

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 ALMA
(Relazione dei calcoli geotecnici e strutturali)

FILE

1114.STR.05.A - Relazione dei calcoli
geotecnici e strutturali

CODICE

1114.STR.05.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 style="text-align: center;">Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</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 RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> </div> <p style="text-align: center;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 1 di 106</p>
--	---	---

INDICE

1	Premessa.....	3
2	NORME DI RIFERIMENTO	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
5	PRESTAZIONI RICHIESTE AL BANCHINAMENTO.....	5
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	6
6.1	Acciaio palancole esistenti	6
6.2	Acciaio nuovi tiranti	8
6.3	Calcestruzzo nuove strutture	8
6.4	Acciaio per cemento armato nuove strutture.....	9
7	SITUAZIONE ATTUALE DELLA BANCHINA	10
7.2	Stato di consistenza dell’opera	11
7.2.1	Documentazione del progetto originale	11
7.2.2	Prove di controllo sulla qualità dei materiali presenti.....	14
7.2.3	Valutazione del livello di conoscenza e dei fattori di confidenza.....	17
7.3	Analisi delle carenze della struttura attuale in relazione alle nuove esigenze di utilizzo ...	18
8	INTERVENTO DI ADEGUAMENTO PREVISTO.....	19
9	RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO	21
9.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO/STRATIGRAFICO DELL’AREA	21
9.2	MODELLO STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO e CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI.....	25
9.3	SICUREZZA DELL’OPERA	29
9.3.1	Quadro normativo	29
9.3.1.1	Verifiche agli stati limite ultimi (SLU e SLV)	29
9.3.1.2	Approcci e combinazioni utilizzate.....	31
9.3.1.3	Verifiche delle prestazioni (SLE e SLD)	31
9.3.2	Azioni sulle opere	32
9.3.2.1	Sovraccarico di banchina	32
9.3.2.2	Tiro alla bitta.....	32
9.3.2.3	Gru di banchina.....	33
9.3.2.4	Azioni sismiche.....	33
9.3.2.5	Azione idrodinamica (Westergaard).....	36
9.3.3	Azioni eccezionali: urto delle imbarcazioni.....	37
9.3.4	Combinazione delle azioni.....	38
9.4	ANALISI NUMERICHE DELLE OPERE IN PROGETTO.....	39
9.4.1	Il modello costitutivo Hardening Soil Model: caratteristiche principali.....	40
9.4.2	Modello geotecnico della banchina.....	42
9.4.3	Risultati delle analisi.....	47
9.4.3.1	Risultati delle analisi di sicurezza (SLU/SLV).....	47

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</i></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 CSGO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 2 di 106</p> </div>
--	---	--

9.4.3.2	Risultati delle analisi di funzionalità (SLE/SLD)	52
9.4.3.3	Analisi per azioni eccezionali: urto.....	56
9.4.3.4	Analisi di stabilità globale.....	57
9.4.4	Verifica dei pali del solettone ai carichi verticali	58
9.4.4.1	Verifica dei pali della FILA 1	61
9.4.4.2	Verifica dei pali della FILA 2	63
9.4.4.3	Verifica dei pali della FILA 3	65
9.4.4.4	Prove di verifica dei pali	67
9.4.4.5	Controllo dell'integrità dei pali.....	67
9.4.4.6	Valutazione della rigidezza verticale del vincolo elastico sommitale che simula il palo ed il palancolato	67
9.4.6	Verifica dei tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato	68
9.4.6.1	Posizione della fondazione dell'ancoraggio	69
9.4.6.2	Ancoraggi T1 – nuovi ancoraggi armati con barra tipo Dywidag	70
9.4.6.3	Definizione del CAMPO PROVA per gli ancoraggi preliminari di prova.....	73
9.4.6.4	Prove di verifica e modalità di tesatura.....	73
9.4.6.5	Protezione degli ancoraggi.....	73
10	VERIFICHE STRUTTURALI	74
10.1	Palancolato esistente	74
10.2	Nuovi tiranti di ancoraggio	81
10.3	Solettone.....	82
10.3.1	Verifiche agli stati limite.....	86
10.3.1.1	Soletta	86
10.3.1.2	Collegamento trave coronamento-soletta	89
10.3.1.3	Trave di coronamento	92
10.4	Pali	95

<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 Alma Petroli 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;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 3 di 106</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 **Alma Petroli S.p.A.**, un tratto di banchina costruito tra il 1988 ed il 1991.

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 Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 4 di 106</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, 1987;
- Relazione di Collaudo statico della banchina esistente a firma dell’ing. Ivano Balatroni (Genio Civile di Ravenna, pratica n.289 del 27-09-1988), 22-07-1991;
- 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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>Membrò della Federazione CSQ RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 5 di 106</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 +2,50 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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 6 di 106</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: $f_y = 412 \text{ N/mm}^2$
- Tensione di rottura: $f_t = 569 \text{ N/mm}^2$
- Allungamento: $A_{gt} = 26\%$

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

- Variazione tensione di snervamento: $\Delta(f_y/f_{yk}) = 1,14$
- Variazione tensione di rottura: $\Delta(f_t/f_{tk}) = 1,16$

confermando, pertanto, quelle che sono le ipotesi progettuali di calcolo.

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

ARBED
DIVISION DIFFERDANGE
SERVICE QUALITE ET CONTROLE
L 4503 DIFFERDANGE
GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG

ATTESTATION DE CONFORMITE
WERKSCHESCHENIGUNG - CERTIFICATE OF COMPLIANCE

AVIS NO : 550364

PAGE 1

ATTESTATION DE CONFORMITE SVT. DIN 50049 / 2. 1.
PAE 360

TRADE ARBED NO : 88 BJ 1030 001
REFERENCE CLIENT : COMMANDE DU 2.8.88

FACTURE NO : 50066 19881004

C.M.C.COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI
VIALE TRIESTE 76
ITALIE
I-48100 RAVENNA

NO POSTE FACT./CDE	PRODUIT	DIMENSION	LONGUEUR	POIDS KG	NOMBRE PA FA BOT ELE
01-001	PALPL. HZ	HZ 775 B	24000 MM	47070	9

* NOUS CERTIFIONS QUE LES PRODUITS ENUMERES SONT CONFORMES AUX PRESCRIPTIONS DE LA COMMANDE.
 * ES WIRD BESTAETIGT, DASS DIE LIEFERUNG DEN VEREINBARUNGEN BEI DER BESTELLUNG ENTSPRICHT.
 * WE HEREBY CERTIFY THAT THE MENTIONED PRODUCTS COMPLY WITH THE TERMS OF THE ORDER.

LES PALPLANCHES SONT FOURNIES SELON LES VALEURS ET CONDITIONS DE NOS CATALOGUES PALPLANCHES, PUBLIES APRES JUILLET 1985

LE 05/10/88 MULLER GAETAN
PORTEUR DE SIGNATURE SPECIALE

22 LUG. 1991
MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI
Questo Certificato per lo scade il 31.12.1990
SEZIONE ALCANTARA DI RAVENNA
Acquisto agli atti di ufficio a titolo
dell'art. 1 della Legge
5 settembre 1971 n. 463. (288)

Ing. GIOVANNI TIANI

Figura 1 – Certificato di conformità PAE 360

ARBED
DIVISION ESCH-BELVAL
SERVICE QUALITE ET CONTROLE
L 4008 ESCH/ALZETTE
GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG

ATTESTATION DE CONFORMITE
WERKSCHESCHENIGUNG - CERTIFICATE OF COMPLIANCE

AVIS NO : 440799

PAGE 1

ATTESTATION DE CONFORMITE SVT. DIN 50049 / 2. 1.
PAE 250

TRADE ARBED NO : 88 BJ 1030 001
REFERENCE CLIENT : COMMANDE DU 2.8.88

FACTURE NO : 40729 19881014

C.M.C.COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI
VIALE TRIESTE 76
ITALIE
I-48100 RAVENNA

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	31130	18
05-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	31130	18
06-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14580	18
07-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	15381	54
08-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14662	54
09-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14726	54
10-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14650	54

* NOUS CERTIFIONS QUE LES PRODUITS ENUMERES SONT CONFORMES AUX PRESCRIPTIONS DE LA COMMANDE.
 * ES WIRD BESTAETIGT, DASS DIE LIEFERUNG DEN VEREINBARUNGEN BEI DER BESTELLUNG ENTSPRICHT.
 * WE HEREBY CERTIFY THAT THE MENTIONED PRODUCTS COMPLY WITH THE TERMS OF THE ORDER.

LES PALPLANCHES SONT FOURNIES SELON LES VALEURS ET CONDITIONS DE NOS CATALOGUES PALPLANCHES, PUBLIES APRES JUILLET 1985

LE 15/10/88 ROLLIN ROGER
PORTEUR DE SIGNATURE SPECIALE

RAPPEL DE LA PAGE PRECEDENTE

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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 8 di 106</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° 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.

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:

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

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

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

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 9 di 106</p>
--	---	--

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

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

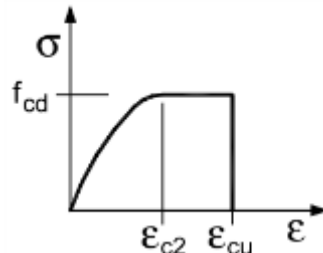


Figura 3 – Diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo

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 (γ_s) pari a 1.15:

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

Per il diagramma tensione-deformazione dell'acciaio è stato adottato un modello σ - ϵ elastico perfettamente plastico indefinito illustrato nella figura seguente.

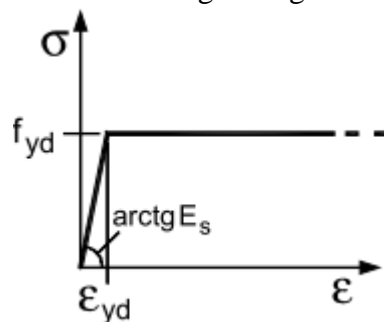


Figura 4 – Diagramma tensione-deformazione dell'acciaio

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 Alma Petroli oggetto della presente relazione è collocata lungo il canale Candiano, in sponda sinistra, poco a Nord di largo Trattaroli, antistante lo stabilimento della società Alma Petroli S.p.A. La banchina si estende per circa 240 m ed è costituita da un palancolato combinato in acciaio ancorato con tiranti a bulbo iniettato.

La banchina è stata realizzata tra il 1988 ed il 1991, tra la banchina LLOYD Ravenna e la banchina Italiana Olii e Risi (oggi Bunge). In Figura 5 è mostrata una foto aerea recente dell'area.

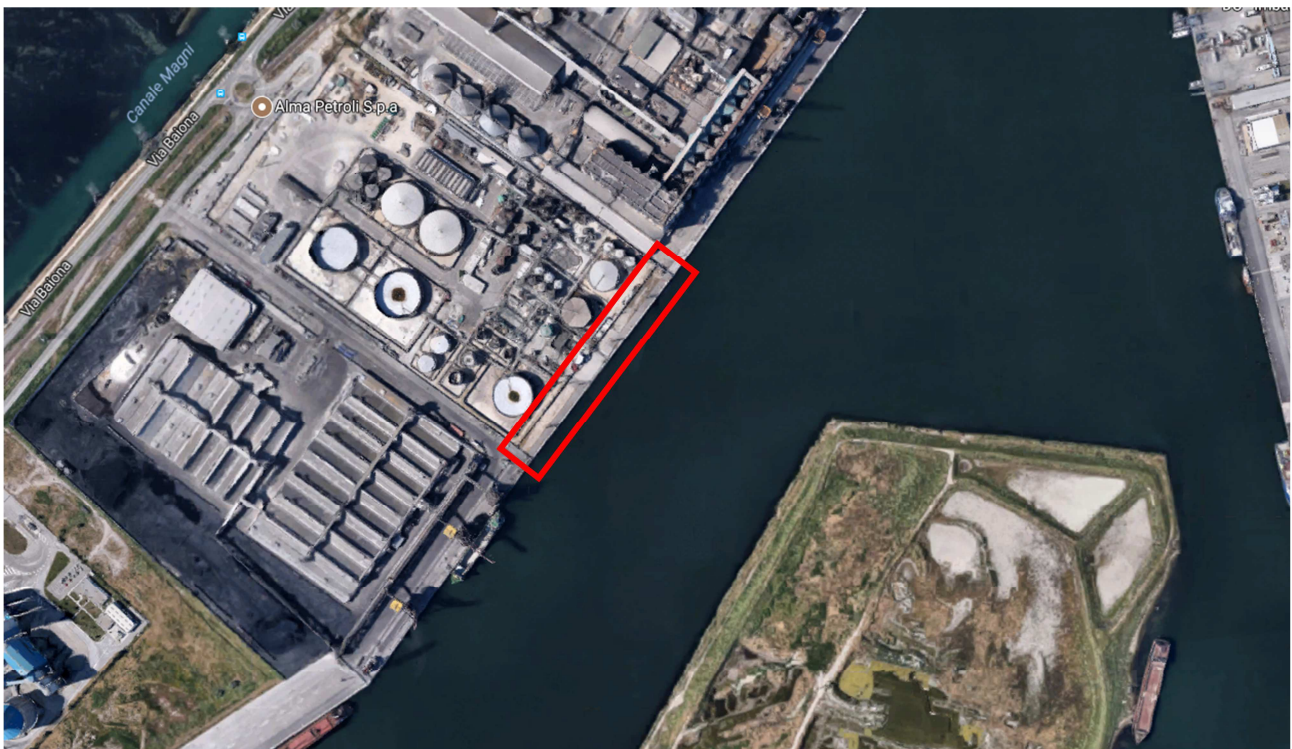


Figura 5 – Vista aerea dell'area in esame (da Google maps)

La banchina realizzata presenta le seguenti caratteristiche geometriche e prestazionali:

- piano di banchina +2,50 m da l.m.m.;
- fondale operativo -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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 11 di 106</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 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 del progetto originale

Dell'opera in esame sono state reperite alcune tavole grafiche del progetto originale ed il Certificato di Collaudo Statico.

In Figura 7 è rappresentata una sezione tipo del banchinamento per come risulta dagli elaborati originali del progetto del 1987, 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 (vedi Figura 6). Il collegamento tra la palancola principale e l'elemento secondario è realizzato tramite speciali raccordi (RH16B) saldati agli elementi principali. prefabbricate in c.a.p.

La palancola principale è estesa fino a -24,00 m su l.m.m. mentre la palancola secondaria fino a -16,40 m da l.m.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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 12 di 106</p>
--	---	---

<p>A R B E D DIVISION DIFFERDANGE SERVICE QUALITE ET CONTROLE L 4503 DIFFERDANGE GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG</p>	<p>PAGE 1 ATTESTATION DE CONFORMITE WERKSCHESCHENIGUNG - CERTIFICATE OF COMPLIANCE</p>				
<p>AVIS NO : 550364 FACTURE NO : 50066 19881004</p>					
<p>ATTESTATION DE CONFORMITE SVT. DIN 50049 / 2. 1. PAE 360 TRADE ARBED NO : 88 BJ 1030 001 REFERENCE CLIENT : COMMANDE DU 2.8.88</p>					
<p>C.M.C.COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI VIALE TRIESTE 76 ITALIE I-48100 RAVENNA</p>					
NO POSTE FACT./CDE	PRODUIT	DIMENSION	LONGUEUR	POIDS KG	NOMBRE PA FA BOT ELE
01-001	PALPL. HZ	HZ 775 B	24000 MM	47070	9
<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 ENTSPRICHT. * 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 1985</p>					

<p>A R B E D DIVISION ESCH-BELVAL SERVICE QUALITE ET CONTROLE L 4008 ESCH/ALZETTE GRAND-DUCHE DE LUXEMBOURG</p>	<p>PAGE 1 ATTESTATION DE CONFORMITE WERKSCHESCHENIGUNG - CERTIFICATE OF COMPLIANCE</p>				
<p>AVIS NO : 440799 FACTURE NO : 40729 19881014</p>					
<p>ATTESTATION DE CONFORMITE SVT. DIN 50049 / 2. 1. PAE 250 TRADE ARBED NO : 88 BJ 1030 001 REFERENCE CLIENT : COMMANDE DU 2.8.88</p>					
<p>C.M.C.COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI VIALE TRIESTE 76 ITALIE I-48100 RAVENNA</p>					
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	RAPPEL DE LA PAGE PRECEDENTE	18
05-002	PALPL. ZH	ZH 9,5	17000 MM	31130	18
06-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14560	54
07-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	15181	54
08-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14662	54
09-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14726	54
10-003	RACCORDS RH	RH 16 B	17000 MM	14650	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 ENTSPRICHT. * 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 1985</p>					

Figura 6 – Fornitura di parte dei palancolati (da Relazione di Collaudo)

Al di sopra della paratia e ad essa opportunamente collegata corre una rigida trave di coronamento in c.a. con sezione rettangolare 1,30 × 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 di 2 m ed inclinati di 25° sull'orizzontale. I tiranti sono armati con n.7 trefoli di acciaio armonico da 0,6'' (si vedrà nel seguito che risultano presenti 6 trefoli e non 7).

Il calcolo dell'opera è stato sviluppato con un modello di trave elastica su suolo alla Winkler, considerando una prima fase di funzionamento a sbalzo con fondale di 6 m ed una seconda fase in cui gli ancoraggi divengono operativi ed il fondale viene portato a -11,50 m da l.m.m. Il momento flettente massimo sul palancolato risultava pari a 122 tm/m ed era relativo alla fase a sbalzo. Il massimo tiro sugli ancoraggi era pari a 90,33 t.

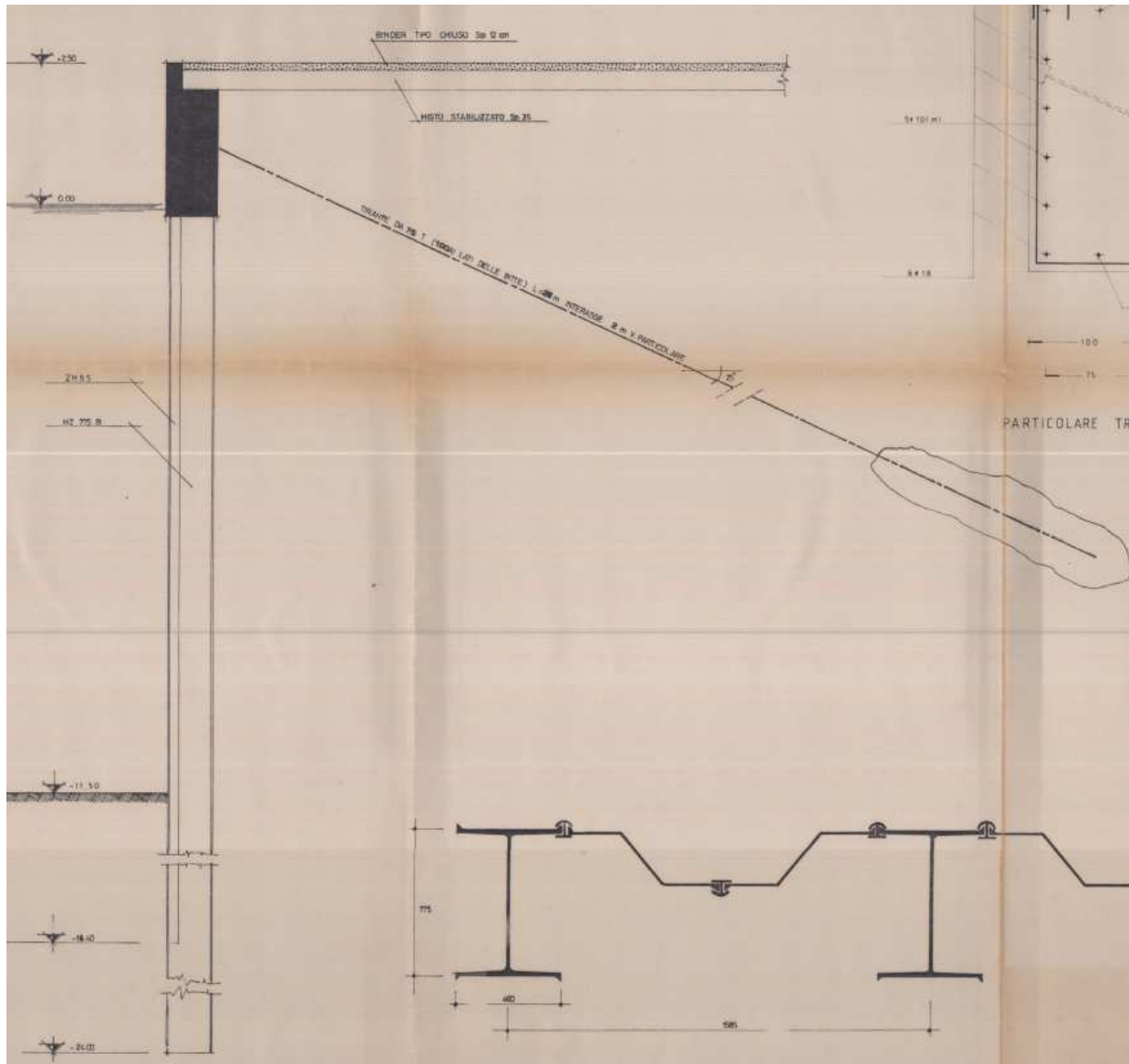


Figura 7 – Sezione tipo del banchinamento (dal progetto del 1987)

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

- palancole principali Acciaio tipo PAE360 ($f_y=360\text{MPa}$; $f_t=490\text{MPa}$; $A_{gt}>22\%$)
- palancole secondarie Acciaio tipo PAE250 ($f_y=250\text{MPa}$)
- calcestruzzo trave coronamento $R_{ck} > 30 \text{ MPa}$
- trefoli tiranti $R_{ak} > 1.600 \text{ MPa}$

Nella stessa relazione sono presenti anche una serie di certificazioni di prove sui materiali, l'esito di una prova di carico in banchina 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 8, che rappresenta uno stralcio della planimetria di progetto, si evince che l'interasse tra i tiranti è pari a 2 m.

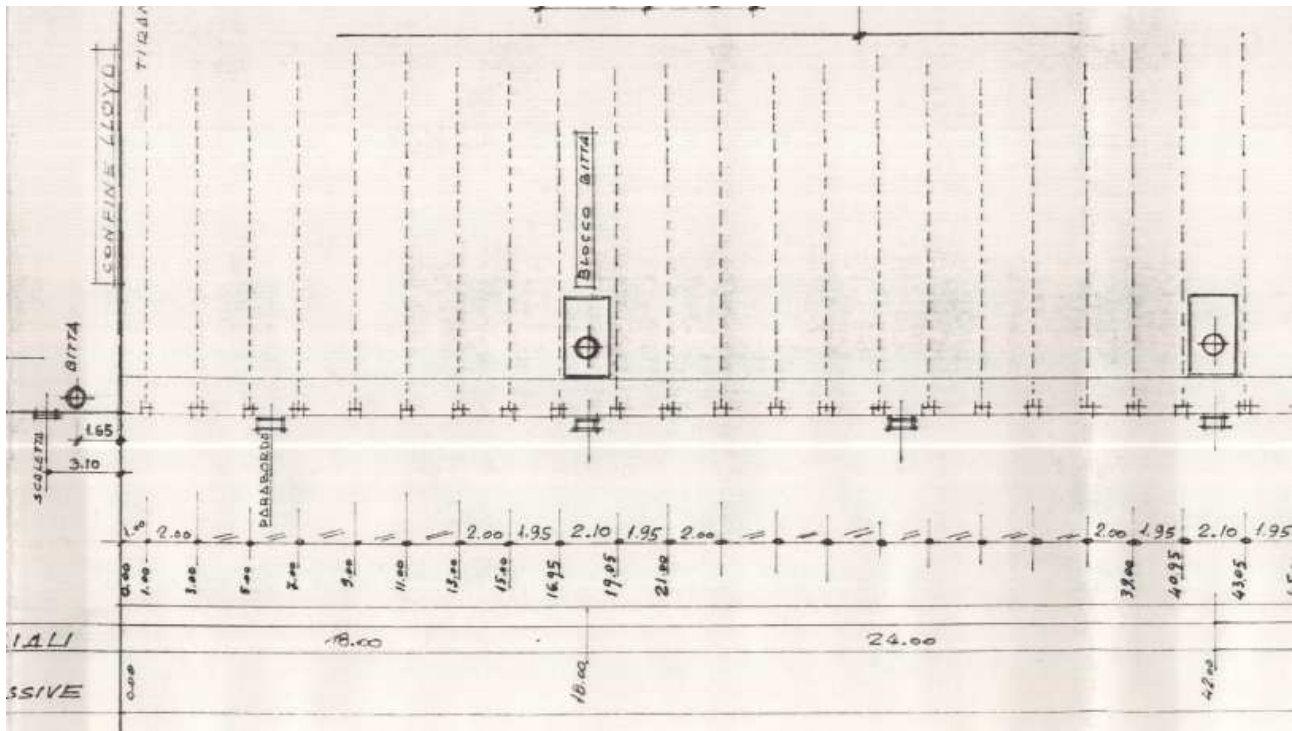


Figura 8 – Stralcio planimetrico del banchinamento

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 4 carote di calcestruzzo dalla trave di banchina (da due siti diversi, 2 prelievi per sito) da sottoporre a prove di compressione;
- prelievo di due barre d'armatura dalla trave di banchina (1 barra $\varnothing 10$ ed 1 barra $\varnothing 18$) da sottoporre a prove di trazione;
- apertura di 2 nicchie delle testate 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.

<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;">Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 15 di 106</p>
--	--	--

I risultati analitici sono presenti nelle relative relazioni di indagine.

In sintesi risulta che:

- la resistenza a compressione delle carote di calcestruzzo prelevate dalla trave di banchina è risultata
- pari a 35,98 – 36,43 – 36,77 – 31,76 MPa;
- la prova di trazione sulla barra $\varnothing 10$, che risultava ossidata, ha fornito un carico di rottura pari a 524,2 MPa; la prova di trazione sulla barra $\varnothing 18$ ha fornito un carico di snervamento pari a 502,8 MPa ed un carico di rottura di 604,5 MPa con un allungamento del 21%;
- le testate degli ancoraggi apparivano in un caso poco ossidate mentre nell'altro la presenza di ruggine era diffusa (vedi Figura 9); la resistenza elettrica misurata in accordo al metodo ERMII è risultata molto variabile, con valori spesso estremamente bassi ad indicare uno scarso isolamento dei tiranti;
- 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 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 141 mm² con una resistenza a rottura di 268 kN pari a 1.897 MPa;
- la prova di trazione sull'acciaio del palancoleto indica un carico di snervamento di $f_y = 412$ MPa, un carico di rottura $f_t = 569$ MPa ed un allungamento a rottura del 26%;
- lo stato di corrosione della palancole indica perdite di spessori generalmente inferiori ad 1 mm in circa 25 anni di esposizione (vedi Tabella 1), salvo il tratto sommitale dove si superano 1,5 m.

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 acciai dei palancoleto					
						Misura su fazzoletto	Spessore (mm)				
							Profondità (da l.m.m.)				
				-0,50	-2,50	-4,50	-6,50	-8,50			
PALANCOLE Alma Petroli (Sez. 18)	Punto 3	HZ775B	19	1990/1991	26-27	18,5	17,4	17,5	18,0	18,1	18,2
	Punto 4					-	17,5	18,8	18,8	18,7	18,7

Si deve rilevare che, a differenza di quanto indicato nei documenti di progetto, i tiranti della banchina ALMA PETROLI hanno un'armatura costituita da 6 trefoli (e non 7 trefoli).



Figura 9 – Fotografia delle testate di ancoraggio della banchina ALMA PETROLI



Figura 10 – Fotografia del tirante di ancoraggio a tergo della trave

<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;">Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</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 RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> </div> <p style="text-align: center;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 17 di 106</p>
--	---	---

7.2.3 Valutazione del livello di conoscenza e dei fattori di confidenza

In conclusione risulta che la struttura esistente non è particolarmente robusta (rispetto ad analoghi banchinamenti presenti a Ravenna) e presenta alcuni segni di degrado dei materiali legati anche ad una minore attenzione alla durabilità delle strutture all'epoca della costruzione della banchina. La qualità dei calcestruzzi, ad esempio, per quanto in linea con quanto previsto dal progetto ($R_{ck} > 30$ MPa), risulta inferiore a quanto richiesto oggi per un'opera esposta all'ambiente marino. Così il livello di protezione dei trefoli dei tiranti di ancoraggio risulta limitata, come risulta dal basso livello di isolamento elettrico.

Un elemento valido della vecchia struttura è il palancolato metallico che 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 ALMA PETROLI si ritiene che il livello di conoscenza 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 avere la doppia protezione, come risulta dalle fotografie del tirante portato alla luce a tergo della trave di banchina;
- il palancolato di banchina, anche se in buone condizioni, 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 -24,00 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 qualità dei calcestruzzi della trave di banchina non sono adeguati alla nuova struttura.

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 affidamento sugli ancoraggi esistenti.

Si deve anche osservare che il palancolato della banchina ALMA PETROLI 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 ad ALMA PETROLI indicate in Figura 11. 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 $W_x = 5.225 \text{ cm}^3/\text{m}$

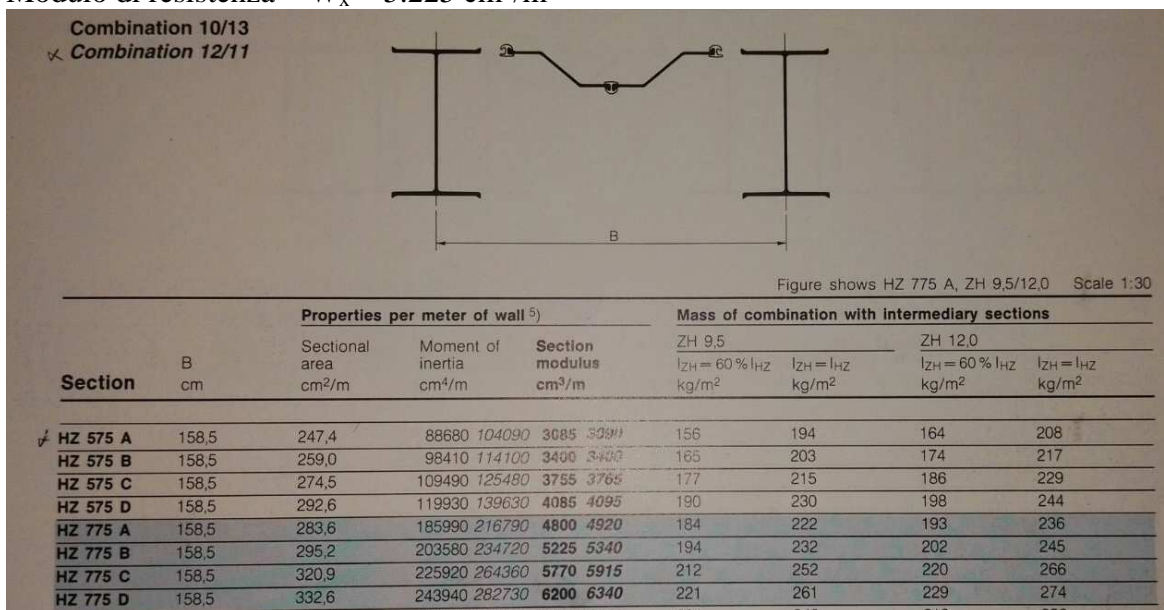


Figura 11 – Vecchio catalogo relativo ai palancolati ARBED

<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 style="text-align: center;"><i>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p>  <p style="text-align: right;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p style="text-align: center;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 19 di 106</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. Anche la trave di banchina, per la modesta sezione e la scarsa qualità dei calcestruzzi non può essere mantenuta. Il palancolato di banchina può essere invece considerato nella soluzione di adeguamento.

