

Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centro Settentrionale

**APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA,  
ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO  
TERMINAL IN PENISOLA TRATTATOLI E RIUTILIZZO DEL  
MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007  
I FASE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

OGGETTO

**BANCHINA BUNGE SUD**  
(Relazione dei calcoli geotecnici e strutturali)

FILE

1114.STR.04B.A - Relazione dei calcoli  
geotecnici e strutturali

CODICE

1114.STR.04B.A

SCALA

Rev.	Data	Causale
0	Set. 2014	Emissione
1	Set. 2017	Revisione generale
2		
3		

AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL  
MARE ADRIATICO CENTRO SETTENTRIONALE

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
IL DIRETTORE TECNICO

(Ing. Fabio Maletti)

  
MINISTERO INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI  
PROVVEDITORATO INTERREGIONALE PER  
LE OPERE PUBBLICHE PER LA LOMBARDIA  
E L'EMILIA ROMAGNA

IL RESPONSABILE DELLA REVISIONE  
DELLA PROGETTAZIONE

(Ing. Francesco Caldani)

PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
Geotecnica



Direttore Tecnico : Ing. Paolo Ruggieri

Strutturale



Direttore Tecnico : Ing. Marco Tartaglino

Marittima



SEACON s.r.l.

Direttore Tecnico : Ing. Lucio Abbadesse



PORTO DI  
RAVENNA

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 1 di 110</p>
--	---	---

## INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORME DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>PRESTAZIONI RICHIESTE AL BANCHINAMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>	<b>6</b>
6.1	Acciaio palancole esistenti .....	6
6.2	Acciaio nuovi tiranti .....	8
6.3	Calcestruzzo nuove strutture .....	9
6.4	Acciaio per cemento armato nuove strutture.....	10
<b>7</b>	<b>SITUAZIONE ATTUALE DELLA BANCHINA.....</b>	<b>11</b>
7.2	Stato di consistenza dell’opera .....	12
7.2.1	Documentazione storica reperita e progetto originale .....	12
7.2.2	Prove di controllo sulla qualità dei materiali presenti.....	16
7.2.3	Valutazione del livello di conoscenza e dei fattori di confidenza.....	19
7.3	Analisi delle carenze della struttura attuale in relazione alle nuove esigenze di utilizzo ...	20
<b>8</b>	<b>INTERVENTO DI ADEGUAMENTO PREVISTO .....</b>	<b>21</b>
<b>9</b>	<b>RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO.....</b>	<b>23</b>
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO/STRATIGRAFICO DELL’AREA .....	23
9.2	MODELLO STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO e CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI.....	27
9.3	SICUREZZA DELL’OPERA .....	32
9.3.1	Quadro normativo .....	32
9.3.1.1	Verifiche agli stati limite ultimi (SLU e SLV) .....	32
9.3.1.2	Approcci e combinazioni utilizzate.....	34
9.3.1.3	Verifiche delle prestazioni (SLE e SLD) .....	34
9.3.2	Azioni sulle opere .....	35
9.3.2.1	Sovraccarico di banchina .....	35
9.3.2.2	Tiro alla bitta.....	35
9.3.2.3	Gru di banchina.....	36
9.3.2.4	Azioni sismiche.....	36
9.3.2.5	Azione idrodinamica (Westergaard).....	39
9.3.3	Azioni eccezionali: urto delle imbarcazioni.....	40
9.3.4	Combinazione delle azioni.....	41
9.4	ANALISI NUMERICHE DELLE OPERE IN PROGETTO.....	42
9.4.1	Il modello costitutivo Hardening Soil Model: caratteristiche principali.....	43
9.4.2	Modello geotecnico della banchina.....	45
9.4.3	Risultati delle analisi.....	50
9.4.3.1	Risultati delle analisi di sicurezza (SLU/SLV).....	50

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 2 di 110</p>
 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>		

9.4.3.2	Risultati delle analisi di funzionalità (SLE/SLD) .....	55
9.4.3.3	Analisi per azioni eccezionali: urto.....	59
9.4.3.4	Analisi di stabilità globale.....	60
9.4.4	Verifica dei pali del solettone ai carichi verticali .....	61
9.4.4.1	Verifica dei pali della FILA 1 .....	64
9.4.4.2	Verifica dei pali della FILA 2 .....	66
9.4.4.3	Verifica dei pali della FILA 3 .....	68
9.4.4.4	Prove di verifica dei pali .....	70
9.4.4.5	Controllo dell'integrità dei pali.....	70
9.4.4.6	Valutazione della rigidezza verticale del vincolo elastico sommitale che simula il palo e il palancolato .....	70
9.4.5	Verifica dei tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato .....	71
9.4.5.1	Posizione della fondazione dell'ancoraggio .....	72
9.4.5.2	Ancoraggi T1 – nuovi ancoraggi armati con barra tipo Dywidag .....	72
9.4.5.3	Definizione del CAMPO PROVA per gli ancoraggi preliminari di prova.....	76
9.4.5.4	Prove di verifica e modalità di tesatura.....	76
9.4.5.5	Protezione degli ancoraggi.....	76
<b>10</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>77</b>
10.1	Palancolato esistente .....	77
10.2	Nuovi tiranti di ancoraggio .....	84
10.3	Solettone.....	85
10.3.1	Verifiche agli stati limite.....	89
10.3.1.1	Soletta .....	89
10.3.1.2	Collegamento trave coronamento-soletta .....	92
10.3.1.3	Trave di coronamento .....	95
10.4	Pali .....	98
<b>11</b>	<b>CONTROLLI IN CORSO D'OPERA E MONITORAGGIO.....</b>	<b>110</b>

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 3 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

## 1 Premessa

Nell’ambito della progettazione definitiva del complesso intervento denominato “*Hub portuale di Ravenna – Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e utilizzo materiale estratto in attuazione al P.R.P. vigente 2007*”, il presente documento affronta le verifiche geotecniche e strutturali relative all’intervento di adeguamento previsto per la banchina **Bunge Sud** (settore Sud), un tratto di banchina di 144 m costruito tra il 1988 ed il 1991 a servizio di un’area dell’Italiana Olii e Risi, oggi in concessione alla società multinazionale Bunge Limited.

L’intervento di adeguamento si rende necessario per rendere compatibile il banchinamento alle prestazioni previste dal piano regolatore vigente che prevedono, in particolare, un fondale operativo a -14,50 m da livello medio mare.

Il progetto di intervento sul banchinamento, agendo su una struttura completamente realizzata e introducendo significative variazioni delle sollecitazioni, va inquadrato nell’ambito degli interventi di adeguamento di strutture esistenti, ai sensi delle previsioni del capitolo 8 “Costruzioni esistenti” delle Norme vigenti (DM 14 gennaio 2008).

Secondo quanto previsto è dunque necessario individuare il livello di conoscenza delle opere realizzate ed eseguire una valutazione completa della sicurezza nei riguardi delle azioni di progetto stabilite per le nuove costruzioni, con deroga nei riguardi delle sole prescrizioni sui dettagli costruttivi purché siano garantite le prestazioni in termini di resistenza, duttilità e deformabilità prescritte per i vari stati limite.

La presente relazione viene sviluppata con l’esame dei seguenti specifici aspetti:

- descrizione dell’opera esistente e della soluzione di adeguamento;
- valutazione dello stato di consistenza dell’opera esistente;
- definizione del quadro geotecnico di riferimento;
- descrizione dei criteri di analisi e verifica sulla base del quadro normativo vigente;
- definizione delle azioni sulle opere;
- analisi della sicurezza delle opere in condizioni di esercizio e limite;
- analisi della sicurezza delle opere in relazione a possibili fenomeni di collasso globale dell’insieme terreno-struttura.



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 4 di 110</p>
--	---	---

## 2 NORME DI RIFERIMENTO

- Legge 5 novembre 1971, n.1086 “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e da struttura metallica”;
- Legge 2 febbraio 1974, n.64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni” (Suppl. Ord. alla G.U. 4-02-2008, n.29);
- Circolare 2 febbraio 2009 n.617 C.S.LL.PP “Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”;
- EN 1993-5:2007 Eurocode 3. Design of steel structures. Piling
- Ancoraggi nei Terreni e nelle Rocce – Raccomandazioni – Edizioni AGI – Giugno 2012;
- Decreto n. 12391 del 22 dicembre 2011 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "Linea Guida per il rilascio della certificazione di idoneità tecnica all'impiego di tiranti per uso geotecnico di tipo attivo".

## 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Tavole del progetto originale a firma dell’ing. Luigi Focaccia, 1988;
- Stralcio della Relazione di Collaudo statico della banchina esistente;
- RELAZIONE GEOLOGICA (codice GEO.A) relativa alla progettazione del “Hub portuale di Ravenna – Approfondimento canali Candiano e Baiona, adeguamento banchine operative esistenti, nuovo terminal in penisola Trattaroli e utilizzo materiale estratto in attuazione al P.R.P. vigente 2007”, a firma del dott. geol. Maria Bruno – Geostudi S.r.l.;
- RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE (codice GEO.G) relativa alla caratterizzazione geotecnica dei terreni;
- Inoltre, in vista della loro prossima emanazione, per quanto possibile si tiene conto di quanto indicato dalla: Bozza di revisione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.53/2012, espresso nell’Adunanza dell’Assemblea Generale del 14 novembre 2014.

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 5 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

## 5 PRESTAZIONI RICHIESTE AL BANCHINAMENTO

Per la banchina in questione sono richieste le seguenti prestazioni:

- fondale operativo -14,50 m da l.m.m.;
- fondale di calcolo -15,00 m da l.m.m.;
- quota piazzali +1,00 m su l.m.m.;
- sovraccarico di banchina 40 kPa;
- utilizzo di gru semoventi (le caratteristiche specifiche sono indicate al paragrafo delle azioni);
- bitte da 1000 kN ad interasse 25 m
- azione sismica valutata per Classe d'uso III, Vita nominale 50 anni
- coefficiente di compartecipazione dei carichi in condizioni sismiche  $\Psi_{2,i}=0,6$
- nave di progetto da 100.000 t (*molto grande* ai sensi della definizione delle NTC2008).

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 6 di 110</p>
--	---	---

## 6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 6.1 Acciaio palancole esistenti

Il banchinamento esistente è realizzato con il palancole combinato HZ 775 B sol. 10/13 – ZH 9,5 della ProfilARBED. Come risulta dai certificati di conformità della TRADEARBED allegati alla relazione del collaudo statico (Figura 1 e Figura 2), i pali principali (HZ 775 B) sono realizzati in acciaio PAE 360, mentre le palancole intermedie (ZH 9,5) ed i gargami (RH 16 B) in acciaio PAE 250. Le caratteristiche di resistenza di ciascun tipo di acciaio sono state ricavate dal catalogo del produttore e sono sinteticamente riportate nel seguito:

- Acciaio PAE 360 (HZ 775 B):
  - Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$
  - Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} = 490 \text{ N/mm}^2$
  - Allungamento:  $A_{gt} = 22\%$
  
- Acciaio PAE 250 (ZH 9,5 e RH 16 B):
  - Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 250 \text{ N/mm}^2$
  - Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} = 390 \text{ N/mm}^2$
  - Allungamento:  $A_{gt} = 26\%$

Sui pali principali (HZ 775 B) è stato eseguito il prelievo di un fazzoletto di palancole metallica per la valutazione della qualità dell'acciaio attraverso l'esecuzione di una prova di trazione. I risultati della prova sono sinteticamente riportati nel seguito:

- Tensione di snervamento:  $f_y = 349 \text{ N/mm}^2$
- Tensione di rottura:  $f_t = 487 \text{ N/mm}^2$
- Allungamento:  $A_{gt} = 27\%$

Come si vede, i valori delle tensioni di snervamento e di rottura ottenuti dalla prova di trazione eseguita sono leggermente inferiori a quelli minimi caratteristici del materiale dichiarato dal produttore:

- Variazione tensione di snervamento:  $\Delta(f_y/f_{yk}) = 0,97$
- Variazione tensione di rottura:  $\Delta(f_t/f_{tk}) = 0,99$

Va comunque osservato che tali valori rientrano nei limiti di quelli di calcolo ( $f_d$ ) ottenuti applicando ai valori caratteristici ( $f_k$ ) i coefficienti di sicurezza sui materiali ( $\gamma_{m0} = 1,05$ ):

- $f_y = 349 \text{ N/mm}^2 \geq f_{yd} = 343 \text{ N/mm}^2$
- $f_t = 487 \text{ N/mm}^2 \geq f_{td} = 467 \text{ N/mm}^2$

Pertanto ai fini delle verifiche si farà riferimento alle caratteristiche dei materiali dichiarate dal produttore applicando i coefficienti di sicurezza di normativa.

<p style="text-align: center;">A R B E D DIVISION DIFFERDANGE SERVICE QUALITE ET CONTROLE L 4503 DIFFERDANGE GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG</p>	<p style="text-align: right;">PAGE 1</p> <p style="text-align: center;">ATTESTATION DE CONFORMITE WERKSBSCHNEINIGUNG - CERTIFICATE OF COMPLIANCE</p> <p>AVIS NO : 550364      FACTURE NO : 50066 19881004</p>																
<p>ATTESTATION DE CONFORMITE SVT. DIN 50049 / 2. 1. PAE 360</p> <p>TRADE ARBED NO : 88 BJ 1030 001 REFERENCE CLIENT : COMMANDE DU 2.8.88</p> <p style="text-align: right;">C.M.C.COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI VIALE TRIESTE 76 ITALIE I-48100 RAVENNA</p>																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">NO POSTE FACT./CDE</th> <th style="width: 15%;">PRODUIT</th> <th style="width: 15%;">DIMENSION</th> <th style="width: 15%;">LONGUEUR</th> <th style="width: 10%;">POIDS KG</th> <th style="width: 15%;">NOMBRE PA FA BOT ELE</th> </tr> </table>	NO POSTE FACT./CDE	PRODUIT	DIMENSION	LONGUEUR	POIDS KG	NOMBRE PA FA BOT ELE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">01-001</td> <td style="width: 15%;">PALPL. HZ</td> <td style="width: 15%;">HZ 775 B</td> <td style="width: 15%;">24000 MM</td> <td style="width: 10%;">47070</td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> </table>					01-001	PALPL. HZ	HZ 775 B	24000 MM	47070	
NO POSTE FACT./CDE	PRODUIT	DIMENSION	LONGUEUR	POIDS KG	NOMBRE PA FA BOT ELE												
01-001	PALPL. HZ	HZ 775 B	24000 MM	47070													
<p>.....</p> <p>* NOUS CERTIFIONS QUE LES PRODUITS ENUMERES SONT CONFORMES AUX PRESCRIPTIONS DE LA COMMANDE. * ES WIRD BESTAETIGT, DASS DIE LIEFERUNG DEN VEREINBARUNGEN BEI DER BESTELLUNG ENTSPRICHET. * WE HEREBY CERTIFY THAT THE MENTIONED PRODUCTS COMPLY WITH THE TERMS OF THE ORDER. * .....</p>																	
<p>LES PALPLANCHES SONT FOURNIES SELON LES VALEURS ET CONDITIONS DE NOS CATALOGUES PALPLANCHES, PUBLIES APRES JUILLET 1986</p>																	
<p>LE 05/10/88 MULLER GAETAN PORTEUR DE SIGNATURE SPECIALE</p> <p style="text-align: right;">- 1 / 1 -</p>																	

**Figura 1 – Certificato di conformità PAE 360**

<p style="text-align: center;">A R B E D DIVISION ESCH-BELVAL SERVICE QUALITE ET CONTROLE L 4008 ESCH/ALZETTE GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG</p>	<p style="text-align: right;">PAGE 1</p> <p style="text-align: center;">ATTESTATION DE CONFORMITE WERKSBSCHNEINIGUNG - CERTIFICATE OF COMPLIANCE</p> <p>AVIS NO : 440799      FACTURE NO : 40729 19881014</p>																																																																												
<p>ATTESTATION DE CONFORMITE SVT. DIN 50049 / 2. 1. PAE 250</p> <p>TRADE ARBED NO : 88 BJ 1030 001 REFERENCE CLIENT : COMMANDE DU 2.8.88</p> <p style="text-align: right;">C.M.C.COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI VIALE TRIESTE 76 ITALIE I-48100 RAVENNA</p>																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 10%;">NO POSTE FACT./CDE</th> <th style="width: 15%;">PRODUIT</th> <th style="width: 15%;">DIMENSION</th> <th style="width: 15%;">LONGUEUR</th> <th style="width: 10%;">POIDS KG</th> <th style="width: 15%;">NOMBRE PA FA BOT ELE</th> </tr> </table>	NO POSTE FACT./CDE	PRODUIT	DIMENSION	LONGUEUR	POIDS KG	NOMBRE PA FA BOT ELE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">01-002</td> <td style="width: 15%;">PALPL. ZH</td> <td style="width: 15%;">ZH 9,5</td> <td style="width: 15%;">17000 MM</td> <td style="width: 10%;">30940</td> <td style="width: 15%;">18</td> </tr> <tr> <td>02-002</td> <td>PALPL. ZH</td> <td>ZH 9,5</td> <td>17000 MM</td> <td>32259</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>03-002</td> <td>PALPL. ZH</td> <td>ZH 9,5</td> <td>17000 MM</td> <td>31158</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>04-002</td> <td>PALPL. ZH</td> <td>ZH 9,5</td> <td>17000 MM</td> <td>17000 MM</td> <td></td> </tr> <tr> <td>05-002</td> <td>PALPL. ZH</td> <td>ZH 9,5</td> <td>17000 MM</td> <td>RAPPEL DE LA PAGE PRECEDENTE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>06-003</td> <td>RACCORDS RH</td> <td>RH 16 B</td> <td>17000 MM</td> <td>31130</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>07-003</td> <td>RACCORDS RH</td> <td>RH 16 B</td> <td>17000 MM</td> <td>14550</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>08-003</td> <td>RACCORDS RH</td> <td>RH 16 B</td> <td>17000 MM</td> <td>15181</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>09-003</td> <td>RACCORDS RH</td> <td>RH 16 B</td> <td>17000 MM</td> <td>14882</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>10-003</td> <td>RACCORDS RH</td> <td>RH 16 B</td> <td>17000 MM</td> <td>14728</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>17000 MM</td> <td>14850</td> <td>54</td> </tr> </table>					01-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	30940	18	02-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	32259	19	03-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	31158	18	04-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	17000 MM		05-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	RAPPEL DE LA PAGE PRECEDENTE		06-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	31130	18	07-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14550	54	08-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	15181	57	09-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14882	54	10-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14728	54				17000 MM	14850	54
NO POSTE FACT./CDE	PRODUIT	DIMENSION	LONGUEUR	POIDS KG	NOMBRE PA FA BOT ELE																																																																								
01-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	30940	18																																																																								
02-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	32259	19																																																																								
03-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	31158	18																																																																								
04-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	17000 MM																																																																									
05-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	RAPPEL DE LA PAGE PRECEDENTE																																																																									
06-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	31130	18																																																																								
07-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14550	54																																																																								
08-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	15181	57																																																																								
09-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14882	54																																																																								
10-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14728	54																																																																								
			17000 MM	14850	54																																																																								
<p>.....</p> <p>* NOUS CERTIFIONS QUE LES PRODUITS ENUMERES SONT CONFORMES AUX PRESCRIPTIONS DE LA COMMANDE. * ES WIRD BESTAETIGT, DASS DIE LIEFERUNG DEN VEREINBARUNGEN BEI DER BESTELLUNG ENTSPRICHET. * WE HEREBY CERTIFY THAT THE MENTIONED PRODUCTS COMPLY WITH THE TERMS OF THE ORDER. * .....</p>																																																																													
<p>LES PALPLANCHES SONT FOURNIES SELON LES VALEURS ET CONDITIONS DE NOS CATALOGUES PALPLANCHES, PUBLIES APRES JUILLET 1986</p>																																																																													
<p>LE 15/10/88 MULLER GAETAN PORTEUR DE SIGNATURE SPECIALE</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p style="text-align: center; font-size: small;">COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI VIALE TRIESTE 76 I-48100 RAVENNA</p> <p style="text-align: center;">20 - 9 NOV 1988</p> <p style="text-align: center;">Ripresentato il .....</p> </div> <p style="text-align: right;">- 1 / 1 -</p>																																																																													

**Figura 2 – Certificato di conformità PAE 250**

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 8 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

## 6.2 Acciaio nuovi tiranti

Le nuove strutture di ancoraggio sono realizzate con tiranti a barre tipo DYWIDAG di diametro nominale  $\Phi 47$  ( $A = 1.735 \text{ mm}^2$ ), lunghezza 35 m, inclinazione  $20^\circ$  sull'orizzontale, con 17 m di parte libera e 18 m di fondazione, poste ad interasse di 2,00 m.

Le barre sono in acciaio da precompressione DYWIDAG Y1050H aventi le seguenti proprietà meccaniche dichiarate dal produttore:

- tensione caratteristica di rottura:  $f_{pk} = 1.050 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento:  $f_{pyk} = 950 \text{ N/mm}^2$

Ai fini della valutazione della resistenza di calcolo si è fatto riferimento alle caratteristiche di resistenza minime degli acciai dei tiranti in barre ricavate dalla Tabella 11.3.VII del D.M. 14/01/2008 che fornisce le proprietà meccaniche minime che devono essere garantite dal produttore:

- tensione caratteristica di rottura:  $f_{pk} = 1.000 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento:  $f_{pyk} = 800 \text{ N/mm}^2$

Le barre sono protette nei confronti di perdite di spessore dovute ai fenomeni di corrosione con guaine.

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>Membro della Federazione CSQ RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 9 di 110</p>
--	---	---

### 6.3 Calcestruzzo nuove strutture

Le opere di c.a. sono realizzate con calcestruzzo di classe di resistenza C35/45, classe di esposizione XS3, classe di consistenza S4 e diametro massimo dell'aggregato 32 mm. Le principali caratteristiche meccaniche del calcestruzzo sono riportate nel prospetto seguente:

- Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo:

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

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

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

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

- Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo:

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

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

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

- Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo:

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

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

- Caratteristiche meccaniche:

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

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

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

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

Per il diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo è stato adottato il modello  $\sigma$ - $\epsilon$  parabola rettangolo illustrato nella figura seguente con  $\epsilon_{c2} = 0.20\%$  e  $\epsilon_{cu} = 0.35\%$

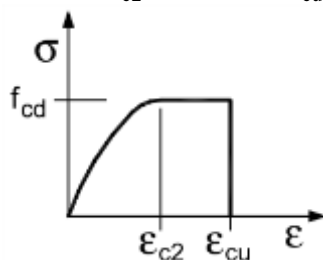


Figura 3 – Diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>Membro della Federazione CSQ <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 10 di 110</p>
--	---	---

## 6.4 Acciaio per cemento armato nuove strutture

L'acciaio impiegato per la realizzazione delle opere di c.a. è del tipo B450C ed è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

- $f_{y\text{ nom}} = 450 \text{ N/mm}^2$
- $f_{t\text{ nom}} = 540 \text{ N/mm}^2$

La resistenza di calcolo dell'acciaio ( $f_{yd}$ ) è riferita alla tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio ed è ottenuta dividendo quest'ultima per un coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio ( $\gamma_s$ ) pari a 1.15:

$$f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$$

Per il diagramma tensione-deformazione dell'acciaio è stato adottato un modello  $\sigma$ - $\epsilon$  elastico perfettamente plastico indefinito illustrato nella figura seguente.

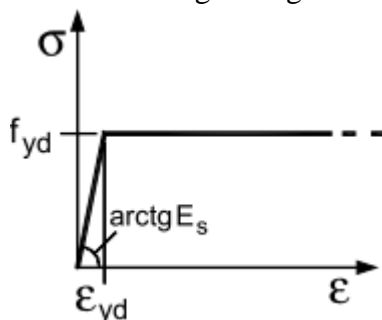


Figura 4 – Diagramma tensione-deformazione dell'acciaio

Per il modulo elastico dell'acciaio si è fatto riferimento al seguente valore:

$$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$$

da cui si ricava il seguente valore della deformazione di snervamento dell'acciaio da utilizzare nei calcoli:

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





## 7 SITUAZIONE ATTUALE DELLA BANCHINA

La banchina Bunge Sud oggetto della presente relazione è collocata lungo il canale Candiano, in sponda sinistra, poco a Nord di largo Trattaroli, antistante lo stabilimento della società Bunge, confinante con la Alma Petroli a Sud e con la centrale Enel a Nord. La banchina a servizio della Bunge si estende complessivamente per circa 310 m, con due tratti strutturalmente diversi:

- il settore Nord (circa 180 m) era un vecchio banchinamento costruito negli anni '60, recentemente sottoposto ad un importante intervento di adeguamento e che pertanto non viene interessato dal presente intervento;
- il settore Sud, per una lunghezza di 130 m, deve essere adeguato alle previsioni di Piano regolatore Portuale.

Il tratto di banchina in questione è costituito da un palancoato combinato in acciaio ancorato in sommità con tiranti a bulbo iniettato. L'opera è stata realizzata tra il 1988 ed il 1991 con un progetto analogo a quello della vicina banchina Alma Petroli.

In Figura 5 è mostrata una foto aerea recente dell'area.



Figura 5 – Vista aerea dell'area in esame (da Google maps)

La banchina esistente presenta le seguenti caratteristiche geometriche e prestazionali:

- piano di banchina di calcolo +2,50 m da l.m.m.;
- fondale operativo di calcolo -11,50 m da l.m.m.;
- sovraccarico di banchina 60 kPa;
- bitte poste su plinti isolati a tergo della paratia.

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>Membro della Federazione CSQ <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> </div> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 12 di 110</p>
--	--	--

## 7.2 Stato di consistenza dell'opera

In accordo al capitolo 8 delle Norme vigenti, per procedere ad un intervento di adeguamento della banchina è necessario procedere ad una valutazione conoscitiva dell'opera e del suo stato di conservazione. Dato che le situazioni concretamente riscontrabili sono le più diverse, la normativa traccia solo le linee generali per la redazione dei progetti e lascia al Progettista la definizione delle modalità di valutazione della sicurezza. In generale si prevedono i seguenti passi logici in sequenza:

- analisi storico-critica dell'opera;
- rilievo geometrico-strutturale;
- caratterizzazione meccanica dei materiali;
- definizione dei livelli di conoscenza dei diversi parametri coinvolti nel modello (geometria, dettagli costruttivi e materiali) e dei correlati fattori di confidenza da utilizzare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza che tengono conto delle carenze nella definizione del modello.

Operativamente i fattori di confidenza operano riducendo i valori medi delle resistenze dei materiali strutturali, come indicato nella circolare esplicative della Norma, al paragrafo C8.2:

*“È per questo che viene introdotta un'altra categoria di fattori, i “fattori di confidenza”, strettamente legati al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive, e che vanno preliminarmente a ridurre i valori medi di resistenza dei materiali della struttura esistente, per ricavare i valori da adottare, nel progetto o nella verifica, e da ulteriormente ridurre, quando previsto, mediante i coefficienti parziali di sicurezza”.*

Essendo l'area collocata in zona sismica è inoltre necessario considerare anche l'adeguamento dell'opera alle azioni sismiche in base alla classificazione sismica del territorio nazionale.

Come mostrato sopra sono stati reperite alcune tavole del progetto originale e la parte della relazione di Collaudo dell'opera.

In relazione alla qualità dei materiali sono state fatte delle indagini specifiche i cui risultati sono presentati nel seguito.

### 7.2.1 Documentazione storica reperita e progetto originale

In Figura 6 è mostrata una foto aerea storica dell'area del 1954, sovrapposta alla Carta Tecnica Regionale della regione Emilia Romagna. Si osserva che negli anni '50 l'area era completamente sgombra da edificazioni e che il canale Candiano era molto più stretto dell'attuale. La banchina BUNGE (in rosso nella stessa figura) è stata quindi realizzata in corrispondenza della sponda sinistra del canale.

In Figura 7 è mostrata una foto aerea del 1988, ripresa dal Geoportale Nazionale. Si osservano i silos di stoccaggio con l'operatività della banchina concentrata nella parte Nord. A sud il filo banchina doveva essere la semplice difesa spondale che oggi ritroviamo a tergo del banchinamento esistente.

In Figura 8 è mostrata vista aerea 3D della banchina in questione dalla quale si riconoscono le gru semoventi utilizzate per la movimentazione dei carichi.



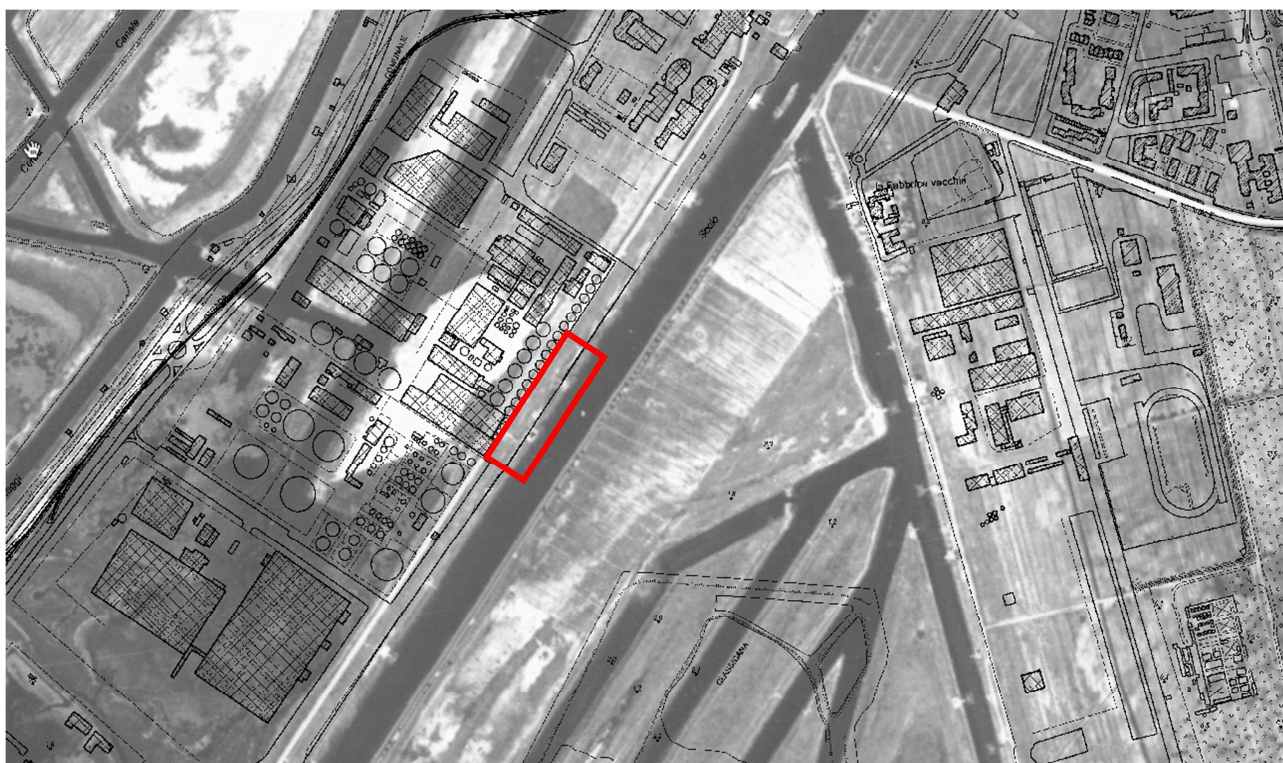


Figura 6 – Foto aerea storica dell’area in esame (volo IGM-GAI 1954) sovrapposta alla recente Carta Tecnica Regionale (da cartografia GIS regione Emilia Romagna)



Figura 7 – Foto aerea del 1988 dell’area in esame (da Geoportale Nazionale)

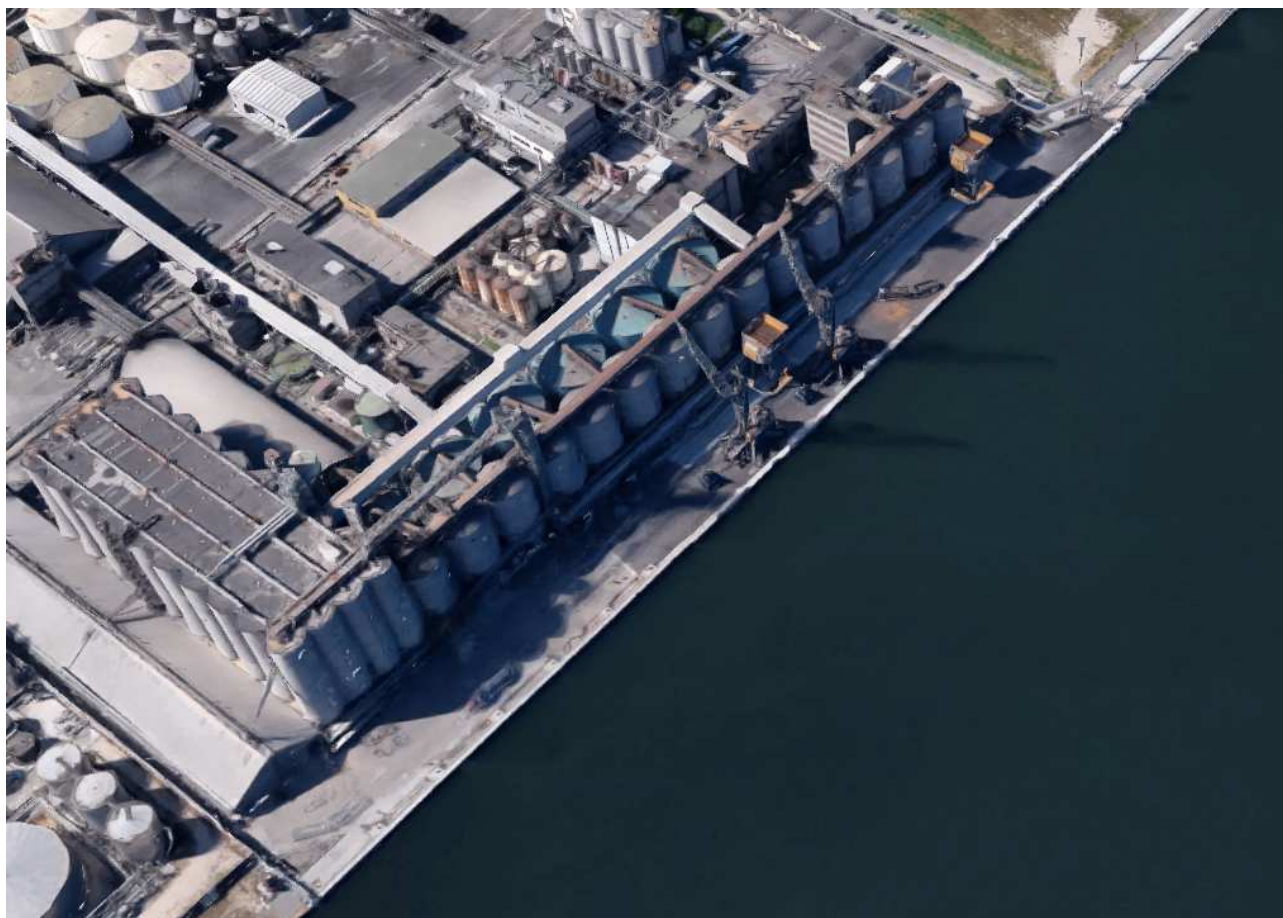


Figura 8 – Vista aerea 3D recente della banchina Bunge (da Google maps, 2017)

Dell’opera in esame sono state reperite alcune tavole grafiche del progetto originale ed uno Stralcio del Certificato di Collaudo Statico.

In Figura 9 è rappresentata una sezione tipo del banchinamento per come risulta dagli elaborati originali del progetto del 1988, a cui si rimanda per ulteriori dettagli.

La struttura è costituita da palancole principali ad H tipo HZ775B intercalati da elementi secondari ZH9.5, secondo la combinazione 10/13 indicata nel catalogo della ditta costruttrice TRADE ARBED – LUXEMBOURG edizione 1986. Il collegamento tra la palancola principale e l’elemento secondario è realizzato tramite speciali raccordi (RH16B) saldati agli elementi principali.

La palancola principale è estesa fino a -23,60 m su l.m.m. mentre la palancola secondaria fino a -17,508 m da l.m.m.

Al di sopra della paratia e ad essa opportunamente collegata corre una rigida trave di coronamento in c.a. con sezione rettangolare  $1,30 \times 2,50$  avente l’estradosso a +2,50 m su l.m.m. Da tale trave partono, debitamente ancorati, i tiranti a bulbo iniettato di lunghezza totale 28 m, posti ad interasse variabile tra 2,50 e 2,70 m ed inclinati di  $25^\circ$  sull’orizzontale. I tiranti sono armati con n.8 trefoli di acciaio armonico da 0,6’’ (si vedrà nel seguito che risultano presenti 6 trefoli e non 8).

Il calcolo dell’opera è stato sviluppato con il metodo proposto dal prof. Pozzati (Metodo per il calcolo delle fondazioni, Ed. Zanichelli, 1953), che è essenzialmente un modello di trave elastica su suolo alla Winkler. Il momento flettente massimo sul palancolato risultava pari a 123,2 tm/m ed il massimo tiro sugli ancoraggi risultava pari a 111 t.





Anche se l'indicazione progettuale prevedeva un innalzamento dei piazzali a +2,50 m su l.m.m., risulta che il piazzale sia all'incirca alla quota indicata nella tavola, pari a +0,77 m su l.m.m.

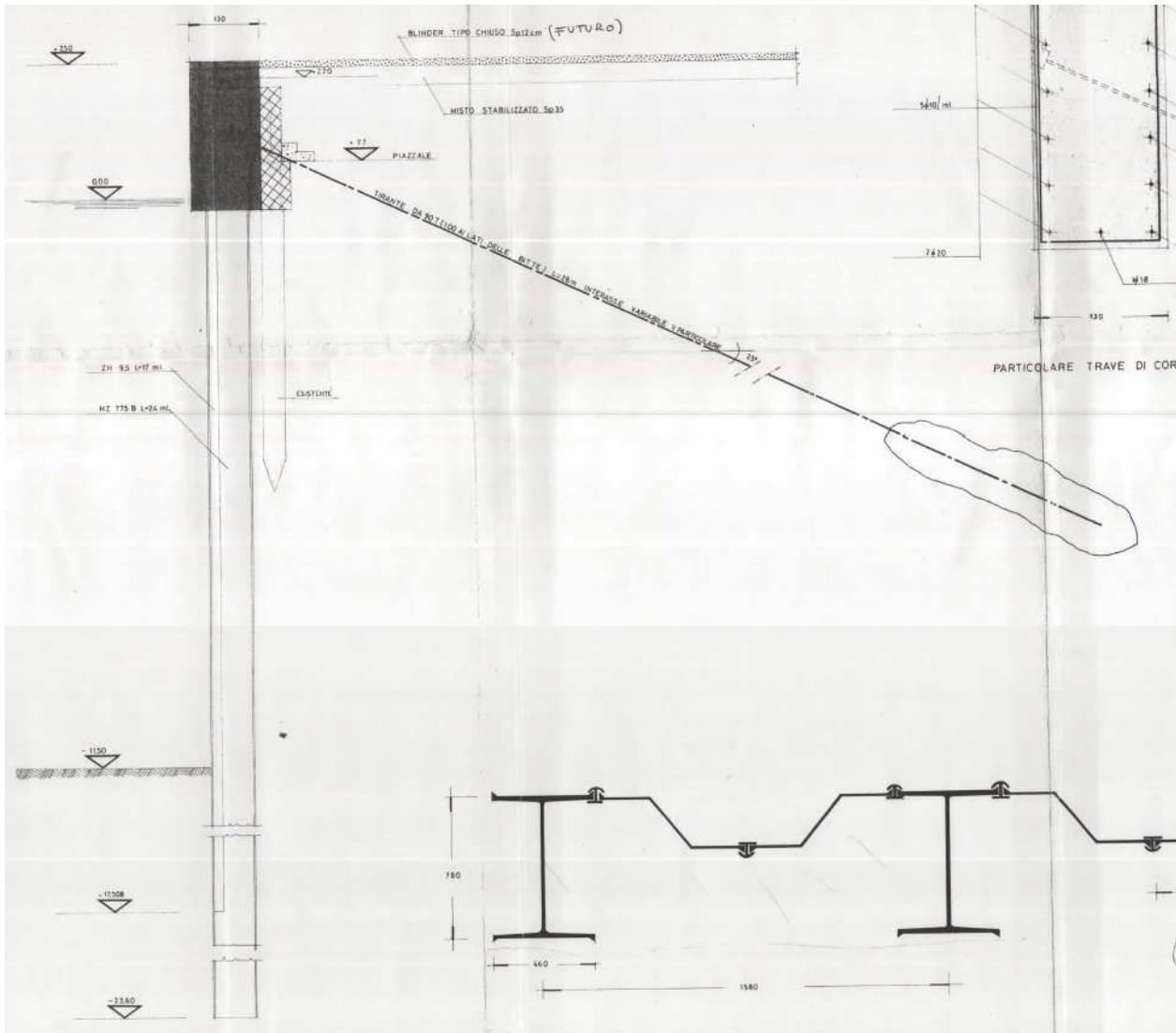


Figura 9 – Sezione tipo del banchinamento (dal progetto del 1988)

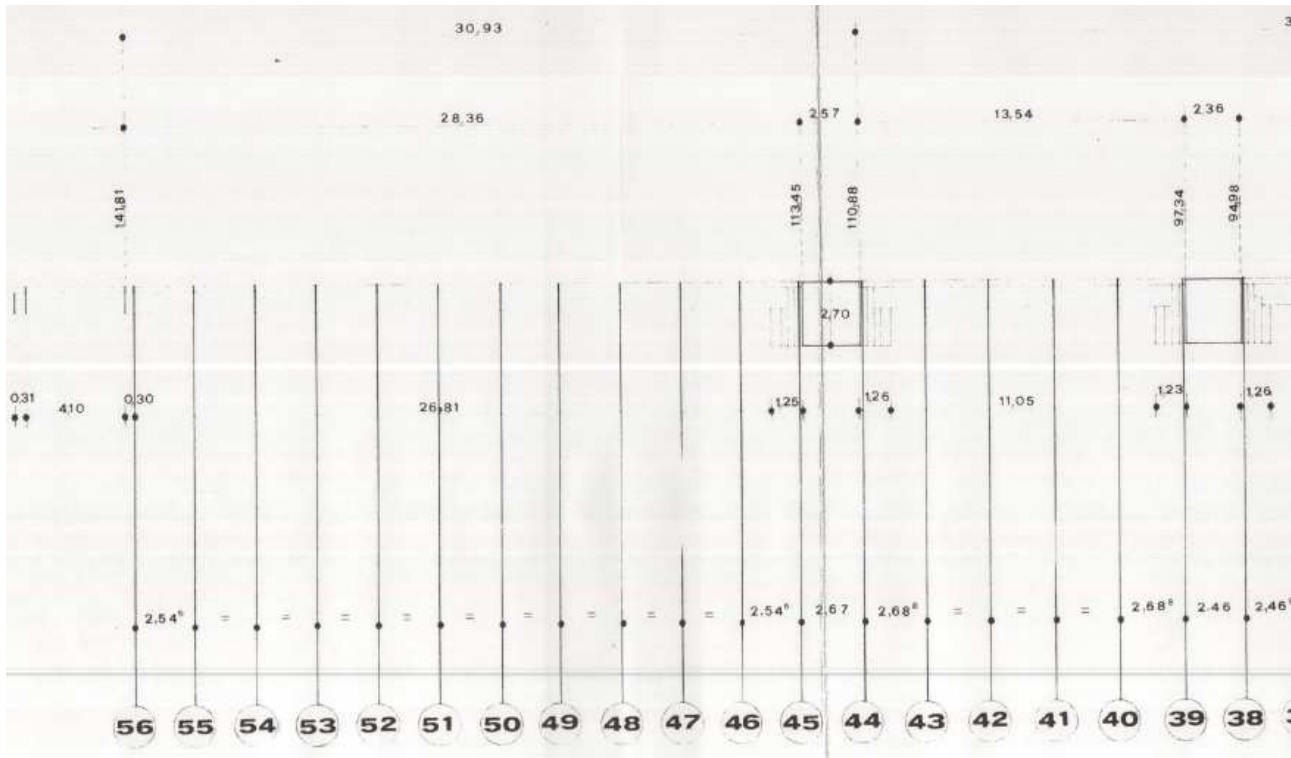
Dalla relazione di Collaudo risultano le seguenti caratteristiche dei materiali impiegati:

- palancole principali Acciaio tipo PAE360 ( $f_y=360\text{MPa}$ ;  $f_t=490\text{MPa}$ ;  $A_{gt}>22\%$ )
- calcestruzzo trave coronamento  $R_{ck} > 30 \text{ MPa}$

Nella stessa relazione sono presenti anche una serie di certificazioni di prove sui materiali e 2 certificati di tesatura di tiranti di ancoraggio.

