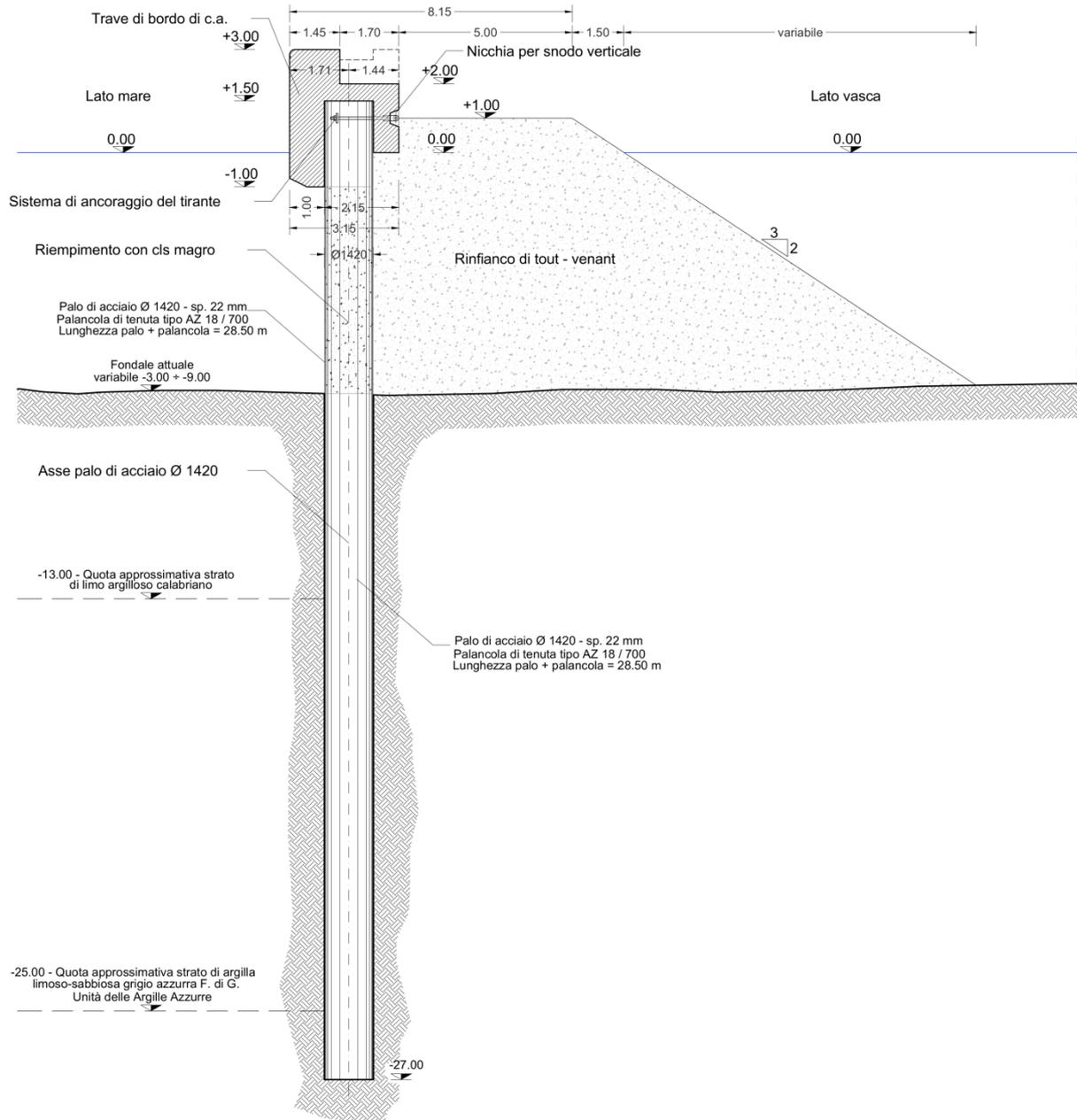


figura 5.2 - Paratia metallica combinata - $\phi 1420$ ($s=22\text{mm}$) e palancola AZ18-700 - lato Nord della vasca