Inoltre per questo banchinamento è necessario considerare che a circa 35-40 m da filo banchina sono presenti dei serbatoi di stoccaggio di prodotti petroliferi.

Si è quindi optato per la costruzione di una piattaforma di scarico su pali, ancorata a nuovi tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato. 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 12 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 +0,35 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 di 4,00 m tra le file (in direzione longitudinale);
- solettone di ripartizione in calcestruzzo armato, al di sopra dei pali (tra +0,35 e +1,35 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;
- allineamento di ancoraggi, realizzati da mare, di lunghezza 35 m, inclinazione 20° sull'orizzontale, con 17 m di parte libera e 18 m di fondazione, armato con barra Dywidag $\varnothing 47$ ed interasse 2,00 m; il bulbo di fondazione realizzato con un trattamento coassiale in jet grouting;
- nuova trave di banchina $1,0 \times 2,5$ m (B \times H), con sezione maggiorata in corrispondenza delle bitte ed estradosso a +2,50 m.

Considerate le quote attuali dei piazzali, inferiori alla quota prevista per le banchine da piano regolatore (+2,50 m su l.m.m.) si decide di portare la trave di banchina alla quota prevista e di lasciare il piazzale alla quota attuale, circa pari a +1,60 m su l.m.m.

In ogni caso il modello di calcolo è stato cautelativamente sviluppato con il piazzale a quota +2,50 m su l.m.m.

Per la realizzazione dell'intervento si prevedono le seguenti fasi costruttive indicative:

- rimozione delle pavimentazioni per scaricare il palancolato di banchina mantenendo il massimo carico idraulico possibile rispetto al livello del mare per facilitare l'escavo dei pali;
- realizzazione dei pali trivellati, tenendo sotto monitoraggio topografico la trave di banchina;
- ribasso dei piazzali, collegamento provvisorio tra i pali trivellati lato mare e le palancole, al di sotto della trave di banchina attuale;

- realizzazione del solettone sommitale;
- demolizione e rifacimento per tratti della trave di banchina; con il procedere della demolizione vengono liberati i tiranti di ancoraggio e si procederà al ricollegamento provvisorio di 1 tirante ogni 4 metri alle nuove strutture;
- realizzazione dei nuovi tiranti di ancoraggio sulla nuova trave.

In fase esecutiva andrà previsto un opportuno monitoraggio dei serbatoi posti in prossimità del banchinamento. Inoltre particolare attenzione andrà prestata durante la fase di realizzazione degli ancoraggi, la cui fondazione è prossima alle fondazioni di alcuni serbatoi.

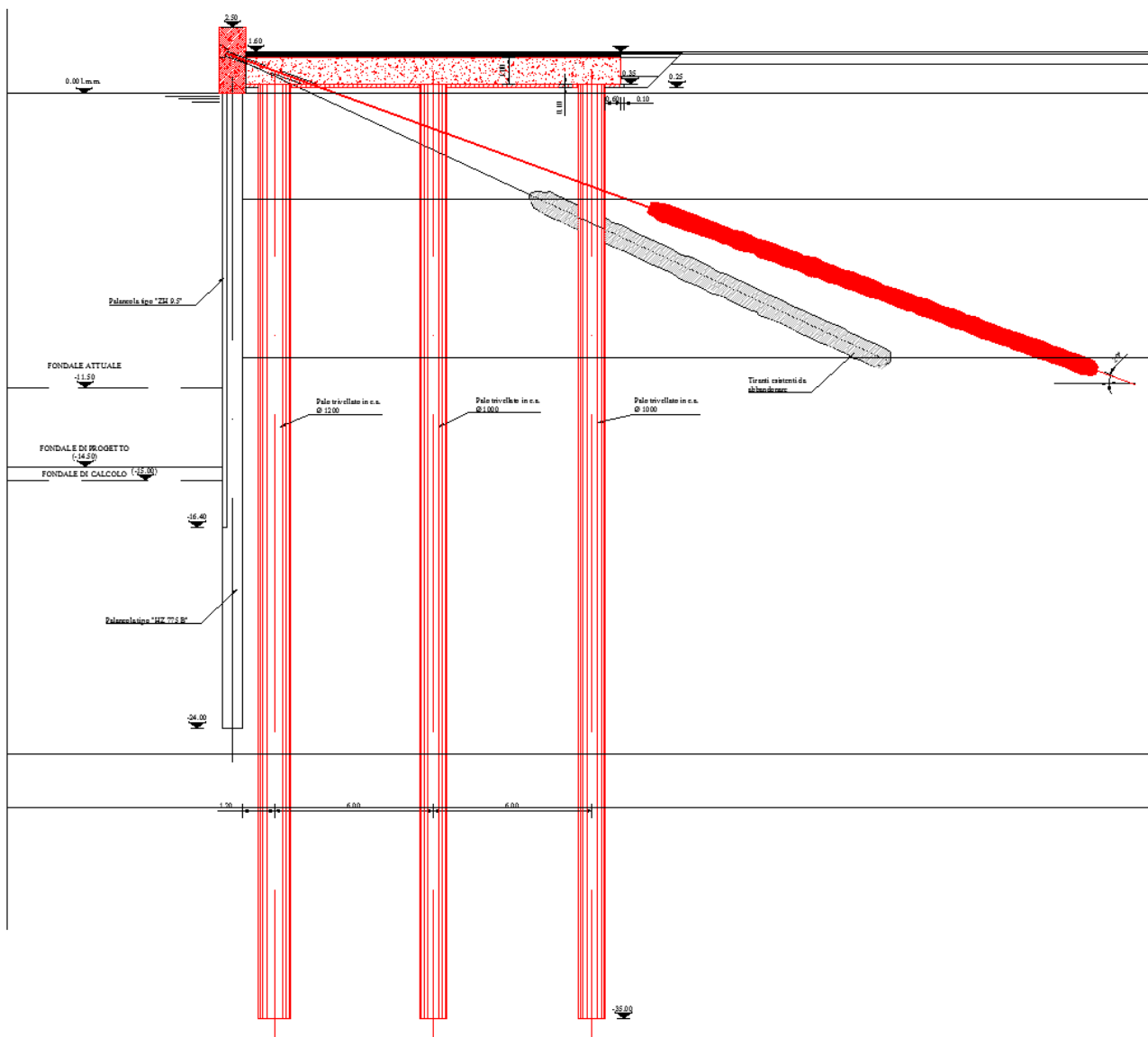


Figura 12 – Sezione adeguata della banchina Alma Petroli

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>Membro della Federazione CSGO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 21 di 106</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 neoformate 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 13; 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).

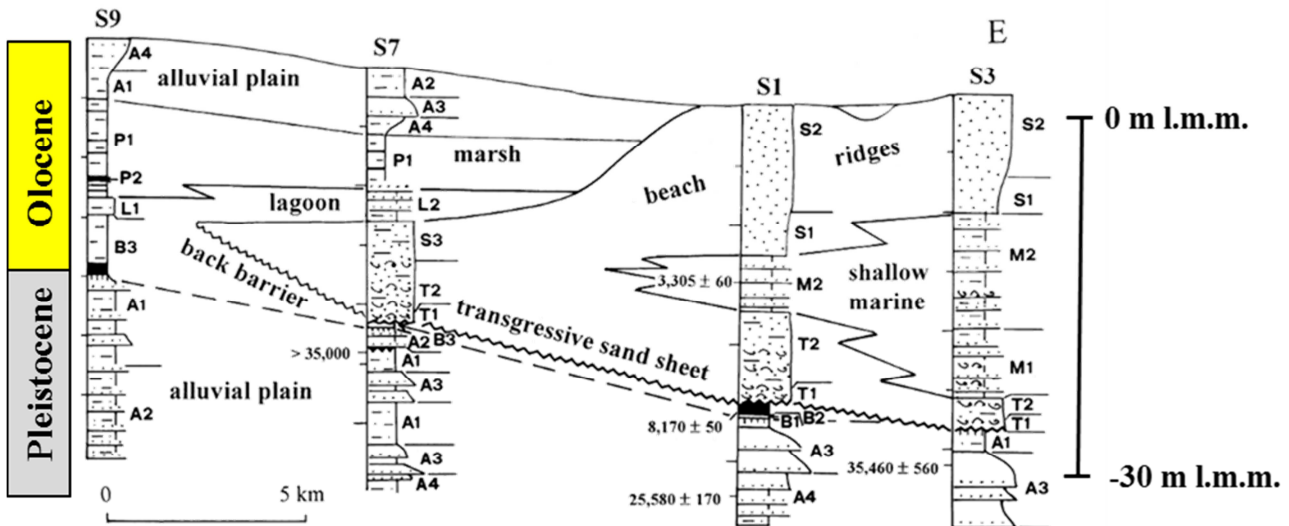


Figura 13 – Stratigrafia del Subsistema di Ravenna ricostruita lungo l’allineamento (W-E) Villanova – Borgo Anime – Porto (CARG – Foglio 223 Ravenna); l’area oggetto di studio si colloca fra i sondaggi S1 ed S3

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 14 (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.

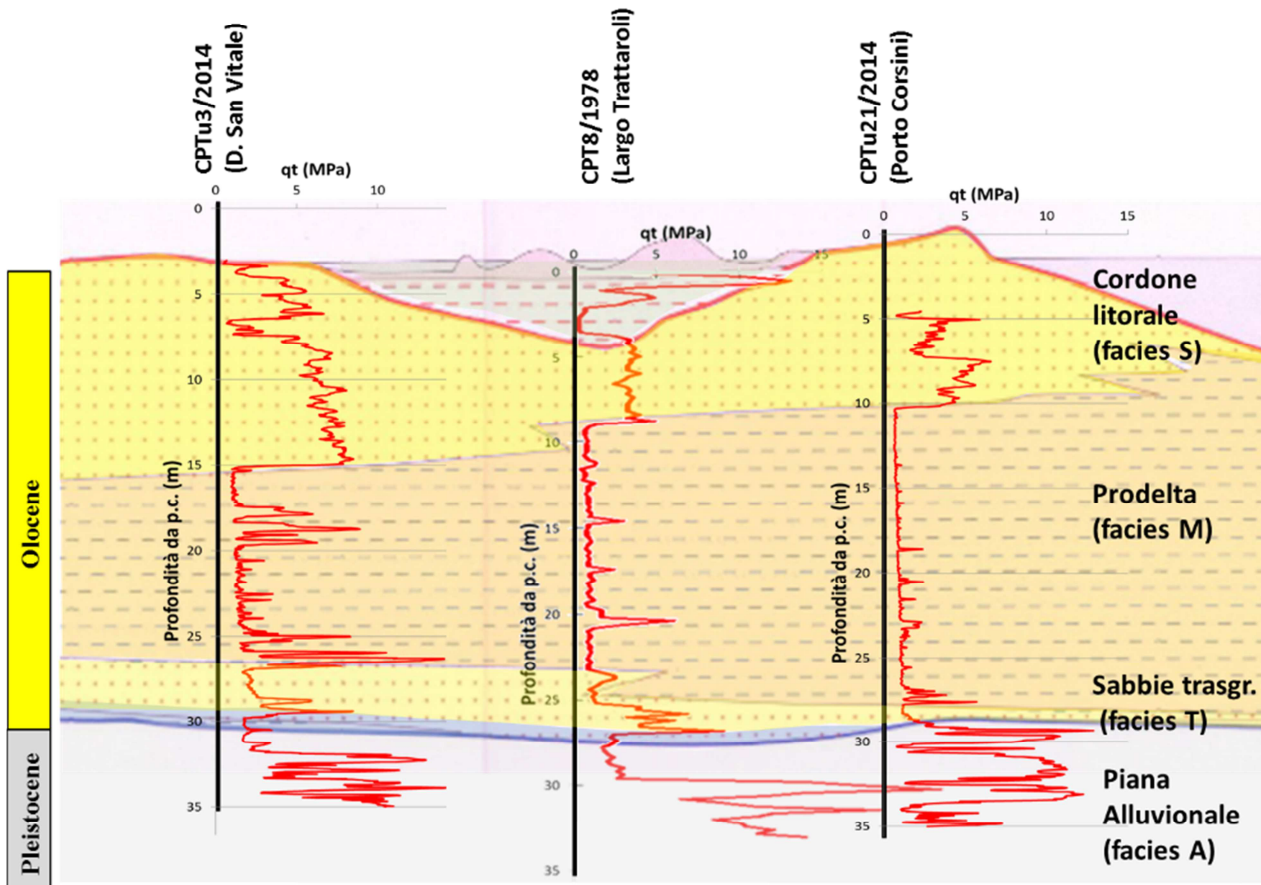


Figura 14 - Sovrapposizione fra la resistenza penetrometrica corretta misurata nelle verticali CPTu3/2014, CPT8/1978, CPTu21/2014 e la corrispondente sezione geologica dei sedimenti recenti del Ravennate (da Carta Geologica d'Italia, foglio 223)

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 15):

- 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.

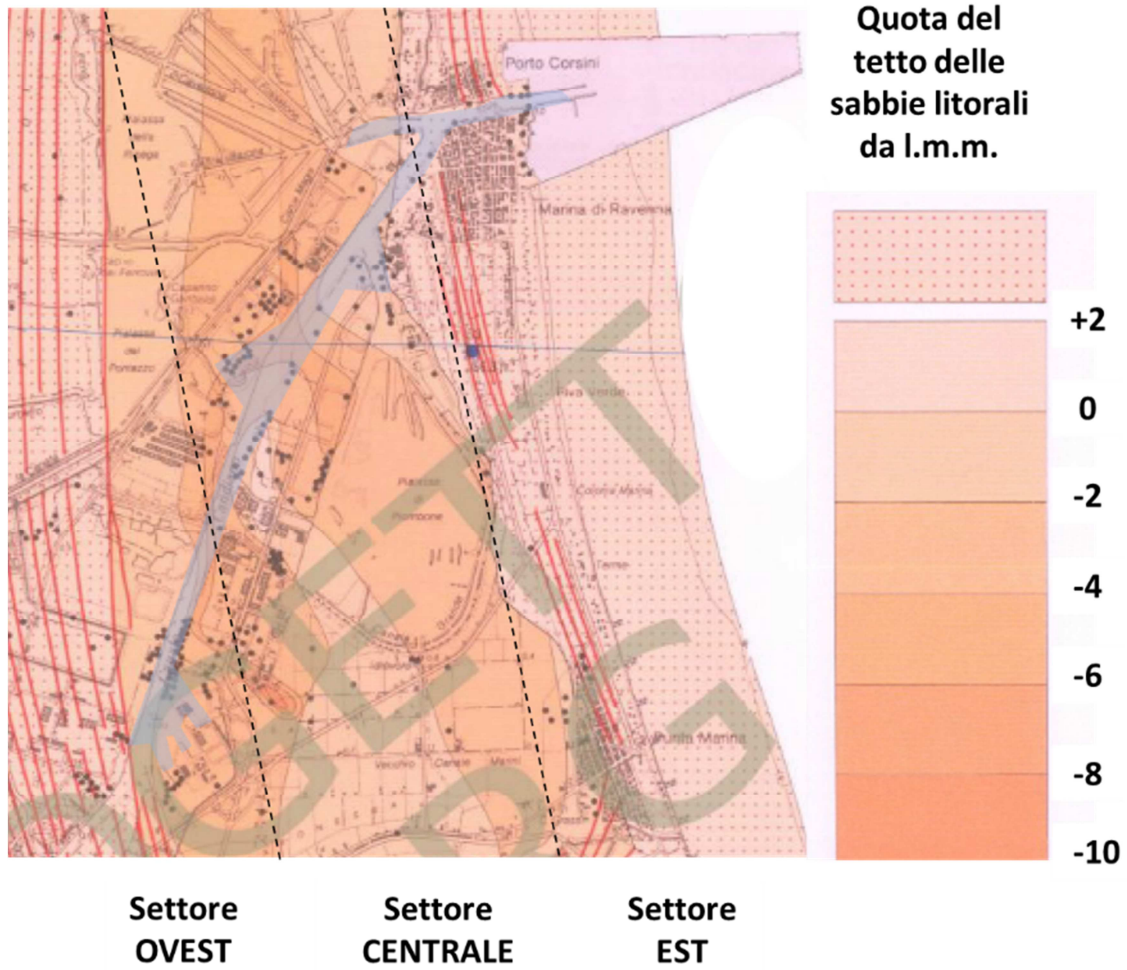


Figura 15 – Profondità del tetto delle sabbie litorali e suddivisione in settori omogenei

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 16 relativamente al tratto di interesse.

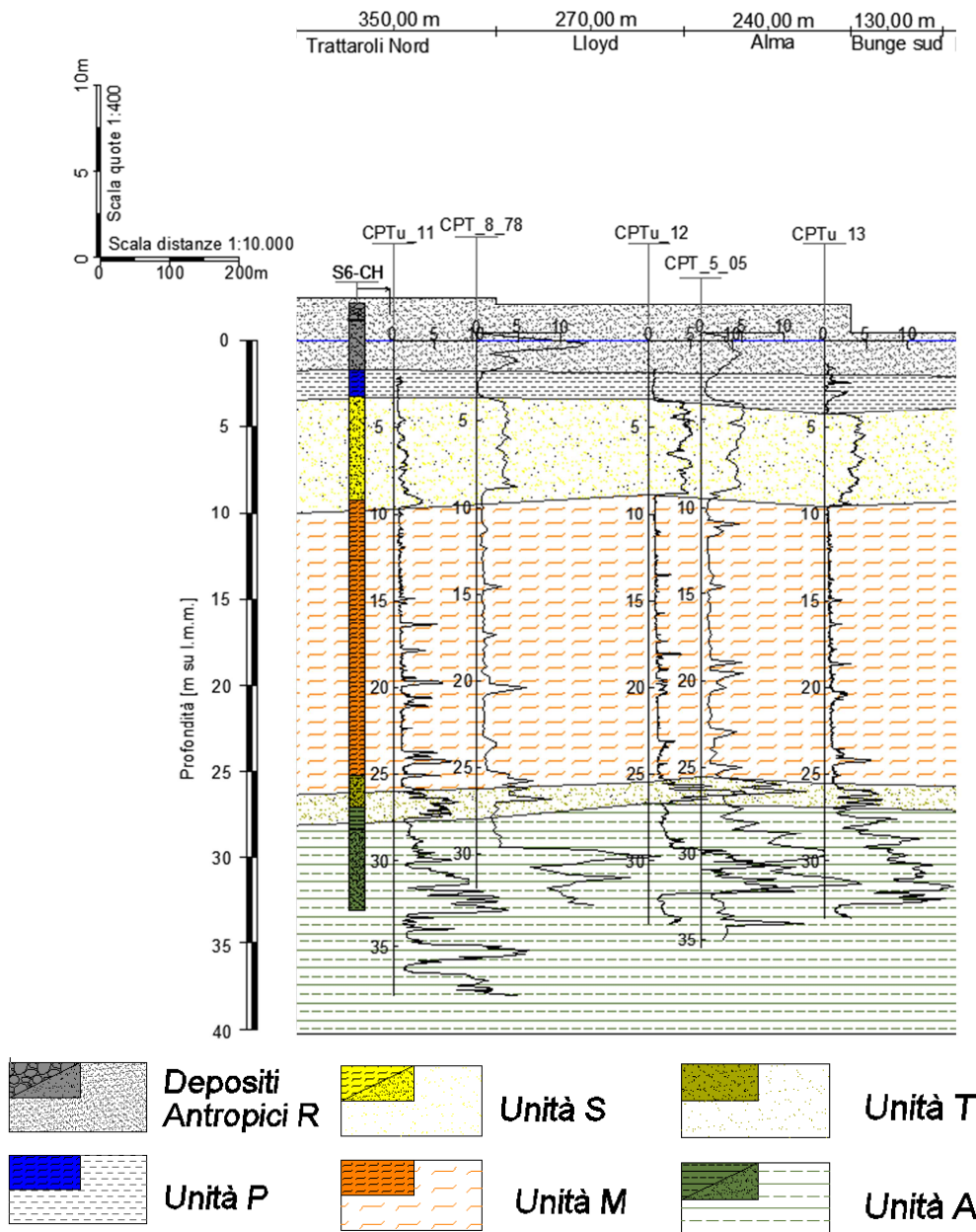


Figura 16 – Profilo delle unità geotecniche nel tratto di interesse

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 intermedia:

- Deposito antropico (R) +2,5 / 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 preval. coesivo di prodelta	Deposito A di piana alluvionale	
Peso di volume	γ [kN/m ³]		17,5-19,5	17,0-18,0	17,5-19,5	18,5-20,5	
Peso specifico dei	γ_s [kN/m ³]		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 sovraconsolidazione	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				
	ϕ' [°]	CU-CD	0 34	n.d.	0 28	-	-
		L.I.	0 39		0 32		
		DMT	34-36	-	-	-	n.d.
		CPTu	35-38	n.d.	25-30	-	32-35
Parametri di resistenza in tensioni totali	cu [kPa]	UU	-	n.d.	20-60	60-110	
		DMT	-	5-30	0,15 σ'_v 0,22 σ'_v	0,15 σ'_v	-
		L.I.	-	10-20	0,12 σ'_v 0,26 σ'_v	0,30 σ'_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]	σ'_v :50-100kPa σ'_v :100-200kPa σ'_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 ² /s]		-	n.d.	2·10 ⁻⁸ 7·10 ⁻⁷	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 17) e ai relativi parametri ricavati dall’elaborazione della prova (Figura 18).

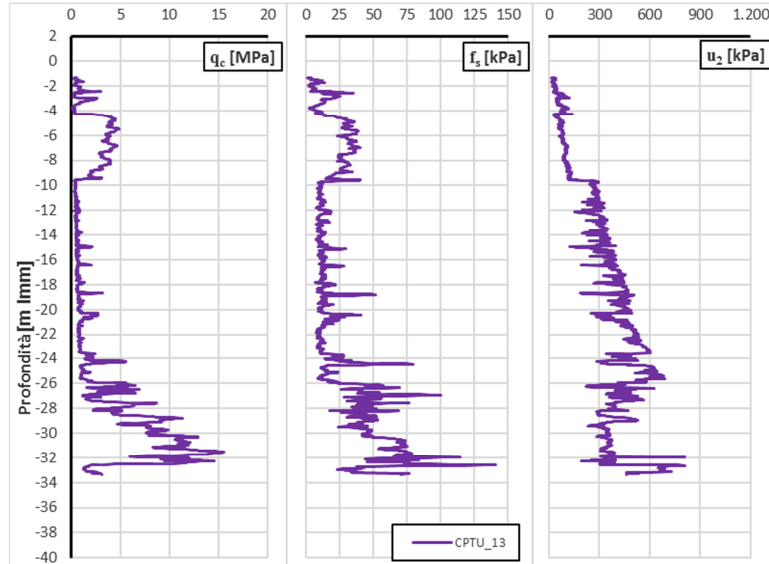


Figura 17 – Risultati della prova CPTu_13

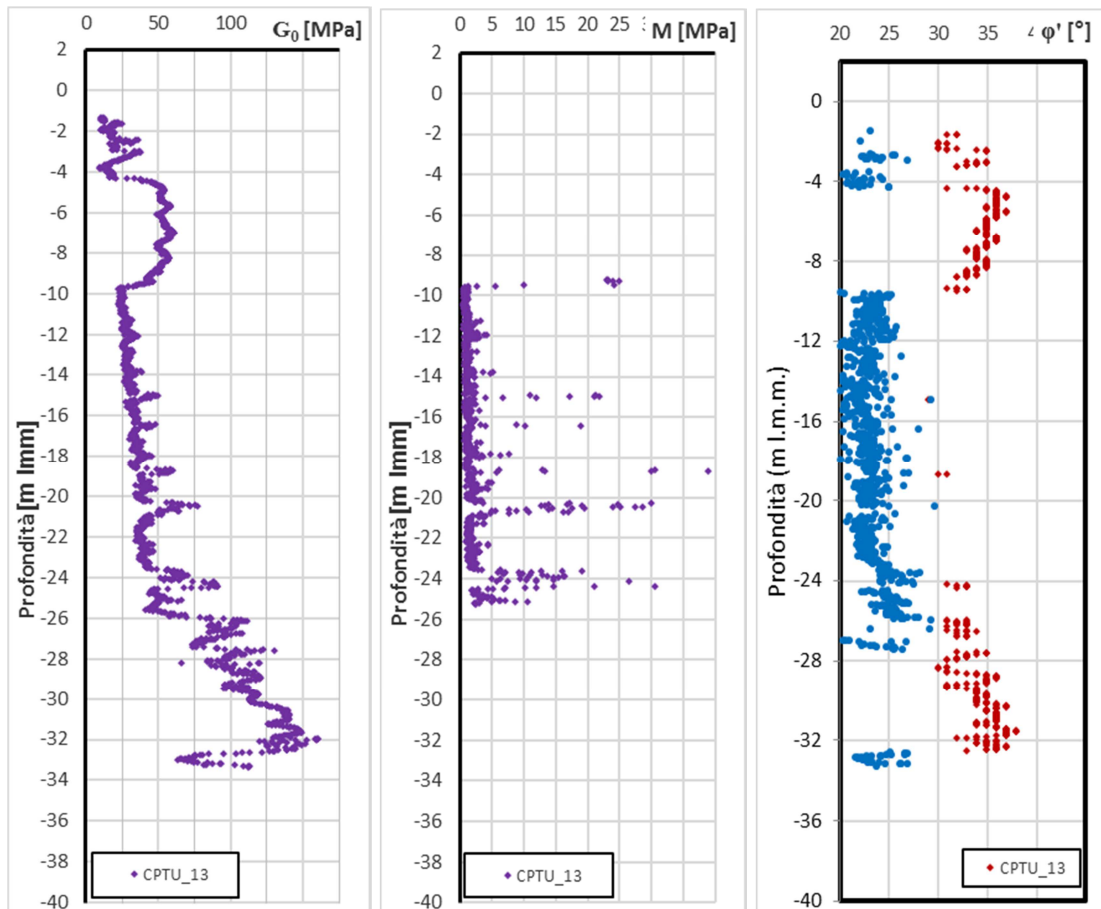


Figura 18 – Principali parametri geotecnici ottenuti dall’elaborazione della CPTu_13

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

		Profondità (m da l.m.m).	γ (kN/m³)	E_{50}' (kN/m²)	ν (-)	c_k' (kPa)	φ_k' (°)
(P)	Depositi di Palude	-0,0 / -4,0	17,50	3.000	0,25	-	26
(S)	Sabbie Dunali	-4,0 / -10,0	18,00	15.000	0,25	-	36
(M)	Limi Argillosi	-10,0 / -25,0	18,00	4.000	0,25	-	28
(T)	Sabbie profonde	-25,0 / -27,0	18,50	25.000	0,25	-	33
(A)	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;"><i>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Setentrionale</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>Membro della Federazione CSO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> </div> <p style="text-align: center;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 29 di 106</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

γ_F coefficienti parziali per le azioni

γ_E coefficienti parziali per gli effetti delle azioni

γ_M coefficiente parziali per i materiali

Il Decreto del 2008 fornisce un solo gruppo di valori numerici, valido sia per γ_F che per γ_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

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 30 di 106</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

- F_k azioni di progetto caratteristiche
 X_k parametri caratteristici dei materiali (parametri caratteristici dei terreni)
 a_d geometria di progetto
 γ_F coefficienti parziali per le azioni
 γ_M coefficienti parziali per i materiali (parametri geotecnici dei terreni)
 γ_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): γ_F (o γ_E).

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

Tabella 6. Coefficienti parziali sui parametri caratteristici del terreno: γ_M

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coeff. parziale	Coefficiente parziale γ_M	M1	M2
Tangente della resistenza a taglio	ϕ'	$\gamma_{\phi'}$	1	1.25
Coesione efficace	c'	$\gamma_{c'}$	1	1.25
Resistenza non drenata	c_u	γ_{c_u}	1	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	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
	γ_R	1.1

Tabella 9. Coefficienti parziali sulle resistenze caratteristiche per pali di fondazione: γ_R

Resistenza	Simbolo γ_R	R1	R2	R3	R1	R2	R3
		infissi			trivellati		
Base	γ_b	1	1.45	1.15	1.0	1.7	1.35
Laterale in compressione	γ_s	1	1.45	1.15	1.0	1.45	1.15
Laterale in trazione	γ_{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
ξ_3	1.8	1.75	1.70	1.65	1.60
ξ_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).

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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 33 di 106</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 $F_k = 2400 \text{ kN}$
- dimensioni dello stabilizzatore: $1,80 \text{ m} \times 5,50 \text{ m}$

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.

<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 Alma Petroli 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. : 34 di 106</p>
--	---	---

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

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 19 sono indicate le coordinate geografiche della banchina in esame.

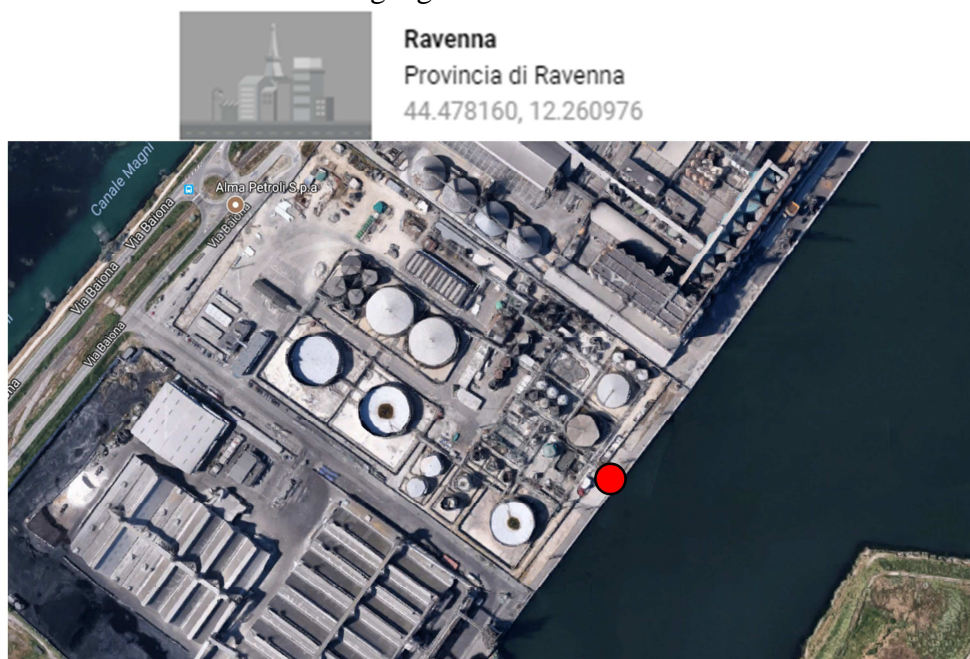


Figura 19 – Coordinate geografiche della banchina in esame (da Google maps)

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:

$$\text{SLD } a_g = 0,063g \qquad \text{SLV } a_g = 0,170g$$

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	0,063	2,504	1,800	1,00	0,113
SLV	0,170	2,554	1,750	1,00	0,298

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 20).