Non risulta invece distinta la lunghezza libera dalla lunghezza della fondazione dei tiranti di ancoraggio. Né tale dato risulta chiaramente estrapolabile dalle prove di collaudo sui tiranti di prova.

Dalla Figura 10, che rappresenta uno stralcio della planimetria di progetto, si evince che l'interasse tra i tiranti è variabile e mediamente pari a 2,50 m.



**Figura 10 – Stralcio planimetrico del banchinamento**

## 7.2.2 Prove di controllo sulla qualità dei materiali presenti

Per definire la qualità dei materiali presenti e lo stato di conservazione dell'opera è stata realizzata una campagna di indagine costituita da:

- prelievo di 2 carote di calcestruzzo dalla trave di banchina da sottoporre a prove di compressione;
- prelievo di una barra d'armatura dalla trave di banchina (1 barra  $\varnothing 20$ ) da sottoporre a prova di trazione;
- apertura di 1 testata di ancoraggio per verifica visiva dello stato di conservazione e prova di isolamento elettrico del tirante (ERM II, da EN 1537:2002);
- escavo a tergo della trave per ispezione del tirante e prelievo di un trefolo per prove di trazione;
- prelievo di un fazzoletto di palancola metallica per valutazione della qualità dell'acciaio con prova di trazione;
- misura dello spessore del palancolato metallico con tecniche ultrasoniche.

I risultati analitici sono presenti nelle relative relazioni di indagine.

In sintesi risulta che:

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 17 di 110</p>
--	---	--

- la resistenza a compressione delle carote di calcestruzzo prelevate dalla trave di banchina è risultata pari a 37,52 e 36,54 MPa;
- la prova di trazione sulla barra  $\varnothing 20$  ha fornito un carico di rottura pari a 416,8 MPa ed un carico di rottura di 645,6 MPa con un allungamento del 11,52%;
- la testata dell'ancoraggio appariva in buono stato di conservazione (vedi Figura 11); la resistenza elettrica misurata in accordo al metodo ERMII è risultata sempre superiore a 100 k $\Omega$ , ad indicare un buon isolamento elettrico del tirante;
- l'escavo del tirante a tergo della trave mostra la presenza di una singola guaina isolante sulla parte libera dei trefoli (manca cioè il tubo corrugato che costituisce la cosiddetta “doppia protezione” dei trefoli). Ne consegue che con ogni probabilità la fondazione dei trefoli è protetta dalla sola malta di iniezione. Il trefolo ha un'area della sezione di 142 mm<sup>2</sup> con una resistenza a rottura di 253 kN pari a 1.780 MPa;
- la prova di trazione sull'acciaio del palancoleto indica un carico di snervamento di  $f_y = 349$  MPa, un carico di rottura  $f_t = 487$  MPa ed un allungamento a rottura del 27%;
- lo stato di corrosione della palancole indica perdite di spessori inferiori ad 1 mm in circa 30 anni di esposizione (vedi Tabella 1); l'uniformità delle perdite di spessore rilevate sulla palancole al “Punto 6” fanno pensare ad un sottospessore iniziale del profilato più che ad una corrosione generalizzata più incisiva.

**Tabella 1. Misura ultrasonica dello spessore dei palancoleto metallici HZ**

BANCHINA INDAGATA		Palancole HZ	Spessore nominale (mm)	Anno di Installazione	Anni di esposizione all'ambiente	Misura ultrasonica spessori acciaio dei palancoleto					
						Misura su fazzoletto	Spessore (mm)				
							Profondità (da l.m.m.)				
				-0,50	-2,50	-4,50	-6,50	-8,50			
PALANCOLE Bunge (Sez.17)	Punto 5	HZ775B	19	1988/1989	28-29	18,5	18,1	18,4	18,4	18,5	18,2
	Punto 6					-	17,7	17,3	17,2	17,3	17,3

Si deve rilevare che, a differenza di quanto indicato nei documenti di progetto, i tiranti della banchina BUNGE SUD hanno un'armatura costituita da 6 trefoli (e non 8 trefoli).





Figura 11 – Fotografia della testata di ancoraggio della banchina BUNGE SUD



Figura 12 – Fotografia del tirante di ancoraggio a tergo della trave

### 7.2.3 Valutazione del livello di conoscenza e dei fattori di confidenza

In conclusione risulta che la struttura esistente è in discrete condizioni, anche se l’opera è meno robusta di analoghi banchinamenti (vedi Trattaroli Sud o Lloyd Ravenna). La qualità dei materiali e l’attenzione ai dettagli costruttivi risente dell’epoca di costruzione. La qualità dei calcestruzzi, ad esempio, per quanto in linea con quanto previsto dal progetto ( $R_{ck} > 30$  MPa), risulta inferiore a quanto necessario oggi per un’opera esposta all’ambiente marino. Così la mancanza della doppia protezione dei trefoli di ancoraggio e l’esposizione diretta dei cunei di serraggio alla malta di sigillatura non sarebbero oggi accettabili.

Il palancolato metallico risulta in buono stato di conservazione, per cui è possibile fare affidamento sulle sue risorse resistenti.

L’appendice A al capitolo 8 della Circolare applicativa delle Norme vigenti fornisce una guida alla stima dei fattori di confidenza da utilizzare in relazione al livello di conoscenza raggiunto. Anche se riferita principalmente agli edifici, la Circolare applicativa fornisce comunque un riferimento anche per il caso in esame. La Tabella 2 ripresa dalla Circolare stessa suggerisce, per le costruzioni in calcestruzzo armato ed acciaio, i seguenti fattori di confidenza da adottare in relazione a tre livelli di conoscenza: conoscenza limitata (LC1), conoscenza adeguata (LC2), conoscenza accurata (LC3).

**Tabella 2. Livelli di conoscenza e fattori di confidenza per edifici in calcestruzzo armato ed acciaio (da Appendice C8A alla Circolare applicativa delle NTC2008)**

Livello di Conoscenza	Geometria (carpenterie)	Dettagli strutturali	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione oppure rilievo ex-novo completo	Progetto simulato in accordo alle norme dell’epoca e limitate verifiche in-situ	Valori usuali per la pratica costruttiva dell’epoca e limitate prove in-situ	Analisi lineare statica o dinamica	1.35
LC2		Disegni costruttivi incompleti con limitate verifiche in situ oppure estese verifiche in-situ	Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con limitate prove in-situ oppure estese prove in-situ	Tutti	1.20
LC3		Disegni costruttivi completi con limitate verifiche in situ oppure esaustive verifiche in-situ	Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con estese prove in situ oppure esaustive prove in-situ	Tutti	1.00

Per il caso della banchina Bunge Sud si ritiene che il livello di conoscenza raggiunto con i dati reperiti e le prove effettuate sia tale da poter assumere i valori di resistenza dei materiali riportati nel capitolo “Caratteristiche dei Materiali”.

### 7.3 Analisi delle carenze della struttura attuale in relazione alle nuove esigenze di utilizzo

L'analisi della struttura attuale in relazione alle nuove prestazioni richieste indica che:

- il sistema di ancoraggio sommitale è insufficiente a fronteggiare i tiri di progetto risultanti dai nuovi carichi; inoltre i tiranti risultano non essere adeguatamente protetti (manca la “doppia protezione”), come appare chiaramente dalle fotografie del tirante portato alla luce a tergo della trave di banchina;
- il palancolato di banchina non ha risorse resistenti sufficienti a fronteggiare il momento flettente risultante dalle nuove prestazioni richieste per l'opera;
- la lunghezza del palancolato principale di banchina, esteso fino a -23,60 m da l.m.m., non supera lo strato di limi argillosi scadenti e compressibili e pertanto la lunghezza del palancolato è insufficiente a garantire la stabilità generale del sistema;
- la trave di banchina ha una sezione modesta e la qualità del calcestruzzo non è in linea con le attuali richieste normative.

Lo stato di conoscenze attuale e le più importanti prestazioni oggi richieste al banchinamento (ad es. fondale di calcolo a -15,00 m da l.m.m.) portano a preferire soluzioni che minimizzino le incertezze, la cui efficacia possa essere controllata con sicurezza.

Relativamente al sistema di ancoraggio occorre rilevare che la mancanza della doppia protezione dei trefoli ed il fatto che l'intervento sia in opera da oltre 30 anni non permette di fare pieno affidamento sugli ancoraggi esistenti.

Si deve anche osservare che il palancolato della banchina BUNGE SUD è meno robusto rispetto ai palancolati in acciaio utilizzati su banchinamenti limitrofi. Infatti i pali principali della banchina sono HZ775 contro i tipici corrispondenti HZ975 presenti a Trattaroli Nord e Sud.

Da ricerche di letteratura tecnica risultano le caratteristiche inerziali del palancolato presente a BUNGE SUD indicate in Figura 13. Il palo HZ775 B – ZH9,5 combinazione 10/13 ha quindi:

Area della sezione  $A = 295,2 \text{ cm}^2/\text{m}$       Momento di inerzia  $I_x = 203.580 \text{ cm}^4/\text{m}$   
 Modulo di resistenza  $W_x = 5.225 \text{ cm}^3/\text{m}$

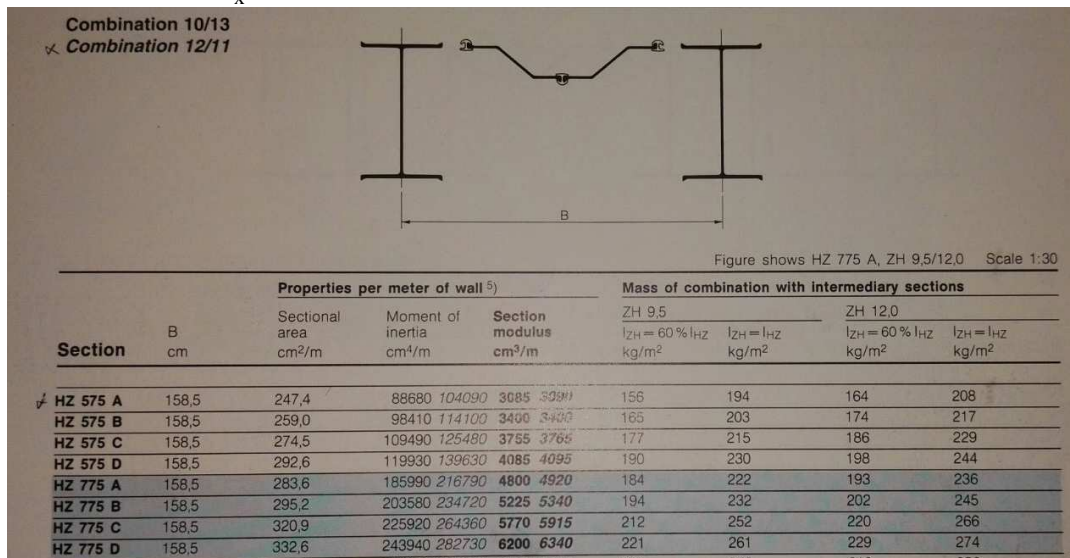


Figura 13 – Vecchio catalogo relativo ai palancolati ARBED

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>Membro della Federazione CSQ RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 21 di 110</p>
--	---	--

## 8 INTERVENTO DI ADEGUAMENTO PREVISTO

La soluzione strutturale per l'adeguamento dell'opera è stata studiata cercando di integrare le carenze della struttura attuale, mantenendo ed utilizzando, per quanto possibile, le strutture presenti. Per quanto detto in precedenza non è possibile fare affidamento sui tiranti di ancoraggio esistenti in cui i trefoli della fondazione non hanno la protezione della guaina plastica, né sulla trave di banchina che presenta sezione modesta e caratteristiche dei calcestruzzi oggi non accettabili.

Inoltre per questo banchinamento è necessario considerare che a circa 32-35 m da filo banchina sono presenti dei silos per lo stoccaggio di cereali.

Si è quindi optato per la costruzione di una piattaforma di scarico su pali, ancorata a nuovi tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato e rifacimento della trave di banchina. Tale soluzione permette di limitare l'impegno delle strutture esistenti (palancolato di banchina) trasferendo i carichi di superficie in profondità ed incrementando le capacità resistenti del sistema ai carichi orizzontali. Considerando inoltre che i terreni superficiali dell'area in esame sono piuttosto scadenti ed in accordo con gli ottimi risultati ottenuti nell'area di Largo Trattaroli realizzando la fondazione degli ancoraggi con la tecnica del jet-grouting, si prevede che i nuovi ancoraggi vengano realizzati con tale tecnologia.

In Figura 14 è mostrata la sezione tipologica della banchina adeguata. Le nuove opere comprendono:

- tre allineamenti di pali, di cui il primo lato mare  $\varnothing 1200$  e il secondo e terzo  $\varnothing 1000$ , estesi fino a -35 m da l.m.m. (da -0,50 a -35 m da l.m.m.), alla distanza di 1,6 – 7,6 – 13,6 m circa dall'asse del palancolato metallico e ad interasse medio di 3,75 m tra le file (in direzione longitudinale);
- solettone di ripartizione in calcestruzzo armato, al di sopra dei pali (tra -0,50 e +0,50 m su l.m.m.), di larghezza pari a 14,20 m a tergo della trave sommitale esistente ed altezza pari a 1,00 m;
- ancoraggio integrativo realizzato da mare, di lunghezza 32 m, inclinazione  $20^\circ$  sull'orizzontale, con 16 m di parte libera e 16 m di fondazione, armato con barra Dywidag  $\varnothing 47$  con doppia protezione ed interasse medio di 1,875 m; il bulbo di fondazione realizzato con un trattamento coassiale in jet grouting;
- realizzazione della nuova trave di banchina  $1,0 \times 3,0$  m (B  $\times$  H), con sezione maggiorata in corrispondenza delle bitte.

Considerando che gli ancoraggi esistenti sono posti ad interassi variabili tra 2,50 e 2,70 m, in fase di progettazione esecutiva si dovrà valutare se adattare la distanza dei pali agli spazi disponibili o se, come considerato in questa fase di progettazione, tagliare alcuni tiranti mantenendo costante l'interasse dei pali.

Inoltre considerata la vicinanza tra i silos a tergo della banchina ed i tiranti di ancoraggio, dovrà essere predisposto un sistema di monitoraggio topografico delle strutture esistenti e dovrà essere utilizzata ogni cautela nella realizzazione delle fondazioni degli ancoraggi per evitare il rischio di interferenze con le vicine fondazioni.

Nel caso in esame, considerando che la quota attuale dei piazzali è inferiore a +1,00 m su l.m.m. e che il tratto di banchina adeguata pochi anni fa (Bunge Nord) è stata realizzata senza modificare la quota preesistente dei piazzali, si è stabilito di procedere in maniera analoga realizzando la trave di banchina fino a +2,50 m e lasciando i piazzali a +0,75 m su l.m.m.





Nel modello di calcolo si è cautelativamente considerata una quota dei piazzali pari a +1,00 m su l.m.m.

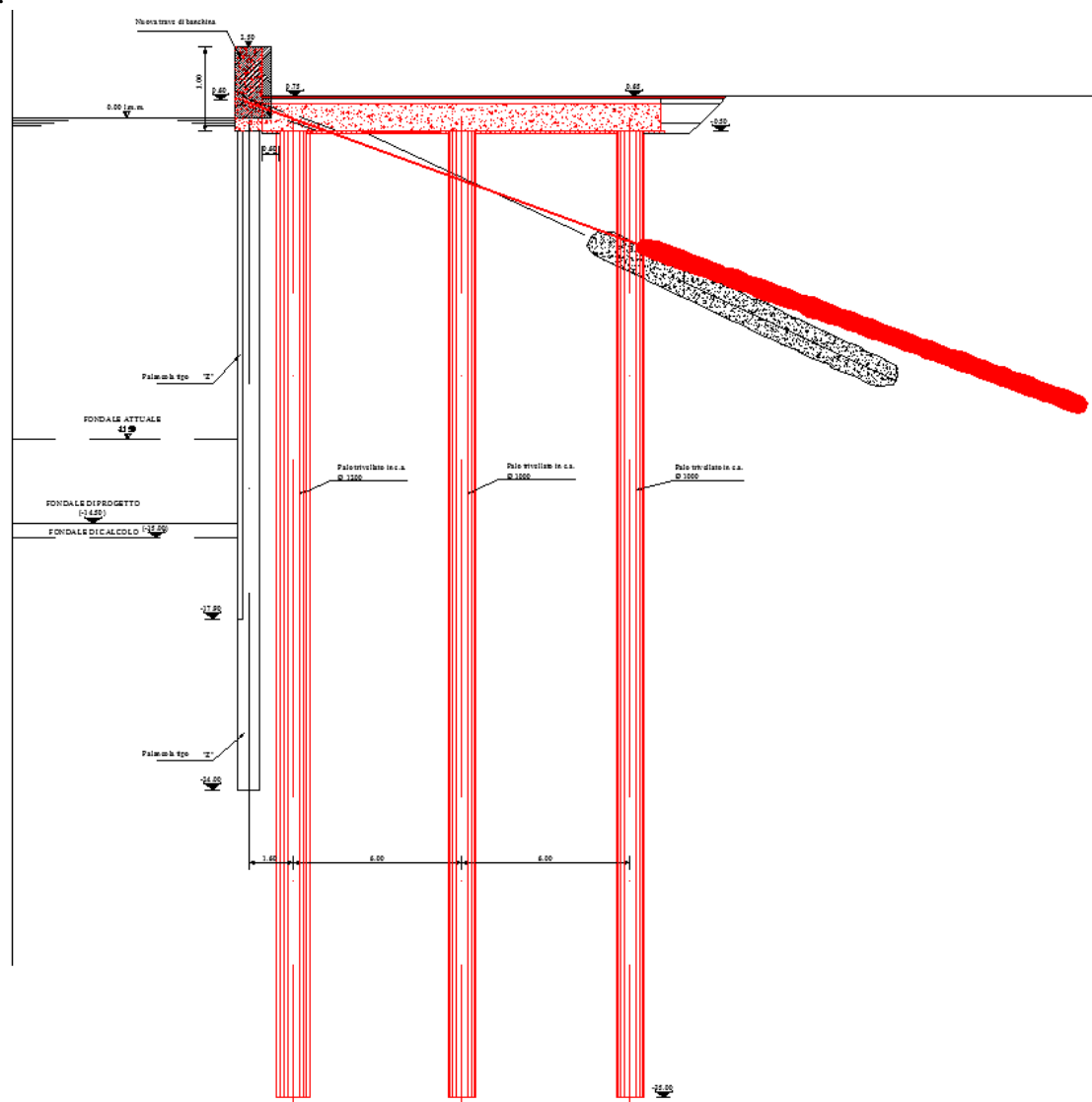


Figura 14 – Sezione adeguata della banchina BUNGE SUD

Relativamente alle fasi realizzative dell'intervento si prevede indicativamente:

- rimozione della pavimentazione ed individuazione dei tiranti esistenti;
- realizzazione dei nuovi pali;
- collegamento provvisorio tra il palancoleto ed il primo palo;
- realizzazione del nuovo solettone;
- demolizione progressiva della trave di banchina con taglio e ricollegamento provvisorio dei tiranti di ancoraggio alle nuove strutture;
- realizzazione della nuova trave di banchina;
- realizzazione dei nuovi tiranti di ancoraggio.

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 23 di 110</p>
--	---	--

## 9 RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO

### 9.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO/STRATIGRAFICO DELL'AREA

Dal punto di vista geologico, l'area della piana costiera romagnola appartiene al bacino di avanfossa di età plio-quadernaria racchiuso a Nord dalle Alpi e ad Ovest dalla Catena Appenninica, poi riempito in età olocenica durante un ciclo trasgressivo-regressivo.

I depositi di pianura e costieri risalgono al Pleistocene e al Medio-Olocene e sono attribuibili al “Subsistema di Ravenna”, un'unità relativamente superficiale, costituita da depositi fluviali intravallivi e di pianura alluvionale, con intercalazioni di sabbie litorali e, nel settore a mare, da sabbie di prodelta e transizione alla piattaforma, il cui spessore aumenta, procedendo progressivamente dal margine appenninico verso il mare, fino a 20-28 metri.

L'attuale assetto stratigrafico dei depositi costieri è strettamente legato alle fasi che hanno caratterizzato la dinamica evolutiva del delta del fiume Po:

- **18000 anni fa** - l'ultima glaciazione del Quaternario provoca la regressione marina che porta all'avanzamento della piana alluvionale del Po fino all'altezza di Pescara.
- **10000 anni fa** - trasgressione marina avvenuta in tempi molto rapidi cosicché il delta del Po arretra fino quasi alla posizione attuale. Durante le fasi di trasgressione l'estesa pianura di *stazionamento basso* venne rapidamente allagata data anche la sua modesta inclinazione, per cui tutti i sedimenti precedentemente depositi e sommersi, vennero rimaneggiati e depositi nuovamente lungo le neofornate linee di costa man mano che esse arretravano verso nord ovest.
- **6000 anni fa** - massimo arretramento della linea di costa fino a raggiungere l'entroterra di Ravenna. In corrispondenza dell'attuale fascia costiera la deposizione avviene in condizioni di mare basso (ambiente di prodelta).
- **da 6000 anni fa ad oggi** - stabilizzazione del livello del mare, progressivo accrescimento e spostamento verso mare della linea di costa ad opera dell'apporto fluviale fino al raggiungimento dell'attuale configurazione delle aree emerse con la formazione delle zone lagunari della Pialassa del Piombone.

Tale breve ricostruzione della geologia recente fornisce un'efficace chiave di lettura della sequenza stratigrafica sintetizzata nella sezione proposta da Amorosi *et al.* (1999) e mostrata in Figura 15; nell'immagine si riconoscono le associazioni di facies ed il codice di riconoscimento delle singole litofacies che caratterizzano il Subsistema di Ravenna (CARG – Foglio 223 Ravenna).

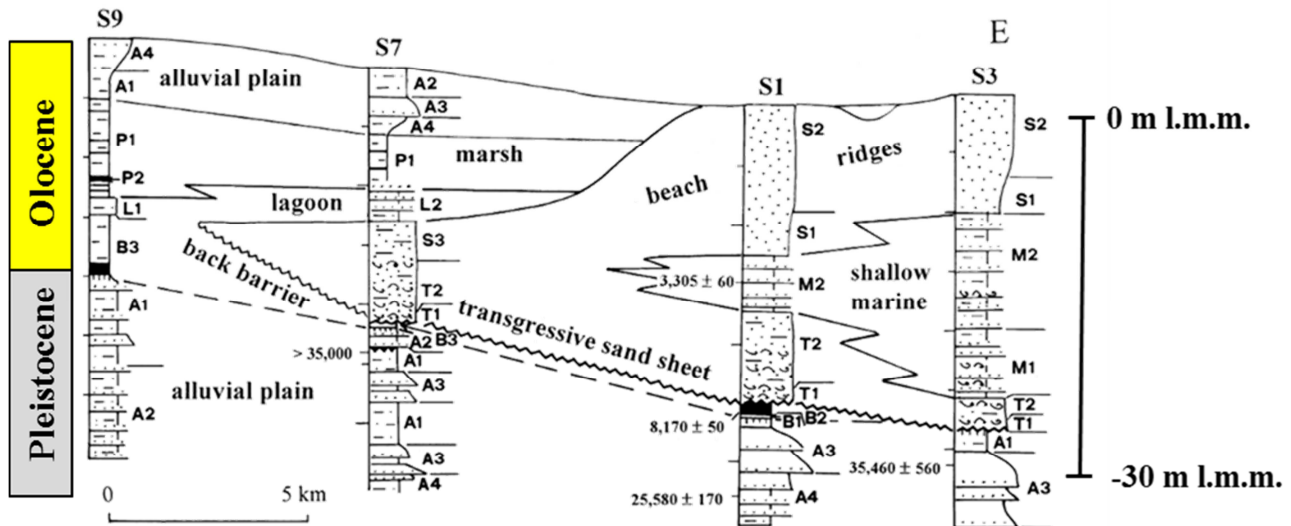


Figura 15 – Stratigrafia del Subsistema di Ravenna ricostruita lungo l’allineamento (W-E) Villanova – Borgo Anime – Porto (CARG – Foglio 223 Ravenna); l’area oggetto di studio si colloca fra i sondaggi S1 ed S3

Nella successione stratigrafica si individua l’arrivo della trasgressione Olocenica in corrispondenza di **depositi sabbiosi di retro barriera** (facies B) e degli **strati sabbiosi trasgressivi** sovrastanti (facies T, 8000-9000 anni fa) posti ad una profondità di 30 m lungo la linea di costa che tende a diminuire verso ovest. Sopra i depositi sabbiosi si trovano i **sedimenti fini di prodelta** (depositi di mare basso, facies M) che mostrano una geometria a cuneo con diminuzione di spessore verso ovest. L’evoluzione successiva è controllata dalla deposizione degli spessi depositi sabbiosi attribuibili a **cordoni litorali e dunali** (facies S). Nelle zone più interne, sopra i depositi sabbiosi, si osservano sedimenti recenti legati all’evoluzione dei sistemi fluviali più importanti. Fra le verticali dei sondaggi S1 ed S3 si rinvenivano **depositi di palude salmastra** (facies P) appartenenti agli ambienti palustri della Pialassa.

Al di sotto del Subsistema di Ravenna sono riconoscibili i **depositi di piana alluvionale** (facies A) del tardo-pleistocene (circa 15.000 anni fa).

I profili penetrometrici risultanti lungo tutto il canale si correlano bene con la ricostruzione presentata, schematizzata nella sezione geologica dei sedimenti recenti del Ravennate di Figura 16 (da Carta Geologica d’Italia, foglio 223). Sulla stessa figura sono infatti sovrapposti i profili di resistenza alla punta di 3 CPT realizzate lungo il canale, di cui la CPTu3/2014 realizzata presso la Darsena San Vitale, la CPT8/1978 realizzata a Largo Trattaroli, la CPTu21/2014 realizzata a Porto Corsini: si osserva un’ottima correlazione tra le resistenze alla punta delle prove penetrometriche e la variabilità delle quattro unità litologiche individuate nell’area portuale.



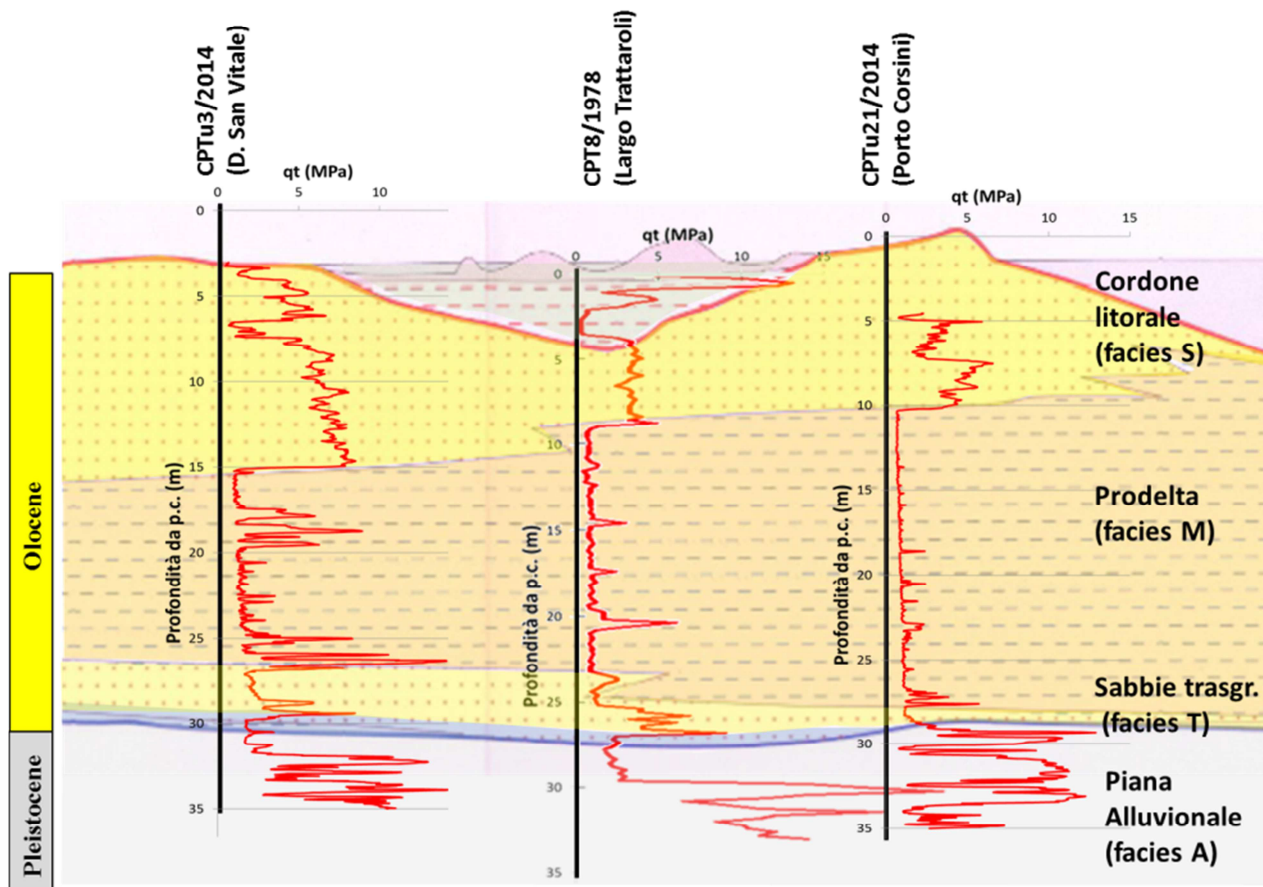


Figura 16 - Sovrapposizione fra la resistenza penetrometrica corretta misurata nelle verticali CPTu3/2014, CPT8/1978, CPTu21/2014 e la corrispondente sezione geologica dei sedimenti recenti del Ravennate (da Carta Geologica d'Italia, foglio 223)

In sostanza risulta concettualmente utile suddividere l'area portuale in 3 settori, sulla base dell'andamento del tetto del cordone litorale di facies S (Figura 17):

- Settore EST: rappresentativo di Marina di Ravenna e Porto Corsini è caratterizzato dal Cordone litorale S affiorante ma di limitato spessore ( $s = 7-8$  m) ed un deposito di Prodelta di grande potenza ( $s > 15$  m) e con solo sporadici livelli permeabili;
- Settore CENTRALE: rappresentativo di Largo Trattaroli è caratterizzato dalla presenza dei depositi di palude salmastra nei primi metri da piano campagna e da uno spessore delle sabbie di cordone litorale ridotto a pochi metri ( $s < 5-6$  m);
- Settore OVEST: rappresentativo della Darsena San Vitale è caratterizzato da una elevata potenza delle sabbie di Cordone litorale S, che raggiungono spessori dell'ordine dei 15 m e da un ridotto spessore del Deposito di Prodelta ( $s < 10$  m) che si presenta anche intercalato da numerosi livelli e lenti sabbiose.

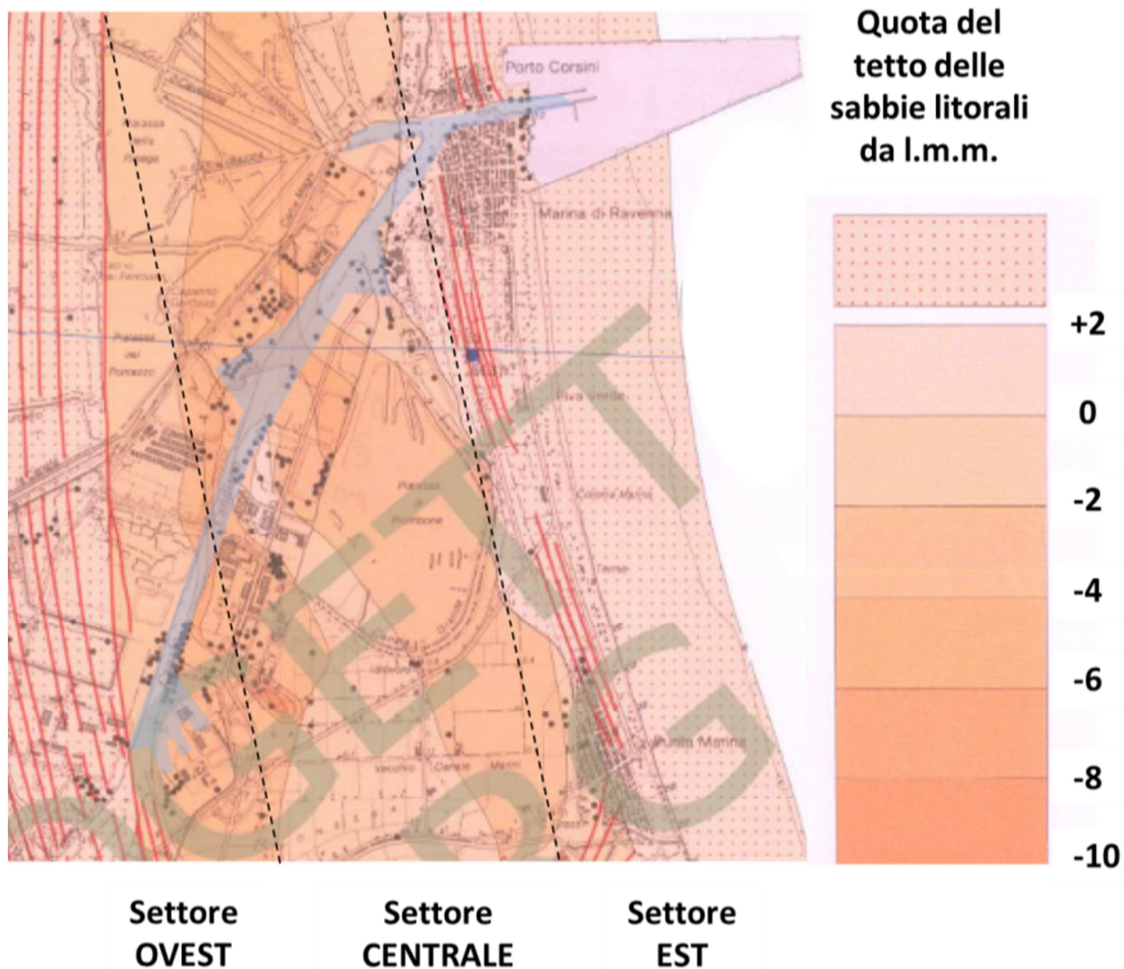


Figura 17 – Profondità del tetto delle sabbie litorali e suddivisione in settori omogenei

## 9.2 MODELLO STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO e CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per la definizione della successione stratigrafica di dettaglio relativa alla banchina in questione si fa riferimento al profilo delle unità geotecniche costruito sulla base della recente campagna di indagine (2014), mostrato in Figura 18 relativamente al tratto di interesse.

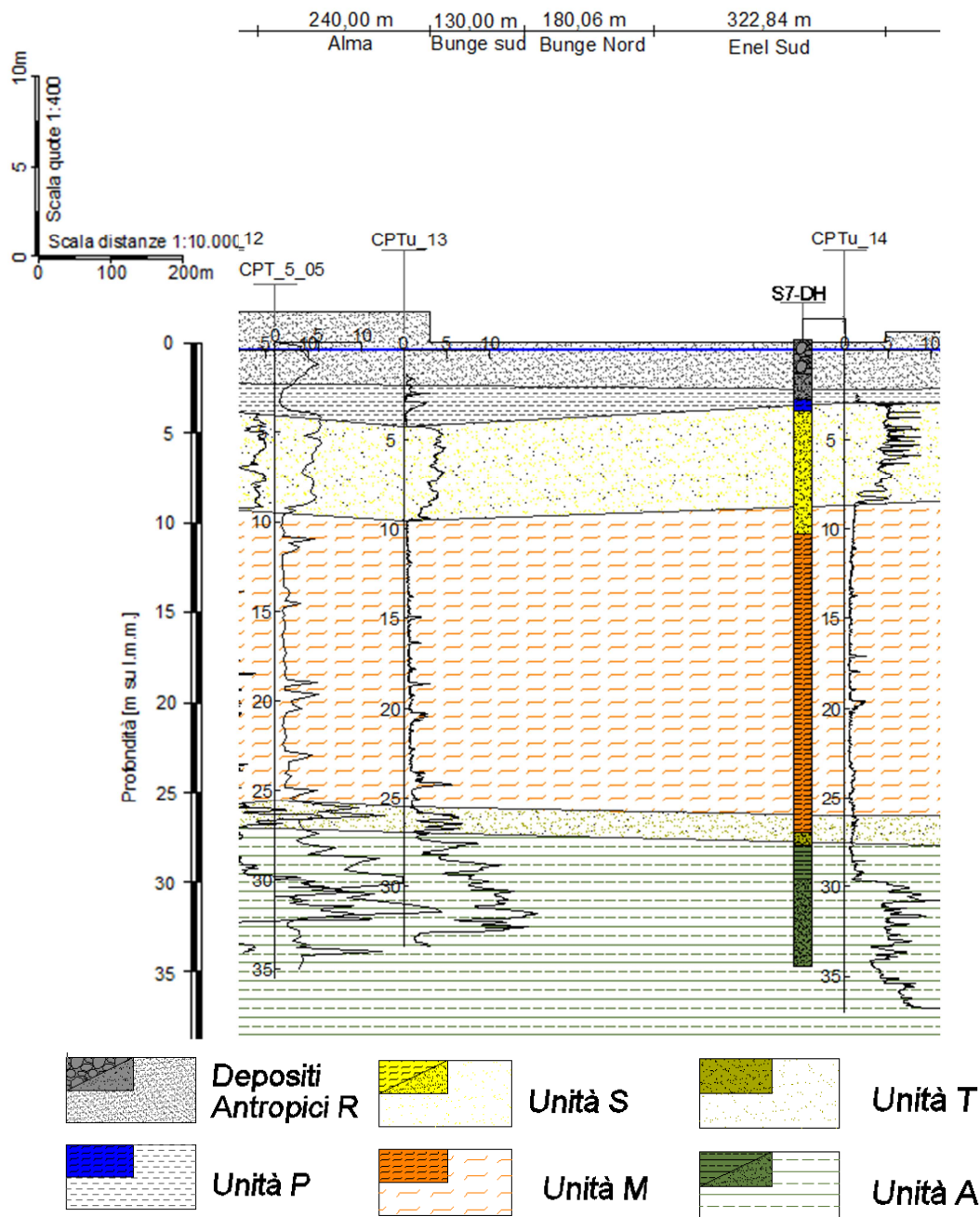


Figura 18 – Profilo delle unità geotecniche nel tratto di interesse

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 28 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

Dal profilo si osserva che nel tratto di interesse lo spessore dello strato sabbioso superficiale (Unità S), molto significativo ai fini progettuali, è piuttosto limitato e compreso tra -4 e -10 m da l.m.m.

