



AUTORITA' PORTUALE DI CAGLIARI

Stazione Marittima - Molo Sanita'
Cagliari

PORTO CANALE CAGLIARI
TERMINAL Ro-Ro
PROGETTO DEFINITIVO
1° LOTTO FUNZIONALE

| revisione | data | descrizione della modifica |
|-----------|------|----------------------------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| | | |

| | | |
|---|--------------------------------|------------------------------|
| Titolo elaborato : CALCOLO PRELIMINARE STRUTTURE E IMPIANTI | Prot. 188 | Data : 11 Gennaio 2013 |
| | N° Elaborato : A.3.a | |
| | Perizia n°: 566 | |
| | Data: 07.10.2010 | |

Progetto :



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Provveditorato Interregionale alle OO.PP. Lazio, Abruzzo e Sardegna
Sede Coordinata di Cagliari

Progettista

Dott. Ing. Walter Quarto

Collaboratori:

P. I. Rinaldo Cotza

Geom. Anna Pala

Consulenti:

Dott. Ing. Marco Tartaglioni

Dott. Ing. Paolo Passino

Dott. Geo. Mauro Pompei

Il Responsabile del procedimento

Autorità Portuale Cagliari

Dott. Ing. Alessandra Mannai

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

AUTORITÀ PORTUALE DI CAGLIARI

AVAMPORTO DI PONENTE DEL PORTO DEL CANALE TERMINAL RO-RO

PROGETTO DEFINITIVO I LOTTO FUNZIONALE

CALCOLI PRELIMINARI DELLE STRUTTURE

Indice

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | Premessa | 3 |
| 2 | Normativa di riferimento | 4 |
| 3 | Pontile di accosto | 5 |
| 3.1 | Caratteristiche dell'opera | 5 |
| 3.1.1 | <i>Vita nominale</i> | 5 |
| 3.1.2 | <i>Classe d'uso</i> | 5 |
| 3.1.3 | <i>Periodo di riferimento per l'azione sismica</i> | 6 |
| 3.1.4 | <i>Classificazione sismica</i> | 6 |
| 3.2 | Caratteristiche dei materiali..... | 7 |
| 3.2.1 | <i>Acciaio per carpenteria metallica</i> | 7 |
| 3.3 | Caratteristiche dei terreni di fondazione..... | 8 |
| 3.4 | Analisi dei carichi..... | 11 |
| 3.4.1 | <i>Carichi permanenti strutturali</i> | 11 |
| 3.4.2 | <i>Tiro alla bitta</i> | 11 |
| 3.4.3 | <i>Forze di accosto/ormeggio</i> | 11 |
| 3.4.4 | <i>Carichi variabili</i> | 11 |
| 3.4.5 | <i>Azione sismica</i> | 12 |
| 3.4.5.1 | Pericolosità sismica del sito | 12 |
| 3.4.5.2 | Stati limite e relative probabilità di superamento | 12 |
| 3.4.5.3 | Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche | 14 |
| 3.4.5.4 | Classe di duttilità | 14 |
| 3.4.5.5 | Tipologia strutturale..... | 14 |
| 3.4.5.6 | Fattore di struttura..... | 14 |
| 3.4.5.7 | Spettri di progetto per gli stati limite ultimi | 14 |
| 3.4.5.8 | Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio | 15 |
| 3.4.5.9 | Tipo di analisi | 15 |
| 3.4.5.10 | Risposta alle diverse componenti dell'azione sismica | 15 |
| 3.5 | Combinazioni di carico..... | 17 |
| 3.5.1 | <i>Stato limite ultimo (SLU)</i> | 17 |
| 3.5.1.1 | Condizioni statiche | 17 |
| 3.5.1.2 | Condizioni dinamiche | 18 |
| 3.5.2 | <i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> | 19 |
| 3.5.2.1 | Condizioni statiche | 19 |
| 3.5.2.2 | Condizioni dinamiche | 19 |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.6 | Briccole..... | 20 |
| 3.6.1 | Calcolo della struttura..... | 20 |
| 3.6.1.1 | Modello strutturale..... | 20 |
| 3.6.1.2 | Sollecitazioni di calcolo..... | 22 |
| 3.6.2 | Verifiche agli stati limite..... | 24 |
| 3.6.2.1 | Verifiche agli stati limite ultimi di tipo strutturale..... | 25 |
| 3.6.2.2 | Verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico..... | 26 |
| 3.6.3 | Verifiche agli stati limite di esercizio..... | 27 |
| 3.7 | Passerelle..... | 28 |
| 3.7.1 | Calcolo della struttura..... | 28 |
| 3.7.1.1 | Modello strutturale..... | 28 |
| 3.7.1.2 | Sollecitazioni di calcolo..... | 31 |
| 3.7.2 | Verifiche agli stati limite..... | 32 |
| 3.7.2.1 | Verifiche agli stati limite ultimi di tipo strutturale..... | 32 |
| 3.7.2.2 | Verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico..... | 34 |
| 3.7.3 | Verifiche agli stati limite di esercizio..... | 36 |
| 4 | Banchine..... | 37 |
| 4.1 | Caratterizzazione sismica..... | 38 |
| 4.2 | Caratteristiche dei materiali..... | 42 |
| 4.3 | Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione..... | 43 |
| 4.3.1 | Banchina 1..... | 44 |
| 4.3.2 | Banchina 2..... | 46 |
| 4.4 | Descrizione delle strutture..... | 48 |
| 4.5 | Criteri di verifica delle strutture..... | 50 |
| 4.6 | Considerazioni sulla corrosione dei palancoati metallici..... | 55 |
| 4.7 | Azioni variabili..... | 60 |
| 4.8 | Elenco delle verifiche dei palancoati..... | 61 |
| 4.8.1 | Banchina 1..... | 61 |
| 4.8.2 | Banchina 2..... | 66 |
| 4.9 | Calcolo e verifica dei palancoati..... | 71 |
| 4.9.1 | Banchina 1..... | 72 |
| 4.9.1.1 | Fasi costruttive..... | 72 |
| 4.9.1.2 | SLU – valori delle sollecitazioni..... | 73 |
| 4.9.1.3 | SLU – verifica delle strutture..... | 78 |
| 4.9.1.4 | SLU_EQK – valori delle sollecitazioni..... | 80 |
| 4.9.1.5 | SLU_EQK – verifica delle strutture..... | 83 |
| 4.9.1.6 | SLE – valori e verifica..... | 85 |
| 4.9.2 | Banchina 2..... | 88 |
| 4.9.2.1 | Fasi costruttive..... | 88 |
| 4.9.2.2 | SLU – valori delle sollecitazioni..... | 89 |
| 4.9.2.3 | SLU – verifica delle strutture..... | 94 |
| 4.9.2.4 | SLU_EQK – valori delle sollecitazioni..... | 96 |
| 4.9.2.5 | SLU_EQK – verifica delle strutture..... | 99 |
| 4.9.2.6 | SLE – valori e verifica..... | 101 |
| 4.10 | Considerazione sulla modellazione del palancoato di banchina..... | 104 |
| | <i>Allegato A – Azioni sulle briccole</i> | |

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | <i>Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale</i> | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|--|--|

1 PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono i calcoli preliminari delle strutture delle opere previste nel progetto del I lotto funzionale del nuovo terminal per navi tipo RO/RO e RO/PAX previsto nell'Avamposto di Ponente del Porto Canale di Cagliari (banchine, pontile di attracco e diga a scogliera).

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | <i>Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale</i> | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|--|--|

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il presente progetto è stato 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.
- DM 14/1/2008 – Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare n. 617/2009 – Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.
- UNI EN 1993-5:2007 – Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e palancole

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3 PONTILE DI ACCOSTO

Il progetto lungo la calata SE del terminal (denominata calata di riva), per consentire l'ormeggio contemporaneo di n°2 navi ro-ro ai denti di attracco lato porto canale, prevede la realizzazione di un pontile metallico costituito da 5 briccole in struttura metallica disposte ad interasse costante di 53,50 m a partire da 12,40 m dal filo banchina, collegate tra loro da 4 passerelle in acciaio con struttura indipendente. Ciascuna briccola è costituita da 5 pali di acciaio a sezione anulare di diametro $\Phi 1420$ e spessore 30 mm infissi alla -33,00 m s.m.m. e disposti sui quattro angoli ed al centro della briccola.

La quota del piano di banchina è pari a +2.50 m s.m.m. mentre la quota di sommità delle briccole è fissata alla +4,50 m s.m.m. e quindi per l'accesso al pontile è prevista una passerella metallica inclinata.

Tutti i pali sono collegati in testa, sia lungo i lati che lungo le diagonali, da travi reticolari realizzate con profili tubolari i cui correnti superiori ed inferiori hanno diametro $\Phi 508$ e spessore 20 mm, mentre i diagonali hanno diametro $\Phi 355,6$ e spessore 20 mm. L'interasse tra i correnti superiori ed inferiori è pari a 3,00 m.

Le passerelle di collegamento sono appoggiate su tre pali di diametro $\Phi 609,6$ sp. 16 mm disposti ad interasse costante di 18,00 m ed infissi alla -28,00 m s.m.m.

3.1 Caratteristiche dell'opera

Nei paragrafi seguenti sono riportati la vita nominale e la classe d'uso delle nuove opere ed il periodo di riferimento per il calcolo delle azioni sismiche.

3.1.1 Vita nominale

La vita nominale dell'opera, 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 stata assunta pari a $V_N = 50$ anni ("costruzioni tipo 2: Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale").

3.1.2 Classe d'uso

La classe d'uso dell'opera in rapporto alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche è stata assunta pari a II ("Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV,

| | |
|-------------------------------------|----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 5 di 105 |
|-------------------------------------|----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.”).

3.1.3 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 ($C_U = 1,00$) da cui si ricava:

$$V_R = 50 \text{ anni}$$

3.1.4 Classificazione sismica

Il Comune di Cagliari (CA) ai sensi della DGR n. 15/31 del 30.03.2004 è classificato in zona sismica 4.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.2 Caratteristiche dei materiali

Le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nella realizzazione delle opere strutturali sono sinteticamente riportate nel seguito.

3.2.1 Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio tipo S355

Valori nominali della resistenza di snervamento f_y e della resistenza ultima a trazione f_u per acciai laminati a caldo:

- Spessore $t \leq 40$ mm
 $f_y = 355$ N/mm²
 $f_u = 490$ N/mm²
- Spessore 40 mm $< t \leq 80$ mm
 $f_y = 335$ N/mm²
 $f_u = 470$ N/mm²

Modulo di elasticità:

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

Modulo di elasticità tangenziale:

$$G = 81.000 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente di Poisson in campo elastico:

$$\nu = 0,30$$

Coefficiente di dilatazione termica lineare:

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per K (} T \leq 100^\circ\text{C)}$$

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.3 Caratteristiche dei terreni di fondazione

Le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione sono state ricavate dalla Relazione geologica e geotecnica redatta dal dott. Mauro Pompei, nella quale per i differenti litotipi riconosciuti è stata fornita una parametrizzazione geotecnica media da utilizzare nei calcoli.

In particolare, come si evince dalla suddetta relazione, la stratigrafia litotecnica rappresentativa per le strutture delle briccole è stata ottenuta mediando i dati dei sondaggi eseguiti nelle vicinanze e nel caso in esame quelli dei sondaggi SM2 ed SM6.

Nella tabella seguente per ciascun litotipo riconosciuto è riportata la parametrizzazione geotecnica media.

Tabella 1 – Litotipi riconosciuti: parametrizzazione geotecnica media

| LITOSTRATO | PUV _{nat} | PUV _{secco} | PUV _{imm} | γ | φ | C _U | C | E _{el} | E _{ed} |
|------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------|-----------|----------------|------|-----------------|-----------------|
| A | 18,00 | | 8,00 | | 32 | | 0,00 | 125 | 175 |
| B | 17,00 | 11,00 | 7,00 | 25,50 | 30 | 0,00 | 0,00 | 45 | 75 |
| C | 15,00 | 10,00 | 5,00 | 25,00 | 26 | 0,01 | 0,00 | 2 | 7 |
| D | 18,00 | | 8,00 | 44,00 | 33 | 0,00 | 0,00 | 175 | |
| E1 | 18,00 | 13,00 | 8,00 | 26,00 | 25 | 0,50 | 0,20 | 20 | 15 |
| EF | 18,50 | 14,00 | 8,50 | 26,00 | 28 | 0,60 | 0,80 | 75 | 50 |
| G | 20,00 | | 10,00 | | 36 | 0,00 | 0,00 | 450 | 475 |

Fonte: Relazione geologica e geotecnica

Nella tabella seguente è invece riportata la stratigrafia litotecnica rappresentativa per le strutture delle briccole.

Tabella 2 – Stratigrafia litotecnica rappresentativa: briccole

| | LITOSTRATO | QUOTA ASSOLUTA (m) | | PUV _{nat} (kN/m ³) | PUV _{secco} (kN/m ³) | PUV _{imm} (kN/m ³) | γ (kN/m ³) | φ (°) | C _U (daN/cm ²) | C (daN/cm ²) | E _{el} (daN/cm ²) | E _{ed} (daN/cm ²) |
|----------|--|--------------------|-------|--|--|--|-------------------------------|---------------|--|-----------------------------|---|---|
| | | TETTO | LETTO | | | | | | | | | |
| BRICCOLE | C Limi ed argille soffici con livelli di paglia marina | 5,00 | 10,00 | 15,00 | 10,00 | 5,00 | 25,00 | 26 | 0,01 | 0,00 | 2 | 7 |
| | D Sabbie limose ± ghiaiose | 10,00 | 26,00 | 18,00 | | 8,00 | 44,00 | 33 | 0,00 | 0,00 | 175 | |
| | EF Alternanze di sabbie e argille | 26,00 | 35,00 | 18,50 | 14,00 | 8,50 | 26,00 | 28 | 0,60 | 0,80 | 75 | 50 |
| | G Ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose | 35,00 | 40,00 | 20,00 | | 10,00 | | 36 | 0,00 | 0,00 | 450 | 475 |

Fonte: Relazione geologica e geotecnica

A seguito delle operazioni di approfondimento dei fondali alla -11,00 m s.m.m. il litotipo C (limi ed argille soffici con livelli di paglia marina) verrà completamente rimosso.

Inoltre i pali delle briccole raggiungono la profondità massima di -33,00 m s.m.m. andandosi così ad intestare nel litotipo EF (alternanze di sabbie ed argille).

| | |
|-------------------------------------|----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 8 di 105 |
|-------------------------------------|----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

I valori riportati nelle tabelle sono stati assunti come valori caratteristici dei parametri geomeccanici dei terreni di fondazione.

I valori di calcolo dei suddetti parametri sono stati ricavati applicando ai valori caratteristici i coefficienti di sicurezza definiti per la combinazione M1. Essendo questi coefficienti unitari, nel caso in esame i valori di calcolo coincidono con quelli caratteristici.

Il terreno a contatto con i pali è stato schematizzato con molle a comportamento elastoplastico perfetto poste ad interasse di 1.00 m, la cui rigidezza è stata assunta crescente con la profondità secondo l'espressione di Reese e Matlock:

$$k_m = n_h \times i_m \times z_m$$

dove z_m è la profondità delle molle a partire dalla quota del fondale, i_m è l'interasse delle molle ed n_h è un coefficiente che tiene conto dello stato di addensamento del terreno, calcolato come:

$$n_h = \gamma' \times A / 1,35$$

Per il valore del coefficiente A sono stati assunti i seguenti valori di letteratura (Viggiani C., Fondazioni, Hevelius Edizioni, Benevento, 2000):

- Litotipo D – Sabbia limose ± ghiaiose: A = 600
- Litotipo EF – Alternanze di sabbie ed argille: A = 600

La reazione limite delle molle del terreno (valori limiti di plasticizzazione) è stata assunta crescente linearmente con la profondità secondo la seguente espressione:

$$R_{calc} = 3 \times k_p \times \gamma' \times z_m \times D \times i_m$$

dove k_p è il coefficiente di spinta passiva del terreno calcolato con la teoria di Rankine, γ' è il peso di volume immerso del terreno, z_m è la profondità delle molle a partire dalla quota del fondale, D è il diametro del palo ed i_m è l'interasse delle molle.

La resistenza caratteristica (R_k) del terreno è stata ottenuta dividendo la reazione limite delle molle ottenuta dal calcolo per il coefficiente ξ_3 funzione del numero di verticali indagate (per n. 2 verticali indagate si ha $\xi_3 = 1,65$):

$$R_k = R_{calc} / \xi_3$$

La resistenza di calcolo (R_d) del terreno è stata quindi calcolata applicando i coefficienti di sicurezza della combinazione R3 ($\gamma_{R3} = 1,15$):

$$R_d = R_k / \gamma_{R3}$$

Inoltre a vantaggio di sicurezza la reazione del terreno è stata assunta nulla fino alla profondità pari a circa $z = 1,00$ m.

Nella tabella seguente sono riportate le rigidezze delle molle con la profondità ed i valori di calcolo delle resistenze del terreno.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Tabella 3 – Rigidezza delle molle e resistenza di calcolo del terreno

| Litotipo | Q | k _m | R _{calc} | R _k | R _d |
|---|----------|------------------------------|-------------------|----------------|----------------|
| | m s.l.m. | kN/m | kN | kN | kN |
| LITOSTRATO D SABBIE LIMOSE ± GHIAIOSE | -11,00 | STRATO DI TERRENO TRASCURATO | | | |
| | -12,00 | | | | |
| | -12,50 | 5.333 | 130,92 | 79,35 | 69,00 |
| | -13,50 | 8.889 | 218,20 | 132,24 | 115,00 |
| | -14,50 | 12.444 | 305,48 | 185,14 | 160,99 |
| | -15,50 | 16.000 | 392,77 | 238,04 | 206,99 |
| | -16,50 | 19.556 | 480,05 | 290,94 | 252,99 |
| | -17,50 | 23.111 | 567,33 | 343,84 | 298,99 |
| | -18,50 | 26.667 | 654,61 | 396,73 | 344,99 |
| | -19,50 | 30.222 | 741,89 | 449,63 | 390,98 |
| | -20,50 | 33.778 | 829,17 | 502,53 | 436,98 |
| | -21,50 | 37.333 | 916,45 | 555,43 | 482,98 |
| | -22,50 | 40.889 | 1.003,73 | 608,32 | 528,98 |
| | -23,50 | 44.444 | 1.091,02 | 661,22 | 574,98 |
| | -24,50 | 48.000 | 1.178,30 | 714,12 | 620,97 |
| -25,50 | 51.556 | 1.265,58 | 767,02 | 666,97 | |
| LITOSTRATO E ALTERNANZA DI SABBIE E ARGILLE | -26,50 | 58.556 | 1.903,84 | 1.153,85 | 1.003,34 |
| | -27,50 | 62.333 | 2.026,67 | 1.228,29 | 1.068,08 |
| | -28,50 | 66.111 | 2.149,50 | 1.302,73 | 1.132,81 |
| | -29,50 | 69.889 | 2.272,33 | 1.377,17 | 1.197,54 |
| | -30,50 | 73.667 | 2.395,16 | 1.451,61 | 1.262,27 |
| | -31,50 | 77.444 | 2.517,99 | 1.526,05 | 1.327,00 |
| | -32,50 | 81.222 | 2.640,82 | 1.600,49 | 1.391,73 |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.4 Analisi dei carichi

Nel seguito è riportata l'analisi dei carichi agenti sulle briccole del nuovo terminale marittimo per l'attracco e l'ormeggio di navi tipo RO/RO e RO/PAX. L'analisi si riferisce alla struttura tipo della briccola sottoposta alle azioni più gravose. Per i carichi dovuti al tiro alla bitta ed alle forze di ormeggio ed accosto si rimanda alla relazione specialistica riportata nell'Allegato A.

3.4.1 Carichi permanenti strutturali

I carichi permanenti strutturali dovuti al peso proprio degli elementi di acciaio sono stati valutati assumendo per l'acciaio un peso di volume pari a:

$$g_{1k} = 78,50 \text{ kN/m}^3$$

3.4.2 Tiro alla bitta

Sulle briccole è prevista l'installazione di 1 bitta da 80 t in posizione centrale. Nei calcoli si assume che il tiro alla bitta agisca ortogonalmente al fronte di accosto e nel piano orizzontale dell'impalcato.

Nei calcoli il valore caratteristico del tiro alla bitta è pari a:

$$Q_{1k} = 800 \text{ kN}$$

I coefficienti di combinazione dell'azione sono i seguenti ("vento"):

$$\Psi_{0j} = 0.6 \quad \Psi_{1j} = 0.2 \quad \Psi_{2j} = 0.0$$

3.4.3 Forze di accosto/ormeggio

Sulle briccole è prevista l'installazione di 4 parabordi, due su ogni fronte di accosto, posizionati in corrispondenza dei pali d'angolo. Poiché le azioni dovute all'accosto/ormeggio dei parabordi hanno verso opposto, nei calcoli è portata in conto solo la forza agente sui parabordi posizionati sullo stesso lato ed agente nella stessa direzione del tiro alla bitta. Si assume inoltre che le forze agiscono ortogonalmente al fronte di accosto della briccola e nel piano orizzontale dell'impalcato.

Nei calcoli il valore caratteristico delle forze di ormeggio è pari a:

$$Q_{2k} = 2 \times 600 \text{ kN}$$

I coefficienti di combinazione dell'azione sono i seguenti ("vento"):

$$\Psi_{0j} = 0.6 \quad \Psi_{1j} = 0.2 \quad \Psi_{2j} = 0.0$$

3.4.4 Carichi variabili

Il valore del sovraccarico è stato definito in base alla sua destinazione d'uso ed ai valori già adottati negli ultimi anni nella progettazione di altre analoghe

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

strutture portuali. Pertanto il sovraccarico variabile considerato agente come un carico uniformemente distribuito sull'impalcato è stato assunto pari a:

$$Q_{3k} = 2,00 \text{ kN/m}^2$$

I coefficienti di combinazione dell'azione sono i seguenti ("Cat. B1: uffici non aperti al pubblico"):

$$\Psi_{0j} = 0,7 \quad \Psi_{1j} = 0,5 \quad \Psi_{2j} = 0,3$$

3.4.5 Azione sismica

3.4.5.1 Pericolosità sismica del sito

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) sono assegnati i valori dei seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Ai fini della definizione del periodo di riferimento dell'azione sismica (V_R), con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni previste nel presente progetto sono assegnate alla classe d'uso II, alla quale appartengono le costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento (V_R) che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale (V_N) per il coefficiente d'uso (C_U), definito in funzione della classe d'uso (DM 14/1/2008 Tab. 2.4.II):

$$V_R = V_N \times C_U$$

Per costruzioni in classe II, il coefficiente d'uso (C_U) è pari a 1,0. Pertanto la vita di riferimento per le azioni sismiche (V_R) delle opere strutturali è pari a 50 anni.

3.4.5.2 Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 12 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono le seguenti:

- **SLO:** $P_{VR} = 81\%$
- **SLD:** $P_{VR} = 63\%$
- **SLV:** $P_{VR} = 10\%$
- **SLC:** $P_{VR} = 5\%$

a cui corrispondono i seguenti periodi di ritorno dell'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite:

- **SLO:** $T_R = 30$ anni
- **SLD:** $T_R = 50$ anni
- **SLV:** $T_R = 475$ anni
- **SLC:** $T_R = 975$ anni

I parametri sismici per la definizione dell'azione sismica in ciascuno degli stati limite considerati sono riportati nella tabella seguente:

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 13 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Tabella 4 – Parametri sismici
Regione Sardegna, Provincia di Cagliari, Comune di Cagliari
(Fonte Tabella 2 delle NTC2008)

| STATO LIMITE | T _R [anni] | a _g [g] | F _o [-] | T _c * [s] |
|--------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| SLO | 30 | 0,0186 | 2,61 | 0,273 |
| SLD | 50 | 0,0235 | 2,67 | 0,296 |
| SLV | 475 | 0,0500 | 2,88 | 0,340 |
| SLC | 975 | 0,0603 | 2,98 | 0,372 |

3.4.5.3 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*

La categoria di sottosuolo di riferimento per il sito in esame è la categoria C. Tale categoria è stata ricavata dalla Relazione geologica e geotecnica redatta dal geol. Mauro Pompei.

La categoria topografica di riferimento è invece la categoria T1 (“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ”).

3.4.5.4 *Classe di duttilità*

La struttura è calcolata in classe di duttilità bassa (CD“B”).

3.4.5.5 *Tipologia strutturale*

La struttura sismo-resistente dell’opera può essere classificata come “strutture a mensola o a pendolo inverso”, costituite da membrature pressoinflesse in cui le zone dissipative sono collocate alla base.

3.4.5.6 *Fattore di struttura*

Il fattore di struttura q è dato da:

$$q = q_0 \times K_R = 2,00$$

dove:

- $q_0 = 2,00$ (classe di duttilità CD“B” e strutture a mensola o a pendolo inverso);
- $K_R = 1.00$ (struttura regolare in altezza)

3.4.5.7 *Spettri di progetto per gli stati limite ultimi*

Ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture sono state messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura, assumendo comunque $S_d(T) \geq 0,2a_g$.

Lo stato limite ultimo si considera conseguito qualora sono rispettate le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

3.4.5.8 Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata.

Lo stato limite di esercizio si considera conseguito qualora sono rispettate le verifiche allo stato limite di danno (SLD).

3.4.5.9 Tipo di analisi

Il metodo di riferimento per determinare gli effetti dell'azione sismica utilizzato è l'analisi modale con spettro di risposta o "analisi lineare dinamica", in cui l'equilibrio è stato trattato dinamicamente e l'azione sismica è stata modellata direttamente attraverso lo spettro di progetto.

L'analisi dinamica lineare è stata eseguita come segue:

- determinando i modi di vibrare della costruzione (analisi modale);
- calcolando gli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
- combinando gli effetti dei modi.

Sono stati considerati tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% ed aventi complessivamente una massa partecipante totale superiore all'85%.

Gli effetti relativi a ciascun modo sono stati combinati utilizzando una combinazione quadratica completa (CQC) degli effetti relativi modo.

3.4.5.10 Risposta alle diverse componenti dell'azione sismica

Avendo valutato la risposta della struttura mediante analisi dinamica in campo lineare la risposta può essere calcolata separatamente per ciascuna delle tre componenti. Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati successivamente, applicando la seguente espressione:

$$E = 1.00 \times E_x + 0.30 \times E_y + 0.30 \times E_z$$

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 15 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | <i>Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale</i> | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|--|--|

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi e conseguente individuazione degli effetti più gravosi.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.5 Combinazioni di carico

I calcoli sono stati eseguiti combinando i carichi secondo le combinazioni riportate nei paragrafi seguenti.

3.5.1 Stato limite ultimo (SLU)

Ai fini delle verifiche agli stati limite ultimi in condizioni statiche e dinamiche nei confronti dei seguenti stati limite:

- *SLU di tipo strutturale (STR):*
 - *raggiungimento della resistenza dei pali;*
 - *raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali;*
- *SLU di tipo geotecnico (GEO):*
 - *collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;*
 - *collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;*
 - *collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;*

è stato adottato l'Approccio 2 nel quale sono impiegati due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali (Combinazione A1+M1+R3), rispettivamente definiti per le azioni (**A1**), per la resistenza dei materiali (**M1**) ed, eventualmente, per la resistenza globale del sistema (**R3**).