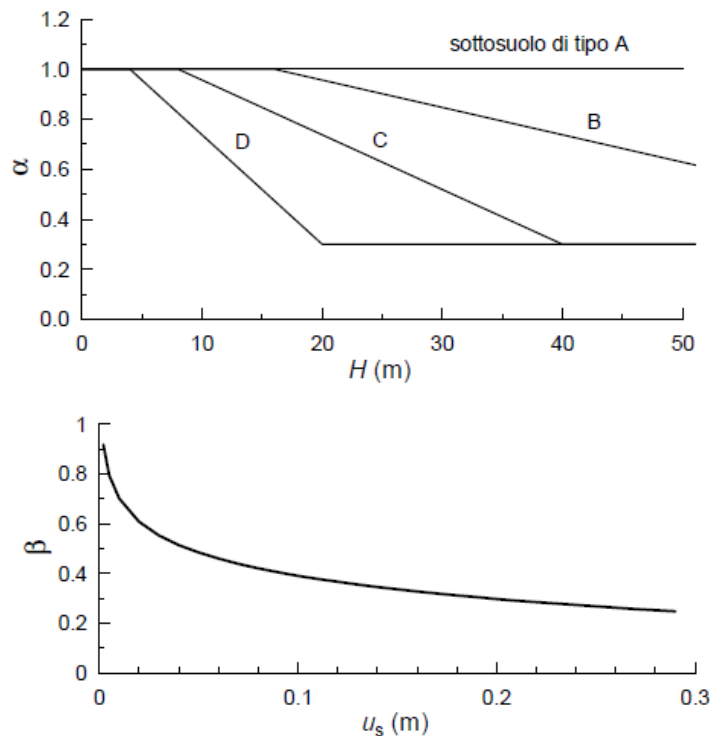


Figura 20 – Utilizzo di metodi pseudostatici per il calcolo delle paratie: valutazione del coefficiente di deformabilità α (in alto) e di spostamento β (in basso)

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

- **Banchina - SLV:** $k_h = \alpha \cdot \beta \cdot (a_{max}/g) = 0,2 \cdot 0,298 = 0,060$
 $k_v = 0$

- **Banchina - SLD:** $k_h = \alpha \cdot \beta \cdot (a_{max}/g) = 0,3 \cdot 1,0 \cdot 0,113 = 0,034$
 $k_v = 0$

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 β 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 β 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 β_s (Tabella 12).

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

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_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:** $k_h = \beta_s \cdot (a_{max}/g) = 0,24 \cdot 0,298 = 0,072$ $k_v = \pm 0,5 k_h = \pm 0,036$

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 simiche 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 21.

Incremento dinamico
(Westergaard, 1933)

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

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

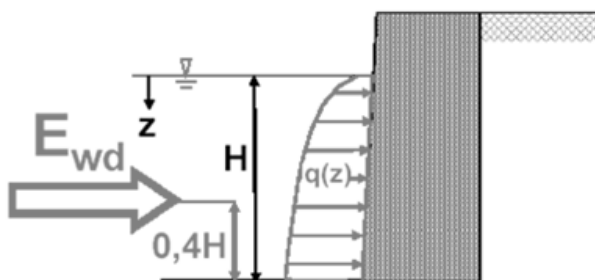


Figura 21 - Valutazione della pressione idrodinamica indotta da azione sismica (Westergaard)

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 22, tenendo conto delle accelerazioni sismiche definite in precedenza.

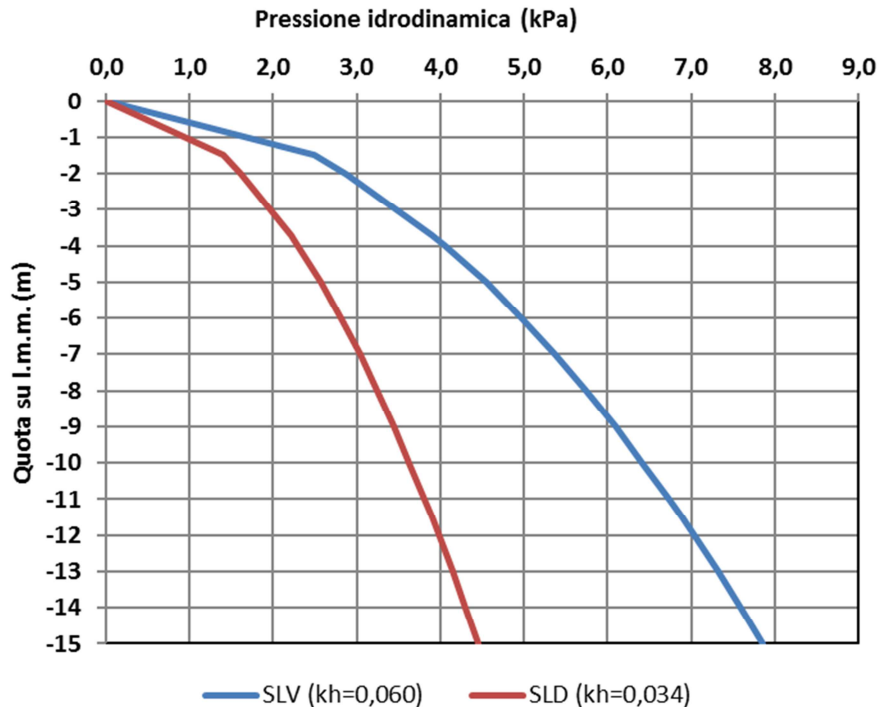


Figura 22 - Azioni idrodinamiche di Westergaard utilizzate in SLV e SLD

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

<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;">Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p style="text-align: right;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 38 di 106</p>
--	---	--

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	
SLU1.1		1	Ψ_{01}	1
SLU1.2		1	Ψ_{01}	1
SLV	Ψ_{21}	0,6	Ψ_{22}	0
SLE (rara, sovracc.+bitta)		1	Ψ_{01}	1
SLD	Ψ_{21}	0,6	Ψ_{22}	0
ECC	Ψ_{21}	0	Ψ_{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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 39 di 106</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: γ_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;"><i>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p>  <p style="text-align: right;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 40 di 106</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 ε_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 ε_{50} è la corrispondente deformazione principale (Figura 23).

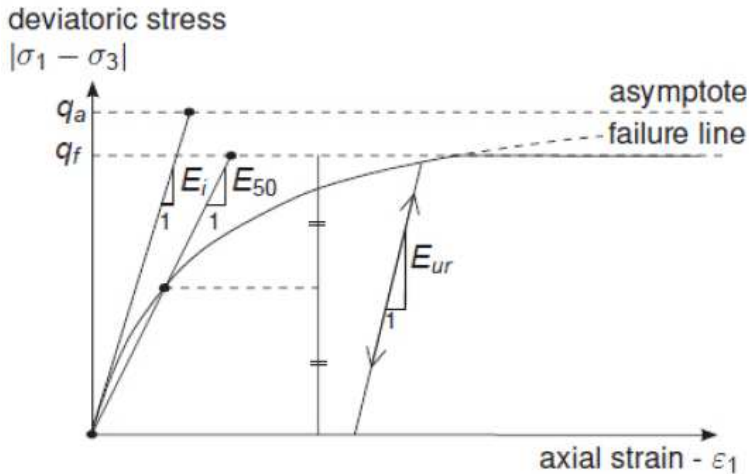


Figura 23 – Parametri principali del modello HSM relativi ad una prova triassiale consolidata drenata

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 (σ'_3), mentre il modulo edometrico (E_{oed}) è legato alla tensione principale massima (σ'_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.

In Figura 24 sono mostrati, nel piano degli invarianti di tensione p' e q , le diverse regioni descritte dai parametri considerati.

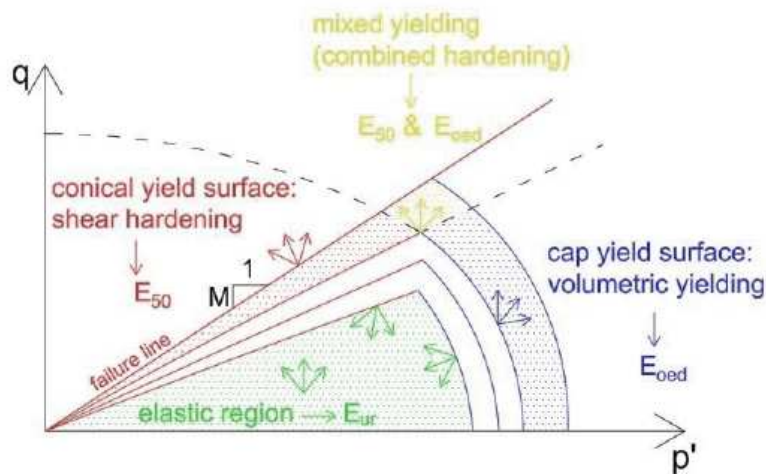


Figura 24 – Delimitazione delle regioni elastica e plastica e dei parametri associati alle superfici di snervamento che ne regolano l’evoluzione nel piano degli invarianti di tensione p' e q .

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, con quota piazzali pari alla quota di piano regolatore (+2,50 m su l.m.m.).

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 25 è presentato lo schema utilizzato per le analisi numeriche.

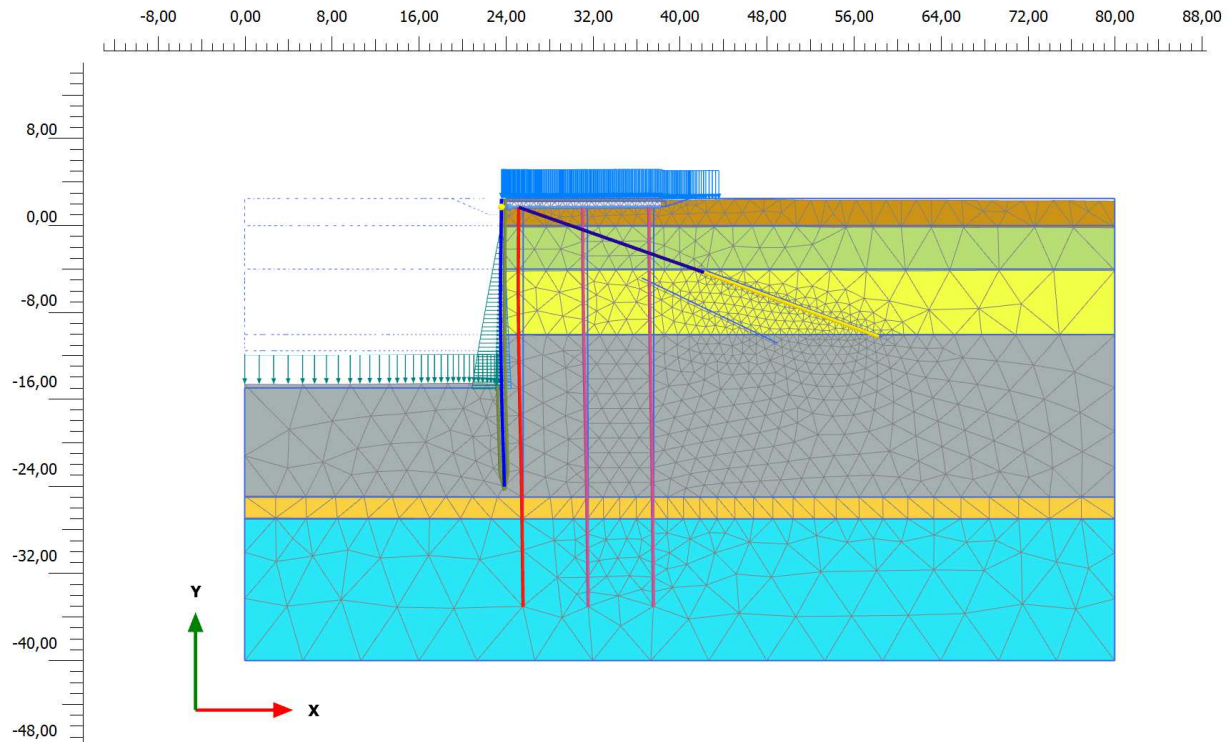


Figura 25 – Schema utilizzato per le analisi numeriche della banchina Alma Petroli

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 +2,50 m da l.m.m.;
- sovraccarico su molo 40 kPa;
- tiro alla bitta 40 kN/m;
- palancoato esistente tipo HZ775B/ZH9.5 fino a quota -24,00 m da l.m.m.
- tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato esistenti in sommità alla paratia (6 trefoli, interasse 2,00 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 14,20 m;
- 3 file di pali di appoggio del solettone in c.a., estesi fino a -35,0 m da l.m.m., interasse in direzione longitudinale alla banchina 4,00 m:
 - o $\varnothing 1200$ per la fila lato mare;
 - o $\varnothing 1000$ per le due file retrostanti;
- tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato nuovi sulla trave di banchina L=35 m (17 m parte libera, 18 m fondazione, $i=20^\circ$), realizzato con iniezione jet-grouting coassiale alla fondazione ed armato con barra Dywidag $\varnothing 47$, interasse 2,00 m;

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

		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.]	+2,5 / 0,0	0,0 / -4,0	-4,0 / -10,0	-10,0 / -25,0	-25,0 / -27,0	-27,0 / -40,0
γ	[kN/m ³]	18,00	17,50	18,00	18,00	18,50	19,00
E_{50}^{ref}	[kN/m ²]	15.000	3.000	15.000	4.000	25.000	20.000
E_{ed}^{ref}	[kN/m ²]	-	-	15.000	4.000	-	-
E_{ur}^{ref}	[kN/m ²]	-	-	45.000	12.000	-	-
m	-	-	-	0,5	0,8	-	-
v	-	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
c'	[-]	nulla	nulla	nulla	nulla	nulla	nulla
ϕ'	[°]	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
 γ : 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
v: modulo di Poisson
c'; ϕ' : parametri di resistenza

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

ELEMENTI STRUTTURALI - PLATE

No.	Identification	EA [kN/m]	EI [kNm ² /m]	v [-]
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:

ELEMENTI STRUTTURALI – EMBEDDED BEAM ROW

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSGO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

No.	Identification	E [kN/m ²]	γ [kN/m ³]	Type	Lspacing [m]	Axial skin resistance	Interface stiffness factor
1	Palo ϕ 1000/4,00m	35.000.000	25,0	Massive circular pile	4,00	Layer dependent	Default values
2	Palo ϕ 1200/4,00m	35.000.000	25,0	Massive circular pile	4,00	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=2,0m)	86.100	1
2	Dywidag ϕ 47/2,00m	178.000	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/2,00	1.320.000
2	Bulbo D=40cm + Dywidag ϕ 47/2,00	2.376.000

<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;">Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settenzionale</p>	 <p style="text-align: center;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 46 di 106</p>
--	---	--

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 con metodo k0
	1	0	Inserimento paratia esistente HZ775B-ZH9.5
	2	1	Ribasso a valle fino a +1,00 m l.m.m.
	3	2	Inserimento tiranti esistenti 6tr/2,00 m
	4	3	Pretensione tiranti 150 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 nuove strutture (pali, solettone, ancoraggi)
	8	7	Rinterro fino a +2,50 m l.m.m. e disattivazione vecchio ancoraggio
	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

		Statica (SLU)		Sismica (SLV)
		SLU11	SLU12	Pseu.statica + Westergaard
		1,3 (perman.) 1,5Q (sovrac.) 1,5Q (bitta) ϕ_k	1,0 (perman.) 1,3Q (sovrac.) 1,3Q (bitta) ϕ_d, r_{id}	0,6Q (sovrac.) No bitta ϕ_k
PARATIA ESISTENTE HZ775B- ZH9.5	M (kNm/m)	1357	1145	1407
	T (kN/m)	288	222	224
	N (kN/m)	360	277	277
Solettone	M (kNm/m)	857	725	496
Pali ϕ 1200 FILA1	M (kNm)	2149	2140	3638
	T (kN)	435	411	681
	N (kN)	3467	2842	3071
Pali ϕ 1000 FILA2	M (kNm)	721	737	1560
	T (kN)	138	129	285
	N (kN)	2763	2256	2262
Pali ϕ 1000 FILA3	M (kNm)	1047	805	1308
	T (kN)	159	123	235
	N (kN)	2898	2379	2176
Tiro su nuova barra Dywidag ϕ 47/2,00m	(kN)	923	878	1072

Per lo stato limite SLV, si presentano alcuni dettagli dei risultati dell'analisi. In Figura 26 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.

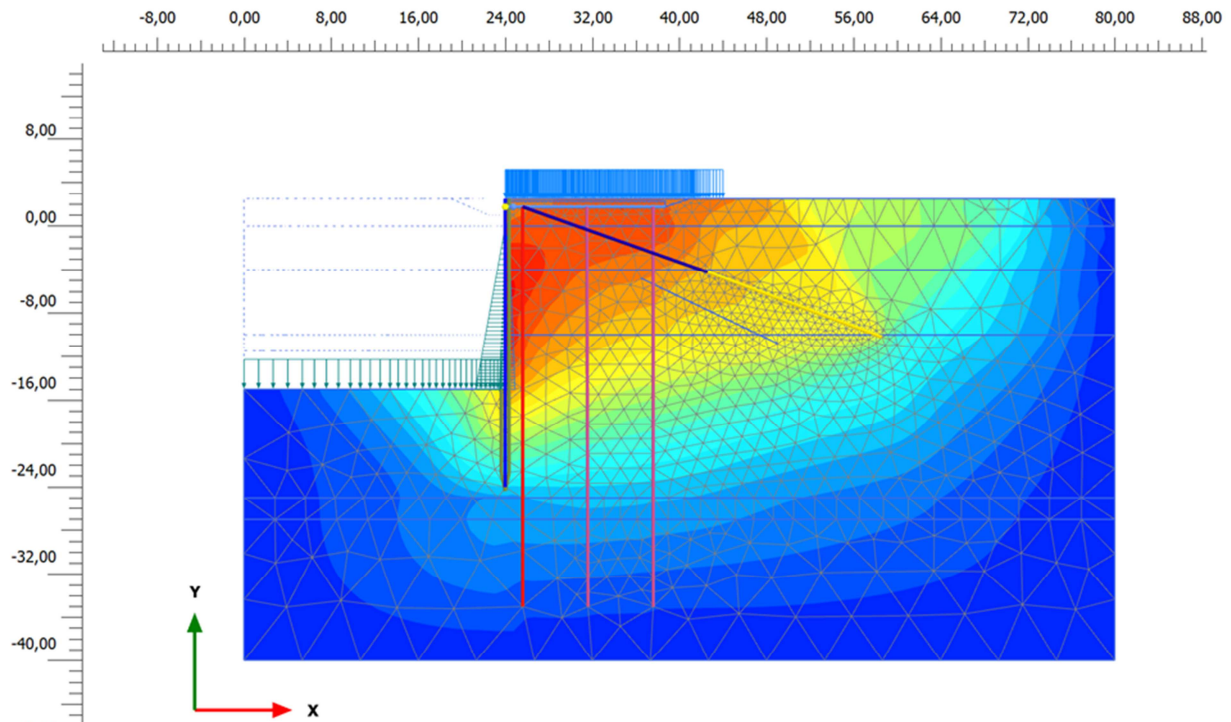


Figura 26 - Analisi SLV: campo degli spostamenti orizzontali.

In Figura 27 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.

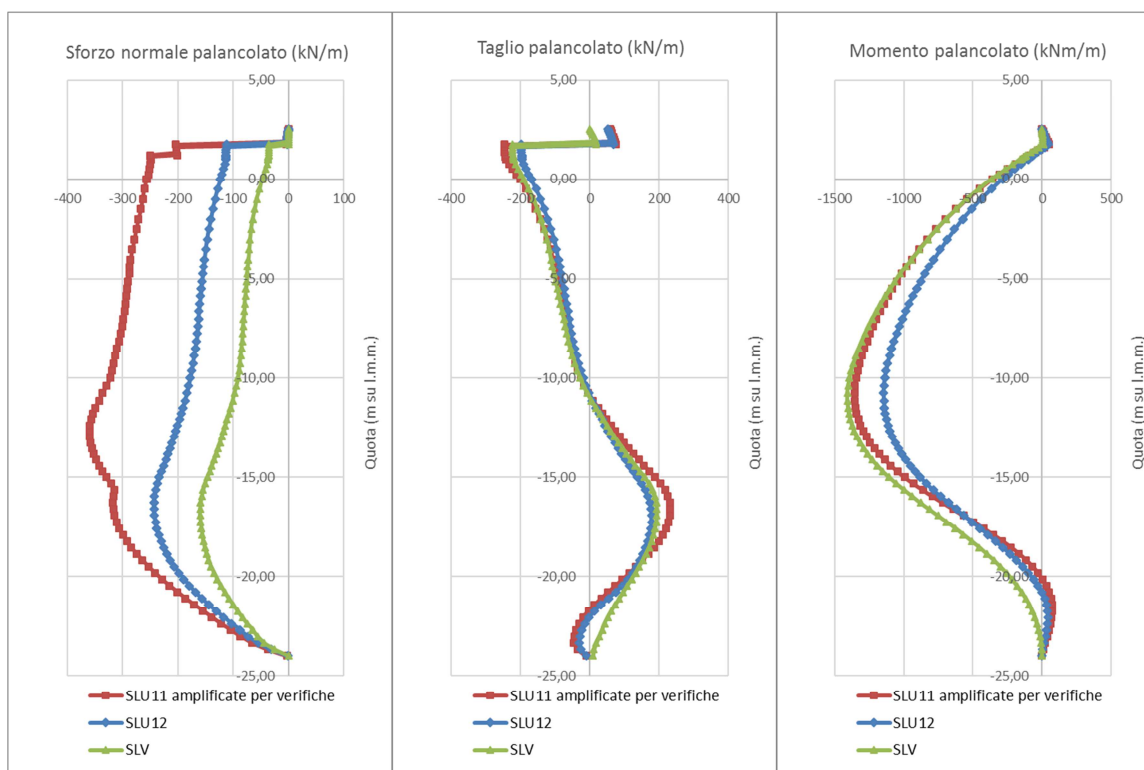


Figura 27 - Analisi SLU-SLV: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agente sul palancolato

In Figura 28 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.

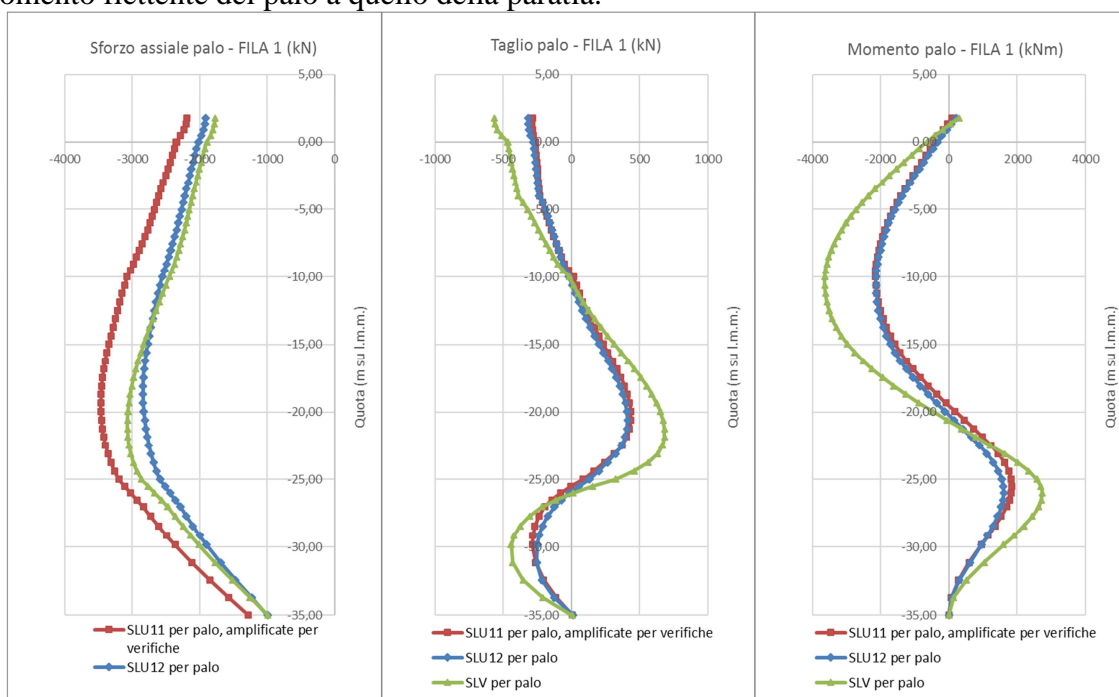


Figura 28 - Analisi SLU-SLV: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agente sui pali di FILA1

In Figura 29 e Figura 30 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.

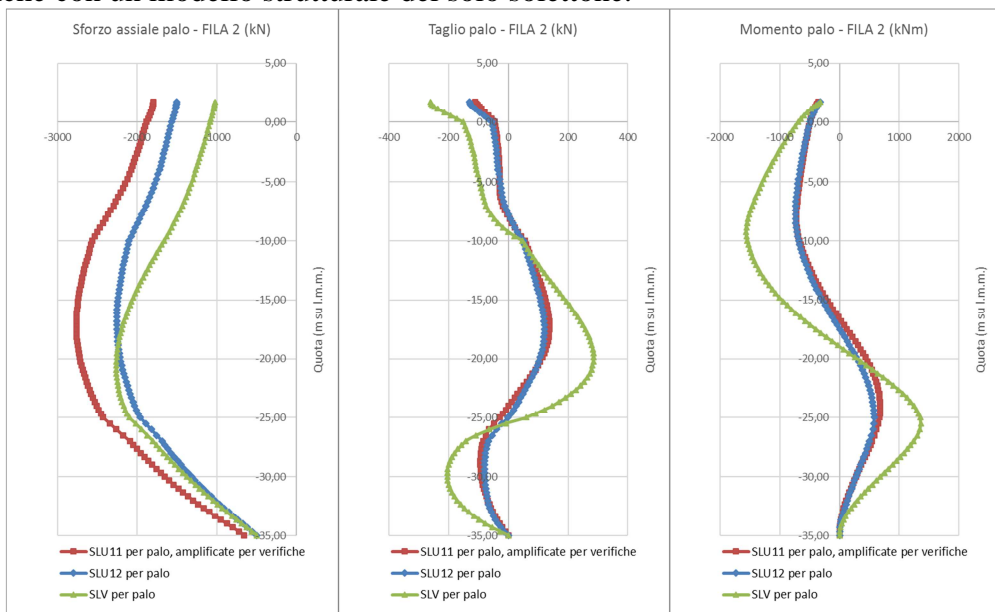


Figura 29 - Analisi SLU-SLV: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agente sui pali di FILA2

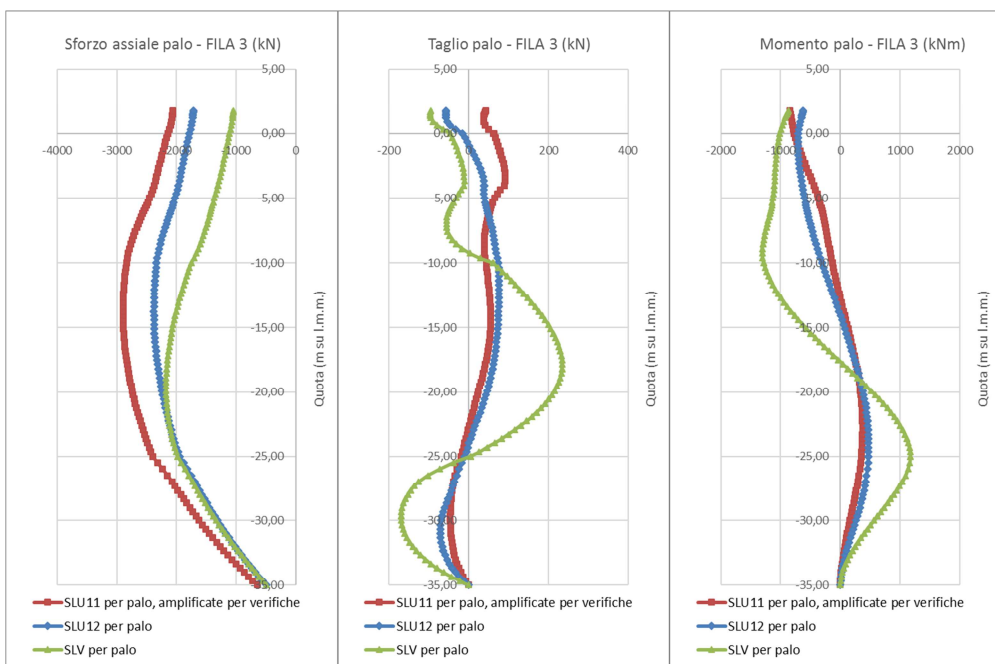


Figura 30 - Analisi SLU-SLV: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agente sui pali di FILA3

In Figura 31 è presentato il diagramma del momento flettente (per metro di sviluppo) agente sul solettone sommitale che deriva dal modello 2D di analisi.

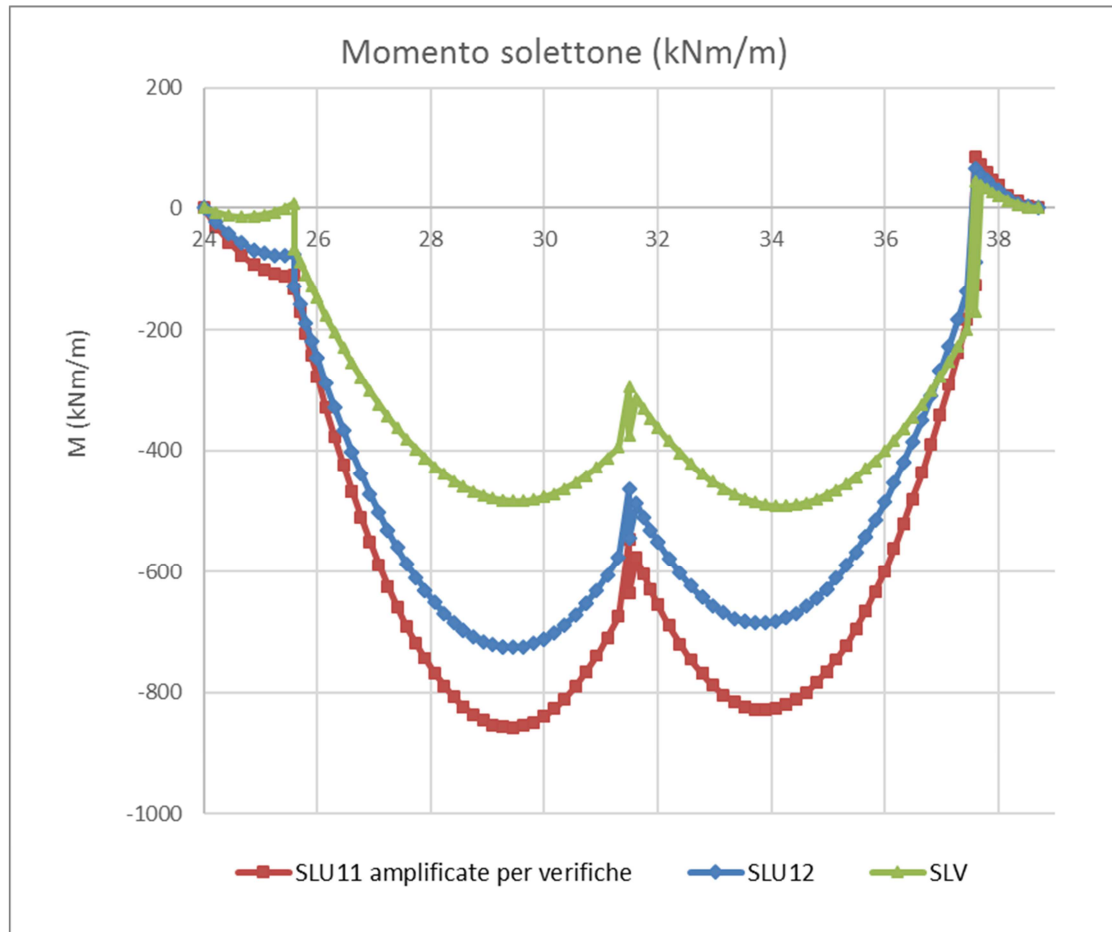


Figura 31 - Analisi SLU-SLV: diagramma del momento flettente sul solettone

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

		SLE	SLD
			Pseu.statica + Westergaard
		1,0 (perman.) 1,0Q (sovrac.) 1,0Q (bitta) ϕ_k	0,6Q (sovrac.) No bitta ϕ_k
PARATIA ESISTENTE HZ775B- ZH9.5	M (kNm/m)	1036	1206
	T (kN/m)	222	222
	N (kN/m)	277	277
Solettone	M (kNm/m)	-	-
Pali ø1200 FILA1	M (kNm)	1609	2491
	T (kN)	327	472
	N (kN)	2524	2614
Pali ø1000 FILA2	M (kNm)	533	960
	T (kN)	101	174
	N (kN)	2007	1971
Pali ø1000 FILA3	M (kNm)	805	841
	T (kN)	123	123
	N (kN)	2092	1937
Tiro su nuova barra Dywidagø47/2,00m	(kN)	680	816
Spostam. paratia lato mare (cm)	+2,50m	13	24
	MAX	23	34
	-24,00m	3	7

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

Nella Figura 32 e Figura 33 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.