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	1

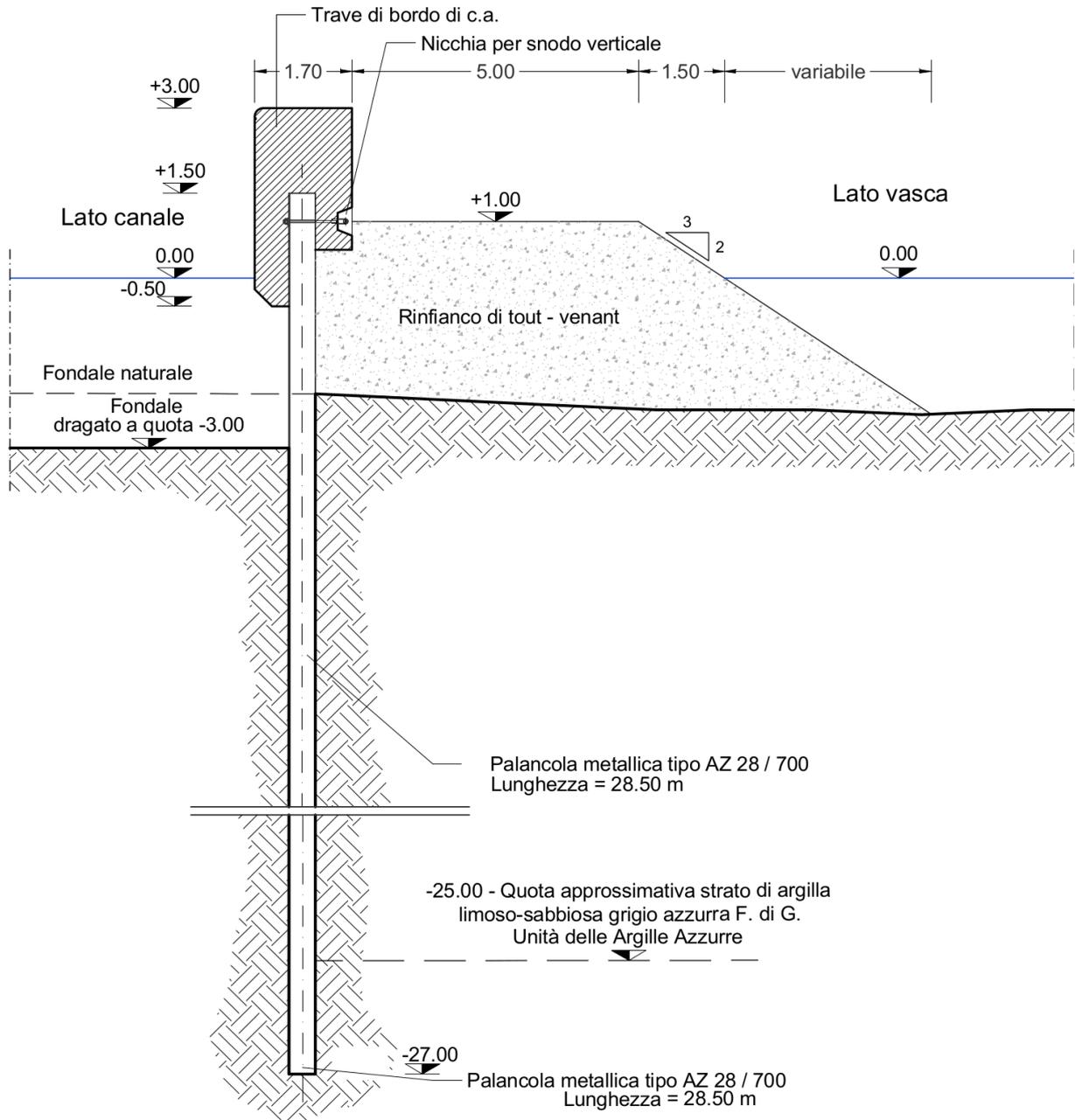


figura 5.3 - Paratia metallica palancola AZ28-700 - lato canale (est della vasca)

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.