Nelle verifiche effettuate con l'Approccio 2 finalizzate al dimensionamento strutturale il coefficiente γ_R non è stato portato in conto.

3.5.1.1 Condizioni statiche

In condizioni statiche i coefficienti parziali per le azioni (**A1**) sono i seguenti:

- Carichi permanenti, G_{1k} (pesi propri): $\gamma_F = \gamma_{g1} = 1,0-1,3$
- Carico variabile n. 1, Q_{1k} (tiro alla bitta): $\gamma_F = \gamma_{q1} = 1,5$
- Carico variabile n. 2, Q_{2k} (forze di accosto/ormeggio): $\gamma_F = \gamma_{q2} = 1,5$
- Carico variabile n. 3, Q_{3k} (sovraccarico): $\gamma_F = \gamma_{q3} = 1,5$

I coefficienti parziali per i parametri geotecnici **M1** adottati sono i seguenti:

- Tangente dell'angolo di resistenza a taglio, $\tan\Phi'_k$: $\gamma_M = 1,00$
- Coesione efficace, c'_k : $\gamma_M = 1,00$
- Resistenza non drenata, c_{uk} : $\gamma_M = 1,00$
- Peso dell'unità di volume, γ : $\gamma_M = 1,00$

I coefficienti **R3** adottati sono (pali infissi):

- Resistenza alla base: $\gamma_R = 1,15$
- Resistenza laterale in compressione: $\gamma_R = 1,15$

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 17 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

- Resistenza laterale in trazione: $\gamma_R = 1,25$

Le combinazioni di carico definite sono pertanto le seguenti:

- **SLU-1:** $\gamma_{g1} \times G_{1k} + \gamma_{q1} \times Q_{1k}$ con $\gamma_{g1} = 1,0$ per massimizzare l'azione di sfilamento nei pali e $\gamma_{q1} = 1,3$ per massimizzare il carico alla punta dei pali
- **SLU-2:** $\gamma_{g1} \times G_{1k} + \gamma_{q2} \times Q_{2k}$
- **SLU-3:** $\gamma_{g1} \times G_{1k} + \gamma_{q3} \times Q_{3k}$

3.5.1.2 Condizioni dinamiche

In condizioni sismiche lo stato limite ultimo si considera conseguito qualora sono rispettate le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (**SLV**).

I coefficienti parziali per le azioni (**A1**) sono posti uguali a **1.0**, mentre quelli per i parametri geotecnici **M1** ed i coefficienti **R3** sono uguali a quelli adottati per le condizioni statiche.

L'azione sismica è stata inoltre combinata con le altre azioni portando in conto le masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$$

Le combinazioni di carico definite sono pertanto le seguenti:

- **SLV-1:** $E_1 + G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$
- **SLV-2:** $E_2 + G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$
- **SLV-3:** $E_3 + G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$

dove:

- $E_1 = 1.00 \times E_x + 0.30 \times E_y + 0.30 \times E_z$
- $E_2 = 0.30 \times E_x + 1.00 \times E_y + 0.30 \times E_z$
- $E_3 = 0.30 \times E_x + 0.30 \times E_y + 1.00 \times E_z$

Le strutture delle bricole, essendo realizzate in acciaio, risultano dal punto di vista sismico, opere leggere con valori delle masse molto bassi. La stessa massa associata al sovraccarico variabile risulta modesta. Ciò comporta piccoli valori delle forze inerziali orizzontali e verticali del tutto trascurabili se confrontati con i valori delle azioni derivanti dall'ormeggio e dall'accosto delle imbarcazioni.

Per tale motivo le verifiche allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) in condizioni dinamiche sono state omesse.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.5.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio per i parametri geotecnici sono stati assunti coefficienti parziali unitari.

3.5.2.1 Condizioni statiche

Ai fini delle verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) nei confronti della fessurazione e delle tensioni nei materiali sono state definite le seguenti combinazioni di carico:

Combinazioni rare:

- **SLE-RAR-1:** $G_{1k} + Q_{1k}$
- **SLE-RAR-2:** $G_{1k} + Q_{2k}$
- **SLE-RAR-3:** $G_{1k} + Q_{3k}$

Combinazioni frequenti:

- **SLE-FRE-1:** $G_{1k} + \Psi_{11} \times Q_{1k}$
- **SLE-FRE-2:** $G_{1k} + \Psi_{12} \times Q_{2k}$
- **SLE-FRE-3:** $G_{1k} + \Psi_{13} \times Q_{3k}$

Combinazioni quasi permanenti:

- **SLE-QPE-1:** $G_{1k} + \Psi_{23} \times Q_{3k}$

3.5.2.2 Condizioni dinamiche

In condizioni sismiche lo stato limite di esercizio si considera conseguito qualora sono rispettate le verifiche allo stato limite di danno (SLD). Più in dettaglio le verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio degli elementi strutturali, degli elementi non strutturali e degli impianti si effettuano rispettivamente in termini di “resistenza”, di “contenimento del danno” e di “mantenimento della funzionalità”.

Nel caso in esame la struttura risulta priva di elementi non strutturali e di impianti per i quali sono richieste le suddette verifiche degli elementi strutturali. Per tale motivo le verifiche allo stato limite di esercizio in condizioni dinamiche sono state omesse.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.6 Briccole

3.6.1 Calcolo della struttura

Le cinque briccole in struttura metallica del nuovo terminale marittimo nell'Avamposto di Ponente del Porto Canale di Cagliari sono composte da cinque pali ciascuna collegati in testa da un sistema di travi reticolari. Tutte le briccole hanno le medesime caratteristiche geometriche e strutturali. Pertanto vista la modularità dell'opera il calcolo della struttura è stato eseguito con riferimento alla struttura tipo di una bricola.

3.6.1.1 Modello strutturale

La struttura è stata modellata con l'ausilio del codice di calcolo agli elementi finiti SAP2000. Il modello strutturale è stato costruito a partire dalla geometria della bricola assegnando i materiali e le sezioni seguenti:

Materiali:

Acciaio S355: $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$; $m = 7,85 \text{ t/m}^3$; $E = 210.000 \text{ MPa}$; $\nu = 0,30$;
 $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ/\text{C}$

Sezioni:

D1420 sp. 30 mm = Pali; $A = 0,131 \text{ m}^2$; $J = 0,0317 \text{ m}^4$; $W_{el} = 0,0446 \text{ m}^3$;
 $W_{pl} = 0,058 \text{ m}^3$; S355

D508 sp. 30 mm = Correnti; $A = 0,0451 \text{ m}^2$; $J = 0,00129 \text{ m}^4$; $W_{el} = 0,0051 \text{ m}^3$;
 $W_{pl} = 0,00686 \text{ m}^3$; S355

D355.6 sp. 20 mm = Diagonali/Montanti; $A = 0,0211 \text{ m}^2$; $J = 0,0002979 \text{ m}^4$;
 $W_{el} = 0,001676 \text{ m}^3$; $W_{pl} = 0,002255 \text{ m}^3$; S355

I pali sono vincolati alla punta alla traslazione verticale e lateralmente con molle a comportamento elastoplastico perfetto poste ad interasse di 1,00 m (si veda paragrafo relativo alle caratteristiche dei terreni di fondazione). La prima molla è stata posizionata alla -12,50 m s.m.m. mentre il vincolo alla punta alla -33,00 m s.m.m. La quota di sommità dei pali è alla +4,50 m s.m.m.

I carichi permanenti strutturali ed i carichi variabili sono applicati e combinati secondo quanto descritto nei relativi paragrafi di analisi dei carichi e combinazioni di carico. In particolare, i carichi variabili sono stati assegnati come forze concentrate verticali in testa ai pali in funzione della loro area di influenza.

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 20 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

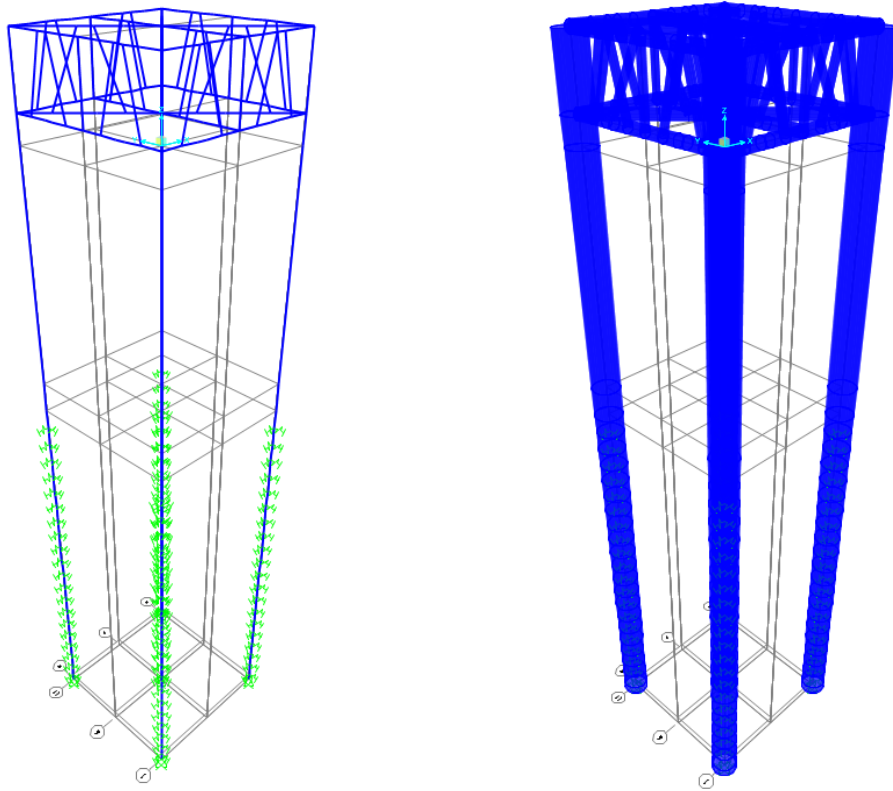
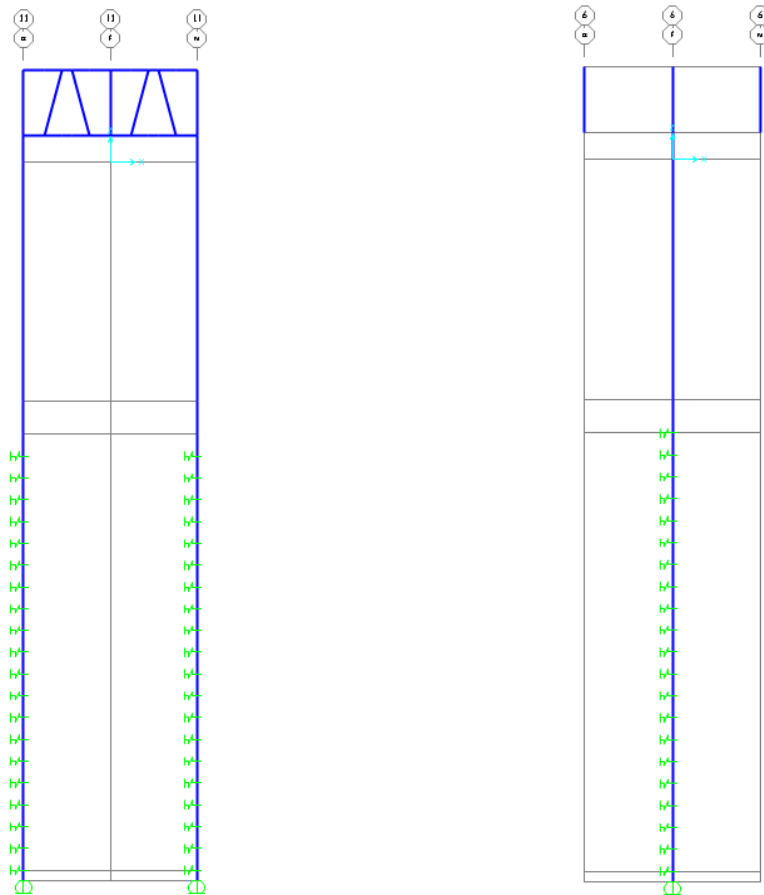


Figura 1 – Modello di calcolo: vista tridimensionale



| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Figura 2 – Modello di calcolo: viste piane

3.6.1.2 Sollecitazioni di calcolo

Nella tabella seguente per ciascun elemento strutturale sono riportati i risultati dell'analisi numerica svolta con l'indicazione delle massime sollecitazioni agenti e della relativa combinazione di carico.

Tabella 5 – Sollecitazioni di calcolo massime

| Elemento | Tipo verifica | Combinazione | N _{Ed} kN | M _{Ed} kNm |
|--|---------------|--------------|-----------------------|------------------------|
| - | - | - | - | - |
| Pali Φ1420 sp. 30 mm | Strutturale | SLU-2 | +214 | 3.568 |
| | | | +438 | 2.522 |
| Correnti Φ508 sp. 30 mm | Strutturale | SLU-2 | +939 | 160 |
| | | | -643 | $(75^2+53^2)^{0.5}=92$ |
| Diagonali/Montanti Φ355,6 sp. 20 mm | Strutturale | SLU-2 | +750 | 123 |
| | | | -712 | 115 |

| Elemento | Tipo verifica | Combinazione | R _{Ed} kN |
|-------------------------|---------------|--------------|-----------------------|
| - | - | - | - |
| Pali Φ1420 sp. 30 mm | Geotecnica | SLU-2 | +1.874 |
| Pali Φ1420 sp. 30 mm | Geotecnica | SLU-2 | -1.156 |

Nella combinazione di carico SLU-2, che risulta essere quella dimensionante, solo la prima molla con cui è stato schematizzato il terreno si è plasticizzata, aumentando così l'altezza libera del palo nel modello da 17,00 m a 18,00 m.

I massimi momenti flettenti nei pali si hanno in corrispondenza del palo centrale e più precisamente nella sezione subito sotto il corrente della trave reticolare di collegamento (a quota +1,234 m s.m.m.) ed subito sotto il terreno di fondazione (a quota -15,50 m s.m.m.).

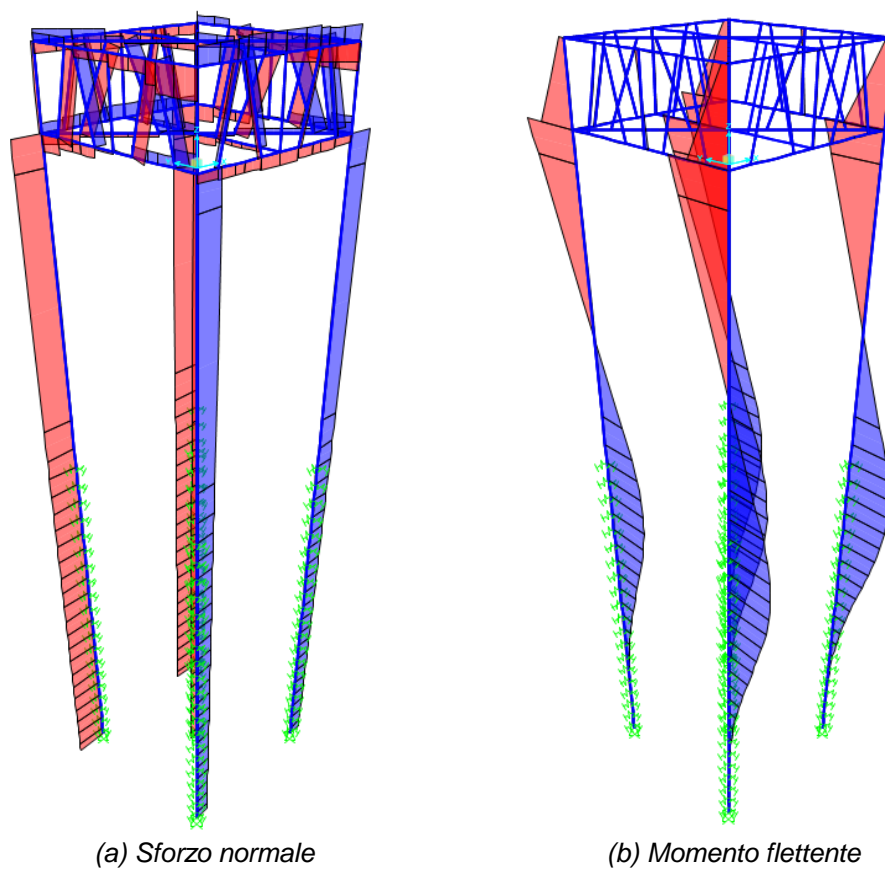


Figura 3 – Andamenti qualitativi delle caratteristiche delle sollecitazioni

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.6.2 Verifiche agli stati limite

Nel presente paragrafo sono riportate le verifiche agli stati limite dei principali elementi strutturali della bricola per le combinazioni di carico più gravose.

Le caratteristiche meccaniche delle sezioni resistenti sono riportate per ciascun elemento strutturale nella tabella seguente.

Tabella 6 – Caratteristiche di resistenza delle sezioni
(Fonte: Prospetto 6.7 UNI EN 1993-1-1:2005)

| Elemento | Classe | Area | Modulo di resistenza | Coefficiente di imperfezione |
|--|--------|----------------|--------------------------|-------------------------------|
| - | - | m ² | m ³ | - |
| Pali Φ1420 sp. 30 mm | 3 | 0,131 | W _{el} = 0,0446 | 0,49 (curva di instabilità c) |
| Correnti Φ508 sp. 20 mm | 1 | 0,016 | W _{pl} = 0,0048 | 0,49 (curva di instabilità c) |
| Diagonali/Montanti Φ355,6 sp. 20 mm | 1 | 0,011 | W _{pl} = 0,0023 | 0,49 (curva di instabilità c) |

Ipotizzando un tasso di corrosione medio pari a 0,07 mm/anno sia internamente che esternamente alle membrature tubolari, nella tabella seguente sono riportate per ciascun elemento strutturale le caratteristiche meccaniche delle sezioni resistenti a 50 anni.

Tabella 7 – Caratteristiche di resistenza delle sezioni
(Fonte: Prospetto 6.7 UNI EN 1993-1-1:2005)

| Elemento | Classe | Area | Modulo di resistenza | Coefficiente di imperfezione |
|--|--------|----------------|--------------------------|-------------------------------|
| - | - | m ² | m ³ | - |
| Pali Φ1413 sp. 23 mm | 3 | 0,100 | W _{el} = 0,0343 | 0,49 (curva di instabilità c) |
| Correnti Φ501 sp. 13 mm | 2 | 0,016 | W _{pl} = 0,0048 | 0,49 (curva di instabilità c) |
| Diagonali/Montanti Φ348,6 sp. 13 mm | 2 | 0,011 | W _{pl} = 0,0023 | 0,49 (curva di instabilità c) |

Cautelativamente tutte le verifiche sono state eseguite con riferimento al modulo di resistenza elastico delle sezioni.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.6.2.1 Verifiche agli stati limite ultimi di tipo strutturale

Le verifiche agli stati limite ultimi strutturali sono state eseguite nei confronti dell'instabilità di "membrature uniformi soggette a flessione e compressione assiale" in accordo con la norma europea UNI EN 1993-1-1:2005.

Le membrature devono pertanto soddisfare la seguente relazione:

$$N_{Ed}/(\chi_z N_{Rk}/\gamma_{M1}) + k_{zz} \times (M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}) / (M_{z,Rk}/\gamma_{M1}) \leq 1,00$$

dove:

- $\chi_z = 1/[\Phi + (\Phi^2 - \lambda^2)^{0,5}]$ con:
 - $\Phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$
 - $\alpha = 0,49$ (coefficiente di imperfezione)
 - $\lambda = (A \times f_y / N_{cr})^{0,5}$
 - $N_{cr} = \pi^2 \times E \times I / L_{cr}^2$
- $\gamma_{M1} = 1,05$ (Tabella 4.2.V NTC 2008);
- $\Delta M_{z,Ed} = 0,00$ per sezioni in classe 1, 2 e 3;
- $N_{Rk} = f_y \times A$
- $M_{z,Rk} = f_y \times W$
- $k_{zz} = c_{mz} / (1 - \chi_z N_{Ed} / N_{Rk})$
- $c_{mz} = 1,00$

Nelle tabelle seguenti sono riportate le verifiche rispettivamente a tempo 0 ed a 50 anni tenendo conto della riduzione di spessore dell'acciaio dovuta alla corrosione.

Tabella 8 – Verifiche agli stati limite ultimi a T = 0 anni

| Elemento | N_{Ed} kN | M_{Ed} kNm | N_{Ek} kN | M_{Ek} kNm | η |
|--|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|
| - | - | - | - | - | - |
| Pali Φ1420 sp. 30 mm | +214 | 3.568 | 46.507 | 15.827 | $0,24 \leq 1,00$ |
| Correnti Φ508 sp. 20 mm | +939 | 160 | 15.993 | 1.805 | $0,16 \leq 1,00$ |
| Diagonali/Montanti Φ355,6 sp. 20 mm | +750 | 123 | 7.486 | 595 | $0,34 \leq 1,00$ |

Tabella 9 – Verifiche agli stati limite ultimi a T = 50 anni

| Elemento | N_{Ed} kN | M_{Ed} kNm | N_{Ek} kN | M_{Ek} kNm | η |
|--|----------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|
| - | - | - | - | - | - |
| Pali Φ1420 sp. 30 mm | +1.865 | 5.739 | 35.655 | 12.192 | $0,32 \leq 1,00$ |
| Correnti Φ508 sp. 20 mm | +2.241 | 420 | 12.261 | 1.401 | $0,21 \leq 1,00$ |
| Diagonali/Montanti Φ355,6 sp. 20 mm | +1.508 | 210 | 4.866 | 394 | $0,51 \leq 1,00$ |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.6.2.2 Verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico

Nel seguito si riporta il calcolo delle resistenze alla punta e laterale a compressione ed a trazione da utilizzare nella verifica a carico limite dei pali.

Calcolo della resistenza alla punta (teoria di Terzaghi)

| D _e | A _{est} | L | φ _d * | N _q | σ' _v | P _c | ξ ₃ | P _k | γ _{R3} | P _d |
|----------------|------------------|-------|------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| m | m ² | m | ° | - | kN/m ² | kN | - | kN | - | kN |
| 1,420 | 1,58 | 21,00 | 34,00 | 29,44 | 171,50 | 7995,86 | 1,65 | 4845,98 | 1,15 | 4213,89 |

Calcolo della resistenza laterale (Modalità esecutiva: profilato d'acciaio battuto)

Trazione

| z | γ' | σ' _v | A | φ _k | k | μ | σ' _h | s | S _c | ξ ₃ | S _{k,i} | γ _{R3} | S _{td,i} |
|-------|-------------------|-------------------|-------|----------------|------|------|-------------------|--------|----------------|----------------|------------------|-----------------|-------------------|
| m | kN/m ³ | kN/m ² | - | ° | - | - | kN/m ² | kN/m | kN | - | kN | - | kN |
| 0,00 | 8,00 | 0,00 | Denso | 33,00 | 1,00 | 0,36 | 0,00 | 285,35 | 1272,98 | 1,65 | 771,50 | 1,25 | -617,20 |
| 14,00 | | 112,00 | | | | | 40,76 | | | | | | |
| 14,00 | 8,50 | 112,00 | Denso | 28,00 | 1,00 | 0,36 | 40,76 | 361,15 | 1611,11 | 1,65 | 976,43 | 1,25 | -781,14 |
| 21,00 | | 171,50 | | | | | 62,42 | | | | | | |
| | | | | | | | | | 2884,09 | | 1747,93 | | -1398,34 |

Compressione

| z | γ' | σ' _v | A | φ _k | k | μ | σ' _h | s | S _c | ξ ₃ | S _{k,i} | γ _{R3} | S _{cd,i} |
|-------|-------------------|-------------------|-------|----------------|------|------|-------------------|--------|----------------|----------------|------------------|-----------------|-------------------|
| m | kN/m ³ | kN/m ² | - | ° | - | - | kN/m ² | kN/m | kN | - | kN | - | kN |
| 0,00 | 8,00 | 0,00 | Denso | 33,00 | 1,00 | 0,36 | 0,00 | 285,35 | 1272,98 | 1,65 | 771,50 | 1,15 | 670,87 |
| 14,00 | | 112,00 | | | | | 40,76 | | | | | | |
| 14,00 | 8,50 | 112,00 | Denso | 28,00 | 1,00 | 0,36 | 40,76 | 361,15 | 1611,11 | 1,65 | 976,43 | 1,15 | 849,07 |
| 21,00 | | 171,50 | | | | | 62,42 | | | | | | |
| | | | | | | | | | 2884,09 | | 1747,93 | | 1519,94 |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

RESISTENZA A COMPRESSIONE

| Valore | P | S | Q _{lim} |
|----------------|---------|---------|------------------|
| - | kN | kN | kN |
| Calcolo | 7995,86 | 2884,09 | 10879,95 |
| Caratteristico | 4845,98 | 1747,93 | 6593,91 |
| Progetto | 4213,89 | 1519,94 | 5733,83 |

RESISTENZA A TRAZIONE

| Valore | P | S | Q _{lim} |
|----------------|------|----------|------------------|
| - | kN | kN | kN |
| Calcolo | 0,00 | -2884,09 | -2884,09 |
| Caratteristico | 0,00 | -1747,93 | -1747,93 |
| Progetto | 0,00 | -1398,34 | -1398,34 |

Il massimo carico di compressione alla punta del palo si ha nella combinazione SLU-2. La verifica al carico limite risulta soddisfatta essendo:

$$R_d = P_d + S_{c,d} = 5.734 \text{ kN} > E_d = 1.874 \text{ kN}$$

Il massimo carico di trazione alla punta del palo si ha nella combinazione SLU-2. La verifica al carico limite risulta soddisfatta essendo:

$$R_d = S_{t,d} = |-1.398 \text{ kN}| > E_d = |-1.156 \text{ kN}|$$

3.6.3 Verifiche agli stati limite di esercizio

Le verifiche agli stati limite di esercizio sono state eseguite nei confronti degli spostamenti orizzontali della briccola. La combinazione più gravosa è la SLE-2 per la quale si ha uno spostamento orizzontale massimo pari a:

$$\delta_{Q2k} = 0,0486 \text{ m}$$

che risulta circa uguale ad 1/350 dell'altezza, misurata dalla quota di sommità (+4,50 m s.m.m.) alla quota della prima molla del terreno (-12,50 m s.m.m.).

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.7 Passerelle

3.7.1 Calcolo della struttura

Le cinque briccole in struttura metallica del nuovo terminale marittimo nell'Avamposto di Ponente del Porto Canale di Cagliari sono collegate da n. 9 passerelle metalliche.

La passerella di collegamento della prima bricola con la banchina ha una lunghezza complessiva di 14,30 m ed è appoggiata direttamente lato terra sulla banchina e lato mare sulla bricola.