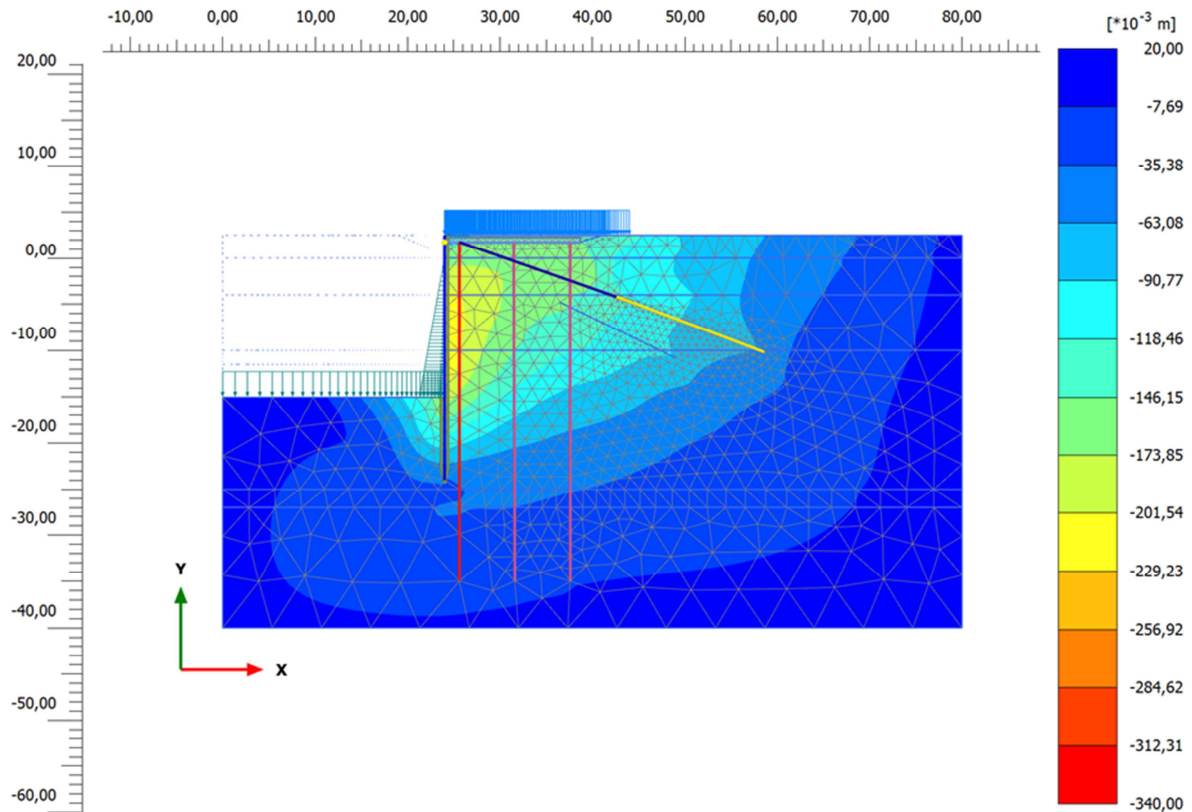


Figura 32 - Analisi SLE - RARA: campo degli spostamenti orizzontali

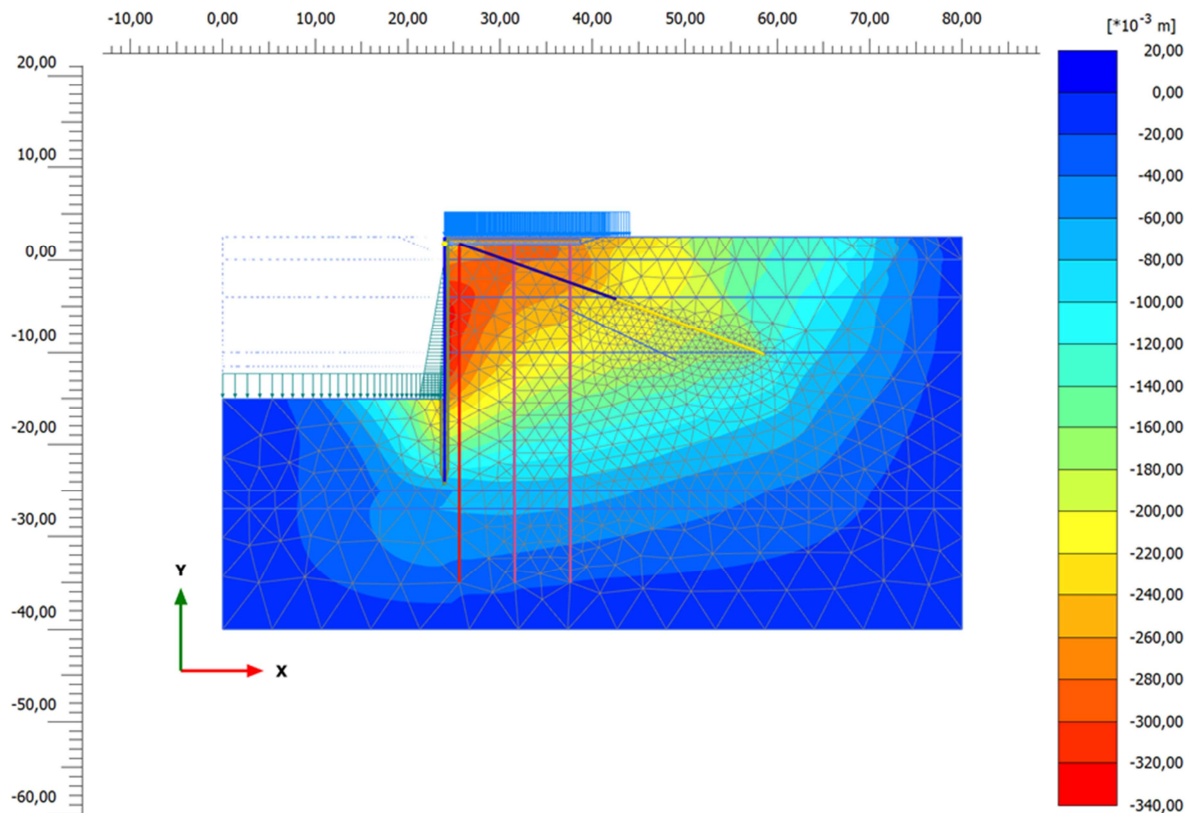


Figura 33 - Analisi SLD: campo degli spostamenti orizzontali

In Figura 34 sono riportati i diagrammi dello sforzo normale, del taglio e del momento flettente agenti sul palancolato agli stati limite di esercizio considerati (SLE-SLD)

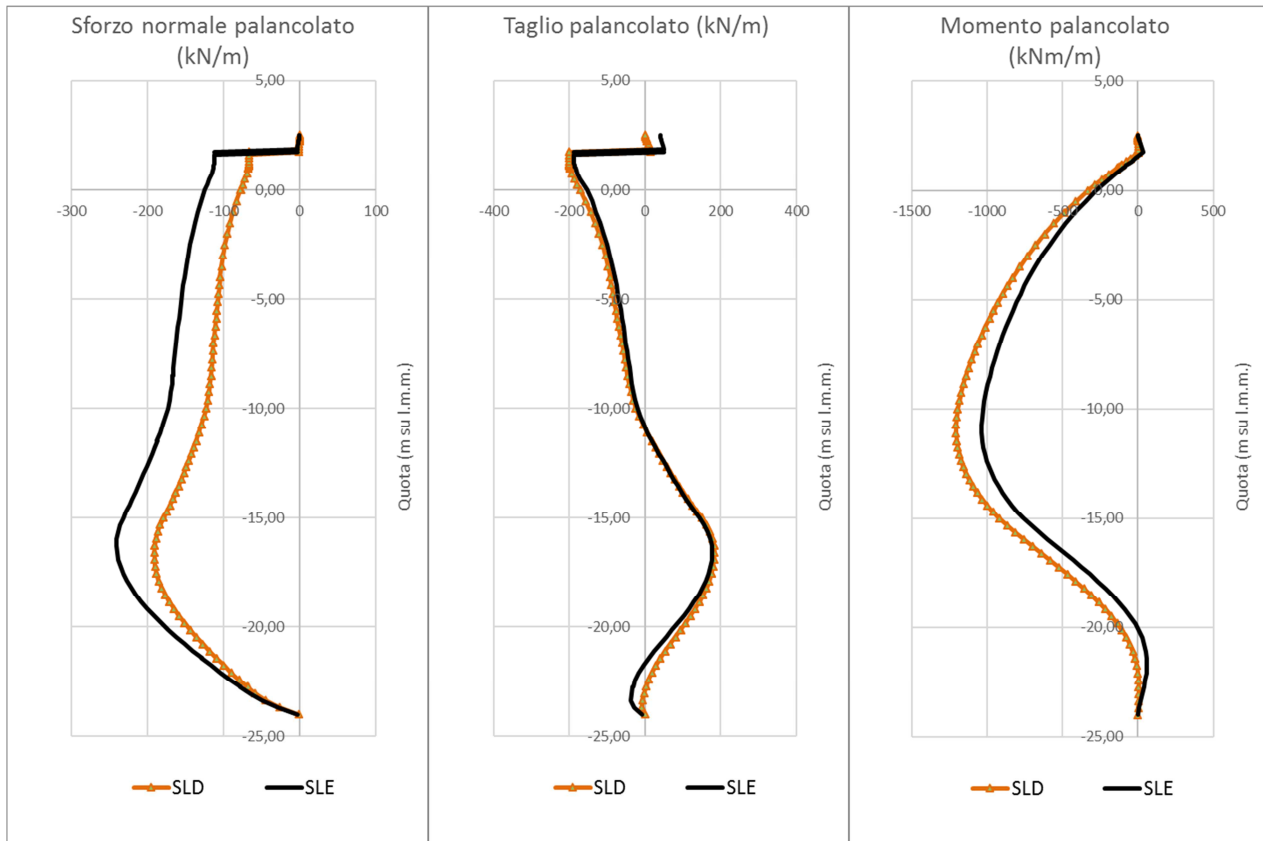


Figura 34 - Analisi SLE-SLD: diagramma dello sforzo normale, taglio e momento flettente agenti sul palancolato

In Figura 35 sono mostrati gli spostamenti complessivi maturati dal palancolato metallico agli stati limite di servizio analizzati.

Si osserva uno spostamento massimo di circa 24 cm in pancia del palancolato in condizione SLE-rara. Tale valore tiene conto di uno spostamento complessivo della paratia nel modello numerico di circa 3 cm. Ciò significa un’inflessione massima della paratia di 21 cm, valore rilevante ma ancora accettabile tenuto conto della flessibilità della palancola presente e del fatto che tali spostamenti non hanno conseguenze a tergo grazie alla presenza del solettone su pali.

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 palancolato metallico si hanno circa 27 cm, con una componente di spostamento in sommità coerente con l’aumento di tiro osservato sugli ancoraggi sommitali.

Uno spostamento calcolato di 27 cm in condizioni sismiche SLD rientra nel campo degli spostamenti previsti per le opere portuali dalle raccomandazioni PIANC anche per l’operatività dell’infrastruttura (livello di danno 1).

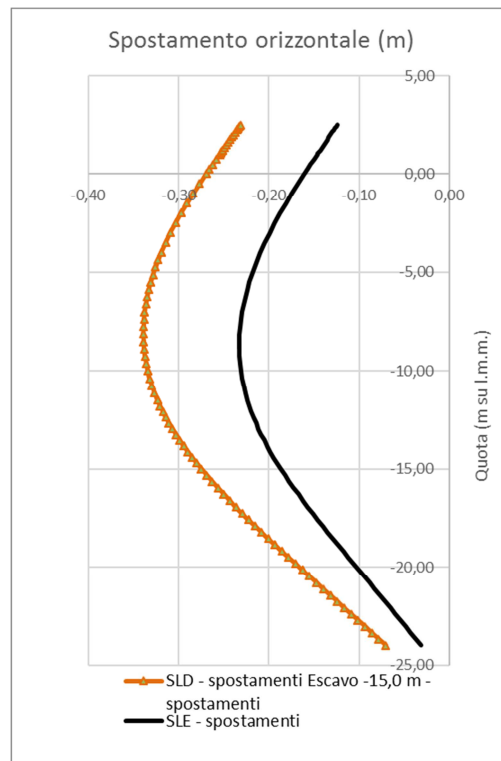


Figura 35 - Confronto delle deformate della palancola nelle diverse analisi di stato limite di esercizio

In Figura 36 è riportato l’incremento di spostamento orizzontale esibito dal palancolato a seguito dell’esecuzione dell’escavo necessario a portare il fondale attuale (-11,50 m da l.m.m.) al fondale di calcolo (-15,00 m da l.m.m.). Si osserva uno spostamento massimo di 9 cm che si ritiene accettabile per le caratteristiche dell’opera in esame nel contesto delle caratteristiche dei terreni che si ritrovano nel porto di Ravenna.

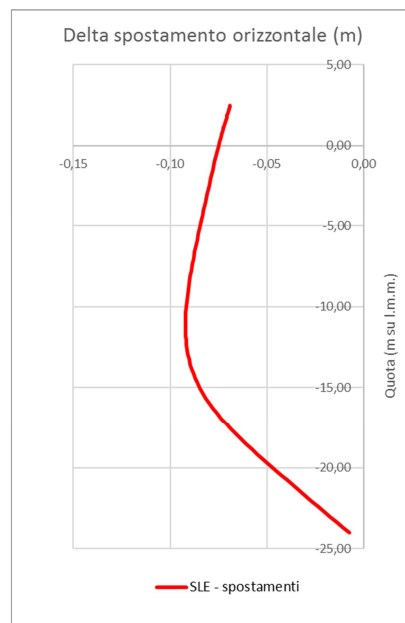


Figura 36 – Incremento degli spostamenti orizzontali sul palancolato per escavo tra lo stato attuale (-11,50 m da l.m.m.) e il fondale di progetto (-15,00m da l.m.m.)

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 255 kPa che agisce su un’altezza di 15 m, tra +2,50 e -12,50 m da l.m.m.

In Figura 37 è visualizzato il campo di spostamenti orizzontali indotto dalla pressione di impatto così definita sul banchinamento. Si rileva uno spostamento massimo di circa 40 cm. Tale spostamento è correlabile ad un livello di danneggiamento certamente accettabile per la struttura.

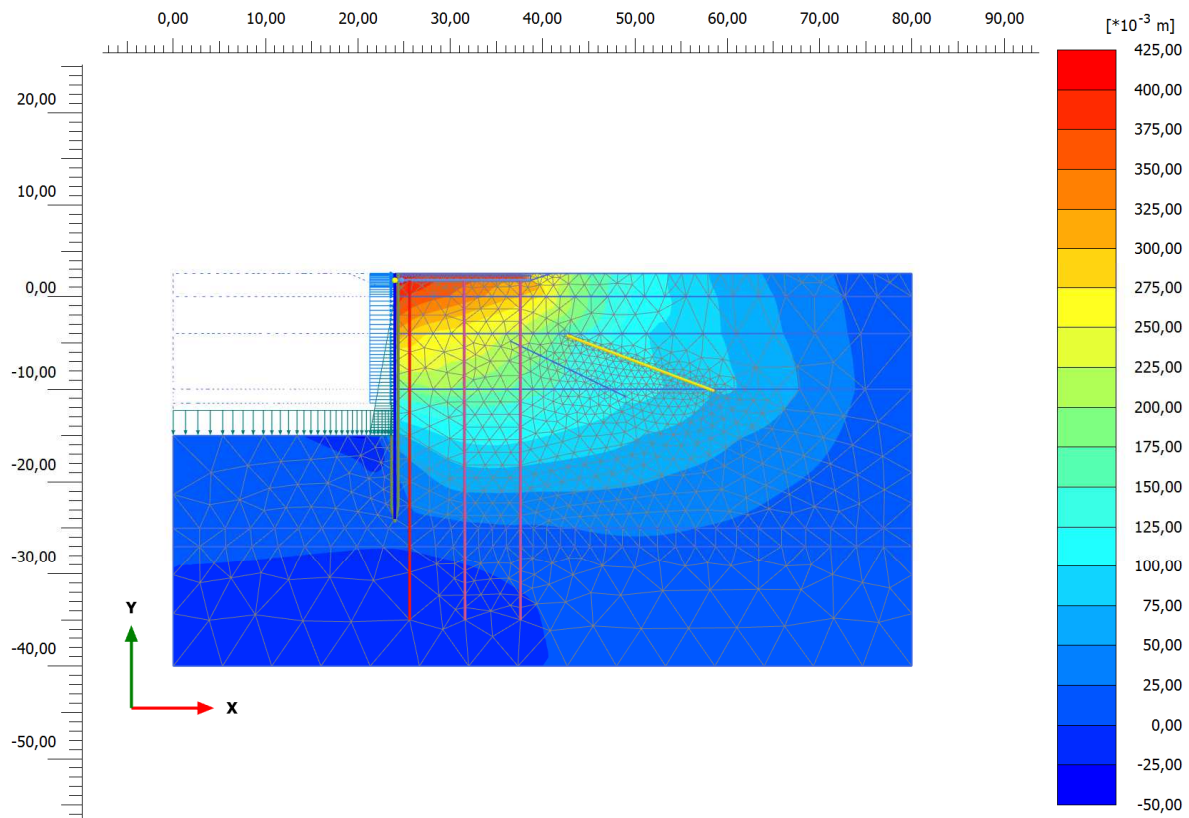


Figura 37 – Spostamenti orizzontali causati dalla pressione di impatto di una nave di grandi dimensioni)

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 38 mostra il quadro degli spostamenti orizzontali e dei punti di plasticizzazione dell'analisi in condizione statica mentre in Figura 39 quelle in condizioni sismiche in $k_h = 0,072$ $k_v = -0,036$.

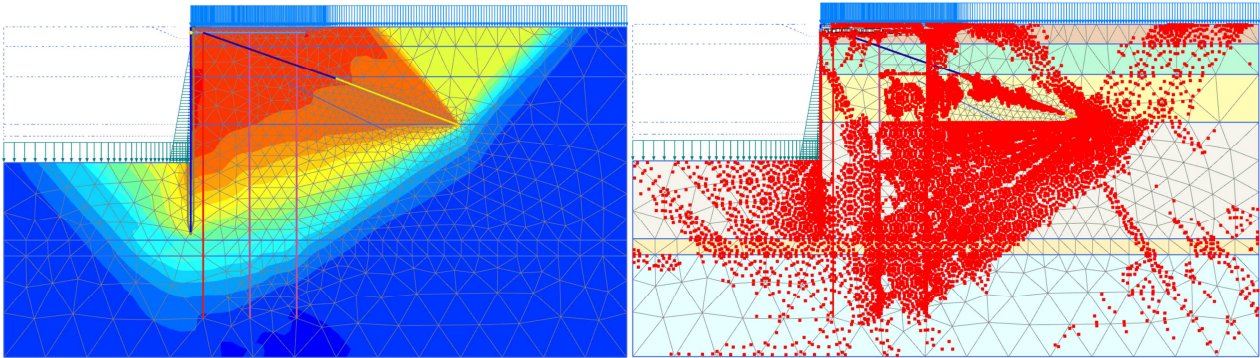


Figura 38 - Analisi di stabilità globale: condizioni statiche SLU

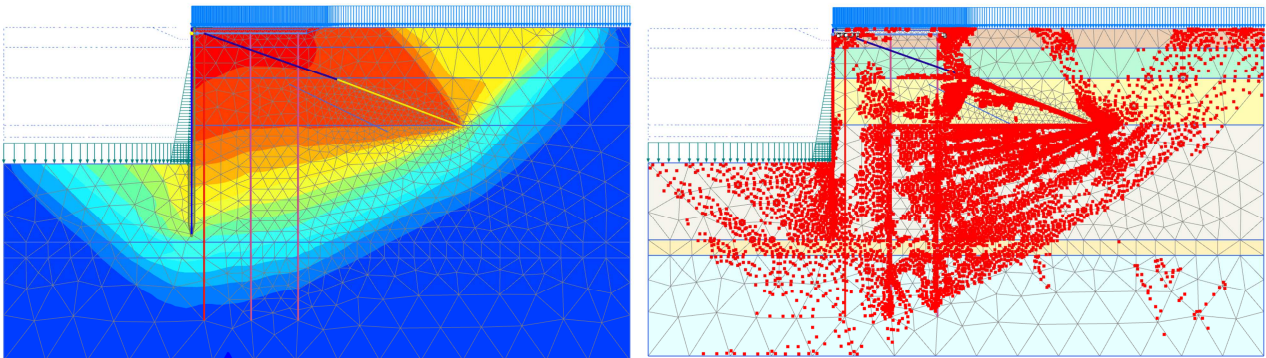


Figura 39 - Analisi di stabilità globale: condizioni sismiche SLV

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 Alma Petroli	1,43	1,11

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 58 di 106</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

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 41):

- FILA 1: allineamento lato mare, a tergo della paratia metallica, $\phi 1200$, interasse 4,00 m, estesi fino a -35 m da l.m.m.;
- FILA 2: allineamento intermedio, a 7,5 m da asse palanca, $\phi 1000$, interasse 4,00 m, estesi fino a -35 m da l.m.m.;
- FILA 3: allineamento lato terra, a 13,5 m da asse palanca, $\phi 1000$, interasse 4,00 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 (comprehensive del peso proprio del palo), e le reazioni vincolari massime agli appoggi del modello strutturale (a cui è stato aggiunto il peso proprio del palo, pari a 664 kN per il palo $\phi 1200$ e 461 kN per palo $\phi 1000$).

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 $\phi 1200/4,00$ m)	3.467	2.842	3.071	2.018	2.789
FILA 2 – palo intermedio (palo $\phi 1000/4,00$ m)	2.763	2.256	2.262	2.332	3.115
FILA 3 – palo lato terra (palo $\phi 1000/4,00$ m)	2.898	2.379	2.176	2.483	3.526

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 40, 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 40, a dx).

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

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

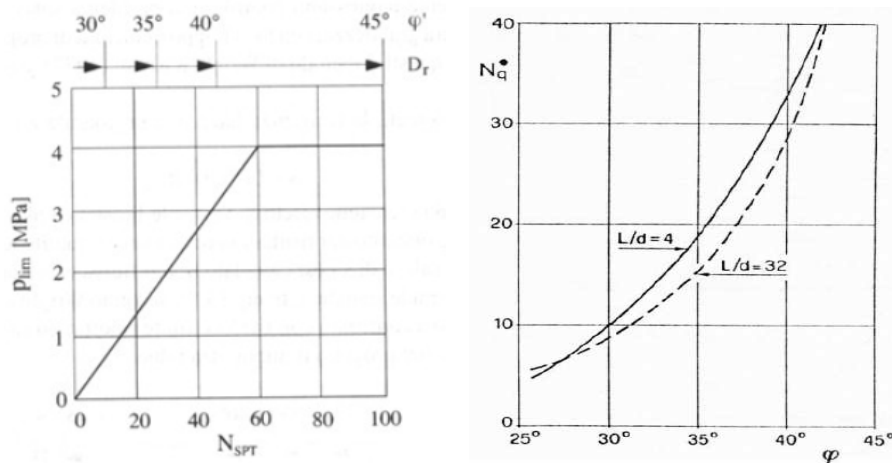


Figura 40 – Pali di grande diametro: a sx) valori limite mobilitati per un cedimento del 5% del palo; a dx) valori del coefficiente di stabilità N_q^* ridotto secondo Berezantzev, 1965

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

Tabella 19. Valori dei coefficienti k e μ

Tipo di palo	Valori di k per stato di addensamento		Valori di μ
	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 ξ , e i valori di progetto, alla punta (R_{bd}) e laterale (R_{sd}), dividendo quelli caratteristici per il rispettivo coefficiente di sicurezza γ .
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 41

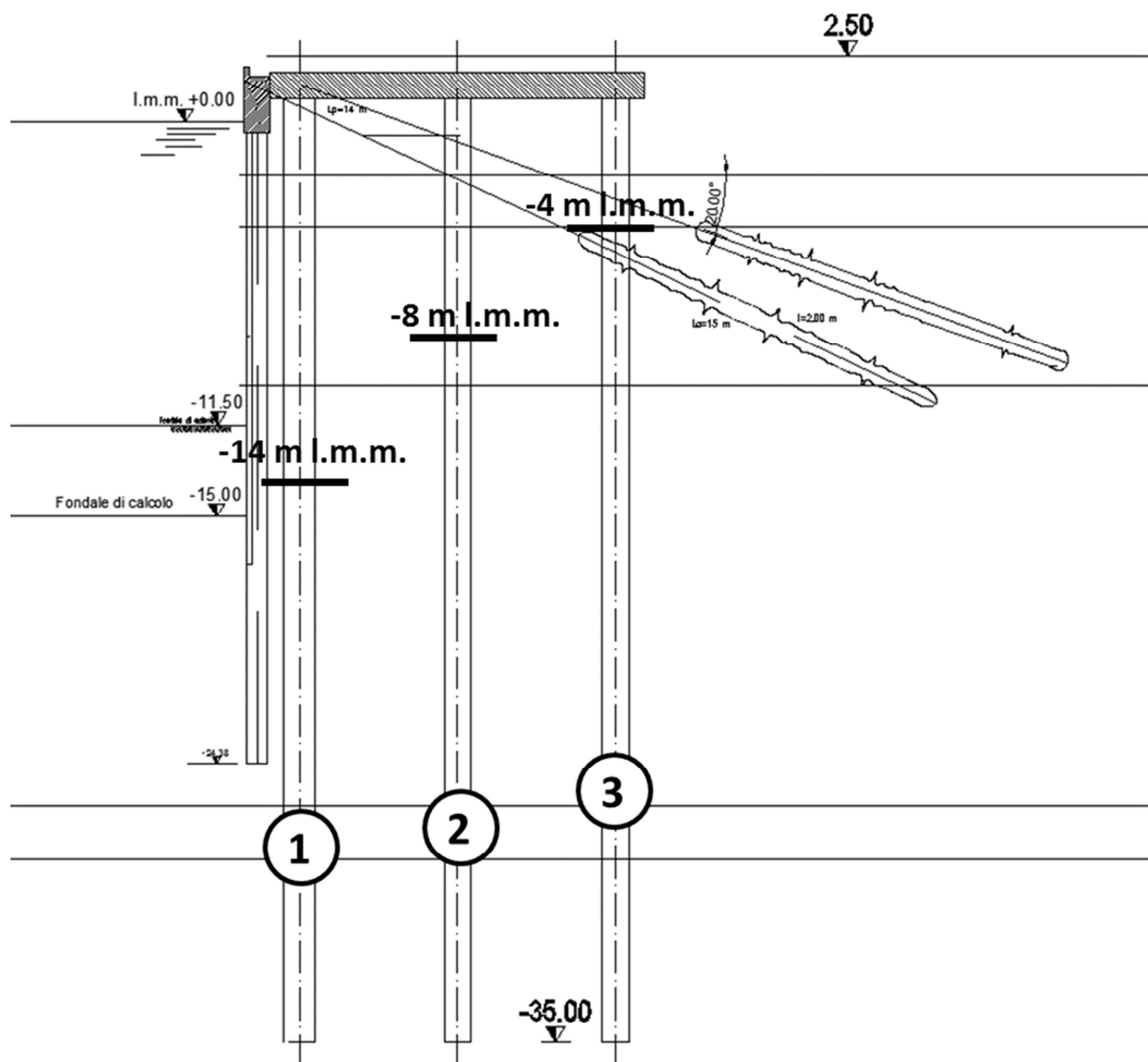


Figura 41 – Sezione tipologica con l'indicazione degli allineamenti dei pali del solettone e indicazione della profondità dalla quale si è considerata efficace la resistenza laterale dei pali

9.4.4.1 Verifica dei pali della FILA 1

In Figura 42 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 4.263 kN. Pertanto:

$$Ed = 3.467 \text{ kN} < 4.263 \text{ kN} = Rd$$

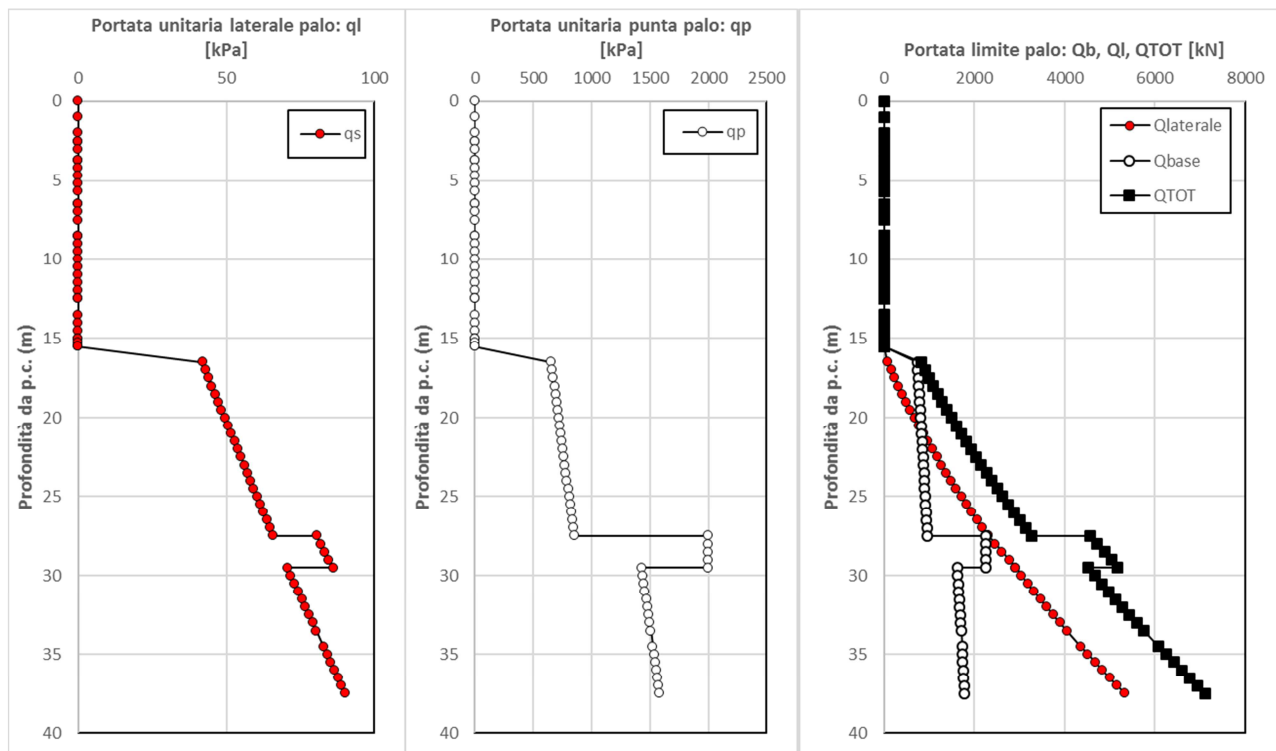


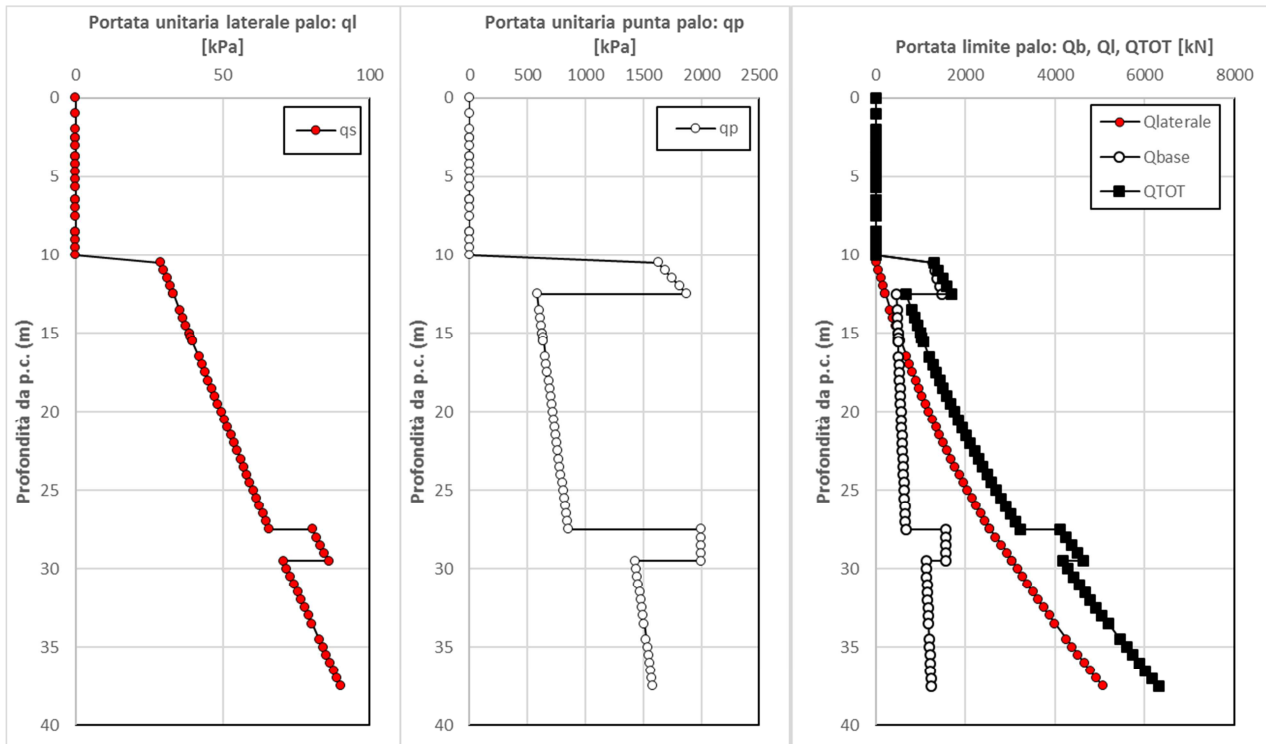
Figura 42 – Palo FILA 1: portata laterale ed alla punta unitaria e portata limite.