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	1

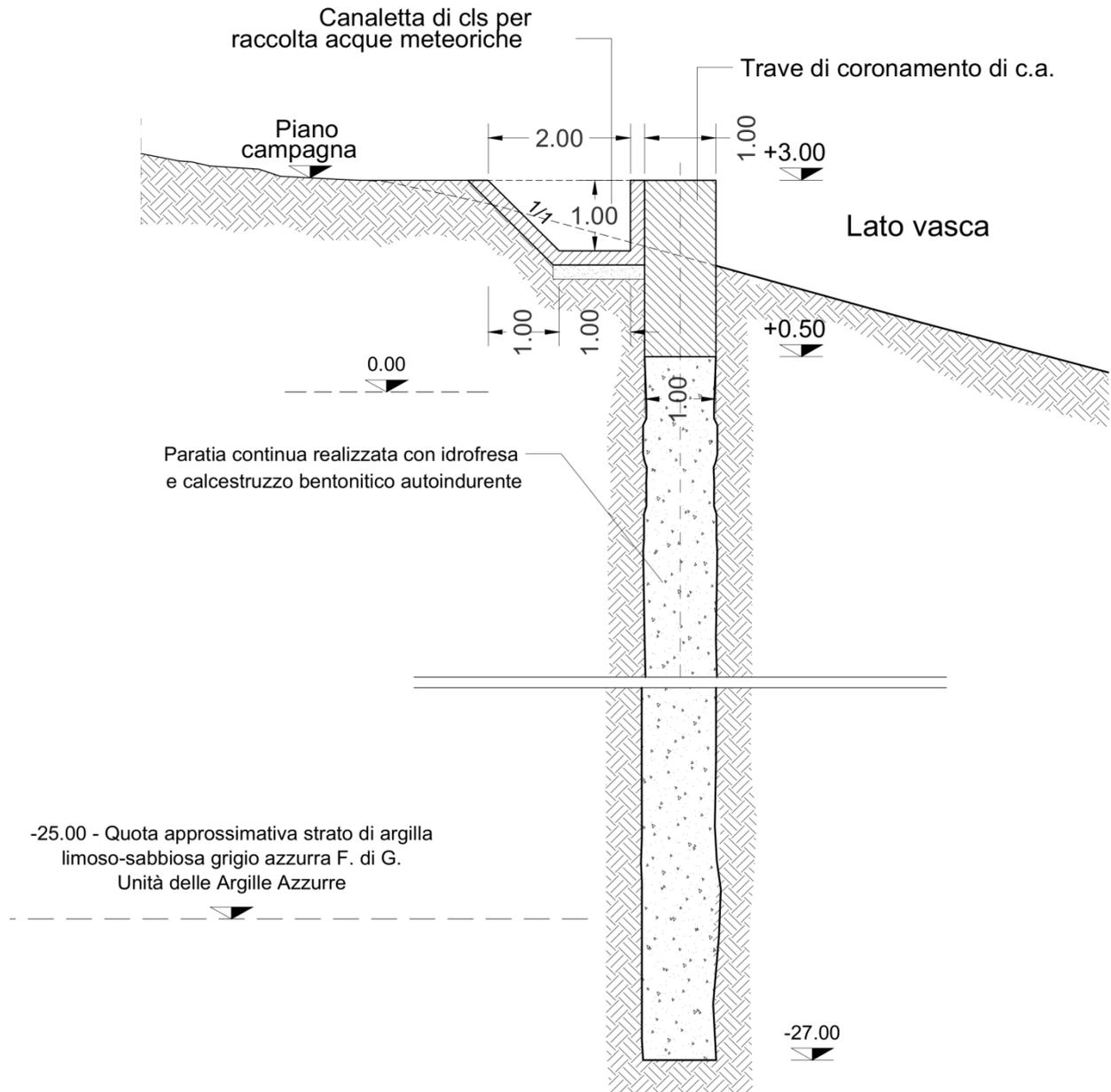


figura 5.4 - - Paratia di calcestruzzo - lato linea di costa (sud della vasca)

Le strutture di conterminazione vengono completate in sommità con la trave di coronamento di calcestruzzo armato (classe di resistenza C45/50 e di esposizione XS3). La trave, posta lungo il canale e lungo la paratia combinata, oltre a garantire un comportamento statico più omogeneo da sezione a sezione per l'applicazione del sovraccarico, protegge le parti metalliche nella zona di swash e di bassa marea dove l'azione corrosiva dell'acqua di mare risulta massima, estendendosi da quota -1.00 m s.l.m. fino a quota +3.00 m s.l.m. Tali travi inoltre sono predisposte con elementi di acciaio zincato posti in apposite tasche, nella parte interna lato vasca, che permetteranno di collocare i tiranti sempre di acciaio per il successivo utilizzo a banchina ed a piazzale portuale.

Si distinguono pertanto le seguenti fasi realizzative:

1) Realizzazione della vasca di colmata

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

- Infissione della paratia metallica con giunto impermeabile tipo 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.
- Rinfianco 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 a quota +3.00 m s.l.m. con la predisposizione dei tiranti di acciaio dove necessario
- colmata con materiale di dragaggio proveniente delle aree del porto esterno di Brindisi.

2) Banchina per ormeggio per navi portacontainer

- 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)

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

Capitolo 6 Criteri di verifica delle strutture

Le verifiche di sicurezza sono 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);
 - sfilamento di uno o più ancoraggi
- 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

la verifica relativa alla stabilità globale viene omessa, in considerazione delle profondità che raggiungono le paratie (-27.00 m s.l.m.) e le caratteristiche meccaniche dei terreni su cui sono imbasate.

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

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

tabella 6.1 - valori dei coefficienti di combinazione (Tab. 2.5.I delle NTC2008)

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
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 palancoati 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 6.2

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	1

tabella 6.2 - 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 6.1 - 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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

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.

6.1 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 (tabella 6.3).

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

tabella 6.3- 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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	1

Considerando che la vita nominale della struttura è pari a 50 anni ed adottando le prescrizioni della UNI EN 1993-5:2007, si adottano i valori descritti nella tabella 6.4

tabella 6.4 - valori di calcolo di corrosione

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

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

6.2 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) - 60 kN/m² sul piazzale retrostante la paratia di ancoraggio
 - **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.