Le restanti passerelle sono disposte in numero di due tra le briccole e sono appoggiate su tre pali di acciaio di diametro $\Phi 609,6$ e spessore 16 mm infissi alla quota di -28,00 m s.m.m. I pali sono disposti a distanza costante di 18,00 m. Le passerelle hanno pertanto una lunghezza complessiva di 22,50 m con conseguente parte a sbalzo lato bricola di 4,50 m.

Avendo le otto passerelle poste tra le briccole le stesse caratteristiche geometriche, strutturali e dimensionali, i calcoli riportati nel seguito sono stati eseguiti per una passerella tipo.

Sono stati invece omessi i calcoli statici della passerella di collegamento tra la prima bricola e la banchina in quanto la struttura è stata progettata prevedendo l'impiego degli stessi elementi di carpenteria metallica delle altre passerelle ed in quanto a parità di sovraccarico agente ha una luce di calcolo inferiore.

3.7.1.1 Modello strutturale

La struttura è stata modellata con l'ausilio del codice di calcolo agli elementi finiti SAP2000. Il modello strutturale è stato costruito a partire dalla geometria della bricola assegnando i materiali e le sezioni seguenti:

Materiali:

Acciaio S355: $\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$; $m = 7,85 \text{ t/m}^3$; $E = 210.000 \text{ MPa}$; $\nu = 0.30$;
 $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

Sezioni:

Trasversi = UPN120

Correnti inferiori = L120x120x10

Correnti superiori = L140x140x10

Montanti = L80x80x6

Diagonali = L80x80x6

Controventi di piano = L80x80x6

Controventi irrigidimenti = L40x40x4

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 28 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

La struttura della passerella è stata schematizzata come una trave isostatica di luce pari a 18,00 m e sbalzo di 4,50 m.

I carichi permanenti dovuti al peso proprio del grigliato metallico ($g_{2k} = 0,40$ kPa) ed i carichi variabili dovuti al sovraccarico di progetto ($q_{3k} = 2,00$ kPa) sono stati applicati come carichi lineari uniformemente distribuiti sui trasversi (UPN120) in funzione della loro area di influenza.

I carichi permanenti dovuti ai correnti 30x2 ed ai fermapiedi 120x2 sono stati invece applicati come carichi lineari uniformemente distribuiti agenti direttamente sui correnti inferiori ($g_{2k} = 0,025$ kN/m).

Il carico variabile dovuto al sovraccarico di progetto ($q_{3k} = 2,00$ kPa) è stato applicato in modo da massimizzare le sollecitazioni negli elementi strutturali secondo i seguenti schemi:

- 1) sovraccarico sulla campata e sullo sbalzo;
- 2) sovraccarico sulla campata;
- 3) sovraccarico sullo sbalzo.

Nelle figure seguenti è riportato il modello di calcolo implementato.

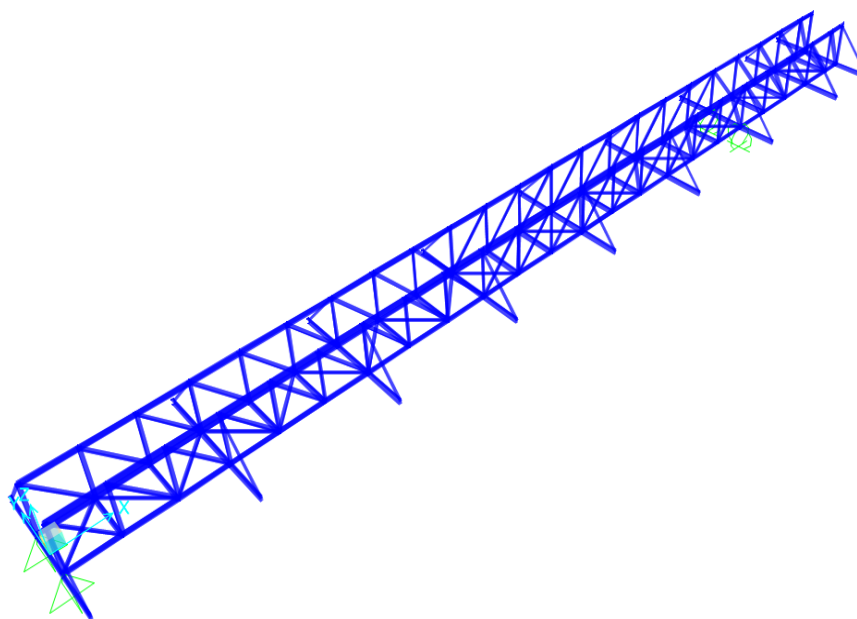
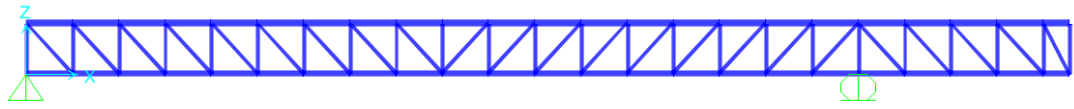
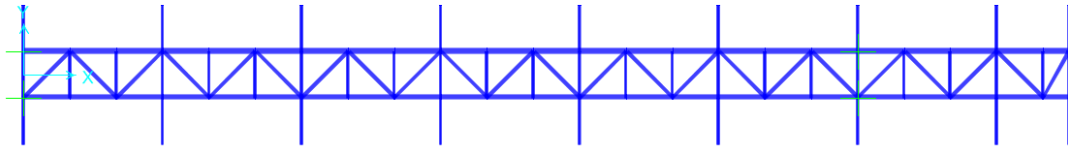


Figura 4 – Modello di calcolo: vista tridimensionali

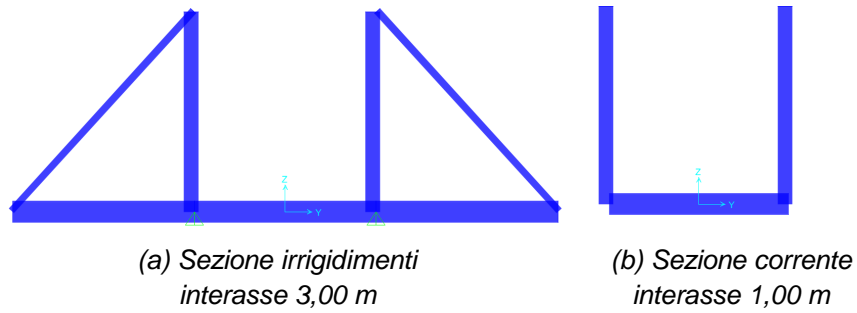


(a) Vista laterale



(b) Vista in pianta

Figura 5 – Modello di calcolo: viste piane



(a) Sezione irrigidimenti
interasse 3,00 m

(b) Sezione corrente
interasse 1,00 m

Figura 6 – Modello di calcolo: sezioni trasversali

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.7.1.2 Sollecitazioni di calcolo

Nella tabella seguente per ciascun elemento strutturale sono riportati i risultati dell'analisi numerica svolta con l'indicazione delle massime sollecitazioni agenti sugli stessi elementi di carpenteria di metallica.

Tabella 10 – Sollecitazioni di progetto sulle aste delle travi reticolari

| Profilo | N_{Ed} |
|-------------|----------|
| - | kN |
| L120x120x10 | +92,77 |
| L140x140x10 | -93,60 |
| L80x80x6 | -37,00 |
| L80x80x6 | +30,35 |

$N_{Ed} > 0$ Trazione
 $N_{Ed} < 0$ Compressione

Tabella 11 – Sollecitazioni di progetto sui trasversi della passerella

| Profilo | W_y | $W_{y,pl}$ |
|---------|--------|------------|
| - | mm^3 | mm^3 |
| UPN120 | 60.700 | 72.600 |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.7.2 Verifiche agli stati limite

Nel presente paragrafo sono riportate le verifiche agli stati limite degli elementi di carpenteria metallica della passerella

Le caratteristiche meccaniche delle sezioni resistenti sono riportate per ciascun elemento strutturale nelle tabelle seguenti.

Tabella 12 – Caratteristiche meccaniche delle aste delle travi reticolari

| Profilo | Classe | A |
|-------------|--------|-----------------|
| - | - | mm ² |
| L120x120x10 | 4 | 2.318 |
| L140x140x10 | 4 | 2.724 |
| L80x80x6 | 4 | 935 |
| L80x80x6 | 4 | 935 |

Tabella 13 – Caratteristiche meccaniche dei trasversi della passerella

| Profilo | Classe | W _y | W _{y,pl} |
|---------|--------|-----------------|-------------------|
| - | - | mm ³ | mm ³ |
| UPN120 | 1 | 60.700 | 72.600 |

3.7.2.1 Verifiche agli stati limite ultimi di tipo strutturale

Le verifiche agli stati limite ultimi strutturali delle aste delle travi reticolari sono state eseguite nei confronti delle azioni di trazione e della stabilità delle membrature di aste compresse in accordo con la norma italiana NTC2008 e con quella europea UNI EN 1993-1-1:2005.

Le membrature compresse devono pertanto soddisfare la seguente relazione:

$$N_{Ed}/N_{b,Rd} \leq 1,00$$

dove:

- per le sezioni di classe 1, 2 e 3: $N_{b,Rd} = \chi \times A \times f_{yk} / \gamma_{M1}$
- per le sezioni di classe 4: $N_{b,Rd} = \chi \times A_{eff} \times f_{yk} / \gamma_{M1}$

Ipotizzando che i collegamenti siano saldati si può assumere $A_{eff} = A$.

Nelle espressioni di cui sopra si assumono inoltre:

- $\chi = 1/[\Phi + (\Phi^2 - \lambda^2)^{0,5}]$ con:
 - o $\Phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$
 - o $\alpha = 0,49$ (coefficiente di imperfezione)
 - o $\lambda = (A \times f_y / N_{cr})^{0,5}$
 - o $N_{cr} = \pi^2 \times E \times I / L_{cr}^2$
- $\gamma_{M1} = 1,05$ (Tabella 4.2.V NTC 2008);

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Le membrature tese devono invece soddisfare la seguente relazione:

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} \leq 1,00$$

dove:

$$- N_{t,Rd} = A \times f_{yk} / \gamma_{M0}$$

con:

$$- \gamma_{M0} = 1,05 \text{ (Tabella 4.2.V NTC 2008);}$$

Nella tabella seguente sono riportate le verifiche delle aste delle travi reticolari.

Tabella 14 – Verifiche di resistenza delle aste delle travi reticolari

| Profilo | Classe | L_0 | A | N_{Rd} | N_{Ed} | η |
|-------------|--------|-------|-----------------|----------|----------|--------|
| - | - | mm | mm ² | kN | kN | - |
| L120x120x10 | 4 | 1000 | 2.318 | +718,70 | +92,77 | 7,75 |
| L140x140x10 | 4 | 1000 | 2.724 | -672,40 | -93,60 | 7,18 |
| L80x80x6 | 4 | 1100 | 935 | -171,70 | -37,00 | 4,64 |
| L80x80x6 | 4 | 1414 | 935 | +271,90 | +30,35 | 8,96 |

Le verifiche agli stati limite ultimi strutturali dei trasversi della passerella sono state eseguite nei confronti delle azioni di flessione retta in accordo con la norma italiana NTC2008 e con quella europea UNI EN 1993-1-1:2005.

Le membrature inflesse devono pertanto soddisfare la seguente relazione:

$$M_{Ed}/M_{c,Rd} \leq 1,00$$

dove:

- per sezioni di classe 1 e 2: $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \times f_{yk} / \gamma_{M0}$
- per sezioni di classe 3: $M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el,min} \times f_{yk} / \gamma_{M0}$
- per sezioni di classe 4: $M_{c,Rd} = W_{eff,min} \times f_{yk} / \gamma_{M0}$

Tabella 15 – Verifiche di resistenza delle aste delle travi reticolari

| Profilo | Classe | W_y | $W_{y,pl}$ | $M_{c,Rd}$ | M_{Ed} | η |
|---------|--------|-----------------|-----------------|------------|----------|--------|
| - | - | mm ³ | mm ³ | kN | kN | - |
| UPN120 | 1 | 60.700 | 72.600 | 24,55 | 0,46 | 53,37 |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.7.2.2 Verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico

Nel seguito si riporta il calcolo delle resistenze alla punta e laterale a compressione da utilizzare nella verifica a carico limite dei pali.

Calcolo della resistenza alla punta (teoria di Terzaghi)

| D _e | Sp. | L | N _q | σ' _v | p | P _c | ξ ₃ | P _k | γ _{R3} | P _d |
|----------------|-------|-------|----------------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| m | m | m | - | kN/m ² | kN/m ² | kN | - | kN | - | kN |
| 0,610 | 0,016 | 16,00 | 29,44 | 129,00 | 3797,73 | 1108,42 | 1,65 | 671,77 | 1,15 | 584,15 |

Calcolo della resistenza laterale (Modalità esecutiva: profilato d'acciaio battuto)

| z | γ' | A | φ _d | k | μ | s | D | S _c | ξ ₃ | S _{k,i} | γ _{R3} | S _{cd,i} |
|-------|-------------------|---------|----------------|------|------|--------|------|----------------|----------------|------------------|-----------------|-------------------|
| m | kN/m ³ | - | ° | - | - | kN/m | m | kN | - | kN | - | kN |
| 0,00 | 8,00 | Sciolto | 33,00 | 0,70 | 0,36 | 199,75 | 0,61 | 382,54 | 1,65 | 231,84 | 1,15 | 201,60 |
| 14,00 | | | | | | | | | | | | |
| 14,00 | 8,50 | Denso | 28,00 | 1,00 | 0,36 | 82,72 | 0,61 | 167,99 | 1,65 | 101,81 | 1,15 | 88,53 |
| 16,00 | | | | | | | | | | | | |

RESISTENZA A COMPRESSIONE

| Valore | P | S | Q _{lim} |
|----------------|---------|--------|------------------|
| - | kN | kN | kN |
| Calcolo | 1108,42 | 550,53 | 1658,95 |
| Caratteristico | 671,77 | 333,65 | 1005,42 |
| Progetto | 584,15 | 290,13 | 874,28 |

Le massime reazioni in testa ai pali sono pari a:

- $R_{1d} = 2 \times 24,20 = 48,40$ kN
- $R_{2d} = 2 \times 39,56 = 79,12$ kN

Considerando che sul palo centrale appoggiano due passerelle il massimo carico in testa al palo è pari a:

$$N_{Ed} = 2 \times 48,40 = 96,80 \text{ kN}$$

La verifica al carico limite risulta pertanto soddisfatta essendo:

$$R_d = P_d + S_{c,d} = 874,28 \text{ kN} > E_d = 96,80 \text{ kN}$$

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | <i>Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale</i> | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|--|--|

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 35 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

3.7.3 Verifiche agli stati limite di esercizio

Le verifiche agli stati limite di esercizio sono state eseguite nei confronti degli spostamenti verticali della passerella.

Lo spostamento orizzontale massimo risulta pari a:

- $\delta_{gk} = 4,3 \text{ mm}$
- $\delta_{qk} = 4,9 \text{ mm}$
- $\delta_{TOT} = 9,2 \text{ mm}$

Tali spostamenti confrontati con la luce della campata della passerella corrispondono rispettivamente a:

- $\delta_{gk} / L = 1/4186$
- $\delta_{qk} / L = 1/3670$
- $\delta_{TOT} / L = 1/2000$

e quindi compatibili con l'utilizzo della struttura.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4 BANCHINE

Nel primo lotto funzionale del nuovo terminal ro-ro del porto canale di Cagliari è prevista la realizzazione di n°4 attracchi dei quali uno disposto lungo il canale e gli altri 3 all'interno dell'avamposto.

Per tutte le banchine del nuovo terminal è stata prevista una soluzione con palancole metalliche ancorate, mediante una serie di tiranti a bara, ad un struttura di ancoraggio realizzata anch'essa mediante l'infissione di palancole metalliche. La sezione tipo dei nuovi muri di banchina è completata da una trave di coronamento di c.a. che realizza il piano di banchina ed alla quale verranno fissati i parabordi e le bitte di ormeggio.

La quota del piano banchina è stata fissata a +2.50 m s.m.m. mentre nei denti di attracco la quota in corrispondenza del limite di banchina è pari a +1.90 m s.m.m. e si raccorda mediante un piano inclinato con pendenza di circa il 7% con il piazzale retrostante.

Nella presente relazione le banchine previste per la realizzazione dell'attracco lungo il canale (denominate banchina 2) sono trattate separatamente da quelle previste per la realizzazione dei tre attracchi dell'avamposto (denominate banchina 1).

Infatti mentre nel primo caso le nuove banchine verranno realizzate mediante la resecazione del terrapieno esistente, nel secondo caso le banchine verranno eseguite a mare, e quindi le caratteristiche geotecniche dei terreni nei quali verranno realizzate non risultano omogenee.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.1 Caratterizzazione sismica

Di seguito vengono riportate in sintesi i parametri relativi alla caratterizzazione sismica delle opere in oggetto.

In accordo con il D.M. 14/01/2008, le verifiche sulle paratie sono condotte nel rispetto degli stati limiti ultimi relative al solo SLV (§ 7.1 della normativa di riferimento).

Periodo di riferimento per l'azione sismica

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$$

Per la descrizione dei parametri vedere §3.1.

Parametri caratteristici della sollecitazione sismica

I parametri assunti sono riportati in Tab. 16; per la descrizione dei parametri vedere §3.4.5.1 e §3.4.5.2.

| Tab. 16 – Porto di Cagliari - Valutazione dell'azione sismica – Valori di riferimento per sito su superficie piana e sottosuolo rigido | | | | |
|--|--------------|-----------|------------|-----------|
| | Tr (anni) | F0 (-) | T*c (s) | ag (g) |
| SLV | 475 | 2.88 | 0.34 | 0.05 |

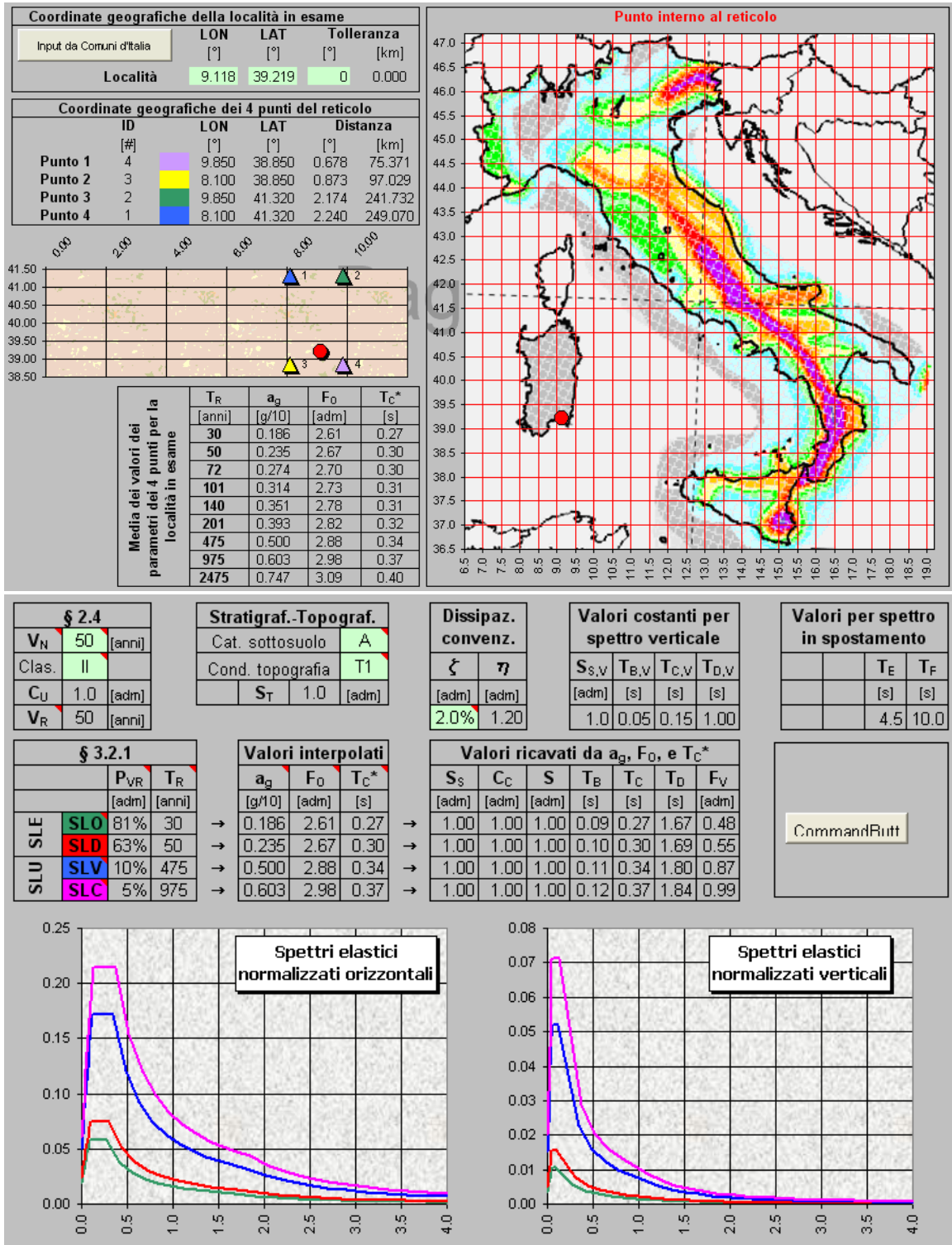


FIG. 7 - PORTO DI CAGLIARI - VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA SECONDO D.M. 14/01/08 – (A) COORDINATE GEOGRAFICHE DEL SITO; (B) GRAFICO DEI TEMPI DI RITORNO T_R . FONTE SOFTWARE "SPETTRI ELASTICI DM2008_v04_8"

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche proprie del sito, si calcola infine il valore massimo dell'accelerazione a_{max} da considerare nelle analisi di progetto. 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.

Tale amplificazione locale viene introdotta utilizzando i due coefficiente seguenti:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica = calcolato secondo la Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/08, variabile per ogni stato limite di riferimento;
- S_T = coefficiente di amplificazione topografico = calcolato considerando le condizioni topografiche del sito secondo Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/08;

L'accelerazione massima di riferimento, tenendo conto delle amplificazioni, è calcolata quindi con la seguente relazione:

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

Per quanto riguarda le condizioni stratigrafiche, la relazione geologica indica una categoria di sottosuolo di tipo A che corrisponde ad un coefficiente amplificativo $S_S = 1,0$.

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 $S_T = 1,0$. I valori utilizzati nelle verifiche sismiche in corrispondenza delle opere sono riassunti nella Tab. .

| TAB. 17 - PORTO DI CAGLIARI - VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA – VALORI DI RIFERIMENTO PER VERIFICA DELLE OPERE DOPO AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA E STRATIGRAFICA – SEZIONI TIPO DI PROGETTO | | | | | |
|---|--------------|--------------|-------|-------|------------------|
| | Tr (anni) | a_g (g) | S_S | S_T | a_{max} (g) |
| SLV | 475 | 0.050 | 1 | 1 | 0.050 |

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 sono state ricavate applicando la teoria di Mononobe-Okabe.

L'accelerazione è definita come:

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

dove:

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 40 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

- 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;
- β è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti.

Per le paratie l'accelerazione verticale a_v può essere trascurata.

Il coefficiente α è funzione dell'altezza della paratia e del tipo di terreno, nel caso in esame (altezza paratia 30 m e categoria di sottosuolo tipo A) α risulta pari a 1.00 (diagramma di Figura 7.11.2 della normativa di riferimento).

Per la valutazione della spinta passiva $\alpha=1.00$

Inoltre, ammettendo uno spostamento massimo pari all'0.5% dell'altezza della paratia (§ 7.11.6.3.1 della normativa di riferimento) si ottiene un valore del coefficiente $\beta = 0.33$ (diagramma di Figura 7.11.3 della normativa di riferimento), pertanto i coefficienti sismici risultano i seguenti:

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)

$K_h = 0.016$ – coefficiente sismico orizzontale per la spinta attiva e le forze di inerzia

$K_{hp} = 0.016$ – coefficiente sismico orizzontale per la spinta passiva.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.2 Caratteristiche dei materiali

Le caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati nella realizzazione delle opere strutturali sono sinteticamente riportate nel seguito.

Acciaio per palancole

Tutti i palancole costituiti da palancole tipo “H” accoppiate a palancole tipo “Z” o da sole palancole tipo “Z” sono costituiti da acciaio S355GP, avente una tensione di snervamento $f_y \geq 355$ MPa e una tensione di rottura $f_u \geq 480$ MPa.

Acciaio carpenterie metalliche

Acciaio S355J0, avente una tensione di snervamento $f_y \geq 355$ Mpa (variabile per spessori > di 16mm).

Acciaio per tiranti

Barre per ancoraggi permanenti in acciaio ASDO500, avente una tensione di snervamento $f_y \geq 500$ Mpa.

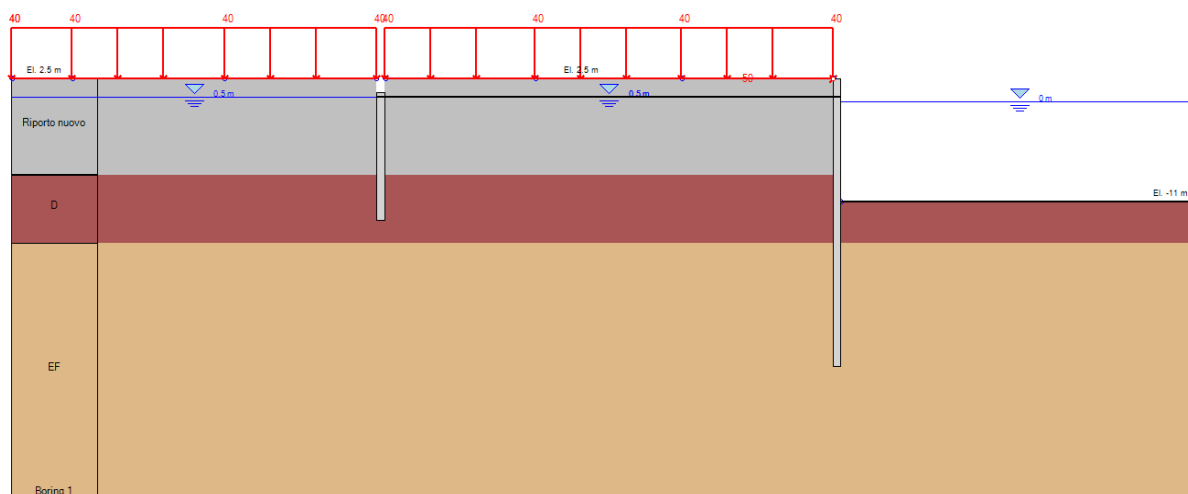
| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.3 Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione

Di seguito vengono riportate in sintesi i parametri relativi alla caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere in oggetto. Per la descrizione completa si rimanda alla specifica relazione di indagini geotecniche.

| Litostrato | γ (kN/m ³) | ϕ' (°) | C' (kPa) | E (kPa) |
|------------------------|----------------------------------|----------------|-------------|------------|
| A (riporto precedente) | 18 | 32 | 0 | 12500 |
| B | 17 | 30 | 0 | 4500 |
| C | 15 | 26 | 0 | 200 |
| D | 18 | 33 | 0 | 17500 |
| E1 | 18 | 25 | 20 | 2000 |
| EF | 18.5 | 28 | 80 | 7500 |
| Riporto nuovo | 18 | 38 | 0 | 20000 |

4.3.1 Banchina 1



Riporto nuovo (tout-venant di progetto da q.ta +2.50 m a q.ta -8.00⁽³⁾ m s.m.m.):

| | | |
|---|-------------------------------|----------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | $\phi' = 38^\circ$ | $c' = 0$ |
| K_a e K_p (Met. Rankine) ⁽¹⁾ | $K_0 = 0.384$ | |
| $E_{vc}' = 20000 \text{ kPa}$ | $E_{ur}' = 32000 \text{ kPa}$ | |

Strato D (q.ta -8.00 m a q.ta -15.50 m s.m.m.):

| | | |
|---|-------------------------------|----------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | $\phi' = 33^\circ$ | $c' = 0$ |
| K_a e K_p (Met. Rankine) ⁽¹⁾ | $K_0 = 0.455$ | |
| $E_{vc}' = 17500 \text{ kPa}$ | $E_{ur}' = 28000 \text{ kPa}$ | |

Strato EF (q.ta -15.50 m a q.ta -40.00 m s.m.m.):

| | | |
|---|-------------------------------|----------------|
| $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ | $\phi' = 28^\circ$ | $c' = 0^{(2)}$ |
| K_a e K_p (Met. Rankine) ⁽¹⁾ | $K_0 = 0.531$ | |
| $E_{vc}' = 7500 \text{ kPa}$ | $E_{ur}' = 12000 \text{ kPa}$ | |

Nota 1: su entrambe le paratie (paratia di banchina e paratia d'ancoraggio), ai fini della determinazione della spinta del terreno sul palancoleto si è ipotizzato che l'angolo di attrito terreno-parete sia pari al 30% dell'angolo di attrito interno del terreno. Nella determinazione della resistenza passiva del terreno l'attrito terreno-parete è stato cautelativamente trascurato.