9.4.4.2 Verifica dei pali della FILA 2

In Figura 43 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 3.808 kN. Pertanto:

$$Ed = 3.115 \text{ kN} < 3.808 \text{ kN} = Rd$$

Figura 43 – Palo FILA 2: portata laterale ed alla punta unitaria e portata limite



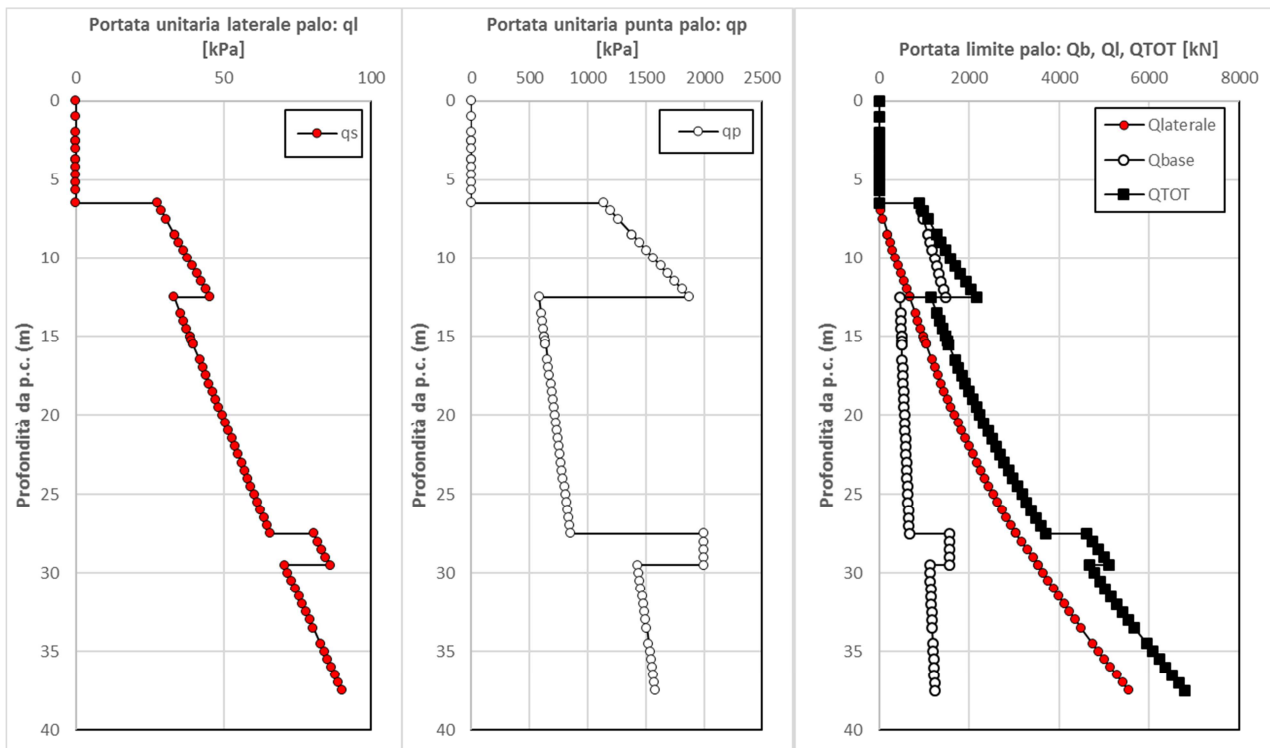
9.4.4.3 Verifica dei pali della FILA 3

In Figura 44 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 4.112 kN. Pertanto:

$$Ed = 3.526 \text{ kN} < 4.112 \text{ kN} = Rd$$

Figura 44 – Palo FILA 3: portata laterale ed alla punta unitaria e portata limite



<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 Alma Petroli 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;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 67 di 106</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 ed il palancolato

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

Pertanto, si ha:

- Pali fila 1, $\phi 1200$ $Ql = 5.339 \text{ kN}$

$K_{\text{palo, max}} = 5.339 / 0,005 \cong 1.100.000 \text{ kN/m}$

$K_{\text{palo, min}} = 5.339 / 0,01 \cong 550.000 \text{ kN/m}$

- Pali fila 2, $\phi 1000$ $Ql = 5.073 \text{ kN}$

$K_{\text{palo, max}} = 5.073 / 0,005 \cong 1.000.000 \text{ kN/m}$

$K_{\text{palo, min}} = 5.073 / 0,01 \cong 500.000 \text{ kN/m}$

- Pali fila 3, $\phi 1000$ $Ql = 5.561 \text{ kN}$

$K_{\text{palo, max}} = 5.561 / 0,005 \cong 1.100.000 \text{ kN/m}$

$K_{\text{palo, min}} = 5.561 / 0,01 \cong 550.000 \text{ kN/m}$

- Palancola per metro di sviluppo $Ql = 576 \text{ kN/m}$

$K_{\text{pal, max}} = 576 / 0,005 \cong 115.000 \text{ kN/m/m}$

$K_{\text{pal, min}} = 576 / 0,01 \cong 57.000 \text{ kN/m/m}$

9.4.6 Verifica dei tiranti di ancoraggio a bulbo iniettato

Il vincolo orizzontale in sommità dell’opera è costituito dai nuovi tiranti a bulbo iniettato T1, considerato che i tiranti esistenti devono essere abbandonati perché privi di adeguata protezione (vedi Figura 45). Pertanto si hanno:

- T1) allineamento di ancoraggi, realizzati da mare, di lunghezza 35 m, inclinazione 20° sull’orizzontale, con 17 m di parte libera e 18 m di fondazione, armato con barra Dywidag ϕ 47 ed interasse 2,00 m; il bulbo di fondazione realizzato con un trattamento coassiale in jet grouting.

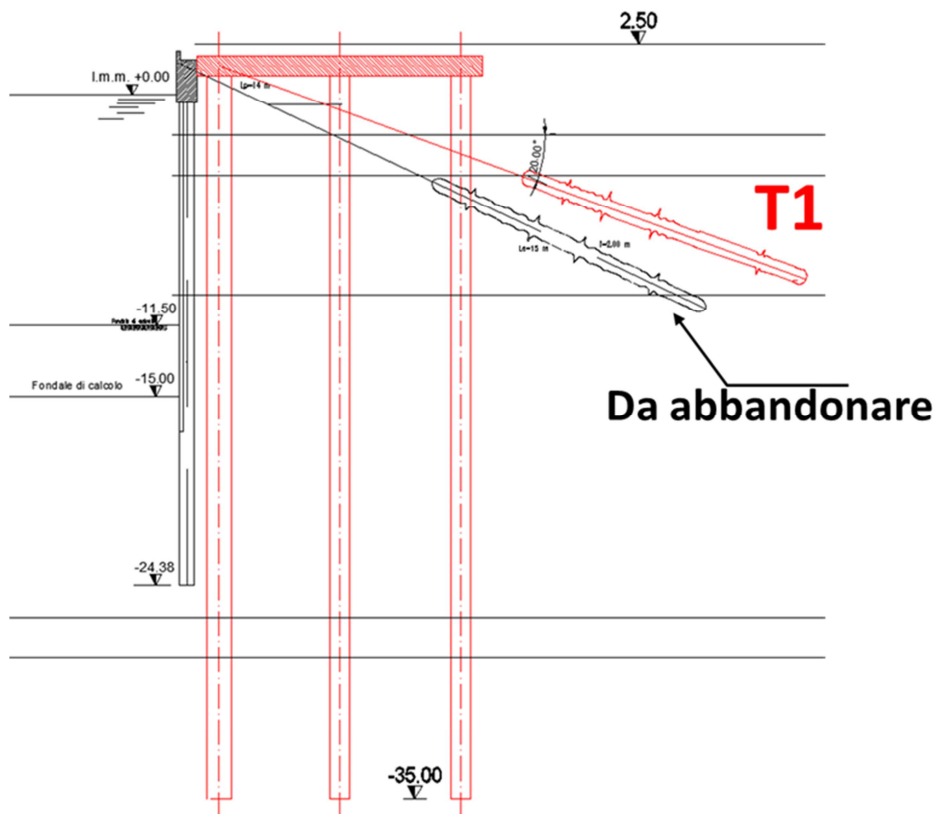


Figura 45 - Sezione tipo intervento di adeguamento con indicazione dei tiranti di ancoraggio

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]	680	816	923	878	1072

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 $\phi 47/2,00$ m	[kN]	1.072

9.4.6.1 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 46 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.

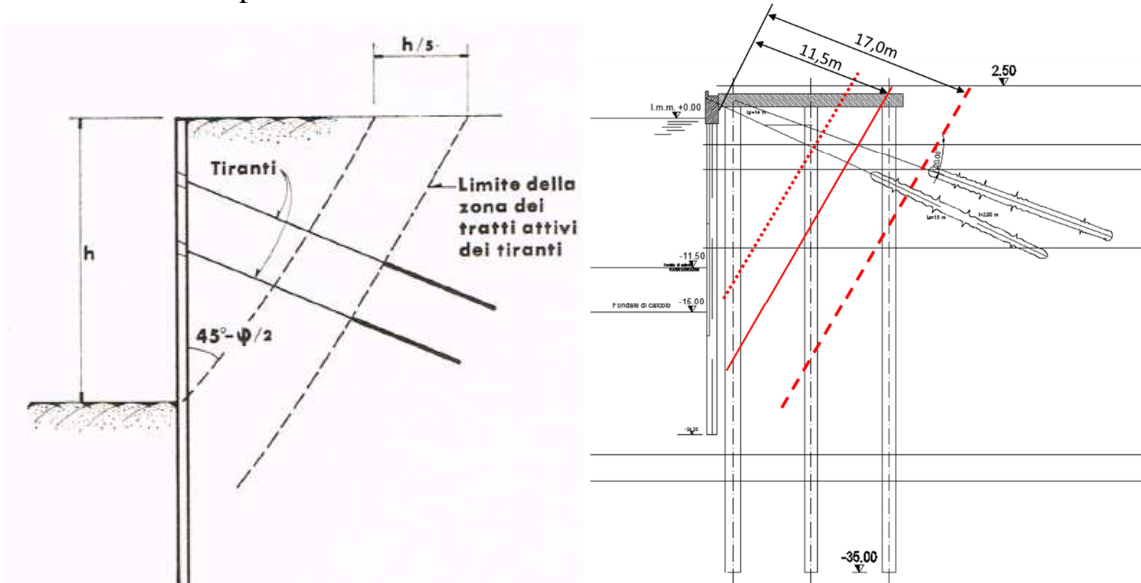


Figura 46 – a sx) definizione della lunghezza libera degli ancoraggi a tergo di una paratia secondo Peck; a dx) determinazione della lunghezza libera degli ancoraggi in condizioni sismiche secondo NTC2008

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 70 di 106</p>
--	---	---

9.4.6.2 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).

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.

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

Nel 2008, per la costruzione del banchinamento in Trattaroli Destra (parte dell’attuale Terminal CTS), 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 47. 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).

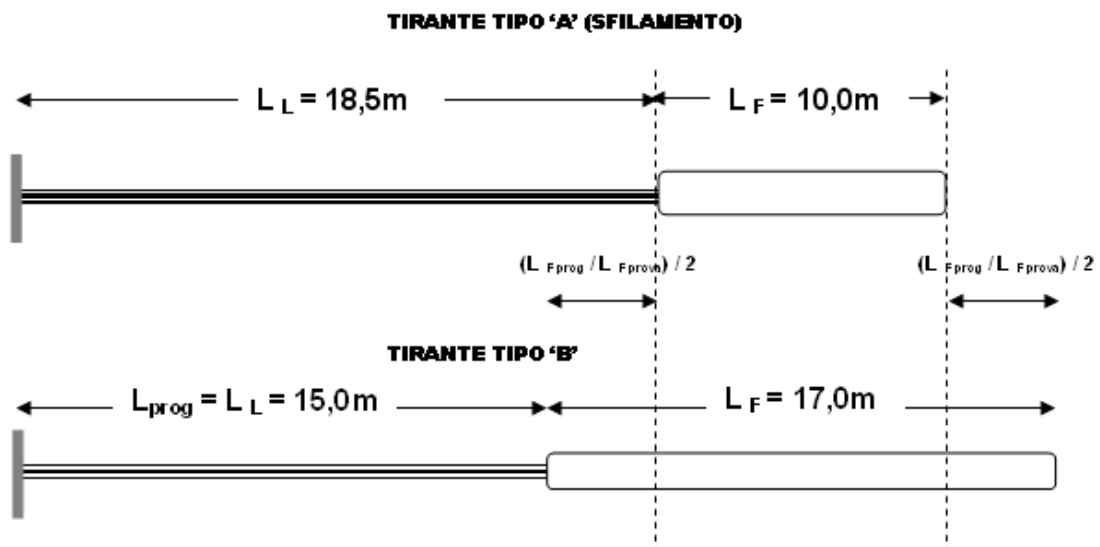


Figura 47 – Geometria dei tiranti di progetto realizzati nel 2008

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

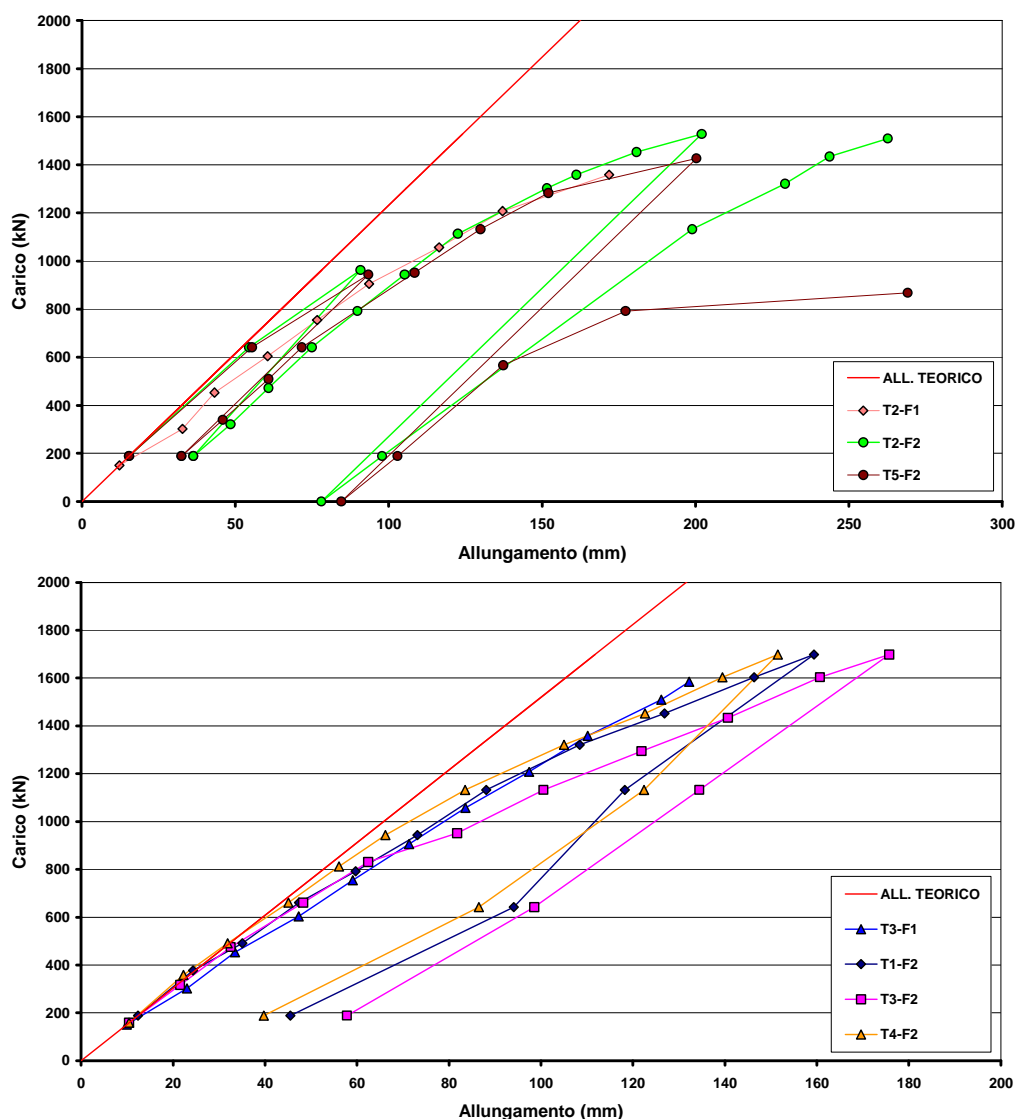


Figura 48 – Curve carico-allungamento per i tiranti tipo A (in alto) e B (in basso)

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

TIPO	CODICE	PERF. TIRANTE		ACCIAIO			INCL.	Stima volume bulbo Jett. (m ³)	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 $L = 17 \text{ m}$ risulterebbe:

$$R_{ac,1} = 130 \times 17 = 2.210 \text{ kN}$$

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:

$$R_{ac,2} = 2.100 \text{ kN}$$

9.4.6.2.2 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 analoga geometria (per la precisione i nuovi ancoraggi avranno 18 m di fondazione contro i 17 m dei tiranti di prova presi come riferimento). 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:

$$R_{ak} = R_{ac} / \xi_{a3} = 1.312 \text{ kN}$$

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).

$$R_{ad} = R_{ak} / \gamma_R = 1.094 \text{ kN}$$

<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;"><i>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Setentrionale</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>MEMBRO DELLA FEDERAZIONE CSQ</p> <p>RINA ISO 9001 SISTEMA QUALITÀ CERTIFICATO</p>  </div> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 73 di 106</p>
--	--	---

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 T1

	R_{ac} [kN]	R_{ak} [kN]	R_{ad} [kN]	E_d [kN]	$R_d \geq E_d$
T1 (nuovi ancoraggi)	2.000	1.312	1.094	1.072	✓

9.4.6.3 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.

9.4.6.4 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.

9.4.6.5 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.

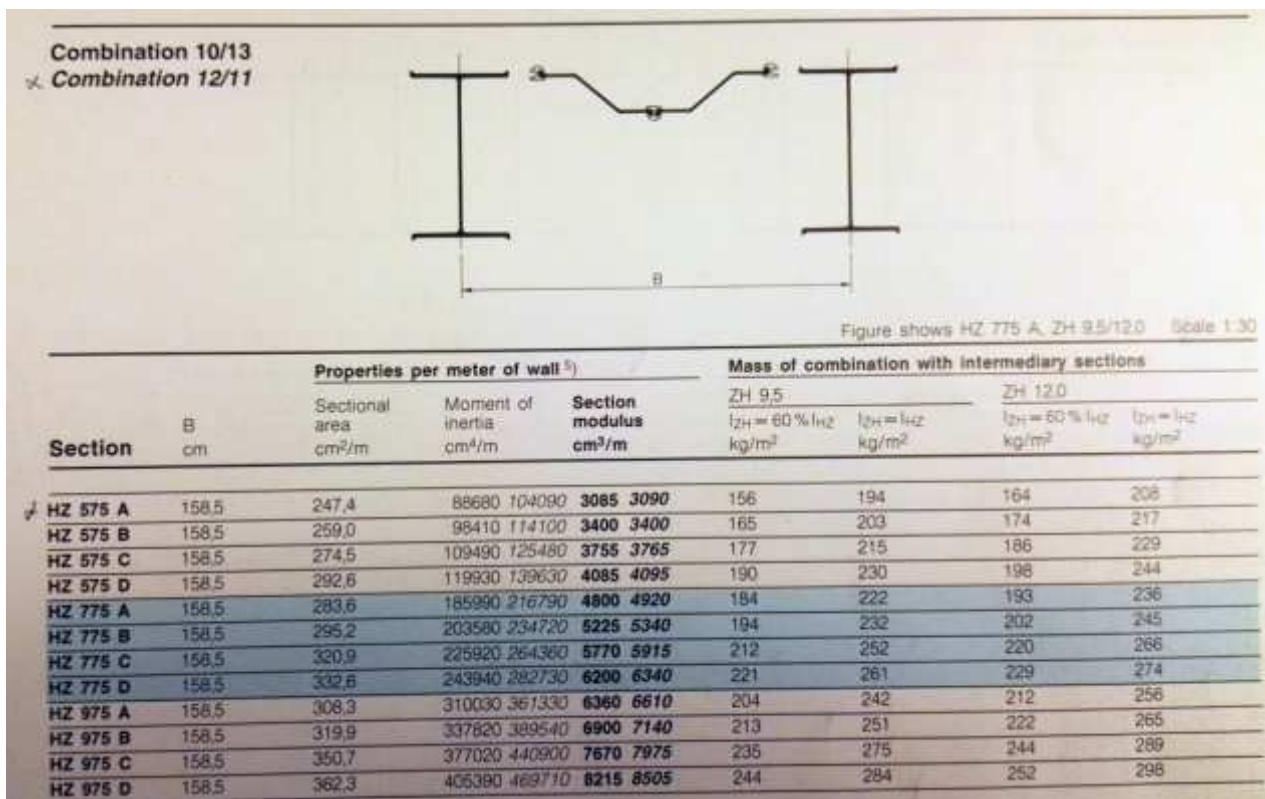


Figura 49 – HZ 775 B sol. 10/13 – ZH 9,5

"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 Alma Petroli
Relazione di calcolo



Autorità di Sistema Portuale
del Mar Adriatico Centro Settentrionale

DIREZIONE TECNICA
Pag. : 75 di 106

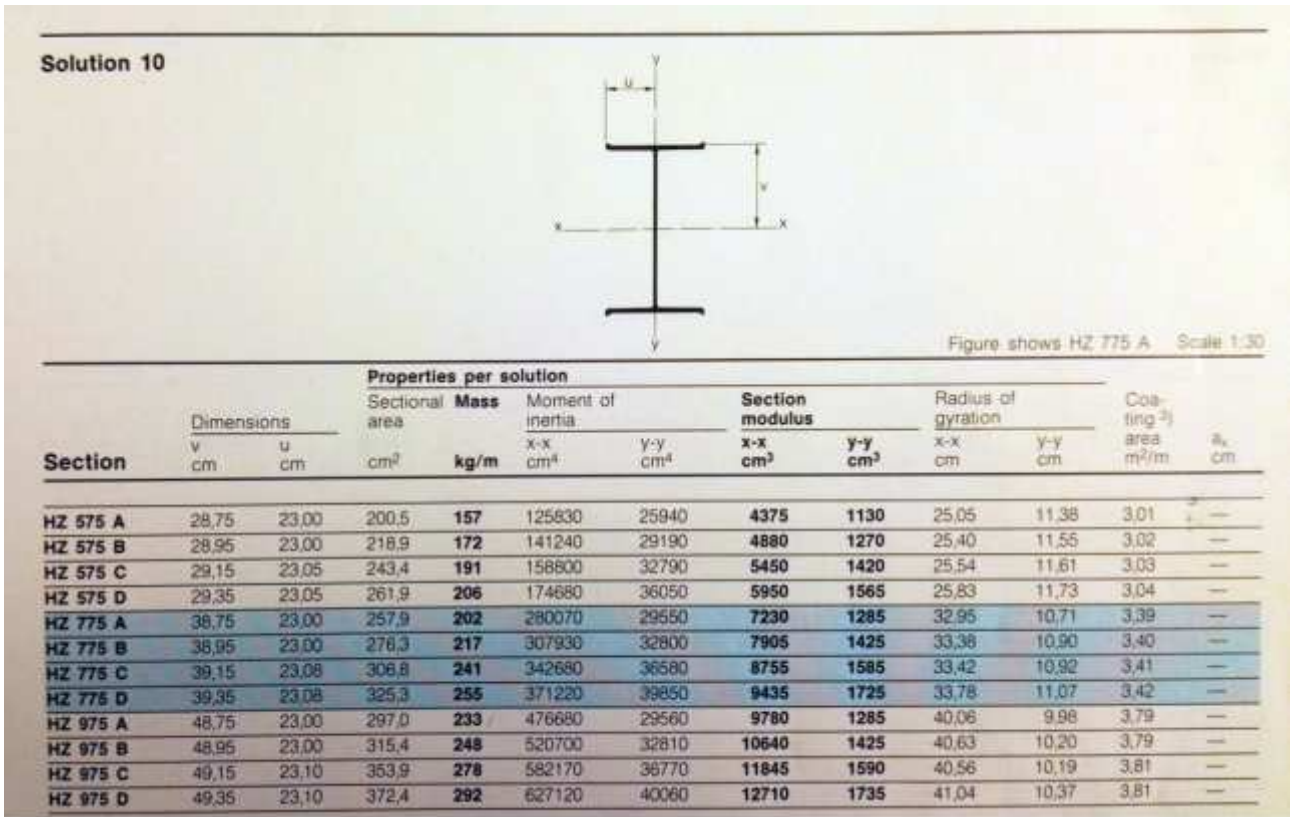


Figura 50 – HZ 775 B sol. 10

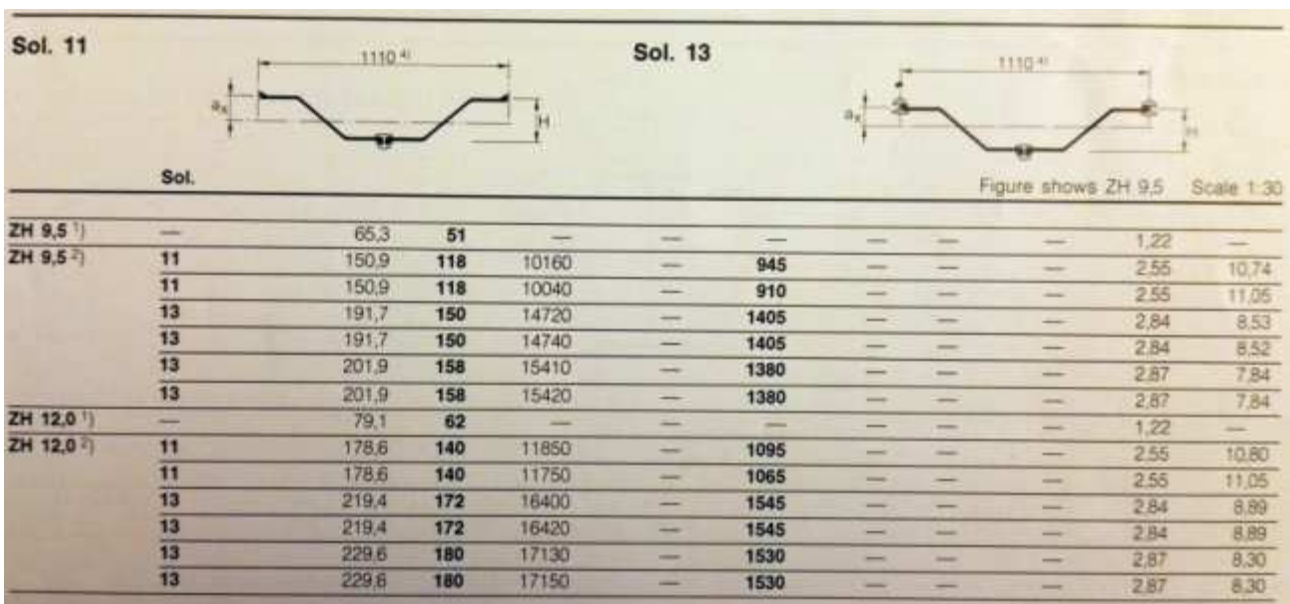


Figura 51 – Sol. 11 ZH 9,5

<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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 76 di 106</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

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

	Area	Momento di inerzia	Modulo elastico
HZ775B-10/13-ZH 9,5	cm ² /m 295,2	cm ⁴ /m 203.580	cm ³ /m 5.225
HZ775C-10	cm ² 276,3	cm ⁴ 307.930	cm ³ 7.905
Sol. 13 ZH 9,5	cm ² 191,7	cm ⁴ 14.720	cm ³ 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

Notes:

- 1) Corrosion rates in compacted fills are lower than those in non-compacted ones. In compacted fills the figures in the table should be divided by two.
- 2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

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

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Common fresh water (river, ship canal,) in the zone of high attack (water line)	0,15	0,55	0,90	1,15	1,40
Very polluted fresh water (sewage, industrial effluent,) in the zone of high attack (water line)	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30
Sea water in temperate climate in the zone of high attack (low water and splash zones)	0,55	1,90	3,75	5,60	7,50
Sea water in temperate climate in the zone of permanent immersion or in the intertidal zone	0,25	0,90	1,75	2,60	3,50

Notes:

- 1) The highest corrosion rate is usually found in the splash zone or at the low water level in tidal waters. However, in most cases, the highest bending stresses occur in the permanent immersion zone, see Figure 4-1.
- 2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

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 circa 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 1990 al 2017):

- “Punto 3”: $\Delta t_{\text{medio}} = 1,05$ mm ($\Delta t_{\text{min}} = 0,50$ mm - $\Delta t_{\text{max}} = 1,60$ mm)
- “Punto 4”: $\Delta t_{\text{medio}} = 0,50$ mm ($\Delta t_{\text{min}} = 0,70$ mm - $\Delta t_{\text{max}} = 0,90$ mm)

I risultati lungo le due linee di misura (punti 3 e 4) 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 52).