6.3 Combinazioni di carico

Di seguito sono riportati le combinazioni di carico e i relativi coefficienti di combinazione (tabella 6.2) 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".

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

tabella 6.5 - 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 LAVORI PER IL COMPLETAMENTO DELL'INFRASTRUTTURAZIONE PORTUALE MEDIANTE BANCHINAMENTO E REALIZZAZIONE DELLA RETROSTANTE COLMATA TRA IL PONTILE PETROLCHIMICO E COSTA MORENA EST	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

Capitolo 7 Criteri di verifica delle strutture

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 (per la combinazione tipo GEO);
- 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).

Inoltre, 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:

7.1.1 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:

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

- -3.00 ÷ -9.00 m s.l.m. per la paratia combinata (figura 7.1),
- - 3.00 m s.l.m. per la paratia lato canale (figura 7.2)
- + 0.00 m s.l.m. per la paratia di c.a. (figura 7.3)

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.

7.1.2 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).

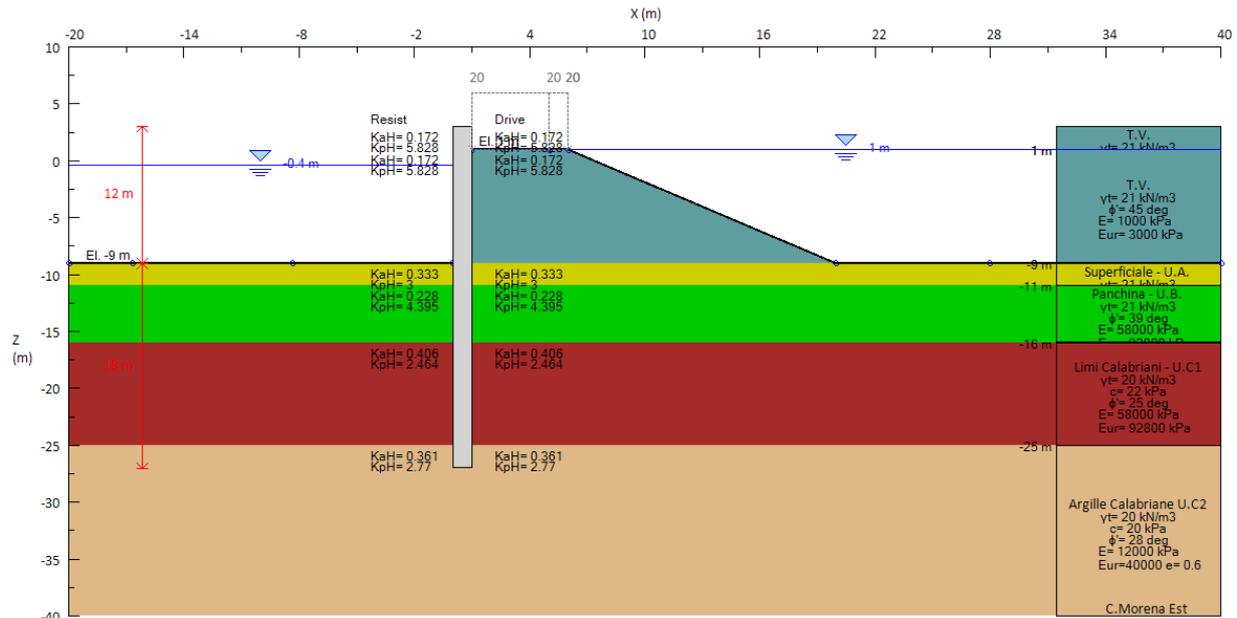


figura 7.1
Fase 1.1 e 1.2 - lato Nord - paratia combinata palo-palanca
infissione paratia e rinfianco con Tout-venant