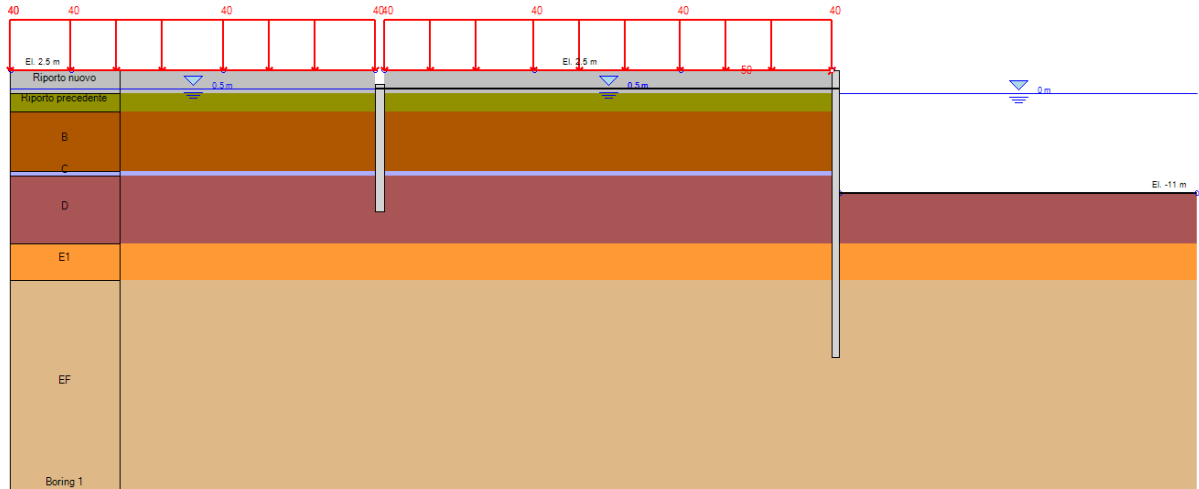
Nota 2: per gli strati indicati nei calcoli si è ipotizzato a scopo cautelativo che la coesione efficace sia nulla.

Nota 3: il materiale di riporto si spinge fino al tetto dello strato D in quanto si prevede la rimozione dello strato C presente prima dell'inizio delle lavorazioni.

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | <i>Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale</i> | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|--|--|

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 45 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

4.3.2 Banchina 2



Ripporto nuovo (tout-venant di progetto da q.ta +2.50 m a q.ta +0.00 m s.m.m.):

| | | |
|---|-------------------------------|----------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | $\phi' = 38^\circ$ | $c' = 0$ |
| K_a e K_p (Met. Rankine) ⁽¹⁾ | $K_0 = 0.384$ | |
| $E_{vc}' = 20000 \text{ kPa}$ | $E_{ur}' = 32000 \text{ kPa}$ | |

Strato A (riporto precedente da q.ta +0.00 m a q.ta -2.00 m s.m.m.):

| | | |
|---|-------------------------------|----------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | $\phi' = 32^\circ$ | $c' = 0$ |
| K_a e K_p (Met. Rankine) ⁽¹⁾ | $K_0 = 0.470$ | |
| $E_{vc}' = 12500 \text{ kPa}$ | $E_{ur}' = 20000 \text{ kPa}$ | |

Strato B (da q.ta -2.00 m a q.ta -8.50 m s.m.m.):

| | | |
|---|------------------------------|----------|
| $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ | $\phi' = 30^\circ$ | $c' = 0$ |
| K_a e K_p (Met. Rankine) ⁽¹⁾ | $K_0 = 0.500$ | |
| $E_{vc}' = 4500 \text{ kPa}$ | $E_{ur}' = 7200 \text{ kPa}$ | |

Strato C (da q.ta -8.50 m a q.ta -9.00 m s.m.m.):

| | | |
|---|-----------------------------|----------|
| $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$ | $\phi' = 26^\circ$ | $c' = 0$ |
| K_a e K_p (Met. Rankine) ⁽¹⁾ | $K_0 = 0.562$ | |
| $E_{vc}' = 200 \text{ kPa}$ | $E_{ur}' = 320 \text{ kPa}$ | |

Strato D (q.ta -9.00 m a q.ta -16.50 m s.m.m.):

| | | |
|---|-------------------------------|----------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | $\phi' = 33^\circ$ | $c' = 0$ |
| K_a e K_p (Met. Rankine) ⁽¹⁾ | $K_0 = 0.455$ | |
| $E_{vc}' = 17500 \text{ kPa}$ | $E_{ur}' = 28000 \text{ kPa}$ | |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Strato E1 (q.ta -16.50 m a q.ta -20.50 m s.m.m.):

$$\begin{array}{lll} \gamma = 18 \text{ kN/m}^3 & \phi' = 25^\circ & c' = 0^{(2)} \\ K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)}^{(1)} & K_0 = 0.577 & \\ E_{vc}' = 2000 \text{ kPa} & E_{ur}' = 3200 \text{ kPa} & \end{array}$$

Strato EF (q.ta -20.50 m a q.ta -40.00 m s.m.m.):

$$\begin{array}{lll} \gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3 & \phi' = 28^\circ & c' = 0^{(2)} \\ K_a \text{ e } K_p \text{ (Met. Rankine)}^{(1)} & K_0 = 0.531 & \\ E_{vc}' = 7500 \text{ kPa} & E_{ur}' = 12000 \text{ kPa} & \end{array}$$

Nota 1: su entrambe le paratie (paratia di banchina e paratia d'ancoraggio), ai fini della determinazione della spinta del terreno sul palancoato si è ipotizzato che l'angolo di attrito terreno-parete sia pari al 30% dell'angolo di attrito interno del terreno. Nella determinazione della resistenza passiva del terreno l'attrito terreno-parete è stato cautelativamente trascurato.

Nota 2: per gli strati indicati nei calcoli si è ipotizzato a scopo cautelativo che la coesione efficace sia nulla.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.4 Descrizione delle strutture

L'ipotesi progettuale è quella di realizzare, una serie di banchinamenti attraverso la realizzazione di un robusto palancoato metallico. La quota di banchina è di +2.50 metri dal livello medio marino.

Per soddisfare le previste caratteristiche prestazionali delle nuove banchine, il palancoato è stato progettato cautelativamente considerando un sovraccarico accidentale di 40 kN/m^2 (così da conferire maggior flessibilità funzionale al terminal marittimo), il tiro di una bitta da 100 t poste una ogni 20 m e le spinte del terreno a tergo con fondali di progetto fino alla -11.0 m s.m.m. .

Le palancole indicate sono state scelte tra i prodotti tipo ARCELOR-MITTAL catalogo 2008. Ovviamente tale scelta è indicativa e sostituibile con analoghe soluzioni in fase di progettazione esecutiva, ma si è resa necessaria in questa fase della progettazione per la definizione di tutti gli elementi interferenti con i profili stessi (sistema d'ancoraggio dei tiranti, interasse dei tiranti, verifiche delle sezioni strutturali corrose, etc.). In particolare, di seguito sono riportati i valori caratteristici minimi richiesti delle sezioni integre valide per i modelli di calcolo analizzati; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per le sezioni corrose (vedere § 4.6).

Banchina 1

PALANCOLATO DI BANCHINA: Tipo HZM 1080 B – 14 / AZ 26-700 (palancole HZM 1080 B – 14 con $L_{HZM} = 30.0 \text{ m}$; q.ta testa palancole +1.00 m s.m.m.; q.ta infissione -29.00 m s.m.m.; palancole AZ 26-700 con $L_{AZ} = 24.0 \text{ m}$; q.ta testa palancole +1.00 m s.m.m.; q.ta infissione -23.00 m s.m.m.), acciaio tipo S355GP. Valori caratteristici minimi richiesti: $W_{el} = 9845 \text{ cm}^3/\text{m}$; $J = 550120 \text{ cm}^4/\text{m}$; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere § 4.6).

TIRANTE DI ANCORAGGIO: barra in acciaio tipo Anker Schroeder M90 $\phi 72\text{mm}$ (diametro nominale minimo acciaio di 72 mm al netto della filettatura), acciaio tipo ASDO500, interasse 1.927m , q.ta asse tirante +0.50 m s.m.m..

PALANCOLATO DI ANCORAGGIO: Tipo AZ 28-700 ($L = 14.0 \text{ m}$; q.ta testa palancole +1.00 m s.m.m.; q.ta infissione -13.00 m s.m.m.), acciaio tipo S355GP. Valori caratteristici minimi richiesti: $W_{el} = 2760 \text{ cm}^3/\text{m}$; $J = 63620 \text{ cm}^4/\text{m}$; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere § 4.6).

La distanza tra i due palancoati è stata posta pari a 22.0 m.

Banchina 2

PALANCOLATO DI BANCHINA: Tipo HZM 1080 B – 14 / AZ 26-700 (palancole HZM 1080 B – 14 con $L_{HZM} = 30.0 \text{ m}$; q.ta testa palancole +1.00 m s.m.m.; q.ta infissione -29.00 m s.m.m.; palancole AZ 26-700 con $L_{AZ} = 24.0 \text{ m}$; q.ta testa palancole +1.00 m s.m.m.; q.ta

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

infissione -23.00 m s.m.m.), acciaio tipo S355GP. Valori caratteristici minimi richiesti: $W_{el} = 9845 \text{ cm}^3/\text{m}$; $J = 550120 \text{ cm}^4/\text{m}$; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere § 4.6).

TIRANTE DI ANCORAGGIO: barra in acciaio tipo Anker Schroeder M90 $\phi 72\text{mm}$ (diametro nominale minimo acciaio di 72 mm al netto della filettatura), acciaio tipo ASDO500, interasse 1.927m , q.ta asse tirante +0.50 m s.m.m..

PALANCOLATO DI ANCORAGGIO: Tipo AZ 37-700 (L = 14.0 m; q.ta testa palanca +1.00 m s.m.m.; q.ta infissione -13.00 m s.m.m.), acciaio tipo S355GP. Valori caratteristici minimi richiesti: $W_{el} = 3705 \text{ cm}^3/\text{m}$; $J = 92400 \text{ cm}^4/\text{m}$; le eventuali soluzioni alternative dovranno soddisfare anche le verifiche per sezioni corrose (vedere § 4.6).

La distanza tra i due palancolati è stata posta pari a 22.0 m.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.5 Criteri di verifica delle strutture

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) ed agli stati limite di esercizio (SLE) vengono effettuate in ottemperanza alla nuova 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 si devono considerare i seguenti stati limite ultimi:

SLU di tipo geotecnico (GEO)

- Collasso per atto di moto rigido
- Sfilamento di uno o più ancoraggi
- Instabilità globale del sistema terreno-opera

SLU di tipo strutturale (STR)

- Raggiungimento della resistenza di uno o più ancoraggi
- Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia

SLE

- Verifica degli spostamenti del palancoato

Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Deve essere rispettata la condizione:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

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.

Per ogni caso di carico critico, i valori di progetto degli effetti delle azioni (E_d) devono essere determinati combinando il valore di azioni che si verificano simultaneamente nel modo seguente:

- *Combinazioni per situazioni persistenti e transitorie in fase di costruzione:* valori di progetto delle azioni permanenti G_i e contemporanea presenza delle azioni variabili Q_j

$$F_d = \sum_i \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_{Qk} (Q_{1k} + \sum_j \psi_{0j} Q_{jk})$$

assumendo per i coefficienti parziali γ_G e γ_Q e per i coefficienti di combinazione ψ_{0j} i valori definiti nei capitoli relativi alle singole strutture studiate.

- *Combinazioni per situazioni persistenti e transitorie:* valori di progetto delle azioni permanenti G_i e contemporanea presenza delle azioni variabili Q_j

$$F_d = \sum_i \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_{Qk} (Q_{1k} + \sum_j \psi_{0j} Q_{jk})$$

assumendo per i coefficienti parziali γ_G e γ_Q e per i coefficienti di combinazione ψ_{0j} i valori definiti nei capitoli relativi alle singole strutture studiate (i valori dei coefficienti ψ considerati sono quelli relativi alla categoria F: peso del veicolo ≤ 30 kN).

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Valori dei coefficienti di combinazione (Tab. 2.5.I del D.M.08)

| 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 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 state condotte per le due combinazioni

- A1+M1+R1;
- A2+M2+R1;

dove R, relativo alle resistenze dei materiali è da assumere caso per caso in funzione del tipo di verifica. Nel caso specifico R1 sono tutti uguali a 1.

Nella prima combinazione (A1+M1) i parametri del terreno sono quelli caratteristici ($\gamma_M = 1$) e le azioni sono amplificate con coefficienti $\gamma_F \neq 1$ (verifica strutturale, STR), mentre nella seconda (A2+M2) i parametri del terreno vengono ridotti mediante coefficienti $\gamma_M \neq 1$ e le azioni sono quelle caratteristiche (verifica geotecnica, GEO).

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

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 del D.M.08)

| 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 | $\tan \phi'_k$ | $\gamma_{\phi'}$ | 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 |

Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi in condizioni sismiche (SLU -EQK)

Deve essere rispettata la condizione:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

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.

Per ogni caso di carico critico, i valori di progetto degli effetti delle azioni (E_d) devono essere determinati combinando il valore di azioni che si verificano simultaneamente nel modo seguente:

- *Combinazioni per situazioni di progetto sismiche*: valori caratteristici delle azioni permanenti G_i con i valori frequenti delle azioni variabili Q_j e con il valore di progetto dell'azione sismica A_{Ed}

$$F_d = \sum_i G_{ik} + A_{Ed} + \sum_j \psi_{2j} Q_{jk}$$

assumendo per i coefficienti di combinazione ψ_{2j} i valori definiti nella Tab. 2.5.I.

In accordo con il D.M. 14/01/2008 (§ 7.1 della normativa di riferimento), le verifiche sono condotte nel rispetto degli stati limiti ultimi relative al solo SLV.

La verifica per le opere di sostegno flessibili (paratie realizzate con palancolati metallici) deve essere effettuata impiegando le 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) precedentemente descritte.

Pertanto i calcoli e le verifiche sono state condotte per le due combinazioni

- A1+M1+R1;
- A2+M2+R1;

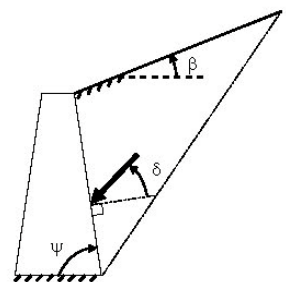
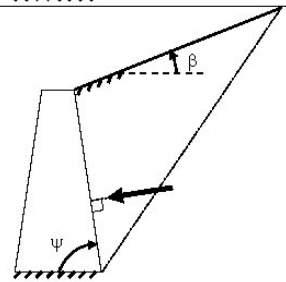
dove R, relativo alle resistenze dei materiali è da assumere caso per caso in funzione del tipo di verifica. Nel caso specifico R1 sono tutti uguali a 1.

Nella prima combinazione (A1+M1) i parametri del terreno sono quelli caratteristici ($\gamma_M = 1$) mentre, solo per le verifiche sismiche (§ 7.11.1 del D.M. 14/01/2008), le azioni non sono più amplificate coi coefficienti parziali ma bisogna porre $\gamma_F = 1$ (verifica strutturale, STR). Nella seconda combinazione (A2+M2) i parametri del terreno vengono ridotti mediante coefficienti $\gamma_M \neq 1$ e le azioni sono quelle caratteristiche (verifica geotecnica, GEO).

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 MONONOBÉ-OKABE:

| | |
|--|---|
| <p>CONDIZIONI DI SPINTA ATTIVA</p> <p>$\beta \leq \phi - \theta$: $K_{AE} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (3-6)$</p> <p>$\beta > \phi - \theta$: $K_{AE} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$</p> |  |
| <p>CONDIZIONI DI SPINTA PASSIVA</p> <p>$K_{PE} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(\phi + \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi + \beta) \cdot \text{sen}(\psi + \theta)}} \right]^2} \quad (\text{EC8 con } (3-7)$</p> <p>$\delta = 0^\circ$)¹⁷</p> |  |

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

$$E_{d,w} = \mp \frac{7}{12} k_h \gamma_w h^2$$

essendo h l'altezza del pelo libero dalla quota di valle del terreno.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE)

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.

Nel caso in esame è stato verificato che il valore di progetto dell'effetto delle azioni E_d risultasse minore del valore di progetto limite dell'effetto delle azioni C_d , esplicitando pertanto le prestazioni attese per l'opera stessa e confrontandole con le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili.

Per ciascun stato limite di esercizio in condizioni statiche deve infatti essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

Quest'ultimo deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura. Si ritiene accettabile il valore inferiore a 15.0 cm per la paratia di banchina e 7.0 cm per la paratia di ancoraggio, che corrispondono ad uno spostamento massimo pari allo 0.5% dell'altezza della paratia (relazione 7.11.11 del D.M. 14/01/08).

4.6 Considerazioni sulla corrosione dei palancolati metallici

L'effetto della corrosione sui palancolati metallici è descritto nel §4 della EN 1993-5:2007 come 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 il palancole è infisso e dalla zona di aggressione delle acque sul fronte banchina.

Valori raccomandati di corrosione in mm (Tab. 4.1 e Tab. 4.2 del EC3-5)

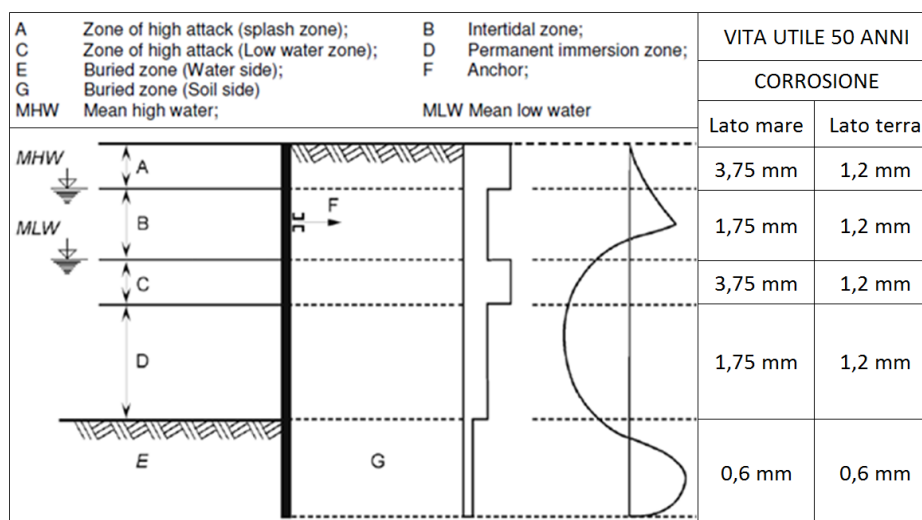
Table 4-1: Recommended value for the loss of thickness [mm] due to corrosion for piles and sheet piles in soils, with or without groundwater

| 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. | | | | | |

Imponendo un tempo di vita per la struttura pari a 50 anni ed adottando i valori raccomandati dalla EN 1993-5:2007, si ottengono i valori descritti nella tabella seguente.



Per la verifica delle strutture in condizione di corrosione vengono individuate per semplificazione due zone che risultano essere le condizioni di massima aggressione:

Zona di attacco massimo strutture fronte mare

Questa zona caratterizza la massima corrosione subita in 50 anni dal palancoato di banchina (banchina fronte mare). La corrosione massima sul lato mare è in corrispondenza della splash ed è pari a 3.75 mm; sul lato terra si considera (a favore di sicurezza) che in corrispondenza della zona di splash, a tergo sia presente del terreno di riempimento e quindi caratterizzato da una corrosione di 1.20 mm.

Il modulo di resistenza a 50 anni del palancoato metallico è stato calcolato sullo spessore residuo del profilo del palancoato stesso. A favore di sicurezza si considera che le massime azioni sollecitanti per il palancoato di banchina siano in corrispondenza della zona di massima corrosione delle strutture fronte mare.

Zona di attacco massimo strutture interne banchina

Questa zona caratterizza la massima corrosione subita in 50 anni dal palancoato di ancoraggio (palancoato interno alla banchina) e dai tiranti. La corrosione massima di queste strutture completamente circondate da terreno si hanno in corrispondenza del materiale di riempimento caratterizzato da una corrosione di 1.20 mm.

Il modulo di resistenza a 50 anni del palancoato metallico e dei tiranti è stato calcolato sullo spessore residuo del profilo del palancoato e dei tiranti stessi. A favore di sicurezza si considera che le massime azioni sollecitanti per il palancoato di ancoraggio e per i tiranti siano in corrispondenza della zona di massima corrosione delle strutture interne alla banchina.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Nelle verifiche di resistenza delle sezioni dei palancolati metallici e dei tiranti sono state considerate le sezioni corrose a 50 anni.

Le palancole indicate sono state scelte tra i prodotti tipo ARCELOR-MITTAL catalogo 2008. Ovviamente tale scelta è indicativa e sostituibile con analoghe soluzioni (in fase di progettazione esecutiva e di realizzazione) a parità di W_{min} e J_{min} ; altresì dovranno essere compatibili con la verifica a lungo termine con sezione ridotta per corrosione ($W_{min\ corroso}$) ed avere un corrispondente momento d'inerzia J ($J_{min\ corroso}$) compatibile con le deformazioni massime riportate nelle verifiche. Di seguito è riportata una tabella riassuntiva delle caratteristiche minime richieste sia in condizione di sezioni integre che con corrosione a 50 anni.

| Banchina 1 | | | |
|---|--------|---|--------|
| Palancolato di banchina: HZM 1080 B – 14 / AZ 26-700 | | | |
| sezione integra | | sezione corrosa a 50 anni | |
| J_{min} [cm ⁴ /m] | 550120 | $J_{min\ corroso}$ [cm ⁴ /m] | 416134 |
| W_{min} [cm ³ /m] | 9845 | $W_{min\ corroso}$ [cm ³ /m] | 7467 |
| A_{min} [cm ² /m] | 381.5 | $A_{min\ corroso}$ [cm ² /m] | 276 |
| Tirante di ancoraggio: M90 ϕ72mm (interasse i = 1.927 m) | | | |
| sezione integra | | sezione corrosa a 50 anni | |
| ϕ_{min} (diametro nominale minimo) [mm] | 72 | $\phi_{min\ corroso}$ (diametro nominale minimo) [mm] | 69.6 |
| A_{min} [cm ² /tirante] | 40.72 | $A_{min\ corroso}$ [cm ² /tirante] | 38.05 |
| A_{min} [cm ² /m] | 21.13 | $A_{min\ corroso}$ [cm ² /m] | 19.74 |
| Palancolato di ancoraggio: AZ 28-700 | | | |
| sezione integra | | sezione corrosa a 50 anni | |
| J_{min} [cm ⁴ /m] | 63620 | $J_{min\ corroso}$ [cm ⁴ /m] | 51960 |
| W_{min} [cm ³ /m] | 2760 | $W_{min\ corroso}$ [cm ³ /m] | 2254 |
| A_{min} [cm ² /m] | 200.2 | $A_{min\ corroso}$ [cm ² /m] | 164 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 57 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

| Banchina 2 | | | |
|---|--------|--|--------|
| Palancolato di banchina: HZM 1080 B – 14 / AZ 26-700 | | | |
| sezione integra | | sezione corrosa a 50 anni | |
| J_{min} [cm ⁴ /m] | 550120 | J_{min} corrosa [cm ⁴ /m] | 416134 |
| W_{min} [cm ³ /m] | 9845 | W_{min} corrosa [cm ³ /m] | 7467 |
| A_{min} [cm ² /m] | 381.5 | A_{min} corrosa [cm ² /m] | 276 |
| Tirante di ancoraggio: M90 ϕ72mm (interasse i = 1.927 m) | | | |
| sezione integra | | sezione corrosa a 50 anni | |
| ϕ_{min} (diametro nominale minimo) [mm] | 72 | ϕ_{min} corrosa (diametro nominale minimo) [mm] | 69.6 |
| A_{min} [cm ² /tirante] | 40.72 | A_{min} corrosa [cm ² /tirante] | 38.05 |
| A_{min} [cm ² /m] | 21.13 | A_{min} corrosa [cm ² /m] | 19.74 |
| Palancolato di ancoraggio: AZ 37-700 | | | |
| sezione integra | | sezione corrosa a 50 anni | |
| J_{min} [cm ⁴ /m] | 92400 | J_{min} corrosa [cm ⁴ /m] | 77555 |
| W_{min} [cm ³ /m] | 3705 | W_{min} corrosa [cm ³ /m] | 3108 |
| A_{min} [cm ² /m] | 226 | A_{min} corrosa [cm ² /m] | 187 |

Anche se i palancolati metallici sono stati verificati a scopo cautelativo con sezione ridotta a lungo termine, data l'impossibilità di prevedere con certezza l'entità della corrosione e la sua velocità di aggressione, è opportuno prevedere dei trattamenti di protezione dalla corrosione sia durante il normale esercizio della struttura (lungo termine) che durante le fasi realizzazione della struttura stessa (breve termine). Il trattamento di protezione a lungo termine, durante l'esercizio dei palancolati è garantito dal sistema di protezione catodica; mentre nel breve periodo, durante le fasi di costruzione delle strutture, la protezione dalla corrosione è garantito dai trattamenti superficiali di protezione dalla corrosione per i primi 5 m a partire dalla sommità del palancolato, andando così a proteggere la superficie esposta alla splash zone, la zona di

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 58 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

maggiore aggressione. Il trattamento superficiale di protezione interessa tutta la superficie dei profilati a Z (ambo i lati) e tutta la superficie dei profilati a H per i primi 5 m a partire dalla sommità. Tale protezione prevede:

- *attività preliminare* di preparazione della superficie interessata in cui ogni traccia di olio, grasso e sostanze untuose dovrà essere rimossa con idonei detergenti in accordo con la norma SSPC-SP-1; non dovranno essere usati petrolio, kerosene, nafta o altri solventi grassi;
- *sabbiatura della superficie* interessata dalla protezione (i primi 5 m su tutta la superficie dei profilati Z su ambo i lati, e tutta la superficie esterna dei profilati ad H) a metallo bianco (grado Sa 2-1/2, very thorough blast-cleaning, della norma SS 05 59 00, o classificazione equivalente della UNI-ISO 8504-2). La sabbiatura deve essere effettuata a valle della produzione per quel che riguarda i palancolati e dopo il montaggio dei gargami e delle predisposizioni saldate in officina per quel che riguarda i profilati ad H;
- *verniciatura* subito dopo la sabbiatura della superficie interessata dalla protezione che verrà trattata con il seguente ciclo di verniciatura:
 - una mano di fondo di zincante inorganico, spessore secco nominale 75 µm;
 - due mani di primer epossidico, spessore secco nominale complessivo 150 µm.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.7 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 è stata considerata le seguenti azioni variabili:

Q_1 – Sovraccarico banchina 40 kN/m²;

Q_2 –Tiro alla bitta 50 kN/m.

