AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA

PORTO DI VADO LIGURE

PROJECT FINANCING PER:

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, ESECUZIONE DEI LAVORI DELLA NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE DEL PORTO DI VADO LIGURE E GESTIONE DELLA PARTE RELATIVA AL TERMINAL CONTENITORI

SOCIETÀ DI PROGETTO: APM TERMINALS VADO LIGURE S.p.A.

MAERSK

CLF GRANDI LAVORI FINCOSIT

PROGETTAZIONE:

TECHNITAL S.p.A.

IL RESPONSABILE:

Dott. Ing. Guido Fiorini

PERIZIA DI VARIANTE

ELABORATO N° :

MI0102-PV-G-G-R-007-00

TITOLO ELABORATO

ELABORATI GENERALI

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA - STABILITA' E CEDIMENTI

DATA	ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO
Dicembre 2015	F. CANEPARO	F. CARNEVALE	G. FIORINI

REVISIONE N°	DATA	DESCRIZIONE
00	Dicembre 2015	EMISSIONE PER APPROVAZIONE

NOME FILE

MI0102-PV-G-G-R-007-00.docx

A TERMINE DI LEGGE CI RISERVIAMO LA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO CON DIVIETO DI RIPRODURLO RENDENDOLO NOTO A TERZI ANCHE PARZIALMENTE SENZA NOSTRA AUTORIZZAZIONE

AUTORITÀ PORTUALE DI SAVONA

PORTO DI VADO LIGURE

PROJECT FINANCING PER:

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, ESECUZIONE DEI LAVORI DELLA NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE DEL PORTO DI VADO LIGURE E GESTIONE DELLA PARTE RELATIVA AL TERMINAL CONTENITORI

PERIZIA DI VARIANTE

ELABORATI GENERALI
RELAZIONE GEOTECNICA - STABILITA' E CEDIMENTI

INDICE

1. INTRODUZIONE 12
2. OGGETTO E SCOPO 14
3. CONCLUSIONI 15
4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 20
5. VERIFICHE NORMATIVE 21
   5.1. Combinazione delle azioni 21
   5.2. Coefficienti di sicurezza parziali 22
6. AZIONE SISMICA CONSIDERATA 24
7. STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE E DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE 25
8. RIEMPIMENTO 28
   8.1. Generalità 28
   8.2. Stratigrafia di riferimento sotto l'area a mare 28
   8.3. Fasi costruttive considerate nelle analisi 29
   8.4. Verifiche di Stato Limite di Esercizio (SLE) 31
   8.5. Verifiche di Stato Limite Ultimo (SLU) 35
9. CASSONI REGGISPINTA BANCHINA RINFUSE 38
   9.1. Generalità 38
   9.2. Carichi 39
   9.3. Stratigrafia di riferimento 40
   9.4. Fasi costruttive e modelli realizzati 41
   9.5. Verifiche di Stato Limite di Esercizio (SLE) 43
      9.5.1. Fasi costruttive 45
      9.5.2. Fasi di esercizio 50
   9.6. Verifiche di Stato Limite Ultimo (SLU) 54
      9.6.1. Fasi costruttive – B1 54
      9.6.1. Fase di esercizio – B1 57
      9.6.2. Fasi costruttive – E1 60
      9.6.3. Fase di esercizio – E1 63
      9.6.4. Sintesi dei fattori di sicurezza ottenuti dalle analisi 66
10. CASSONI BANCHINA CONTAINER 67
   10.1. Generalità 67
   10.2. Carichi 68
   10.3. Stratigrafia di riferimento 69
   10.4. Fasi costruttive e modelli realizzati 69

10.5. Verifiche di Stato Limite di Esercizio (SLE) 71
10.5.1. Fasi costruttive 73
10.5.2. Fasi di esercizio 76
10.6. Verifiche di Stato Limite Ultimo (SLU) 78
10.6.1. Fasi costruttive – A4 79
10.6.2. Fase di esercizio – A4 82
10.6.3. Fasi costruttive – A14 85
10.6.4. Fase di esercizio – A14 88
10.6.5. Sintesi dei fattori di sicurezza ottenuti dalle analisi 91

11. CASSONI BANCHINA PETROLI 92
11.1. Generalità 92
11.2. Carichi 92
11.3. Stratigrafia di riferimento 93
11.4. Fasi costruttive e modelli realizzati 94
11.5. Verifiche di Stato Limite di Esercizio (SLE) 95
11.5.1. Fasi costruttive 97
11.5.2. Fasi di esercizio 99
11.6. Verifiche di Stato Limite Ultimo (SLU) 101
11.6.1. Fasi costruttive 101
11.6.2. Fase di esercizio 104
11.6.3. Sintesi dei fattori di sicurezza ottenuti dalle analisi 107

12. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI 108
12.1. Generalità 108
12.2. Cassoni Banchina Rinfuse 108
12.3. Cassoni Banchina Container 111
12.4. Cassoni Banchina Petroli 113
12.5. Area rilevato 116
12.6. Sintesi dei risultati 116