In definitiva si adotta la seguente successione stratigrafica di riferimento:

- Deposito antropico (R) +1,5 / 0,0 m su l.m.m.
- Depositi di Palude (P) -0,0 / -4,0 m su l.m.m.
- Sabbie Dunali (S) -4,0 / -10,0 m su l.m.m.
- Limi Argillosi (M) -10,0 / -25,0 m su l.m.m.
- Sabbie profonde (T) -25,0 / -27,0 m su l.m.m.
- Alluvioni profonde (A)  $z < -27,0$  m su l.m.m.

Per la scelta delle caratteristiche meccaniche dei terreni presenti si fa riferimento al quadro sinottico generale dei parametri geotecnici (Tabella 3) ottenuti dall’elaborazione del complesso delle indagini disponibili al porto di Ravenna, i cui dettagli possono essere trovati nella relazione geotecnica generale.



**Tabella 3. Quadro sinottico generale dei parametri geotecnici (da Rel. geotecnica generale)**

			Litotipo S e T	Litotipo P	Litotipo M	Litotipo A	
						porzione fine	porzione granulare
			Depositi S (sabbie fini di cordone litorale) Depositi T (strati sabbiosi trasgressivi)	Deposito P di palude	Deposito M prev. coesivo di prodelta	Deposito A di piana alluvionale	
Peso di volume	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]		17,5-19,5	17,0-18,0	17,5-19,5	18,5-20,5	
Peso specifico dei	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]		27,40	n.d.	27,70	26,5	n.d.
Contenuto d'acqua	w [%]		22-30	40	25-40	22-33	n.d.
Limite liquido	LL [%]		-	n.d.	30-55	32-57	n.d.
Indice di plasticità	IP [%]		-	n.d.	10-30	12-33	n.d.
Coeff. di spinta a riposo	$k_0$ [-]		-	n.d.	0,4-0,6	0,5-0,6	n.d.
Grado di sovracosolidazione	OCR		-	1	1	1 - 2	
Densità relativa	DR [%]	CPTu	30-50	-	-	-	20-40
Parametri di resistenza in tensioni efficaci	$c'$ [kPa]	T.D	0 30	n.d.	0 30	0 28	-
		L.I.	0 38				-
	$\phi'$ [°]	CU- CD	L.I.	0 34	n.d.	0 28	-
		L.S.	0 39		0 32	-	
Parametri di resistenza in tensioni totali	$c_u$ [kPa]	DMT	34-36	-	-	-	n.d.
		CPTu	35-38	n.d.	25-30	-	32-35
		UU	-	n.d.	20-60	60-110	-
		L.I.	-	5-30	0,15 $\sigma'_v$	0,15 $\sigma'_v$	-
L.S.	-		10-20	0,12 $\sigma'_v$ 0,26 $\sigma'_v$	0,30 $\sigma'_v$		-
Modulo di taglio a piccole deformazioni	$G_0$ [MPa]	DH	27-63	n.d.	47-100	110-195	
		CH	45	25	35-60	75-90	
		Re.Mi.	40-100	n.d.	80-160	90-160	
		Colonna Risonante	65-95	n.d.	70-140	120	-
		CPTu	40-80	n.d.	25-70	-	-
Moduli elastici operativi	$E_s$ [MPa]	CPTu	20-50	n.d.	n.d.	n.d.	50-70
Moduli edometrici	$M$ [MPa]	$\sigma'_v$ : 50-100kPa $\sigma'_v$ : 100-200kPa $\sigma'_v$ : 200-400kPa	-	n.d.	1,8-4,0 2,0-7,0 3,0-11,0	- 6,0 - 9,0 9,0 - 15,0	-
	$M_{OTM}$ [MPa]	DMT	20-45	1-4	2-6	-	-
	$M$ [MPa]	CPTu	-	1-3	2-6	5-10	-
Coeff. di compressibilità	$C_c$ [-]		-	n.d.	0,17-0,36	0,20 - 0,30	-
Coeff. di rigonfiamento	$C_s$ [-]		-	n.d.	0,02-0,05	0,02 - 0,06	-
Coeff. di consolidazione verticale	$c_v$ [m <sup>2</sup> /s]		-	n.d.	2·10 <sup>-4</sup> 7·10 <sup>-7</sup>	n.d.	-

Per la scelta del valore più appropriato dei parametri geotecnici per i terreni presenti nel tratto in esame si fa riferimento ai risultati della prova CPTu13\_2014 (Figura 19) e ai relativi parametri ricavati dall'elaborazione della prova (Figura 20).

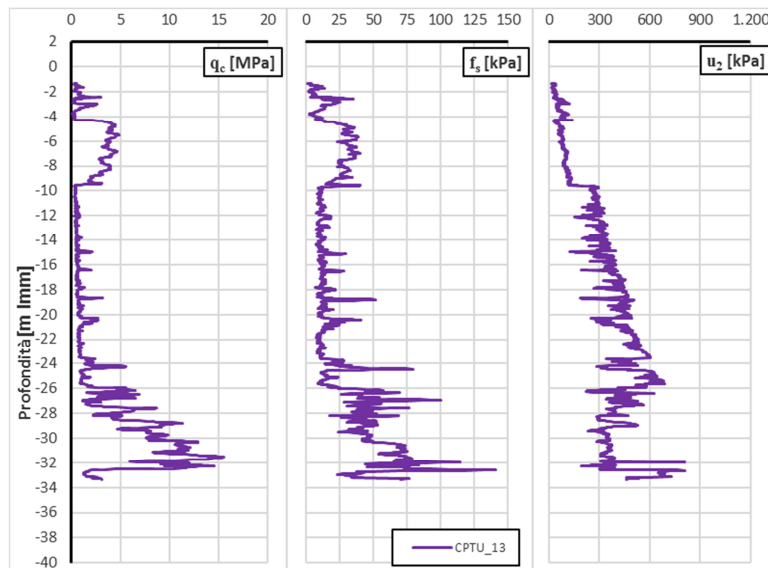


Figura 19 – Risultati della prova CPTu\_13

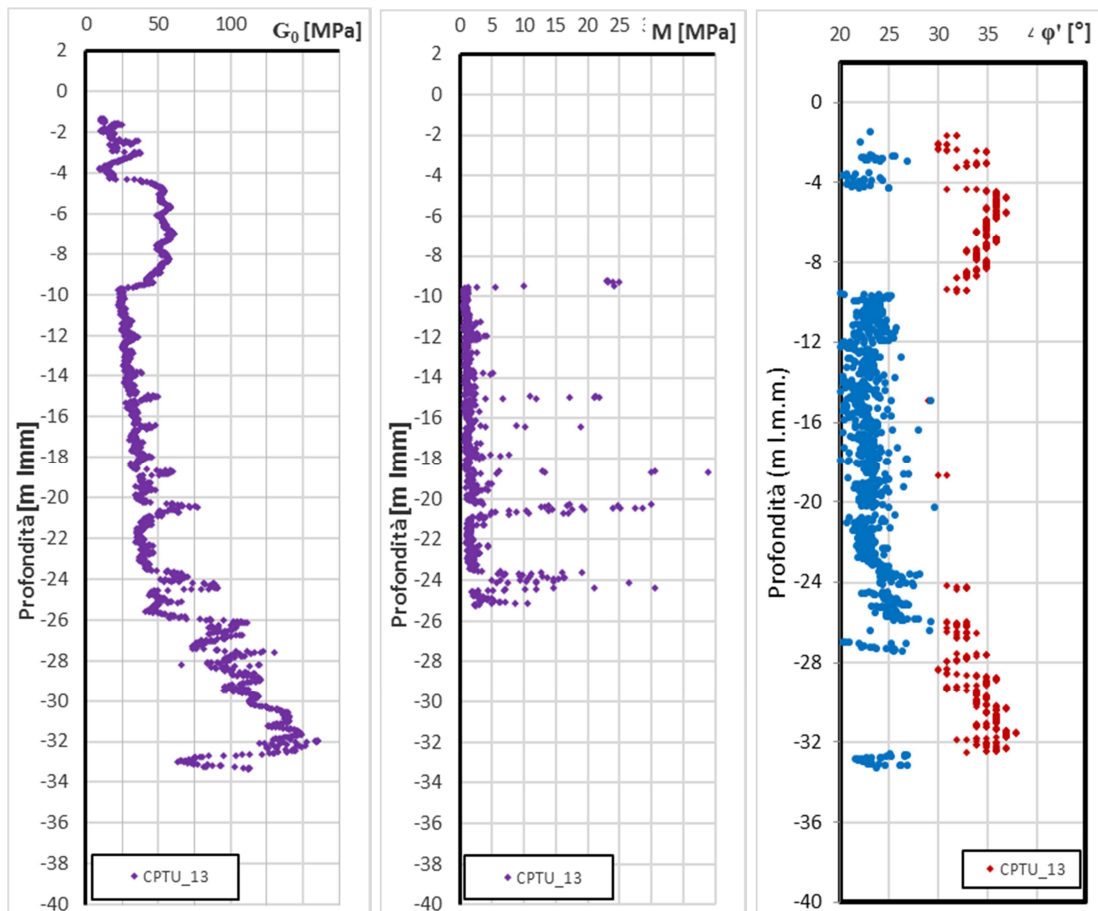


Figura 20 – Principali parametri geotecnici ottenuti dall’elaborazione della CPTu\_13

Pertanto i parametri geotecnici scelti per ogni unità geotecnica presente sono indicati in Tabella 4. Per le alluvioni profonde, considerando l’alternanza tra livelli coesivi e granulari, si sceglie una caratterizzazione da deposito prevalentemente coesivo.

**Tabella 4. Parametri geotecnici scelti per le unità geotecniche presenti**

		<b>Profondità (m da l.m.m).</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>E_{50}'</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\nu</math> (-)</b>	<b><math>c_k'</math> (kPa)</b>	<b><math>\varphi_k'</math> (°)</b>
<b>(P)</b>	Depositi di Palude	-0,0 / -4,0	17,50	3.000	0,25	-	26
<b>(S)</b>	Sabbie Dunali	-4,0 / -10,0	18,00	15.000	0,25	-	36
<b>(M)</b>	Limi Argillosi	-10,0 / -25,0	18,00	4.000	0,25	-	28
<b>(T)</b>	Sabbie profonde	-25,0 / -27,0	18,50	25.000	0,25	-	33
<b>(A)</b>	Alluvioni profonde	-27,0 / -40,0	19,00	20.000	0,25	-	28



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 32 di 110</p>
--	---	--

## 9.3 SICUREZZA DELL'OPERA

### 9.3.1 Quadro normativo

Il presente documento è redatto in conformità alle prescrizioni del Decreto Ministeriale Infrastrutture del 14 gennaio 2008 (**DM Infrastrutture 14 gennaio 2008**, nel seguito indicato come DM 2008) e della relativa circolare applicativa (**Circolare 2 febbraio 2009 n.617/C.S.LL.PP.**).

Le verifiche di sicurezza sono svolte secondo il metodo semi-probabilistico con l'applicazione dei coefficienti di sicurezza parziali. In base a tale metodo, ogni singola causa di incertezza, sulle sollecitazioni, sui materiali, sulle resistenze, sugli schemi di calcolo etc... viene pesata con un apposito coefficiente, detto appunto di sicurezza parziale, che è proporzionato all'influenza ed al grado di incertezza di norma attribuibili al parametro considerato.

I dimensionamenti delle opere tengono conto dei possibili Stati Limite Ultimi (**SLU**) e di esercizio (**SLE**) per le condizioni statiche e dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (**SLV**) e di danno (**SLD**) per le condizioni sismiche.

#### 9.3.1.1 Verifiche agli stati limite ultimi (SLU e SLV)

Per ogni stato limite ultimo è stato verificato il rispetto della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore della azione (o dell'effetto dell'azione) di progetto e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Gli effetti delle azioni di progetto possono essere calcolati applicando il coefficiente di sicurezza parziale, o direttamente sulle azioni o sull'effetto finale:

$$E_d = E(\gamma_F F_k, X_k/\gamma_M, a_d),$$

$$E_d = \gamma_E E(F_k, X_k/\gamma_M, a_d).$$

$E_d$  effetti delle azioni di progetto, azioni di progetto

$F_k$  azioni di progetto caratteristiche

$X_k$  parametri caratteristici dei materiali (parametri caratteristici dei terreni)

$a_d$  geometria di progetto

$\gamma_F$  coefficienti parziali per le azioni

$\gamma_E$  coefficienti parziali per gli effetti delle azioni

$\gamma_M$  coefficiente parziali per i materiali

Il Decreto del 2008 fornisce un solo gruppo di valori numerici, valido sia per  $\gamma_F$  che per  $\gamma_E$ .

Le azioni di progetto  $E_d$ , possono essere calcolate in modi distinti che si differenziano per come agisce il coefficiente di sicurezza parziale: sulle azioni, sull'effetto delle azioni o su entrambe.

L'entità delle azioni influenza anche i valori delle resistenze geotecniche di progetto, per le quali la fattorizzazione può avvenire, a sua volta, agendo sui parametri del terreno, sulle resistenze calcolate o su entrambe.

Le resistenze  $R_d$ , possono essere calcolate in modi distinti che si differenziano per come agisce il coefficiente di sicurezza parziale: sulle azioni, sull'effetto delle azioni o su entrambe. L'entità delle azioni influenza infatti anche i valori delle resistenze geotecniche:

$$R_d = R(\gamma_F F_k, X_k/\gamma_M, a_d)/\gamma_R$$

$R_d$  resistenza di progetto

- $F_k$  azioni di progetto caratteristiche  
 $X_k$  parametri caratteristici dei materiali (parametri caratteristici dei terreni)  
 $a_d$  geometria di progetto  
 $\gamma_F$  coefficienti parziali per le azioni  
 $\gamma_M$  coefficienti parziali per i materiali (parametri geotecnici dei terreni)  
 $\gamma_R$  coefficienti parziali per le resistenze

Il Decreto 2008 propone per alcune opere geotecniche approcci alternativi (Approccio 1 e Approccio 2), per altre un solo approccio; fornisce inoltre per ciascuna combinazione prevista i coefficienti parziali definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

**Tabella 5. Coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche (o sull'effetto delle azioni caratteristiche):  $\gamma_F$  (o  $\gamma_E$ ).**

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	A1	A2
Permanenti	Sfav.	$\chi_{G1}$	1.3	1.0
	Fav.	$\chi_{G1}$	1.0	1.0
Permanenti non strutturali	Sfav.	$\chi_{G2}$	1.5	1.3
	Fav.	$\chi_{G2}$	0	0
Variabili	Sfav.	$\chi_{Qi}$	1.5	1.3
	Fav.	$\chi_{Qi}$	0	0

**Tabella 6. Coefficienti parziali sui parametri caratteristici del terreno:  $\gamma_M$**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coeff. parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	M1	M2
Tangente della resistenza a taglio	$\varphi'$	$\gamma_{\varphi'}$	1	1.25
Coesione efficace	$c'$	$\gamma_{c'}$	1	1.25
Resistenza non drenata	$c_u$	$\gamma_{c_u}$	1	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1	1

**Tabella 7. Coefficienti parziali sulle resistenze caratteristiche degli ancoraggi**

Resistenza	Simbolo	R2
temporanei	$\gamma_{Ra,t}$	1.1
permanenti	$\gamma_{Ra,p}$	1.2

**Tabella 8. Coefficienti parziali sulle resistenze caratteristiche per opere di materiali sciolti e fronti di scavo**

Resistenza	Simbolo	R2
	$\gamma_R$	1.1

**Tabella 9. Coefficienti parziali sulle resistenze caratteristiche per pali di fondazione:  $\gamma_R$**

Resistenza	Simbolo $\gamma_R$	R1	R2	R3	R1	R2	R3
		infissi			trivellati		
Base	$\gamma_b$	1	1.45	1.15	1.0	1.7	1.35
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1	1.60	1.25	1.0	1.60	1.25

**Tabella 10. Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica degli ancoraggi in funzione del numero di verticali indagate**

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	≥5
$\xi_3$	1.8	1.75	1.70	1.65	1.60
$\xi_4$	1.8	1.70	1.65	1.60	1.55

### 9.3.1.2 Approcci e combinazioni utilizzate

Nel presente progetto si sono utilizzati:

- per la verifica delle opere di sostegno: Approccio 1. Per le strutture di sostegno flessibili l'Approccio 1 (con le due combinazioni: A1+M1+R1 e A2+M2+R1) è l'unico approccio progettuale previsto dalla norma;
- per la verifica dei pali di fondazione: Approccio 2, combinazione A1+M1+R3;
- per la verifica allo stato limite di sfilamento dei tiranti di ancoraggio: la combinazione A1+M1+R3;
- per la verifica della stabilità globale delle opere: A2+M2+R2.

Nell'ambito delle verifiche in condizioni sismiche si ricorda che le azioni vengono combinate senza amplificare i carichi permanenti ed utilizzando il coefficiente di combinazione per gli eventuali carichi variabili, come previsto al § 3.2.4 della DM 14.1.08.

### 9.3.1.3 Verifiche delle prestazioni (SLE e SLD)

E' stato verificato che il valore di progetto dell'effetto delle azioni  $E_d$  risultasse minore del valore di progetto limite dell'effetto delle azioni  $C_d$ ; in particolare sono stati valutati gli spostamenti corrispondenti agli stati limite di servizio in condizioni statiche (SLE) e sismiche (SLD) per confrontarli con le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili.

Per ciascun stato limite di esercizio in condizioni statiche e per lo stato limite di danno in condizioni sismiche 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.

Per opere portuali il livello di danno può essere stimato secondo le raccomandazioni del PIANC (Permanent International Association for Navigation Congresses), riassunte in Tabella 11. In sostanza per un palancoato ancorato i limiti di operatività (Degree I) fanno riferimento all'accumulo di deformazioni residue permanenti pari all'1,5% dell'altezza dell'opera al di sopra del fondale o, alternativamente, 30 cm. I limiti di danno, salvaguardia della vita e collasso (rispettivamente Degree II, III, IV) fanno riferimento alla risposta tenso-deformativa dei diversi elementi strutturali (limite elastico, plasticizzazioni concentrate, rotture).

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>Membro della Federazione CSO <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> </div> <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 35 di 110</p>
--	--	--

**Tabella 11. Criteri di danno per opere portuali flessibili (PIANC, 2001)**

Level of damage			Degree I	Degree II	Degree III	Degree IV
Residual displacements	Sheet pile wall	Normalized residual horizontal displacement ( $d/H$ )*	Less than 1.5%**	N/A	N/A	N/A
		Residual tilting towards the sea	Less than 3°	N/A	N/A	N/A
	Apron	Differential settlement on apron	Less than 0.03~0.1 m	N/A	N/A	N/A
		Differential settlement between apron and non-apron areas	Less than 0.3~0.7 m	N/A	N/A	N/A
		Residual tilting towards the sea	Less than 2~3°	N/A	N/A	N/A
Peak response stresses/strains	Sheet pile wall	Above mudline	Elastic	Plastic (less than the ductility factor/strain limit above mudline)	Plastic (less than the ductility factor/strain limit above mudline)	Plastic (beyond the ductility factor/strain limit above mudline)
		Below mudline	Elastic	Elastic	Plastic (less than the ductility factor/strain limit below mudline)	Plastic (beyond the ductility factor/strain limit below mudline)
	Tie-rod	Elastic	Elastic	Plastic (less than the ductility factor/strain limit for tie-rod)	Plastic (beyond the ductility factor/strain limit for tie-rod)	
	Anchor	Elastic	Elastic	Plastic (less than the ductility factor/strain limit for anchor)	Plastic (beyond the ductility factor/strain limit for anchor)	

\* $d$ : residual horizontal displacement at the top of the wall;  $H$ : height of sheet pile wall from mudline.

\*\*Alternative criterion is proposed with respect to differential horizontal displacement less than 30 cm.

### 9.3.2 Azioni sulle opere

Per le opere in progetto è necessario considerare le azioni dovute al peso proprio del terreno, ai sovraccarichi, alla gru di banchina, all'acqua, al tiro alla bitta e al sisma.

#### 9.3.2.1 Sovraccarico di banchina

Trattandosi di una banchina portuale operativa, come richiesto dalla committenza, si assume un valore caratteristico  $q$  delle azioni variabili unitarie (pressione) di:

$$q = 40 \text{ kPa}$$

#### 9.3.2.2 Tiro alla bitta

Il tiro alla bitta risulta pari a 1.000 kN, da intendersi come valore caratteristico. Le bitte sono poste ad una distanza di 25m. Pertanto, nel modello 2D il carico della bitta può essere inserito come un carico di linea di intensità pari a:

$$b = 40 \text{ kN/m}$$

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 36 di 110</p>
--	---	--

### 9.3.2.3 Gru di banchina

Il banchinamento in questione deve essere idoneo all’operatività di gru semoventi. La committenza ha indicato quale gru di riferimento già operante nel porto di Ravenna la LHM 400 della Liebherr attualmente operante presso la banchina Marcegaglia.

Si premette che le gru semoventi sono generalmente adattabili a diverse condizioni d’uso con la modifica delle dimensioni degli stabilizzatori o con l’applicazione di contrappesi, per cui la semplice indicazione del modello non è sufficiente a definire compiutamente i carichi. Per questo nel seguito, sulla base dei dati disponibili, si farà riferimento a specifiche condizioni di carico che dovranno essere opportunamente considerate dai terminalisti per la scelta dei mezzi meccanici e dei dispositivi ausiliari utilizzabili sul banchinamento.

Dalla scheda fornita dal committente (vedi Relazione Generale) si ricavano e si assumono i seguenti valori di progetto per la gru LHM 400:

- azione massima sullo stabilizzatore  $F_k = 2400$  kN
- dimensioni dello stabilizzatore: 1,80 m × 5,50 m

**Qualora condizioni operative richiedano il superamento di tale valore occorrerà prevedere opportuni accorgimenti tecnologici per permetterne l’utilizzo sulle banchine in questione (ad es. stabilizzatori di dimensioni maggiori).**

### 9.3.2.4 Azioni sismiche

La Norma Nazionale prescrive che sotto l’effetto delle azioni sismiche di progetto deve essere garantito il rispetto degli stati limite ultimi e degli stati limite di esercizio individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso. In particolare il rispetto dei vari stati limite si considera conseguito (§7.1 NTC2008):

- nei confronti di tutti gli stati limite di esercizio, qualora siano rispettate le verifiche relative allo Stato Limite di Danno (**SLD**);
- nei confronti di tutti gli stati limite ultimi, qualora siano soddisfatte le verifiche relative allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (**SLV**).

Al riguardo, la Norma non considera necessario eseguire le verifiche di sicurezza dei manufatti nei confronti dello Stato Limite di Collasso (**SLC**), riservate alle sole costruzioni provviste di isolamento sismico, come espressamente richiamato al §C7.1 della Circolare applicativa della Norma ed esplicitato nella Tabella C.7.1.I della medesima Circolare. In particolare, la Tabella C.7.1.I individua lo stato limite SLV come unico Stato Limite Ultimo da considerare per l’analisi in condizioni sismiche di muri di sostegno, paratie, ancoraggi, rilevati e scavi, fondazioni.

Pertanto, con riferimento agli stati limite pertinenti, la norma fornisce le seguenti definizioni:

**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.

**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;



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>Membro della Federazione CSQ <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> </div> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 37 di 110</p>
--	--	--

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.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di suolo A), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Per la banchina in progetto, come concordato con la Committente si considerano le seguenti prescrizioni per le strutture:

- vita nominale: 50 anni;
- classe d'uso: III (coefficiente d'uso 1,5);

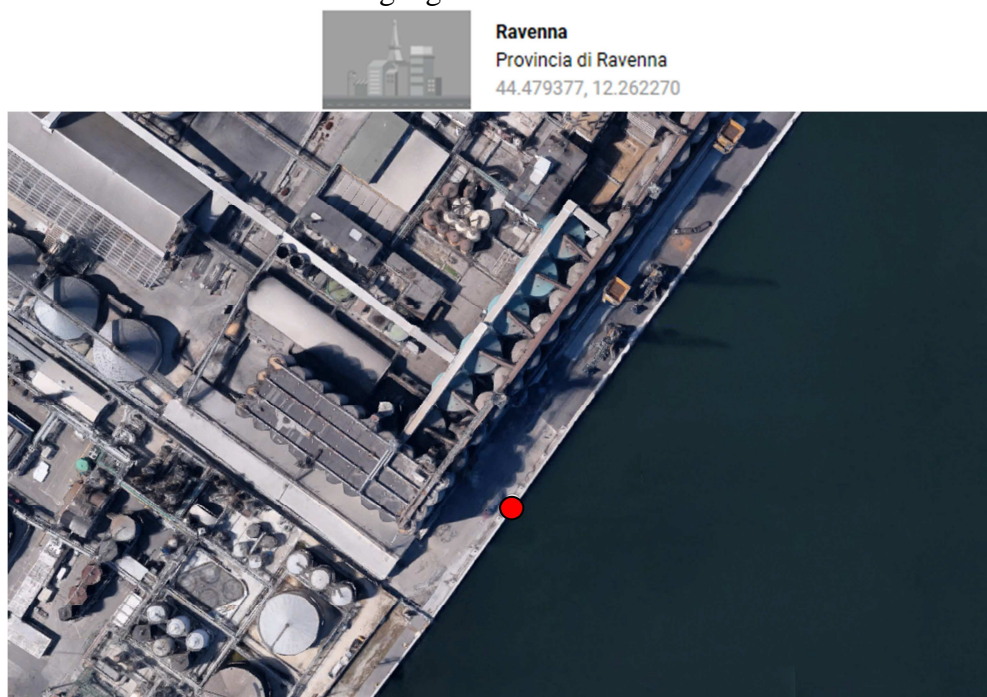
Il periodo di riferimento da considerare ( $V_R$ ) è quindi pari a 75 anni.

In base allo Stato Limite considerato l'azione sismica sarà dunque valutata (Tab.3.2.I, delle NTC2008):

- per una probabilità di superamento del 63% nel periodo di riferimento definito (75 anni) allo Stato Limite di Danno;
- per una probabilità di superamento del 10% nel periodo di riferimento definito (75 anni) allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita.

In sostanza le ipotesi fatte sul periodo di riferimento portano, in termini di strategia di progettazione, a considerare un evento sismico con un tempo di ritorno pari a  $T_R=75$  anni per lo SLD e  $T_R=712$  anni per lo SLV.

In Figura 21 sono indicate le coordinate geografiche della banchina in esame.



**Figura 21 – Coordinate geografiche della banchina in esame (da Google maps)**

Tenendo conto del periodo di riferimento e della localizzazione geografica della banchina si ottengono i seguenti valori dell'accelerazione orizzontale di riferimento su suolo rigido:

$$\text{SLD } a_g = 0,062g \qquad \text{SLV } a_g = 0,169g$$

Applicando quindi i coefficienti di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) per la categoria di sottosuolo D, e di amplificazione topografica ( $S_T$ ) si ottiene l'accelerazione massima attesa al sito ( $a_{max}$ ) di Ravenna:

	$a_g$	$F_0$	$S_s$	$S_T$	$a_{max}/g$
SLD	0,062	2,505	1,800	1,00	0,112
SLV	0,169	2,555	1,753	1,00	0,296

Quando si utilizzano metodi di analisi di tipo pseudostatico l'azione sismica viene definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo. I coefficienti sismici orizzontali e verticali devono essere pertanto valutati in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume significativo per l'opera e della capacità del sistema di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza (Figura 22).

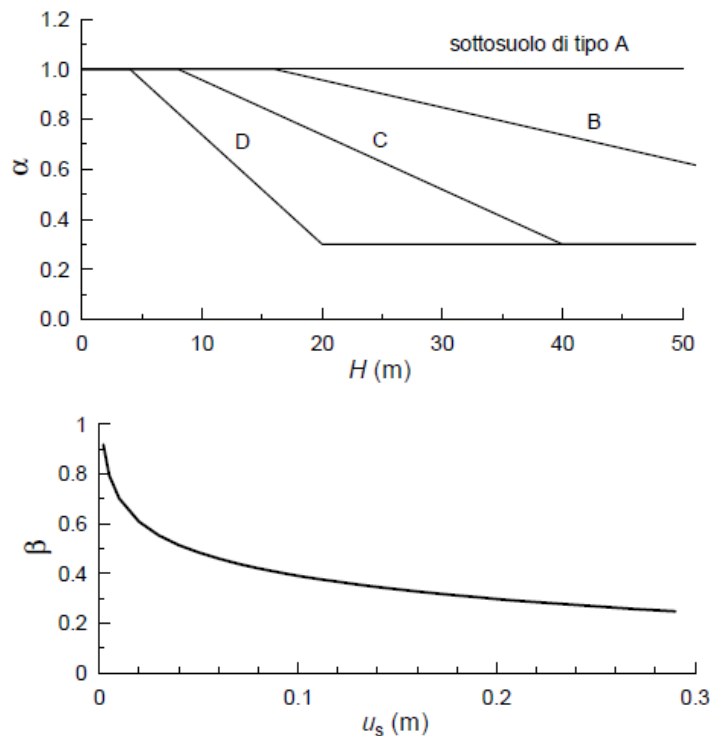


Figura 22 – Utilizzo di metodi pseudostatici per il calcolo delle paratie: valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$  (in alto) e di spostamento  $\beta$  (in basso)

Per la banchina in progetto possono essere utilizzati i seguenti valori:

- **Banchina - SLV:**  $k_h = \alpha \cdot \beta \cdot (a_{max}/g) = 0,2 \cdot 0,296 = 0,059$   
 $k_v = 0$

- **Banchina - SLD:**  $k_h = \alpha \cdot \beta \cdot (a_{max}/g) = 0,3 \cdot 1,0 \cdot 0,112 = 0,034$   
 $k_v = 0$

Tali valori sono stati scelti in base alle seguenti considerazioni:

In SLV un palancolato di altezza  $H = 24$  m su suolo di tipo D permette di assumere  $\alpha = 0,3$ ; il valore di  $\beta$  coerente con uno spostamento plastico permanente di 5 cm è pari a 0,55. Essendo il prodotto dei due coefficienti pari a  $0,165 < 0,2$ , si deve assumere 0,2. In ogni caso il valore di  $\beta$  assunto per le verifiche SLV è relativo a valori di spostamento largamente inferiori allo 0,5% H.

In SLD si valuta il comportamento dell’opera assumendo  $\beta=1$ , cioè senza ammettere spostamenti permanenti.

Per le analisi delle condizioni di stabilità generale dell’opera con metodi pseudostatici è possibile valutare il coefficiente sismico orizzontale riducendo l’accelerazione massima attesa al sito per un coefficiente di riduzione  $\beta_s$  (Tabella 12).

**Tabella 12. Coefficienti di riduzione dell’accelerazione massima attesa al sito**

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Quindi, le analisi di stabilità generale con metodi pseudostatici possono essere eseguiti con i seguenti valori dei coefficienti sismici:

- **SLV:**  $k_h = \beta_s \cdot (a_{max}/g) = 0,24 \cdot 0,296 = 0,071$   $k_v = \pm 0,5 k_h = \pm 0,036$

Il valore di  $\beta_s = 0,24$  tiene conto della categoria di sottosuolo e del campo di accelerazione attesa.

### 9.3.2.5 Azione idrodinamica (Westergaard)

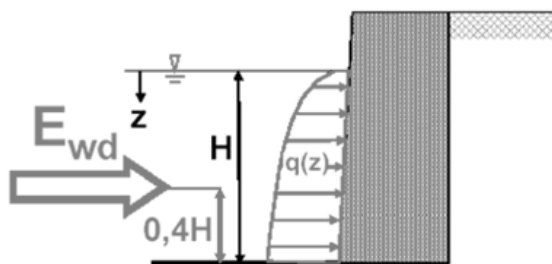
La presenza dell’acqua libera gioca un importante ruolo nel determinare il carico in condizioni sismiche sulle opere portuali. Quando il fronte della superficie di sostegno è impermeabile, la pressione totale dell’acqua che agisce sull’opera di sostegno può essere divisa in due componenti: la pressione idrostatica che cresce linearmente con la profondità e agisce sul muro prima, durante e dopo lo scuotimento sismico, e la pressione idrodinamica, che risulta dall’interazione tra la struttura e l’acqua.

Tale pressione idrodinamica è usualmente stimata con la soluzione di Westergaard (1931) come indicato in Figura 23.

Incremento dinamico  
(Westergaard, 1933)

$$q(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{H \cdot z}$$

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$



**Figura 23 - Valutazione della pressione idrodinamica indotta da azione sismica (Westergaard)**

La pressione idrodinamica agisce sia in una direzione che nell’altra, cioè si manifesta come incremento o decremento della pressione idrostatica agente sull’opera.

L'azione idrodinamica di Westergaard, applicata tra il livello medio mare e la profondità di 15,0 m da l.m.m., ha la distribuzione indicata nel grafico di Figura 24, tenendo conto delle accelerazioni sismiche definite in precedenza.

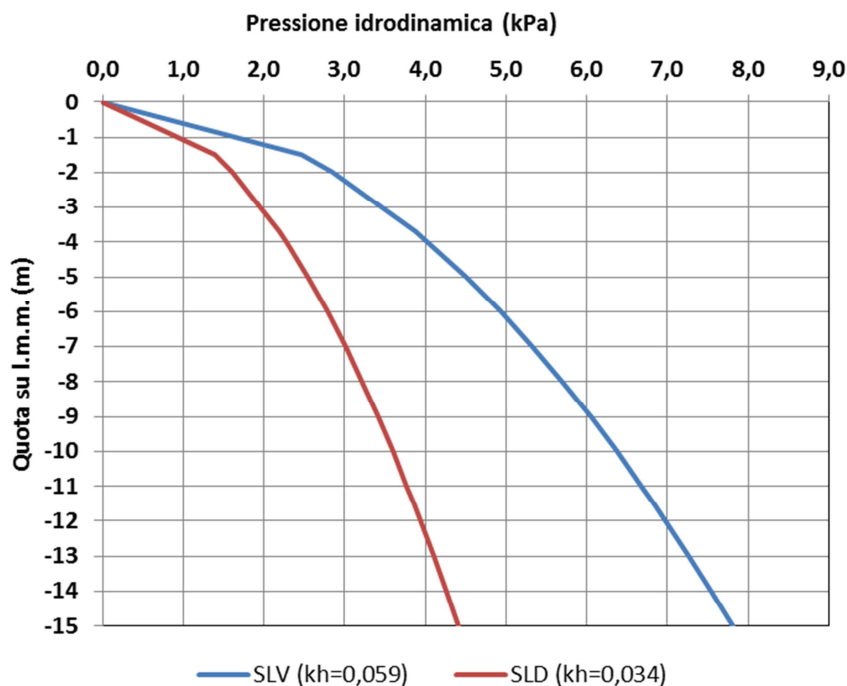


Figura 24 - Azioni idrodinamiche di Westergaard utilizzate in SLV e SLD

### 9.3.3 Azioni eccezionali: urto delle imbarcazioni

La committenza ha richiesto di tener conto dell'eventualità dell'urto di una imbarcazione di grandi dimensioni sulla banchina (100000 t di massa a pieno carico). L'Urto delle imbarcazioni, ai sensi del §3.6 delle NTC2008 va inquadrato tra le Azioni Eccezionali da combinare con le altre azioni secondo la previsione del §2.5.3 delle stesse norme tecniche. In Tabella 13 sono indicate le forze statiche equivalenti da considerare per l'urto di imbarcazioni.

Tabella 13. Forze statiche equivalenti agli urti di imbarcazioni (da NTC2008)

Classe imbarcazione	Lunghezza [m]	Massa a pieno carico [t]	Forza $F_{d,x}$ [kN]
Piccola	50	3000	30000
Media	100	10000	80000
Grande	200	40000	240000
Molto grande	300	100000	460000

Tenendo conto che nei porti le forze di collisione possono essere ridotte del 50% e che la larghezza del canale Candiano permette l'urto solo ortogonalmente alla direzione del moto dell'imbarcazione, la forza statica equivalente da considerare agente sulla banchina Alma Petroli ( $F_{Ecc.}$ ) è pari a:

$$F_{Ecc.} = 460.000 \times 0,5 \times 0,5 = 115.000 \text{ kN}$$

L'area di impatto da considerare, detta L la lunghezza dell'imbarcazione, è di 0,05L in verticale e 0,10L in orizzontale. Pertanto, con le dimensioni di una nave molto grande, l'area d'impatto risulta di 15 m in verticale e 30 m in orizzontale. La pressione uniforme su tale area di impatto è pari a 255 kPa.

### 9.3.4 Combinazione delle azioni

Le combinazioni delle azioni da utilizzare nelle verifiche agli stati limite sono definite al paragrafo 2.5.3 delle NTC2008. Le azioni variabili sono state combinate come indicato nella Tabella 14.

**Tabella 14. Coefficienti di combinazione delle azioni variabili**

	Sovraccarico		Bitta	
<b>SLU1.1</b>		1	$\psi_{01}$	1
<b>SLU1.2</b>		1	$\psi_{01}$	1
<b>SLV</b>	$\psi_{21}$	0,6	$\psi_{22}$	0
SLE (rara, sovracc.+bitta)		1	$\psi_{01}$	1
<b>SLD</b>	$\psi_{21}$	0,6	$\psi_{22}$	0
<b>ECC</b>	$\psi_{21}$	0	$\psi_{22}$	0

Si sottolinea che il tiro alla bitta viene assimilato al carico del vento. Pertanto in presenza dell'azione sismica il tiro alla bitta viene considerato nullo.

Il sovraccarico variabile di banchina, considerando la destinazione d'uso dell'opera, è stato cautelativamente equiparato alla categoria D (Ambienti ad uso commerciale). In ogni caso in combinazione rara si assume prudenzialmente un coefficiente di combinazione unitario.

Le analisi relative all'urto di una imbarcazione di grandi dimensioni, presentate separatamente in un apposito paragrafo, sono state cautelativamente eseguite ipotizzando un sovraccarico di banchina nullo.



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>Membro della Federazione CSO <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> </div> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 42 di 110</p>
--	--	--

## 9.4 ANALISI NUMERICHE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nel caso in esame, tutte le analisi in condizioni statiche (Stato Limite Ultimo e Stato Limite di Servizio) e sismiche (effettuate utilizzando il metodo pseudostatico) sono state condotte con l'impiego di software dedicati alla risoluzione di problemi di tipo geotecnico quali **Plaxis 2D**.

Il codice di calcolo **Plaxis 2D** utilizza il metodo degli elementi finiti (F.E.M.); si basa su una discretizzazione del mezzo (definizione della mesh) con l'ipotesi che gli elementi si scambiano le azioni solo attraverso i punti nodali; in tali punti nel rispetto dell'equilibrio e della congruenza, attraverso la definizione dei legami costitutivi, si ottengono delle equazioni le cui soluzioni determinano gli spostamenti nodali. Una volta noti gli spostamenti ai nodi attraverso la definizione delle cosiddette funzioni di forma si ottengono le deformazioni e quindi gli spostamenti di tutti i punti costituenti l'elemento, dai quali, passando di nuovo per i legami costitutivi, si può risalire allo stato tensionale.

Le principali proprietà del programma sono:

Automatic mesh generation: per la definizione della mesh Plaxis utilizza elementi triangolari che vengono generati in maniera completamente automatica, con la possibilità di raffittire gli stessi in corrispondenza di punti di interesse;

Interfaces: sono utilizzate per simulare l'interazione tra le strutture e il terreno; è quindi possibile definire per uno strato sottile a contatto con la struttura dei valori di attrito e adesione che non sono necessariamente gli stessi del terreno circostante;

Advanced soil model, è possibile utilizzare per il terreno modelli più avanzati rispetto a quello di Mohr-Coulomb, come l'Hardening Soil Model che è stato utilizzato per i depositi più significativi;

Staged construction: è possibile simulare processi di costruzione e di scavo per fasi successive permettendo quindi una valutazione più realistica dello stato tensionale iniziale e della sua variazione al progredire dell'intervento.

Phi-c reduction: per la valutazione delle condizioni di stabilità globale sono state condotte analisi tipo phi-c reduction. Con tale analisi vengono ridotte progressivamente le caratteristiche di resistenza del terreno ( $\tan \phi'$  e  $c'$ ) fino al completo sviluppo del meccanismo di rottura.