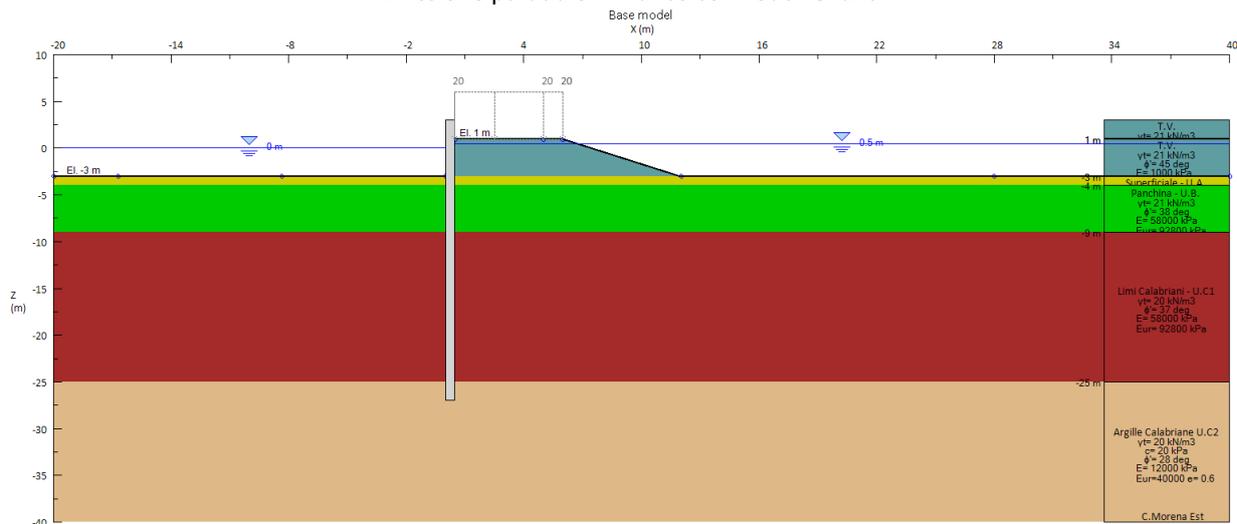


figura 7.2
Fase 1.1 e 1.2 - lato canale - paratia di palancole
infissione paratia e rinfianco con Tout-venant