13. MONITORAGGI IN CORSO D'OPERA 118
13.1. Monitoraggio topografico 118

ELENCO FIGURE

Fig. 1-1 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale - Planimetria generale 13
Fig. 8-1 Vado Ligure - Nuova piastra multifunzionale – Fasi costruttive del rilevato considerate nel calcolo – sezione in avanzamento 30
Fig. 8-2 Vado Ligure - Nuova piastra multifunzionale – Fasi costruttive del rilevato considerate nel calcolo – sezione trasversale tipo 31
Fig. 8-3 Vado Ligure - Nuova piastra multifunzionale – Fasi costruttive del rilevato – Sezione in avanzamento implementata nel modello FEM 31
Fig. 8-4 Vado Ligure - Nuova piastra multifunzionale – Fasi costruttive del rilevato– sezione trasversale implementata nel modello FEM 31
Fig. 8-5 Vado Ligure - Nuova piastra multifunzionale – Fasi costruttive del rilevato – andamento del cedimento nel tempo nell'ipotesi di totale consolidazione dei terreni di fondazione 32
Fig. 8-6 Vado Ligure - Nuova piastra multifunzionale – Fasi costruttive del rilevato – andamento delle sovrappressioni nel tempo nell'ipotesi di totale consolidazione dei terreni di fondazione 33
Fig. 8-7 Vado Ligure - Nuova piastra multifunzionale – Fasi costruttive del rilevato – andamento delle sovrappressioni nel tempo in L2 nell'ipotesi di rimuovere la precarica dopo 20 giorni 34
Fig. 8-8 Vado Ligure - Nuova piastra multifunzionale – Fasi costruttive del rilevato – Fattore di sicurezza per il rilevato alla +2.50 36
Fig. 8-9 Vado Ligure - Nuova piastra multifunzionale – Fasi costruttive del rilevato – Fattore di sicurezza per la fase di precarica a tempo zero 37
Fig. 9-1- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Modelli Plaxis – Cassoni B1, A1, E1 e G1 42
Fig. 9-2- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Spostamenti di costruzione cassone B1 e A1 47
Fig. 9-3- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Spostamenti di costruzione cassone E1 e G1 48
Fig. 9-4- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale –Sovrappressioni in fondazione durante la precarica - Cassone B1 49
Fig. 9-5- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Spostamenti orizzontali - Cassone B1 50
Fig. 9-6- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase posa cassone B1– Capacita' portante e stabilita' globale 55
Fig. 9-7- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase precarica cassone B1– Capacita' portante e stabilita' globale 56

Fig. 9-8- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con onda – Cassone B1– Capacita' portante e stabilita' globale 58
Fig. 9-9- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con sisma – Cassone B1– Capacita' portante e stabilita' globale 59
Fig. 9-10- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase posa cassone E1– Capacita' portante e stabilita' globale 61
Fig. 9-11- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase precarica cassone B1– Capacita' portante e stabilita' globale 62
Fig. 9-12- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con onda – Cassone E1– Capacita' portante e stabilita' globale 64
Fig. 9-13- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con sisma – Cassone E1– Capacita' portante e stabilita' globale 65
Fig. 10-1- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Modello Plaxis – Cassone A4 e A14 71
Fig. 10-2- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Spostamenti di costruzione cassone A4 – A14 74
Fig. 10-3- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale –Sovrappressioni in fondazione durante la precarica - Cassone A4 75
Fig. 10-4- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Spostamenti orizzontali - Cassone A4 76
Fig. 10-5- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase posa cassone A4– Capacita' portante e stabilita' globale 80
Fig. 10-6- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase precarica cassone A4– Capacita' portante e stabilita' globale 81
Fig. 10-7- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con onda – Cassone A4 – Capacita' portante e stabilita' globale 83
Fig. 10-8- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con sisma – Cassone A4– Capacita' portante e stabilita' globale 84
Fig. 10-9- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase posa cassone A14– Capacita' portante e stabilita' globale 86
Fig. 10-10- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase precarica cassone A14 – Capacita' portante e stabilita' globale 87
Fig. 10-11- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con onda – Cassone A14 – Capacita' portante e stabilita' globale 89
Fig. 10-12- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con sisma – Cassone A14– Capacita' portante e stabilita' globale 90
Fig. 11-1- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Modello Plaxis – Cassone H2 e H10 96

Fig. 11-2- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Spostamenti di costruzione cassone H2 e H10 98
Fig. 11-3- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Spostamenti orizzontali – Cassone H2 99
Fig. 11-4- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase posa cassone H2– Capacita' portante e stabilita' globale 102
Fig. 11-5- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase precarica cassone H2– Capacita' portante e stabilita' globale 103
Fig. 11-6- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con onda – Cassone H2 – Capacita' portante e stabilita' globale 105
Fig. 11-7- Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Fase esercizio con sisma – Cassone H2– Capacita' portante e stabilita' globale 106