Il fattore di riduzione così definito:

$$SF = \frac{\text{resistenza disponibile}}{\text{resistenza a rottura}} = \frac{\tan \phi'_{input}}{\tan \phi'_{reduced}} = \frac{c'_{input}}{c'_{reduced}}$$

può essere inteso come il margine di sicurezza rispetto ad un fenomeno di instabilità globale.

Il pedice **input** si riferisce alla caratteristica di resistenza adottata per l'analisi in esame, mentre il pedice **reduced** si riferisce alla caratteristica di resistenza per la quale si sviluppa il primo cinematisma di rottura.

Se l'analisi Phi-c reduction viene lanciata a valle di una fase SLE (con parametri caratteristici) il valore di SF può essere assimilato ad un coefficiente di sicurezza globale; se viene lanciata a valle di uno SLU (con parametri ridotti), SF può essere assimilato al margine di sicurezza sulle resistenze:  $\gamma_R$ .

Secondo quanto imposto dalle NT2008 deve essere verificata la seguente disuguaglianza:

$$E_d \leq R_d$$

e quindi anche

$$E_d \leq \frac{R(\gamma_{M2})}{\gamma_{R2}}$$

dove  $E_d$  è il valore della azione (o dell'effetto dell'azione) di progetto e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, che può essere valutato come rapporto tra la resistenza calcolata con i parametri ridotti del terreno,  $R(\gamma_{M2})$  e il fattore parziale  $\gamma_{R2} = 1,1$ .

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 43 di 110</p>
--	---	--

Il software utilizzato è stato validato.

Per i terreni presenti si sono utilizzati due distinti modelli costitutivi:

- per le sabbie (S) e per i limi argillosi (M), i due strati più significativi nel determinare l'interazione terreno-struttura a Ravenna, si è utilizzato un modello elasto-plastico ad incrudimento isotropico e deviatorico (Hardening Soil Model);
- per tutti gli altri terreni si è utilizzato un modello elasto-plastico perfetto con criterio di rottura alla Mohr-Coulomb.

### 9.4.1 Il modello costitutivo Hardening Soil Model: caratteristiche principali

Al fine di modellare con migliore precisione l'interazione struttura-terreno, per i terreni più significativi della stratigrafia di Ravenna, la sabbia (S) e i limi argillosi (M), è stato utilizzato il legame costitutivo 'Hardening Soil Model' (HSM). In tale modello l'evoluzione della superficie di snervamento è legata sia a deformazioni volumetriche che di taglio. L'Hardening Soil si basa sull'ipotesi alla base del noto modello iperbolico di Duncan & Chang (1970), secondo la quale in condizioni di compressione triassiale drenata, la relazione fra sforzo deviatorico  $q$  e deformazione assiale  $\varepsilon_a$  può essere ben approssimata da un'iperbole. Il modello di Duncan però, non prevede l'esistenza di una soglia plastica ed il comportamento risulta elastico, reversibile, mentre l'Hardening Soil Model considera una soglia plastica.

Le caratteristiche principali del modello sono:

- soglia plastica basata sul criterio di rottura di Mohr Coulomb;
- dilatanza del terreno;
- incrudimento deviatorico;
- incrudimento volumetrico;
- tre moduli di rigidezza indipendenti (deviatorico, edometrico e scarico-ricarico);
- dipendenza della rigidezza dallo stato tensionale;
- possibilità di considerare la storia di carico (pre-consolidazione).

L'idea base nella formulazione dell'Hardening Soil Model è che la curva sforzo – deformazione di un campione di terreno sottoposto ad una prova triassiale consolidata drenata sia descrivibile dalla seguente equazione:

$$-\varepsilon_1 = \varepsilon_{50} \frac{q}{q_a - q} = \frac{q_a}{2E_{50}} \frac{q}{q_a - q}$$

dove  $q$  è l'invariante deviatorico ( $q = \sigma_1 - \sigma_3$ ),  $q_a$  è il valore limite asintotico della tensione deviatorica,  $E_{50}$  è il modulo elastico al 50% della tensione massima deviatorica e  $\varepsilon_{50}$  è la corrispondente deformazione principale (Figura 25).

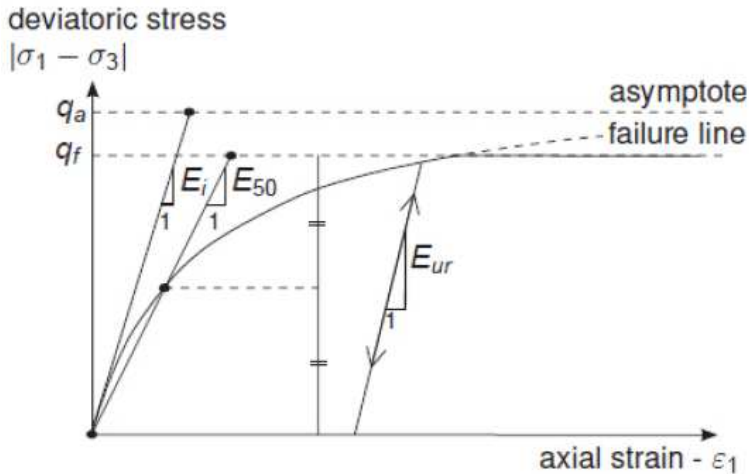


Figura 25 – Parametri principali del modello HSM relativi ad una prova triassiale consolidata drenata

La tensione deviatorica a rottura ( $q_f$ ) e la tensione limite asintotica ( $q_a$ ) sono legate dal cosiddetto “failure Ratio”  $R_f$ :

$$q_a = \frac{q_f}{R_f}$$

e, considerando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, si ha che:

$$q_f = (c \cot \varphi - \sigma'_3) \frac{2 \operatorname{sen} \varphi}{1 - \operatorname{sen} \varphi}$$

In Plaxis  $R_f = 0,9$  è assunto come parametro di default.

Per considerare il comportamento anelastico del terreno, con sviluppo di deformazioni irreversibili, l’Hardening Soil Model adotta una formulazione della rigidezza del terreno con tre valori di rigidezza in funzione del percorso di carico considerato:

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left( \frac{c \cdot \cos \varphi - \sigma'_3 \cdot \sin \varphi}{c \cdot \cos \varphi + p^{ref} \cdot \sin \varphi} \right)^m$$

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left( \frac{\sigma'_1 + c \cdot \cot \varphi}{p_{ref} + c \cdot \cot \varphi} \right)^m$$

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left( \frac{c \cdot \cos \varphi - \sigma'_3 \cdot \sin \varphi}{c \cdot \cos \varphi + p^{ref} \cdot \sin \varphi} \right)^m$$

dove  $E_{50}^{ref}$ ,  $E_{oed}^{ref}$  e  $E_{ur}^{ref}$  sono i valori che assumono le rigidezze in corrispondenza di una pressione di riferimento  $p_{ref} = 100 \text{ kPa}$ , ed  $m$  è un parametro di forma. Il modulo elastico di carico ( $E_{50}$ ) e di scarico-ricarico ( $E_{ur}$ ) sono legati alle tensioni principale minima ( $\sigma'_3$ ), mentre il modulo edometrico ( $E_{oed}$ ) è legato alla tensione principale massima ( $\sigma'_1$ ). Il coefficiente  $m$  regola l’evoluzione del modulo e, se non calibrato su prove reali, può essere assunto pari a 0,5 per le sabbie e 0,8 per le argille.

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>Membro della Federazione CSQ RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 45 di 110</p>
--	--	---

In Figura 26 sono mostrati, nel piano degli invarianti di tensione  $p'$  e  $q$ , le diverse regioni descritte dai parametri considerati.

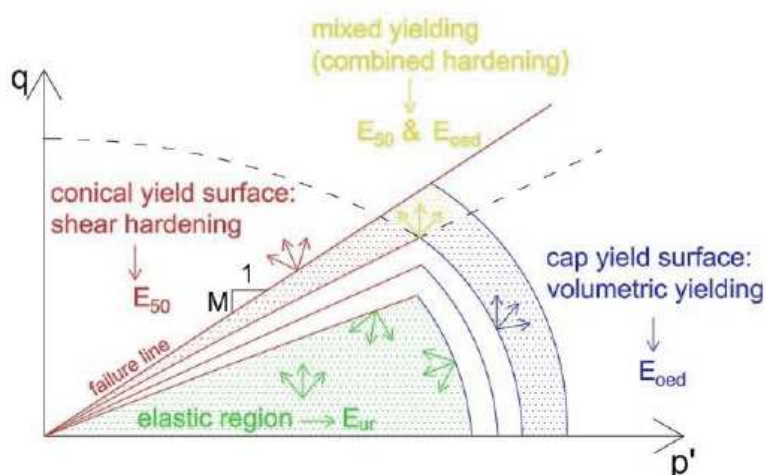


Figura 26 – Delimitazione delle regioni elastica e plastica e dei parametri associati alle superfici di snervamento che ne regolano l’evoluzione nel piano degli invarianti di tensione  $p'$  e  $q$ .

#### 9.4.2 Modello geotecnico della banchina

La soluzione tecnica scelta per la realizzazione della banchina è stata descritta in precedenza. In questo paragrafo si descrivono le caratteristiche dello schema geotecnico utilizzato per impostare il modello numerico per le analisi dell’opera.

Il sistema opera-terreno viene modellato agli elementi finiti in condizioni di deformazione piana.

Il palancolato esistente della banchina viene modellato con un elemento piastra (*plate*), di rigidità equivalente a quella dei profilati in acciaio presenti.

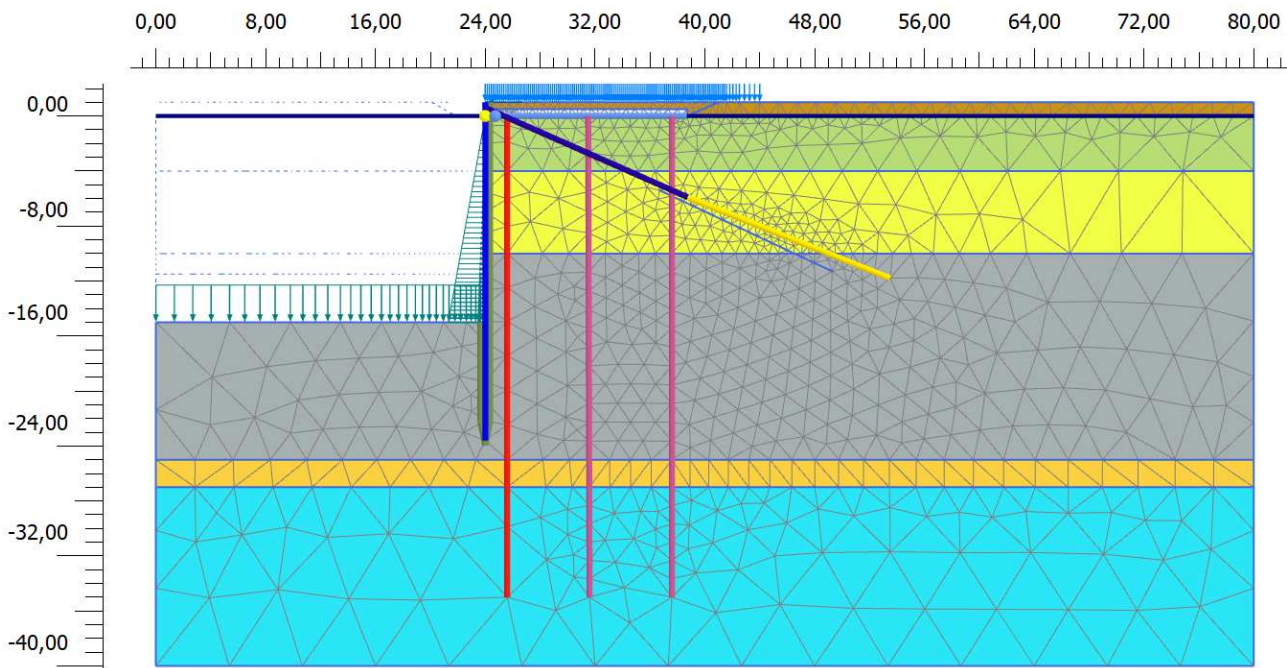
I tiranti di ancoraggio sono modellati tramite elementi elastici (*node to node anchor*) per la parte libera e con elementi geogriglia (*geogrid*) per la parte di fondazione.

La trave sommitale non viene esplicitamente modellata.

I pali a tergo della paratia sono modellati con elementi innovativi, definiti *embedded beam row*, che vengono sovrapposti alla mesh di analisi senza determinarne l’interruzione ed interagendo con la stessa solo attraverso delle molle ai nodi. La rigidità di tali molle di connessione è funzione dell’interasse tra i pali, così da lasciare la possibilità alla mesh di “attraversare” la palificata.

Il solettone in calcestruzzo armato al di sopra dei pali viene modellato con un elemento piastra (*plate*). La connessione tra il palancolato di banchina ed il solettone viene, in via cautelativa, modellato con una cerniera.

In Figura 27 è presentato lo schema utilizzato per le analisi numeriche.



**Figura 27 – Schema utilizzato per le analisi numeriche della banchina Bunge Sud**

Le caratteristiche salienti degli elementi strutturali presenti nel modello di calcolo sono:

- profondità del fondale di calcolo -15,00 m da l.m.m.;
- profondità del fondale attuale -11,50 m da l.m.m.;
- quota molo +1,00 m da l.m.m.;
- sovraccarico su molo 40 kPa;
- tiro alla bitta 40 kN/m;
- palancolato esistente tipo HZ775B/ZH9.5 spinto fino a quota -23,60 m da l.m.m.
- tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato esistenti in sommità alla paratia (6 trefoli, interasse medio 2,50 m, lunghezza totale 28 m - 14 m tratto libero, 14 m tratto vincolato -, inclinazione 25°);
- solettone sommitale in c.a, spessore di 1,0 m e larghezza pari a 14,2 m;
- 3 file di pali di appoggio del solettone in c.a., estesi fino a -35,0 m da l.m.m., interasse medio in direzione longitudinale alla banchina 3,75 m:
  - o  $\phi$ 1200 per la fila lato mare;
  - o  $\phi$ 1000 per le due file retrostanti;
- tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato nuovi sulla trave di banchina L=32,0 m (16,0 m parte libera, 16,0 m fondazione,  $i=20^\circ$ ), realizzato con iniezione jet-grouting coassiale alla fondazione ed armato con barra Dywidag  $\phi$ 47, interasse medio di 1,875 m;

Per i terreni presenti nel volume significativo dell'opera sono stati adottati i parametri geotecnici indicati nella seguente tabella:



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 47 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

		Riporto	Palude	Sabbie	Limi argillosi	Sabbie profonde	Alluvioni profonde
Param.	U.M.		(P)	(S)	(M)	(T)	(A)
Model.	[-]	MC	MC	HSM	HSM	MC	MC
Quota	[m su l.m.m.]	+1,0 / 0,0	0,0 / -4,0	-4,0 / -10,0	-10,0 / -25,0	-25,0 / -27,0	-27,0 / -40,0
$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	18,00	17,50	18,00	18,00	18,50	19,00
$E_{50}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	15.000	3.000	15.000	4.000	25.000	20.000
$E_{ed}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	-	-	15.000	4.000	-	-
$E_{ur}^{ref}$	[kN/m <sup>2</sup> ]	-	-	45.000	12.000	-	-
$m$	-	-	-	0,5	0,8	-	-
$\nu$	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
$c'$	[-]	nulla	nulla	nulla	nulla	nulla	nulla
$\varphi'$	[°]	32	26	36	28	33	28
$\frac{\phi'_k}{\gamma_{M(A2)}}$	[°]	26,6	21,3	30,2	23,0	27,5	23,0

MC: Mohr-Coulomb; HSM: Hardening Soil Model

$\gamma$ : Peso di volume

$E_{50}^{ref}$ : modulo elastico alla deformazione corrispondente al 50% del carico di rottura

$E_{ed}^{ref}$ ;  $E_{ur}^{ref}$ : modulo edometrico e scarico/ricarico in HSM

$m$ : fattore di forma per HSM

$\nu$ : modulo di Poisson

$c'$ ;  $\varphi'$ : parametri di resistenza

Gli elementi strutturali tipo piastra (*plate*) sono stati inseriti nel modello con le seguenti caratteristiche di rigidità assiale e flessionale:

#### ELEMENTI STRUTTURALI - PLATE

No.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm <sup>2</sup> /m]	$\nu$ [-]
1	Palancolato HZ775B/ZH9.5 -10/13	6.199.000	427.500	0,15
2	Solettone s=1,0m	35.000.000	2.905.000	0,20

I pali di appoggio del solettone sono stati modellati con elementi strutturali tipo *embedded beam row* con le seguenti caratteristiche meccaniche:

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p>Membro della Federazione CSO <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 48 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

## ELEMENTI STRUTTURALI – EMBEDDED BEAM ROW

No.	Identification	E [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Type	Lspacing [m]	Axial skin resistance	Interface stiffness factor
1	Palo $\phi 1000/3,75m$	35.000.000	25,0	Massive circular pile	3,75	Layer dependent	Default values
2	Palo $\phi 1200/3,75m$	35.000.000	25,0	Massive circular pile	3,75	Layer dependent	Default values

La tabella seguente mostra le caratteristiche dell'elemento ANCHOR utilizzato per la parte libera dei tiranti di ancoraggio.

## TIRANTE DI ANCORAGGIO (PARTE LIBERA) - ANCHOR

No.	Identification	EA [kN]	L spacing [m]
1	Tirante (6trefoli $i=2,5m$ )	68.900	1
2	Dywidag $\phi 47/1,875m$	189.700	1

Per la fondazione del tirante di ancoraggio si utilizza l'elemento GEOGRID. La tabella seguente mostra le proprietà elastiche dell'elemento ottenute sommando il contributo dell'armatura e della malta di iniezione.

## TIRANTE DI ANCORAGGIO (FONDAZIONE) – GEOGRID

No.	Identification	EA [kN/m]
1	Bulbo $D=30cm + 6tr/2,50$	1.057.000
2	Bulbo $D=40cm + Dywidag \phi 47/1,875$	2.534.000

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p> </div>	<div style="text-align: right;">  <p>Membro della Federazione CSO <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 49 di 110</p> </div>
--	--	---

Nell'analisi numerica si è fatto riferimento alle seguenti fasi realizzative dell'opera:

	Fase	Fase di provenienza:	Descrizione
Stato attuale della banchina	0	N/A	Generazione dello stato tensionale metodo k0
	1	0	Inserimento paratia esistente HZ775B-ZH9.5/10-13
	2	1	Ribasso terreno a valle
	3	2	Inserimento tiranti esistenti 6tr/2,50m
	4	3	Pretensione 300 kN (120 kN/m)
	5	4	Escavo fino a -11,50m da l.m.m.
Lavorazioni progetto attuale	6	5	Ribasso del terreno a tergo della paratia
	7	6	Inserimento nuovi ancoraggi (Dywidag $\varnothing 47/1,875m$ ), pali a tergo e solettone in calcestruzzo armato
	8	7	Rinterro fino a +1,00 m l.m.m. e disattivazione tirante esistente
	9	8	Escavo fino a -15,00m da l.m.m.
Verifiche di sicurezza e funzionalità della nuova configurazione della banchina	10	9	SLU11 (parametri geotecnici caratteristici, sovraccarico 1,5/1,3 q=46kPa, tiro bitta 1,5/1,3 b=46kN/m) – SOLLECITAZIONI RISULTANTI DA AMPLIFICARE per 1,3
	11	9	Sovraccarico 1,3 q=52kPa, tiro bitta 1,3 b=52kN/m
	12	11	SLU12 (parametri geotecnici ridotti, sovraccarico 1,3q=52kPa, tiro bitta 1,3 b=52kN/m)
	13	9	SLV (sisma $k_h=0,06$ , Westergaard $k_h=0,06$ , parametri geotecnici caratteristici, sovraccarico 0,6q=24kPa, bitta assente)
	14	9	SLE (parametri geotecnici caratteristici, sovraccarico q=40kPa, tiro b=40kN/m)
	15	9	SLD (sisma $k_h=0,034$ , Westergaard $k_h=0,034$ , sovraccarico 0,6 q=24kPa, bitta assente, parametri geotecnici caratteristici)

Nel seguito sono presentati i risultati ottenuti mentre in allegato sono contenuti i report relativi alle caratteristiche di sollecitazione per i vari elementi strutturali ed i grafici con i rispettivi andamenti.

### 9.4.3 Risultati delle analisi

In base alle condizioni di carico considerate, si presentano:

- le sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU) e di salvaguardia della vita (SLV);
- le sollecitazioni e gli spostamenti allo stato limite di esercizio (SLE) e allo stato limite di danno (SLD);
- la verifica di stabilità globale del complesso opera-terreno.

#### 9.4.3.1 Risultati delle analisi di sicurezza (SLU/SLV)

In Tabella 15 si presentano i risultati delle analisi in condizioni SLU/SLV.

**Tabella 15. Risultati delle analisi SLU/SLV**

		SLU11	SLU12	Pseu.statica + Westergaard
		1,3 (perman.) 1,5Q (sovrac.) 1,5Q (bitta) $\phi_k$	1,0 (perman.) 1,3Q (sovrac.) 1,3Q (bitta) $\phi_{d,rid}$	0,6Q (sovrac.) No bitta $\phi_k$
<b>PARATIA ESISTENTE HZ775B/ZH9,5 -10/13</b>	M (kNm/m)	<b>1059</b>	<b>869</b>	<b>1149</b>
	T (kN/m)	<b>252</b>	<b>244</b>	<b>363</b>
	N (kN/m)	<b>231</b>	<b>200</b>	<b>168</b>
Solettone	M (kNm/m)	<b>672</b>	<b>551</b>	<b>387</b>
Pali $\phi$ 1200 FILA1	M (kNm)	<b>1455</b>	<b>1332</b>	<b>2710</b>
	T (kN)	<b>316</b>	<b>291</b>	<b>528</b>
	N (kN)	<b>3235</b>	<b>2545</b>	<b>2817</b>
Pali $\phi$ 1000 FILA2	M (kNm)	<b>527</b>	<b>517</b>	<b>1292</b>
	T (kN)	<b>95</b>	<b>87</b>	<b>222</b>
	N (kN)	<b>2349</b>	<b>1954</b>	<b>1902</b>
Pali $\phi$ 1000 FILA3	M (kNm)	<b>509</b>	<b>433</b>	<b>1182</b>
	T (kN)	<b>45</b>	<b>83</b>	<b>203</b>
	N (kN)	<b>2361</b>	<b>1952</b>	<b>1612</b>
Tiro su nuova barra Dywidag (i=1,875m)	(kN)	<b>664</b>	<b>633</b>	<b>784</b>

Per lo stato limite all' SLV, si presentano alcuni dettagli dei risultati dell'analisi. In Figura 28 è presentato il campo di spostamenti orizzontali prodotto dalla combinazione di carico considerata. Si



osserva il campo di influenza dello scavo nonché il volume di terreno coinvolto dalle fondazioni degli ancoraggi.

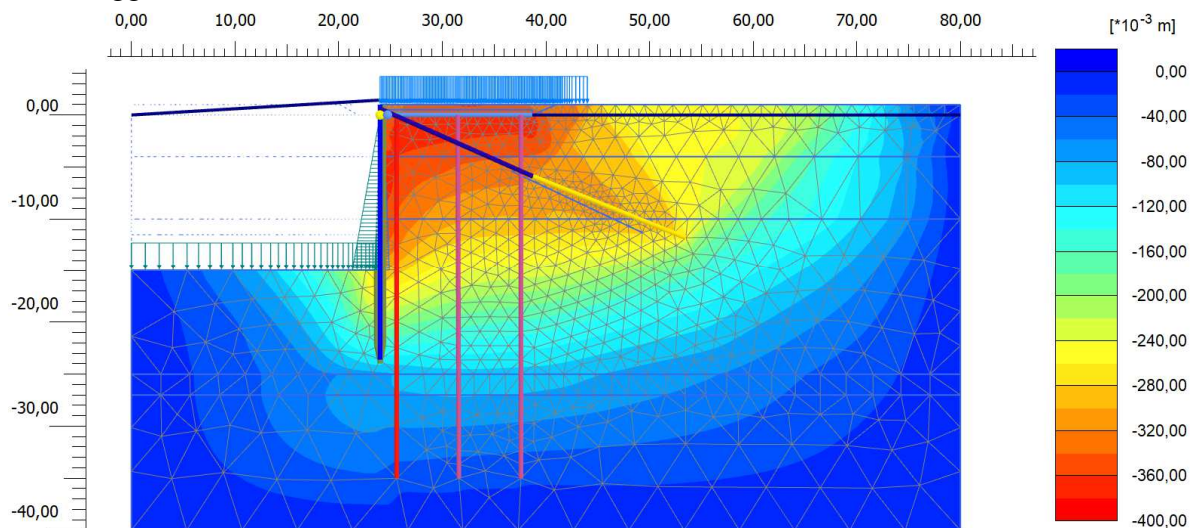


Figura 28 - Analisi SLV: campo degli spostamenti orizzontali.

In Figura 29 sono riportate le caratteristiche di sollecitazione sul palancolato metallico nelle combinazioni di carico SLU e SLV. Si osserva che il valore massimo del momento flettente si colloca all'incirca alla quota di -12 m da l.m.m., poco al di sopra del fondo scavo. Il valore massimo dell'azione tagliante viene invece raggiunto in corrispondenza del tirante di ancoraggio, alla sommità della paratia. La distribuzione dello sforzo normale è crescente in corrispondenza del cuneo attivo (il terreno trascina la paratia verso il basso), mentre diminuisce dalla quota di -18 m da l.m.m. dove prevale l'azione resistente del terreno in zona passiva.

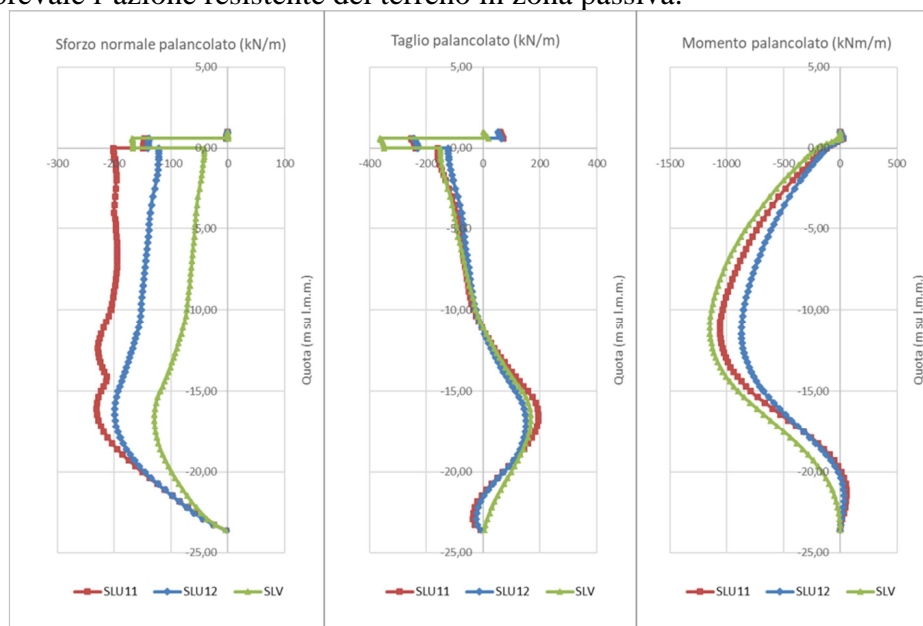


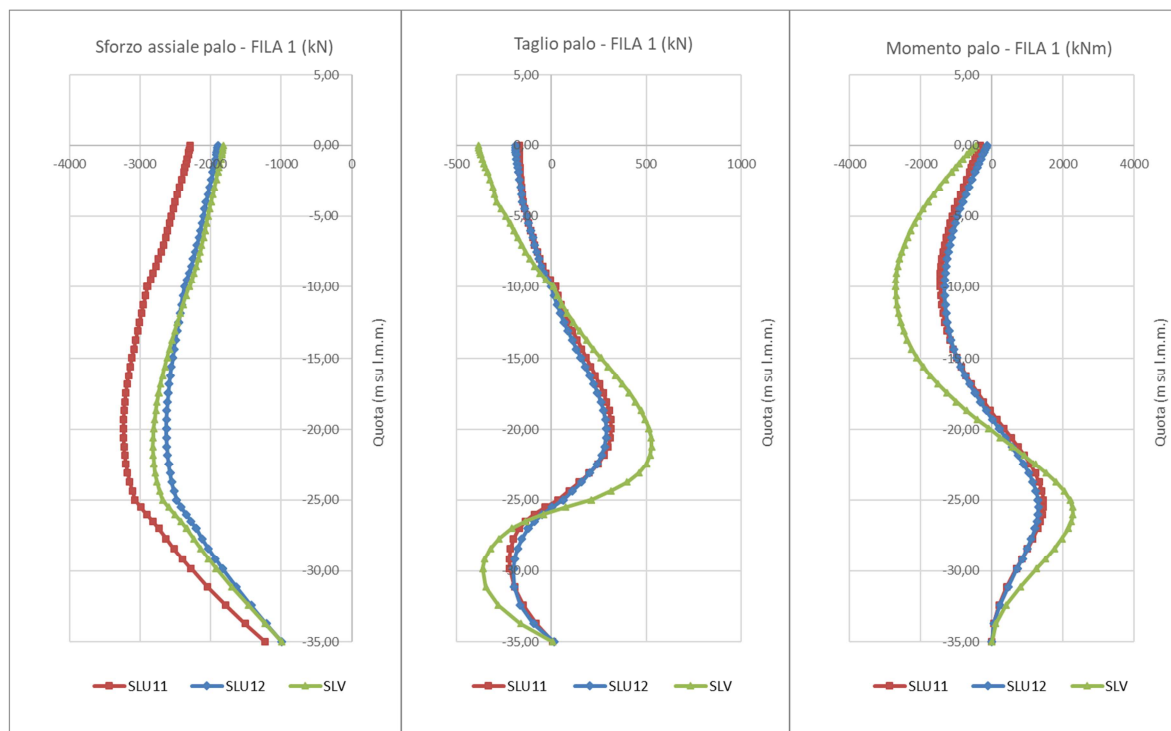
Figura 29 - Analisi SLU-SLV: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agente sul palancolato

In Figura 30 sono indicate le caratteristiche di sollecitazione allo stato limite ultimo che interessano ogni palo della FILA 1 a tergo della paratia. Si osserva come la vicinanza agli scavi determini una



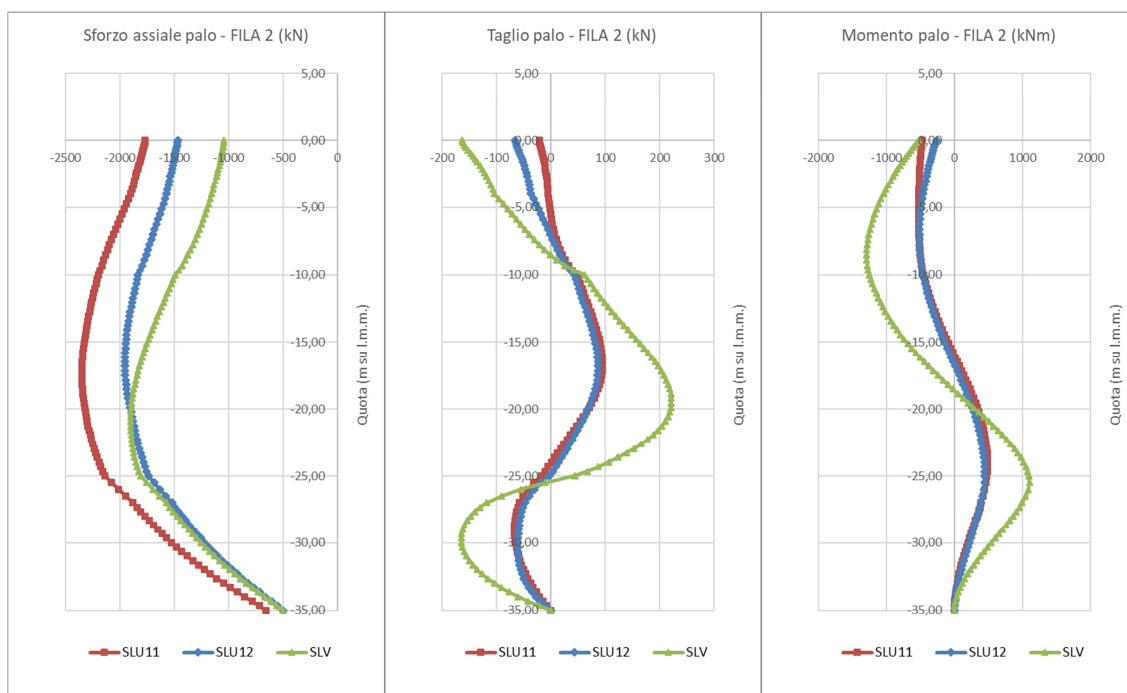


partecipazione degli elementi strutturali al sostegno del terrapieno, come si ricava dalla somiglianza del momento flettente del palo a quello della paratia.

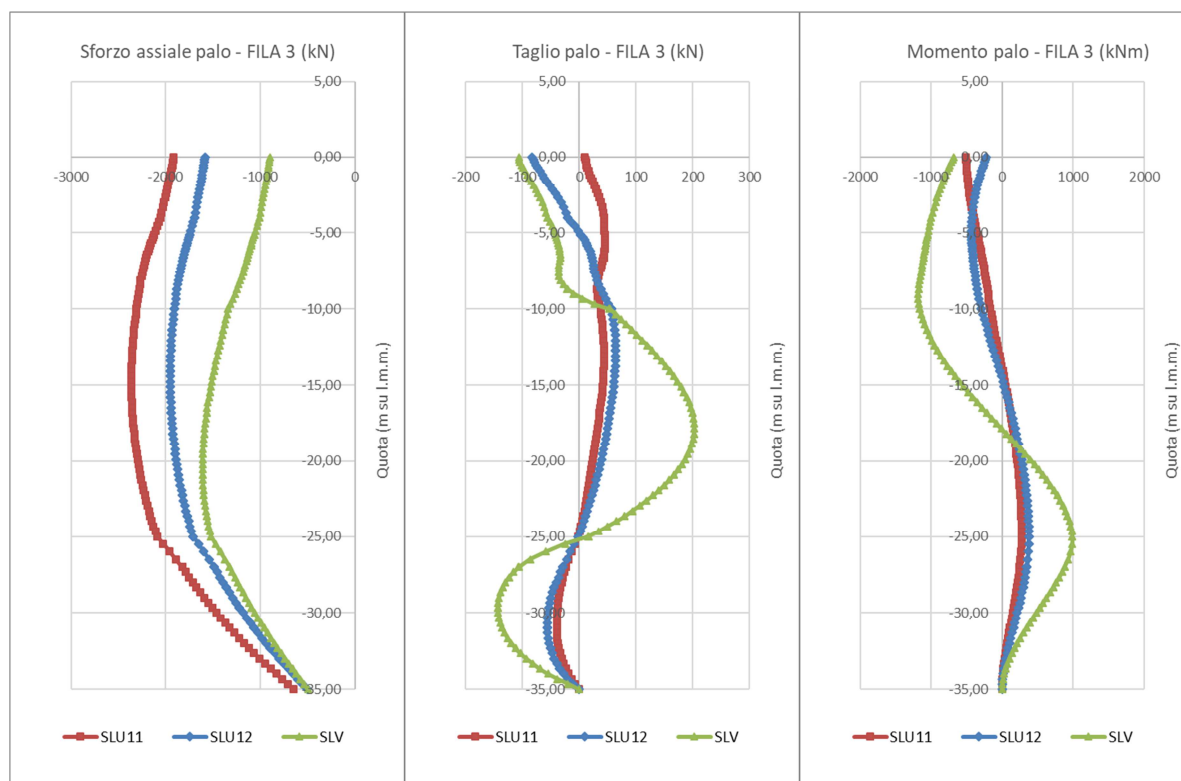


**Figura 30 - Analisi SLU-SLV: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agente sui pali di FILA1**

In Figura 31 e Figura 32 sono indicate le caratteristiche di sollecitazione allo stato limite ultimo che interessano ogni palo della FILA 2 e della FILA 3 a tergo della paratia. Si osserva come allontanandosi dalla paratia il momento flettente in condizioni statiche diminuisca, mentre si mantiene significativo il momento flettente in condizioni sismiche SLV. L'analisi numerica mostra inoltre che il carico assiale sui tre allineamenti di pali è simile. In particolare non appare più caricato il palo centrale, come si sarebbe atteso. Tale fatto è probabilmente in parte attribuibile a motivi reali (i pali di fila 1 subiscono il trascinarsi del cuneo attivo, ad esempio), in parte a motivi di modellazione numerica (i pali nella mesh 2D risultano piuttosto deformabili, cosicché il solettone sommitale tende a ripartire il carico). Per questo il carico di progetto sui pali verrà valutato anche con un modello strutturale del solo solettone.



**Figura 31 - Analisi SLU-SLV: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agente sui pali di FILA2**



**Figura 32 - Analisi SLU-SLV: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agente sui pali di FILA3**

In Figura 33 è presentato il diagramma del momento flettente (per metro di sviluppo) agente sul solettone sommitale che deriva dal modello 2D di analisi.

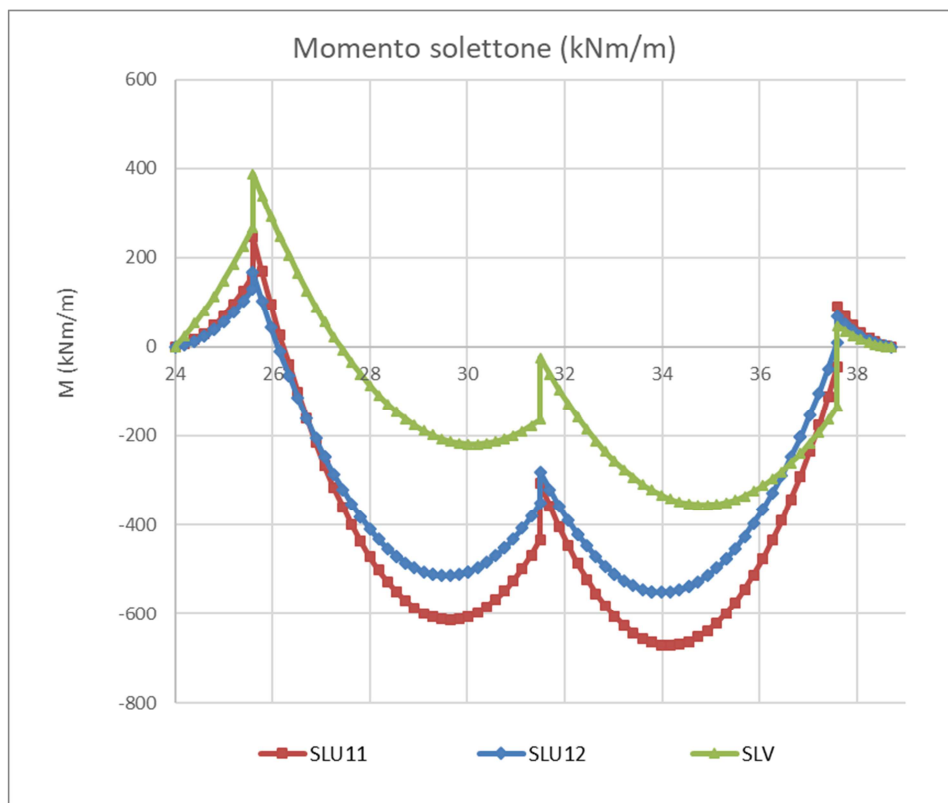


Figura 33 - Analisi SLU-SLV: diagramma

#### 9.4.3.2 Risultati delle analisi di funzionalità (SLE/SLD)

In Tabella 16 si forniscono i risultati delle analisi di funzionalità.

**Tabella 16. Risultati delle analisi SLE/SLD**

		1,0 (perman.) 1,0Q (sovrac.) 1,0Q (bitta) $\phi_k$	Pseu.statica + Westergaard
<b>PARATIA ESISTENTE HZ775B/ZH9,5 -10/13</b>	M (kNm/m)	<b>807</b>	<b>966</b>
	T (kN/m)	<b>185</b>	<b>264</b>
	N (kN/m)	<b>175</b>	<b>143</b>
Solettone	M (kNm/m)	<b>492</b>	<b>413</b>
Pali $\phi$ 1200 FILA1	M (kNm)	<b>1079</b>	<b>1767</b>
	T (kN)	<b>235</b>	<b>352</b>
	N (kN)	<b>2340</b>	<b>2407</b>
Pali $\phi$ 1000 FILA2	M (kNm)	<b>382</b>	<b>746</b>
	T (kN)	<b>69</b>	<b>122</b>
	N (kN)	<b>1701</b>	<b>1619</b>
Pali $\phi$ 1000 FILA3	M (kNm)	<b>412</b>	<b>570</b>
	T (kN)	<b>41</b>	<b>87</b>
	N (kN)	<b>1691</b>	<b>1463</b>
Tiro su nuova barra Dywidag (i=1,875m)	(kN)	<b>480</b>	<b>570</b>
Spostam. paratia lato mare (cm)	+1,0m	<b>7,6</b>	<b>17</b>
	MAX	<b>15,3</b>	<b>24,6</b>
	-23,6	<b>2,6</b>	<b>2,3</b>

Lo spostamento del palancolato indicato in tabella è quello complessivo, maturato dall'inizio della costruzione dell'opera.