Delivery Conditions			
Tolerances	HZ	ZH	RH
Weight ¹⁾		± 4 %	
Length	± 200 mm	± 50 mm	± 100 mm ²⁾
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 ²⁾		2 %	—

Figura 52 – Tolleranze

Mediando comunque i valori ottenuti su entrambe le linee di misura (punti 3 e 4), al fine di descrivere meglio il comportamento complessivo dell’opera, il tasso di corrosione dopo 30 anni risulta il seguente:

- Palancoato esistente: $\Delta t_{\text{medio}} = 0,78 \text{ mm}$ ($\Delta t_{\text{min}} = 0,60 \text{ mm} - \Delta t_{\text{max}} = 1,25 \text{ mm}$)

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.

	Area	Momento di inerzia	Modulo elastico
HZ775B-10	cm ² 234,1	cm ⁴ 259.727	cm ³ 6.451
Sol. 13 ZH 9,5	cm ² 111,6	cm ⁴ 9.089	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;"><i>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</i></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</p> <p>RINA ISO 9001 SISTEMA QUALITÀ CERTIFICATO</p>  </div> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 79 di 106</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 SLU11:

$$V_{Ed} = 288 \times 1,585 = 456 \text{ kN}$$

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

$$\eta = V_{c,Rd} / V_{Ed} = 4,51 \geq 1,00$$

<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;"><i>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p> <div style="text-align: center;">  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Setentrionale</p> </div>	<div style="text-align: center;">  <p>MEMBRO DELLA FEDERAZIONE CSQ RINA ISO 9001 SISTEMI QUALITÀ CERTIFICATO</p>  <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 80 di 106</p> </div>
--	--	--

Flessione

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

$$V_{Ed,max} = 456 \text{ kN} \leq 0,5 \times V_{c,Rd} = 1.029 \text{ kN}$$

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:

$$M_{Ed} = 1.407 \times 1,585 = 2.230 \text{ kNm (SLV)}$$

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

$$M_{Ed}(HZ775B-10) = M_{Ed} \times I_H / (I_H + I_Z) = 2.141 \text{ kNm}$$

mentre quello agente sulla palanca intermedia AZ vale:

$$M_{Ed}(ZH9,5) = M_{Ed} \times I_Z / (I_H + I_Z) = 89 \text{ kNm}$$

dove:

- $I_H = 277.850 \text{ cm}^4$ è il momento di inerzia del palo principale HZ;
- $I_Z = 11.568 \text{ cm}^4$ 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:

$$\eta(HZ775B-10) = M_{el,Rd} / M_{Ed} = 1,03 \geq 1,00$$

$$\eta(ZH9,5) = M_{el,Rd} / M_{Ed} = 2,26 \geq 1,00$$

<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;"><i>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</i></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 RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 81 di 106</p> </div>
--	---	---

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 35 m, inclinazione 20° 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.

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:

$$N_{Ed} = 1.072 \text{ kN}$$

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

$$\eta = N_{Rd} / N_{Ed} = 1,13 \geq 1,00$$

<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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 82 di 106</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 36 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: $k_1 = 825.000 \text{ kN/m}$
- Seconda fila: $k_2 = 712.500 \text{ kN/m}$
- Terza fila: $k_3 = 825.000 \text{ kN/m}$

ed in corrispondenza del palancoato con molle elastiche verticali di rigidezza $k_4 = 37.500 \text{ kN/m}$ 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.: $g_{1k} = 62,5 \text{ kPa}$
- 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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli 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. : 83 di 106</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;"><i>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli 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;">Membro della Federazione CSQ RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p style="text-align: center;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 84 di 106</p>
--	--	---

Collegamento trave di coronamento-soletta

Lungo la sezione di collegamento tra la trave esistente di coronamento del palancoato 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 palancoato, 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:

$$M_{22}^{\min} = -1.854 \text{ kNm/m}$$

$$M_{22}^{\max} = +2.198 \text{ kNm/m}$$

$$V_{23}^{\min} = -588 \text{ kN/m}$$

$$V_{23}^{\max} = +630 \text{ kN/m}$$

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:

$$M_{22}^{\min} = -1.251 \text{ kNm/m}$$

$$M_{22}^{\max} = +1.469 \text{ kNm/m}$$

$$V_{23}^{\min} = -395 \text{ kN/m}$$

$$V_{23}^{\max} = +424 \text{ kN/m}$$

Reazioni vincolari pali e palancoato

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>Membro della Federazione CSQ</p> <p>RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 85 di 106</p>
--	--	--

Le reazioni vincolari massime sono le seguenti:

- palancoato esistente:

$$R_{SLU}^{\max} = 204 \text{ kN/m}$$

$$R_{SLE}^{\max} = 141 \text{ kN/m}$$

- pali 1° fila:

$$R_{SLU}^{\max} = 1.926 \text{ kN}$$

$$R_{SLE}^{\max} = 1.354 \text{ kN}$$

- pali 2° fila:

$$R_{SLU}^{\max} = 2.516 \text{ kN}$$

$$R_{SLE}^{\max} = 1.781 \text{ kN}$$

- pali 3° fila:

$$R_{SLU}^{\max} = 2.927 \text{ kN}$$

$$R_{SLE}^{\max} = 2.022 \text{ kN}$$

<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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Setentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 86 di 106</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: $A_{sup} = 45,2$ cm² (10Φ24)
- Armatura inferiore in entrambe le direzioni: $A_{inf} = 45,2$ cm² (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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSGO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 87 di 106</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			Δp_{sup}	Armatura inferiore			Δp_{inf}	M_{Ed}	M_{Rd}	M_{Rd}/M_{Ed}
	[mm]	[mm]	[mm]	Correnti	Φ	24	[mm]	Correnti	Φ	24	m	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	Φ_{st}	Φ_{sw}	n_b	s	α	V_{Rd}	V_{Ed}	η
-	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 _{EK}	σ _c	σ _{s,sup}	σ _{s,inf}	W _k
				Correnti				Correnti								
	[mm]	[mm]	[mm]				Δp _{sup}				Δp _{inf}	[kNm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]
M ₁₁ ^{min}	1000	1000	64	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	-572	6,10	-147,0	21,8	-
M ₁₁ ^{max}	1000	1000	64	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	+587	6,26	22,4	-150,9	-
M ₂₂ ^{min}	1000	1000	40	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	-669	6,69	-166,6	29,2	-
M ₂₂ ^{max}	1000	1000	40	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	+410	4,10	17,9	-102,1	-
M ₁₁ ^{min}	1000	1000	64	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	-572	-	-	-	0,000
M ₁₁ ^{max}	1000	1000	64	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	+587	-	-	-	0,000
M ₂₂ ^{min}	1000	1000	40	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	-669	-	-	-	0,123
M ₂₂ ^{max}	1000	1000	40	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	+410	-	-	-	0,000
M ₁₁ ^{min}	1000	1000	64	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	-572	3,86	-	-	0,000
M ₁₁ ^{max}	1000	1000	64	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	+587	3,96	-	-	0,000
M ₂₂ ^{min}	1000	1000	40	10	Φ	24	100	10	Φ	24	100	-669	4,20	-	-	0,123
M ₂₂ ^{max}	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 Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 89 di 106</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 Φ 24)
- Armatura inferiore: $A_{inf} = 22,6 \text{ cm}^2$ (5 Φ 24)
- Staffe a 4 braccia: St. Φ 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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 90 di 106</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			Δp_{sup}	Armatura inferiore			Δp_{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	Φ_{st}	Φ_{sw}	n_b	s	α	V_{Rd}	V_{Ed}	η
-	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

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 91 di 106</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 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			Δp_{sup}	Armatura inferiore			Δp_{inf}	M_{Ek}	σ_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 Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 92 di 106</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: $H = 2,50$ m
- Ricoprimento trasversale: $c = 0,056$ m
- Armatura superiore: $A_{sup} = 27,1$ cm² (6Φ24)
- Armatura inferiore: $A_{inf} = 27,1$ cm² (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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 93 di 106</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	Δp_{sup}	Armatura inferiore	Δp_{inf}	M_{Ed}	M_{Rd}	M_{Rd}/M_{Ed}
	[mm]	[mm]	[mm]	Correnti	[mm]	Correnti	m	kNm	kNm	-
M_{22}^{min}	1000	2500	56	6 Φ 24	150	6 Φ 24	150	-1.854,00	2556,69	1,38
M_{22}^{max}	1000	2500	56	6 Φ 24	150	6 Φ 24	150	+2.198,00	2556,69	1,16

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

SOLETTA	b_w	h	c	Φ_{st}	Φ_{sw}	n_b	s	α	V_{Rd}	V_{Ed}	η
-	mm	mm	mm	mm	mm	-	mm	°	kN	kN	-
V_{23}^{min}	1000	2500	56	24	16	4,00	200	90	7987,23	588	13,58
V_{23}^{max}	1000	2500	56	24	16	4,00	200	90	7987,23	630	12,68

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 94 di 106</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 _{Ek}	σ _c	σ _{s,sup}	σ _{s,inf}	w _k		
				Correnti	Δp _{sup}	[mm]	Correnti	Δp _{inf}	m							
M ₂₂ ^{min}	[mm] 1000	[mm] 2500	[mm] 56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	-1.251	3,80	-196,3	16,9	-
M ₂₂ ^{max}	1000	2500	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	+1.469	4,47	19,9	-230,5	-
M ₂₂ ^{min}	1000	2500	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	-1.251	-	-	-	0,000
M ₂₂ ^{max}	1000	2500	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	+1.469	-	-	-	0,000
M ₂₂ ^{min}	1000	2500	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	-1.251	2,44	-	-	0,000
M ₂₂ ^{max}	1000	2500	56	6	Φ	24	150	6	Φ	24	150	+1.469	2,86	-	-	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 Alma Petroli Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 95 di 106</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 4,00 m, estesi fino a -35 m da l.m.m.;
- FILA 2: allineamento intermedio, a 7,60 m da asse palanca, $\varnothing 1000$, interasse 4,00 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 4,00 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.

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 96 di 106</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

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

Comb.	Armatura	My(daN*cm)	N(daN)	Myu(daN*cm)	Nu(daN)	CS,Ncost
-35	32Φ22	0	-99300	0,0	-99300,0	-
-33,71	32Φ22	1400000	-125700	26968218,3	-125700,0	19.263>1
-32,42	32Φ22	5130000	-152000	27762040,4	-152000,0	5.412>1
-31,13	32Φ22	10290000	-177400	28528697,5	-177400,0	2.772>1
-29,85	32Φ22	15980000	-201200	29247061,2	-201200,0	1.83>1
-29,85	32Φ22	15980000	-201100	29244042,8	-201100,0	1.83>1
-29,13	32Φ22	19060000	-213300	29612279,7	-213300,0	1.554>1
-28,42	32Φ22	21910000	-225000	29965424,9	-225000,0	1.368>1
-27,71	32Φ22	24360000	-236400	30309515,1	-236400,0	1.244>1
-27	32Φ22	26250000	-247500	30644550,3	-247500,0	1.167>1
-27	32Φ22	26250000	-247200	30635495,2	-247200,0	1.167>1
-26,5	32Φ22	27080000	-257000	30931292,1	-257000,0	1.142>1
-26	32Φ22	27360000	-266800	31227088,9	-266800,0	1.141>1
-25,5	32Φ22	26960000	-276600	31522885,7	-276600,0	1.169>1
-25	32Φ22	25780000	-286600	31824719,2	-286600,0	1.234>1
-25	32Φ22	25780000	-286400	31818682,5	-286400,0	1.234>1
-24,37	32Φ22	23290000	-293200	32023929,3	-293200,0	1.375>1
-23,74	32Φ22	20050000	-298400	32146936,4	-298400,0	1.603>1
-23,11	32Φ22	16260000	-302300	32238581,4	-302300,0	1.983>1
-22,48	32Φ22	12160000	-304900	32299678,1	-304900,0	2.656>1
-22,48	32Φ22	12160000	-305000	32302028,0	-305000,0	2.656>1
-21,85	32Φ22	7920000	-306400	32334926,2	-306400,0	4.083>1
-21,22	32Φ22	3630000	-307100	32351375,3	-307100,0	8.912>1
-20,59	32Φ22	-620000	-307000	-32349025,4	-307000,0	52.176>1
-19,96	32Φ22	-4780000	-306200	-32330226,4	-306200,0	6.764>1
-19,96	32Φ22	-4780000	-306300	-32332576,3	-306300,0	6.764>1
-19,33	32Φ22	-8770000	-305000	-32302028,0	-305000,0	3.683>1
-18,71	32Φ22	-12570000	-303200	-32259730,2	-303200,0	2.566>1
-18,08	32Φ22	-16150000	-300900	-32205683,2	-300900,0	1.994>1
-17,46	32Φ22	-19460000	-298100	-32139886,7	-298100,0	1.652>1
-17,46	32Φ28	-19460000	-298100	-42734342,7	-298100,0	2.196>1
-16,83	32Φ28	-22490000	-294900	-42662151,5	-294900,0	1.897>1
-16,21	32Φ28	-25220000	-291400	-42583192,4	-291400,0	1.688>1
-15,58	32Φ28	-27650000	-287500	-42495209,3	-287500,0	1.537>1
-14,96	32Φ28	-29760000	-283300	-42400458,4	-283300,0	1.425>1
-14,96	32Φ28	-29760000	-283300	-42400458,4	-283300,0	1.425>1
-14,34	32Φ28	-31550000	-278900	-42301195,5	-278900,0	1.341>1
-13,72	32Φ28	-33040000	-274300	-42197420,7	-274300,0	1.277>1
-13,1	32Φ28	-34230000	-269600	-42091389,8	-269600,0	1.23>1
-12,48	32Φ28	-35140000	-264800	-41983103,0	-264800,0	1.195>1
-12,48	32Φ28	-35140000	-264800	-41983103,0	-264800,0	1.195>1
-11,86	32Φ28	-35790000	-260100	-41877072,2	-260100,0	1.17>1
-11,24	32Φ28	-36190000	-255300	-41768785,4	-255300,0	1.154>1
-10,62	32Φ28	-36380000	-250200	-41653730,7	-250200,0	1.145>1
-10	32Φ28	-36380000	-245200	-41540931,9	-245200,0	1.142>1
-10	32Φ28	-36380000	-245100	-41540931,9	-245200,0	1.142>1
-9,5	32Φ28	-36180000	-241400	-41538676,0	-245100,0	1.146>1
-9,01	32Φ28	-35770000	-237800	-41455204,9	-241400,0	1.157>1
-8,51	32Φ28	-35180000	-234400	-41373989,8	-237800,0	1.174>1
-8,02	32Φ28	-34460000	-231200	-41297286,6	-234400,0	1.196>1
-8,02	32Φ28	-34460000	-231400	-41225095,4	-231200,0	1.196>1
-7,52	32Φ28	-33600000	-228400	-41229607,4	-231400,0	1.225>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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSGO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

-7,02	32Φ28	-32590000	-225400	-41161928,1	-228400,0	1.261>1
-6,52	32Φ28	-31450000	-222700	-41094248,9	-225400,0	1.305>1
-6,02	32Φ28	-30180000	-220100	-41033337,6	-222700,0	1.358>1
-6,02	32Φ28	-30180000	-220100	-40974682,2	-220100,0	1.358>1
-5,51	32Φ28	-28760000	-217900	-40925050,8	-217900,0	1.423>1
-5,01	32Φ28	-27210000	-215600	-40873163,3	-215600,0	1.502>1
-4,5	32Φ28	-25500000	-213200	-40819020,0	-213200,0	1.601>1
-4	32Φ28	-23630000	-210700	-40762620,6	-210700,0	1.725>1
-4	32Φ28	-23630000	-210700	-40762620,6	-210700,0	1.725>1
-3,5	32Φ28	-21650000	-208200	-40706221,2	-208200,0	1.88>1
-3	32Φ28	-19620000	-205700	-40649219,0	-205700,0	2.072>1
-2,5	32Φ22	-17540000	-203200	-29307427,9	-203200,0	1.671>1
-2	32Φ22	-15410000	-200500	-29225932,8	-200500,0	1.897>1
-2	32Φ22	-15410000	-200600	-29228951,2	-200600,0	1.897>1
-1,5	32Φ22	-13220000	-197900	-29147456,1	-197900,0	2.205>1
-1	32Φ22	-10990000	-195200	-29065961,1	-195200,0	2.645>1
-0,5	32Φ22	-8710000	-192400	-28981447,7	-192400,0	3.327>1
0	32Φ22	-6380000	-189600	-28896934,3	-189600,0	4.529>1
0	32Φ22	-6380000	-189500	-28893916,0	-189500,0	4.529>1
0,44	32Φ22	-4240000	-184300	-28736962,6	-184300,0	6.778>1
0,88	32Φ22	-1920000	-180600	-28625284,2	-180600,0	14.909>1
1,31	32Φ22	500000	-178200	28552844,1	-178200,0	57.106>1
1,75	32Φ22	2970000	-177100	28519642,5	-177100,0	9.603>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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 98 di 106</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

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

Comb.	Armatura	My(daN*cm)	N(daN)	Myu(daN*cm)	Nu(daN)	CS,Ncost
-35,00	20Φ24	0	-49960	0,0	-49960,0	-
-34,67	20Φ24	46459	-56169	15353113,1	-56169,0	330.466>1
-34,33	20Φ24	181396	-62472	15530724,6	-62472,0	85.618>1
-34,00	20Φ24	397320	-68818	15690237,9	-68818,0	39.49>1
-33,66	20Φ24	686749	-75156	15849550,1	-75156,0	23.079>1
-33,66	20Φ24	686749	-75111	15848419,0	-75111,0	23.077>1
-33,33	20Φ24	1042174	-81277	16003407,7	-81277,0	15.356>1
-33,00	20Φ24	1456784	-87350	16156058,9	-87350,0	11.09>1
-32,66	20Φ24	1923879	-93324	16306221,5	-93324,0	8.476>1
-32,33	20Φ24	2436789	-99192	16453719,8	-99192,0	6.752>1
-32,33	20Φ24	2436789	-99192	16453719,8	-99192,0	6.752>1
-32,00	20Φ24	2989388	-104961	16598729,6	-104961,0	5.553>1
-31,66	20Φ24	3576425	-110626	16741125,2	-110626,0	4.681>1
-31,33	20Φ24	4192193	-116185	16880856,4	-116185,0	4.027>1
-31,00	20Φ24	4830999	-121648	17018174,6	-121648,0	3.523>1
-31,00	20Φ24	4830999	-121639	17017948,3	-121639,0	3.523>1
-30,66	20Φ24	5487548	-127014	17153054,5	-127014,0	3.126>1
-30,33	20Φ24	6157368	-132300	17285923,6	-132300,0	2.807>1
-30,00	20Φ24	6835048	-137502	17416681,3	-137502,0	2.548>1
-29,66	20Φ24	7515172	-142613	17545151,5	-142613,0	2.335>1
-29,66	20Φ24	7515172	-142618	17545277,2	-142618,0	2.335>1
-29,33	20Φ24	8192484	-147678	17672465,5	-147678,0	2.157>1
-29,00	20Φ24	8862441	-152652	17797492,2	-152652,0	2.008>1
-28,66	20Φ24	9519186	-157522	17919904,7	-157522,0	1.883>1
-28,33	20Φ24	10156842	-162282	18039552,2	-162282,0	1.776>1
-28,33	20Φ24	10156842	-162276	18039401,4	-162276,0	1.776>1
-28,00	20Φ24	10769319	-166915	18156007,4	-166915,0	1.686>1
-27,67	20Φ24	11350990	-171461	18270275,8	-171461,0	1.61>1
-27,33	20Φ24	11894638	-175920	18382357,4	-175920,0	1.545>1
-27,00	20Φ24	12393014	-180342	18493509,0	-180342,0	1.492>1
-27,00	20Φ24	12393014	-180290	18492201,9	-180290,0	1.492>1
-26,50	20Φ24	13022538	-187276	18667802,2	-187276,0	1.433>1
-26,00	20Φ24	13458679	-194456	18813037,3	-194456,0	1.398>1
-25,50	20Φ24	13644351	-201966	18958617,8	-201966,0	1.389>1
-25,00	20Φ24	13521851	-209848	19111409,6	-209848,0	1.413>1
-25,00	20Φ24	13521851	-209891	19112243,1	-209891,0	1.413>1
-24,66	20Φ24	13261704	-212633	19165396,5	-212633,0	1.445>1
-24,32	20Φ24	12898328	-215073	19212695,6	-215073,0	1.49>1
-23,98	20Φ24	12441754	-217181	19253559,0	-217181,0	1.547>1
-23,64	20Φ24	11901913	-218971	19288257,9	-218971,0	1.621>1
-23,64	20Φ24	11901913	-219001	19288839,5	-219001,0	1.621>1
-23,30	20Φ24	11286103	-220594	19319719,6	-220594,0	1.712>1
-22,95	20Φ24	10601608	-221986	19346703,4	-221986,0	1.825>1
-22,61	20Φ24	9856360	-223175	19369752,0	-223175,0	1.965>1
-22,27	20Φ24	9058281	-224167	19388981,9	-224167,0	2.14>1
-22,27	20Φ24	9058281	-224164	19388923,7	-224164,0	2.14>1
-21,93	20Φ24	8214474	-224966	19404470,4	-224966,0	2.362>1
-21,59	20Φ24	7331843	-225575	19416275,8	-225575,0	2.648>1
-21,25	20Φ24	6417962	-225995	19424417,4	-225995,0	3.027>1
-20,91	20Φ24	5480390	-226231	19428992,3	-226231,0	3.545>1
-20,91	20Φ24	5480390	-226227	19428914,7	-226227,0	3.545>1
-20,57	20Φ24	4525357	-226281	19429961,5	-226281,0	4.294>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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSG RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

-20,23	20Φ24	3558749	-226158	19427577,2	-226158,0	5.459>1
-19,89	20Φ24	2586513	-225864	19421878,0	-225864,0	7.509>1
-19,55	20Φ24	1614563	-225405	19412980,4	-225405,0	12.024>1
-19,55	20Φ24	1614563	-225400	19412883,4	-225400,0	12.024>1
-19,20	20Φ24	647067	-224783	19400922,9	-224783,0	29.983>1
-18,86	20Φ24	-312028	-224012	-19385977,2	-224012,0	62.129>1
-18,52	20Φ24	-1258601	-223095	-19368201,2	-223095,0	15.389>1
-18,18	20Φ24	-2188559	-222037	-19347692,0	-222037,0	8.84>1
-18,18	20Φ24	-2188559	-222033	-19347614,5	-222033,0	8.84>1
-17,84	20Φ24	-3099331	-220843	-19324546,5	-220843,0	6.235>1
-17,50	20Φ24	-3988460	-219522	-19298939,0	-219522,0	4.839>1
-17,16	20Φ24	-4853198	-218078	-19270947,2	-218078,0	3.971>1
-16,82	20Φ24	-5690813	-216515	-19240648,6	-216515,0	3.381>1
-16,82	20Φ24	-5690813	-216512	-19240590,5	-216512,0	3.381>1
-16,48	20Φ24	-6499848	-214835	-19208082,0	-214835,0	2.955>1
-16,14	20Φ24	-7278875	-213047	-19173421,8	-213047,0	2.634>1
-15,80	20Φ24	-8026148	-211153	-19136706,8	-211153,0	2.384>1
-15,45	20Φ24	-8739934	-209156	-19097995,2	-209156,0	2.185>1
-15,45	20Φ24	-8739934	-209154	-19097956,4	-209154,0	2.185>1
-15,11	20Φ24	-9419578	-207058	-19057325,7	-207058,0	2.023>1
-14,77	20Φ24	-10064418	-204865	-19014814,6	-204865,0	1.889>1
-14,43	20Φ24	-10673615	-202580	-18970520,2	-202580,0	1.777>1
-14,09	20Φ24	-11246337	-200204	-18924461,6	-200204,0	1.683>1
-14,09	20Φ24	-11246337	-200206	-18924500,4	-200206,0	1.683>1
-13,75	20Φ24	-11782765	-197745	-18876794,2	-197745,0	1.602>1
-13,41	20Φ24	-12283112	-195204	-18827537,2	-195204,0	1.533>1
-13,07	20Φ24	-12747651	-192587	-18776806,9	-192587,0	1.473>1
-12,73	20Φ24	-13176673	-189894	-18724603,4	-189894,0	1.421>1
-12,73	20Φ24	-13176673	-189895	-18724622,8	-189895,0	1.421>1
-12,39	20Φ24	-13571299	-187131	-18664157,5	-187131,0	1.375>1
-12,05	20Φ24	-13932574	-184293	-18592821,4	-184293,0	1.334>1
-11,70	20Φ24	-14261218	-181382	-18519650,4	-181382,0	1.299>1
-11,36	20Φ24	-14557943	-178418	-18445147,2	-178418,0	1.267>1
-11,36	20Φ24	-14557943	-178401	-18444719,9	-178401,0	1.267>1
-11,02	20Φ24	-14823669	-175339	-18367753,4	-175339,0	1.239>1
-10,68	20Φ24	-15059087	-172230	-18289605,5	-172230,0	1.215>1
-10,34	20Φ24	-15264515	-169096	-18210829,1	-169096,0	1.193>1
-10,00	20Φ24	-15440270	-165914	-18130846,3	-165914,0	1.174>1
-10,00	20Φ24	-15440270	-165941	-18131524,9	-165941,0	1.174>1
-9,63	20Φ24	-15565636	-162747	-18051240,4	-162747,0	1.16>1
-9,25	20Φ24	-15602408	-159727	-17975329,6	-159727,0	1.152>1
-8,88	20Φ24	-15564150	-156838	-17902711,6	-156838,0	1.15>1
-8,50	20Φ24	-15464144	-154064	-17832984,3	-154064,0	1.153>1
-8,50	20Φ24	-15464144	-154041	-17832406,1	-154041,0	1.153>1
-8,13	20Φ24	-15311563	-151298	-17763458,0	-151298,0	1.16>1
-7,75	20Φ24	-15114805	-148615	-17696018,0	-148615,0	1.171>1
-7,38	20Φ24	-14880716	-145993	-17630111,3	-145993,0	1.185>1
-7,00	20Φ24	-14616099	-143432	-17565737,9	-143432,0	1.202>1
-7,00	20Φ24	-14616099	-143435	-17565813,3	-143435,0	1.202>1
-6,63	20Φ24	-14326679	-140998	-17504556,8	-140998,0	1.222>1
-6,25	20Φ24	-14018833	-138660	-17445788,8	-138660,0	1.244>1
-5,88	20Φ24	-13696085	-136414	-17389333,3	-136414,0	1.27>1
-5,50	20Φ24	-13361824	-134241	-17334712,7	-134241,0	1.297>1
-5,50	20Φ24	-13361824	-134258	-17335140,0	-134258,0	1.297>1
-5,13	20Φ24	-13016040	-132155	-17282278,9	-132155,0	1.328>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 Alma Petroli 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>	

-4,75	20Φ24	-12658434	-130166	-17232283,3	-130166,0	1.361>1
-4,38	20Φ24	-12286147	-128266	-17184524,8	-128266,0	1.399>1
-4,00	20Φ24	-11896207	-126441	-17138651,6	-126441,0	1.441>1
-4,00	20Φ24	-11896207	-126450	-17138877,8	-126450,0	1.441>1
-3,67	20Φ24	-11537168	-124863	-17098986,9	-124863,0	1.482>1
-3,33	20Φ24	-11172006	-123277	-17059121,2	-123277,0	1.527>1
-3,00	20Φ24	-10799584	-121687	-17019154,9	-121687,0	1.576>1
-2,67	20Φ24	-10418758	-120114	-16979615,9	-120114,0	1.63>1
-2,67	20Φ24	-10418758	-120101	-16979289,1	-120101,0	1.63>1
-2,33	20Φ24	-10028103	-118559	-16940529,4	-118559,0	1.689>1
-2,00	20Φ24	-9626292	-117037	-16902272,3	-117037,0	1.756>1
-1,67	20Φ24	-9212390	-115548	-16864844,8	-115548,0	1.831>1
-1,33	20Φ24	-8785456	-114100	-16828447,8	-114100,0	1.915>1
-1,33	20Φ24	-8785456	-114093	-16828271,8	-114093,0	1.915>1
-1,00	20Φ24	-8344271	-112706	-16793408,2	-112706,0	2.013>1
-0,67	20Φ24	-7887393	-111333	-16758896,4	-111333,0	2.125>1
-0,33	20Φ24	-7414079	-109991	-16725163,8	-109991,0	2.256>1
0,00	20Φ24	-6923575	-108689	-16692436,7	-108689,0	2.411>1
0,00	20Φ24	-6923575	-108713	-16693040,0	-108713,0	2.411>1
0,28	20Φ24	-6471002	-107534	-16663404,6	-107534,0	2.575>1
0,56	20Φ24	-5956935	-106382	-16634447,9	-106382,0	2.792>1
0,85	20Φ24	-5382037	-105262	-16606295,5	-105262,0	3.086>1
1,13	20Φ24	-4746977	-104179	-16579073,2	-104179,0	3.493>1
1,13	20Φ24	-4746977	-104155	-16578469,9	-104155,0	3.492>1
1,28	20Φ24	-4370690	-103663	-16566103,0	-103663,0	3.79>1
1,44	20Φ24	-3979596	-103219	-16554942,6	-103219,0	4.16>1
1,59	20Φ24	-3579113	-102821	-16544938,5	-102821,0	4.623>1
1,75	20Φ24	-3174530	-102466	-16536015,2	-102466,0	5.209>1

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:

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

<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 Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 101 di 106</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