Il sovraccarico agente sulla banchina Q_1 è stato considerato come carico orizzontale uniformemente ripartito; il valore del tiro alla bitta Q_2 è stato considerato come un tiro massimo derivante da bitte da 100 t (1000 kN) disposte ogni 20 m lungo il filo banchina.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.8 Elenco delle verifiche dei palancolati

4.8.1 Banchina 1

| Banchina 1 | in condizioni non sismiche |
|---|--|
| SLU – GEO | (A2 + M2 + R1) |
| Combinazione fondamentale 1 SLU (GEO) – COMB1 | $E_{d1} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_1 + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_2$ |
| 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_1 = azione variabile dominante | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.3 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| ψ_{02} = coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M2) 1.0 |
| $\gamma_{c'}$ = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M2) 1.25 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M2) 1.25 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |
| Combinazione fondamentale 2 SLU (GEO) – COMB2 | $E_{d2} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q2} Q_2 + \gamma_{Q1} \psi_{02} Q_1$ |
| G_1 = insieme delle azioni permanenti | spinta del terreno sulla paratia |
| γ_{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti | coefficiente parziale per i carichi permanenti (A2) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole |
| Q_2 = azione variabile dominante | tiro alla bitta 50 kN/m |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.3 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| ψ_{02} = coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M2) 1.0 |
| $\gamma_{c'}$ = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M2) 1.25 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M2) 1.25 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

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 (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| Banchina 1 SLU – STR | in condizioni non sismiche (A1 + M1 + R1) |
|---|---|
| Combinazione fondamentale 1 SLU (STR) – COMB1 | $E_{d1} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_1 + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_2$ |
| 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 |
| Q_1 = azione variabile dominante | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 1.5 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| ψ_{02} = coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M1) 1.0 |
| γ_c = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M1) 1.0 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M1) 1.0 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |
| Combinazione fondamentale 2 SLU (STR) – COMB2 | $E_{d2} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q2} Q_2 + \gamma_{Q1} \psi_{02} Q_1$ |
| 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_2 = azione variabile dominante | tiro alla bitta 50 kN/m |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 1.5 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| ψ_{02} = coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M1) 1.0 |
| γ_c = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M1) 1.0 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M1) 1.0 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Nota 2: Per le verifiche di tipo strutturale STR, i valori delle sollecitazioni risultanti del modello di calcolo utilizzato relativo a ciascuna verifica SLU – STR saranno confrontate coi valori di resistenza strutturale del palancolato e degli ancoraggi (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| Banchina 1 SLU_EQK – GEO | in condizioni sismiche (A2 + M2 + R1) |
|---|--|
| Combinazione fondamentale 1 SLU_EQK (GEO) – COMB1-COMB2 | $E_{d1} = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} \psi_{21} Q_1 + \gamma_{Q2} \psi_{22} Q_2$ $E_{d2} = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q2} \psi_{21} Q_2 + \gamma_{Q1} \psi_{22} Q_1$ |
| E = azione sismica | incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia |
| 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_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.0 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| $\psi_{21} = \psi_{22}$ = coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M2) 1.0 |
| γ_c = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M2) 1.25 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M2) 1.25 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |

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 (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

| Banchina 1 SLU_EQK – STR | in condizioni sismiche (A1 + M1 + R1) |
|---|--|
| Combinazione fondamentale 1 SLU_EQK (STR) – COMB1-COMB2 | $E_{d1} = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} \psi_{21} Q_1 + \gamma_{Q2} \psi_{22} Q_2$ $E_{d2} = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q2} \psi_{21} Q_2 + \gamma_{Q1} \psi_{22} Q_1$ |
| E = azione sismica | incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia |
| 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) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 1.0 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| $\psi_{21} = \psi_{22}$ = coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M1) 1.0 |
| $\gamma_{c'}$ = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M1) 1.0 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M1) 1.0 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |

Nota 4: Per le verifiche di tipo strutturale STR, i valori delle sollecitazioni risultanti del modello di calcolo utilizzato relativo a ciascuna verifica SLU_EQK – STR saranno confrontate coi valori di resistenza strutturale del palancolato e degli ancoraggi (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

| Banchina 1 | SLE |
|---|--|
| Combinazione rara SLE_RARA | $E_{d1} = G_1 + Q_1 + \psi_{02} Q_2$ |
| G_1 = insieme delle azioni permanenti | spinta del terreno sulla paratia |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| ψ_{02} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| Combinazione frequente SLE_FREQUENTE | $E_{d2} = G_1 + \psi_{11} Q_1 + \psi_{22} Q_2$ |
| G_1 = insieme delle azioni permanenti | spinta del terreno sulla paratia |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| ψ_{11} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| ψ_{22} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| Combinazione quasi permanente SLE_QUASI PERMANENTE | $E_{d3} = G_1 + \psi_{21} Q_1 + \psi_{22} Q_2$ |
| G_1 = insieme delle azioni permanenti | spinta del terreno sulla paratia |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| ψ_{21} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| ψ_{22} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |

Nota 5: 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 nelle diverse combinazioni relative a ciascuna verifica SLE_RARA, SLE_FREQUENTE e SLE_QUASI PERMANENTE saranno confrontati col valore di deformazione massima stabilita (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.8.2 Banchina 2

| Banchina 2 SLU – GEO | in condizioni non sismiche (A2 + M2 + R1) |
|---|--|
| Combinazione fondamentale 1 SLU (GEO) – COMB1 | $E_{d1} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_1 + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_2$ |
| 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_1 = azione variabile dominante | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.3 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| ψ_{02} = coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M2) 1.0 |
| $\gamma_{c'}$ = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M2) 1.25 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M2) 1.25 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |
| Combinazione fondamentale 2 SLU (GEO) – COMB2 | $E_{d2} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q2} Q_2 + \gamma_{Q1} \psi_{02} Q_1$ |
| G_1 = insieme delle azioni permanenti | spinta del terreno sulla paratia |
| γ_{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti | coefficiente parziale per i carichi permanenti (A2) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole |
| Q_2 = azione variabile dominante | tiro alla bitta 50 kN/m |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.3 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| ψ_{02} = coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M2) 1.0 |
| $\gamma_{c'}$ = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M2) 1.25 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M2) 1.25 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

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 (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| Banchina 2 | in condizioni non sismiche |
|---|---|
| SLU – STR | (A1 + M1 + R1) |
| Combinazione fondamentale 1 SLU (STR) – COMB1 | $E_{d1} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} Q_1 + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_2$ |
| 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 |
| Q_1 = azione variabile dominante | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 1.5 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| ψ_{02} = coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M1) 1.0 |
| γ_c = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M1) 1.0 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M1) 1.0 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |
| Combinazione fondamentale 2 SLU (STR) – COMB2 | $E_{d2} = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q2} Q_2 + \gamma_{Q1} \psi_{02} Q_1$ |
| 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_2 = azione variabile dominante | tiro alla bitta 50 kN/m |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 1.5 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| ψ_{02} = coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M1) 1.0 |
| γ_c = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M1) 1.0 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M1) 1.0 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

Nota 2: Per le verifiche di tipo strutturale STR, i valori delle sollecitazioni risultanti del modello di calcolo utilizzato relativo a ciascuna verifica SLU – STR saranno confrontate coi valori di resistenza strutturale del palancolato e degli ancoraggi (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| Banchina 2 | in condizioni sismiche |
|---|--|
| SLU_EQK – GEO | (A2 + M2 + R1) |
| Combinazione fondamentale 1 SLU_EQK (GEO) – COMB1-COMB2 | $E_{d1} = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} \psi_{21} Q_1 + \gamma_{Q2} \psi_{22} Q_2$ $E_{d2} = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q2} \psi_{21} Q_2 + \gamma_{Q1} \psi_{22} Q_1$ |
| E = azione sismica | incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia |
| 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_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A2) 1.0 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| $\psi_{21} = \psi_{22}$ = coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M2) 1.0 |
| $\gamma_{c'}$ = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M2) 1.25 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M2) 1.25 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |

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 (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

| Banchina 2 SLU_EQK – STR | in condizioni sismiche (A1 + M1 + R1) |
|---|--|
| Combinazione fondamentale 1 SLU_EQK (STR) – COMB1-COMB2 | $E_{d1} = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q1} \psi_{21} Q_1 + \gamma_{Q2} \psi_{22} Q_2$ $E_{d2} = E + \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{Q2} \psi_{21} Q_2 + \gamma_{Q1} \psi_{22} Q_1$ |
| E = azione sismica | incremento sismico di spinta del terreno ed azione idrodinamica sulla paratia |
| 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) 1.0 sfavorevole ; 1.0 favorevole |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili | coefficiente parziale per le azioni variabili (A1) 1.0 sfavorevole ; 0.0 favorevole |
| $\psi_{21} = \psi_{22}$ = coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| γ_γ = coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume | coefficiente parziale geotecnico per il peso dell'unità di volume (M1) 1.0 |
| $\gamma_{c'}$ = coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace | coefficiente parziale geotecnico per la coesione efficace (M1) 1.0 |
| γ_ϕ = coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio | coefficiente parziale geotecnico per l'angolo di resistenza al taglio (M1) 1.0 (applicato alla $\tan\phi'$) |
| γ_R = coefficienti parziali geotecnici per le resistenze | coefficienti parziali geotecnici per le resistenze (R1) 1.0 |

Nota 4: Per le verifiche di tipo strutturale STR, i valori delle sollecitazioni risultanti del modello di calcolo utilizzato relativo a ciascuna verifica SLU_EQK – STR saranno confrontate coi valori di resistenza strutturale del palancolato e degli ancoraggi (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

| Banchina 2 | SLE |
|---|--|
| Combinazione rara SLE_RARA | $E_{d1} = G_1 + Q_1 + \psi_{02} Q_2$ |
| G_1 = insieme delle azioni permanenti | spinta del terreno sulla paratia |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| ψ_{02} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| Combinazione frequente SLE_FREQUENTE | $E_{d2} = G_1 + \psi_{11} Q_1 + \psi_{22} Q_2$ |
| G_1 = insieme delle azioni permanenti | spinta del terreno sulla paratia |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| ψ_{11} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.7 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| ψ_{22} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| Combinazione quasi permanente SLE_QUASI PERMANENTE | $E_{d3} = G_1 + \psi_{21} Q_1 + \psi_{22} Q_2$ |
| G_1 = insieme delle azioni permanenti | spinta del terreno sulla paratia |
| Q_1 = azione variabile | sovraccarico banchina 40 kN/m ² |
| Q_2 = azione variabile | tiro alla bitta 50 kN/m |
| ψ_{21} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |
| ψ_{22} =coefficiente combinazione delle azioni | 0.6 (Tab. 2.5.I del DM 14/1/2008) |

Nota 5: 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 nelle diverse combinazioni relative a ciascuna verifica SLE_RARA, SLE_FREQUENTE e SLE_QUASI PERMANENTE saranno confrontati col valore di deformazione massima stabilita (vedere descrizione del modello di calcolo utilizzato).

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9 Calcolo e verifica dei palancolati

Per il calcolo e la verifica delle banchine del porto di Cagliari è stato utilizzato il software specialistico PARATIE PLUS di Harpaceas srl.

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: 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 (vedere § 4.3);
- caratteristiche geometriche e meccaniche costituenti la struttura in oggetto (vedere § 4.4);
- fasi costruttive (vedere nel presente capitolo la descrizione delle fasi costruttive relative a ciascuna banchina).

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).

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 71 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.1 Banchina 1

4.9.1.1 Fasi costruttive

Le fasi costruttive considerate nel modello di calcolo per la Banchina 1 prevedono:

- prima dell'inizio delle lavorazioni si prevede la rimozione dello strato di terreno C fino alla q.ta -8.00 m s.m.m. e versamento di materiale di riporto di progetto (nel modello di calcolo è stato considerato a scopo cautelativo un versamento fino alla q.ta -4.50 m s.m.m. di ripristino del fondale naturale);
- l'infissione delle palancole di banchina (fondale naturale considerato a q.ta -4.50 m s.m.m.), previa realizzazione di un rilevato di lavoro, con q.ta di sommità alla +1.00 m s.m.m. (nel modello di calcolo la quota di sommità della palanca è stata assunta pari alla quota del finito della banchina alla +2.50 m s.m.m. a scopo cautelativo);
- l'infissione delle palancole di ancoraggio (fondale naturale considerato a q.ta -4.50 m s.m.m.), .), previa realizzazione di un rilevato di lavoro, con q.ta di sommità alla +1.00 m s.m.m.;
- posa dei tiranti alla +0.50 m s.m.m.;
- il riempimento-ricoprimento del sistema d'ancoraggio e di tutto il piazzale di nuova realizzazione fino a q.ta +2.50 m s.m.m. con innalzamento della falda interna (a scopo cautelativo) alla +0.50 m s.m.m.;
- il dragaggio fronte palancole di banchina fino a q.ta di progetto alla -11.00 m s.m.m.;
- l'applicazione del sovraccarico (azione variabile) di banchina come uniformemente distribuito;
- l'applicazione del tiro alla bitta (azione variabile) alla q.ta +2.50 m s.m.m.;
- l'applicazione del sisma.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.1.2 SLU – valori delle sollecitazioni

Con riferimento ai criteri di verifica delle strutture nel § 4.5 e alle verifiche indicate nel § 4.8.1, di seguito si riportano:

- le caratteristiche di sollecitazioni massime relative a ciascuna verifica SLU–STR;
- la conferma della convergenza del modello di calcolo relativo a ciascuna verifica SLU–GEO indice di stabilità dell’opera (la paratia non è labile per plasticizzazione del terreno resistente).

Risultati analisi

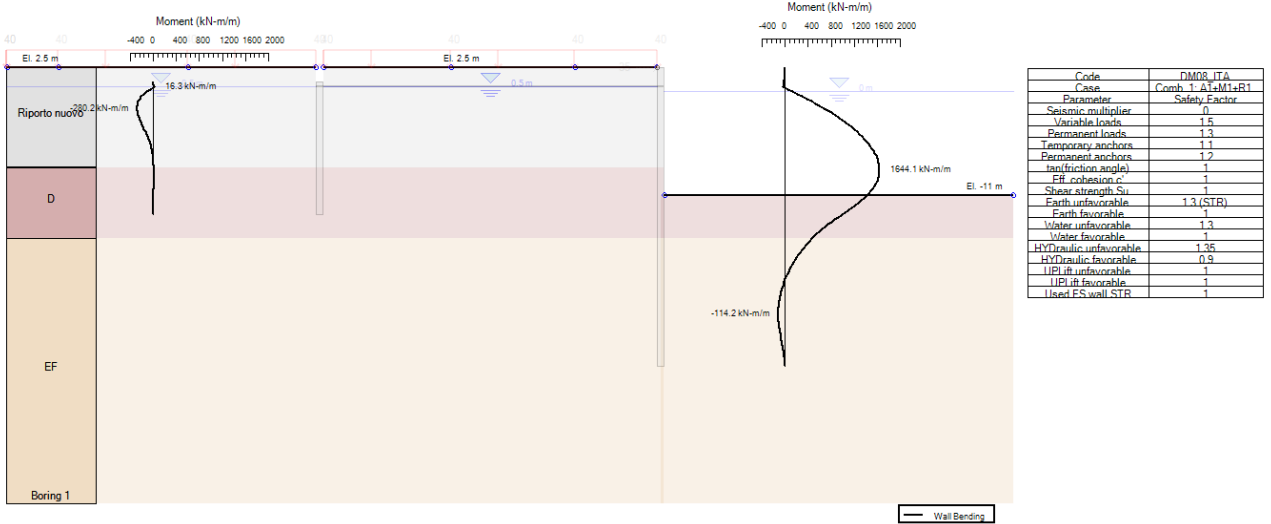
| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Verifica SLU (GEO) COMB1 | la soluzione converge |
| Verifica SLU (GEO) COMB2 | la soluzione converge |

| | Muro di Banchina | | Tirante di Ancoraggio | | Muro di Ancoraggio | |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | Momento paratia (kN-m/m) | Taglio paratia (kN/m) | Max. reazione vincoli (kN/m) | Max. reazione vincoli (kN) | Momento paratia (kN-m/m) | Taglio paratia (kN/m) |
| Verifica SLU (STR) COMB1 | 1644.1 | 347.4 | 438.37 | 844.74 | 361.9 | 347.4 |
| Verifica SLU (STR) COMB2 | 1426.9 | 307.3 | 412.48 | 794.84 | 315.3 | 319 |

Come è possibile notare dai risultati riportati in tabella sottostante e graficati di seguito, la condizione in cui la struttura è soggetta a maggiori sollecitazioni è nella combinazione 1 [SLU (STR) – COMB1] nella quale l’azione variabile dominante è il sovraccarico di banchina. In particolare i risultati del modello di calcolo indicano che la condizione in cui il palancoato di banchina è soggetto alla maggiore sollecitazione in termini di momento flettente è durante l’applicazione del solo sovraccarico di banchina; mentre per quanto riguarda la massima azione sollecitante in termini di taglio sul palancoato di banchina, momento flettente e taglio per il palancoato di ancoraggio e la massima reazione sui tiranti, la condizione di maggiore sollecitazione è nella fase finale di successiva applicazione dell’azione variabile del tiro alla bitta.

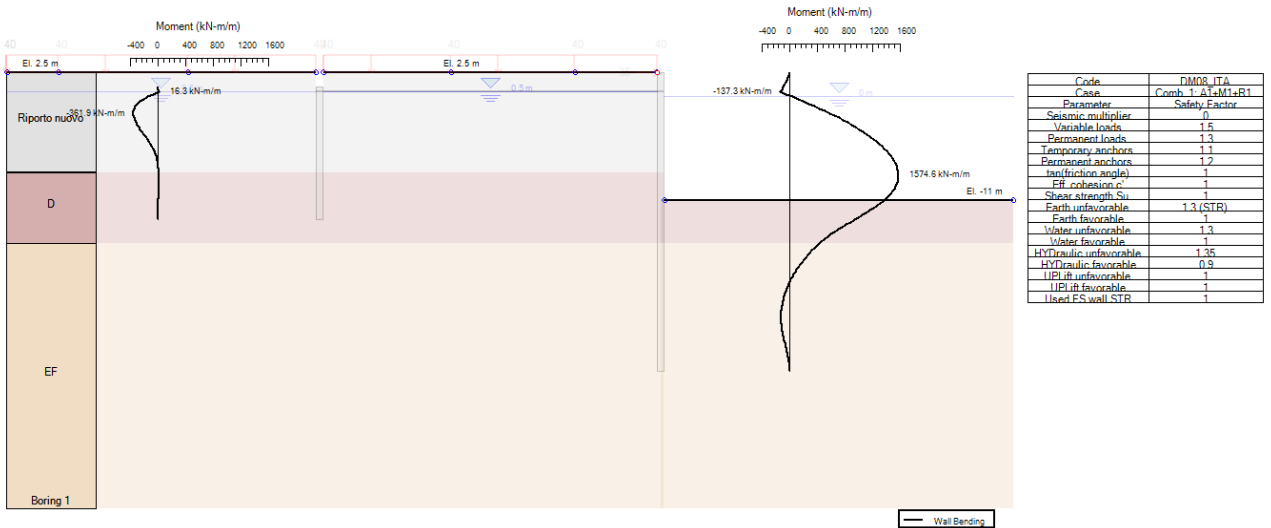
Banchina 1 – risultati SLU (STR) – COMB1

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



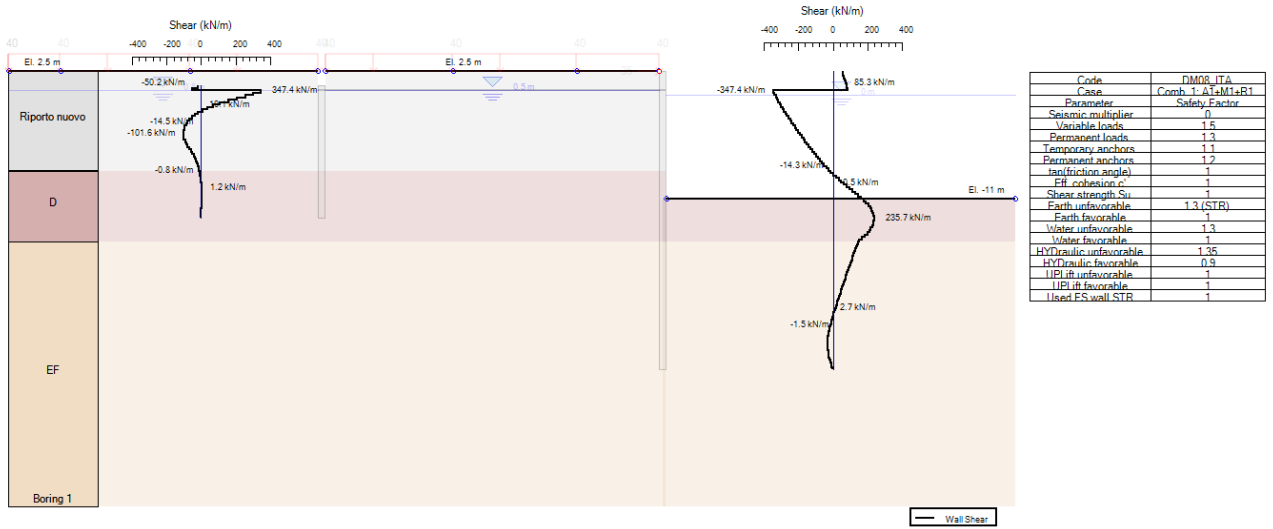
M_{max} muro di banchina (fase applicazione sovraccarico di banchina) _ SLU (STR) – Comb1

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



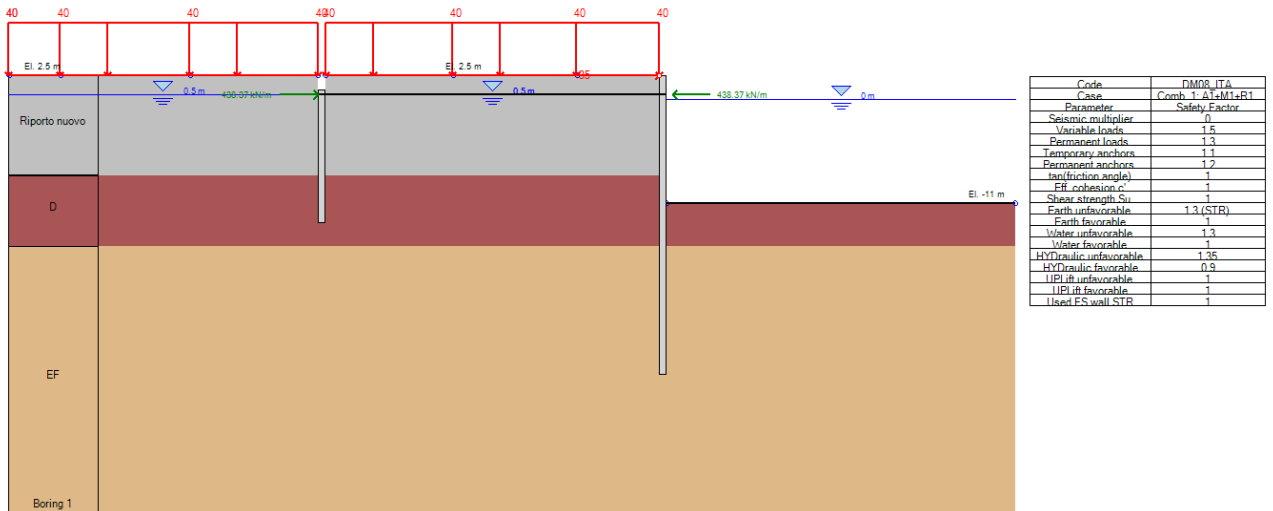
M_{max} muro di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb1

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



V_{max} muro di banchina e muro di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb1

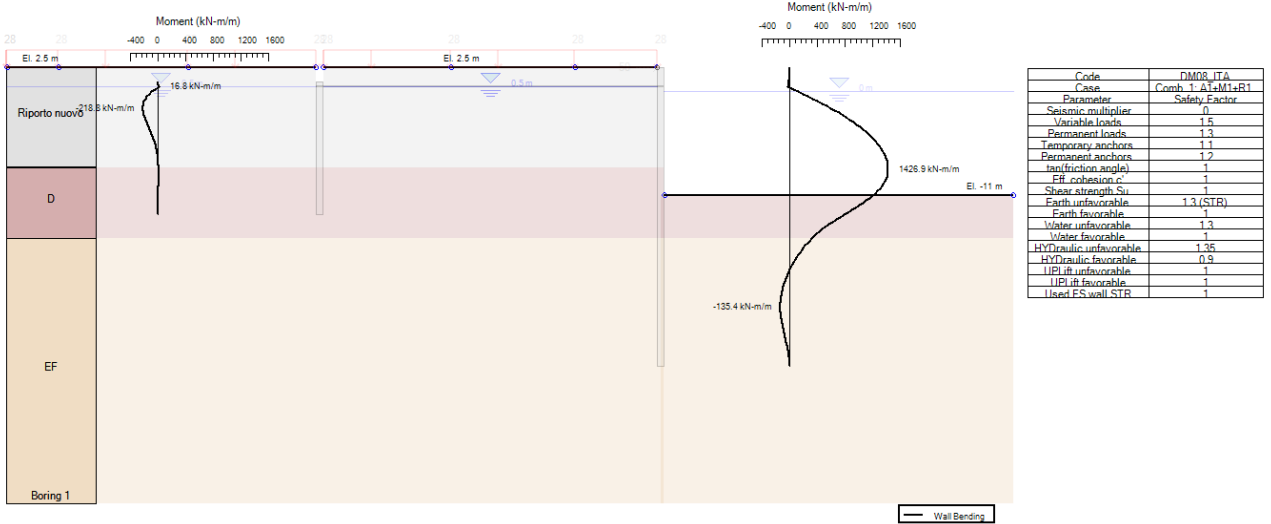
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