Nella Figura 34 e Figura 35 sono mostrati gli spostamenti orizzontali del sistema nelle condizioni di esercizio SLE e SLD. Si osserva che lo spostamento massimo è concentrato in pancia alla paratia.

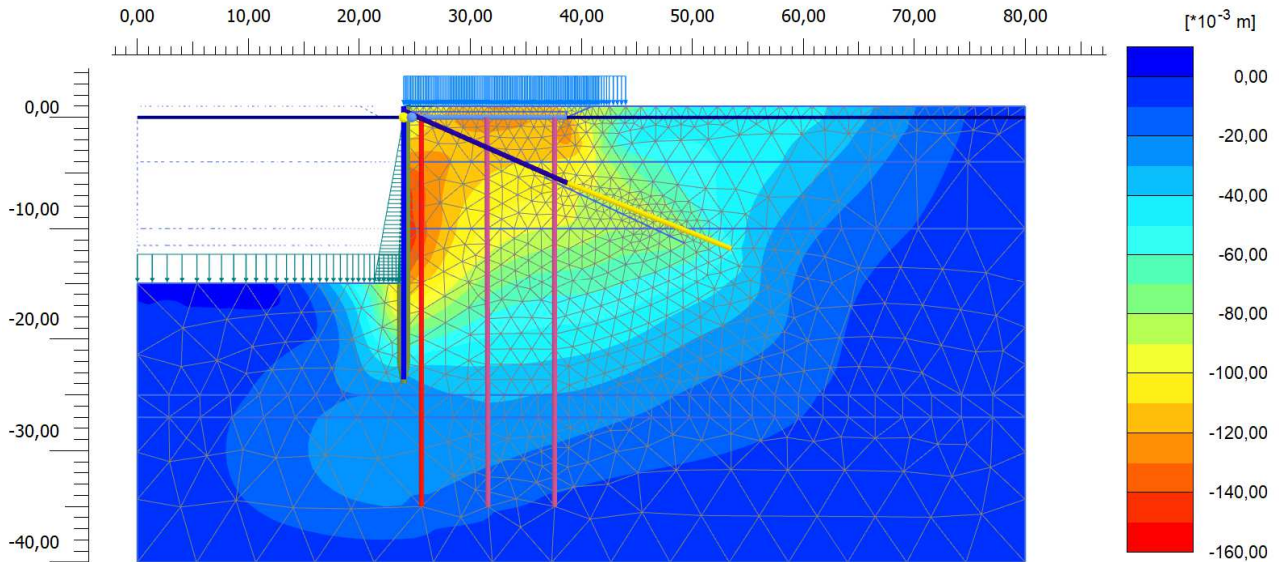


Figura 34 - Analisi SLE - RARA: campo degli spostamenti orizzontali.

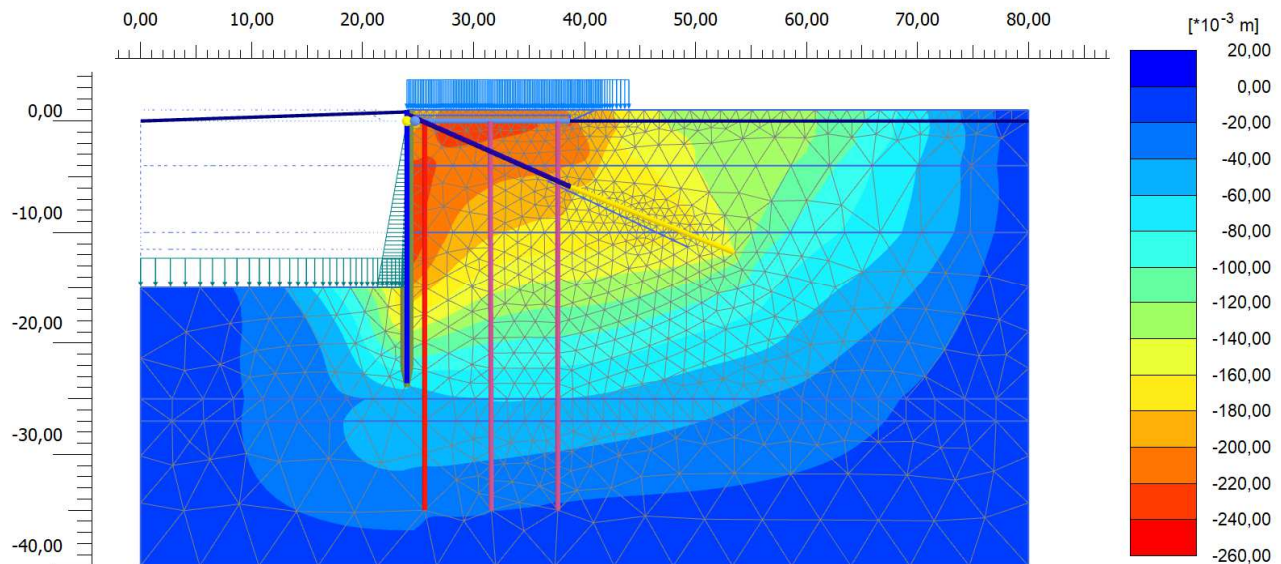


Figura 35 - Analisi SLD: campo degli spostamenti orizzontali.

In Figura 36 sono riportati i diagrammi dello sforzo normale, del taglio e del momento flettente agenti sul palancolato agli stati limite di esercizio considerati (SLE-SLD)



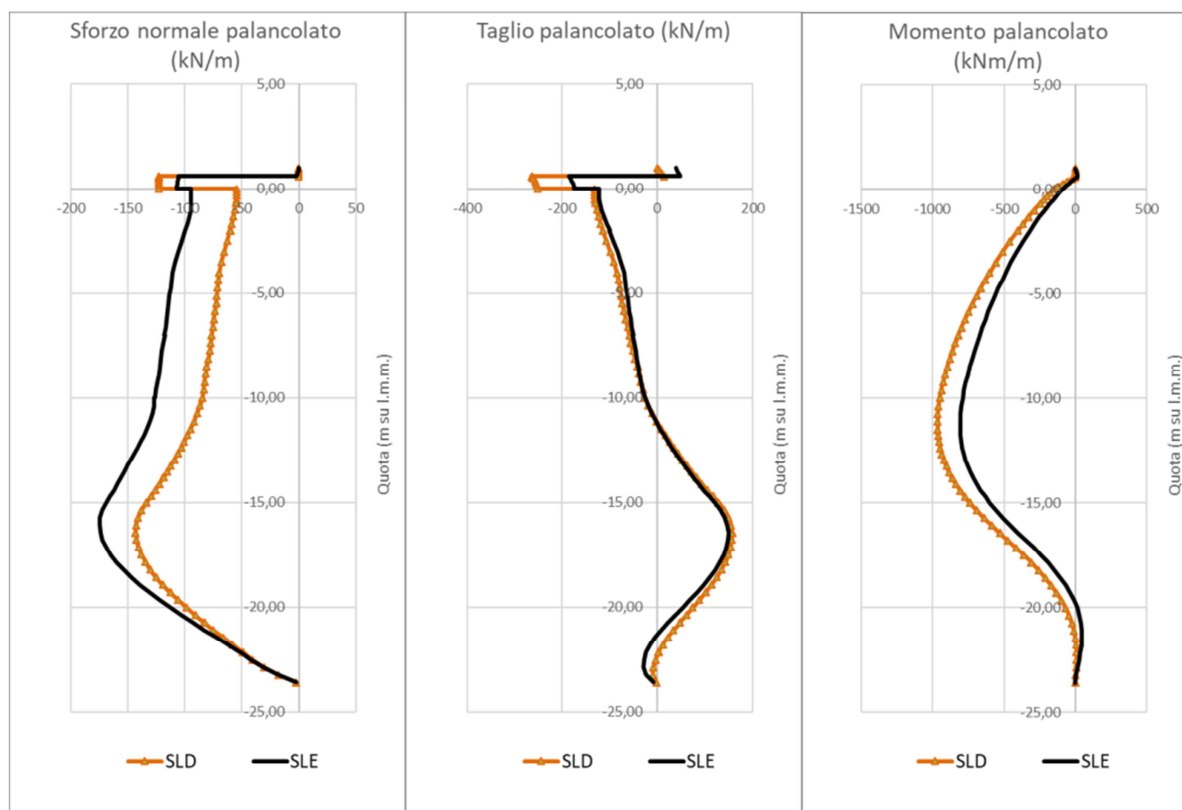


Figura 36 - Analisi SLE-SLD: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agente sul palancoato

In Figura 37 sono mostrati gli spostamenti complessivi maturati dal palancoato metallico agli stati limite di servizio analizzati.

Si osserva uno spostamento massimo di circa 16 cm in pancia del palancoato in condizione SLE-rara. Tale valore tiene conto di uno spostamento complessivo della paratia nel modello numerico di circa 3 cm. Ciò significa un'inflexione massima della paratia di 13 cm, valore che appare compatibile con la funzionalità di un'opera portuale di grandi dimensioni.

Allo Stato Limite di Danno si osserva una traslazione significativa dell'intera opera, fenomeno legato all'applicazione di un'accelerazione di tipo pseudostatico all'intero modello numerico. In termini di inflessione del palancoato metallico si hanno circa 22 cm, con una componente di spostamento in sommità coerente con l'aumento di tiro osservato sugli ancoraggi sommitali.

Uno spostamento calcolato di 22 cm in condizioni sismiche SLD rientra ampiamente nel campo degli spostamenti previsti per le opere portuali dalle raccomandazioni PIANC anche per l'operatività dell'infrastruttura (livello di danno 1).

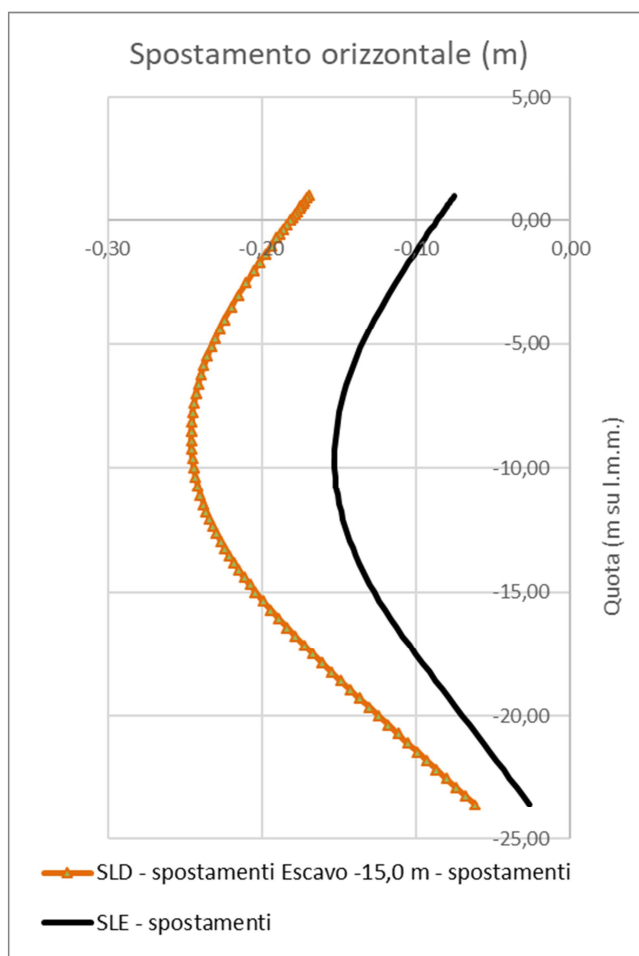


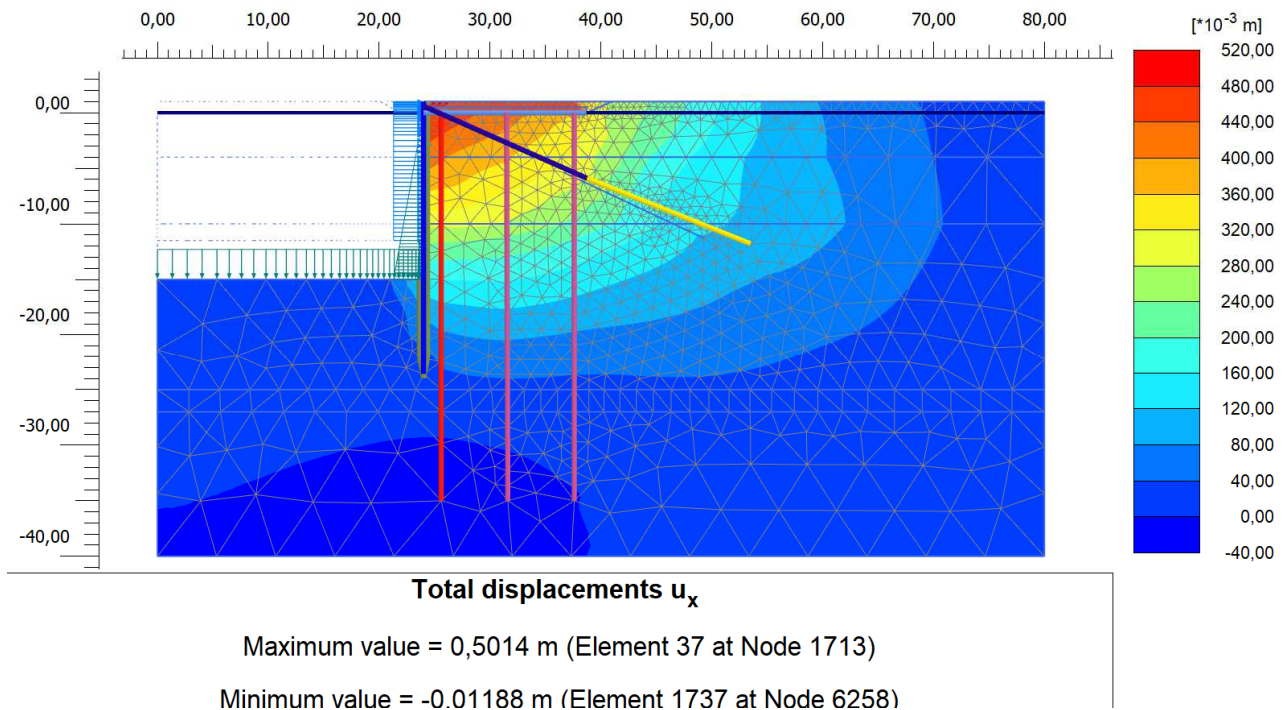
Figura 37 - Confronto delle deformate della palancola nelle diverse analisi di stato limite di esercizio

### 9.4.3.3 Analisi per azioni eccezionali: urto

Le azioni eccezionali sono quelle che si presentano in occasione di eventi quali incendi, esplosioni ed urti. Primo obiettivo della verifica delle opere riguardo questa classe di azioni è di controllare che la struttura non risulti danneggiata in misura sproporzionata rispetto alla causa.

Per l’urto di una nave di grandi dimensioni, come definito in precedenza, si ha una pressione pseudostatica di 225 kPa che agisce su un’altezza di 15 m, tra +1,00 e -12,50 m da l.m.m.

In Figura 38 è visualizzato il campo di spostamenti orizzontali indotto dalla pressione di impatto così definita sul banchinamento. Si rileva uno spostamento massimo di 50 cm. Tale spostamento è correlabile ad un livello di danneggiamento certamente accettabile per la struttura.



**Figura 38 – Spostamenti orizzontali causati dalla pressione di impatto di una nave di grandi dimensioni)**

#### 9.4.3.4 Analisi di stabilità globale

Le analisi di stabilità generale del sistema geotecnico sono state effettuate con il codice FEM Plaxis con la tecnica della riduzione dei parametri (c-φ reduction method). La verifica in condizioni statiche viene eseguita con i coefficienti A2 sui sovraccarichi ed M2 sui terreni. Secondo la Norma la verifica è soddisfatta quando il rapporto tra la resistenza calcolata con i parametri geotecnici di progetto (R), cioè ridotti dai previsti coefficienti parziali, e gli effetti delle azioni di progetto (E), risulta maggiore del valore prescritto per il coefficiente parziale sulle resistenze calcolate  $\gamma_R = 1,1$ . La Figura 39 mostra il quadro degli spostamenti orizzontali e dei punti di plasticizzazione dell'analisi in condizione statica mentre in Figura 40 quelle in condizioni sismiche con  $k_h = 0,071$   $k_v = -0,036$ .

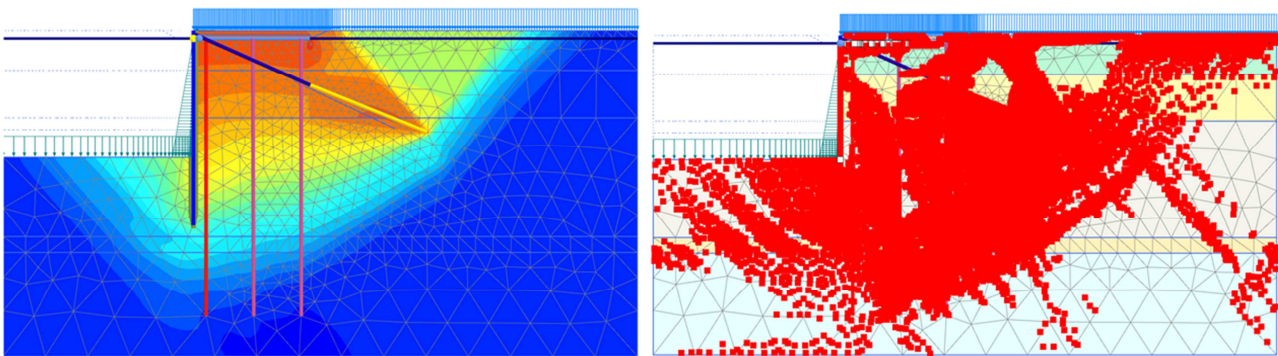


Figura 39 - Analisi di stabilità globale: condizioni statiche SLU

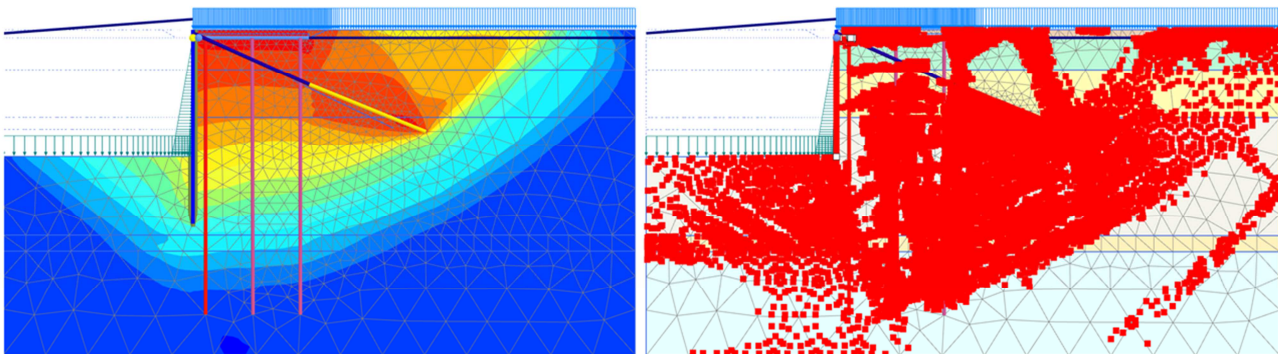


Figura 40 - Analisi di stabilità globale: condizioni sismiche SLV

Come si può osservare in Tabella 17 le condizioni di sicurezza rispetto alla stabilità globale nelle condizioni SLU e SLV sono garantite con i margini prescritti dalla Norma Nazionale.

Tabella 17. Risultati delle analisi di stabilità globale della banchina in SLU

Opera analizzata	$R(\gamma_{M2}) / E_d$	
	Condizioni statiche	Condizioni sismiche
Banchina Trattaroli Sud	1,53	1,19

#### 9.4.4 Verifica dei pali del solettone ai carichi verticali

La stabilità ai carichi verticali viene verificata per i pali di fondazione di fondazione del solettone a tergo della palanca. Si distinguono tre allineamenti di pali di fondazione (Figura 42):

- FILA 1: allineamento lato mare, a tergo della paratia metallica,  $\varnothing 1200$ , interasse 3,75 m, estesi fino a -35 m da l.m.m.;
- FILA 2: allineamento intermedio, a 8,00 m da asse palanca,  $\varnothing 1000$ , interasse 3,75 m, estesi fino a -35 m da l.m.m.;
- FILA 3: allineamento lato terra, a 14,00 m da asse palanca,  $\varnothing 1000$ , interasse 3,75 m, estesi fino a -35 m da l.m.m..

Nei successivi paragrafi si mostreranno le verifiche relative ai tre allineamenti considerati.

I carichi agenti derivano da un modello geotecnico agli elementi finiti e da un modello strutturale dell'impalcato appoggiato su vincoli elastici. Il carico di progetto è stato determinato dall'azione più gravosa derivante dai due modelli considerati. In Tabella 18 sono riportate le azioni assiali massime del modello geotecnico, comprensive del peso proprio del palo, e le reazioni vincolari massime agli appoggi del modello strutturale (a cui sommare il peso del palo, pari a 622 kN per il palo  $\varnothing 1200$  e 432 kN per il palo  $\varnothing 1000$ ).

**Tabella 18. Valore delle azioni assiali sui pali**

	Modello geotecnico			Modello Strutturale	
	SLU11 [kN]	SLU12 [kN]	SLV [kN]	SLE [kN]	SLU-STR/SLU11 [kN]
FILA 1 – palo lato mare (palo $\varnothing 1200/3,75$ m)	3.235	2.545	2.817	1.357	1.925
FILA 2 – palo intermedio (palo $\varnothing 1000/3,75$ m)	2.349	1.954	1.902	1.756	2.481
FILA 3 – palo lato terra (palo $\varnothing 1000/3,75$ m)	2.361	1.952	1.612	1.989	2.877

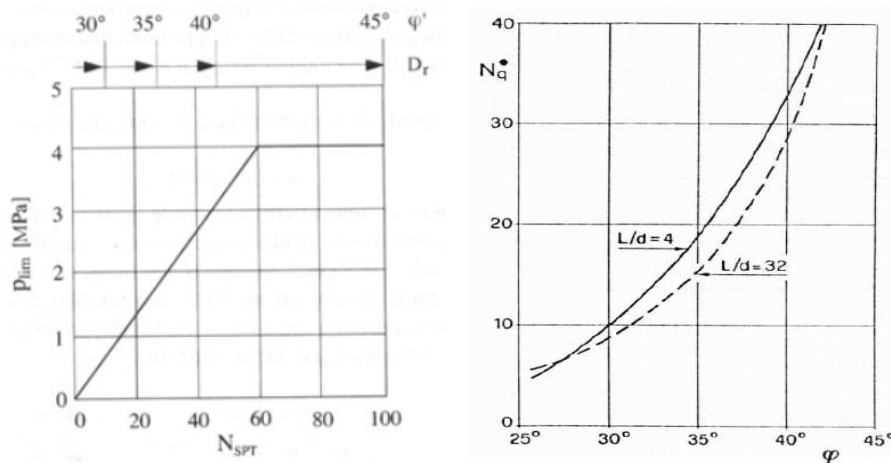
La resistenza di un palo di fondazione si compone di due aliquote: la resistenza alla punta e la resistenza laterale. Una serie ormai molto ampia di osservazioni presenti in letteratura su pali in vera grandezza di grande diametro mostra che la resistenza laterale di un palo raggiunge il suo valore limite in corrispondenza di cedimenti relativamente ridotti, dell'ordine di 1 cm, mentre la resistenza alla punta, al contrario, si mobilita per spostamenti più ampi, proporzionali al diametro del palo e dell'ordine del 25% per i pali trivellati. La progettazione di pali di grande diametro richiede quindi, in buona sostanza, un approccio prestazionale.

Questo criterio progettuale viene tradizionalmente tradotto nella limitazione della resistenza alla punta attraverso l'uso di valori di soglia limite per la stima della resistenza unitaria alla punta del palo (Wright e Reese, 1979, Figura 41, a sx) o nell'uso di un fattore di stabilità  $Nq^*$  ridotto corrispondente all'insorgenza delle prime deformazioni plastiche alla punta che si manifestano per cedimenti del 6-10% del diametro del palo (Berezantzev 1965, Figura 41, a dx).

Pertanto nei terreni granulari la resistenza unitaria alla punta viene valutata come:

$$q_p = Nq^* \sigma'_v$$





**Figura 41 – Pali di grande diametro: a sx) valori limite mobilitati per un cedimento del 5% del palo; a dx) valori del coefficiente di stabilità  $N_q^*$  ridotto secondo Berezantzev, 1965**

Quando i terreni sono decisamente argillosi la resistenza alla punta viene invece usualmente calcolata con un modello di resistenza in tensioni totali. Seguendo tale metodo, la portata unitaria ( $q_p$ ) può essere determinata con:

$$q_p = 9 C_u + \sigma_v$$

dove  $C_u$  è la coesione non drenata e  $\sigma_v$  la tensione verticale totale agente alla profondità della punta del palo.

Dunque la portata complessiva alla punta vale:

$$Q_p = A_p q_p,$$

dove con  $A_p$  si è indicata l'area della sezione del palo.

La portata laterale viene calcolata sempre in condizioni drenate (metodo beta), considerando il modesto spessore di terreno coinvolto per mobilitare l'attrito sul fusto del palo. Nel metodo beta la resistenza laterale unitaria ( $q_s$ ) risulta pari a:

$$q_s = k \mu \sigma'_{vz}$$

dove  $\sigma'_{vz}$  è la tensione verticale efficace agente alla profondità di calcolo della relativa portata laterale e  $k$  e  $\mu$  sono due coefficienti dipendenti dal tipo di palo e di terreno (Tabella 19).

**Tabella 19. Valori dei coefficienti  $k$  e  $\mu$**

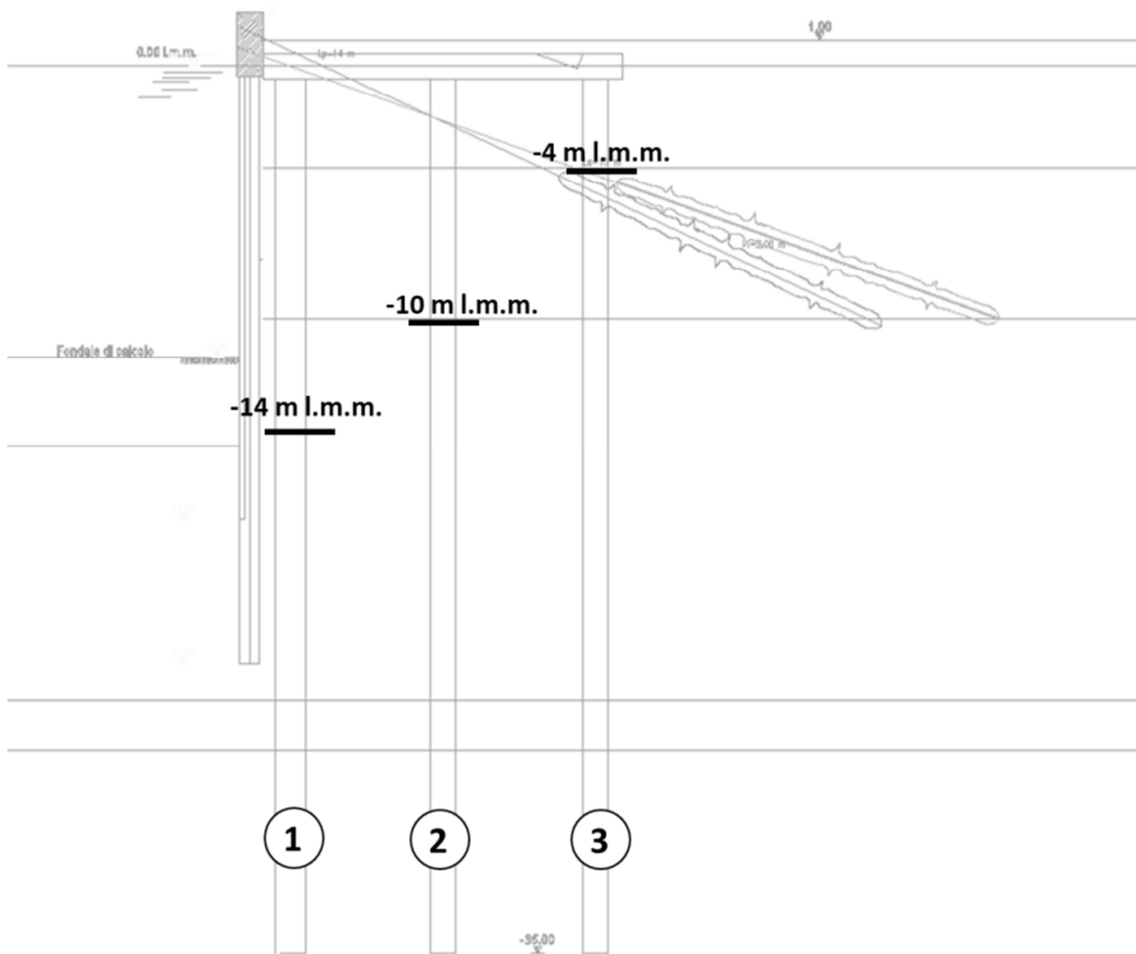
Tipo di palo	Valori di $k$ per stato di addensamento		Valori di $\mu$
	sciolto	denso	
Battuto: Profilato d'acciaio	0,7	1,0	$\text{tg}20^\circ = 0,36$
Tubo d'acciaio chiuso	1,0	2,0	
Calcestruzzo prefabbricato	1,0	2,0	$\text{tg}(3\phi/4)$
Calcestruzzo gettato in opera	1,0	3,0	
Trivellato	0,5	0,4	$\text{tg}\phi$
Trivellato-pressato con elica continua	0,7	0,9	$\text{tg}\phi$

La portata laterale complessiva si ottiene quindi integrando la portata unitaria sulla superficie laterale del palo:

$$Q_s = \int_0^L \pi \cdot D \cdot q_s(z) \cdot dz$$

Determinata quindi la portata complessiva del palo alla punta ( $Q_p$ ) e laterale ( $Q_s$ ), si possono determinare i valori caratteristici delle resistenze alla punta ( $R_{bk}$ ) e laterale ( $R_{sk}$ ) dividendo le portate prima determinate per il coefficiente di correlazione  $\xi$ , e i valori di progetto, alla punta ( $R_{bd}$ ) e laterale ( $R_{sd}$ ), dividendo quelli caratteristici per il rispettivo coefficiente di sicurezza  $\gamma$ .  
Le tabelle presentate nei seguenti paragrafi applicano il procedimento fin qui esposto.

Nel caso specifico la vicinanza dello scavo fa ritenere prudente non considerare l'intera resistenza laterale del palo, trascurando le risorse resistenti nella porzione sommitale, come indicato in Figura 42



**Figura 42 – Sezione tipologica con l'indicazione degli allineamenti dei pali del solettone e indicazione della profondità dalla quale si è considerata efficace la resistenza laterale dei pali**

Per le alluvioni profonde è stato assunto un valore caratteristico di coesione non drenata,  $c_u$ , pari 100 kPa per il calcolo della resistenza alla punta.



#### 9.4.4.1 Verifica dei pali della FILA 1

In Figura 43 sono indicate la portata laterale unitaria, la portata alla punta unitaria e le conseguenti portate limite per il palo di FILA 1. In Tabella 20 indicato il calcolo analitico svolto.

Si rileva che assumendo un coefficiente di correlazione  $\xi_3 = 1,4$  il palo  $\varnothing 1200$  esteso fino a -35 m da l.m.m., ha una portata utile di progetto pari a 3.809 kN. Pertanto:

$$Ed = 3.235 \text{ kN} < 3.809 \text{ kN} = Rd$$

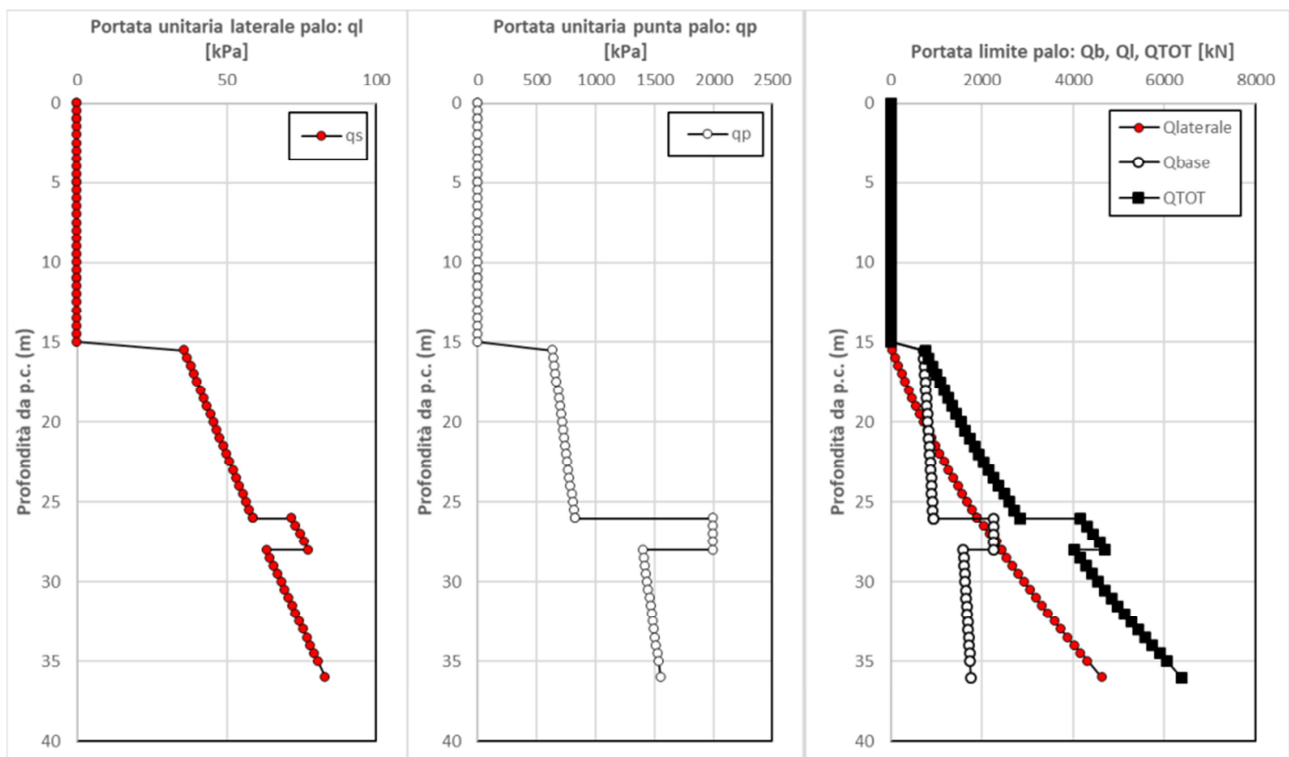


Figura 43 – Palo FILA 1: portata laterale ed alla punta unitaria e portata limite.





#### 9.4.4.2 Verifica dei pali della FILA 2

In Figura 44 sono indicate la portata laterale unitaria, la portata alla punta unitaria e le conseguenti portate limite per il palo di FILA 2. In Tabella 21 è indicato il calcolo analitico svolto.

Si rileva che assumendo un coefficiente di correlazione  $\xi_3 = 1,4$  il palo  $\varnothing 1000$  esteso fino a -35 m da l.m.m., ha una portata utile di progetto pari a 3.286 kN.

L'azione massima di progetto deriva dalla combinazione strutturale ed è pari a:

$$Ed = 2.481 + 432 \times 1,3 = 3.043 \text{ kN}$$

Pertanto:

$$Ed = 3.043 \text{ kN} < 3.286 \text{ kN} = Rd$$

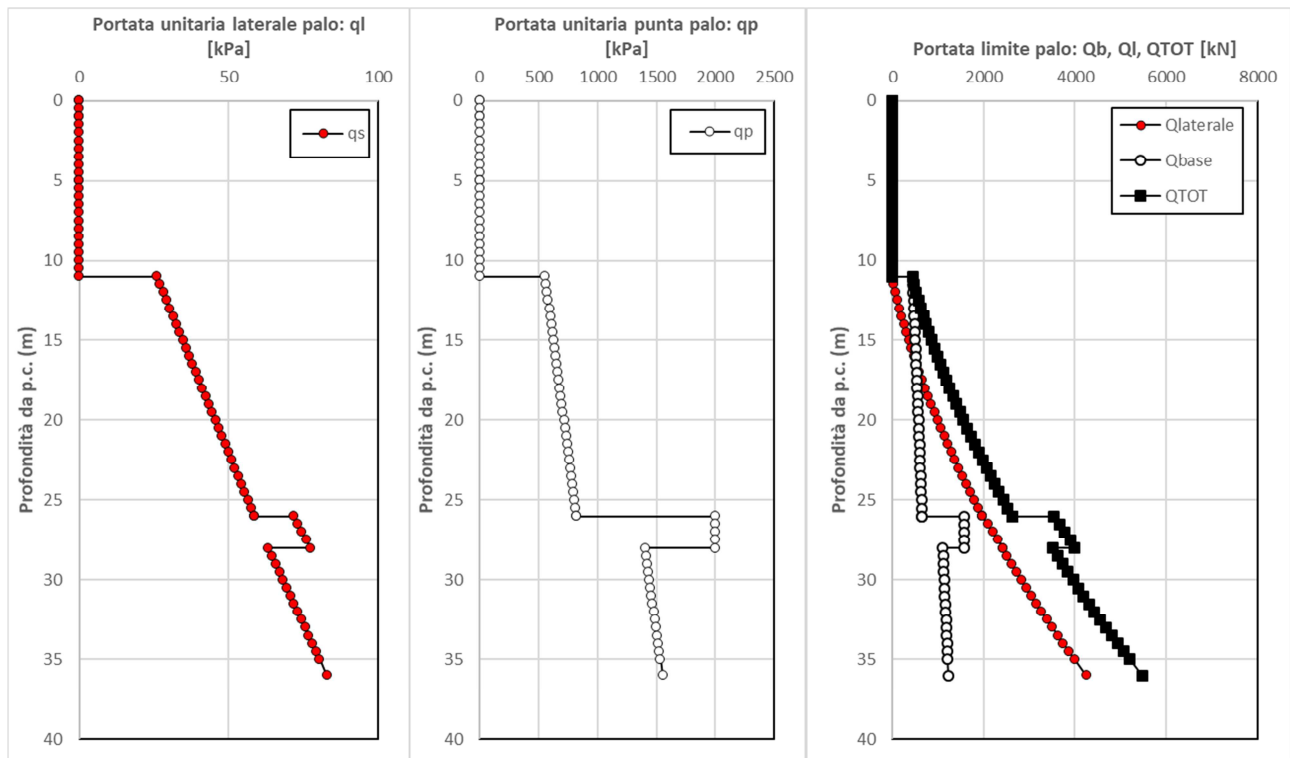


Figura 44 – Palo FILA 2: portata laterale ed alla punta unitaria e portata limite



“APPROFONDIMENTO CANALI  
CANDIANO E BAIONA,  
ADEGUAMENTO BANCHINE  
OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO  
TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI  
E RIUTILIZZO DEL MATERIALE  
ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P.  
VIGENTE 2007”  
I FASE

Progetto Definitivo  
Banchina Bunge SUD  
Relazione di calcolo



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centro Settentrionale



DIREZIONE TECNICA  
Pag. : 67 di 110

Tabella 21. Calcolo della portata limite, caratteristica e di progetto del palo di FILA 2

D (m)		$\gamma^{cls}$ kN/m <sup>3</sup>	Ab (m <sup>2</sup> )	$\gamma^{cls}$ kN/m <sup>3</sup>	falda da p.c. (m)																								
1,00		25,00	0,7854	15,00	1,00																								
$\xi_3$		$\gamma_s$	$\gamma_b$													qp <sub>max</sub> = 2000		Nq <sup>*</sup> = 15											
1,4		1,15	1,35																										
CALCOLO DELLA PORTANZA										Parametri cond.DRENATE				Par. cond. NON drenate		Portanza drenata		Portanza NON drenata		Portanza scelta		VALORI CARATTERISTICI			VALORI DI PROGETTO				
Terreno	z (m)	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\sigma_v$ kN/m <sup>2</sup>	u kN/m <sup>2</sup>	$\sigma_v'$ kN/m <sup>2</sup>	c' kN/m <sup>2</sup>	$\varphi'$ (°)	$\beta$	k	$\alpha$	Cu kN/m <sup>2</sup>	Condizioni scelte qs	Condizioni scelte qp	qs kN/m <sup>2</sup>	qp kN/m <sup>2</sup>	qs kN/m <sup>2</sup>	qp kN/m <sup>2</sup>	qs kN/m <sup>2</sup>	qp kN/m <sup>2</sup>	Ql (kN)	Qp (kN)	Q tot (kN)	Rsk (kN)	Rbk (kN)	Rk tot(kN)	Rsd (kN)	Rbd (kN)	Rd tot(kN)	
da p.c.																													
Riparto	0,0	18,0	0	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riparto	0,0	18,0	0	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riparto	0,5	18,0	9	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Riparto	1,0	18,0	18	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dep palude	1,0	17,5	18	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dep palude	1,5	17,5	27	5								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dep palude	2,0	17,5	36	10								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dep palude	2,5	17,5	44	15								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dep palude	3,0	17,5	53	20								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dep palude	3,5	17,5	62	25								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dep palude	4,0	17,5	71	29								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dep palude	4,5	17,5	79	34								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dep palude	5,0	17,5	88	39								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	5,0	18,0	88	39								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	5,5	18,0	97	44								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	6,0	18,0	106	49								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	6,5	18,0	115	54								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	7,0	18,0	124	59								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	7,5	18,0	133	64								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	8,0	18,0	142	69								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	8,5	18,0	151	74								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	9,0	18,0	160	78								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	9,5	18,0	169	83								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	10,0	18,0	178	88								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	10,5	18,0	187	93								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia	11,0	18,0	196	98								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Limi Arg.	11,0	18,0	196	98	98	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	26	1469	0	556	26	556	0	437	437	0	312	312	0	231	231	
Limi Arg.	11,5	18,0	205	103	102	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	27	1530	0	565	27	565	21	444	465	15	317	332	13	235	248	
Limi Arg.	12,0	18,0	214	108	106	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	28	1591	0	574	28	574	65	451	516	46	322	368	40	239	279	
Limi Arg.	12,5	18,0	223	113	110	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	29	1653	0	583	29	583	110	458	568	78	327	406	68	242	310	
Limi Arg.	13,0	18,0	232	118	114	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	30	1714	0	592	30	592	157	465	622	112	332	444	97	246	343	
Limi Arg.	13,5	18,0	241	123	118	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	31	1776	0	601	31	601	205	472	677	147	337	484	127	250	377	
Limi Arg.	14,0	18,0	250	128	122	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	33	1837	0	610	33	610	256	479	735	183	342	525	159	253	412	
Limi Arg.	14,5	18,0	259	132	127	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	34	1898	0	619	34	619	307	486	794	220	347	567	191	257	448	
Limi Arg.	15,0	18,0	268	137	131	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	35	1960	0	628	35	628	361	493	854	258	352	610	224	261	485	
Limi Arg.	15,5	18,0	277	142	135	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	36	2020	0	637	36	637	417	500	917	298	357	655	259	265	523	
Limi Arg.	16,0	18,0	286	147	139	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	37	2080	0	646	37	646	474	507	981	338	362	701	294	268	563	
Limi Arg.	16,5	18,0	295	152	143	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	38	2140	0	655	38	655	532	514	1047	380	367	748	331	272	603	
Limi Arg.	17,0	18,0	304	157	147	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	39	2200	0	664	39	664	593	522	1114	424	373	796	368	276	644	
Limi Arg.	17,5	18,0	313	162	151	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	40	2260	0	673	40	673	655	529	1184	468	378	846	407	280	687	
Limi Arg.	18,0	18,0	322	167	155	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	41	2320	0	682	41	682	719	536	1255	514	383	896	447	283	730	
Limi Arg.	18,5	18,0	331	172	159	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	42	2380	0	691	42	691	785	543	1328	561	388	948	487	287	775	
Limi Arg.	19,0	18,0	340	177	163	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	43	2440	0	700	43	700	852	550	1402	609	393	1001	529	291	820	
Limi Arg.	19,5	18,0	349	181	168	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	45	2500	0	709	45	709	921	557	1478	658	398	1056	572	295	867	
Limi Arg.	20,0	18,0	358	186	172	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	46	2560	0	718	46	718	992	564	1556	709	403	1111	616	298	915	
Limi Arg.	20,5	18,0	367	191	176	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	47	2620	0	727	47	727	1064	571	1635	760	408	1168	661	302	963	
Limi Arg.	21,0	18,0	376	196	180	0	28	0,53	0,5		40	DRENATE	NON DRENATE	48	2680	0	736	48	736	1139	578	1717	813	413					



### 9.4.4.3 Verifica dei pali della FILA 3

In Figura 45 sono indicate la portata laterale unitaria, la portata alla punta unitaria e le conseguenti portate limite per il palo di FILA 3. In Tabella 22 è indicato il calcolo analitico svolto.