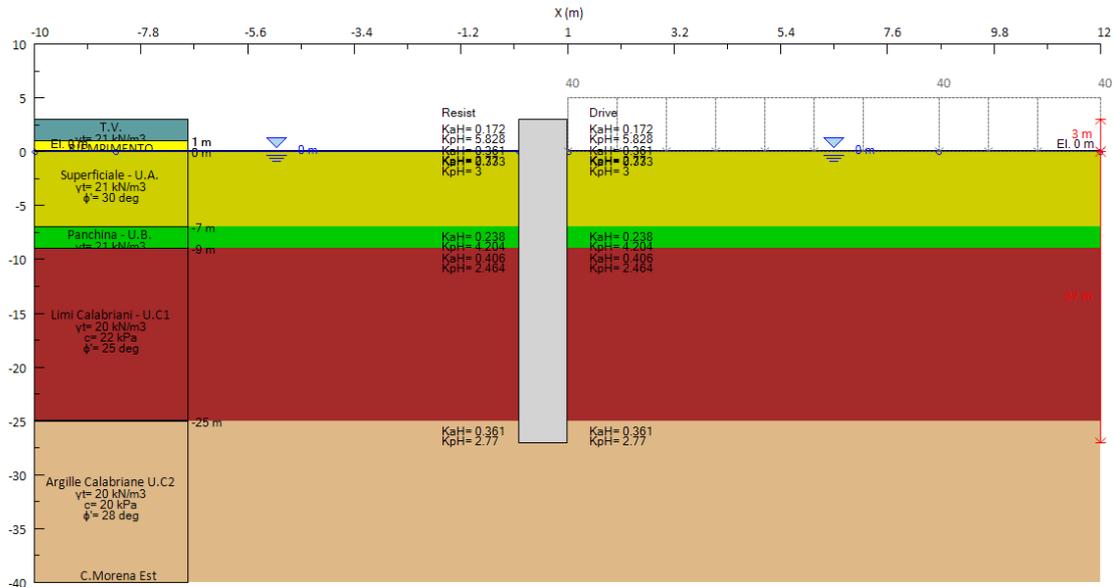


figura 7.3

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

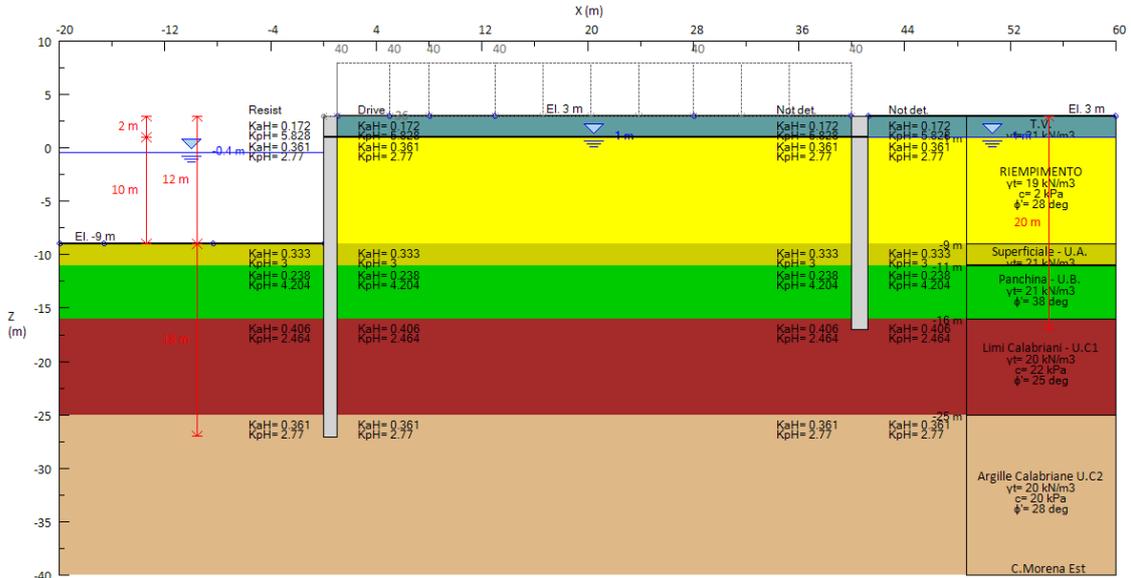


figura 7.4- fase 2.1 - 2.2 e 2.3 - lato Nord - paratia combinata palo-palancole riempimento cassa di colmata, realizzazione pali e tirante di ancoraggio, completamento banchina

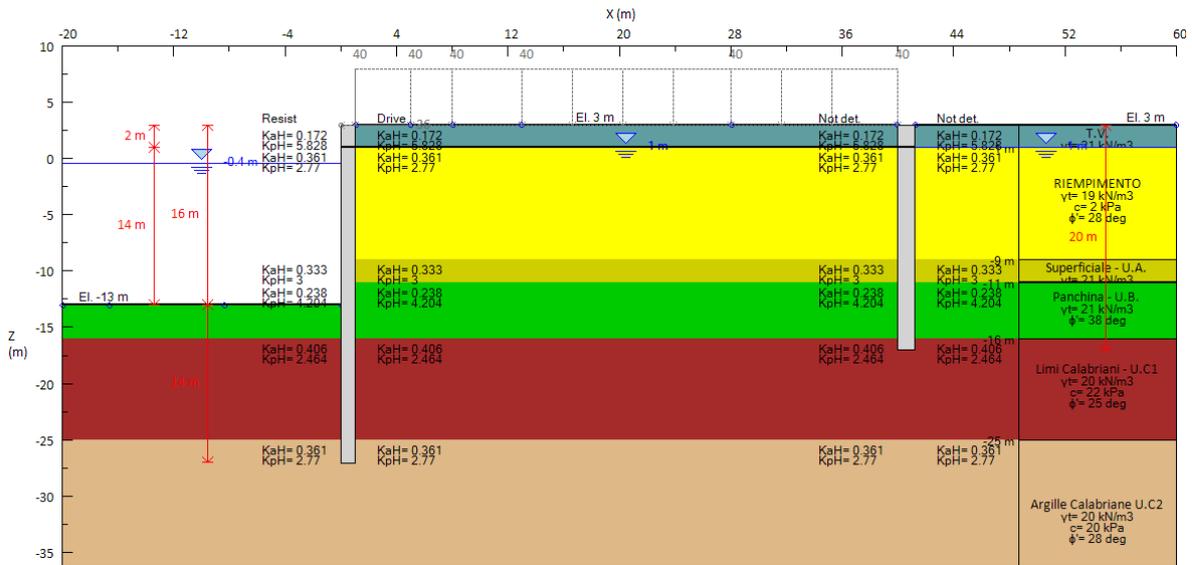


figura 7.5 - fase 2.4 e 2.5 - lato Nord - paratia combinata palo-palancole
Dragaggio lato mare (-13.00 m s.l.m.)