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

Comb.	Armatura	My(daN*cm)	N(daN)	sc,max(daN/cm ²)	sf,max(daN/cm ²)
-35,00	32Φ22	0	-94259	-7.2<168	-108.1<3600
-33,71	32Φ22	557256	-115127	-11.4<168	-97<3600
-32,42	32Φ22	2121751	-135310	-20.4<168	-21.7<3600
-31,13	32Φ22	4390403	-154513	-34.5<168	151.5<3600
-29,85	32Φ22	7059507	-172375	-54.9<168	518.1<3600
-29,85	32Φ22	7059507	-172440	-54.9<168	517.7<3600
-29,13	32Φ22	8579887	-181568	-67.2<168	776.3<3600
-28,42	32Φ22	10055593	-190327	-79.3<168	1043.9<3600
-27,71	32Φ22	11413148	-198647	-90.5<168	1296.8<3600
-27,00	32Φ22	12578610	-206520	-100.1<168	1512.9<3600
-27,00	32Φ22	12578610	-206531	-100.1<168	1512.9<3600
-26,50	32Φ22	13218932	-213423	-105.3<168	1614.9<3600
-26,00	32Φ22	13645099	-220146	-108.7<168	1668<3600
-25,50	32Φ22	13807385	-226709	-109.9<168	1660.6<3600
-25,00	32Φ22	13655962	-233134	-108.5<168	1581.9<3600
-25,00	32Φ22	13655962	-233121	-108.5<168	1582<3600
-24,37	32Φ22	13063615	-237474	-103.3<168	1418.3<3600
-23,74	32Φ22	12092110	-241339	-95.1<168	1178.9<3600
-23,11	32Φ22	10776067	-244708	-84.1<168	883.7<3600
-22,48	32Φ22	9152545	-247559	-70.9<168	563.5<3600
-22,48	32Φ22	9152545	-247525	-70.9<168	563.6<3600
-21,85	32Φ22	7323895	-249467	-57.3<168	275<3600
-21,22	32Φ22	5363779	-250907	-45.1<168	61.3<3600
-20,59	32Φ22	3329022	-251857	-35.1<168	-79.5<3600
-19,96	32Φ22	1275701	-252331	-25.4<168	-209.2<3600
-19,96	32Φ22	1275701	-252351	-25.4<168	-209.2<3600
-19,33	32Φ22	-747822	-252419	-22.9<168	-242.5<3600
-18,71	32Φ22	-2712828	-252102	-32.2<168	-118.5<3600
-18,08	32Φ22	-4590606	-251404	-41.1<168	1.8<3600
-17,46	32Φ22	-6352863	-250331	-50.9<168	156.7<3600
-17,46	32Φ28	-6352863	-250351	-45.4<168	117.8<3600
-16,83	32Φ28	-7976318	-248934	-54.3<168	277.1<3600
-16,21	32Φ28	-9453623	-247234	-63.1<168	454.2<3600
-15,58	32Φ28	-10777406	-245262	-71.3<168	633.3<3600
-14,96	32Φ28	-11940650	-243031	-78.6<168	803.3<3600
-14,96	32Φ28	-11940650	-243076	-78.6<168	803.1<3600
-14,34	32Φ28	-12941781	-240695	-84.9<168	957.3<3600
-13,72	32Φ28	-13789526	-238253	-90.3<168	1093<3600
-13,10	32Φ28	-14490934	-235760	-94.7<168	1209.4<3600
-12,48	32Φ28	-15053149	-233228	-98.3<168	1306.1<3600
-12,48	32Φ28	-15053149	-233211	-98.3<168	1306.2<3600
-11,86	32Φ28	-15483917	-230717	-101<168	1383.4<3600
-11,24	32Φ28	-15793919	-228128	-102.9<168	1442.8<3600
-10,62	32Φ28	-15993567	-225431	-104.2<168	1485.9<3600
-10,00	32Φ28	-16093460	-222523	-104.8<168	1514.5<3600
-10,00	32Φ28	-16093460	-222612	-104.8<168	1514.1<3600
-9,50	32Φ28	-16057282	-218786	-104.5<168	1525.7<3600
-9,01	32Φ28	-15905891	-215265	-103.5<168	1517.9<3600
-8,51	32Φ28	-15660766	-211920	-101.9<168	1494.7<3600
-8,02	32Φ28	-15342139	-208711	-99.8<168	1459.3<3600
-8,02	32Φ28	-15342139	-208664	-99.8<168	1459.5<3600
-7,52	32Φ28	-14947623	-205439	-97.3<168	1412.3<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;">Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>  <p style="text-align: center;">Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Setentrionale</p>	 <p style="text-align: center;">DIREZIONE TECNICA Pag. : 102 di 106</p>
--	---	---

-7,02	32Φ28	-14480923	-202384	-94.3<168	1353.1<3600
-6,52	32Φ28	-13947586	-199498	-90.9<168	1282.9<3600
-6,02	32Φ28	-13353424	-196711	-87.1<168	1203<3600
-6,02	32Φ28	-13353424	-196780	-87.1<168	1202.6<3600
-5,51	32Φ28	-12696898	-194237	-82.9<168	1112.4<3600
-5,01	32Φ28	-11981943	-191791	-78.3<168	1013.3<3600
-4,50	32Φ28	-11201585	-189331	-73.3<168	905.2<3600
-4,00	32Φ28	-10348519	-186749	-67.8<168	788.1<3600
-4,00	32Φ28	-10348519	-186818	-67.8<168	787.8<3600
-3,50	32Φ28	-9452908	-184170	-62.1<168	666.9<3600
-3,00	32Φ28	-8537944	-181561	-56.3<168	546<3600
-2,50	32Φ22	-7604846	-178924	-59.2<168	591.5<3600
-2,00	32Φ22	-6654856	-176262	-51.6<168	425.6<3600
-2,00	32Φ22	-6654856	-176289	-51.6<168	425.4<3600
-1,50	32Φ22	-5688563	-173774	-44.2<168	275.1<3600
-1,00	32Φ22	-4706369	-171354	-37.2<168	148<3600
-0,50	32Φ22	-3709360	-169030	-30.9<168	49.5<3600
0,00	32Φ22	-2698611	-166802	-25.6<168	-21.6<3600
0,00	32Φ22	-2698611	-167147	-25.6<168	-22<3600
0,44	32Φ22	-1784952	-162070	-20.9<168	-73.6<3600
0,88	32Φ22	-836405	-158308	-16.1<168	-129<3600
1,31	32Φ22	127196	-155850	-12.5<168	-170.8<3600
1,75	32Φ22	1086009	-154680	-17<168	-109.1<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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 103 di 106</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

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

Comb.	My(daN*cm)	N(daN)	sc,max(daN/cm ²)	sf,max(daN/cm ²)
-35,00	0	-50405	-5.5<168	-82.4<3600
-34,67	11992	-55428	-6.1<168	-89.4<3600
-34,33	47727	-60938	-7<168	-94.6<3600
-34,00	105703	-66395	-8.1<168	-97.4<3600
-33,66	184409	-71774	-9.3<168	-97.9<3600
-33,66	184409	-71755	-9.3<168	-97.9<3600
-33,33	282163	-76958	-10.7<168	-96.1<3600
-33,00	397544	-82019	-12.2<168	-92.2<3600
-32,66	529156	-86935	-13.8<168	-86.4<3600
-32,33	675611	-91705	-15.5<168	-78.7<3600
-32,33	675611	-91711	-15.5<168	-78.7<3600
-32,00	835613	-96339	-17.3<168	-69.4<3600
-31,66	1008097	-100841	-19.2<168	-58.6<3600
-31,33	1191765	-105215	-21.2<168	-46.4<3600
-31,00	1385323	-109466	-23.3<168	-32.9<3600
-31,00	1385323	-109459	-23.3<168	-32.9<3600
-30,66	1587516	-113591	-25.4<168	-18.3<3600
-30,33	1797329	-117613	-27.6<168	-1.7<3600
-30,00	2013408	-121530	-29.9<168	17.5<3600
-29,66	2234398	-125346	-32.3<168	39.4<3600
-29,66	2234398	-125340	-32.3<168	39.4<3600
-29,33	2458963	-129062	-34.8<168	64.2<3600
-29,00	2686004	-132696	-37.4<168	91.7<3600
-28,66	2914011	-136249	-40.1<168	121.9<3600
-28,33	3141470	-139724	-42.8<168	154.2<3600
-28,33	3141470	-139719	-42.8<168	154.3<3600
-28,00	3366858	-143122	-45.6<168	188.5<3600
-27,67	3588859	-146458	-48.3<168	224<3600
-27,33	3805691	-149731	-51.1<168	260.3<3600
-27,00	4015562	-152950	-53.8<168	296.5<3600
-27,00	4015562	-152940	-53.8<168	296.6<3600
-26,50	4310494	-159090	-57.6<168	341.7<3600
-26,00	4569457	-165137	-61<168	379.1<3600
-25,50	4778290	-171087	-63.8<168	404.3<3600
-25,00	4922670	-176951	-65.7<168	413.1<3600
-25,00	4922670	-176939	-65.7<168	413.2<3600
-24,66	4982590	-178962	-66.5<168	418.8<3600
-24,32	5017872	-180863	-67<168	418.7<3600
-23,98	5028324	-182656	-67.2<168	412.6<3600
-23,64	5013770	-184342	-67<168	400.8<3600
-23,64	5013770	-184349	-67<168	400.8<3600
-23,30	4974294	-185956	-66.5<168	383.3<3600
-22,95	4909731	-187489	-65.8<168	360.4<3600
-22,61	4819915	-188949	-64.7<168	332.6<3600
-22,27	4704679	-190334	-63.3<168	300.3<3600
-22,27	4704679	-190334	-63.3<168	300.3<3600
-21,93	4563956	-191650	-61.7<168	264.2<3600
-21,59	4397721	-192890	-59.8<168	225.1<3600
-21,25	4206705	-194053	-57.7<168	184.1<3600
-20,91	3991662	-195134	-55.4<168	142.1<3600
-20,91	3991662	-195137	-55.4<168	142.1<3600
-20,57	3753920	-196131	-53.1<168	100.2<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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	<p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 104 di 106</p>

-20,23	3494991	-197032	-50.6<168	59.5<3600
-19,89	3217164	-197836	-48.1<168	20.8<3600
-19,55	2922744	-198541	-45.6<168	-15.6<3600
-19,55	2922744	-198542	-45.6<168	-15.6<3600
-19,20	2614070	-199143	-43.1<168	-50<3600
-18,86	2293445	-199644	-40.5<168	-84.6<3600
-18,52	1963395	-200044	-37.9<168	-120.1<3600
-18,18	1626438	-200345	-35.1<168	-156.1<3600
-18,18	1626438	-200343	-35.1<168	-156.1<3600
-17,84	1284595	-200546	-32.4<168	-192.5<3600
-17,50	939790	-200654	-29.6<168	-229<3600
-17,16	594025	-200671	-26.7<168	-265.5<3600
-16,82	249294	-200598	-23.9<168	-301.8<3600
-16,82	249294	-200596	-23.9<168	-301.8<3600
-16,48	-92950	-200436	-22.6<168	-318<3600
-16,14	-431311	-200193	-25.4<168	-281.9<3600
-15,80	-764305	-199868	-28<168	-246.3<3600
-15,45	-1090453	-199466	-30.7<168	-211.2<3600
-15,45	-1090453	-199464	-30.7<168	-211.2<3600
-15,11	-1408819	-198987	-33.2<168	-176.8<3600
-14,77	-1718508	-198437	-35.7<168	-143.3<3600
-14,43	-2018570	-197819	-38.1<168	-110.6<3600
-14,09	-2308060	-197134	-40.4<168	-78.9<3600
-14,09	-2308060	-197136	-40.4<168	-79<3600
-13,75	-2586524	-196389	-42.6<168	-48.4<3600
-13,41	-2853531	-195584	-44.7<168	-18.2<3600
-13,07	-3108565	-194723	-46.8<168	13.2<3600
-12,73	-3351113	-193811	-48.9<168	46.5<3600
-12,73	-3351113	-193808	-48.9<168	46.5<3600
-12,39	-3581044	-192845	-51.1<168	81.6<3600
-12,05	-3798216	-191838	-53.2<168	118.4<3600
-11,70	-4002482	-190791	-55.3<168	156.4<3600
-11,36	-4193702	-189716	-57.3<168	195.4<3600
-11,36	-4193702	-189707	-57.3<168	195.4<3600
-11,02	-4372253	-188605	-59.3<168	234.9<3600
-10,68	-4538521	-187491	-61.2<168	274.5<3600
-10,34	-4693349	-186377	-63<168	313.8<3600
-10,00	-4837599	-185262	-64.8<168	352.8<3600
-10,00	-4837599	-185267	-64.8<168	352.7<3600
-9,63	-4972774	-182944	-66.5<168	397<3600
-9,25	-5075957	-180596	-67.8<168	435.3<3600
-8,88	-5150691	-178215	-68.7<168	467.6<3600
-8,50	-5200409	-175798	-69.4<168	494.4<3600
-8,50	-5200409	-175796	-69.4<168	494.4<3600
-8,13	-5227035	-173324	-69.7<168	515.6<3600
-7,75	-5232214	-170802	-69.8<168	531.5<3600
-7,38	-5217312	-168265	-69.6<168	541.9<3600
-7,00	-5183738	-165761	-69.2<168	546.8<3600
-7,00	-5183738	-165748	-69.2<168	546.9<3600
-6,63	-5134973	-163388	-68.5<168	546.5<3600
-6,25	-5076002	-161089	-67.7<168	542.8<3600
-5,88	-5010661	-158861	-66.9<168	536.7<3600
-5,50	-4942723	-156684	-65.9<168	529.6<3600
-5,50	-4942723	-156700	-65.9<168	529.5<3600
-5,13	-4874127	-154538	-65<168	522.1<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>Progetto Definitivo Banchina Alma Petroli Relazione di calcolo</p>	 <p>Membro della Federazione CSO RINA ISO 9001 Sistema Qualità Certificato</p> <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 105 di 106</p>
	 <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	

-4,75	-4806506	-152481	-64.1<168	514.3<3600
-4,38	-4739069	-150508	-63.2<168	506.1<3600
-4,00	-4670960	-148598	-62.3<168	497.3<3600
-4,00	-4670960	-148610	-62.3<168	497.2<3600
-3,67	-4608939	-147306	-61.5<168	486.6<3600
-3,33	-4545855	-146032	-60.6<168	475.6<3600
-3,00	-4481341	-144776	-59.8<168	464<3600
-2,67	-4415023	-143538	-58.9<168	451.9<3600
-2,67	-4415023	-143540	-58.9<168	451.9<3600
-2,33	-4346400	-142313	-58<168	439<3600
-2,00	-4274947	-141099	-57<168	425.4<3600
-1,67	-4200238	-139894	-56<168	410.9<3600
-1,33	-4121844	-138699	-55<168	395.3<3600
-1,33	-4121844	-138700	-55<168	395.3<3600
-1,00	-4039305	-137513	-53.9<168	378.7<3600
-0,67	-3952162	-136333	-52.7<168	361<3600
-0,33	-3860060	-135160	-51.5<168	342.1<3600
0,00	-3762646	-133995	-50.2<168	322<3600
0,00	-3762646	-134008	-50.2<168	322<3600
0,28	-3667559	-132482	-49<168	304.6<3600
0,56	-3550896	-131114	-47.5<168	281.2<3600
0,85	-3411606	-129912	-45.7<168	252.1<3600
1,13	-3248623	-128888	-43.6<168	217.7<3600
1,13	-3248623	-128878	-43.6<168	217.7<3600
1,28	-3148044	-128421	-42.4<168	196.7<3600
1,44	-3039934	-128011	-41.1<168	174.6<3600
1,59	-2925574	-127635	-39.7<168	152.1<3600
1,75	-2806328	-127280	-38.4<168	129.7<3600

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 -9,00 m s.l.m.:

Palo $\Phi 1200$ armato con $32\Phi 28$

$$N_{Ek} = 2.188 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 1.606 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = 104,5 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_a = 1528 \text{ daN/cm}^2$$

$$w_k = 0,15 \leq w_{amm} = 0,20 \text{ mm}$$

La verifica dei pali della seconda e della terza file è stata eseguita alla quota di -7,00 m s.l.m.:

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

<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</i> <i>Banchina Alma Petroli</i> <i>Relazione di calcolo</i></p>  <p>Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Centro Settentrionale</p>	 <p>DIREZIONE TECNICA Pag. : 106 di 106</p>
--	--	---

$$N_{Ek} = 1.658 \text{ kN}$$

$$M_{Ek} = 518 \text{ kNm}$$

$$\sigma_c = 69,2 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_a = 547 \text{ daN/cm}^2$$

$$w_k = 0,00 \leq w_{amm} = 0,20 \text{ mm} - \text{sezione non fessurata}$$

PLAXIS Report

Alma Petroli

Sommario

1	Fasi	7
1.1	Initial phase [InitialPhase] (0/0), Materials plot.....	7
1.2	Paratia [Phase_1] (1/2)	7
1.3	Ribasso valle [Phase_2] (3/12)	8
1.4	Tirante 6tr/2m [Phase_3] (7/20).....	8
1.5	Pretiro150 kN/m [Phase_4] (8/28).....	9
1.6	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51).....	9
1.7	Ribasso monte [Phase_6].....	10
1.8	Nuova Struttura [Phase_7] (11/57).....	10
1.9	Riemp +2,5m - disattivo tirante [Phase_8] (12/63).....	11
1.10	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	11
1.11	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	12
1.12	q=52kPa, T=52kN/m [Phase_11] (15/101).....	12
1.13	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	13
1.14	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	13
1.15	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	14
1.16	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	14
2	Materials - Soil and interfaces	15
2.1	Mohr-Coulomb (1/2).....	15
2.2	Mohr-Coulomb (2/2).....	16
2.3	Hardening soil	17
2.4	Plates.....	18
2.5	Geogrids	18
2.6	Anchors	18
2.7	Embedded beam row	18
3	General information	20
3.1	Calculation information - Initial phase	20
3.2	Calculation information - Paratia	20
3.3	Calculation information - Ribasso valle.....	21
3.4	Calculation information - Tirante 6tr/2m.....	21
3.5	Calculation information - Pretiro150 kN/m	21
3.6	Calculation information - Escavo -11,5 m	22
3.7	Calculation information - Ribasso monte.....	22
3.8	Calculation information - Nuova Struttura	23
3.9	Calculation information - Riemp +2,5m - disattivo tirante	23
3.10	Calculation information - SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m)	24

3.11	Calculation information - $q=52\text{kPa}$, $T=52\text{kN/m}$	24
3.12	Calculation information - SLU12	25
3.13	Calculation information - SLV ($q=24\text{kPa}$, west, $kh=0.06$)	25
3.14	Calculation information - SLE ($q=40\text{ kPa}$, $T=40\text{kN/m}$)	25
3.15	Calculation information - SLD ($q=24\text{kPa}$, West $kh=0.034$)	26
4	Total displacements ux	27
4.1	Initial phase [InitialPhase] (0/0)	27
4.2	Paratia [Phase_1] (1/2)	27
4.3	Ribasso valle [Phase_2] (3/12)	28
4.4	Tirante 6tr/2m [Phase_3] (7/20).....	28
4.5	Pretiro150 kN/m [Phase_4] (8/28).....	29
4.6	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51).....	29
4.7	Ribasso monte [Phase_6] (10/54).....	30
4.8	Nuova Struttura [Phase_7] (11/57).....	30
4.9	Riemp +2,5m - disattivo tirante [Phase_8] (12/63).....	31
4.10	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	31
4.11	SLU11 ($q=46\text{kPa}$, $T=46\text{kN/m}$) [Phase_10] (14/162)	32
4.12	$q=52\text{kPa}$, $T=52\text{kN/m}$ [Phase_11] (15/101).....	32
4.13	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	33
4.14	SLV ($q=24\text{kPa}$, west, $kh=0.06$) [Phase_13] (17/229)	33
4.15	SLE ($q=40\text{ kPa}$, $T=40\text{kN/m}$) [Phase_14]	34
4.16	SLD ($q=24\text{kPa}$, West $kh=0.034$) [Phase_15] (20/272)	34
5	Plastic points Status.....	35
5.1	Initial phase [InitialPhase] (0/0)	35
5.2	Paratia [Phase_1] (1/2)	35
5.3	Ribasso valle [Phase_2] (3/12)	36
5.4	Tirante 6tr/2m [Phase_3] (7/20).....	36
5.5	Pretiro150 kN/m [Phase_4] (8/28).....	37
5.6	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51).....	37
5.7	Ribasso monte [Phase_6] (10/54).....	38
5.8	Nuova Struttura [Phase_7] (11/57).....	38
5.9	Riemp +2,5m - disattivo tirante [Phase_8] (12/63).....	39
5.10	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	39
5.11	SLU11 ($q=46\text{kPa}$, $T=46\text{kN/m}$) [Phase_10] (14/162)	40
5.12	$q=52\text{kPa}$, $T=52\text{kN/m}$ [Phase_11] (15/101).....	40
5.13	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	41
5.14	SLV ($q=24\text{kPa}$, west, $kh=0.06$) [Phase_13] (17/229)	41
5.15	SLE ($q=40\text{ kPa}$, $T=40\text{kN/m}$) [Phase_14] (19/172)	42

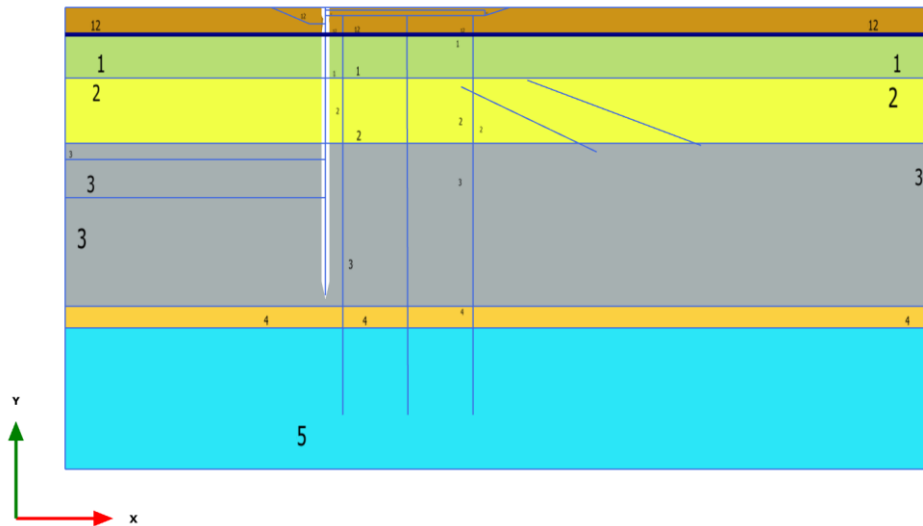
5.16	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	42
6	Total displacements u_x - Plate	43
6.1	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51)	43
6.2	Fondale -15m [Phase_9] (13/85)	43
6.3	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10]	44
6.4	SLU12 [Phase_12] (16/140)	44
6.5	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	45
6.6	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14]	45
6.7	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	46
7	Table of total displacements – Plate	47
7.1	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51)	47
7.2	Fondale -15m [Phase_9] (13/85)	48
7.3	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	50
7.4	SLU12 [Phase_12] (16/140)	53
7.5	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	55
7.6	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	58
7.7	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	60
8	Shear forces Q	64
8.1	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51)	64
8.2	Fondale -15m [Phase_9] (13/85)	64
8.3	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	65
8.4	SLU12 [Phase_12] (16/140)	65
8.5	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	66
8.6	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	66
8.7	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	67
9	Bending moments M	68
9.1	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51)	68
9.2	Fondale -15m [Phase_9] (13/85)	68
9.3	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	69
9.4	SLU12 [Phase_12] (16/140)	69
9.5	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	70
9.6	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	70
9.7	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	71
10	Axial forces N	72
10.1	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51)	72
10.2	Fondale -15m [Phase_9] (13/85)	72
10.3	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	73
10.4	SLU12 [Phase_12] (16/140)	73

10.5	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	74
10.6	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	74
10.7	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	75
11	Table of plate force envelopes -Plate.....	76
11.1	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51).....	76
11.2	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	78
11.3	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	81
11.4	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	84
11.5	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	87
11.6	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	90
11.7	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	94
12	Table of node-to-node anchors	98
12.1	Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51).....	98
12.2	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	98
12.3	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	98
12.4	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	98
12.5	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	98
12.6	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	98
12.7	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	98
13	Total displacements ux - Embedded beam row.....	99
13.1	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	99
13.2	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	99
13.3	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	100
13.4	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	100
13.5	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	101
13.6	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	101
14	Table of total displacements - Embedded beam row.....	102
14.1	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	102
14.2	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	106
14.3	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	110
14.4	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	114
14.5	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	118
14.6	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	122
15	Shear forces Q - Embedded beam row.....	126
15.1	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	126
15.2	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	126
15.3	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	127
15.4	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	127

15.5	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	128
15.6	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	128
16	Bending moments M - Embedded beam row	129
16.1	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	129
16.2	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	129
16.3	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	130
16.4	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	130
16.5	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	131
16.6	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	131
17	Axial forces N - Embedded beam row	132
17.1	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	132
17.2	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	132
17.3	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	133
17.4	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	133
17.5	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	134
17.6	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	134
18	Table of embedded pile row force envelopes	135
18.1	Fondale -15m [Phase_9] (13/85).....	135
18.2	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10] (14/162)	140
18.3	SLU12 [Phase_12] (16/140).....	145
18.4	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13] (17/229)	150
18.5	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14] (19/172)	155
18.6	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15] (20/272)	160