ELENCO TABELLE

Tab. 3-1 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi precariche 15
Tab. 3-2 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi cedimenti cassoni della banchina rinfuse 17
Tab. 3-3 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi cedimenti cassoni della banchina container 17
Tab. 3-4 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi cedimenti cassoni della banchina petroli 18
Tab. 3-5 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi analisi di stabilita' – Cassoni tipo B1 e E1 18
Tab. 3-6 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi analisi di stabilita' – Cassoni tipo A4 – A14 19
Tab. 3-7 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi analisi di stabilita' – Cassone tipo H2 19
Tab. 5-1 - Vado Ligure – Nuova Piastra multifunzionale - Coefficienti di sicurezza parziale lato parametri del terreno 22
Tab. 5-2 - Vado Ligure – Nuova Piastra multifunzionale – Coefficienti di sicurezza parziale lato azioni 23
Tab. 5-3 - Vado Ligure – Nuova Piastra multifunzionale – Coefficienti di sicurezza parziali lato resistenze- caso opere di sostegno 23
Tab. 7-1 - Vado Ligure – Piastra Multifunzionale- Stratigrafia media di progetto 26
Tab. 7-2 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Caratterizzazione Progetto Esecutivo 26
Tab. 7-3 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Caratterizzazione Materiali da costruzione Progetto Esecutivo 27
Tab. 9-1 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Cassoni Banchina rinfuse – analisi dei carichi 39
Tab. 9-2 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi cedimenti banchina rinfuse 46
Tab. 9-3 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi analisi di stabilita' – Cassoni tipo B1 e E1 66
Tab. 10-1 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Cassoni banchina container 22x32 m 68
Tab. 10-2 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi cedimenti banchina container 73
Tab. 10-3 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Cassone tipo A4 – A14 91
Tab. 11-1 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Cassoni banchina petroli 17.45 x 32 m 93

Tab. 11-2 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi cedimenti banchina petroli 97
Tab. 11-3 – Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Cassone tipo H2 107
Tab. 12-1 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi cedimenti di esercizio dei cassoni della banchina rinfuse 108
Tab. 12-2 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi cedimenti di esercizio dei cassoni della banchina container 111
Tab. 12-3 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Sintesi cedimenti di esercizio dei cassoni della banchina petroli 114
Tab. 12-4 Vado Ligure – Nuova Piastra Multifunzionale – Cedimenti Differenziali - Sintesi 116

ELENCO SIMBOLI

γ (kN/m³)	=	peso di volume totale
$\bar{\gamma}$	=	peso di volume sommerso
w_n (%)	=	contenuto naturale d'acqua
LL (%)	=	limite liquido
LP (%)	=	limite plastico
IP (%)	=	indice di plasticità
CF (%)	=	frazione argillosa = % in peso ≤ 2 μm
A (-)	=	indice di attività = IP/CF
IC (-)	=	indice di consistenza = $(LL-w_n)/IP$
G_s (-)	=	peso specifico dei grani
n (%)	=	porosità
e_o (-)	=	indice dei vuoti in sito
DR (%)	=	densità relativa
σ_v (MPa)	=	pressione verticale totale
σ'_v(MPa)	=	pressione verticale efficace
u (MPa)	=	pressione neutra
σ_{vo} (MPa)	=	pressione verticale totale in sito
σ'_{vo} (MPa)	=	pressione verticale efficace in sito
u_o (MPa)	=	pressione neutra riferita al livello del mare
Δu (MPa)	=	sovrappressione neutra
$\sigma'_{v\,max}$ (MPa)	=	pressione di preconsolidazione
c_u (kPa)	=	resistenza al taglio non drenata non consolidata
c' (kPa)	=	coesione, in sforzi efficaci
ϕ' (°)	=	angolo di attrito, in sforzi efficaci
ϕ'_{cv} (°)	=	angolo di attrito critico a volume costante
E_{01} (MPa)	=	modulo di elasticità a 0,1% deformazione verticale
E (MPa)	=	modulo di deformazione ≅ E_{01}
E_{max} (MPa)	=	modulo di deformazione iniziale (deformazione 1E-6%)
E_m (MPa)	=	modulo pressiometrico
E_R (MPa)	=	modulo di ricompressione
G (MPa)	=	modulo di taglio
G_{max} (MPa)	=	modulo di taglio iniziale (deformazione 1E-6)
CR (-)	=	rapporto di compressione edometrica

RR (-)	=	rapporto di ricompressione edometrica
Cα (-)	=	coefficiente di consolidazione secondaria di compressione vergine
Cαr (-)	=	coefficiente di consolidazione secondaria di ricompressione
M_c (MPa)	=	modulo edometrico di compressione vergine
M_r (MPa)	=	modulo edometrico di ricompressione
ν (-)	=	coefficiente di Poisson
pa (MPa)	=	pressione atmosferica
g (m/s²)	=	accelerazione di gravità
V_s (m/s)	=	velocità delle onde di taglio
V_p (m/s)	=	velocità delle onde longitudinali
K_o (-)	=	coefficiente di spinta a riposo
OCR (-)	=	grado di sovraconsolidazione
T_r(anni)	=	periodo di ritorno
T (sec)	=	periodo
a_g (g)	=	accelerazione orizzontale
Sa (g)	=	accelerazione orizzontale spettrale

1. INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda le verifiche geotecniche delle opere che costituiscono l'area a mare della nuova Piastra Multifunzionale del Porto di Vado Ligure, Fig. 1-1. In particolare ci si riferisce alla perizia di variante della progettazione esecutiva di fase 2.
La fase 2 comprende il completamento della Piastra nella sua parte più a mare, proseguendo pertanto il riempimento a terra e la conterminazione a cassoni sui lati. Pertanto le opere principali nell'area sono:

- Realizzazione dell'area a mare della piattaforma con riempimento in terra;
- Conterminazione dell'area di riempimento con cassoni reggispinta H1÷H11 lungo la banchina Petroli;
- Conterminazione dell'area di riempimento con cassoni reggispinta A1÷H1 lungo la banchina Rinfuse;
- Conterminazione dell'area di riempimento con cassoni reggispinta A1÷A15 lungo la banchina Container.

Il presente rapporto si occupa di analizzare e definire la storia costruttiva delle singole opere al fine di garantire le condizioni di stabilità delle opere stesse e di definire i cedimenti attesi non solo durante le varie fasi costruttive, ma anche e soprattutto durante l'intera vita utile dell'opera nelle condizioni di esercizio.
In particolare le gru che opereranno sui cassoni della banchina container, nonché sull'intera area del terrapieno, hanno tolleranze di esercizio piuttosto ristrette che hanno reso necessario prevedere un intervento di miglioramento delle caratteristiche di deformabilità dei terreni di fondazione mediante precariche.
La precarica dei cassoni, così come dell'area rilevato, consente la preconsolidazione del terreno di fondazione nei confronti dei futuri carichi di esercizio.
La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione è quella riportata nella relazione geotecnica, MI0102-PV-GGR-002-00, cui si rimanda per ogni dettaglio.
A conclusione della relazione viene fornita la previsione dei cedimenti differenziali sui cassoni e sul terrapieno, nonché un piano di monitoraggio da realizzare durante le fasi di realizzazione delle opere.

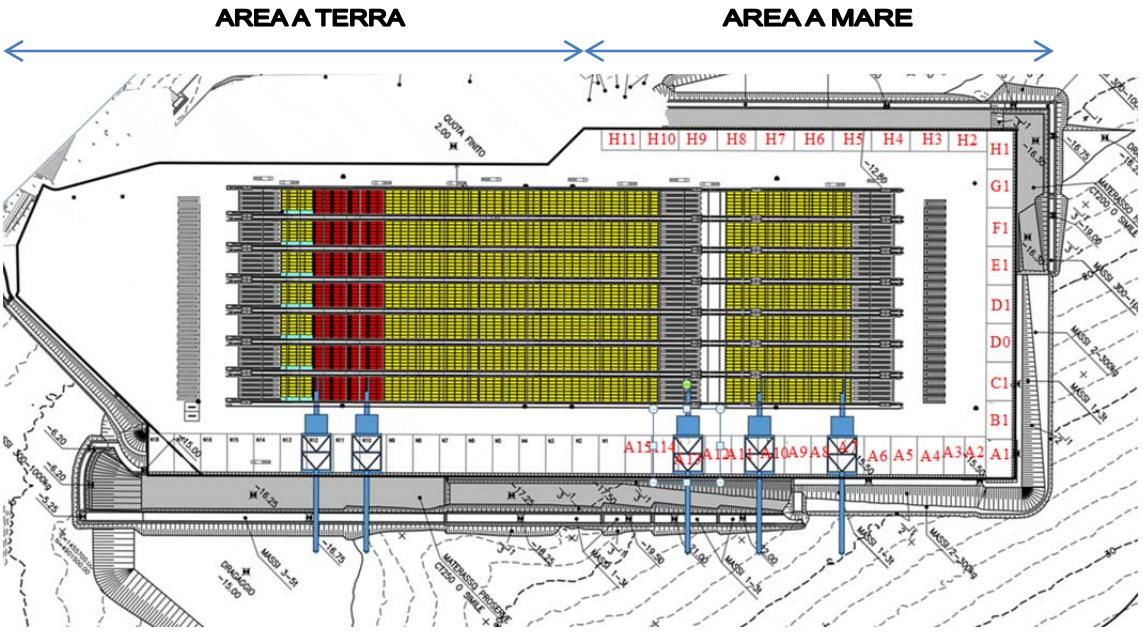


FIG. 1-1 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE - PLANIMETRIA GENERALE

2. OGGETTO E SCOPO

Oggetto del presente rapporto sono le verifiche di stabilità ed il calcolo dei cedimenti per le opere che costituiscono la perizia di variante di fase 2 del progetto esecutivo della piattaforma.

Scopo è individuare tanto i fattori di sicurezza cui sono soggette le opere in fase temporanea e in esercizio, quanto i cedimenti assoluti e differenziali che le opere stesse subiranno in relazione alle fasi costruttive ed al cronogramma lavori implementato nelle analisi di calcolo.