Si rileva che assumendo un coefficiente di correlazione  $\xi_3 = 1,4$  il palo  $\varnothing 1000$  esteso fino a -35 m da l.m.m., ha una portata utile di progetto pari a 3.616 kN.

L'azione massima di progetto deriva dalla combinazione strutturale ed è pari a:

$$Ed = 2.877 + 432 \times 1,3 = 3.439 \text{ kN}$$

Pertanto:

$$Ed = 3.439 \text{ kN} < 3.616 \text{ kN} = Rd$$

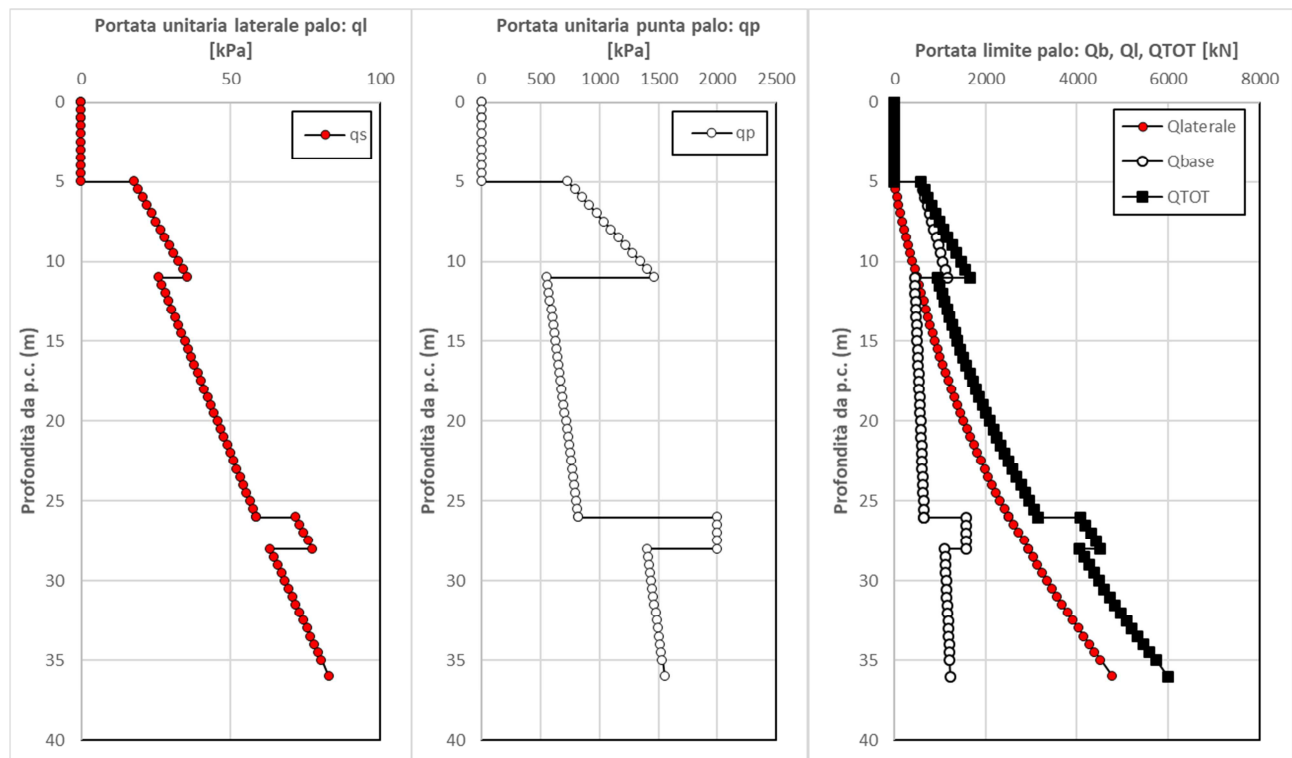


Figura 45 – Palo FILA 3: portata laterale ed alla punta unitaria e portata limite

"APPROFONDIMENTO CANALI  
CANDIANO E BAIONA,  
ADEGUAMENTO BANCHINE  
OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO  
TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI  
E RIUTILIZZO DEL MATERIALE  
ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P.  
VIGENTE 2007"  
I FASE

Progetto Definitivo  
Banchina Bunge SUD  
Relazione di calcolo



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centro Settentrionale



DIREZIONE TECNICA  
Pag. : 69 di 110

Tabella 22. Calcolo della portata limite, caratteristica e di progetto del palo di FILA 3

D (m)		$\gamma_{cls}$ kN/m <sup>3</sup>	Ab (m <sup>2</sup> )	$\gamma'_{cls}$ kN/m <sup>3</sup>	falda da p.c. (m)																										
1,00		25,00	0,7854	15,00	1,00																										
$\xi_3$		$\gamma_s$	$\gamma_b$																												
1,4		1,15	1,35																												
CALCOLO DELLA PORTANZA												Parametri cond.DRENATE			Par. cond. NON drenate		Portanza drenata			Portanza NON drenata			Portanza scelta			VALORI CARATTERISTICI			VALORI di PROGETTO		
Terreno	z (m)	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\sigma_v$ kN/m <sup>2</sup>	u kN/m <sup>2</sup>	$\sigma'_v$ kN/m <sup>2</sup>	$c'$ kN/m <sup>2</sup>	$\varphi'$ (°)	$\beta$	k	$\alpha$	Cu kN/m <sup>2</sup>	Condizioni scelte	Condizioni scelte qp	qs kN/m <sup>2</sup>	qp kN/m <sup>2</sup>	qs kN/m <sup>2</sup>	qp kN/m <sup>2</sup>	qs kN/m <sup>2</sup>	qp kN/m <sup>2</sup>	Ql (kN)	Qp (kN)	Q tot (kN)	Rsk (kN)	Rbk (kN)	Rk tot(kN)	Rsd (kN)	Rbd (kN)	Rd tot(kN)			
da p.c.																															
Ripporto	0,0	18,0	0	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ripporto	0,0	18,0	0	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ripporto	0,5	18,0	9	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ripporto	1,0	18,0	18	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
dep palude	1,0	17,5	18	0								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
dep palude	1,5	17,5	27	5								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
dep palude	2,0	17,5	36	10								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
dep palude	2,5	17,5	44	15								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
dep palude	3,0	17,5	53	20								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
dep palude	3,5	17,5	62	25								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
dep palude	4,0	17,5	71	29								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
dep palude	4,5	17,5	79	34								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
dep palude	5,0	17,5	88	39								DRENATE	DRENATE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sabbia	5,0	18,0	88	39	49	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	18	731	0	18	731	0	574	574	0	410	410	0	304	304	0	304	304	
Sabbia	5,5	18,0	97	44	53	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	19	793	0	19	793	29	623	652	21	445	465	18	329	347	0	329	347	
Sabbia	6,0	18,0	106	49	57	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	21	854	0	21	854	60	671	731	43	479	522	37	355	392	0	355	392	
Sabbia	6,5	18,0	115	54	61	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	22	916	0	22	916	94	719	813	67	514	581	58	381	439	0	381	439	
Sabbia	7,0	18,0	124	59	65	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	24	977	0	24	977	130	767	897	93	548	641	81	406	487	0	406	487	
Sabbia	7,5	18,0	133	64	69	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	25	1039	0	25	1039	168	816	984	120	583	703	104	432	536	0	432	536	
Sabbia	8,0	18,0	142	69	73	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	27	1100	0	27	1100	209	864	1073	149	617	766	130	457	587	0	457	587	
Sabbia	8,5	18,0	151	74	77	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	28	1161	0	28	1161	252	912	1164	180	652	831	156	483	639	0	483	639	
Sabbia	9,0	18,0	160	78	82	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	30	1223	0	30	1223	297	960	1258	212	686	898	185	508	693	0	508	693	
Sabbia	9,5	18,0	169	83	86	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	31	1284	0	31	1284	345	1009	1354	246	720	967	214	534	748	0	534	748	
Sabbia	10,0	18,0	178	88	90	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	33	1346	0	33	1346	395	1057	1452	282	755	1037	245	559	804	0	559	804	
Sabbia	10,5	18,0	187	93	94	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	34	1407	0	34	1407	447	1105	1552	319	789	1109	278	585	862	0	585	862	
Sabbia	11,0	18,0	196	98	98	0	36	0,73	0,5			DRENATE	DRENATE	36	1469	0	36	1469	502	1153	1655	358	824	1182	312	610	922	0	610	922	
Limi Arg.	11,0	18,0	196	98	98	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	26	1469	0	556	26	556	502	437	939	358	312	670	312	231	543	0	231	543
Limi Arg.	11,5	18,0	205	103	102	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	27	1530	0	565	27	565	551	444	995	394	317	711	342	235	577	0	235	577
Limi Arg.	12,0	18,0	214	108	106	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	28	1591	0	574	28	574	595	451	1045	425	322	747	369	239	608	0	239	608
Limi Arg.	12,5	18,0	223	113	110	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	29	1653	0	583	29	583	640	458	1098	457	327	784	397	242	640	0	242	640
Limi Arg.	13,0	18,0	232	118	114	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	30	1714	0	592	30	592	686	465	1151	490	332	822	426	246	672	0	246	672
Limi Arg.	13,5	18,0	241	123	118	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	31	1776	0	601	31	601	735	472	1207	525	337	862	457	250	706	0	250	706
Limi Arg.	14,0	18,0	250	128	122	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	33	1837	0	610	33	610	785	479	1264	561	342	903	488	253	741	0	253	741
Limi Arg.	14,5	18,0	259	132	127	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	34	1898	0	619	34	619	837	486	1323	598	347	945	520	257	777	0	257	777
Limi Arg.	15,0	18,0	268	137	131	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	35	1960	0	628	35	628	891	493	1384	636	352	989	553	261	814	0	261	814
Limi Arg.	15,5	18,0	277	142	135	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	36	2000	0	637	36	637	946	500	1447	676	357	1033	588	265	853	0	265	853
Limi Arg.	16,0	18,0	286	147	139	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	37	2000	0	646	37	646	1003	507	1511	717	362	1079	623	269	892	0	269	892
Limi Arg.	16,5	18,0	295	152	143	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	38	2000	0	655	38	655	1062	514	1577	759	367	1126	660	272	932	0	272	932
Limi Arg.	17,0	18,0	304	157	147	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	39	2000	0	664	39	664	1123	522	1644	802	373	1174	697	276	973	0	276	973
Limi Arg.	17,5	18,0	313	162	151	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	40	2000	0	673	40	673	1185	529	1714	846	378	1224	736	280	1016	0	280	1016
Limi Arg.	18,0	18,0	322	167	155	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	41	2000	0	682	41	682	1249	536	1785	892	383	1275	776	283	1059	0	283	1059
Limi Arg.	18,5	18,0	331	172	159	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	42	2000	0	691	42	691	1315	543	1857	939	388	1327	817	287	1104	0	287	1104
Limi Arg.	19,0	18,0	340	177	163	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	43	2000	0	700	43	700	1382	550	1932	987	393	1380	858	291	1149	0	291	1149
Limi Arg.	19,5	18,0	349	181	168	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	45	2000	0	709	45	709	1451	557	2008	1036	398	1434	901	295	1194	0	295	1194
Limi Arg.	20,0	18,0	358	186	172	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	46	2000	0	718	46	718	1522	564	2086	1087	403	1490	945	298	1244	0	298	1244
Limi Arg.	20,5	18,0	367	191	176	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	47	2000	0	727	47	727	1594	571	2165	1139	408	1547	990	302	1292	0	302	1292
Limi Arg.	21,0	18,0	376	196	180	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	48	2000	0	736	48	736	1668	578	2247	1192	413	1605	1036	306	1342	0	306	1342
Limi Arg.	21,5	18,0	385	201	184	0	28	0,53	0,5	40		DRENATE	NON DRENATE	49	2000	0	745	49	745	1744	585	2329	1246	418	1664	1083	310	1393	0	310	

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 70 di 110</p>
 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>		

#### 9.4.4.4 Prove di verifica dei pali

In ottemperanza alle previsioni delle NTC 2008 sui pali di fondazione devono essere eseguite prove di carico statiche di verifica della corretta esecuzione e del comportamento sotto azioni di progetto. Tali prove devono essere spinte ad un carico assiale pari a 1,5 volte l'azione di progetto utilizzata per le verifiche SLE. In presenza di pali strumentati il valore di prova può essere ridotto a 1,2 volte l'azione SLE.

Il numero e l'ubicazione delle prove di verifica devono essere stabilite dal Collaudatore ed, in ogni caso, non possono essere inferiori a quanto indicato al §6.4.3.7.2 delle NTC2008.

#### 9.4.4.5 Controllo dell'integrità dei pali

Ai sensi delle NTC2008 è necessario eseguire controlli di integrità su almeno il 5% dei pali della fondazione, con un minimo di 2 pali.

#### 9.4.4.6 Valutazione della rigidità verticale del vincolo elastico sommitale che simula il palo e il palancoato

Per modellare con migliore accuratezza il comportamento del solettone sommitale è possibile modellare il vincolo di appoggio offerto dal palo tramite una molla verticale di opportuna rigidità. La rigidità di tale molla può essere stimata considerando che l'intera resistenza laterale del palo si mobilita per abbassamenti compresi tra 5 e 10 mm.

Pertanto, considerando che i pali in questione hanno una resistenza laterale così distribuita:

- Pali fila 1, $\phi 1200$	$Ql = 4.635 \text{ kN}$	
$K_{\text{palo, max}} = 4.635 / 0,005 \cong 1.000.000 \text{ kN/m}$		$K_{\text{palo, min}} = 5.339 / 0,01 \cong 500.000 \text{ kN/m}$
- Pali fila 2, $\phi 1000$	$Ql = 4.251 \text{ kN}$	
$K_{\text{palo, max}} = 4.251 / 0,005 \cong 850.000 \text{ kN/m}$		$K_{\text{palo, min}} = 4.251 / 0,01 \cong 425.000 \text{ kN/m}$
- Pali fila 3, $\phi 1000$	$Ql = 4.780 \text{ kN}$	
$K_{\text{palo, max}} = 4.780 / 0,005 \cong 950.000 \text{ kN/m}$		$K_{\text{palo, min}} = 4.780 / 0,01 \cong 475.000 \text{ kN/m}$
- Palancoata per metro di sviluppo	$Ql = 435 \text{ kN/m}$	
$K_{\text{pal, max}} = 435 / 0,005 \cong 87.000 \text{ kN/m/m}$		$K_{\text{pal, min}} = 435 / 0,01 \cong 43.500 \text{ kN/m/m}$

### 9.4.5 Verifica dei tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato

Il vincolo orizzontale in sommità dell’opera è costituito da (Figura 46):

- T1) ancoraggio integrativo realizzato da mare, di lunghezza 32,0 m, inclinazione 20° sull’orizzontale, con 16,0 m di parte libera e 16 m di fondazione, armato con barra Dywidag $\phi$ 47 ed interasse medio di 1,875 m; il bulbo di fondazione realizzato con un trattamento coassiale in jet grouting;

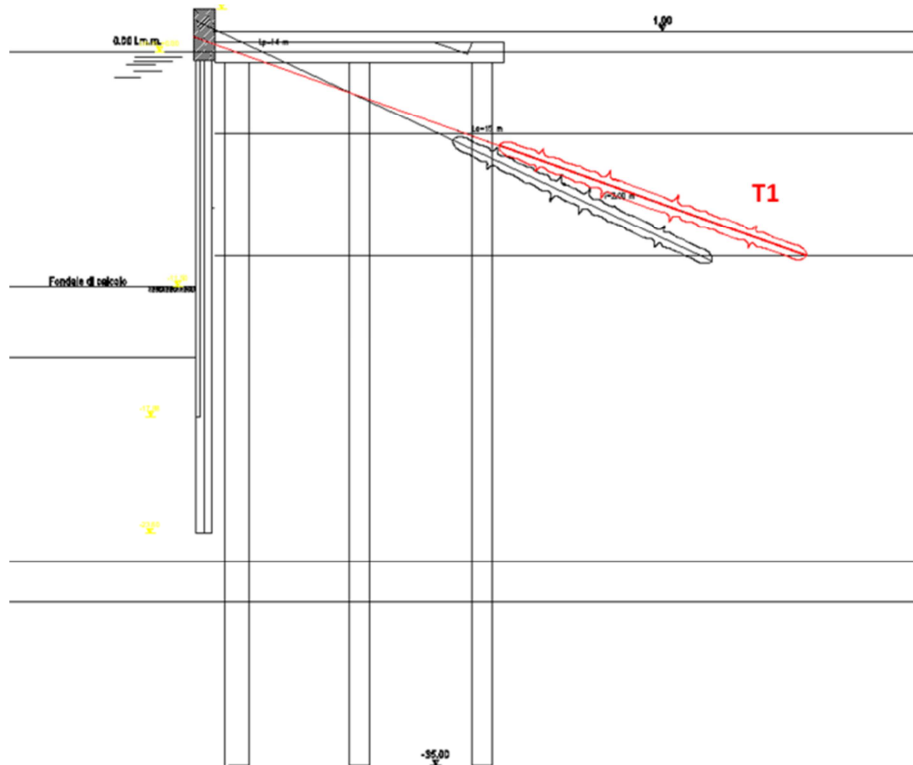


Figura 46 - Sezione tipo intervento di adeguamento con indicazione dei tiranti di ancoraggio

In Tabella 23 sono indicati i risultati del tiro nelle varie combinazioni di carico considerate per le verifiche di funzionalità (SLE/SLD) e sicurezza (SLU/SLV).

Tabella 23. Sollecitazioni di progetto sugli ancoraggi

		SLE	SLD	SLU11	SLU12	SLV
T1 (Dywidag)	[kN]	480	570	664	633	784

In conclusione i tiri di progetto da considerare nelle verifiche degli ancoraggi sono indicati in Tabella 24.

Tabella 24. Sollecitazione massima di progetto su ogni ancoraggio

			max (SLU11-SLU12-SLV)
T1	Ancoraggio Dywidag $\phi$ 47/1,875m	[kN]	<b>784</b>



#### 9.4.5.1 Posizione della fondazione dell'ancoraggio

Per poter contare sulla piena capacità degli ancoraggi a tergo delle opere di sostegno si deve verificare che la fondazione dell'ancoraggio sia esterna al cuneo di spinta attiva dell'opera di sostegno. Tale verifica deve tenere conto anche del fatto che in condizioni sismiche la potenziale superficie di scorrimento dei cunei di spinta presenta un'inclinazione sull'orizzontale minore di quella relativa al caso statico. Le NTC2008 definiscono la lunghezza libera in condizioni sismiche ( $L_e$ ) pari a:

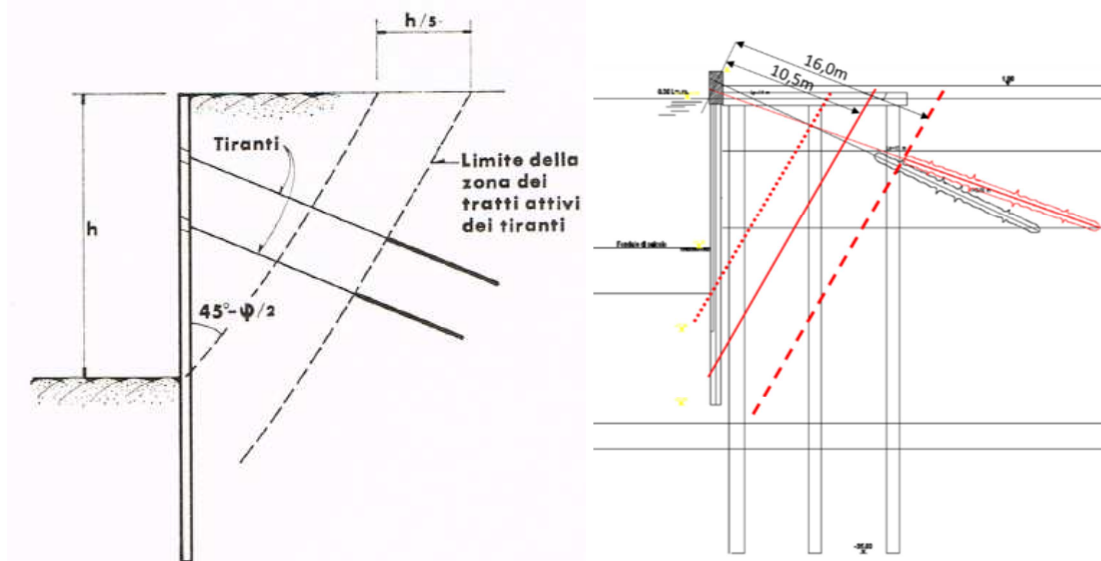
$$L_e = L_s \left( 1 + 1,5 \cdot \frac{a_{max}}{g} \right)$$

dove, oltre ai simboli noti,  $L_s$  rappresenta la lunghezza libera dell'ancoraggio in condizioni statiche. Con i valori di accelerazione di progetto per il sito di Ravenna si ha:

$$L_e = L_s(1 + 1,5 \cdot 0,298) = 1,45L_s$$

In Figura 47 è presentata la costruzione di Peck per la determinazione della lunghezza libera dei tiranti a tergo di una paratia e l'applicazione al caso della banchina in esame dove, oltre al cuneo attivo, si considera l'ulteriore lunghezza di rispetto prevista dalle NTC2008 per le condizioni sismiche.

La posizione dei bulbi di fondazione, come si vede in figura, risulta sostanzialmente esterna al volume di terreno potenzialmente instabile in condizioni sismiche.



**Figura 47 – a sx) definizione della lunghezza libera degli ancoraggi a tergo di una paratia secondo Peck; a dx) determinazione della lunghezza libera degli ancoraggi in condizioni sismiche secondo NTC2008**

#### 9.4.5.2 Ancoraggi T1 – nuovi ancoraggi armati con barra tipo Dywidag

La verifica deve essere eseguita sia rispetto alla fondazione dell'ancoraggio (verifica geotecnica) che nei riguardi dell'armatura metallica (verifica lato acciaio). E' necessario verificare che la resistenza di progetto dell'ancoraggio, lato fondazione ( $R_{ad}$ ) e lato armatura, ( $R_{td}$ ) sia sempre superiore all'azione di progetto ( $E_d$ ).

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>Membro della Federazione CSO <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> </div> <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 73 di 110</p>
--	--	--

La valutazione della resistenza ultima della fondazione degli ancoraggi può essere fatta con riferimento a formulazioni teoriche o empiriche che tengono conto del diametro finale del bulbo, delle caratteristiche di resistenza all’interfaccia e delle modalità realizzative. La capacità previsionale è comunque limitata e per questo la Norma Nazionale prevede che la valutazione del carico limite possa essere effettuata solo “*in prima approssimazione*” con tale metodo e che è sempre necessario confermare la congruità delle assunzioni fatte attraverso prove di trazione in sito. Per il porto di Ravenna sono però disponibili numerosi campi prova realizzati negli anni scorsi ed è quindi possibile riferirsi ai risultati di tali sperimentazioni in vera grandezza per valutare con migliore approssimazione la effettiva resistenza limite dei bulbi di fondazione. In ogni caso sarà necessario prevedere l’esecuzione di un opportuno campo prova per valutare che i tiranti effettivamente realizzati raggiungano le prestazioni richieste.

#### 9.4.5.2.1 Sperimentazione su tiranti di prova in jet-grouting al porto di Ravenna

Nel 2008, per la costruzione del banchinamento vicino (Trattaroli Nord), sono stati realizzati dei tiranti preliminari di prova con bulbo in jet-grouting. La scelta di utilizzare una tecnologia speciale per i bulbi di fondazione era dettata dalla presenza di una stratigrafia sfavorevole, con pochi metri di sabbie su cui poter fare sicuro affidamento.

La geometria dei tiranti di prova è indicata in Figura 48. Sono stati sottoposti a prova di trazione 7 tiranti, di cui 3 con bulbo di minore lunghezza per prove di sfilamento (tiranti tipo A) e 4 con geometria identica a quella dei tiranti definitivi ed armatura maggiorata (tiranti tipo B).

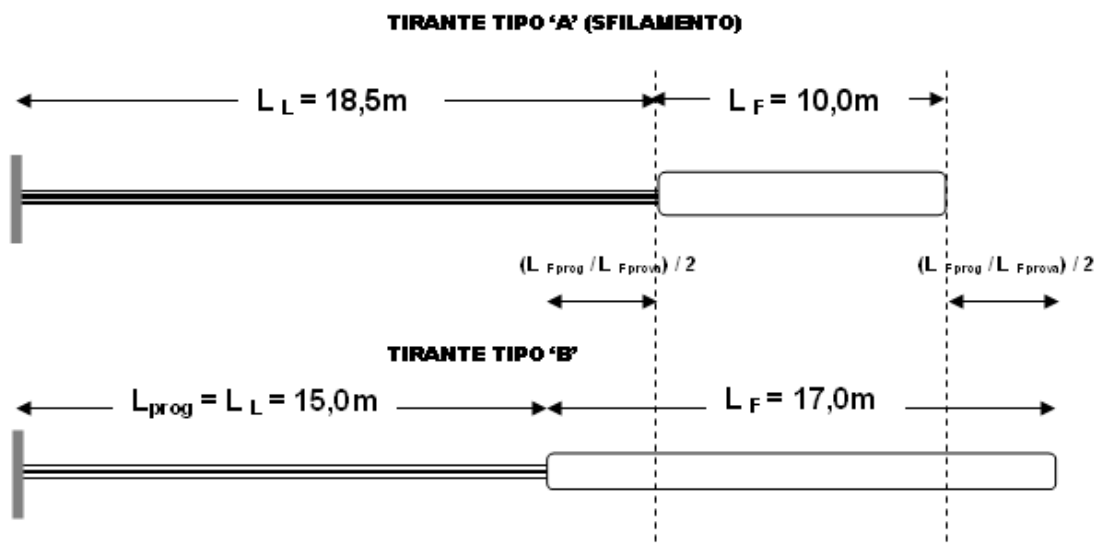


Figura 48 – Geometria dei tiranti di progetto realizzati nel 2008

In Tabella 25 sono riassunte le principali caratteristiche realizzative dei tiranti di progetto.



Tabella 25. Caratteristiche realizzative dei tiranti di progetto del 2008

TABELLA REALIZZAZIONE TIRANTI DI PROGETTO EURODOCKS												
TIPO	CODICE	PERF. TIRANTE		ACCIAIO			INCL.	INIEZIONI			RAPP. ACQUA-CEMENTO	
		Diametro (mm)	Lungh. (m)	Lunghezza (m)		N. Trefoli		JETTING		SECON.	Jett.	second.
				Libera	Bulbo			DATA	kg cem.			
A	T2-F1	160	28,5	18,5	10,0	8	15°	03/04/2008	4000	800	1 : 1	1 : 2
B	T3-F1	160	32,0	15,0	17,0	8	15°	03/04/2008	6800	1400	1 : 1	1 : 2
B	T1-F2	160	32,0	15,0	17,0	8	15°	25/09/2008	6500	1900	1 : 1	1 : 1,6
A	T2-F2	160	28,5	18,5	10,0	8	15°	25/09/2008	4100	1200	1 : 1	1 : 1,6
B	T3-F2	160	32,0	15,0	17,0	8	15°	23/09/2008	6500	2100	1 : 1	1 : 1,6
B	T4-F2	160	32,0	15,0	17,0	8	15°	23/09/2008	6600	1600	1 : 1	1 : 1,6
A	T5-F2	160	28,5	18,5	10,0	8	15°	23/09/2008	4200	1300	1 : 1	1 : 1,6

In Figura 49 sono mostrate le curve carico-allungamento ottenute dalle prove svolte i cui risultati salienti sono riassunti in Tabella 26.

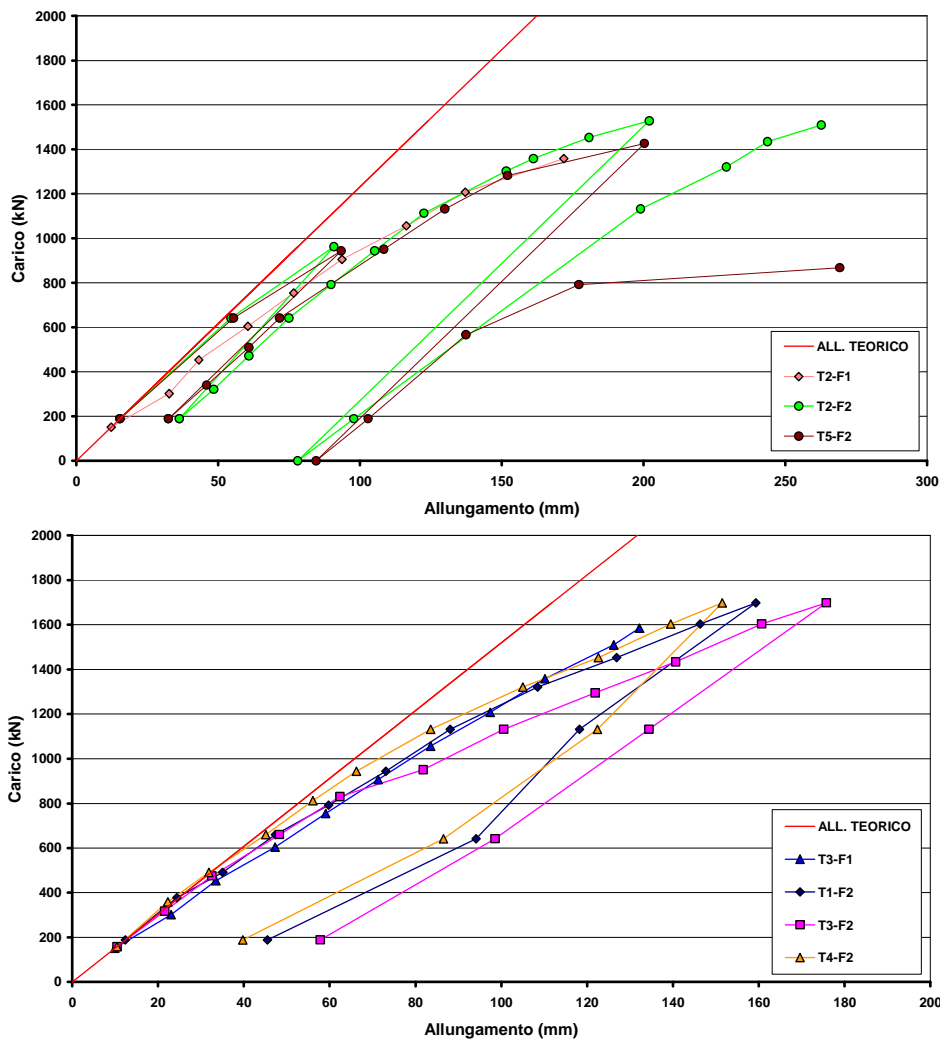


Figura 49 – Curve carico-allungamento per i tiranti tipo A (in alto) e B (in basso)

**Tabella 26. Risultati delle prove di carico sui tiranti di progetto del 2008**

TIPO	CODICE	PERF. TIRANTE		ACCIAIO			INCL.	Stima volume bulbo Jett. (m <sup>3</sup> )	Stima diametro bulbo (m)	Carico max sollecitante (kN)	Condizioni Finali prova
		Diametro (mm)	Lungh. (m)	Lunghezza (m)		N. Trefoli					
				Libera	Bulbo						
A	T2-F1	160	28,5	18,5	10,0	8	15°	5,33	0,82	1208	NO ROTTURA
										1359	SFILAMENTO
B	T3-F1	160	32,0	15,0	17,0	8	15°	9,07	0,82	1585	NO ROTTURA
B	T1-F2	160	32,0	15,0	17,0	8	15°	8,67	0,81	1698	NO ROTTURA
A	T2-F2	160	28,5	18,5	10,0	8	15°	5,47	0,83	1453	NO ROTTURA
										1528	SFILAMENTO
B	T3-F2	160	32,0	15,0	17,0	8	15°	8,67	0,81	1698	NO ROTTURA
B	T4-F2	160	32,0	15,0	17,0	8	15°	8,80	0,81	1698	NO ROTTURA
A	T5-F2	160	28,5	18,5	10,0	8	15°	5,60	0,84	1283	NO ROTTURA
										1427	SFILAMENTO

Si osserva che tutti i tiranti di tipo A sono stati portati a sfilamento. Il carico massimo raggiunto, normalizzato alla lunghezza del bulbo risulta:

$$T2-F1 \quad q = 1359 / 10 = 136 \text{ kN/m}$$

$$T2-F2 \quad q = 1528 / 10 = 153 \text{ kN/m}$$

$$T5-F2 \quad q = 1427 / 10 = 143 \text{ kN/m}$$

I risultati indicano un'ottima uniformità di comportamento ed una resistenza unitaria che può essere cautelativamente assunta pari a 130 kN/m. Si tratta di un valore molto elevato tenuto conto dei terreni presenti. Se si assume un valore limite della tensione tangenziale compreso tra 80 e 100 kPa, significherebbe che il bulbo ottenuto con il trattamento in jet grouting ha un diametro compreso tra 45 e 55 cm.

Sulla base delle prove a sfilamento la resistenza del tirante con bulbo di  $L = 16$  m risulterebbe:

$$R_{ac,1} = 130 \times 16 = 2.080 \text{ kN}$$

Sulla base dei risultati delle prove di idoneità si sono raggiunti i 1700 kN senza raggiungere lo sfilamento. Sulla base della forma delle curve carico-cedimento ed in via cautelativa si assume un valore massimo di resistenza allo sfilamento cautelativamente pari a:

$$R_{ac,2} = 1.900 \text{ kN}$$

#### 9.4.5.2.2 Verifica allo sfilamento della fondazione

Per il dimensionamento geotecnico deve risultare rispettata la condizione di stato limite ultimo di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. La verifica di tale condizione deve essere effettuata con riferimento alla combinazione A1+M1+R3.

Il progetto prevede che i nuovi ancoraggi siano realizzati in maniera analoga agli esistenti, con medesima tecnologia realizzativa (in particolare bulbo di fondazione con pre-trattamento in jet-grouting) e medesima geometria. Pertanto la resistenza ultima a sfilamento può essere assunta pari a quella misurata sui tiranti di prova del 2008, prima descritti.

Nota la resistenza limite a sfilamento ( $R_{ac}$ ), la resistenza caratteristica viene determinata assumendo un coefficiente di correlazione  $\xi_{a3} = 1,6$  (stratigrafia ben nota) come:

$$R_{ak} = R_{ac} / \xi_{a3} = 1.188 \text{ kN}$$

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 76 di 110</p>
--	---	--

Quindi la resistenza di progetto della fondazione ( $R_{ad}$ ) viene determinata dividendo la resistenza caratteristica per il coefficiente di sicurezza  $\gamma_R = 1,2$  (tiranti permanenti).

$$R_{ad} = R_{ak} / \gamma_R = 990 \text{ kN}$$

In Tabella 27 si riporta la sintesi delle calcolazioni svolte e la verifica di sicurezza dei bulbi di ancoraggio T2.

**Tabella 27. Verifica di sicurezza lato fondazione dei nuovi ancoraggi T2**

	$R_{ac}$ [kN]	$R_{ak}$ [kN]	$R_{ad}$ [kN]	$E_d$ [kN]	$R_d \geq E_d$
T2 (nuovi ancoraggi)	1.900	1.188	990	784	✓

#### 9.4.5.3 Definizione del CAMPO PROVA per gli ancoraggi preliminari di prova

In accordo alle NTC2008 la realizzazione degli ancoraggi definitivi sarà preceduta dall'esecuzione di ancoraggi preliminari di prova idonei ad accertarne le prestazioni previste. L'esecuzione delle prove su tali ancoraggi dovrà essere eseguita in conformità alla Raccomandazioni AGI-AICAP “Ancoraggi nei Terreni e nelle Rocce” – Giugno 2012.

#### 9.4.5.4 Prove di verifica e modalità di tesatura

Ai sensi del paragrafo 6.6.4 delle NTC 2008 le prove di verifica devono essere eseguite su tutti gli ancoraggi e consistono in un ciclo semplice di carico e scarico; in questo ciclo il tirante viene sottoposto ad una forza pari a 1,2 volte quella massima prevista in esercizio, verificando che gli allungamenti misurati siano nei limiti previsti in progetto o compatibili con le misure sugli ancoraggi preliminari di prova. Lo svolgimento di tali prove dovrà essere conforme alle Raccomandazioni AGI-AICAP “Ancoraggi nei Terreni e nelle Rocce” – Giugno 2012.

#### 9.4.5.5 Protezione degli ancoraggi

I tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato risultano particolarmente sensibili alla corrosione. Infatti la presenza di acciai ad elevata resistenza unita all'ambiente di installazione aggressivo (ambiente marino) rende necessario adottare dei provvedimenti specifici per garantire la durabilità in condizioni di piena efficienza dell'ancoraggio. Gli ancoraggi utilizzati saranno certificati ai sensi del decreto del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 12391 del 22 dicembre 2011 "Linea Guida per il rilascio della certificazione di idoneità tecnica all'impiego di tiranti per uso geotecnico di tipo attivo".



## 10 VERIFICHE STRUTTURALI

Nel seguito sono riportate le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE) degli elementi strutturali costituenti la nuova banchina.

Le sollecitazioni agenti sui singoli elementi strutturali per le combinazioni di carico definite in condizioni statiche e sismiche sono state ricavate dai risultati dei calcoli geotecnici eseguiti nei precedenti paragrafi ed ai quali si rimanda per maggiori dettagli.