N_{max} tiranti di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb1

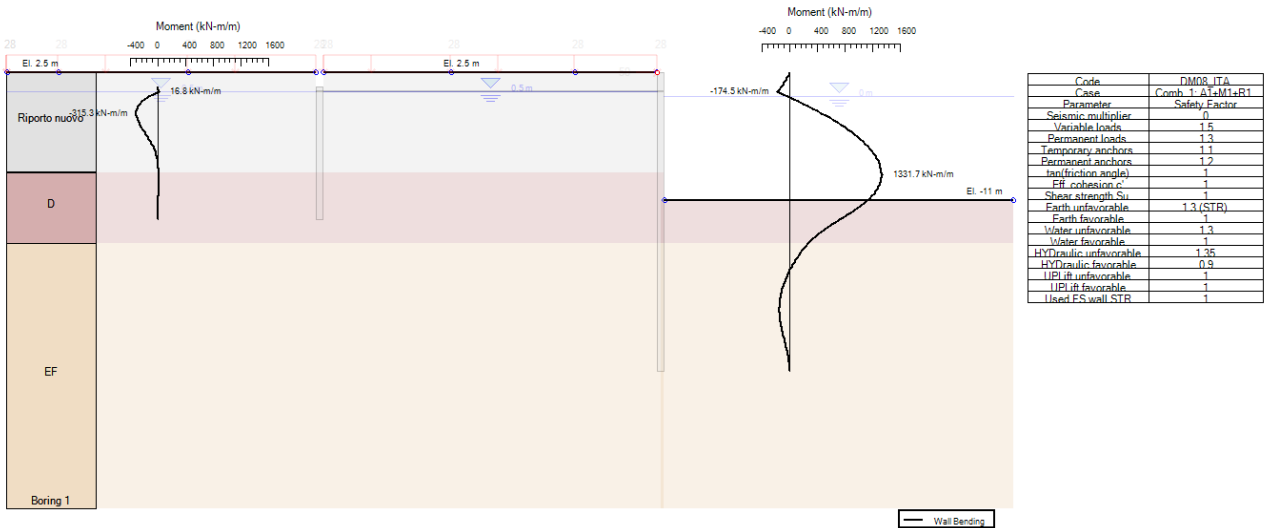
Banchina 1 – risultati SLU (STR) – COMB2

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



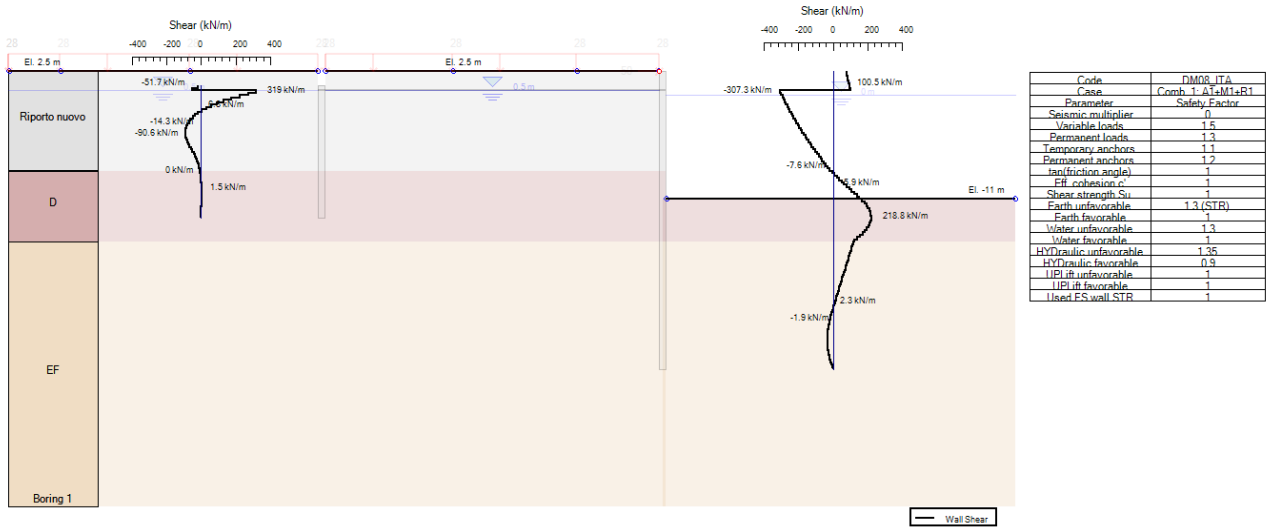
M_{max} muro di banchina (fase applicazione sovraccarico di banchina) _ SLU (STR) – Comb2

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



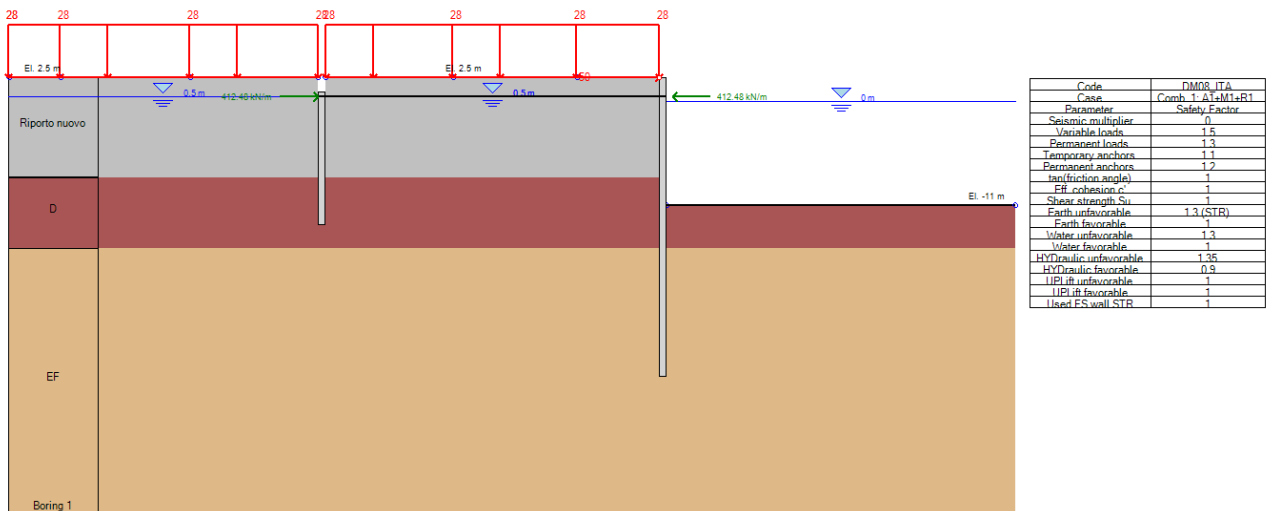
M_{max} muro di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb2

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



V_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb2

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



N_{max} tiranti di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb2

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.1.3 SLU – verifica delle strutture

Muro di banchina

La combinazione di carico più gravosa per la struttura è COMB1 [SLU (STR) – COMB1] (vedere § 4.8.1 e § 4.9.1.2). Per la verifica del palancolato di banchina si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture fronte mare” (vedere § 4.6); per la verifica dell’azione tagliante:

$$V_{sd} = 347.4 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{276 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 5387.5 \text{ kN/m}$$

Essendo $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$, non c’è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 1644.1 \text{ kNm/m} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7.467 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1.05} = 2524.6 \text{ kNm/m}$$

Muro di ancoraggio

La combinazione di carico più gravosa per la struttura è COMB1 [SLU (STR) – COMB1] (vedere § 4.8.1 e § 4.9.1.2). Per la verifica del palancolato di ancoraggio si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture interne banchina” (vedere § 4.6); per la verifica dell’azione tagliante:

$$V_{sd} = 347.4 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{164 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 3201.3 \text{ kN/m}$$

Essendo $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$, non c’è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 361.9 \text{ kNm} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2.254 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1.05} = 762.1 \text{ kNm}$$

Tiranti di ancoraggio

La combinazione di carico più gravosa per la struttura è COMB1 [SLU (STR) – COMB1] (vedere § 4.8.1 e § 4.9.1.2). Per la verifica dei tiranti di ancoraggio si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture interne banchina” (vedere § 4.6). $N_{sd} = 844.74 \text{ kN/tirante}$ (interasse tiranti 1.927 m)

$$N_{rd} = \frac{F_y \times A_{corr}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.500 \times 3805}{1.05} = 1811.7 \text{ kN} > N_{sd}$$

A scopo cautelativo è stata verificata anche la condizione di rottura di uno dei tiranti di ancoraggio. Nel caso che ciò avvenga, i tiranti immediatamente adiacenti hanno un aumento di sollecitazione che può essere schematizzato come un aumento

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

dell'interasse dei tiranti, nello specifico $i_{rottura_tirante} = 1.5 \cdot i$. In questa condizione (vedere valori § 4.9.1.2) si ottiene:

$$N_{Sd_rottura_tirante} = N_{Sd[kN/ml]} \cdot i_{rottura_tirante} = 438.37 \cdot 1.5 \cdot 1.927 = 1267.11 \text{ kN} < N_{rd}$$

pertanto anche questa verifica risulta soddisfatta.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.1.4 SLU_EQK – valori delle sollecitazioni

Con riferimento ai criteri di verifica delle strutture nel § 4.5 e alle verifiche indicate nel § 4.8.1, di seguito si riportano:

- le caratteristiche di sollecitazioni massime relative a ciascuna verifica SLU_EQK–STR;
- la conferma della convergenza del modello di calcolo relativo a ciascuna verifica SLU_EQK–GEO indice di stabilità dell’opera (la paratia non è labile per plasticizzazione del terreno resistente).

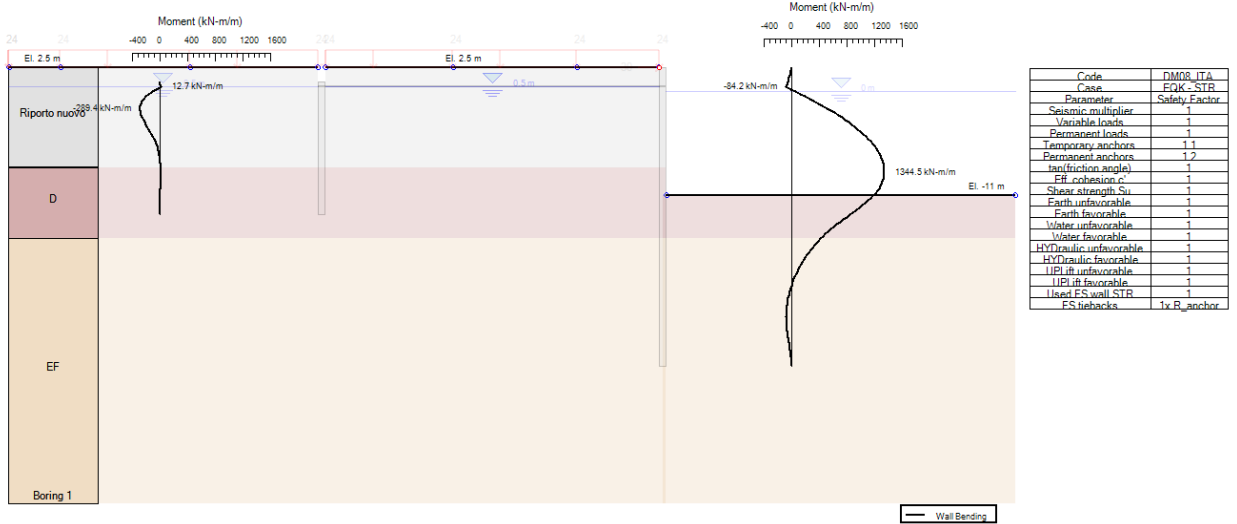
Risultati analisi

| | |
|---|-----------------------|
| Verifica SLU_EQK (GEO) COMB1 - COMB2 | la soluzione converge |
|---|-----------------------|

| | Muro di Banchina | | Tirante di Ancoraggio | | Muro di Ancoraggio | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| | Moment o paratia (kN- m/m) | Taglio paratia (kN/m) | Max. reazione vincoli (kN/m) | Max. reazione vincoli (kN) | Moment o paratia (kN- m/m) | Taglio paratia (kN/m) |
| Verifica SLU_EQK (STR) COMB1 - COMB2 | 1344.5 | 286.3 | 345.08 | 664.97 | 289.4 | 274.2 |

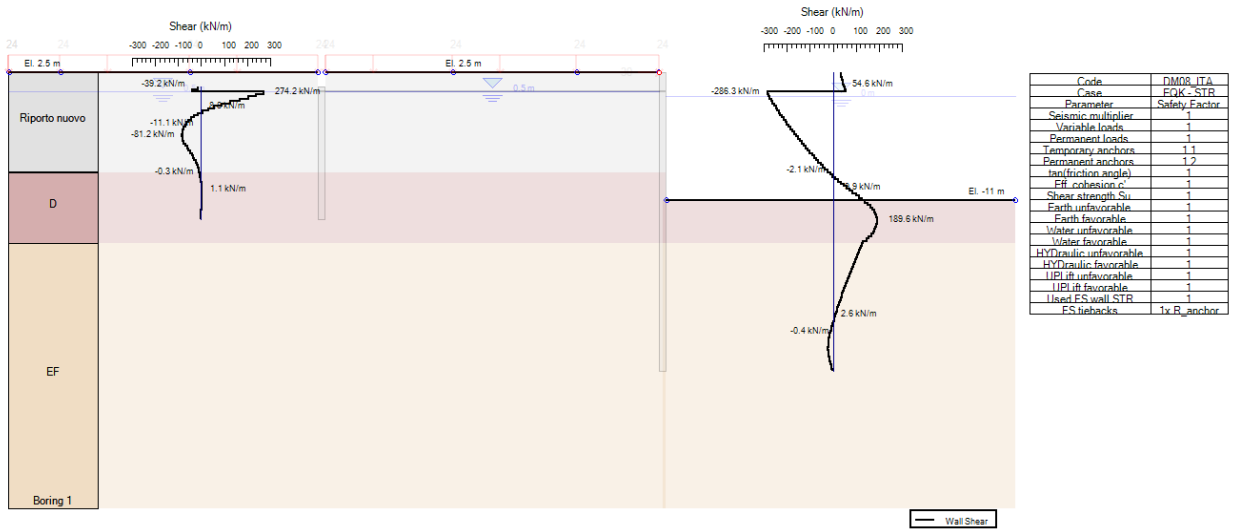
Banchina 1 – risultati SLU EQK (STR) – COMB1-COMB2

0: DM08_JTA: EQK - STR(LINK: Design section 0)



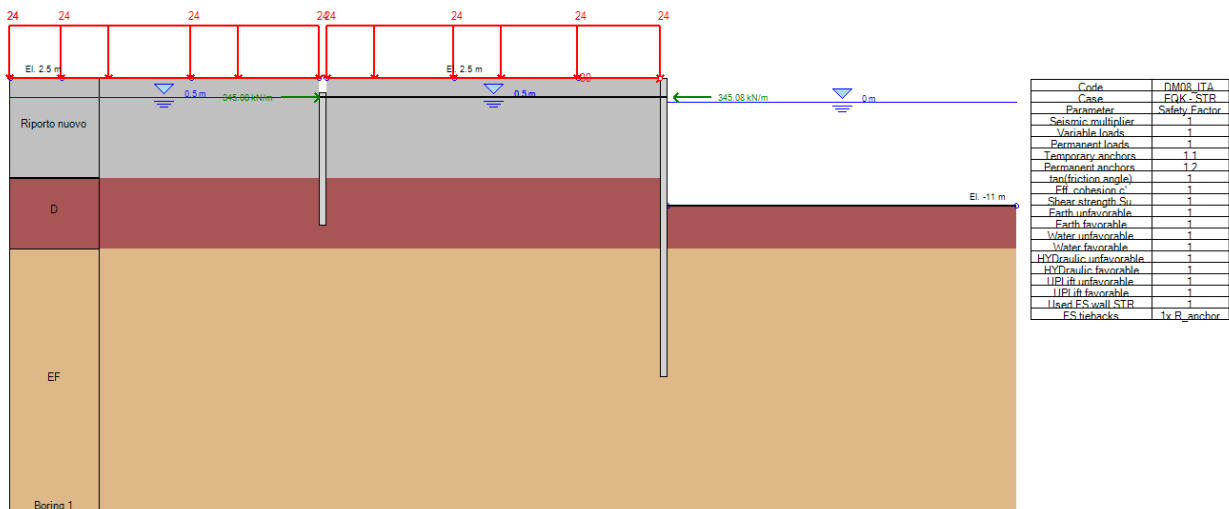
M_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione sisma) _ SLU-EQK (STR) – Comb1-Comb2

0: DM08_JTA: EQK - STR(LINK: Design section 0)



V_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione sisma) _ SLU-EQK (STR) – Comb1-Comb2

0: DM08_ITA: EQK - STR(LINK: Design section 0)



N_{max} tiranti di ancoraggio (fase applicazione sisma) _ SLU-EQK (STR) – Comb1-Comb2

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.1.5 SLU_EQK – verifica delle strutture

Muro di banchina

Le combinazioni di carico COMB1 e COMB2 della verifica agli stati limiti ultimi in condizioni sismiche (SLU_EQK) coincidono (vedere § 4.8.1 e § 4.9.1.4), per cui le sollecitazioni a cui la struttura è soggetta sono quelle indicate con la dicitura SLU_EQK (STR) – COMB1-COMB2. Per la verifica del palancolato di banchina si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture fronte mare” (vedere § 4.6); per la verifica dell’azione tagliante:

$$V_{sd} = 286.3 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{276 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 5387.5 \text{ kN/m}$$

Essendo $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$, non c’è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 1344.5 \text{ kNm/m} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7.467 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1.05} = 2524.6 \text{ kNm/m}$$

Muro di ancoraggio

Le combinazioni di carico COMB1 e COMB2 della verifica agli stati limiti ultimi in condizioni sismiche (SLU_EQK) coincidono (vedere § 4.8.1 e § 4.9.1.4), per cui le sollecitazioni a cui la struttura è soggetta sono quelle indicate con la dicitura SLU_EQK (STR) – COMB1-COMB2. Per la verifica del palancolato di ancoraggio si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture interne banchina” (vedere § 4.6); per la verifica dell’azione tagliante:

$$V_{sd} = 274.2 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{164 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 3201.3 \text{ kN/m}$$

Essendo $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$, non c’è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 289.4 \text{ kNm} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{2.254 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1.05} = 762.1 \text{ kNm}$$

Tiranti di ancoraggio

Le combinazioni di carico COMB1 e COMB2 della verifica agli stati limiti ultimi in condizioni sismiche (SLU_EQK) coincidono (vedere § 4.8.1 e § 4.9.1.4), per cui le sollecitazioni a cui la struttura è soggetta sono quelle indicate con la dicitura SLU_EQK (STR) – COMB1-COMB2. Per la verifica dei tiranti di ancoraggio si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture interne banchina” (vedere § 4.6).
 $N_{sd} = 664.97 \text{ kN/tirante}$ (interasse tiranti 1.927 m)

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 83 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

$$N_{rd} = \frac{F_y \times A_{corr}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.500 \times 3805}{1.05} = 1811.7 \text{ kN} > N_{Sd}$$

A scopo cautelativo è stata verificata anche la condizione di rottura di uno dei tiranti di ancoraggio. Nel caso che ciò avvenga, i tiranti immediatamente adiacenti hanno un aumento di sollecitazione che può essere schematizzato come un aumento dell'interasse dei tiranti, nello specifico $i_{rottura_tirante} = 1.5 \cdot i$. In questa condizione (vedere valori § 4.9.1.4) si ottiene:

$$N_{Sd_rottura_tirante} = N_{Sd[kN/ml]} \cdot i_{rottura_tirante} = 345.08 \cdot 1.5 \cdot 1.927 = 997.45 \text{ kN} < N_{rd}$$

pertanto anche questa verifica risulta soddisfatta.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.1.6 SLE – valori e verifica

Con riferimento ai criteri di verifica delle strutture nel § 4.5 e alle verifiche indicate nel § 4.8.1, di seguito si riportano le deformazioni massime ottenute dalle verifiche SLE per le tre combinazioni considerate.

| | Muro di Banchina | Muro di Ancoraggio |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Spostamento paratia (cm) | Spostamento paratia (cm) |
| SLE_combinazione rara | 7.97 | 1.67 |
| SLE_combinazione frequente | 6.79 | 1.47 |
| SLE_combinazione quasi permanente | 6.42 | 1.41 |

Nel caso in esame è stato verificato che i valori di degli spostamenti delle paratie risultino minori del valore di progetto limite di spostamenti compatibili col comportamento della struttura che si è ritenuto di accettare uno spostamento massimo pari allo 0.5% dell'altezza della paratia (relazione 7.11.11 del D.M. 14/01/08). Nel caso della Banchina 1 tali valori risultano essere 15.0 cm per il palancoato di banchina e 7.0 cm per il palancoato di ancoraggio.

Come è possibile notare, i valori degli spostamenti massimi ottenuti dal modello di calcolo sono inferiori al valore limite ipotizzato, pertanto la verifica risulta essere soddisfatta.

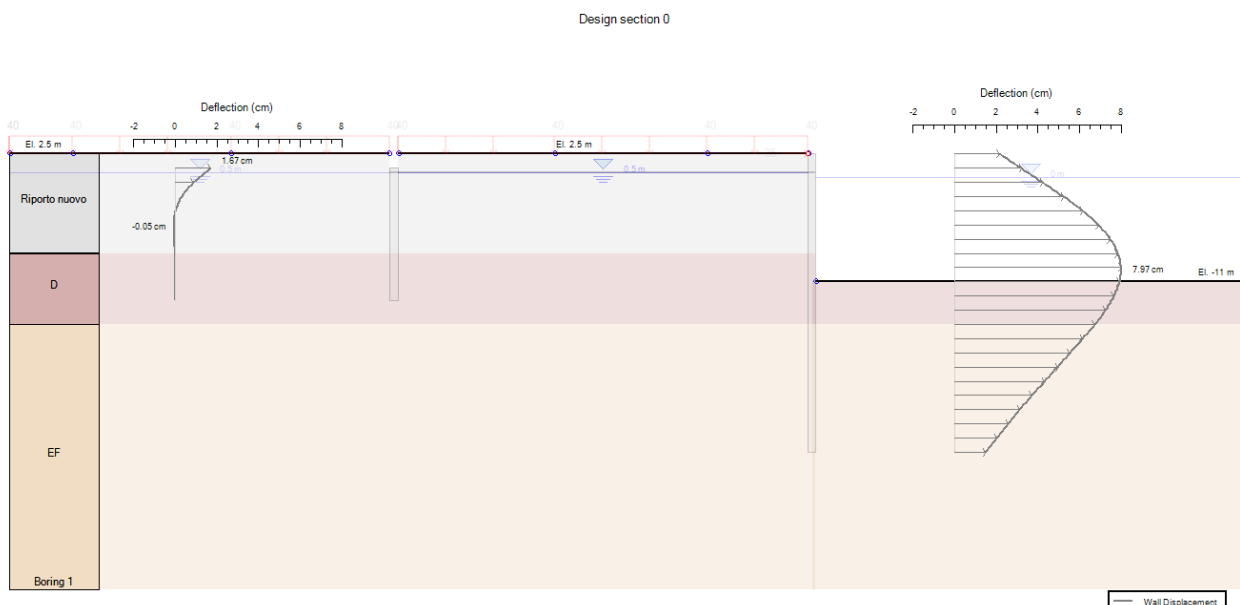
Anche per le verifiche SLE si è presa in considerazione la condizione a lungo termine con corrosione dei palancoati a 50 anni. Si è deciso di svolgere la sola combinazione rara in quanto restituisce il valore massimo atteso di spostamento del palancoato. Il risultato di calcolo è riportato nella tabella sottostante.

| | Muro di Banchina | Muro di Ancoraggio |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Spostamento paratia (cm) | Spostamento paratia (cm) |
| SLE_combinazione rara_corrosione | 9.16 | 1.71 |

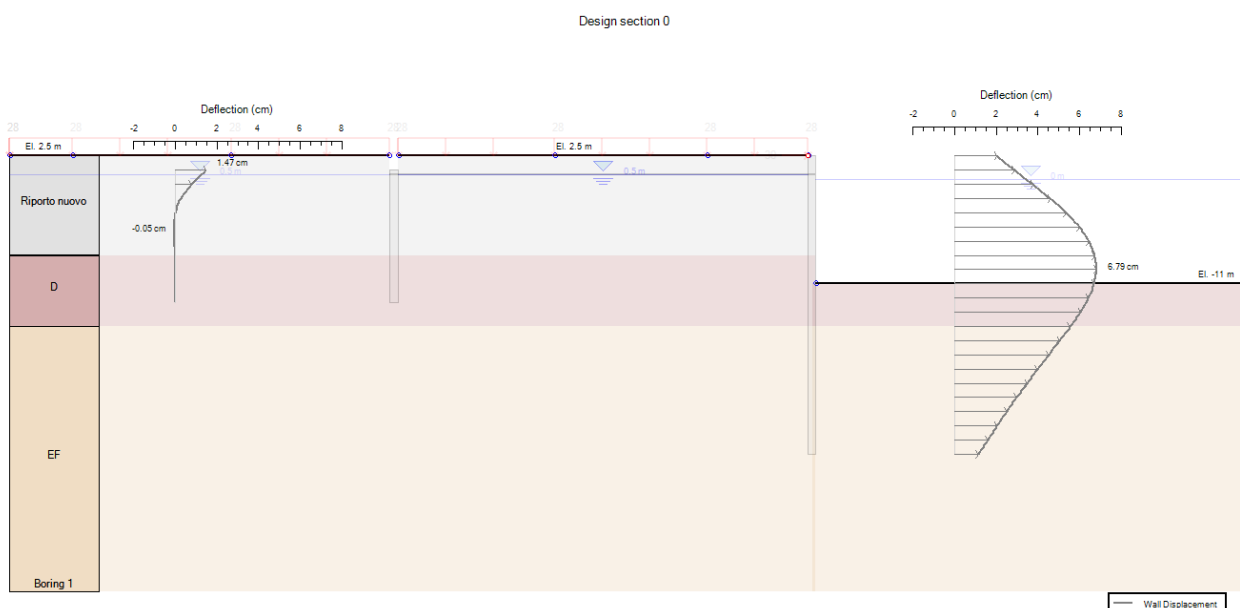
Come è possibile notare, anche per la verifica a lungo termine, il valore dello spostamento massimo ottenuto dal modello di calcolo risulta inferiore al valore limite ipotizzato, pertanto la verifica risulta essere soddisfatta.