3. CONCLUSIONI

In questo rapporto sono state analizzate le verifiche geotecniche durante le fasi costruttive e di esercizio delle opere che costituiscono la perizia di variante della fase 2 del Progetto Esecutivo della Nuova Piastra Multifunzionale di Vado Ligure.
L'analisi è stata finalizzata alla valutazione dei fattori di sicurezza e dei cedimenti che le opere subiscono tanto durante la costruzione quanto, poi, durante l'esercizio. Le analisi hanno quindi permesso di definire le fasi costruttive più idonee al fine di garantire la stabilità delle opere con i fattori di sicurezza richiesti dalla normativa.
Al fine di limitare gli spostamenti in esercizio tanto sui cassoni quanto sul rilevato vengono eseguite delle precariche.
In particolare è stato previsto di effettuare le seguenti precariche:

TAB. 3-1 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI PRECARICHE

RILEVATO AREA CENTRALE		115 kPa (6 m di terra)
BANCHINA CONTAINER	RILEVATO A TERGO	80 kPa
	CASSONI	125 kPa
BANCHINA RINFUSE	RILEVATO A TERGO	80 kPa
	CASSONI	100 kPa
BANCHINA PETROLI	RILEVATO A TERGO	60 kPa
	CASSONI	80 kPa

Al fine di ottimizzare gli effetti della precarica, ciascun cassone andrà precaricato in contemporanea al rilevato a tergo ed ai cassoni adiacenti (ossia si precaricano 3 cassoni alla volta).
Le analisi svolte hanno messo in evidenza la necessità di limitare il più possibile le sovrappressioni durante le fasi di costruzione, al fine di garantire la stabilità.
Sarà pertanto necessario evitare di zavorrare il cassone tutto in una volta, ma in due fasi, così da permettere in parte la dissipazione delle sovrappressioni in fondazione. In una prima fase quindi si avrà l'affondamento con un primo zavorramento fino a 100 kPa,

dopo un'attesa di 5 giorni si potrà proseguire al completamento dello zavorramento, che però dovrà essere effettuato in circa 1 mese, al fine di limitare lo sviluppo di eccessive sovrappressioni nel terreno di fondazione.

Tra la posa/zavorramento cassone e la successiva fase di precarica sarà poi necessario lasciare trascorrere almeno 2 mesi, al fine di permettere la totale dissipazione delle sovrappressioni in fondazione. Durante tale tempo si potrà proseguire con la posa e zavorramento dei restanti cassoni costituenti l'allineamento.

La precarica dovrà essere effettuata contemporaneamente sul cassone, sul rilevato e sui cassoni adiacenti, così da comprendere l'indotto dell'uno sull'altro. Tale precarica andrà poi applicata in un mese, al fine di limitare il più possibile le sovrappressioni in fondazione.

Inoltre durante le fasi di posa, riempimento e precarica sarà importante anticipare la posa dello scanno e delle protezioni finali lato mare, così da avere una berma di 10 m dal filo esterno del cassone per i cassoni da A1 a D1 lungo la banchina Rinfuse e da A1 a A8 lungo la banchina Container. Questo consentirà di garantire la stabilità di tali cassoni anche durante le fasi temporanee più critiche per questi cassoni che sono quelli senza dragaggi e su fondali maggiori.

I restanti cassoni risultano invece meno critici poiché presentano un significativo dragaggio al di sotto e hanno quote di imbasamento inferiori, come nel caso della banchina petroli. Anche il loro scarico in fondazione risulta minore.

Si fa presente che per i cassoni della banchina petroli, sarà invece opportuno che il bonifico nell'area interna alla piattaforma sia già messo in opera prima della loro posa, così da garantirne la stabilità.

Per quanto riguarda invece il rilevato centrale, la precarica sarà realizzata utilizzando lo stesso materiale da costruzione per realizzare un rilevato di precarica durante la costruzione stessa. La durata della precarica dovrà essere di 20 giorni dalla fine della sua costruzione, al fine di precaricare i terreni di fondazione.

La precarica del rilevato e dei cassoni avverrà sempre dalla quota +2.50 m.

Tramite la precarica pertanto i cedimenti di esercizio saranno opportunamente limitati così come i cedimenti differenziali.

Si riporta nelle seguenti Tab. 3-2, Tab. 3-3 e Tab. 3-4 una sintesi dei cedimenti di costruzione e di esercizio calcolati.

Per quanto riguarda le analisi di stabilità globale e di capacità portante, queste sono state svolte secondo le combinazioni previste da normativa ed i coefficienti di sicurezza ottenuti risultano superiori a quanto richiesto sia in fase di esercizio che di costruzione. Una sintesi dei coefficienti di sicurezza ottenuti è riportata nelle seguenti Tab. 3-5, Tab. 3-6, Tab. 3-7. Per quanto riguarda il rilevato, le analisi hanno indicato un cedimento di esercizio pari a 13 cm nell'area centrale che si riduce a 4-5 cm nelle aree periferiche. Questo corrisponde quindi ad una distorsione piuttosto ridotta, pari cioè a circa 0.5‰. Il differenziale tra rilevato e cassoni risulta invece piuttosto ridotto e praticamente trascurabile. Si può quindi concludere che grazie ad una adeguata fasistica ed alla precarica, la stabilità risulta sempre garantita ed i cedimenti risultano compatibili con la funzionalità dell'opera.