### 10.1 Palancolato esistente

La paratia esistente è realizzata con palancole metalliche tipo HZ 775 B sol. 10/13 – ZH 9,5 della ProfilARBED. I pali principali (HZ 775 B) sono realizzati in acciaio PAE 360, mentre le palancole intermedie (ZH 9,5) ed i gargami (RH 16 B) in acciaio PAE 250. Le caratteristiche del palancolato combinato, dei pali principali HZ e delle palancole intermedie ZH sono state ricavate dal catalogo del produttore del quale si riportano nelle figure seguenti alcuni estratti.

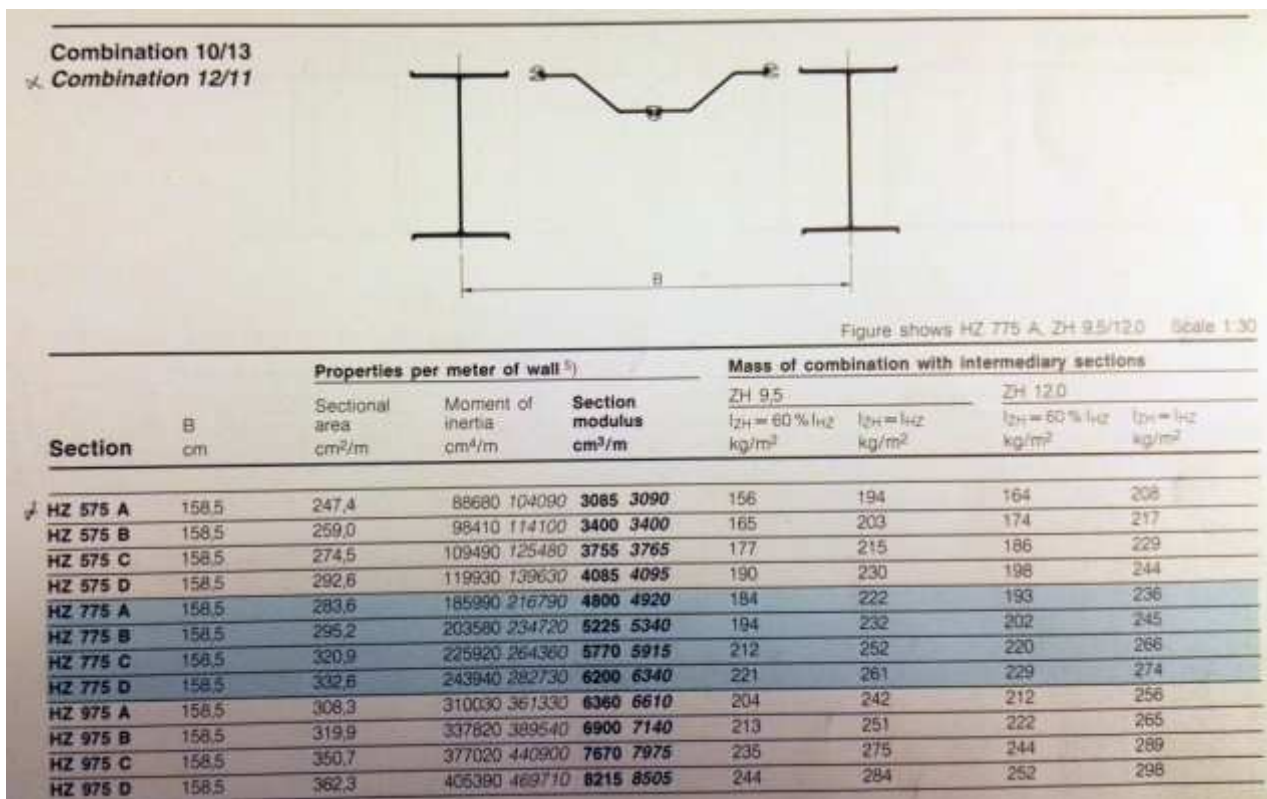


Figura 50 – HZ 775 B sol. 10/13 – ZH 9,5



**Solution 10**

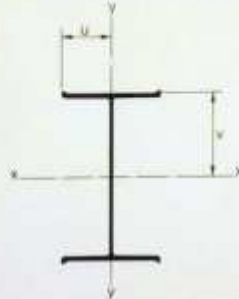


Figure shows HZ 775 A Scale 1:30

Section	Dimensions		Properties per solution		Moment of inertia		Section modulus		Radius of gyration		Coating <sup>2)</sup> area m <sup>2</sup> /m	a <sub>x</sub> cm
	v cm	u cm	Sectional area cm <sup>2</sup>	Mass kg/m	x-x cm <sup>4</sup>	y-y cm <sup>4</sup>	x-x cm <sup>3</sup>	y-y cm <sup>3</sup>	x-x cm	y-y cm		
HZ 575 A	28,75	23,00	200,5	157	125830	25940	4375	1130	25,05	11,38	3,01	—
HZ 575 B	28,95	23,00	218,9	172	141240	29190	4880	1270	25,40	11,56	3,02	—
HZ 575 C	29,15	23,05	243,4	191	158800	32790	5450	1420	25,54	11,61	3,03	—
HZ 575 D	29,35	23,05	261,9	206	174680	36050	5950	1565	25,83	11,73	3,04	—
HZ 775 A	36,75	23,00	257,9	202	280070	29550	7230	1285	32,95	10,71	3,39	—
HZ 775 B	36,95	23,00	276,3	217	307930	32800	7905	1425	33,38	10,90	3,40	—
HZ 775 C	39,15	23,08	306,8	241	342680	36580	8755	1585	33,42	10,92	3,41	—
HZ 775 D	39,35	23,08	325,3	255	371220	39850	9435	1725	33,78	11,07	3,42	—
HZ 975 A	48,75	23,00	297,0	233	476680	29560	9780	1285	40,06	9,98	3,79	—
HZ 975 B	48,95	23,00	315,4	248	520700	32810	10640	1425	40,63	10,20	3,79	—
HZ 975 C	49,15	23,10	353,9	278	582170	36770	11845	1590	40,56	10,19	3,81	—
HZ 975 D	49,35	23,10	372,4	292	627120	40060	12710	1735	41,04	10,37	3,81	—

Figura 51 – HZ 775 B sol. 10

**Sol. 11**



**Sol. 13**

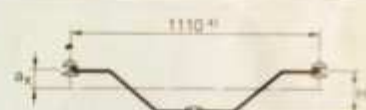


Figure shows ZH 9.5 Scale 1:30

Sol.	Sectional area cm <sup>2</sup>	Mass kg/m	Moment of inertia x-x cm <sup>4</sup>	Moment of inertia y-y cm <sup>4</sup>	Section modulus x-x cm <sup>3</sup>	Section modulus y-y cm <sup>3</sup>	Radius of gyration x-x cm	Radius of gyration y-y cm	Coating <sup>2)</sup> area m <sup>2</sup> /m	a <sub>x</sub> cm
ZH 9,5 <sup>1)</sup>	—	65,3	51	—	—	—	—	—	1,22	—
ZH 9,5 <sup>2)</sup>	11	150,9	118	10160	—	945	—	—	2,55	10,74
	11	150,9	118	10040	—	910	—	—	2,55	11,05
	13	191,7	150	14720	—	1405	—	—	2,84	8,53
	13	191,7	150	14740	—	1405	—	—	2,84	8,52
	13	201,9	158	15410	—	1380	—	—	2,87	7,84
	13	201,9	158	15420	—	1380	—	—	2,87	7,84
ZH 12,0 <sup>1)</sup>	—	79,1	62	—	—	—	—	—	1,22	—
ZH 12,0 <sup>2)</sup>	11	178,6	140	11850	—	1095	—	—	2,55	10,80
	11	178,6	140	11750	—	1065	—	—	2,55	11,05
	13	219,4	172	16400	—	1545	—	—	2,84	8,89
	13	219,4	172	16420	—	1545	—	—	2,84	8,89
	13	229,6	180	17130	—	1530	—	—	2,87	8,30
	13	229,6	180	17150	—	1530	—	—	2,87	8,30

Figura 52 – Sol. 11 ZH 9,5

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 79 di 110</p>
--	---	--

Nel prospetto seguente sono sintetizzate le caratteristiche del palancolato combinato, dei pali principali HZ e delle palancole intermedie ZH.

	<b>Area</b>	<b>Momento di inerzia</b>	<b>Modulo elastico</b>
<b>HZ775B-10/13-ZH 9,5</b>	cm <sup>2</sup> /m 295,2	cm <sup>4</sup> /m 203.580	cm <sup>3</sup> /m 5.225
<b>HZ775B-10</b>	cm <sup>2</sup> 276,3	cm <sup>4</sup> 307.930	cm <sup>3</sup> 7.905
<b>Sol. 13 ZH 9,5</b>	cm <sup>2</sup> 191,7	cm <sup>4</sup> 14.720	cm <sup>3</sup> 1.405

La capacità resistente delle sezioni è determinata con il metodo elastico (E) assumendo un comportamento elastico lineare del materiale, sino al raggiungimento della condizione di snervamento. L'analisi globale della struttura (modellazione geotecnica) è stata eseguita con il metodo elastico (E), valutando gli effetti delle azioni nell'ipotesi che il legame tensione-deformazione del materiale sia indefinitamente lineare.

Le verifiche strutturali delle sezioni sono state eseguite tenendo conto dei fenomeni di corrosione che inducono una perdita di spessore dei singoli elementi con conseguente diminuzione delle loro caratteristiche di resistenza.

A tal proposito, si è fatto riferimento al D.M. 31 luglio 2012, “Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici”, con cui sono stati adottati i valori di corrosione raccomandati nelle tabelle 4-1 e 4-2 della UNI EN 1993-5:2007 “Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 5” e riportate per semplicità di lettura nel seguito.

**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
<b>Notes:</b>					
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.

Come emerge anche dalle tabelle, i tassi di corrosione a cui il palancoato è soggetto variano a seconda delle condizioni al contorno (ad es. ambiente marino zona immersa e/o *splash zone*, tipo di terreno a tergo, etc.).

I valori teorici raccomandati di corrosione dopo 30 anni sono pertanto i seguenti:

- Lato terra (terreno naturale indisturbato):  $\Delta t_{30} = 0,36$  mm
- Lato mare (acqua del mare in clima temperato nella zona di permanente immersione o nella zona intertidale):  $\Delta t_{30} = 1,05$  mm
- Perdita di spessore totale:  $\Delta t_{30} = 1,41$  mm

Le misure ultrasoniche degli spessori degli acciai dei palancoati esistenti hanno invece rilevato i seguenti valori medi dei tassi di corrosione dopo circa 30 anni (dal 1988 al 2017):

- “Punto 5”:  $\Delta t_{\text{medio}} = 0,65$  mm ( $\Delta t_{\text{min}} = 0,50$  mm -  $\Delta t_{\text{max}} = 0,90$  mm)
- “Punto 6”:  $\Delta t_{\text{medio}} = 1,64$  mm ( $\Delta t_{\text{min}} = 1,30$  mm -  $\Delta t_{\text{max}} = 1,80$  mm)

I risultati lungo le due linee di misura (punti 5 e 6) evidenziano innanzitutto una corrosione circa uniforme del palancoato con la profondità (zona di permanente immersione dalla -0,50 alla -8,50 m s.l.m.), mentre la differenza di valori tra i due punti di misura è compatibile con le tolleranze sugli spessori dichiarate dal produttore (si veda Figura 53).



<b>Delivery Conditions</b>			
Tolerances	HZ	ZH	RH
Weight <sup>1)</sup>		± 4 %	
Length	± 200 mm	± 50 mm	± 100 mm <sup>2)</sup>
Thickness	e ≤ 12,5 mm: + 2,0 mm/- 1,0 mm e > 12,5 mm: + 2,5 mm/- 1,5 mm		± 6 %
Height		± 5,0 mm	—
Width s.pile		± 2 %	—
Width interlocked elements		± 3 %	—
Straightness		0,2 %	—
Ends out of square <sup>2)</sup>		2 %	—

**Figura 53 – Tolleranze**

Mediando comunque i valori ottenuti su entrambe le linee di misura (punti 5 e 6), al fine di descrivere meglio il comportamento complessivo dell'opera, il tasso di corrosione dopo 30 anni risulta il seguente:

- Palancoato esistente:  $\Delta t_{\text{medio}} = 1,15 \text{ mm}$  ( $\Delta t_{\text{min}} = 0,90 \text{ mm}$  -  $\Delta t_{\text{max}} = 1,35 \text{ mm}$ )

Pertanto, descrivendo perfettamente i valori raccomandati il comportamento complessivo dell'opera, le verifiche strutturali delle sezioni sono state eseguite tenendo conto dei tassi di corrosione teorici a 80 anni:

- Lato terra (terreno naturale indisturbato): 0,96 mm
- Lato mare (acqua del mare in clima temperato nella zona di permanente immersione o nella zona intertidale): 2,80 mm.

Le caratteristiche di resistenza dei pali principali HZ e dei pali intermedi ZH, applicando i valori di corrosione di cui sopra, sono state ricavate con l'ausilio del programma AutoCAD della Autodesk. Nel prospetto seguente sono riportate le caratteristiche di resistenza delle sezioni corrose.

	<b>Area</b>	<b>Momento di inerzia</b>	<b>Modulo elastico</b>
<b>HZ775B-10</b>	$\text{cm}^2$ 234,1	$\text{cm}^4$ 259.727	$\text{cm}^3$ 6.451
<b>Sol. 13 ZH 9,5</b>	$\text{cm}^2$ 111,6	$\text{cm}^4$ 9.089	$\text{cm}^3$ 845

Si osserva inoltre che la diminuzione delle caratteristiche resistenti delle sezioni comporta una redistribuzione dello stato sollecitativo della struttura che essendo complessivamente meno rigida è quindi soggetta da un lato a minori sollecitazioni e dall'altro a maggiori deformazioni.

Nel seguito si riportano le verifiche di resistenza delle membrature a taglio e flessione considerando le caratteristiche di resistenza delle sezioni corrose. A vantaggio di sicurezza le verifiche sono state eseguite utilizzando i valori ottenuti dal modello con le rigidità degli elementi non corrosi.



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 82 di 110</p>
--	---	--

## Taglio

L'area resistente a taglio ( $A_v$ ) per profili ad I caricati nel piano dell'anima, nell'ipotesi che il taglio sia portato solo dal profilo HZ775B-10, si può assumere pari a (cfr. §4.2.4.1.2 del D.M. 14/01/2008):

$$A_v = A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2r) \times t_f = 10.396 \text{ mm}^2$$

dove:

- $A = 23.410 \text{ mm}^2$  è l'area della sezione;
- $b = 454,4 \text{ mm}$  è la larghezza delle ali;
- $t_f = 15,2 \text{ mm}$  è lo spessore delle ali;
- $t_w = 10,6 \text{ mm}$  è lo spessore dell'anima;
- $r = 21 \text{ mm}$  è il raggio del raccordo tra l'anima e le ali.

La resistenza di calcolo a taglio ( $V_{c,Rd}$ ), in assenza di torsione, vale pertanto:

$$V_{c,Rd} = A_v \times f_{yk} / (\sqrt{3} \times \gamma_{M0}) = 2.058 \text{ kN}$$

dove:

- $A_v = 10.396 \text{ mm}^2$  è l'area resistente a taglio della sezione;
- $f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$  è la resistenza caratteristica a snervamento;
- $\gamma_{M0} = 1,05$  è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4 (cfr. Tabella 4.2.V del D.M. 14/01/2008).

Il valore di calcolo massimo dell'azione tagliante ( $V_{Ed}$ ) si ha nella combinazione statica SLV:

$$V_{Ed} = 363 \times 1,585 = 575 \text{ kN}$$

La verifica di resistenza delle membrature a taglio è pertanto soddisfatta:

$$\eta = V_{c,Rd} / V_{Ed} = 3,58 \geq 1,00$$

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 83 di 110</p>
--	---	--

## Flessione

Essendo il taglio massimo di calcolo ( $V_{Ed}$ ) inferiore alla metà della resistenza di calcolo a taglio ( $V_{c,Rd}$ ):

$$V_{Ed,max} = 575 \text{ kN} \leq 0,5 \times V_{c,Rd} = 1.029 \text{ kN}$$

si trascura l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

La resistenza di calcolo a flessione del palo principale HZ ( $M_{el,Rd}$ ) vale pertanto:

$$M_{el,Rd}(HZ775B-10) = W_{el,min} \times f_{yk} / \gamma_{M0} = 2.212 \text{ kNm}$$

dove:

- $W_{el,min} = 6.451 \text{ cm}^3$  è il modulo elastico della sezione;
- $f_{yk} = 360 \text{ N/mm}^2$  è la resistenza caratteristica a snervamento (PAE 360);
- $\gamma_{M0} = 1,05$  è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4 (cfr. Tabella 4.2.V del D.M. 14/01/2008).

La resistenza di calcolo a flessione della palanca intermedia ZH ( $M_{el,Rd}$ ) vale invece:

$$M_{el,Rd}(ZH9,5) = W_{el,min} \times f_{yk} / \gamma_{M0} = 201 \text{ kNm}$$

dove:

- $W_{el,min} = 845 \text{ cm}^3$  è il modulo elastico della sezione;
- $f_{yk} = 250 \text{ N/mm}^2$  è la resistenza caratteristica a snervamento (PAE 250);
- $\gamma_{M0} = 1,05$  è il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4 (cfr. Tabella 4.2.V del D.M. 14/01/2008).

Il momento flettente di calcolo ( $M_{Ed}$ ) si ha nella combinazione sismica SLV:

$$M_{Ed} = 1.149 \times 1,585 = 1.821 \text{ kNm (SLV)}$$

Il momento flettente di calcolo agente sul palo principale HZ vale:

$$M_{Ed}(HZ775B-10) = M_{Ed} \times I_H / (I_H + I_Z) = 1.759 \text{ kNm}$$

mentre quello agente sulla palanca intermedia AZ vale:

$$M_{Ed}(ZH9,5) = M_{Ed} \times I_Z / (I_H + I_Z) = 62 \text{ kNm}$$

dove:

- $I_H = 259.727 \text{ cm}^4$  è il momento di inerzia del palo principale HZ;
- $I_Z = 9.089 \text{ cm}^4$  è il momento di inerzia del palo intermedio AZ.

La verifica di resistenza delle membrature a flessione è pertanto soddisfatta con i seguenti coefficienti di sicurezza:

$$\eta(HZ775B-10) = M_{el,Rd} / M_{Ed} = 1,26 \geq 1,00$$

$$\eta(ZH9,5) = M_{el,Rd} / M_{Ed} = 3,24 \geq 1,00$$

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>Membro della Federazione CSQ <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> </div> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 84 di 110</p>
--	--	--

## 10.2 Nuovi tiranti di ancoraggio

Le nuove strutture di ancoraggio sono realizzate con tiranti a barre tipo DYWIDAG di diametro nominale  $\Phi 47$  ( $A = 1.735 \text{ mm}^2$ ), lunghezza 32 m, inclinazione  $20^\circ$  sull'orizzontale, con 16 m di parte libera e 16 m di fondazione, poste ad interasse di 1,875 m.

Le barre sono in acciaio da precompressione DYWIDAG Y1050H aventi le seguenti proprietà meccaniche dichiarate dal produttore:

- tensione caratteristica di rottura:  $f_{pk} = 1.050 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento:  $f_{pyk} = 950 \text{ N/mm}^2$

Ai fini della valutazione della resistenza di calcolo si è fatto riferimento alle caratteristiche di resistenza minime degli acciai dei tiranti in barre ricavate dalla Tabella 11.3.VII del D.M. 14/01/2008 che fornisce le proprietà meccaniche minime che devono essere garantite dal produttore:

- tensione caratteristica di rottura:  $f_{pk} = 1.000 \text{ N/mm}^2$
- tensione caratteristica di snervamento:  $f_{pyk} = 800 \text{ N/mm}^2$

Le barre sono protette nei confronti di perdite di spessore dovute ai fenomeni di corrosione con guaine.

La resistenza di calcolo a trazione dei tiranti è valutata come:

$$N_{Rd} = A \times f_{pyk} / \gamma_S = 1.207 \text{ kN}$$

dove:

- $A = 1.735 \text{ mm}^2$  è l'area della sezione trasversale;
- $f_{pyk} = 800 \text{ N/mm}^2$  è la tensione caratteristica di snervamento;
- $\gamma_S = 1,15$  è il coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio.

La massima sollecitazione agente sui tiranti, ottenuta dal modello geotecnico, si verifica nella combinazione di carico sismica SLV ed è pari a:

$$N_{Ed} = 784 \text{ kN}$$

La verifica di resistenza a trazione è pertanto soddisfatta con i seguenti coefficienti di sicurezza:

$$\eta = N_{Rd} / N_{Ed} = 1,54 \geq 1,00$$

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 85 di 110</p>
 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>		

### 10.3 Solettone

Il solettone di c.a. è stato modellato con l’ausilio del codice di calcolo agli elementi finiti SAP2000 v.19 come una piastra rettangolare di lunghezza pari a 35,625 m e di larghezza pari a 15,20 m, comprensiva della larghezza della trave esistente di coronamento del palancoato di 1,00 m e della larghezza della soletta di c.a. di nuova realizzazione di 14,20 m.

La piastra è stata vincolata in corrispondenza dei pali con molle elastiche verticali di rigidezza pari a:

- Prima fila:  $k_1 = 750.000 \text{ kN/m}$
- Seconda fila:  $k_2 = 637.500 \text{ kN/m}$
- Terza fila:  $k_3 = 712.500 \text{ kN/m}$

ed in corrispondenza del palancoato con molle elastiche verticali di rigidezza  $k_4 = 32.625 \text{ kN/m}$  disposte ad interasse di 0,50 m coerentemente con la discretizzazione della mesh.

Sulla piastra sono stati applicati i seguenti carichi:

- carico permanente strutturale dovuto alla nuova soletta di c.a.:  $g_{1k} = 25 \text{ kPa}$
- carico permanente strutturale dovuto alla trave di coronamento esistente di c.a.:  $g_{1k} = 75 \text{ kPa}$
- carico permanente portato agente solo sulla nuova soletta di c.a. (sp. 0,25 m):  $g_{2k} = 6,25 \text{ kPa}$
- sovraccarico variabile di progetto uniformemente distribuito:  $q_{1k} = 40 \text{ kPa}$ ;
- carico trasmesso dagli stabilizzatori della gru semovente di progetto su impronta di dimensioni rettangolari pari a  $1,80 \text{ m} \times 5,50 \text{ m}$  ( $q_{2k} = 2400 \text{ kN}$ ).

Il carico trasmesso dagli stabilizzatori è stato applicato ipotizzando quattro possibili linee di carico longitudinali lungo le quali gli stabilizzatori possono stazionare. Il carico è considerato alternativo a quello variabile uniformemente distribuito.

I carichi sono stati combinati agli stati limite ultimi (SLU) di tipo strutturale (STR) utilizzando i coefficienti parziali sui carichi e sui materiali della combinazione A1+M1 ed agli stati limite di esercizio (SLE) di tipo raro (RAR).

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 86 di 110</p>
--	---	--

## Soletta

Le massime sollecitazioni agenti sulla nuova soletta di c.a. si hanno in corrispondenza degli allineamenti trasversali e longitudinali dei pali individuando nelle due direzioni delle fasce trave che sono state pertanto armate come tali.

I valori massimi delle caratteristiche delle sollecitazioni per le combinazioni agli stati limite ultimi (SLU) di tipo strutturale (STR) risultanti dal modello di calcolo sono i seguenti:

- in direzione trasversale:

$$M_{11}^{\min} = -830 \text{ kNm/m}$$

$$M_{11}^{\max} = +858 \text{ kNm/m}$$

$$V_{13}^{\min} = -2.169 \text{ kN/m}$$

$$V_{13}^{\max} = +2.170 \text{ kN/m}$$

- in direzione longitudinale:

$$M_{22}^{\min} = -964 \text{ kNm/m}$$

$$M_{22}^{\max} = 609 \text{ kNm/m}$$

$$V_{23}^{\min} = -2.199 \text{ kN/m}$$

$$V_{23}^{\max} = +2.235 \text{ kN/m}$$

I valori massimi delle caratteristiche delle sollecitazioni per le combinazioni agli stati limite di esercizio (SLE) di tipo raro (RAR) risultanti dal modello di calcolo sono i seguenti:

- in direzione trasversale:

$$M_{11}^{\min} = -572 \text{ kNm/m}$$

$$M_{11}^{\max} = +587 \text{ kNm/m}$$

$$V_{13}^{\min} = -1.494 \text{ kN/m}$$

$$V_{13}^{\max} = +1.505 \text{ kN/m}$$

- in direzione longitudinale:

$$M_{22}^{\min} = -669 \text{ kNm/m}$$

$$M_{22}^{\max} = +410 \text{ kNm/m}$$

$$V_{23}^{\min} = -1.521 \text{ kN/m}$$

$$V_{23}^{\max} = 1.543 \text{ kN/m}$$



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 87 di 110</p>
--	---	--

## Collegamento trave di coronamento-soletta

Lungo la sezione di collegamento tra la trave esistente di coronamento del palancolato e la soletta di nuova realizzazione, i valori massimi delle caratteristiche delle sollecitazioni per le combinazioni agli stati limite ultimi (SLU) di tipo strutturale (STR) risultanti dal modello di calcolo sono i seguenti:

- in direzione trasversale:

$$M_{11}^{\min} = -585 \text{ kNm/m}$$

$$M_{11}^{\max} = 265 \text{ kNm/m}$$

$$V_{13}^{\min} = -389 \text{ kN/m}$$

$$V_{13}^{\max} = +247 \text{ kN/m}$$

I valori massimi delle caratteristiche delle sollecitazioni per le combinazioni agli stati limite di esercizio (SLE) di tipo raro (RAR) risultanti dal modello di calcolo sono invece i seguenti:

- in direzione trasversale:

$$M_{11}^{\min} = -401 \text{ kNm/m}$$

$$M_{11}^{\max} = 182 \text{ kNm/m}$$

$$V_{13}^{\min} = -267 \text{ kN/m}$$

$$V_{13}^{\max} = +171 \text{ kN/m}$$

## Trave di coronamento

Lungo la trave di coronamento del palancolato, i valori massimi delle caratteristiche delle sollecitazioni per le combinazioni agli stati limite ultimi (SLU) di tipo strutturale (STR) risultanti dal modello di calcolo sono i seguenti:

- in direzione longitudinale:

$$M_{22}^{\min} = -2.361 \text{ kNm/m}$$

$$M_{22}^{\max} = +2.916 \text{ kNm/m}$$

$$V_{23}^{\min} = -660 \text{ kN/m}$$

$$V_{23}^{\max} = +720 \text{ kN/m}$$

I valori massimi delle caratteristiche delle sollecitazioni per le combinazioni agli stati limite di esercizio (SLE) di tipo raro (RAR) risultanti dal modello di calcolo sono invece i seguenti:

- in direzione longitudinale:

$$M_{22}^{\min} = -1.593 \text{ kNm/m}$$

$$M_{22}^{\max} = +1.947 \text{ kNm/m}$$

$$V_{23}^{\min} = -441 \text{ kN/m}$$

$$V_{23}^{\max} = +484 \text{ kN/m}$$

## Reazioni vincolari pali e palancolato

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 88 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

Le reazioni vincolari massime sono le seguenti:

- palancoato esistente:

$$R_{SLU}^{\max} = 192 \text{ kN/m}$$

$$R_{SLE}^{\max} = 134 \text{ kN/m}$$

- pali 1° fila:

$$R_{SLU}^{\max} = 1.925 \text{ kN}$$

$$R_{SLE}^{\max} = 1.357 \text{ kN}$$

- pali 2° fila:

$$R_{SLU}^{\max} = 2.481 \text{ kN}$$

$$R_{SLE}^{\max} = 1.756 \text{ kN}$$

- pali 3° fila:

$$R_{SLU}^{\max} = 2.877 \text{ kN}$$

$$R_{SLE}^{\max} = 1.989 \text{ kN}$$

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 89 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

## 10.3.1 Verifiche agli stati limite

### 10.3.1.1 Soletta

#### Caratteristiche di resistenza delle sezioni

Nel seguito sono riportate le verifiche agli stati limite della soletta di nuova realizzazione per le combinazioni di carico più gravose. Le massime sollecitazioni agenti si hanno in corrispondenza degli allineamenti trasversali e longitudinali dei pali individuando nelle due direzioni delle fasce trave che sono state pertanto armate come tali.

Le caratteristiche di resistenza delle sezioni utilizzate ai fini della verifica sono le seguenti:

- Larghezza:  $B = 1,00$  m
- Altezza:  $H = 1,00$  m
- Ricoprimento longitudinale:  $c = 0,040$  m
- Ricoprimento trasversale:  $c = 0,064$  m
- Armatura superiore in entrambe le direzioni:  $A_{sup} = 45,2$  cm<sup>2</sup> (10Φ24)
- Armatura inferiore in entrambe le direzioni:  $A_{inf} = 45,2$  cm<sup>2</sup> (10Φ24)
- Staffe a 4 braccia: St. Φ16/20

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 90 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

### Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati delle verifiche di resistenza della soletta di nuova realizzazione nei confronti delle sollecitazioni flettenti e taglianti. Le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) sono soddisfatte rispetto ai seguenti limiti normativi:

$$\eta = R_d/E_d \geq 1,00$$

**Tabella 28 – Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi: flessione**

SOLLECITAZIONI	B	H	c	Armatura superiore			$\Delta p_{sup}$	Armatura inferiore			$M_{Ed}$	$M_{Rd}$	$M_{Rd}/M_{Ed}$	
				Correnti				Correnti						m
	[mm]	[mm]	[mm]				[mm]				kNm	kNm	-	
$M_{11}^{min}$	1000	1000	64	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	-830,00	1560,27	1,88
$M_{11}^{max}$	1000	1000	64	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	+858,00	1560,27	1,82
$M_{22}^{min}$	1000	1000	40	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	-964,00	1613,92	1,67
$M_{22}^{max}$	1000	1000	40	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	+609,00	1613,92	2,65

**Tabella 29 – Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi: taglio**

SOLETTA	$b_w$	h	c	$\Phi_{st}$	$\Phi_{sw}$	$n_b$	s	$\alpha$	$V_{Rd}$	$V_{Ed}$	$\eta$
	mm	mm	mm	mm	mm	-	mm	°	kN	kN	-
$V_{13}^{min}$	1000	1000	64	24	16	4,00	200	90	3034,62	-2169	1,40
$V_{13}^{max}$	1000	1000	64	24	16	4,00	200	90	3034,62	2170	1,40
$V_{23}^{min}$	1000	1000	40	24	16	4,00	200	90	3113,44	-2199	1,42
$V_{23}^{max}$	1000	1000	40	24	16	4,00	200	90	3113,44	2235	1,39

### Verifiche agli stati limite di esercizio

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle verifiche agli stati limite di esercizio della soletta di nuova realizzazione nei confronti dell'apertura delle fessure e delle tensioni di esercizio. Le verifiche risultano soddisfatte rispetto ai seguenti limiti normativi:

- Combinazione Rara:

$$\sigma_c = \leq 0.60 \times f_{ck} = 224,1 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \leq 0.80 \times f_{yk} = 3600 \text{ daN/cm}^2$$

- Combinazione Frequente:

$$w_k = 0,2 \text{ mm}$$

- Combinazione Quasi permanente:

$$\sigma_c = 14,4 \text{ daN/cm}^2 \leq 0,45 \times f_{ck} = 168,1 \text{ daN/cm}^2$$

$$w_k = 0,2 \text{ mm}$$

**Tabella 30 – Verifiche agli stati limite di esercizio**

SOLETTA	B	H	c	Armatura superiore			Armatura inferiore			M <sub>Ek</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>s,sup</sub>	σ <sub>s,inf</sub>	w <sub>k</sub>
				Correnti	Δp <sub>sup</sub>	mm	Correnti	Δp <sub>inf</sub>	m					
M <sub>11</sub> <sup>min</sup>	1000	1000	64	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	-572	6,10	-147,0	21,8	-
M <sub>11</sub> <sup>max</sup>	1000	1000	64	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	+587	6,26	22,4	-150,9	-
M <sub>22</sub> <sup>min</sup>	1000	1000	40	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	-669	6,69	-166,6	29,2	-
M <sub>22</sub> <sup>max</sup>	1000	1000	40	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	+410	4,10	17,9	-102,1	-
M <sub>11</sub> <sup>min</sup>	1000	1000	64	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	-572	-	-	-	0,000
M <sub>11</sub> <sup>max</sup>	1000	1000	64	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	+587	-	-	-	0,000
M <sub>22</sub> <sup>min</sup>	1000	1000	40	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	-669	-	-	-	0,123
M <sub>22</sub> <sup>max</sup>	1000	1000	40	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	+410	-	-	-	0,000
M <sub>11</sub> <sup>min</sup>	1000	1000	64	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	-572	3,86	-	-	0,000
M <sub>11</sub> <sup>max</sup>	1000	1000	64	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	+587	3,96	-	-	0,000
M <sub>22</sub> <sup>min</sup>	1000	1000	40	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	-669	4,20	-	-	0,123
M <sub>22</sub> <sup>max</sup>	1000	1000	40	10	Φ 24	100	10	Φ 24	100	+410	2,57	-	-	0,000



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 92 di 110</p>
--	---	--

### 10.3.1.2 Collegamento trave coronamento-soletta

#### Caratteristiche di resistenza delle sezioni

Ai fini delle verifiche le caratteristiche di resistenza della sezione di collegamento della soletta di nuova realizzazione sono le seguenti:

- Larghezza:  $B = 1,00$  m
- Altezza:  $H = 1,00$  m
- Ricoprimento trasversale:  $c = 0,064$  m
- Armatura superiore:  $A_{sup} = 22,6 \text{ cm}^2$  (5 $\Phi$ 24)
- Armatura inferiore:  $A_{inf} = 22,6 \text{ cm}^2$  (5 $\Phi$ 24)
- Staffe a 4 braccia: St.  $\Phi$ 16/20

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p>Membro della Federazione CSO <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 93 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

### Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati delle verifiche di resistenza della sezione di collegamento della soletta nei confronti delle sollecitazioni flettenti e taglianti. Le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) sono soddisfatte rispetto ai seguenti limiti normativi:

$$\eta = R_d/E_d \geq 1,00$$

**Tabella 31 – Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi: flessione**

SOLLECITAZIONI	B	H	c	Armatura superiore			$\Delta p_{sup}$	Armatura inferiore			$\Delta p_{inf}$	$M_{Ed}$	$M_{Rd}$	$M_{Rd}/M_{Ed}$
	[mm]	[mm]	[mm]	Correnti			[mm]	Correnti			m	kNm	kNm	-
$M_{11}^{min}$	1000	1000	64	5	Φ	24	200	5	Φ	24	200	-585,00	805,52	1,38
$M_{11}^{max}$	1000	1000	64	5	Φ	24	200	5	Φ	24	200	+265,00	805,52	3,04

**Tabella 32 – Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi: taglio**

SOLL.	$b_w$	h	c	$\Phi_{st}$	$\Phi_{sw}$	$n_b$	s	$\alpha$	$V_{Rd}$	$V_{Ed}$	$\eta$
-	mm	mm	mm	mm	mm	-	mm	°	kN	kN	-
$V_{13}^{min}$	1000	1000	64	32	16	4,00	200	90	3021,49	-389	7,77
$V_{13}^{max}$	1000	1000	64	32	16	4,00	200	90	3021,49	247	12,23

### Verifiche agli stati limite di esercizio

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle verifiche agli stati limite di esercizio della soletta nei confronti dell’apertura delle fessure e delle tensioni di esercizio. Le verifiche risultano soddisfatte rispetto ai seguenti limiti normativi:

- Combinazione Rara:

$$\sigma_c = \leq 0.60 \times f_{ck} = 224,1 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \leq 0.80 \times f_{yk} = 3600 \text{ daN/cm}^2$$

- Combinazione Frequente:

$$w_k = 0,2 \text{ mm}$$

- Combinazione Quasi permanente:

$$\sigma_c = 14,4 \text{ daN/cm}^2 \leq 0,45 \times f_{ck} = 168,1 \text{ daN/cm}^2$$

$$w_k = 0,2 \text{ mm}$$

**Tabella 33 – Verifiche agli stati limite di esercizio**

SOLL.	B	H	c	Armatura superiore			$\Delta p_{sup}$	Armatura inferiore			$\Delta p_{inf}$	$M_{Ek}$	$\sigma_c$	$\sigma_{s,sup}$	$\sigma_{s,inf}$	$w_k$
	[mm]	[mm]	[mm]	Correnti			[mm]	Correnti			m	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]
$M_{11}^{min}$	1000	1000	64	5	Φ	24	200	5	Φ	24	200	-401	5,99	-202,7	16,7	-
$M_{11}^{max}$	1000	1000	64	5	Φ	24	200	5	Φ	24	200	+182	2,72	7,6	-92,0	-
$M_{11}^{min}$	1000	1000	64	5	Φ	24	200	5	Φ	24	200	-401	-	-	-	0,000
$M_{11}^{max}$	1000	1000	64	5	Φ	24	200	5	Φ	24	200	+182	-	-	-	0,000
$M_{11}^{min}$	1000	1000	64	5	Φ	24	200	5	Φ	24	200	-401	3,85	-	-	0,000
$M_{11}^{max}$	1000	1000	64	5	Φ	24	200	5	Φ	24	200	+182	1,75	-	-	0,000

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 95 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

### 10.3.1.3 Trave di coronamento

#### Caratteristiche di resistenza delle sezioni

Ai fini delle verifiche le caratteristiche di resistenza della sezione della trave di coronamento sono le seguenti:

- Larghezza:  $B = 1,00$  m
- Altezza:  $H = 3,00$  m
- Ricoprimento trasversale:  $c = 0,056$  m
- Armatura superiore:  $A_{sup} = 27,1$  cm<sup>2</sup> (6Φ24)
- Armatura inferiore:  $A_{inf} = 27,1$  cm<sup>2</sup> (6Φ24)
- Staffe a 4 braccia: St. Φ16/20

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</p>		 <p>Membro della Federazione CSO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 96 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>		

### Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati delle verifiche di resistenza della sezione della trave di coronamento nei confronti delle sollecitazioni flettenti e taglianti. Le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) sono soddisfatte rispetto ai seguenti limiti normativi:

$$\eta = R_d/E_d \geq 1,00$$

**Tabella 34 – Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi: flessione**

SOLLECITAZIONI	B	H	c	Armatura superiore			$\Delta p_{sup}$	Armatura inferiore			$\Delta p_{inf}$	$M_{Ed}$	$M_{Rd}$	$M_{Rd}/M_{Ed}$
	[mm]	[mm]	[mm]	Correnti			[mm]	Correnti			m	kNm	kNm	-
$M_{22}^{min}$	1000	3000	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	-2.361	3088	1,31
$M_{22}^{max}$	1000	3000	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	+2.916	3088	1,06

**Tabella 35 – Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi: taglio**

SOLETTA	$b_w$	h	c	$\Phi_{st}$	$\Phi_{sw}$	$n_b$	s	$\alpha$	$V_{Rd}$	$V_{Ed}$	$\eta$
-	mm	mm	mm	mm	mm	-	mm	°	kN	kN	-
$V_{23}^{min}$	1000	3000	56	24	16	4,00	200	90	9.629	-660	14,59
$V_{23}^{max}$	1000	3000	56	24	16	4,00	200	90	9.629	720	13,37



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</p>		 <p>Membro della Federazione CSO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 97 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>		

### Verifiche agli stati limite di esercizio

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle verifiche agli stati limite di esercizio della trave di coronamento nei confronti dell'apertura delle fessure e delle tensioni di esercizio. Le verifiche risultano soddisfatte rispetto ai seguenti limiti normativi:

- Combinazione Rara:

$$\sigma_c = \leq 0.60 \times f_{ck} = 224,1 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \leq 0.80 \times f_{yk} = 3600 \text{ daN/cm}^2$$

- Combinazione Frequente:

$$w_k = 0,2 \text{ mm}$$

- Combinazione Quasi permanente:

$$\sigma_c = 14,4 \text{ daN/cm}^2 \leq 0,45 \times f_{ck} = 168,1 \text{ daN/cm}^2$$

$$w_k = 0,2 \text{ mm}$$

**Tabella 36 – Verifiche agli stati limite di esercizio**

SOLL.	B	H	c	Armatura superiore			Armatura inferiore			M <sub>Ek</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>s,sup</sub>	σ <sub>s,inf</sub>	w <sub>k</sub>		
				Correnti	Δp <sub>sup</sub>	[mm]	Correnti	Δp <sub>inf</sub>	m							
M <sub>22</sub> <sup>min</sup>	[mm] 1000	[mm] 3000	[mm] 56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	-1.593	3,64	-206,7	16,8	-
M <sub>22</sub> <sup>max</sup>	1000	3000	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	+1.947	4,45	20,5	-252,6	-
M <sub>22</sub> <sup>min</sup>	1000	3000	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	-1.593	-	-	-	0,000
M <sub>22</sub> <sup>max</sup>	1000	3000	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	+1.947	-	-	-	0,000
M <sub>22</sub> <sup>min</sup>	1000	3000	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	-1.593	2,33	-	-	0,000
M <sub>22</sub> <sup>max</sup>	1000	3000	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	+1.947	2,85	-	-	0,000

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 98 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

## 10.4 Pali

I pali di fondazione del solettone a tergo della palanca sono disposti su tre allineamenti:

- FILA 1: allineamento lato mare, a tergo della paratia metallica,  $\varnothing 1200$ , interasse 3,75 m, estesi fino a -35 m da l.m.m.;
- FILA 2: allineamento intermedio, a 7,60 m da asse palanca,  $\varnothing 1000$ , interasse 3,75 m, estesi fino a -35 m da l.m.m.;
- FILA 3: allineamento lato terra, a 13,60 m da asse palanca,  $\varnothing 1000$ , interasse 3,75 m, estesi fino a -35 m da l.m.m.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati delle verifiche di resistenza dei pali nei confronti delle sollecitazioni flettenti. Le verifiche sono state eseguite con riferimento alla combinazione sismica che è risulta essere la più gravosa per i pali.