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 85 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

Banchina 1 – risultati SLE

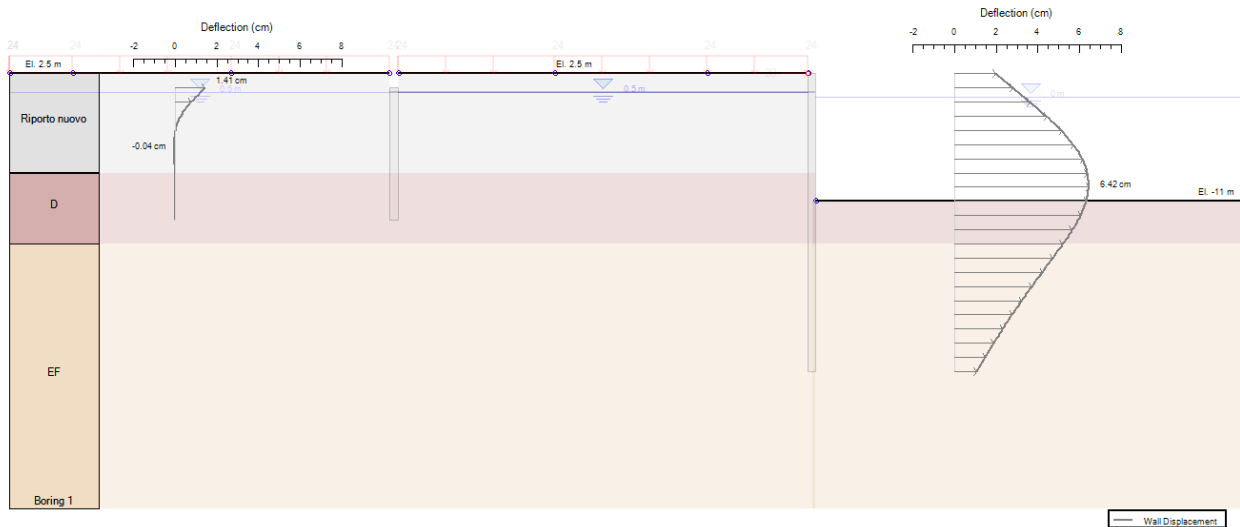


δ_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLE – rara



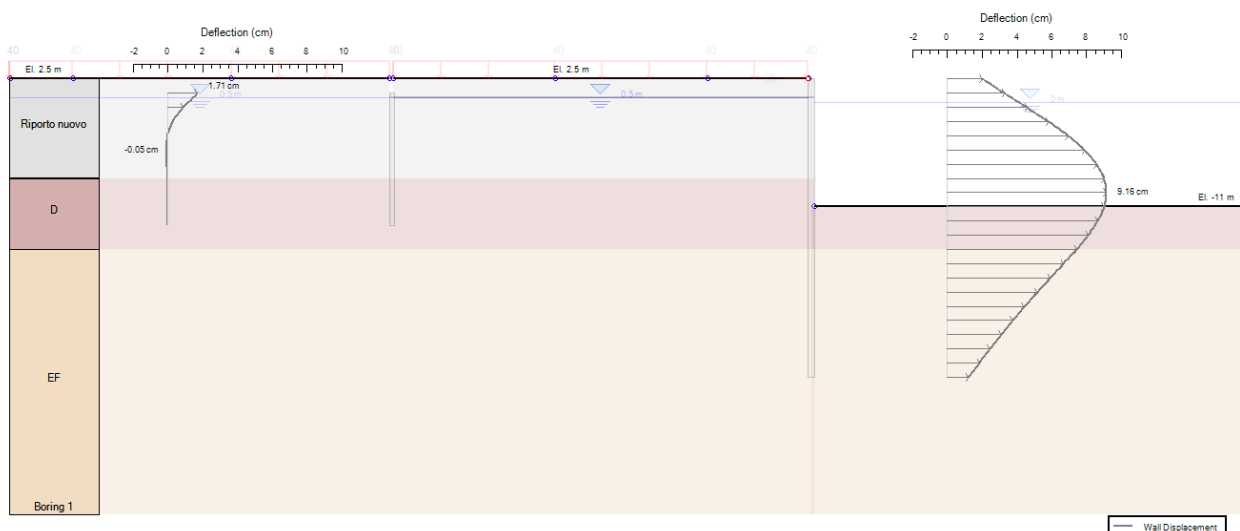
δ_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLE – frequente

Design section 0



δ_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLE – quasi permanente

Design section 0



δ_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLE – rara_corrosione

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.2 Banchina 2

4.9.2.1 Fasi costruttive

Le fasi costruttive considerate nel modello di calcolo per la Banchina 2 prevedono:

- l'infissione delle palancole di banchina (piano campagna a q.ta +0.00 m s.m.m.), previa eventuale rimozione e successiva posa di uno strato di terreno di riporto (1-2m) per migliorare l'infissione (nel codice di calcolo il riporto del materiale non è stato considerato a scopo cautelativo), con q.ta di sommità del piano di lavoro alla +1.00 m s.m.m. (nel modello di calcolo la quota di sommità della palanca è stata assunta pari alla quota del finito della banchina alla +2.50 m s.m.m. a scopo cautelativo);
- l'infissione delle palancole di ancoraggio (piano campagna a q.ta +0.00 m s.m.m.), previa eventuale rimozione e successiva posa di uno strato di terreno di riporto (1-2m) per migliorare l'infissione (nel codice di calcolo il riporto del materiale non è stato considerato a scopo cautelativo), con q.ta di sommità del piano di lavoro alla +1.00 m s.m.m.;
- posa dei tiranti alla +0.50 m s.m.m.;
- il riempimento-ricoprimento del sistema d'ancoraggio e di tutto il piazzale di nuova realizzazione fino a q.ta +2.50 m s.m.m. con innalzamento della falda interna (a scopo cautelativo) alla +0.50 m s.m.m.;
- il dragaggio fronte palancolato di banchina fino a q.ta di progetto alla -11.00 m s.m.m.;
- l'applicazione del sovraccarico (azione variabile) di banchina come uniformemente distribuito;
- l'applicazione del tiro alla bitta (azione variabile) alla q.ta +2.50 m s.m.m.;
- l'applicazione del sisma.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.2.2 SLU – valori delle sollecitazioni

Con riferimento ai criteri di verifica delle strutture nel § 4.5 e alle verifiche indicate nel § 4.8.2, di seguito si riportano:

- le caratteristiche di sollecitazioni massime relative a ciascuna verifica SLU–STR;
- la conferma della convergenza del modello di calcolo relativo a ciascuna verifica SLU–GEO indice di stabilità dell’opera (la paratia non è labile per plasticizzazione del terreno resistente).

Risultati analisi

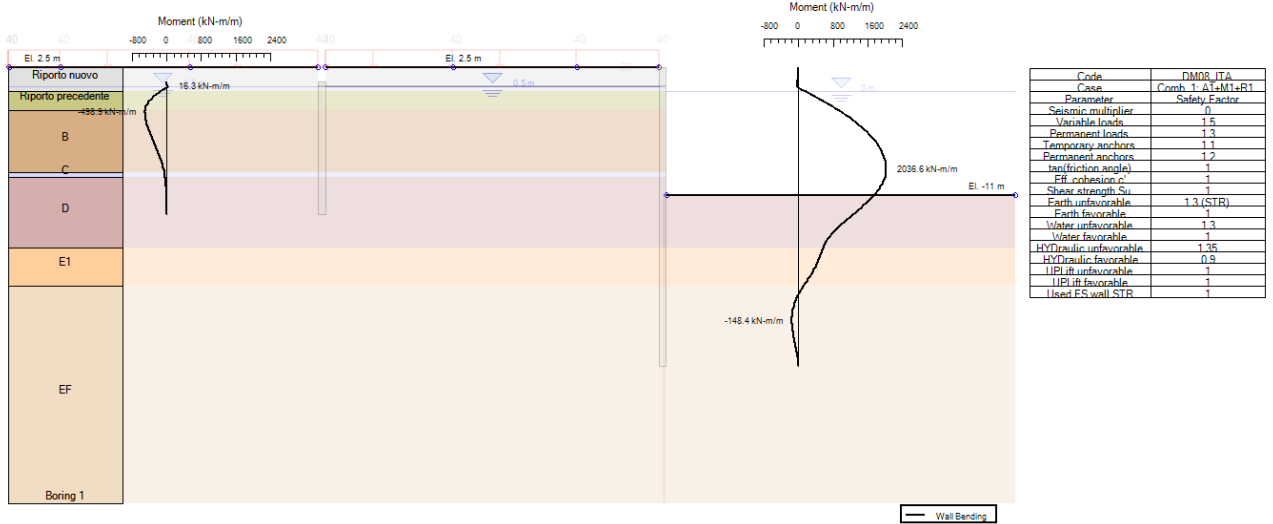
| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Verifica SLU (GEO) COMB1 | la soluzione converge |
| Verifica SLU (GEO) COMB2 | la soluzione converge |

| | Muro di Banchina | | Tirante di Ancoraggio | | Muro di Ancoraggio | |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | Momento paratia (kN-m/m) | Taglio paratia (kN/m) | Max. reazione vincoli (kN/m) | Max. reazione vincoli (kN) | Momento paratia (kN-m/m) | Taglio paratia (kN/m) |
| Verifica SLU (STR) COMB1 | 2036.6 | 431.8 | 522.78 | 1007.4 | 652 | 431.8 |
| Verifica SLU (STR) COMB2 | 1751.9 | 378.2 | 483.37 | 931.45 | 515 | 389.9 |

Come è possibile notare dai risultati riportati in tabella sottostante e graficati di seguito, la condizione in cui la struttura è soggetta a maggiori sollecitazioni è nella combinazione 1 [SLU (STR) – COMB1] nella quale l’azione variabile dominante è il sovraccarico di banchina. In particolare i risultati del modello di calcolo indicano che la condizione in cui il palancoato di banchina è soggetto alla maggiore sollecitazione in termini di momento flettente è durante l’applicazione del solo sovraccarico di banchina; mentre per quanto riguarda la massima azione sollecitante in termini di taglio sul palancoato di banchina, momento flettente e taglio per il palancoato di ancoraggio e la massima reazione sui tiranti, la condizione di maggiore sollecitazione è nella fase finale di successiva applicazione dell’azione variabile del tiro alla bitta.

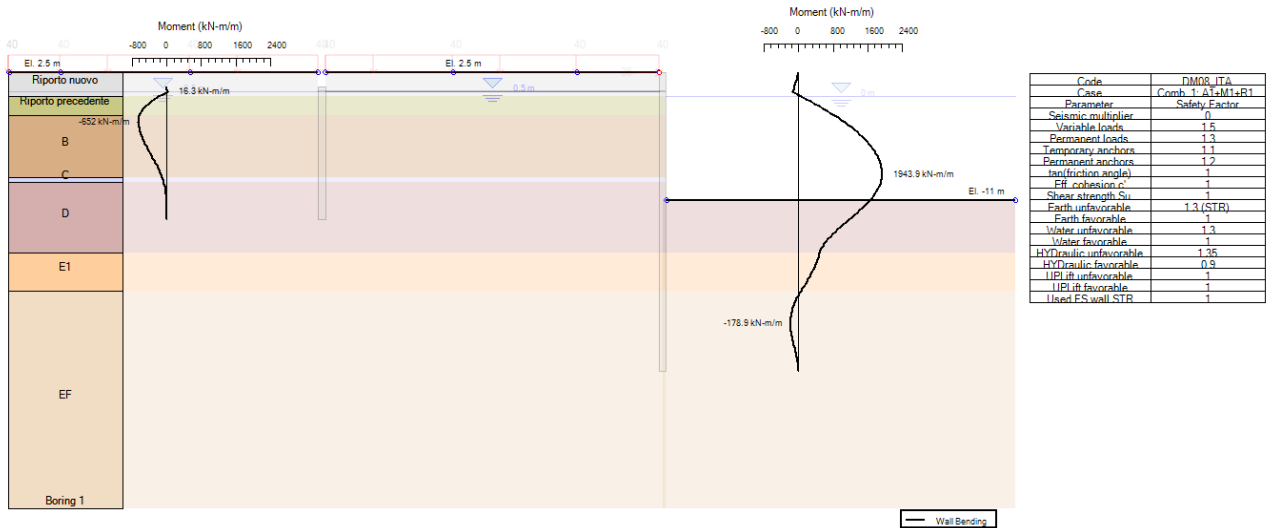
Banchina 2 – risultati SLU (STR) – COMB1

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



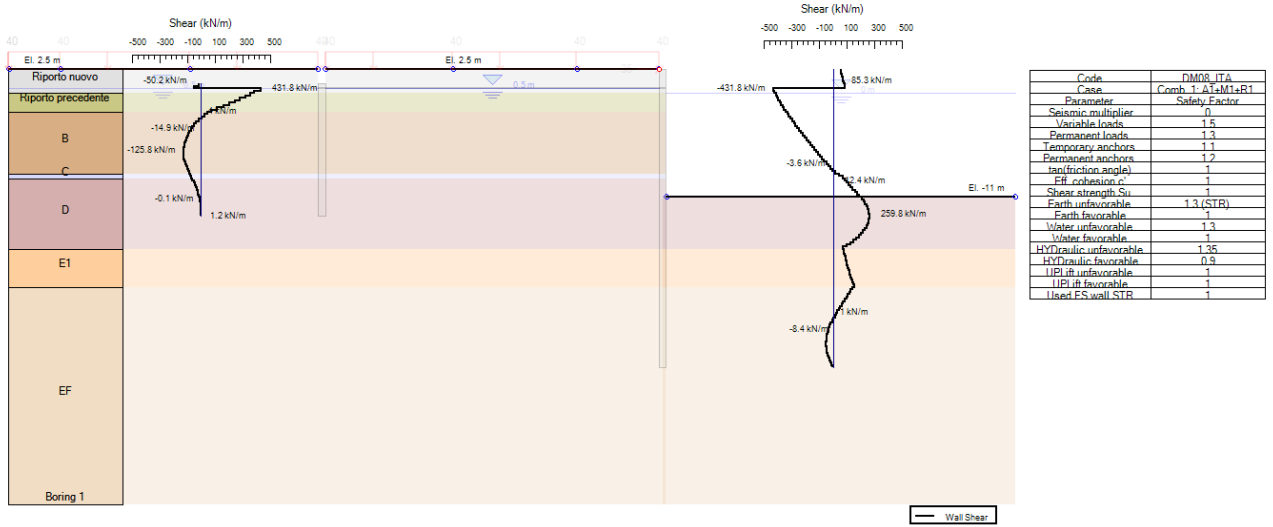
M_{max} muro di banchina (fase applicazione sovraccarico di banchina) _ SLU (STR) – Comb1

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



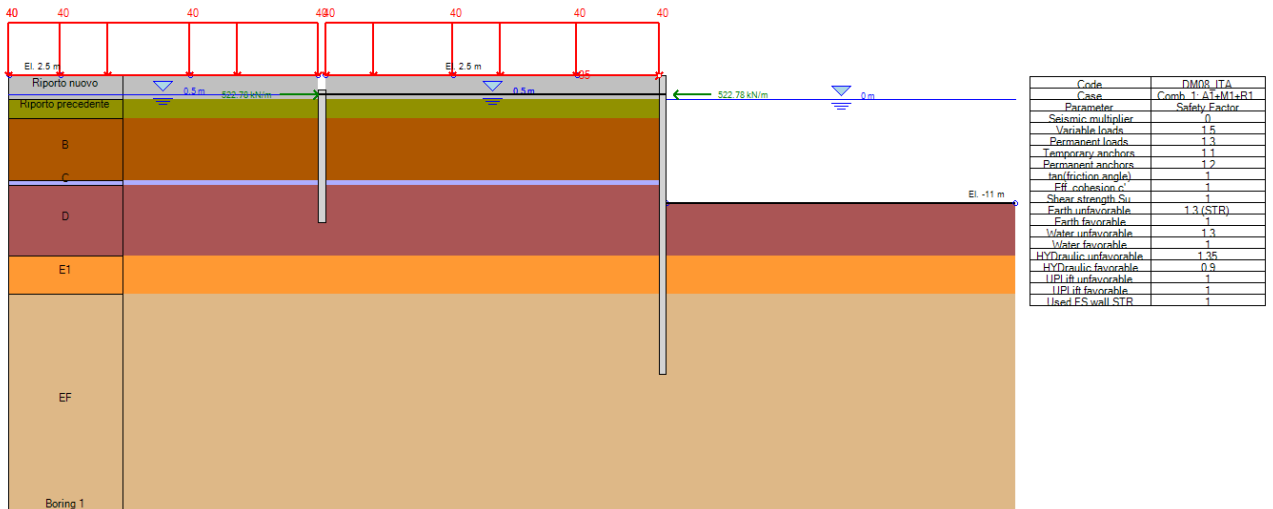
M_{max} muro di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb1

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



V_{max} muro di banchina e muro di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb1

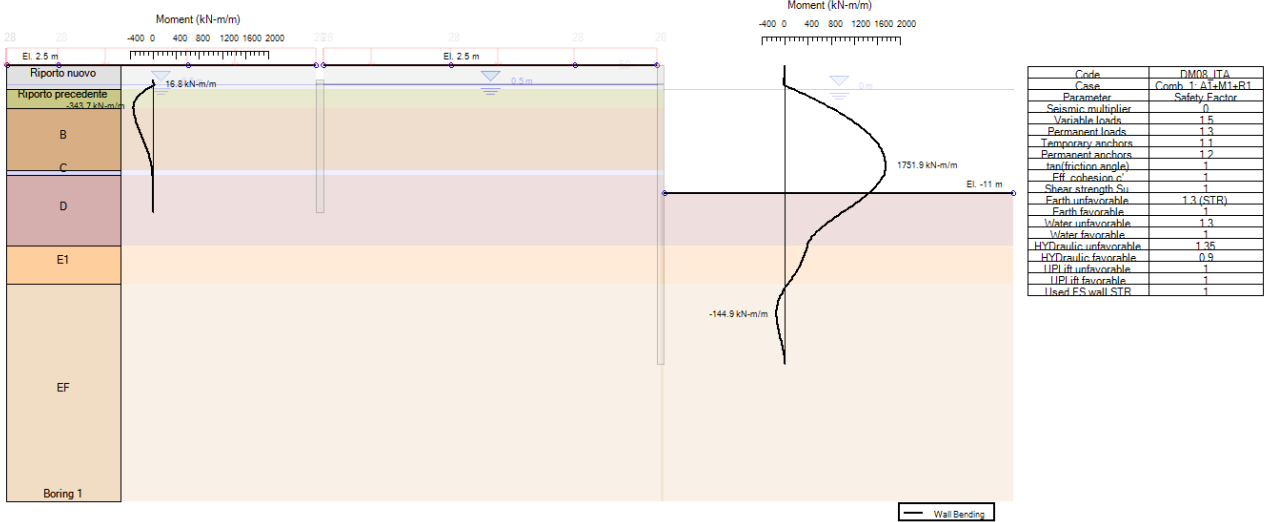
0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



N_{max} tiranti di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb1

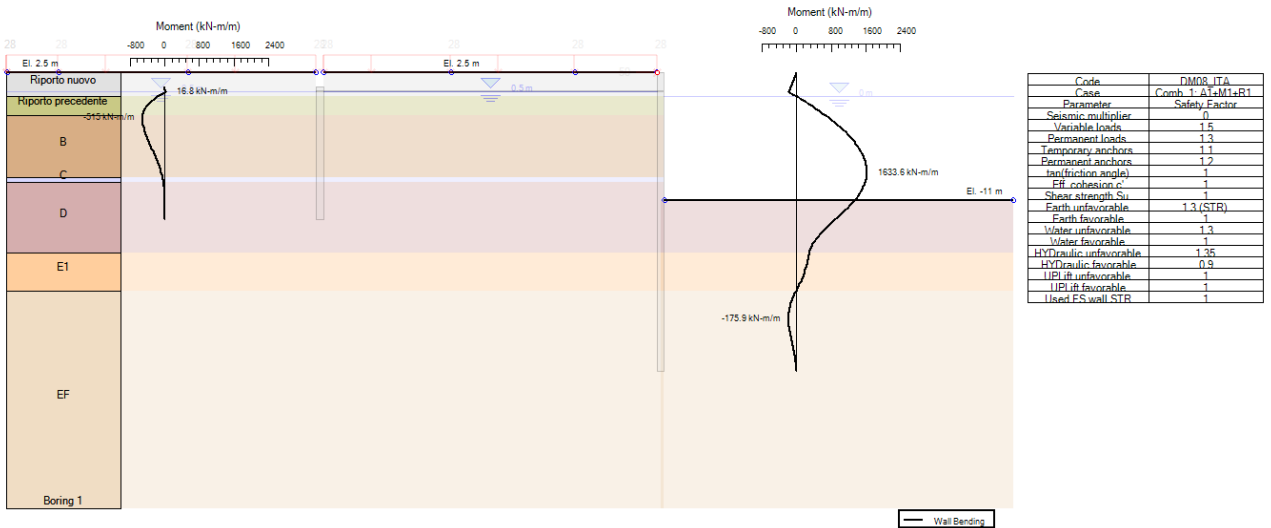
Banchina 2 – risultati SLU (STR) – COMB2

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



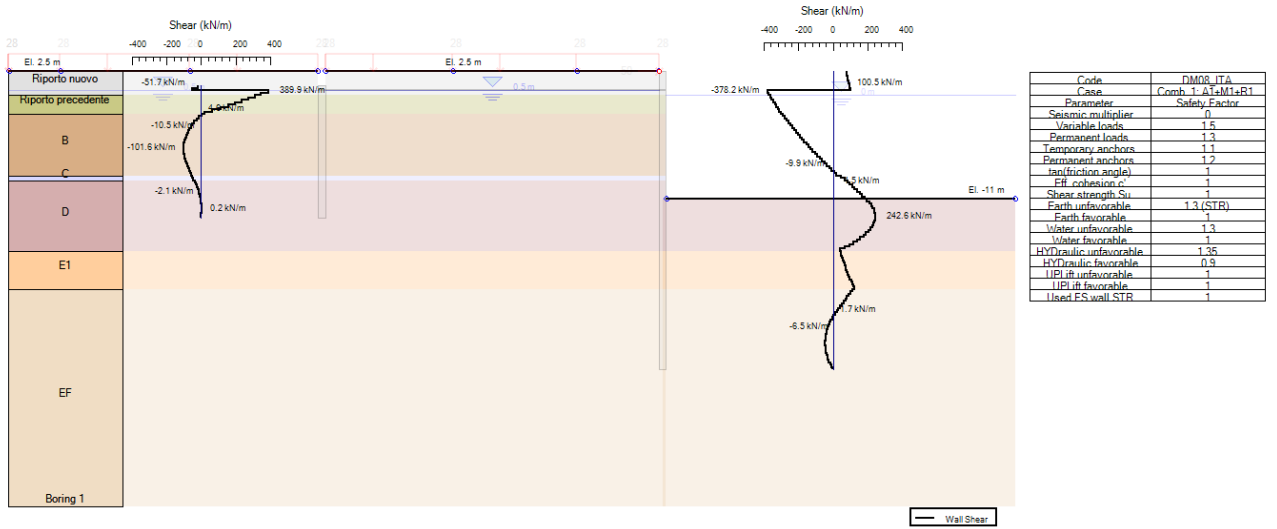
M_{max} muro di banchina (fase applicazione sovraccarico di banchina) _ SLU (STR) – Comb2

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



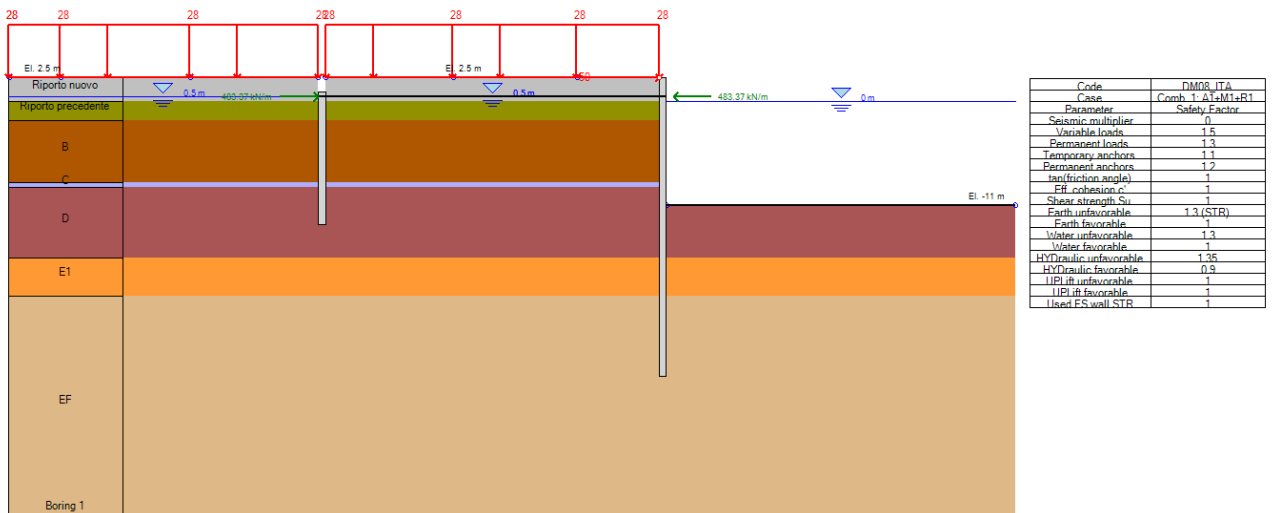
M_{max} muro di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb2

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



V_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb2

0: DM08_ITA: Comb. 1: A1+M1+R1(LINK: Design section 0)



N_{max} tiranti di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLU (STR) – Comb2

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.2.3 SLU – verifica delle strutture

Muro di banchina

La combinazione di carico più gravosa per la struttura è COMB1 [SLU (STR) – COMB1] (vedere § 4.8.2 e § 4.9.2.2). Per la verifica del palancolato di banchina si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture fronte mare” (vedere § 4.6); per la verifica dell’azione tagliante:

$$V_{sd} = 431.8 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{276 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 5387.5 \text{ kN/m}$$

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

$$M_{sd} = 2036.6 \text{ kNm/m} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7.467 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1.05} = 2524.6 \text{ kNm/m}$$

Muro di ancoraggio

La combinazione di carico più gravosa per la struttura è COMB1 [SLU (STR) – COMB1] (vedere § 4.8.2 e § 4.9.2.2). Per la verifica del palancolato di ancoraggio si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture interne banchina” (vedere § 4.6); per la verifica dell’azione tagliante:

$$V_{sd} = 431.8 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{187 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 3650.2 \text{ kN/m}$$

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

$$M_{sd} = 652 \text{ kNm} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3.108 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1.05} = 1050.8 \text{ kNm}$$

Tiranti di ancoraggio

La combinazione di carico più gravosa per la struttura è COMB1 [SLU (STR) – COMB1] (vedere § 4.8.2 e § 4.9.2.2). Per la verifica dei tiranti di ancoraggio si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture interne banchina” (vedere § 4.6). $N_{sd} = 1007.4 \text{ kN/tirante}$ (interasse tiranti 1.927 m)

$$N_{rd} = \frac{F_y \times A_{corr}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.500 \times 3805}{1.05} = 1811.7 \text{ kN} > N_{sd}$$

A scopo cautelativo è stata verificata anche la condizione di rottura di uno dei tiranti di ancoraggio. Nel caso che ciò avvenga, i tiranti immediatamente adiacenti hanno un aumento di sollecitazione che può essere schematizzato come un aumento

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

dell'interasse dei tiranti, nello specifico $i_{rottura_tirante} = 1.5 \cdot i$. In questa condizione (vedere valori § 4.9.2.2) si ottiene:

$$N_{Sd_rottura_tirante} = N_{Sd[kN/ml]} \cdot i_{rottura_tirante} = 522.78 \cdot 1.5 \cdot 1.927 = 1511.10 \text{ kN} < N_{rd}$$

pertanto anche questa verifica risulta soddisfatta.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.2.4 SLU_EQK – valori delle sollecitazioni

Con riferimento ai criteri di verifica delle strutture nel § 4.5 e alle verifiche indicate nel § 4.8.2, di seguito si riportano:

- le caratteristiche di sollecitazioni massime relative a ciascuna verifica SLU_EQK–STR;
- la conferma della convergenza del modello di calcolo relativo a ciascuna verifica SLU_EQK–GEO indice di stabilità dell’opera (la paratia non è labile per plasticizzazione del terreno resistente).