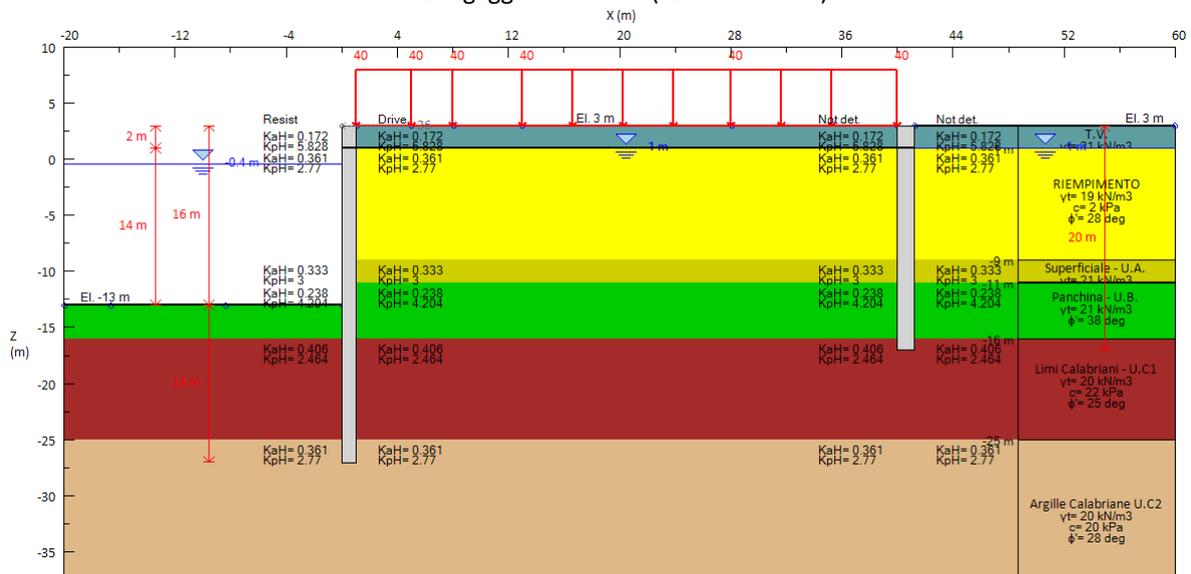


figura 7.6 - fase 2.6 - paratia combinata palo-palancole
applicazione del sovraccarico accidentale sul terrapieno



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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	1

figura 7.7 - 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

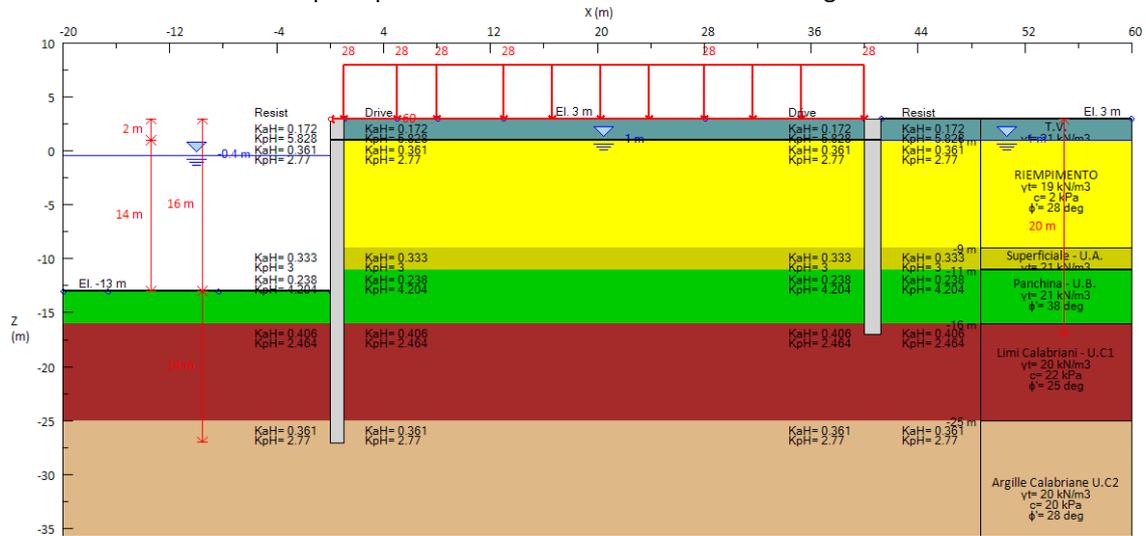


figura 7.8 - fase 2.7b - paratia di palo-palancola
applicazione del tiro della bitta o del vento sulla gru e di quota parte del sovraccarico accidentale sul terrapieno

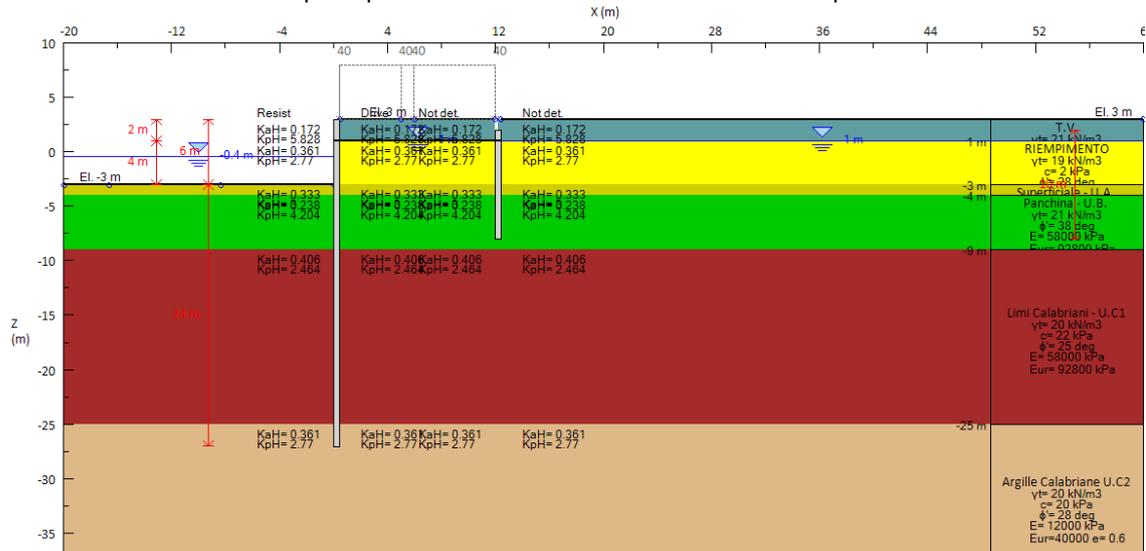


figura 7.9 fase 2.1 - 2.2 - 2.3 e 2.5 - paratia di palancole AZ28-700
riempimento cassa di colmata, realizzazione paratia ancoraggio (AZ18-700)
tirante di ancoraggio e completamento piazzale