Le verifiche agli stati limite ultimi (SLU) sono soddisfatte rispetto ai seguenti limiti normativi:

$$\eta = R_d/E_d \geq 1,00$$

Le verifiche sono state eseguite con l'ausilio del codice di calcolo PresFLE+ della Concrete S.r.l.

**Tabella 37 – 1° fila di pali: verifiche di resistenza agli stati limite ultimi (pressoflessione)**

N.	Quota	Armatura	My(daN*cm)	N(daN)	Myu(daN*cm)	Nu(daN)	CS,Ncost
1	0,00	32Φ22	-4533064,7	-182493,7	-28682443,3	-182493,7	6.327>1
2	-0,17	32Φ22	-5173086,7	-182995,9	-28697601,1	-182995,9	5.547>1
3	-0,33	32Φ22	-5810261,9	-183502,6	-28712893,2	-183502,6	4.942>1
4	-0,50	32Φ22	-6443002,6	-184018,3	-28728458,4	-184018,3	4.459>1
5	-0,67	32Φ22	-7069694,3	-184556,0	-28744690,4	-184556,0	4.066>1
6	-0,67	32Φ22	-7069694,3	-184547,6	-28744436,0	-184547,6	4.066>1
7	-0,97	32Φ22	-8172741,8	-185689,0	-28778888,5	-185689,0	3.521>1
8	-1,27	32Φ22	-9249842,1	-186905,9	-28815618,3	-186905,9	3.115>1
9	-1,56	32Φ22	-10299963,3	-188195,8	-28854550,9	-188195,8	2.801>1
10	-1,86	32Φ22	-11322188,7	-189547,8	-28895357,5	-189547,8	2.552>1
11	-1,86	32Φ22	-11322188,7	-189522,9	-28894607,2	-189522,9	2.552>1
12	-2,40	32Φ22	-13087612,7	-191989,3	-28969052,3	-191989,3	2.213>1
13	-2,93	32Φ22	-14780416,5	-194467,9	-29043863,9	-194467,9	1.965>1
14	-3,47	32Φ22	-16407977,6	-196936,4	-29118372,7	-196936,4	1.775>1
15	-4,00	32Φ22	-17977600,7	-199344,6	-29191058,7	-199344,6	1.624>1
16	-4,00	32Φ22	-17977600,7	-199372,8	-29191909,9	-199372,8	1.624>1
17	-4,51	32Φ22	-19374352,9	-201529,3	-29256999,6	-201529,3	1.51>1
18	-5,01	32Φ22	-20648430,6	-203748,3	-29323978,3	-203748,3	1.42>1
19	-5,52	32Φ22	-21806844,4	-205982,3	-29391408,2	-205982,3	1.348>1
20	-6,02	32Φ22	-22856506,0	-208174,8	-29457584,0	-208174,8	1.289>1
21	-6,02	32Φ22	-22856506,0	-208211,9	-29458702,9	-208211,9	1.289>1
22	-6,52	32Φ22	-23792014,4	-210366,8	-29523746,8	-210366,8	1.241>1
23	-7,02	32Φ22	-24627788,5	-212646,1	-29592541,9	-212646,1	1.202>1
24	-7,52	32Φ22	-25358282,3	-215022,1	-29664259,7	-215022,1	1.17>1
25	-8,02	32Φ22	-25977726,2	-217504,7	-29739190,4	-217504,7	1.145>1
26	-8,02	32Φ22	-25977726,2	-217568,7	-29741122,2	-217568,7	1.145>1
27	-8,52	32Φ22	-26471532,1	-220313,0	-29823955,5	-220313,0	1.127>1
28	-9,01	32Φ22	-26839097,3	-223376,2	-29916414,4	-223376,2	1.115>1
29	-9,51	32Φ22	-27057335,4	-226736,9	-30017851,6	-226736,9	1.109>1
30	-10,00	32Φ22	-27102055,3	-230198,2	-30122322,8	-230198,2	1.111>1
31	-10,00	32Φ22	-27102055,3	-230373,7	-30127620,0	-230373,7	1.112>1
32	-10,62	32Φ22	-26967581,3	-234781,5	-30260664,2	-234781,5	1.122>1
33	-11,23	32Φ22	-26694928,9	-239062,1	-30389866,2	-239062,1	1.138>1
34	-11,85	32Φ22	-26263476,9	-243088,9	-30511407,6	-243088,9	1.162>1
35	-12,46	32Φ22	-25652707,3	-246910,8	-30626766,8	-246910,8	1.194>1
36	-12,46	32Φ22	-25652707,3	-246960,0	-30628251,8	-246960,0	1.194>1
37	-13,08	32Φ22	-24839232,9	-250816,1	-30744642,5	-250816,1	1.238>1
38	-13,70	32Φ22	-23808500,9	-254567,8	-30857881,3	-254567,8	1.296>1
39	-14,32	32Φ22	-22550343,2	-258206,0	-30967691,7	-258206,0	1.373>1
40	-14,94	32Φ22	-21054916,5	-261721,3	-31073797,3	-261721,3	1.476>1
41	-14,94	32Φ22	-21054916,5	-261696,4	-31073046,1	-261696,4	1.476>1
42	-15,57	32Φ22	-19308649,9	-265055,4	-31174432,2	-265055,4	1.615>1
43	-16,19	32Φ22	-17318505,6	-268179,8	-31268736,5	-268179,8	1.806>1
44	-16,81	32Φ22	-15093581,9	-271058,6	-31355628,3	-271058,6	2.077>1
45	-17,44	32Φ22	-12643333,1	-273680,9	-31434777,5	-273680,9	2.486>1
46	-17,44	32Φ22	-12643333,1	-273655,3	-31434005,4	-273655,3	2.486>1
47	-18,06	32Φ22	-9967334,0	-275987,3	-31504391,5	-275987,3	3.161>1
48	-18,69	32Φ22	-7096728,2	-277954,7	-31563775,4	-277954,7	4.448>1
49	-19,32	32Φ22	-4062097,1	-279547,3	-31611845,1	-279547,3	7.782>1
50	-19,94	32Φ22	-894523,1	-280754,7	-31648288,5	-280754,7	35.38>1
51	-19,94	32Φ22	-894523,1	-280718,7	-31647202,5	-280718,7	35.379>1
52	-20,57	32Φ22	2384897,1	-281503,6	31670891,9	-281503,6	13.28>1

53	-21,20	32Φ22	5713102,2	-281746,5	31678222,8	-281746,5	5.545>1
54	-21,83	32Φ22	9023452,4	-281428,3	31668619,4	-281428,3	3.51>1
55	-22,46	32Φ22	12248301,2	-280530,0	31641506,9	-280530,0	2.583>1
56	-22,46	32Φ22	12248301,2	-280444,8	31638933,8	-280444,8	2.583>1
57	-23,10	32Φ22	15303638,6	-278725,6	31587044,4	-278725,6	2.064>1
58	-23,73	32Φ22	18042857,5	-276131,6	31508747,2	-276131,6	1.746>1
59	-24,37	32Φ22	20323650,2	-272592,6	31401929,3	-272592,6	1.545>1
60	-25,00	32Φ22	22002789,2	-267862,8	31259167,5	-267862,8	1.421>1
61	-25,00	32Φ22	22002789,2	-268038,7	31264477,6	-268038,7	1.421>1
62	-25,50	32Φ22	22707033,7	-259461,1	31005576,0	-259461,1	1.365>1
63	-26,00	32Φ22	22778004,9	-250976,9	30749493,8	-250976,9	1.35>1
64	-26,50	32Φ22	22323798,3	-242400,8	30490638,7	-242400,8	1.366>1
65	-27,00	32Φ22	21451997,5	-234067,1	30239100,3	-234067,1	1.41>1
66	-27,00	32Φ22	21451997,5	-233723,4	30228727,2	-233723,4	1.409>1
67	-27,71	32Φ22	19704091,7	-224195,1	29941130,0	-224195,1	1.52>1
68	-28,43	32Φ22	17555212,7	-213898,4	29630340,8	-213898,4	1.688>1
69	-29,14	32Φ22	15138207,0	-203154,2	29306045,8	-203154,2	1.936>1
70	-29,86	32Φ22	12584664,0	-192185,0	28974958,3	-192185,0	2.302>1
71	-29,86	32Φ22	12584664,0	-191939,8	28967557,9	-191939,8	2.302>1
72	-31,14	32Φ22	8000699,9	-169706,9	28296494,5	-169706,9	3.537>1
73	-32,43	32Φ22	3936107,4	-146429,9	27593915,5	-146429,9	7.01>1
74	-33,71	32Φ22	1046999,2	-122830,8	26881616,5	-122830,8	25.675>1
75	-35,00	32Φ22	0,0	-99386,6	0,0	-99386,6	-

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 101 di 110</p>
--	---	---

**Tabella 38 – 2°/3° fila di pali: verifiche di resistenza agli stati limite ultimi (pressoflessione)**

N.	Quota	My(daN*cm)	N(daN)	Myu(daN*cm)	Nu(daN)	CS,Ncost
1	0,00	-5234340	-104214	-16579953,0	-104214,0	3.168>1
2	-0,18	-5530529	-104605	-16589781,1	-104605,0	3>1
3	-0,36	-5823007	-104996	-16599609,3	-104996,0	2.851>1
4	-0,55	-6110419	-105393	-16609588,3	-105393,0	2.718>1
5	-0,73	-6391408	-105798	-16619768,4	-105798,0	2.6>1
6	-0,73	-6391408	-105815	-16620195,7	-105815,0	2.6>1
7	-0,95	-6723792	-106331	-16633165,9	-106331,0	2.474>1
8	-1,17	-7046531	-106871	-16646739,4	-106871,0	2.362>1
9	-1,39	-7359757	-107437	-16660966,4	-107437,0	2.264>1
10	-1,62	-7663604	-108028	-16675821,8	-108028,0	2.176>1
11	-1,62	-7663604	-108028	-16695126,3	-108796,0	2.176>1
12	-1,88	-8020890	-108796	-16715385,9	-109602,0	2.081>1
13	-2,15	-8366083	-109602	-16736525,3	-110443,0	1.998>1
14	-2,42	-8699854	-110443	-16758519,3	-111318,0	1.924>1
15	-2,69	-9022877	-111318	-16758393,7	-111313,0	1.857>1
16	-2,69	-9022877	-111313	-16785993,0	-112411,0	1.857>1
17	-3,02	-9402250	-112411	-16814245,9	-113535,0	1.785>1
18	-3,35	-9768891	-113535	-16843051,8	-114681,0	1.721>1
19	-3,67	-10124224	-114681	-16872285,0	-115844,0	1.664>1
20	-4,00	-10469678	-115844	-16872134,2	-115838,0	1.612>1
21	-4,00	-10469678	-115838	-16906520,3	-117206,0	1.612>1
22	-4,38	-10843457	-117206	-16942490,0	-118637,0	1.559>1
23	-4,75	-11185058	-118637	-16980143,8	-120135,0	1.515>1
24	-5,13	-11495897	-120135	-17019531,9	-121702,0	1.477>1
25	-5,50	-11777298	-121702	-17019833,6	-121714,0	1.445>1
26	-5,50	-11777298	-121714	-17061534,2	-123373,0	1.445>1
27	-5,88	-12029439	-123373	-17105472,0	-125121,0	1.418>1
28	-6,25	-12252582	-125121	-17151621,8	-126957,0	1.396>1
29	-6,63	-12445956	-126957	-17199958,4	-128880,0	1.378>1
30	-7,00	-12608763	-128880	-17200134,3	-128887,0	1.364>1
31	-7,00	-12608763	-128887	-17251411,8	-130927,0	1.364>1
32	-7,38	-12739786	-130927	-17305781,1	-133090,0	1.354>1
33	-7,75	-12837601	-133090	-17363242,0	-135376,0	1.348>1
34	-8,13	-12899516	-135376	-17423744,5	-137783,0	1.346>1
35	-8,50	-12922773	-137783	-17424548,8	-137815,0	1.348>1
36	-8,50	-12922773	-137815	-17486660,0	-140286,0	1.348>1
37	-8,88	-12903032	-140286	-17553873,7	-142960,0	1.355>1
38	-9,25	-12835354	-142960	-17626969,3	-145868,0	1.368>1
39	-9,63	-12710147	-145868	-17706625,4	-149037,0	1.387>1
40	-10,00	-12517555	-149037	-17708334,7	-149105,0	1.415>1
41	-10,00	-12517555	-149105	-17755540,1	-150983,0	1.415>1
42	-10,34	-12297216	-150983	-17802318,3	-152844,0	1.444>1
43	-10,68	-12057274	-152844	-17848694,3	-154689,0	1.476>1
44	-11,02	-11797252	-154689	-17894693,2	-156519,0	1.513>1
45	-11,36	-11516671	-156519	-17894718,4	-156520,0	1.554>1
46	-11,36	-11516671	-156520	-17940566,5	-158344,0	1.554>1
47	-11,70	-11214791	-158344	-17986062,7	-160154,0	1.6>1
48	-12,05	-10890761	-160154	-18031207,0	-161950,0	1.651>1
49	-12,39	-10543990	-161950	-18075898,9	-163728,0	1.71>1
50	-12,73	-10173879	-163728	-18075949,2	-163730,0	1.777>1
51	-12,73	-10173879	-163730	-18120138,3	-165488,0	1.777>1
52	-13,07	-9779557	-165488	-18163724,2	-167222,0	1.853>1

53	-13,41	-9360121	-167222	-18206606,3	-168928,0	1.941>1
54	-13,75	-8915333	-168928	-18248633,7	-170600,0	2.042>1
55	-14,09	-8444965	-170600	-18248709,1	-170603,0	2.161>1
56	-14,09	-8444965	-170603	-18289756,3	-172236,0	2.161>1
57	-14,43	-7948745	-172236	-18329772,8	-173828,0	2.301>1
58	-14,77	-7426439	-173828	-18368582,9	-175372,0	2.468>1
59	-15,11	-6878666	-175372	-18406161,2	-176867,0	2.67>1
60	-15,45	-6306055	-176867	-18406085,8	-176864,0	2.919>1
61	-15,45	-6306055	-176864	-18442281,7	-178304,0	2.919>1
62	-15,80	-5709117	-178304	-18476894,0	-179681,0	3.23>1
63	-16,14	-5088401	-179681	-18509872,5	-180993,0	3.631>1
64	-16,48	-4445424	-180993	-18541217,2	-182240,0	4.164>1
65	-16,82	-3781712	-182240	-18541141,7	-182237,0	4.903>1
66	-16,82	-3781712	-182237	-18570626,3	-183410,0	4.903>1
67	-17,16	-3098588	-183410	-18598125,1	-184504,0	5.993>1
68	-17,50	-2397430	-184504	-18623537,7	-185515,0	7.758>1
69	-17,84	-1680678	-185515	-18646788,5	-186440,0	11.081>1
70	-18,18	-950786	-186440	-18646863,9	-186443,0	19.612>1
71	-18,18	-950786	-186443	-18667852,5	-187278,0	19.612>1
72	-18,52	-209969	-187278	18686453,2	-188018,0	88.908>1
73	-18,86	539456	-188018	18700663,0	-188659,0	34.639>1
74	-19,20	1294040	-188659	18711150,3	-189200,0	14.451>1
75	-19,55	2050315	-189200	18711092,1	-189197,0	9.126>1
76	-19,55	2050315	-189197	18719505,2	-189631,0	9.126>1
77	-19,89	2805057	-189631	18725708,3	-189951,0	6.673>1
78	-20,23	3554895	-189951	18729701,6	-190157,0	5.268>1
79	-20,57	4295298	-190157	18731485,0	-190249,0	4.361>1
80	-20,91	5021715	-190249	18731446,3	-190247,0	3.73>1
81	-20,91	5021715	-190247	18730884,1	-190218,0	3.73>1
82	-21,25	5729883	-190218	18727957,0	-190067,0	3.269>1
83	-21,59	6415382	-190067	18722684,3	-189795,0	2.919>1
84	-21,93	7073155	-189795	18715046,6	-189401,0	2.647>1
85	-22,27	7698143	-189401	18715007,9	-189399,0	2.431>1
86	-22,27	7698143	-189399	18704985,9	-188882,0	2.431>1
87	-22,61	8285858	-188882	18691882,5	-188234,0	2.257>1
88	-22,95	8831688	-188234	18672301,6	-187455,0	2.116>1
89	-23,30	9330768	-187455	18649402,6	-186544,0	2.001>1
90	-23,64	9778242	-186544	18648925,1	-186525,0	1.907>1
91	-23,64	9778242	-186525	18622758,4	-185484,0	1.907>1
92	-23,98	10169817	-185484	18591438,9	-184238,0	1.831>1
93	-24,32	10501042	-184238	18554740,3	-182778,0	1.77>1
94	-24,66	10765444	-182778	18512461,5	-181096,0	1.724>1
95	-25,00	10956471	-181096	18511858,3	-181072,0	1.69>1
96	-25,00	10956471	-181072	18367853,9	-175343,0	1.69>1
97	-25,50	11036878	-175343	18220808,1	-169493,0	1.664>1
98	-26,00	10869020	-169493	18070846,5	-163527,0	1.676>1
99	-26,50	10498701	-163527	17918019,5	-157447,0	1.721>1
100	-27,00	9971372	-157447	17917793,2	-157438,0	1.797>1
101	-27,00	9971372	-157438	17837659,6	-154250,0	1.797>1
102	-27,33	9556922	-154250	17755565,3	-150984,0	1.866>1
103	-27,67	9107004	-150984	17671560,6	-147642,0	1.95>1
104	-28,00	8627612	-147642	17585670,8	-144225,0	2.048>1
105	-28,33	8124716	-144225	17585494,9	-144218,0	2.164>1
106	-28,33	8124716	-144218	17497393,1	-140713,0	2.164>1
107	-28,66	7602986	-140713	17406727,4	-137106,0	2.301>1



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	<p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 103 di 110</p>

108	-29,00	7067468	-137106	17313548,1	-133399,0	2.463>1
109	-29,33	6523010	-133399	17217855,2	-129592,0	2.654>1
110	-29,66	5974444	-129592	17217679,3	-129585,0	2.882>1
111	-29,66	5974444	-129585	17119070,6	-125662,0	2.882>1
112	-30,00	5425459	-125662	17017169,1	-121608,0	3.155>1
113	-30,33	4880295	-121608	16912025,1	-117425,0	3.487>1
114	-30,66	4343211	-117425	16803638,5	-113113,0	3.894>1
115	-31,00	3818459	-113113	16803437,4	-113105,0	4.401>1
116	-31,00	3818459	-113105	16691381,0	-108647,0	4.401>1
117	-31,33	3309424	-108647	16575327,9	-104030,0	5.044>1
118	-31,66	2820146	-104030	16455253,1	-99253,0	5.877>1
119	-32,00	2354898	-99253	16331282,2	-94321,0	6.988>1
120	-32,33	1917963	-94321	16331131,4	-94315,0	8.515>1
121	-32,33	1917963	-94315	16202761,6	-89208,0	8.515>1
122	-32,66	1513165	-89208	16069817,1	-83919,0	10.708>1
123	-33,00	1145030	-83919	15932398,4	-78452,0	14.034>1
124	-33,33	818605	-78452	15790580,9	-72810,0	19.463>1
125	-33,66	538964	-72810	15792139,4	-72872,0	29.298>1
126	-33,66	538964	-72872	15646425,8	-67075,0	29.301>1
127	-34,00	311373	-67075	15500938,4	-61287,0	50.25>1
128	-34,33	141785	-61287	15334855,0	-55560,0	109.327>1
129	-34,67	36049	-55560	0,0	-49957,0	425.389>1
130	-35,00	0	-49957			-

Nella tabella seguente sono riportati i risultati delle verifiche agli stati limite di esercizio dei pali nei confronti delle tensioni di esercizio. Le verifiche risultano soddisfatte rispetto ai seguenti limiti normativi:

- Combinazione Rara:

$$\sigma_c = \leq 0,60 \times f_{ck} = 224,1 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_a = \leq 0,80 \times f_{yk} = 3600 \text{ daN/cm}^2$$

- Combinazione Quasi permanente:

$$\sigma_c = 14,4 \text{ daN/cm}^2 \leq 0,45 \times f_{ck} = 168,1 \text{ daN/cm}^2$$

**Tabella 39 – 1° fila di pali: verifiche agli stati limite di esercizio (tensioni di esercizio)**

N.	Quota	Armatura	My(daN*cm)	N(daN)	sc,max(daN/cm <sup>2</sup> )	sf,max(daN/cm <sup>2</sup> )
1	0,00	32Φ22	-1944957	-161570	-21.6<168	-63<3600
2	-0,17	32Φ22	-2163255	-162059	-22.7<168	-49.8<3600
3	-0,33	32Φ22	-2381857	-162582	-23.7<168	-36.7<3600
4	-0,50	32Φ22	-2600543	-163143	-24.8<168	-23.6<3600
5	-0,67	32Φ22	-2819097	-163740	-25.9<168	-10.3<3600
6	-0,67	32Φ22	-2819097	-163745	-25.9<168	-10.3<3600
7	-0,97	32Φ22	-3209099	-164862	-27.9<168	15.4<3600
8	-1,27	32Φ22	-3596739	-166029	-30.1<168	44.6<3600
9	-1,56	32Φ22	-3980911	-167237	-32.4<168	77.7<3600
10	-1,86	32Φ22	-4360553	-168482	-34.8<168	114.7<3600
11	-1,86	32Φ22	-4360553	-168481	-34.8<168	114.7<3600
12	-2,40	32Φ22	-5028939	-170711	-39.4<168	190.5<3600
13	-2,93	32Φ22	-5683488	-173014	-44.1<168	276.9<3600
14	-3,47	32Φ22	-6323935	-175395	-49<168	371.6<3600
15	-4,00	32Φ22	-6950033	-177873	-53.9<168	471.8<3600
16	-4,00	32Φ22	-6950033	-177854	-53.9<168	471.9<3600
17	-4,51	32Φ22	-7517332	-179912	-58.5<168	569.5<3600
18	-5,01	32Φ22	-8046402	-181953	-62.8<168	663.9<3600
19	-5,52	32Φ22	-8536613	-184004	-66.8<168	753.5<3600
20	-6,02	32Φ22	-8987337	-186110	-70.5<168	836.5<3600
21	-6,02	32Φ22	-8987337	-186076	-70.5<168	836.7<3600
22	-6,52	32Φ22	-9392728	-188326	-73.8<168	910.6<3600
23	-7,02	32Φ22	-9757796	-190699	-76.8<168	975.8<3600
24	-7,52	32Φ22	-10077673	-193237	-79.5<168	1030.6<3600
25	-8,02	32Φ22	-10347479	-195947	-81.6<168	1073.6<3600
26	-8,02	32Φ22	-10347479	-195987	-81.6<168	1073.3<3600
27	-8,52	32Φ22	-10559846	-198774	-83.4<168	1103.1<3600
28	-9,01	32Φ22	-10713228	-201705	-84.6<168	1118.8<3600
29	-9,51	32Φ22	-10793965	-204786	-85.2<168	1117.5<3600
30	-10,00	32Φ22	-10787674	-207925	-85<168	1096.6<3600
31	-10,00	32Φ22	-10787674	-208026	-85<168	1096<3600
32	-10,62	32Φ22	-10675615	-210013	-84<168	1059.3<3600
33	-11,23	32Φ22	-10491633	-212093	-82.4<168	1006.8<3600
34	-11,85	32Φ22	-10227239	-214172	-80.2<168	938.2<3600
35	-12,46	32Φ22	-9874093	-216260	-77.2<168	852.6<3600
36	-12,46	32Φ22	-9874093	-216256	-77.2<168	852.6<3600
37	-13,08	32Φ22	-9422245	-218423	-73.4<168	749.5<3600
38	-13,70	32Φ22	-8865913	-220562	-68.9<168	631.2<3600
39	-14,32	32Φ22	-8200401	-222662	-63.6<168	501.3<3600
40	-14,94	32Φ22	-7421141	-224712	-57.6<168	365.7<3600
41	-14,94	32Φ22	-7421141	-224682	-57.6<168	365.8<3600
42	-15,57	32Φ22	-6521490	-226612	-51.2<168	232.7<3600
43	-16,19	32Φ22	-5506015	-228356	-44.7<168	113<3600
44	-16,81	32Φ22	-4382234	-229906	-38.5<168	14.6<3600
45	-17,44	32Φ22	-3157945	-231253	-32.7<168	-66.6<3600
46	-17,44	32Φ22	-3157945	-231240	-32.7<168	-66.6<3600
47	-18,06	32Φ22	-1838656	-232345	-26.5<168	-150.9<3600
48	-18,69	32Φ22	-446655	-233182	-20<168	-239.4<3600
49	-19,32	32Φ22	994428	-233745	-22.6<168	-205.6<3600
50	-19,94	32Φ22	2460666	-234032	-29.6<168	-113.7<3600
51	-19,94	32Φ22	2460666	-234011	-29.6<168	-113.6<3600
52	-20,57	32Φ22	3930714	-234010	-36.6<168	-21.1<3600

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p style="text-align: center;"><b>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</b></p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;"><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 105 di 110</p>
--	---	---

53	-21,20	32Φ22	5363205	-233640	-44.1<168	89.6<3600
54	-21,83	32Φ22	6713296	-232888	-52.7<168	240.6<3600
55	-22,46	32Φ22	7935621	-231741	-61.5<168	421.5<3600
56	-22,46	32Φ22	7935621	-231732	-61.5<168	421.6<3600
57	-23,10	32Φ22	8980066	-229985	-69.7<168	608.9<3600
58	-23,73	32Φ22	9791832	-227872	-76.3<168	774.4<3600
59	-24,37	32Φ22	10355972	-225379	-81<168	902.1<3600
60	-25,00	32Φ22	10658470	-222427	-83.6<168	982.2<3600
61	-25,00	32Φ22	10658470	-222495	-83.6<168	981.8<3600
62	-25,50	32Φ22	10665324	-216686	-83.8<168	1017.1<3600
63	-26,00	32Φ22	10436849	-210726	-82<168	1003.1<3600
64	-26,50	32Φ22	10016523	-204542	-78.7<168	949.1<3600
65	-27,00	32Φ22	9447638	-198131	-74.1<168	865<3600
66	-27,00	32Φ22	9447638	-198130	-74.1<168	865<3600
67	-27,71	32Φ22	8466745	-190736	-66.1<168	702.5<3600
68	-28,43	32Φ22	7371408	-182844	-57.3<168	527.3<3600
69	-29,14	32Φ22	6216755	-174464	-48.2<168	357.2<3600
70	-29,86	32Φ22	5057379	-165683	-39.4<168	208.9<3600
71	-29,86	32Φ22	5057379	-165605	-39.4<168	209.1<3600
72	-31,14	32Φ22	3092216	-148445	-26.2<168	29.6<3600
73	-32,43	32Φ22	1464418	-129881	-16.9<168	-56.9<3600
74	-33,71	32Φ22	368797	-110294	-10.2<168	-103.3<3600
75	-35,00	32Φ22	0	-89987	-6.9<168	-103.2<3600

**Tabella 40 – 2°/3° fila di pali: verifiche agli stati limite di esercizio (tensioni di esercizio)**

N.	Quota	My(daN*cm)	N(daN)	sc,max(daN/cm <sup>2</sup> )	sf,max(daN/cm <sup>2</sup> )
1	0,00	-3586151	-125717	-47.8<168	317.1<3600
2	-0,18	-3609062	-126086	-48.2<168	321.3<3600
3	-0,36	-3630561	-126471	-48.4<168	325.1<3600
4	-0,55	-3650582	-126877	-48.7<168	328.5<3600
5	-0,73	-3669070	-127307	-48.9<168	331.2<3600
6	-0,73	-3669070	-127312	-48.9<168	331.2<3600
7	-0,95	-3689600	-127886	-49.2<168	333.8<3600
8	-1,17	-3708132	-128461	-49.5<168	335.8<3600
9	-1,39	-3724788	-129038	-49.7<168	337.3<3600
10	-1,62	-3739685	-129617	-49.9<168	338.4<3600
11	-1,62	-3739685	-129617	-49.9<168	338.4<3600
12	-1,88	-3755599	-130321	-50.1<168	339<3600
13	-2,15	-3769315	-131029	-50.3<168	339<3600
14	-2,42	-3781023	-131738	-50.4<168	338.5<3600
15	-2,69	-3790910	-132450	-50.6<168	337.5<3600
16	-2,69	-3790910	-132451	-50.6<168	337.5<3600
17	-3,02	-3800752	-133319	-50.7<168	335.6<3600
18	-3,35	-3808530	-134191	-50.8<168	333.2<3600
19	-3,67	-3814590	-135066	-50.9<168	330.4<3600
20	-4,00	-3819279	-135944	-51<168	327.2<3600
21	-4,00	-3819279	-135951	-51<168	327.2<3600
22	-4,38	-3822625	-137405	-51<168	320.8<3600
23	-4,75	-3823591	-138922	-51.1<168	313.6<3600
24	-5,13	-3821846	-140509	-51.1<168	305.6<3600
25	-5,50	-3817037	-142170	-51<168	296.5<3600
26	-5,50	-3817037	-142138	-51<168	296.7<3600
27	-5,88	-3808579	-143680	-51<168	287.5<3600
28	-6,25	-3796084	-145178	-50.8<168	277.7<3600
29	-6,63	-3778844	-146635	-50.7<168	267.2<3600
30	-7,00	-3756137	-148051	-50.4<168	255.8<3600
31	-7,00	-3756137	-148058	-50.4<168	255.7<3600
32	-7,38	-3726857	-149445	-50.1<168	243.2<3600
33	-7,75	-3689961	-150805	-49.7<168	229.5<3600
34	-8,13	-3644148	-152140	-49.2<168	214.3<3600
35	-8,50	-3588100	-153449	-48.6<168	197.5<3600
36	-8,50	-3588100	-153449	-48.6<168	197.5<3600
37	-8,88	-3519938	-154741	-47.9<168	179<3600
38	-9,25	-3437563	-156009	-47<168	158.5<3600
39	-9,63	-3337801	-157251	-46<168	136<3600
40	-10,00	-3217413	-158466	-44.8<168	111.2<3600
41	-10,00	-3217413	-158464	-44.8<168	111.2<3600
42	-10,34	-3093976	-159258	-43.5<168	88.6<3600
43	-10,68	-2963889	-160051	-42.3<168	66.5<3600
44	-11,02	-2826740	-160841	-41<168	44.9<3600
45	-11,36	-2682125	-161626	-39.8<168	23.8<3600
46	-11,36	-2682125	-161623	-39.8<168	23.8<3600
47	-11,70	-2529757	-162396	-38.5<168	3.4<3600
48	-12,05	-2369389	-163149	-37.2<168	-16.4<3600
49	-12,39	-2201134	-163880	-35.9<168	-35.8<3600
50	-12,73	-2025111	-164585	-34.5<168	-55.6<3600
51	-12,73	-2025111	-164588	-34.5<168	-55.6<3600
52	-13,07	-1841440	-165263	-33.1<168	-76<3600

“APPROFONDIMENTO CANALI  
CANDIANO E BAIONA,  
ADEGUAMENTO BANCHINE  
OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO  
TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI  
E RIUTILIZZO DEL MATERIALE  
ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P.  
VIGENTE 2007”  
I FASE

Progetto Definitivo  
Banchina Bunge SUD  
Relazione di calcolo



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centro Settentrionale



**DIREZIONE TECNICA**  
Pag. : 107 di 110

53	-13,41	-1650254	-165907	-31.6<168	-97.3<3600
54	-13,75	-1451999	-166515	-30<168	-119.2<3600
55	-14,09	-1247126	-167083	-28.4<168	-141.7<3600
56	-14,09	-1247126	-167086	-28.4<168	-141.7<3600
57	-14,43	-1036045	-167613	-26.7<168	-164.8<3600
58	-14,77	-819192	-168096	-25<168	-188.5<3600
59	-15,11	-597362	-168532	-23.3<168	-212.6<3600
60	-15,45	-371352	-168921	-21.5<168	-237.1<3600
61	-15,45	-371352	-168919	-21.5<168	-237.1<3600
62	-15,80	-141913	-169256	-19.6<168	-261.9<3600
63	-16,14	90171	-169537	-19.2<168	-267.8<3600
64	-16,48	323749	-169762	-21.2<168	-243.5<3600
65	-16,82	557668	-169929	-23.1<168	-219.1<3600
66	-16,82	557668	-169928	-23.1<168	-219.1<3600
67	-17,16	790846	-170035	-25<168	-194.7<3600
68	-17,50	1022158	-170080	-26.9<168	-170.3<3600
69	-17,84	1250148	-170060	-28.8<168	-146.3<3600
70	-18,18	1473360	-169977	-30.6<168	-122.6<3600
71	-18,18	1473360	-169977	-30.6<168	-122.6<3600
72	-18,52	1690473	-169828	-32.3<168	-99.4<3600
73	-18,86	1900140	-169614	-34<168	-77<3600
74	-19,20	2100886	-169335	-35.6<168	-55.3<3600
75	-19,55	2291240	-169000	-37.2<168	-34.7<3600
76	-19,55	2291240	-168992	-37.2<168	-34.7<3600
77	-19,89	2470100	-168586	-38.6<168	-14.6<3600
78	-20,23	2636410	-168121	-40<168	5.6<3600
79	-20,57	2789340	-167597	-41.3<168	25.8<3600
80	-20,91	2928075	-167016	-42.6<168	45.6<3600
81	-20,91	2928075	-167017	-42.6<168	45.6<3600
82	-21,25	3052385	-166383	-43.7<168	64.9<3600
83	-21,59	3162092	-165695	-44.7<168	83.2<3600
84	-21,93	3257107	-164953	-45.6<168	100.3<3600
85	-22,27	3337345	-164158	-46.4<168	116<3600
86	-22,27	3337345	-164157	-46.4<168	116<3600
87	-22,61	3402939	-163309	-47.1<168	129.8<3600
88	-22,95	3453998	-162406	-47.6<168	141.7<3600
89	-23,30	3490595	-161446	-47.9<168	151.4<3600
90	-23,64	3512800	-160432	-48.1<168	158.8<3600
91	-23,64	3512800	-160427	-48.1<168	158.8<3600
92	-23,98	3520647	-159353	-48.1<168	163.8<3600
93	-24,32	3514065	-158205	-48<168	166.2<3600
94	-24,66	3492955	-156982	-47.7<168	166.1<3600
95	-25,00	3457219	-155684	-47.2<168	163.4<3600
96	-25,00	3457219	-155671	-47.2<168	163.5<3600
97	-25,50	3367477	-151172	-46<168	160.7<3600
98	-26,00	3232120	-146584	-44.2<168	149.4<3600
99	-26,50	3060126	-141904	-42<168	131.6<3600
100	-27,00	2860398	-137131	-39.6<168	109.5<3600
101	-27,00	2860398	-137119	-39.6<168	109.6<3600
102	-27,33	2716537	-134635	-37.9<168	91.6<3600
103	-27,67	2566771	-132082	-36.1<168	73.6<3600
104	-28,00	2412399	-129461	-34.4<168	56.1<3600
105	-28,33	2254716	-126773	-32.6<168	39.1<3600
106	-28,33	2254716	-126767	-32.6<168	39.1<3600
107	-28,66	2094721	-123999	-30.9<168	23.1<3600

“APPROFONDIMENTO CANALI  
CANDIANO E BAIONA,  
ADEGUAMENTO BANCHINE  
OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO  
TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI  
E RIUTILIZZO DEL MATERIALE  
ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P.  
VIGENTE 2007”  
I FASE

**Progetto Definitivo  
Banchina Bunge SUD  
Relazione di calcolo**



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centro Settentrionale



**DIREZIONE TECNICA**  
Pag. : 108 di 110

108	-29,00	1933573	-121142	-29.1<168	8.2<3600
109	-29,33	1772433	-118196	-27.4<168	-5.6<3600
110	-29,66	1612460	-115161	-25.7<168	-18.2<3600
111	-29,66	1612460	-115155	-25.7<168	-18.2<3600
112	-30,00	1454522	-112018	-24.1<168	-29.8<3600
113	-30,33	1299660	-108768	-22.5<168	-40.8<3600
114	-30,66	1148921	-105406	-20.9<168	-51.2<3600
115	-31,00	1003349	-101932	-19.3<168	-60.9<3600
116	-31,00	1003349	-101926	-19.3<168	-60.9<3600
117	-31,33	863735	-98327	-17.8<168	-69.7<3600
118	-31,66	731041	-94592	-16.3<168	-77.6<3600
119	-32,00	606249	-90723	-14.8<168	-84.4<3600
120	-32,33	490342	-86722	-13.5<168	-90.1<3600
121	-32,33	490342	-86718	-13.5<168	-90.1<3600
122	-32,66	384121	-82570	-12.1<168	-94.5<3600
123	-33,00	288557	-78273	-10.9<168	-97.6<3600
124	-33,33	204693	-73829	-9.7<168	-99.2<3600
125	-33,66	133578	-69241	-8.6<168	-99.2<3600
126	-33,66	133578	-69264	-8.6<168	-99.2<3600
127	-34,00	76291	-64496	-7.7<168	-97.4<3600
128	-34,33	34143	-59663	-6.8<168	-94<3600
129	-34,67	8323	-54791	-6<168	-88.7<3600
130	-35,00	0	-49933	-5.4<168	-81.7<3600



<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>Membro della Federazione CSQ <b>RINA</b> ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 109 di 110</p>
--	---	--

Le verifiche agli stati limite di esercizio nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure sono state eseguite con l’ausilio del codice di calcolo PresFle+ della Concrete S.r.l. in corrispondenza delle sezioni dei pali in cui le tensioni di trazione nelle armature sono risultate le maggiori controllando il rispetto dei seguenti limiti normativi:

$$w_k \leq w_{amm} = 0,2 \text{ mm}$$

La verifica dei pali della prima fila è stata eseguita alla quota di -9,01 m s.l.m.:

Palo  $\Phi 1200$  armato con  $32\Phi 22$

$$N_{Ek} = 2.017 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 1.071 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = 84,6 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1.119 \text{ daN/cm}^2$$

$$w_k = 0,10 \leq w_{amm} = 0,20 \text{ mm}$$

La verifica dei pali della seconda e della terza file è stata eseguita alla quota di -2,10 m s.l.m.:

Palo  $\Phi 1000$  armato con  $20\Phi 24$

$$N_{Ek} = 1.310 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 377 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = 50,3 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_a = 339 \text{ daN/cm}^2$$

$$w_k = 0,02 \leq w_{amm} = 0,20 \text{ mm}$$

<p>“APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA, ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI, NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E RIUTILIZZO DEL MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE AL P.R.P. VIGENTE 2007” I FASE</p>	<p><i>Progetto Definitivo Banchina Bunge SUD Relazione di calcolo</i></p>	 <p><b>DIREZIONE TECNICA</b> Pag. : 110 di 110</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

## 11 CONTROLLI IN CORSO D’OPERA E MONITORAGGIO

Oltre ai campi prova necessari per i tiranti di ancoraggio (vedi relativo paragrafo) ed alle prove di verifica sui pali, la funzionalità delle opere e il rispetto delle previsioni del modello numerico dovranno essere accertati mediante controlli sul comportamento delle strutture, da eseguire sia in corso di costruzione che in fase di collaudo e di esercizio. Tali controlli dovranno essere dettagliati con più precisione in fase di progettazione esecutiva. In ogni caso sarà necessario:

- un monitoraggio topografico della trave di banchina;
- un monitoraggio inclinometrico del palancolato attraverso l’installazione di un tubo inclinometrico subito a tergo del banchinamento;
- un monitoraggio della forza di trazione sugli ancoraggi (con strain-gauge);

In conclusione il sistema di monitoraggio previsto permetterà di valutare il comportamento dell’opera nel corso delle più importanti fasi di costruzione e di messa in esercizio.

Un vero e proprio collaudo delle strutture di banchina, in accordo alle prescrizioni che verranno date dal Collaudatore, potrà essere realizzato attraverso l’escavo di un tratto di canale fino a raggiungere i fondali di progetto, congiuntamente all’applicazione dei carichi di banchina previsti in esercizio. In questo caso, la presenza di strumenti di misura degli assestamenti e dei tiri, unitamente ai dati sperimentali acquisiti in precedenza consentirà di valutare la risposta dell’opera alle sollecitazioni imposte durante il collaudo e pertanto la funzionalità dell’opera in relazione alle prestazioni richieste dal Committente.