TAB. 3-2 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI CEDIMENTI CASSONI DELLA BANCHINA RINFUSE

CONFIGURAZIONE DEI CARICHI	CASSONE B1-C1 cm	CASSONE A1 cm	CASSONE D0-E1 cm	CASSONE F1-H1 cm
Costruzione	u_y = 153	u_y = 140	u_y = 160	u_y = 113
Esercizio_assoluto	u_{y_terra} = 3 u_{y_mare} = 5 u_x = 3.2	u_{y_terra} = 1.2 u_{y_mare} = 3.8 u_x = 4.1	u_{y_terra} = 1.70 u_{y_mare} = 3.2 u_x = 2.1	u_{y_terra} = 1.8 u_{y_mare} = 2.7 u_x = 2.5
Esercizio_Differenziale	Δu_{y_terra} = 0.9 Δu_{y_mare} = 1.67 Δu_x = 1.14	Δu_{y_terra} = 0.34 Δu_{y_mare} = 1.27 Δu_x = 1.41	Δu_{y_terra} = 0.47 Δu_{y_mare} = 0.96 Δu_x = 0.75	Δu_{y_terra} = 0.5 Δu_{y_mare} = 0.89 Δu_x = 0.81

TAB. 3-3 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI CEDIMENTI CASSONI DELLA BANCHINA CONTAINER

CONFIGURAZIONE DEI CARICHI	CASSONE A2-A10 cm	CASSONE A11-A15 cm
Costruzione	u_y = 140	u_y = 120
Esercizio_assoluto	u_{y_terra} = 2.3 u_{y_mare} = 4 u_x = 2	u_{y_terra} = 3.2 u_{y_mare} = 5.4 u_x = 2

Esercizio_Differenziale	Δu_{y_terra} = 0.64 Δu_{y_mare} = 1.28 Δu_x = 0.7	Δu_{y_terra} = 0.89 Δu_{y_mare} = 1.72 Δu_x = 0.69

TAB. 3-4 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI CEDIMENTI CASSONI DELLA BANCHINA PETROLI

CONFIGURAZIONE DEI CARICHI	CASSONE H2-H8 cm	CASSONE H9-H11 cm
Costruzione	u_y = 130	u_y = 110
Esercizio_assoluto	u_{y_terra} = 1.6 u_{y_mare} = 1.4 u_x = -	u_{y_terra} = 2 u_{y_mare} = 1.3 u_x = -
Esercizio_Differenziale	Δu_{y_terra} = 0.44 Δu_{y_mare} = 0.39 Δu_x = -	Δu_{y_terra} = 0.56 Δu_{y_mare} = 0.36 Δu_x = -

TAB. 3-5 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI ANALISI DI STABILITA' – CASSONI TIPO B1 E E1

	POSA CASSONE	PRECARICA	ESERCIZIO	SISMA
B1- Capacità portante	1.52	1.57	1.63	1.64
B1 - Stabilità globale	1.27	1.23	1.25	1.46
E1- Capacità portante	1.74	1.81	1.88	1.91
E1 - Stabilità globale	1.29	1.33	1.34	1.56

TAB. 3-6 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI ANALISI DI STABILITA' – CASSONI TIPO A4 – A14

	POSA CASSONE	PRECARICA	ESERCIZIO	SISMA
A4 - Capacità portante	1.83	1.73	1.83	1.83
A4 - Stabilità globale	1.23	1.32	1.42	1.62
A14 - Capacità portante	2.22	2.07	2.08	2.01
A14 - Stabilità globale	1.50	1.56	1.64	1.79

TAB. 3-7 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI ANALISI DI STABILITA' – CASSONE TIPO H2

	POSA CASSONE	PRECARICA	ESERCIZIO	SISMA
Capacità portante	1.93	1.86	1.91	1.95
Stabilità globale	1.32	1.34	1.35	1.59

4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Sono di seguito presentati i documenti di riferimento e le fonti da cui sono state attinte informazioni:

[1] Nuova Piastra Multifunzionale – Progetto Esecutivo Fase 1 – Technital
[2] Nuova Piastra Multifunzionale – Progetto Esecutivo Fase 2 – Technital
[3] Norme Tecniche per le costruzioni di cui al DM 14/01/2008
[4] Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Tecniche per le costruzioni di cui al DM 14/01/2008, Circolare del 2/2/2009

5. VERIFICHE NORMATIVE

Le verifiche sono state condotte con riferimento al DM 14 gennaio 2008, utilizzando pertanto il metodo semiprobabilistico agli stati limite, applicando direttamente ai valori caratteristici di azioni e resistenze dei coefficienti di sicurezza parziali, così da ottenerne i corrispondenti valori di progetto. Pertanto le verifiche di sicurezza sono soddisfatte se le resistenze di progetto sono maggiori dell'azione di progetto:

$$R_d \geq F_d$$

Sono quindi state svolte verifiche allo stato limite di esercizio (SLE) e stato limite ultimo (SLU) sia in condizioni statiche che sismiche.