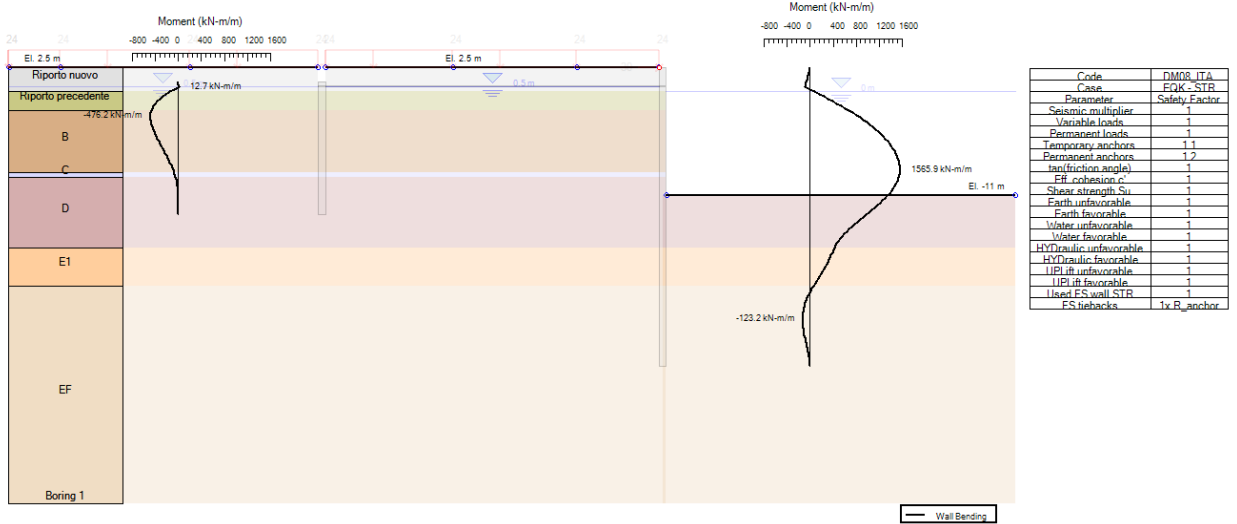
Risultati analisi

| | |
|---|-----------------------|
| Verifica SLU_EQK (GEO) COMB1 - COMB2 | la soluzione converge |
|---|-----------------------|

| | Muro di Banchina | | Tirante di Ancoraggio | | Muro di Ancoraggio | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| | Moment o paratia (kN- m/m) | Taglio paratia (kN/m) | Max. reazione vincoli (kN/m) | Max. reazione vincoli (kN) | Moment o paratia (kN- m/m) | Taglio paratia (kN/m) |
| Verifica SLU_EQK (STR) COMB1 - COMB2 | 1565.9 | 337.2 | 396.01 | 763.11 | 476.2 | 325.3 |

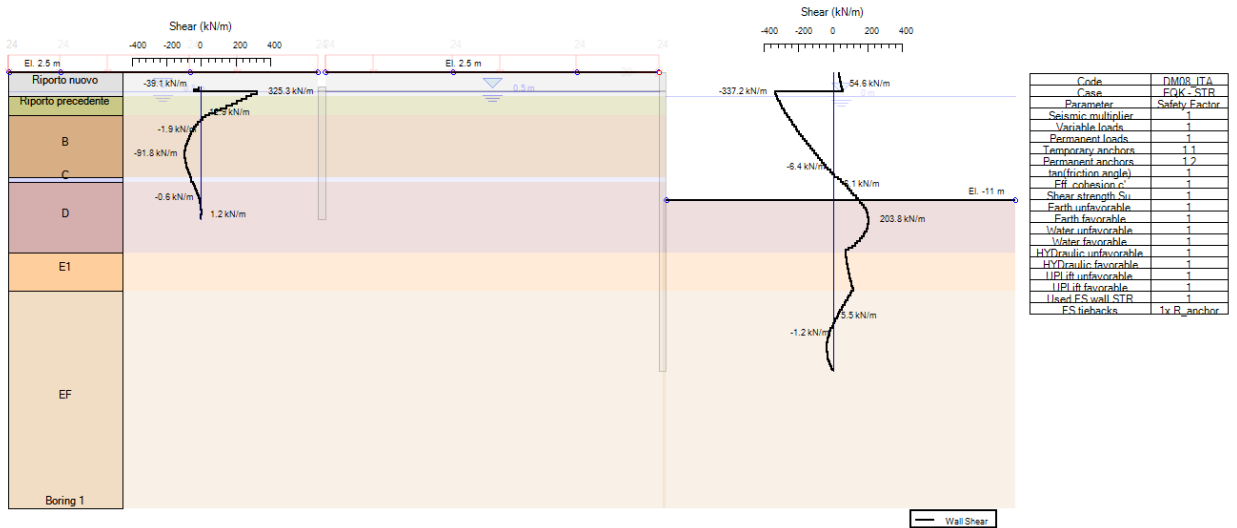
Banchina 2 – risultati SLU EQK (STR) – COMB1-COMB2

0: DM08_JTA: EQK - STR(LINK: Design section 0)



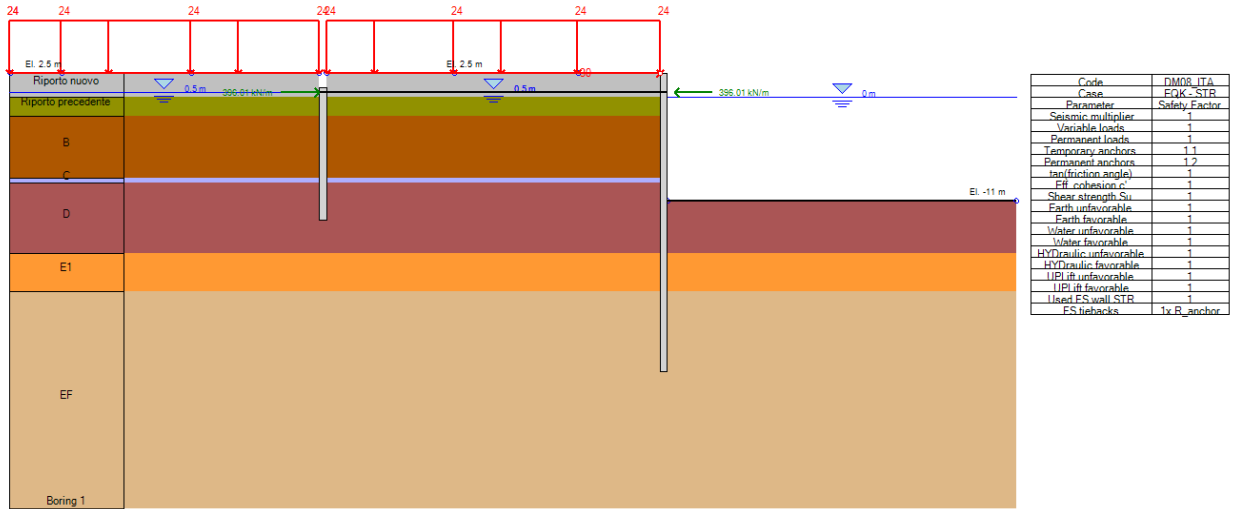
M_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione sisma) _ SLU-EQK (STR) – Comb1-Comb2

0: DM08_JTA: EQK - STR(LINK: Design section 0)



V_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione sisma) _ SLU-EQK (STR) – Comb1-Comb2

0: DM08_ITA: EQK - STR(LINK: Design section 0)



N_{max} tiranti di ancoraggio (fase applicazione sisma) _ SLU-EQK (STR) – Comb1-Comb2

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.2.5 SLU_EQK – verifica delle strutture

Muro di banchina

Le combinazioni di carico COMB1 e COMB2 della verifica agli stati limiti ultimi in condizioni sismiche (SLU_EQK) coincidono (vedere § 4.8.2 e § 4.9.2.4), per cui le sollecitazioni a cui la struttura è soggetta sono quelle indicate con la dicitura SLU_EQK (STR) – COMB1-COMB2. Per la verifica del palancolato di banchina si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture fronte mare” (vedere § 4.6); per la verifica dell’azione tagliante:

$$V_{sd} = 337.2 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{276 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 5387.5 \text{ kN/m}$$

Essendo $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$, non c’è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 1565.9 \text{ kNm/m} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{7.467 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1.05} = 2524.6 \text{ kNm/m}$$

Muro di ancoraggio

Le combinazioni di carico COMB1 e COMB2 della verifica agli stati limiti ultimi in condizioni sismiche (SLU_EQK) coincidono (vedere § 4.8.2 e § 4.9.2.4), per cui le sollecitazioni a cui la struttura è soggetta sono quelle indicate con la dicitura SLU_EQK (STR) – COMB1-COMB2. Per la verifica del palancolato di ancoraggio si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture interne banchina” (vedere § 4.6); per la verifica dell’azione tagliante:

$$V_{sd} = 325.3 \text{ kN/m} < V_{rd} = \frac{A_{V-corr} \cdot f_{yk} / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{187 \cdot 35.5}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 3650.2 \text{ kN/m}$$

Essendo $V_{sd} < 1/2 \cdot V_{rd}$, non c’è interazione tra azione flettente e tagliante; pertanto le verifiche possono essere eseguite considerando il caso di flessione semplice:

$$M_{sd} = 476.2 \text{ kNm} < M_{rd} = \frac{W_{el-corr} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{3.108 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1.05} = 1050.8 \text{ kNm}$$

Tiranti di ancoraggio

Le combinazioni di carico COMB1 e COMB2 della verifica agli stati limiti ultimi in condizioni sismiche (SLU_EQK) coincidono (vedere § 4.8.2 e § 4.9.2.4), per cui le sollecitazioni a cui la struttura è soggetta sono quelle indicate con la dicitura SLU_EQK (STR) – COMB1-COMB2. Per la verifica dei tiranti di ancoraggio si è considerata la sezione corrosa in “zona di attacco massimo strutture interne banchina” (vedere § 4.6).
 $N_{sd} = 763.11 \text{ kN/tirante}$ (interasse tiranti 1.927 m)

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 99 di 105 |
|-------------------------------------|-----------|

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

$$N_{rd} = \frac{F_y \times A_{corr}}{\gamma_{M0}} = \frac{0.500 \times 3805}{1.05} = 1811.7 \text{ kN} > N_{Sd}$$

A scopo cautelativo è stata verificata anche la condizione di rottura di uno dei tiranti di ancoraggio. Nel caso che ciò avvenga, i tiranti immediatamente adiacenti hanno un aumento di sollecitazione che può essere schematizzato come un aumento dell'interasse dei tiranti, nello specifico $i_{rottura_tirante} = 1.5 \cdot i$. In questa condizione (vedere valori § 4.9.2.4) si ottiene:

$$N_{Sd_rottura_tirante} = N_{Sd[kN/ml]} \cdot i_{rottura_tirante} = 396.01 \cdot 1.5 \cdot 1.927 = 1144.67 \text{ kN} < N_{rd}$$

pertanto anche questa verifica risulta soddisfatta.

| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|---|--|

4.9.2.6 SLE – valori e verifica

Con riferimento ai criteri di verifica delle strutture nel § 4.5 e alle verifiche indicate nel § 4.8.2, di seguito si riportano le deformazioni massime ottenute dalle verifiche SLE per le tre combinazioni considerate.

| | Muro di Banchina | Muro di Ancoraggio |
|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Spostamento paratia (cm) | Spostamento paratia (cm) |
| SLE_combinazione rara | 9.46 | 2.16 |
| SLE_combinazione frequente | 7.84 | 1.88 |
| SLE_combinazione quasi permanente | 7.35 | 1.81 |

Nel caso in esame è stato verificato che i valori di degli spostamenti delle paratie risultino minori del valore di progetto limite di spostamenti compatibili col comportamento della struttura che si è ritenuto di accettare uno spostamento massimo pari allo 0.5% dell'altezza della paratia (relazione 7.11.11 del D.M. 14/01/08). Nel caso della Banchina 2 tali valori risultano essere 15.0 cm per il palancoato di banchina e 7.0 cm per il palancoato di ancoraggio.

Come è possibile notare, i valori degli spostamenti massimi ottenuti dal modello di calcolo sono inferiori al valore limite ipotizzato, pertanto la verifica risulta essere soddisfatta.

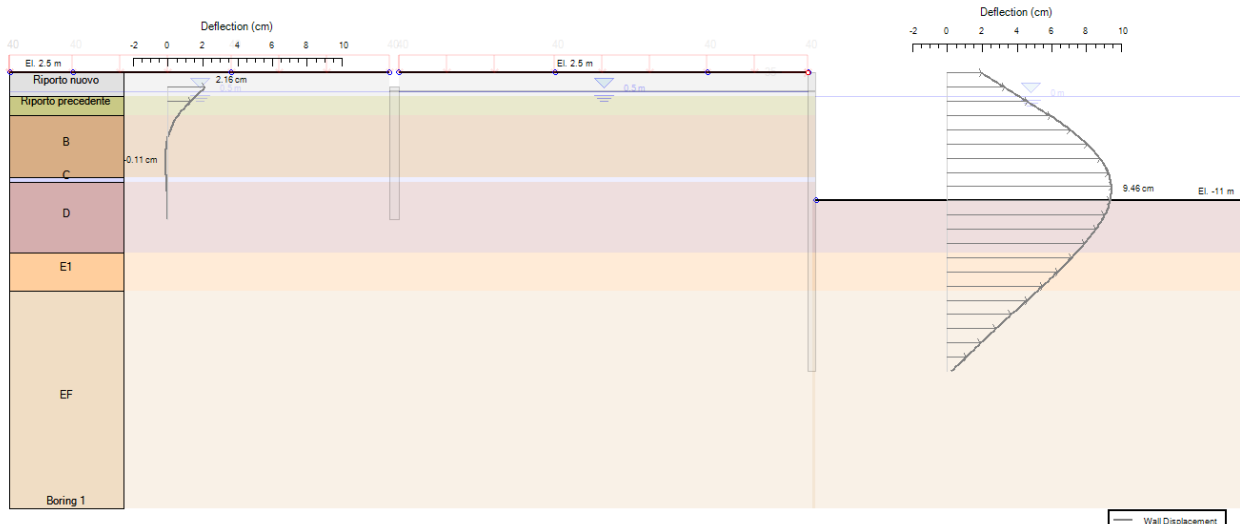
Anche per le verifiche SLE si è presa in considerazione la condizione a lungo termine con corrosione dei palancoati a 50 anni. Si è deciso di svolgere la sola combinazione rara in quanto restituisce il valore massimo atteso di spostamento del palancoato. Il risultato di calcolo è riportato nella tabella sottostante.

| | Muro di Banchina | Muro di Ancoraggio |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Spostamento paratia (cm) | Spostamento paratia (cm) |
| SLE_combinazione rara_corrosione | 11.02 | 2.19 |

Come è possibile notare, anche per la verifica a lungo termine, il valore dello spostamento massimo ottenuto dal modello di calcolo risulta inferiore al valore limite ipotizzato, pertanto la verifica risulta essere soddisfatta.

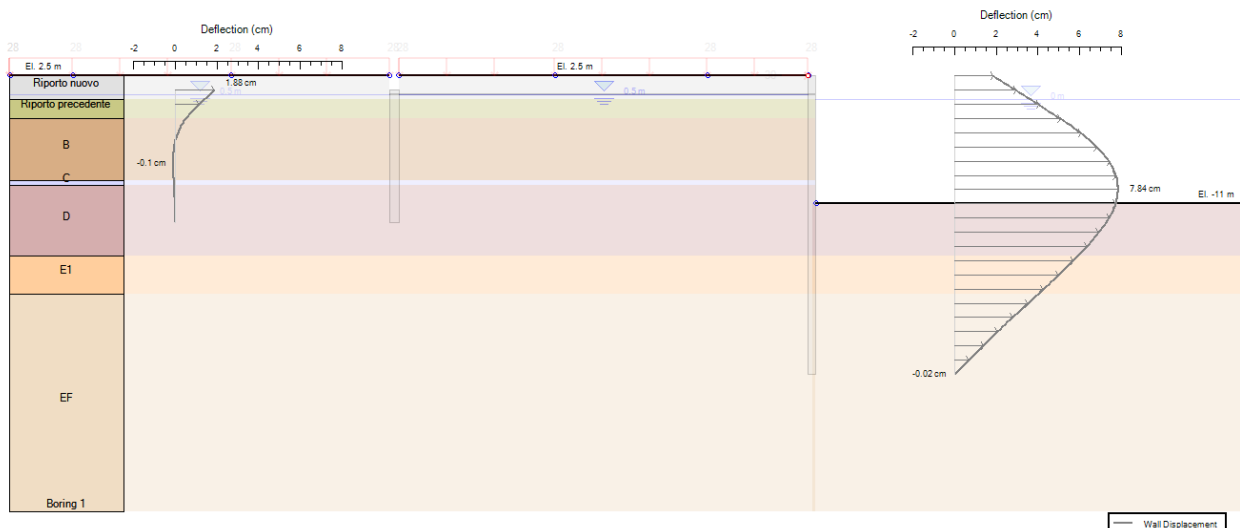
Banchina 2 – risultati SLE

Design section 0



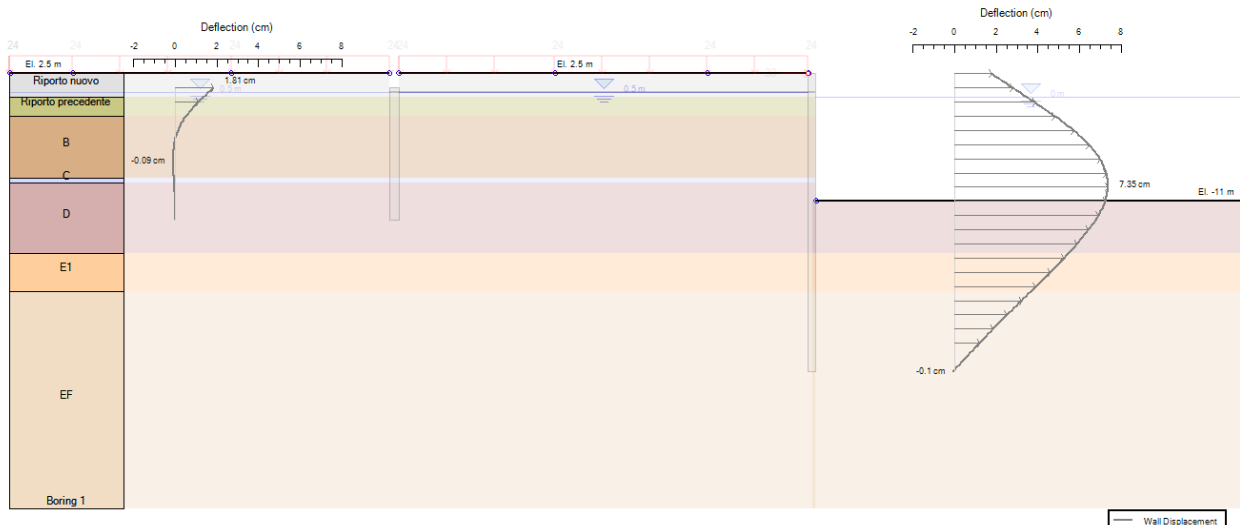
δ_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLE – rara

Design section 0



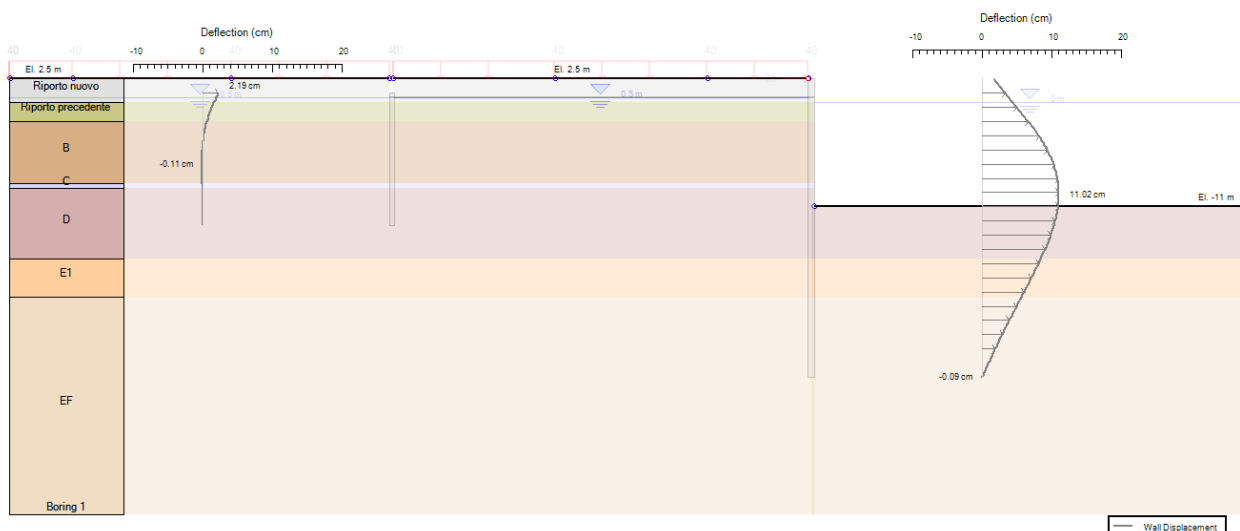
δ_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLE – frequente

Design section 0



δ_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLE – quasi permanente

Design section 0

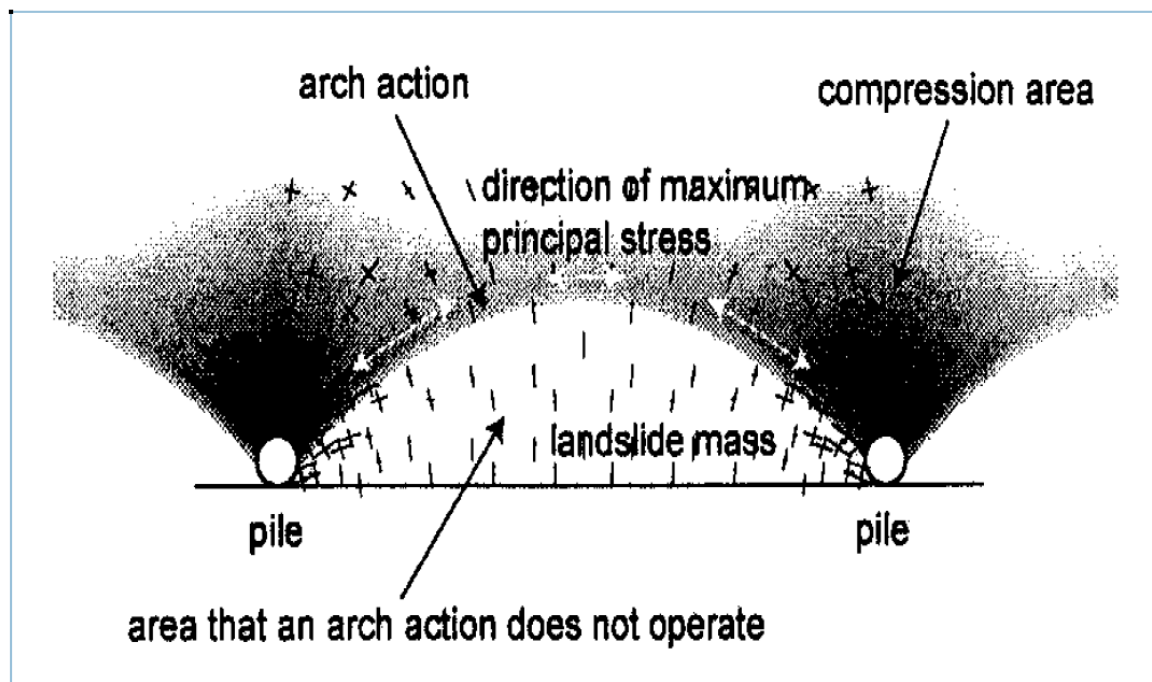


δ_{max} muri di banchina e di ancoraggio (fase applicazione tiro alla bitta) _ SLE – rara_corrosione

4.10 Considerazione sulla modellazione del palancolato di banchina

Il palancolato che costituisce il muro di banchina è formato da una parete combinata di palancole portanti tipo H e palancole di tenuta tipo Z di lunghezza inferiore (pari all'80%) delle palancole portanti. Nel modello di calcolo le paratie sono state schematizzate come elementi continui di lunghezza pari a quella degli elementi portanti. Infatti la paratia nella zona in cui è priva di palancole di tenuta si comporta come un elemento continuo (sfruttando l'effetto arco) che risulta generalmente garantito senza la necessità di effettuare ulteriori approfondimenti di calcolo se rispettate alcune condizioni:

- per limitate differenze idrostatiche tra il terreno a monte (terreno sostenuto) ed il terreno di valle (terreno di contrasto);
- per terreni con discrete caratteristiche geotecniche;
- per interassi tra gli elementi portanti (quelli con $L = L_{\text{calcolo}}$) contenuti a circa 3 volte il diametro della circonferenza circoscritta (v. teoria di Broms – teoria della resistenza limite per un palo isolato).



In particolare per le pareti di palancole combinate HZ/AZ le raccomandazioni EAU 2004 indicano che lo spazio visibile tra le HZ non deve superare 1.8 m e che la profondità d'infissione delle AZ nel terreno di valle di una banchina deve essere almeno di 5 m. Nel caso in oggetto tutte le suddette condizioni risultano garantite.

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| Autorità Portuale di Cagliari | <i>Porto canale di Cagliari. Terminal ro-ro – I lotto funzionale</i> | Progetto definitivo Relazione tecnica |
|-------------------------------|--|--|

ALLEGATO A
AZIONI SULLE BRICCOLE

| | |
|-------------------------------------|------------|
| Calcoli preliminari delle strutture | 105 di 105 |
|-------------------------------------|------------|