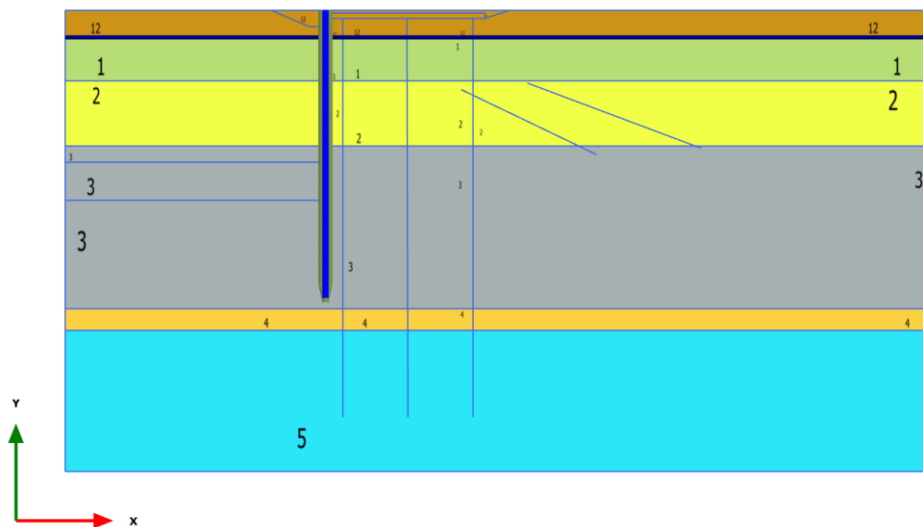
1 Fasi

1.1 Initial phase [InitialPhase] (0/0), Materials plot



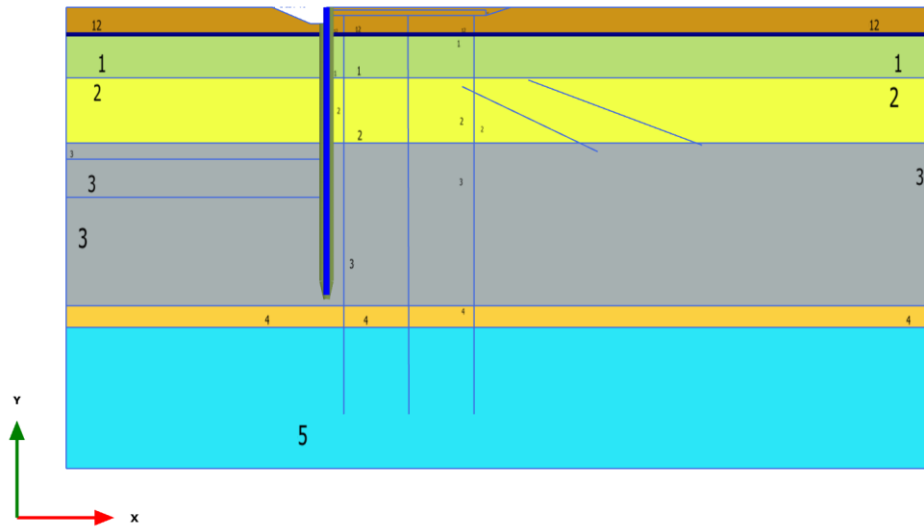
Materials plot

1.2 Paratia [Phase_1] (1/2)



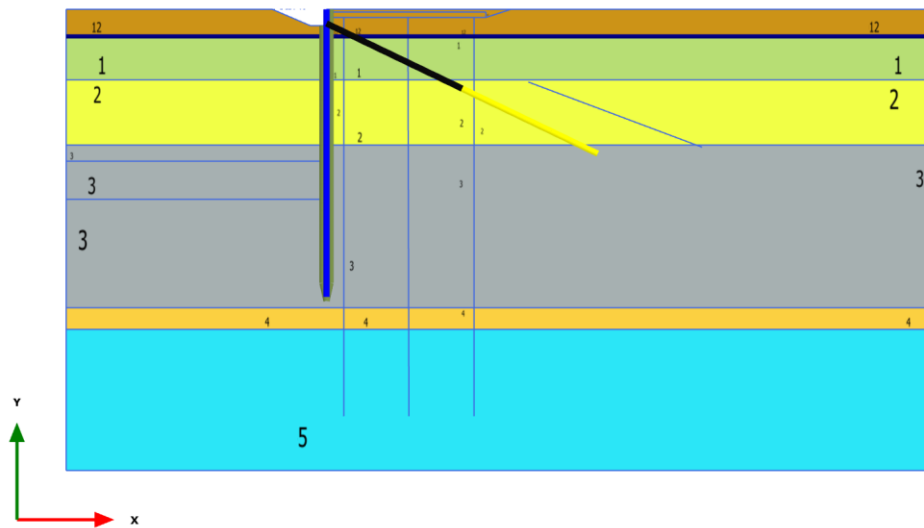
Materials plot

1.3 Ribasso valle [Phase_2] (3/12)



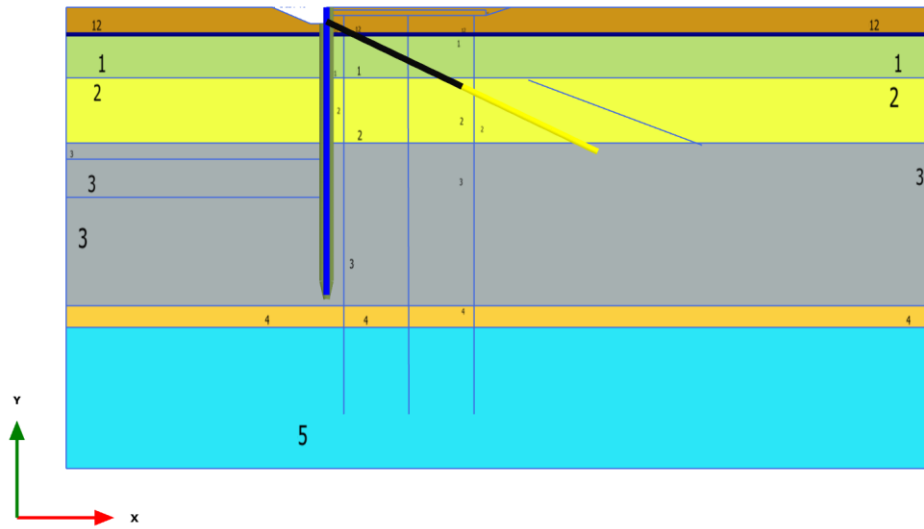
Materials plot

1.4 Tirante 6tr/2m [Phase_3] (7/20)



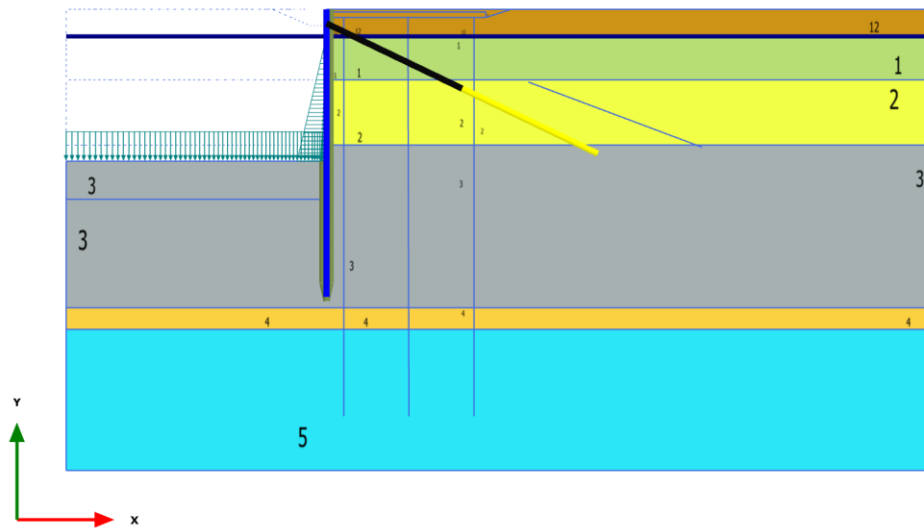
Materials plot

1.5 Pretiro150 kN/m [Phase_4] (8/28)



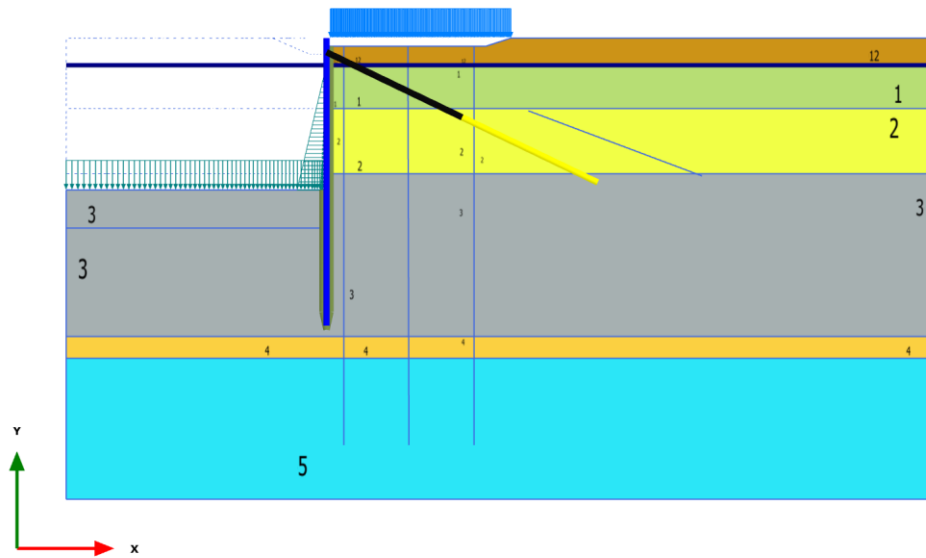
Materials plot

1.6 Escavo -11,5 m [Phase_5] (9/51)



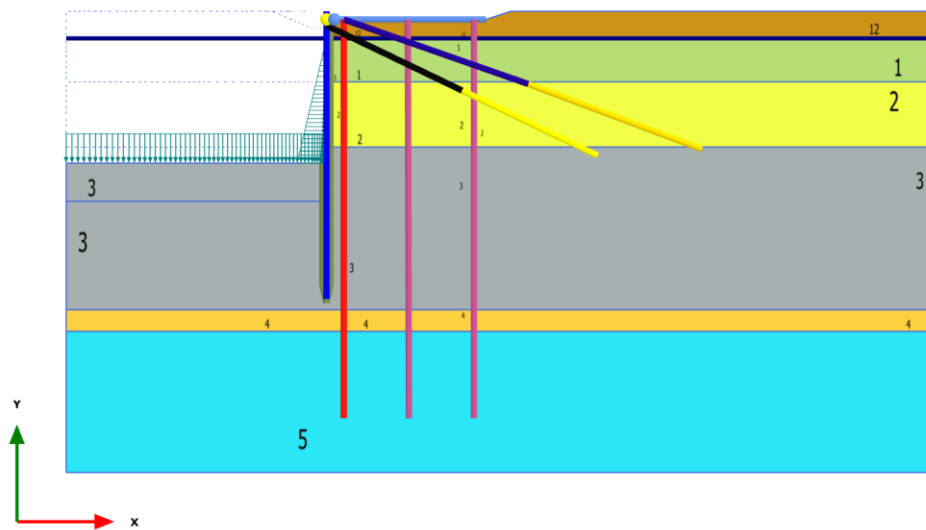
Materials plot

1.7 Ribasso monte [Phase_6]



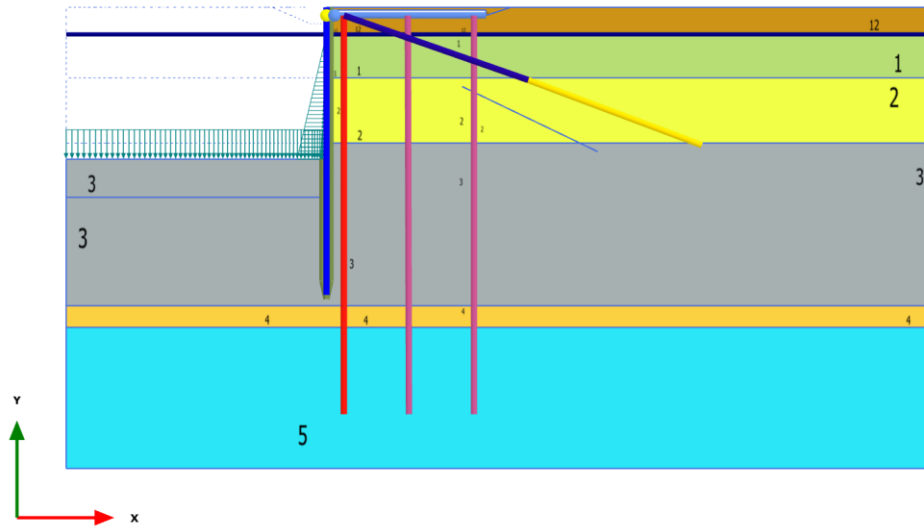
Materials plot

1.8 Nuova Struttura [Phase_7] (11/57)



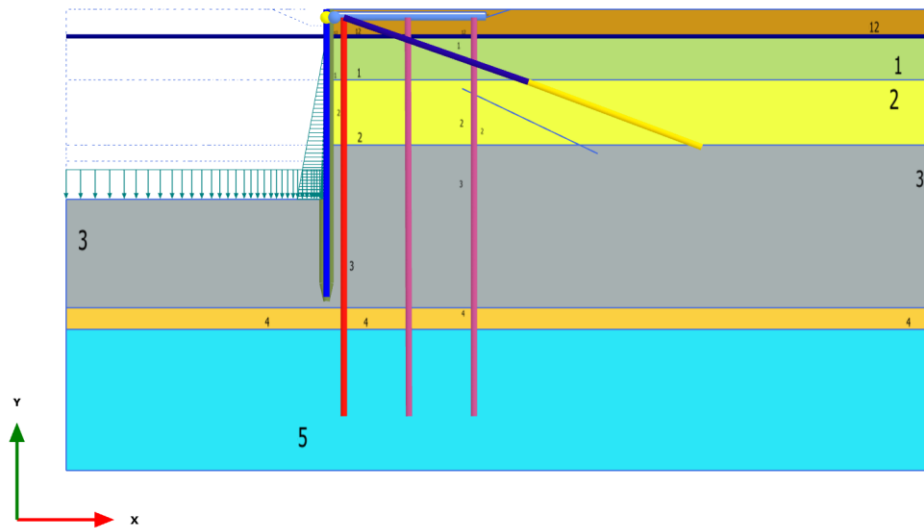
Materials plot

1.9 Riemp +2,5m - disattivo tirante [Phase_8] (12/63)



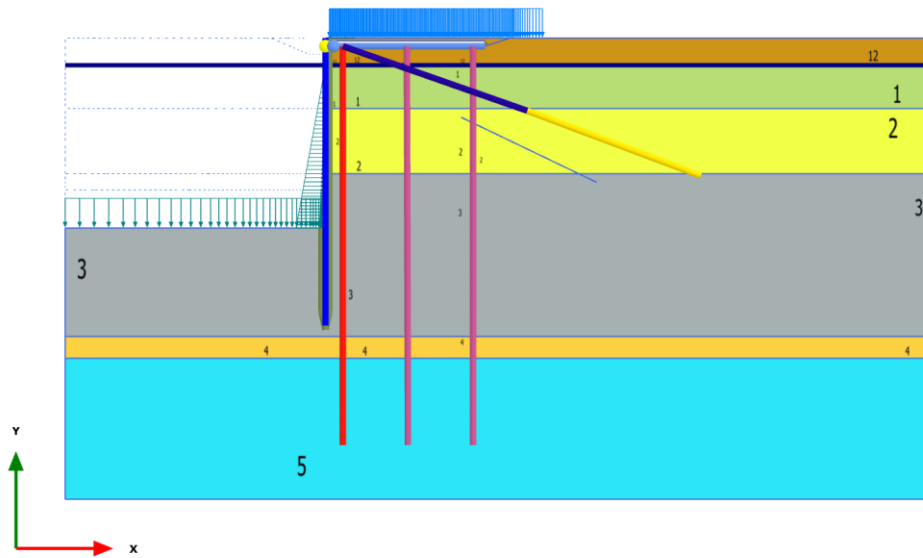
Materials plot

1.10 Fondale -15m [Phase_9] (13/85)



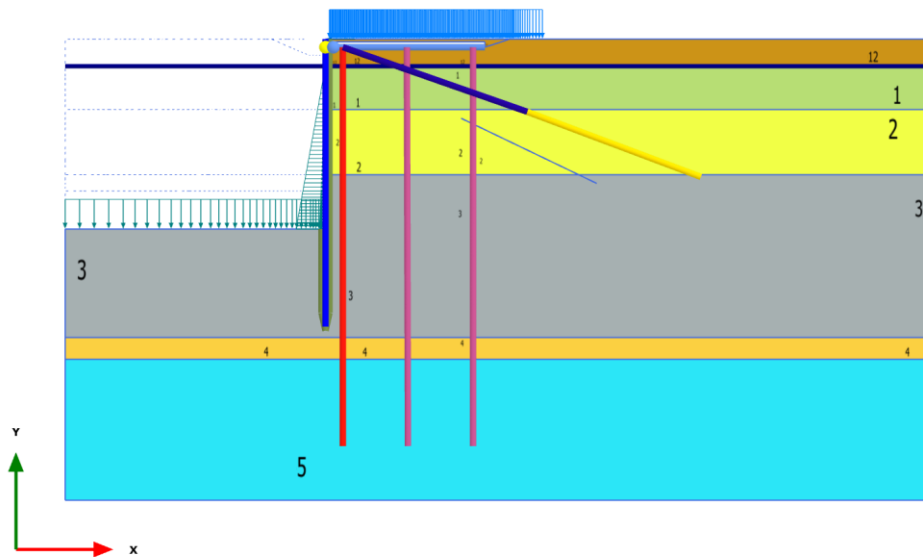
Materials plot

1.11 SLU11 ($q=46\text{kPa}$, $T=46\text{kN/m}$) [Phase_10] (14/162)



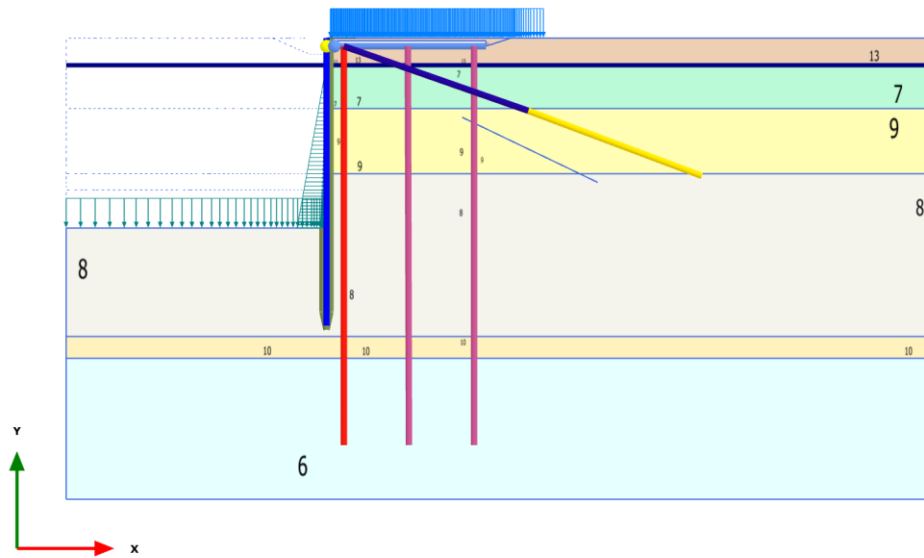
Materials plot

1.12 $q=52\text{kPa}$, $T=52\text{kN/m}$ [Phase_11] (15/101)



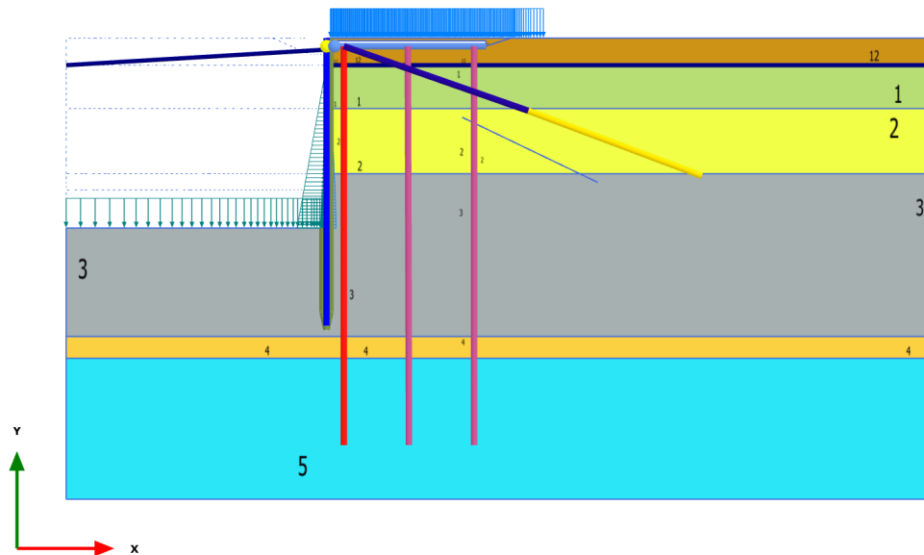
Materials plot

1.13 SLU12 [Phase_12] (16/140)



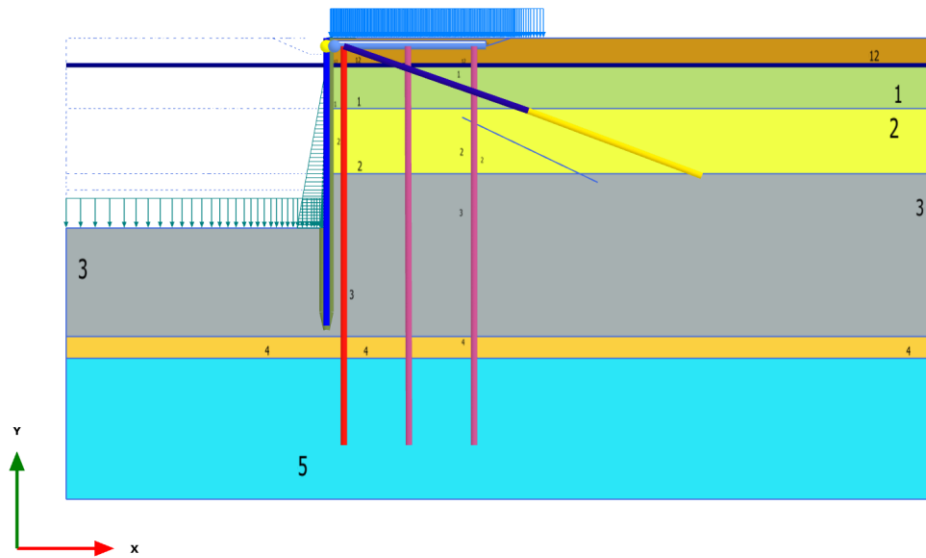
Materials plot

1.14 SLV ($q=24\text{kPa}$, west, $kh=0.06$) [Phase_13] (17/229)



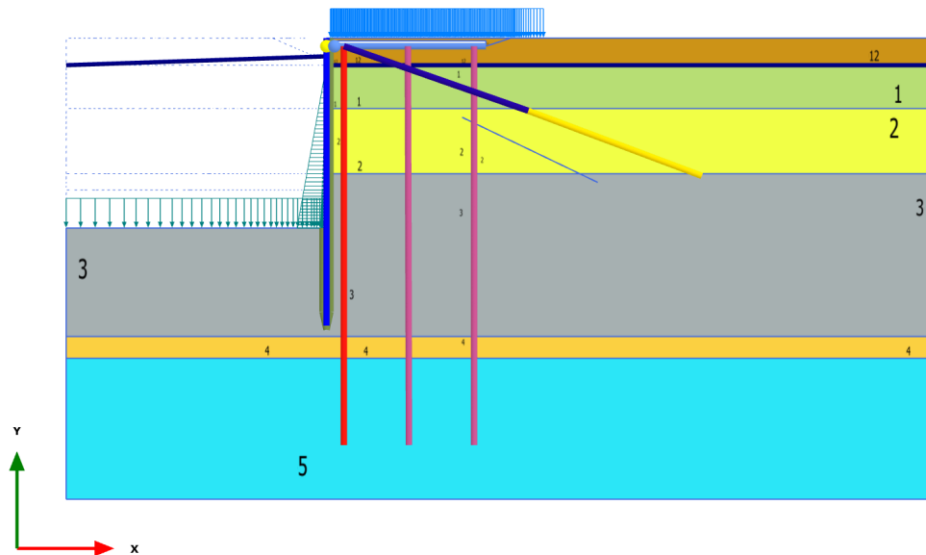
Materials plot

1.15 SLE ($q=40$ kPa, $T=40$ kN/m) [Phase_14] (19/172)



Materials plot

1.16 SLD ($q=24$ kPa, West $kh=0.034$) [Phase_15] (20/272)








Materials plot

2 Materials - Soil and interfaces

2.1 Mohr-Coulomb (1/2)

Identification		2-Palude	5-Sabbie profonde	6-Alluvioni profonde	6-Alluvioni profonde_M2	2-Palude_M2
Identification number		1	4	5	6	7
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
γ_{unsat}	kN/m ³	17,50	18,50	19,00	19,00	17,50
γ_{sat}	kN/m ³	17,50	18,50	19,00	19,00	17,50
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0	999,0	999,0	999,0
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
E	kN/m ²	3000	25,00E3	20,00E3	20,00E3	3000
ν (nu)		0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
G	kN/m ²	1200	10,00E3	8000	8000	1200
E_{oed}	kN/m ²	3600	30,00E3	24,00E3	24,00E3	3600
c_{ref}	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ϕ (phi)	°	26,00	33,00	28,00	23,00	21,30
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V_s	m/s	25,94	72,82	64,27	64,27	25,94
V_p	m/s	44,92	126,1	111,3	111,3	44,92
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
c_{inc}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0,9833	0,9833	0,9833	0,9833	0,9833
ν_u		0,4950	0,4950	0,4950	0,4950	0,4950
$K_{w,\text{ref}} / n$	kN/m ²	117,6E3	980,0E3	784,0E3	784,0E3	117,6E3
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R_{inter}		0,7000	0,7000	0,7000	0,7000	0,7000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$K_{0,x}$		0,5616	0,4554	0,5305	0,6093	0,6367
$K_{0,z}$		0,5616	0,4554	0,5305	0,6093	0,6367
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
2 μm - 50 μm	%	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
50 μm - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00
Use defaults		None	None	None	None	None
k_x	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$-\psi_{\text{unsat}}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
S_s	1/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
c_k		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12



2.2 Mohr-Coulomb (2/2)

Identification		5-Sabbie profonde_M2	Riporto no- peso	1-Riporto	1-Riporto_M2	Interfaccia
Identification number		10	11	12	13	14
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
γ_{unsat}	kN/m ³	18,50	0,000	18,00	18,00	18,00
γ_{sat}	kN/m ³	18,50	0,000	18,00	18,00	18,00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0	999,0	999,0	999,0
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
E	kN/m ²	25,00E3	15,00E3	15,00E3	15,00E3	10,00E3
ν (nu)		0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
G	kN/m ²	10,00E3	6000	6000	6000	4000
E_{oed}	kN/m ²	30,00E3	18,00E3	18,00E3	18,00E3	12,00E3
c_{ref}	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
φ (phi)	°	27,50	32,00	32,00	26,60	20,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
V_s	m/s	72,82	0,000	57,18	57,18	46,69
V_p	m/s	126,1	0,000	99,05	99,05	80,87
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ³ /m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
c_{inc}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0,9833	0,9833	0,9833	0,9833	0,9833
ν_u		0,4950	0,4950	0,4950	0,4950	0,4950
$K_{w,\text{ref}} / n$	kN/m ²	980,0E3	588,0E3	588,0E3	588,0E3	392,0E3
Strength		Manual	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid
R_{inter}		0,7000	1,000	1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$K_{0,x}$		0,5383	0,4701	0,4701	0,5522	0,6580
$K_{0,z}$		0,5383	0,4701	0,4701	0,5522	0,6580
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
2 μm - 50 μm	%	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
50 μm - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00
Use defaults		None	None	None	None	None
k_x	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$-\Psi_{\text{unsat}}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
S_s	1/m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
c_k		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12



2.3 Hardening soil

Identification		3-Sabbie	4-Limi argillosi	4-Limi argillosi_M2	3-Sabbie_M2
Identification number		2	3	8	9
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained
Colour					
Comments					
γ_{unsat}	kN/m ³	18,00	18,00	18,00	18,00
γ_{sat}	kN/m ³	18,00	18,00	18,00	18,00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000	0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0	999,0	999,0
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000	0,000
E_{50}^{ref}	kN/m ²	15,00E3	4000	4000	15,00E3
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	15,00E3	4000	4000	15,00E3
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	45,00E3	12,00E3	12,00E3	45,00E3
power (m)		0,5000	0,8000	0,8000	0,5000
Use alternatives		No	No	No	No
C_c		0,02300	0,08625	0,08625	0,02300
C_s		5,695E-3	0,02587	0,02587	5,695E-3
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
c_{ref}	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
φ (phi)	°	36,00	28,00	23,00	30,20
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000
Set to default values		No	Yes	Yes	No
v_{ur}		0,3000	0,2000	0,2000	0,3000
p_{ref}	kN/m ²	100,0	100,0	100,0	100,0
K_0^{nc}		0,4122	0,5305	0,6093	0,4970
c_{inc}	kN/m ² /m	0,000	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000	0,000
R_f		0,9000	0,9000	0,9000	0,9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0,9783	0,9866	0,9866	0,9783
v_u		0,4950	0,4950	0,4950	0,4950
$K_{w,\text{ref}} / n$	kN/m ²	1,687E6	491,7E3	491,7E3	1,687E6
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual
R_{inter}		0,7000	0,7000	0,7000	0,7000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0,000	0,000	0,000	0,000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0,000	0,000	0,000	0,000
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes	Yes	Yes
$K_{0,x}$		0,4122	0,5305	0,6093	0,4970
$K_{0,z}$		0,4122	0,5305	0,6093	0,4970
OCR		1,000	1,000	1,000	1,000
POP	kN/m ²	0,000	0,000	0,000	0,000
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10,00	10,00	10,00	10,00
2 μm - 50 μm	%	13,00	13,00	13,00	13,00
50 μm - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00	77,00
Use defaults		None	None	None	None
k_x	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000
$-\psi_{\text{unsat}}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
S_s	1/m	0,000	0,000	0,000	0,000
c_k		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12



2.4 Plates

Identification		HZ775B-ZH9.5/comb10-13	solettone s=1m
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic
Isotropic		Yes	Yes
End bearing		No	No
EA ₁	kN/m	6,199E6	35,00E6
EA ₂	kN/m	6,199E6	35,00E6
EI	kN m ² /m	427,5E3	2,905E6
d	m	0,9097	0,9980
w	kN/m/m	0,000	25,00
v (nu)		0,1500	0,2000
Rayleigh α		0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000
Identification number		1	2





2.5 Geogrids

Identification		6tr+Bulbo30cm/2,0m	Dywidagø47+Bulbo40cm/2,0m
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic
Isotropic		Yes	Yes
EA ₁	kN/m	1,320E6	2,198E6
EA ₂	kN/m	1,320E6	2,198E6
Identification number		1	2
Identification number		1	2

2.6 Anchors

Identification		6tr/2,0m	Dywidagø47/2,0m
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic
EA	kN	86,10E3	178,0E3
L _{spacing}	m	1,000	1,000
Identification number		1	2
Identification number		1	2
Identification number		1	2

2.7 Embedded beam row

Identification		palø1000/4,00	palø1200/4,0m
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
E	kN/m ²	35,00E6	35,00E6
γ	kN/m ³	25,00	25,00
Pile type		Predefined	Predefined
Predefined pile type		Massive circular pile	Massive circular pile
Diameter	m	1,000	1,200
A	m ²	0,7854	1,131
I ₃	m ⁴	0,04909	0,1018
I ₂	m ⁴	0,04909	0,1018
Rayleigh α		0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000
Axial skin resistance		Layer dependent	Layer dependent
T _{max}	kN/m	1,000E12	1,000E12
F _{max}	kN	500,0	1000
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic

E	kN/m ²	35,00E6	35,00E6
γ	kN/m ³	25,00	25,00
Predefined pile type		Predefined	Predefined
Predefined pile type		Massive circular pile	Massive circular pile
Diameter	m	1,000	1,200
A	m ²	0,7854	1,131
I	m ⁴	0,04909	0,1018
L _{spacing}	m	4,000	4,000
Rayleigh α		0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000
Axial skin resistance		Layer dependent	Layer dependent
T _{max}	kN/m	1,000E12	1,000E12
Lateral skin resistance		Unlimited	Unlimited
F _{max}	kN	500,0	1000
Default values		Yes	Yes
Axial stiffness factor		0,8839	1,013
Lateral stiffness factor		0,8839	1,013
Base stiffness factor		8,839	10,13
Identification number		1	2

3 General information

General information	
Project	
Filename	Alma Petroli_1200_DEF.P2DX
Directory	C:\Users\Alessandro\Desktop\Plaxis Alma petroli\
Title	Trattaroli Sud
General	
Model	Plane strain
Elements	15-Noded
Acceleration	
Gravity angle	-90,00°
x-acceleration	0,000 G
y-acceleration	0,000 G
Earth gravity	9,810 m/s ²
Mesh	
Nr of soil elements	2119
Nr of nodes	17655
Average element size	1,656 m
Maximum element size	7,835 m
Minimum element size	0,1525 m
Comments	

3.1 Calculation information - Initial phase

Calculation information				
Step info				
Phase	Initial phase [InitialPhase]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	K0 procedure			
Kernel type	32 bit			
Extrapolation factor	0,000			
Relative stiffness	0,000			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	1,000
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,000	ΣM_{Stage}	0,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.2 Calculation information - Paratia

Calculation information				
Step info				
Phase	Paratia [Phase_1]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	1,000			
Relative stiffness	0,9910			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	1,000

Active proportion of stage	M_{Stage}	0,5000	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.3 Calculation information - Ribasso valle

Calculation information				
Step info				
Phase	Ribasso valle [Phase_2]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,1603			
Relative stiffness	0,2065			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	-0,01410E-3	ΣM_{Area}	0,9986
Active proportion of stage	M_{Stage}	6,192E-3	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.4 Calculation information - Tirante 6tr/2m

Calculation information				
Step info				
Phase	Tirante 6tr/2m [Phase_3]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,5836			
Relative stiffness	0,08255			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	0,9986
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,2472	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.5 Calculation information - Pretiro150 kN/m

Calculation information				
Step info				
Phase	Pretiro150 kN/m [Phase_4]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			

Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,2946			
Relative stiffness	0,4985			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	0,9986
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,08183	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.6 Calculation information - Escavo -11,5 m

Calculation information				
Step info				
Phase	Escavo -11,5 m [Phase_5]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,4356			
Relative stiffness	0,1042			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	-1,389E-3	ΣM_{Area}	0,9012
Active proportion of stage	M_{Stage}	2,550E-3	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.7 Calculation information - Ribasso monte

Calculation information				
Step info				
Phase	Ribasso monte [Phase_6]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,01265			
Relative stiffness	0,1388			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	-0,02212E-3	ΣM_{Area}	0,8977
Active proportion of stage	M_{Stage}	3,880E-3	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			

F _Y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised P _{Excess,Max}	0,000 kN/m ²			

3.8 Calculation information - Nuova Struttura

Calculation information				
Step info				
Phase	Nuova Struttura [Phase_7]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	1,352			
Relative stiffness	0,7213			
Multipliers				
Soil weight			ΣM _{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M _{sf}	0,000	ΣM _{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M _{Area}	0,000	ΣM _{Area}	0,8977
Active proportion of stage	M _{Stage}	0,2882	ΣM _{Stage}	1,000
Forces				
F _X	0,000 kN/m			
F _Y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised P _{Excess,Max}	0,000 kN/m ²			

3.9 Calculation information - Riemp +2,5m - disattivo tirante

Calculation information				
Step info				
Phase	Riemp +2,5m - disattivo tirante [Phase_8]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,1082			
Relative stiffness	0,1714			
Multipliers				
Soil weight			ΣM _{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M _{sf}	0,000	ΣM _{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M _{Area}	0,1742E-3	ΣM _{Area}	0,9012
Active proportion of stage	M _{Stage}	0,02150	ΣM _{Stage}	1,000
Forces				
F _X	0,000 kN/m			
F _Y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised P _{Excess,Max}	0,000 kN/m ²			

Calculation information - Fondale -15m

Calculation information				
Step info				
Phase	Fondale -15m [Phase_9]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			

Extrapolation factor	0,7906			
Relative stiffness	0,03819			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	-1,961E-3	ΣM_{Area}	0,8765
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,01431	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.10 Calculation information - SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m)

Calculation information				
Step info				
Phase	SLU11 (q=46kPa, T=46kN/m) [Phase_10]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,1624			
Relative stiffness	0,09543			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	0,8765
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,02433	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.11 Calculation information - q=52kPa, T=52kN/m

Calculation information				
Step info				
Phase	q=52kPa, T=52kN/m [Phase_11]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,2745			
Relative stiffness	0,08371			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	0,8765
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,01695	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.12 Calculation information - SLU12

Calculation information				
Step info				
Phase	SLU12 [Phase_12]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,5220			
Relative stiffness	0,01782			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	0,8765
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,01926	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			

3.13 Calculation information - SLV (q=24kPa, west, kh=0.06)

Calculation information				
Step info				
Phase	SLV (q=24kPa, west, kh=0.06) [Phase_13]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	1,064			
Relative stiffness	0,03521			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	0,8765
Active proportion of stage	M_{Stage}	9,803E-3	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0,000 kN/m ²			
Pseudo-static acceleration				
X	0,06000 m/s ²			
Y	0,000 m/s ²			

3.14 Calculation information - SLE (q=40 kPa, T=40kN/m)

Calculation information				
Step info				
Phase	SLE (q=40 kPa, T=40kN/m) [Phase_14]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,7237			
Relative stiffness	0,1287			

Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	0,8765
Active proportion of stage	M_{Stage}	0,1352	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{\text{Excess,Max}}$	0,000 kN/m ²			

3.15 Calculation information - SLD (q=24kPa, West kh=0.034)

Calculation information				
Step info				
Phase	SLD (q=24kPa, West kh=0.034) [Phase_15]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Plastic			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0,1039			
Relative stiffness	0,03307			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1,000
Strength reduction factor	M_{sf}	0,000	ΣM_{sf}	1,000
Time	Increment	0,000	End time	0,000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0,000	ΣM_{Area}	0,8765
Active proportion of stage	M_{Stage}	2,710E-3	ΣM_{Stage}	1,000
Forces				
F_x	0,000 kN/m			
F_y	0,000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{\text{Excess,Max}}$	0,000 kN/m ²			
Pseudo-static acceleration				
X	0,03400 m/s ²			
Y	0,000 m/s ²			