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata				
		09	017	DR	004	1

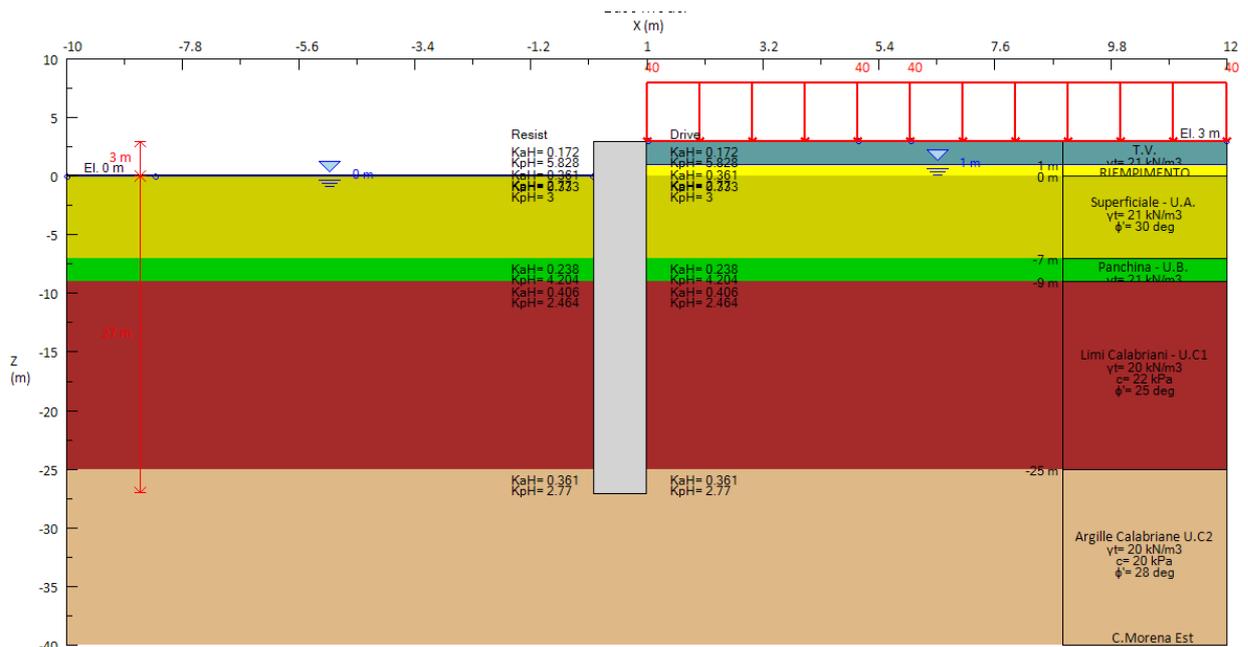


figura 7.12 - fase 2.6 - paratia semiplastica, applicazione del sovraccarico accidentale sul terrapieno

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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

7.2 Verifiche agli stati limite ultimi (SLU, SLV) e di esercizio (SLE)

Con riferimento ai criteri di verifica delle strutture di seguito si riportano i criteri 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).

7.2.1 Verifiche di tipo geotecnico (GEO)

Lo Stato Limite Ultimo di collasso per rotazione attorno ad un punto (atto di moto rigido) è stato verificato per le seguenti combinazioni di carico, sia in condizioni statiche (SLU) che in condizioni dinamiche (SLU_EQK):

FASE 1 - Vasca di colmata

- SLU (GEO) (A2+M2+R1)
- SLU_EQK (GEO) (1.0+M2+R1)

FASE 2 - banchina di ormeggio navi porta contenitori

- SLU (GEO) (A2+M2+R1)
- SLU_EQK (GEO) (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.

7.2.2 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) (A1+M1+R1)
- SLU_EQK (STR) (1.0+M1+R1)

FASE 2 - banchina di ormeggio

- SLU (STR) (A1+M1+R1)
- SLU_EQK (STR) (1.0+M1+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	Relazione sulle strutture della cassa di colmata					
		09	017	DR	004	1	VAR

7.2.3 Verifiche agli stati limiti di esercizio (SLE)

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

Paratia semiplastica di calcestruzzo

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

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