Allo stato limite ultimo sono state eseguite le seguenti verifiche:

- Rilevato: Stabilità globale
- Cassoni: Stabilità globale, capacità portante

Tali analisi sono state valutate sia in fase costruttiva che in esercizio, considerando in quest'ultimo caso anche la presenza del sisma con tempo di ritorno 475 anni.

Si sono quindi valutati i cedimenti relativi allo stato limite di esercizio, sia durante le fasi costruttive che in quelle di esercizio.

Le verifiche sono state condotte considerando i cassoni più critici delle varie tipologie.

Per quanto concerne le verifiche di corpo rigido, scorrimento e ribaltamento, si rimanda alla relazione strutturale dei cassoni.

5.1. Combinazione delle azioni

I valori di progetto delle azioni si sono determinati combinandoli nei seguenti modi:

- Combinazione fondamentale SLU

$$F_d = \sum_{j\geq 1} \gamma_{Gj} G_{Kj} + \gamma_{Q1} Q_{K1} + \sum_{i\geq 2} \gamma_{Qi} \psi_{0i} Q_{Ki}$$

- Combinazione sismica SLU

$$F_d = \sum_{j\geq 1} G_{Kj} + E + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} Q_{Ki}$$

- Combinazione rara SLE

$$F_d = \sum_{j\geq 1} G_{Kj} + Q_{k1} + \sum_{i\geq 2} \psi_{0i} Q_{Ki}$$

La tabella seguente riporta i coefficienti di combinazione ψ utilizzati.

	Ψ_{0i}	Ψ_{1i}	Ψ_{2i}
Sovraccarico	1.0	0.9	0.8
Tiro bitta	0.6	0.2	0
Onde	0.6	0.2	0
Gru	0.7	0.7	0.6

5.2. Coefficienti di sicurezza parziali

Le verifiche che sono state condotte fanno riferimento alle seguenti combinazioni.

VERIFICHE	Combinazione
Capacità portante	A1+M1+R3 (Approccio 2)
Stabilità globale	A2+M2+R2

Nella Tab. 5-1 che segue si riportano i coefficienti parziali lato resistenze del terreno, in accordo con la tab.6.2.II delle NTC2008.

TAB. 5-1 - VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE - COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALE LATO PARAMETRI DEL TERRENO

Parametri	Grandezza	Coefficiente	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\varphi'_k$	γ_ϕ	1.0	1.25
Coesione efficace	C'	γ_c	1.0	1.25
Resistenza al taglio non drenata	Cu	γ_{Cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1.0	1.0

In Tab. 5-2 si riportano i coefficienti parziali lato azioni, in accordo con la tab.6.2.I delle NTC2008.

TAB. 5-2 - VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALE LATO AZIONI

Carichi	Effetto	Coefficiente	STR A1	GEO A2
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3

Lato resistenze i coefficienti di sicurezza sono quelli riportati in Tab. 5-3, in accordo con la tab.6.5.I delle NTC2008 nel caso delle opere di sostegno.

TAB. 5-3 - VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI LATO RESISTENZE- CASO OPERE DI SOSTEGNO

Verifica	**Coefficiente Parziale R1**
	γ_R
Capacità portante R3	1.4
Stabilità globale R2	1.1

Si sottolinea che il carico di precarica è stato considerato alla stregua di un carico permanente in quanto la sua entità è ben definita e non soggetta ad aleatorietà.
Per quanto riguarda le verifiche sismiche, in accordo con le NTC08, sia le verifiche di stabilità e di capacità portante saranno condotte con i parametri M1.
I cedimenti sono invece calcolati secondo le combinazioni di stato limite di esercizio, applicando quindi i coefficienti di combinazione ψ, ma senza applicare i coefficienti parziali lato azioni e resistenze.

6. AZIONE SISMICA CONSIDERATA

In accordo con quanto indicato nella normativa NTC 2008 il tempo di ritorno dell'azione sismica considerato nelle analisi è relativo allo stato limite di salvaguardia, ovvero tempo di ritorno di 475 anni con $a_{g,max}$ = 0.15 g.

Il valore di $a_{g,max}$ deriva dallo studio di amplificazione sismica locale appositamente effettuato nell'area di progetto. Per i dettagli sulla determinazione dell'azione sismica, nonché per le verifiche a liquefazione delle opere in oggetto si rimanda all'elaborato MI0102-PV-G-G-R-008-00.

Nella definizione dei coefficienti sismici orizzontale, K_h, e verticale, K_v si è considerato un valore di β per i cassoni reggispinta pari a 0.24.

7. STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE E DEI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Le informazioni di dettaglio a riguardo della caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione sono contenuti nel rapporto geotecnico MI0102-PV-G-G-R-002-00 e nel seguito si fornisce solamente una sintesi delle informazioni utili per le analisi svolte nei capitoli che seguono. La caratterizzazione dei terreni di fondazione ha potuto usufruire di un notevole numero di indagini, eseguite sia nell'ambito del progetto della Piastra Multifunzionale, che nell'ambito della costruzione in tempi passati di opere ad essa adiacenti.

Tutte le indagini, sia le prove in sito che quelle di laboratorio, hanno evidenziato, a partire dal fondale, la presenza di una serie di strati a granulometria man mano crescente con la profondità, al di sotto dei quali è presente uno strato di argilla pliocenica compatta, seguita infine dalla roccia di base.

In particolare in superficie si ritrovano mediamente 9 m di materiale costituito per la maggior parte da limo di scarsa consistenza, che è stato suddiviso in due strati, L1 ed L2. Il primo, di spessore circa 4 m, è risultato sovraconsolidato ad opera dell'azione ciclica delle onde. Tale sovraconsolidazione scompare nel successivo L2. Tale strato di limo superficiale risulta fondamentale per la stabilità ed i cedimenti dell'opera.

Segue quindi uno strato a prevalenza sabbiosa con limo, denominato SL, che mostra una maggiore consistenza, intercalato talvolta da lenti più limose. Infine si ritrova uno strato di ghiaia sabbiosa che si poggia sull'argilla di base, a maggiore resistenza e consistenza.

I due strati limosi, L1 ed L2, non sono presenti verso la costa, ma compaiono gradatamente per poi assestarsi ad uno spessore circa costante. Gli strati di sabbia SL e ghiaia G invece mostrano una certa variabilità di spessore lungo le varie sezioni della Piastra, così come l'argilla di base. Quest'ultima infatti risulta più superficiale nella parte centrale della Piastra, per poi approfondirsi tutt'attorno.

La successione stratigrafica media per i terreni di fondazione è indicata nella Tab. 7-1.

TAB. 7-1 - VADO LIGURE – PIASTRA MULTIFUNZIONALE- STRATIGRAFIA MEDIA DI PROGETTO

STRATIGRAFIA MEDIA DI PROGETTO

Spessore medio (m)	Strato	Note
4.0	L1	Limo sabbioso con spessore variabile tra 3 e 6 m.
4.0	L2	Limo con spessore medio abbastanza costante su tutta l'area.
5.0	SL	Strati alternati di spessore variabile di sabbie più o meno limose. A luoghi lo strato può contenere sottolivelli di limo sabbioso. Lato costa e per fondali più profondi di -15 m l.m.m. lo spessore si incrementa mediamente a 16 m.
15.0	S	Sabbia pulita presente soltanto lungo la costa a profondità superiori ai 15 m.
4.0	G	Ghiaia con sabbia e poco limo con spessore variabile tra 2 e 8 m, che incrementa notevolmente trasversalmente verso sud fino a spessori medi di 20 m.
Indefinito	A	Argilla compatta pliocenica. E' assente a ridosso della costa.

Dal punto di vista della caratterizzazione meccanica dei terreni di fondazione si assume quanto segue:

TAB. 7-2 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – CARATTERIZZAZIONE PROGETTO ESECUTIVO

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Livello	γ	IP	G_s	OCR	e_0	K	c_v	C_u	c'	φ'	E (*) (MPa)		G_{max}	α_{Eu} (**)	CR RR	C_a	ν	k_0
	(kN/m³)	(-)	(-)	(-)	(-)	(m/s)	(m²/s)	(kPa)	(kPa)	(°)	m	n	(MPa)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
L1	16	10	2.73	5	1.35	3E-8	5E-6	(***)	0	33	1.5	0.75	15	14	0.135 0.0096	3E-3	0.35	0.50
L2	17	10	2.73	1	1.28	3E-8	7E-6	(***)	0	32	1.5	0.75	40	13	0.135 0.0096	3E-3	0.35	0.50
SL/S	18	-	2.72	1	1.20	1E-7	-	-	0	32	15	0.6	70	9	-	-	0.30	0.50
G	19	-	2.72	1	-	1E-5	-	-	0	40	30	0.6	120	8	-	-	0.30	0.50
A	18.5	20	2.75	≥ 3	1.00	1E-9	3E-6	200	200	27	-		150	-	0.27 0.025	1E-3	0.25	1.50

(*) Per SL e G il modulo E varia con lo stato tensionale tramite la formula seguente:

$E = m(\sigma'_v/p_a)^n$ dove p_a = pressione atmosferica,

σ'_v = sforzo verticale agente $= \sigma'_{v0}$ allo stato naturale

$= \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v$ in presenza delle opere

Per L1, L2 e A le caratteristiche di deformabilità sono ricavabili da CR ed RR, adeguandoli al valore della tensione efficace agente.

(**) E_u si ottiene da E attraverso il fattore α_{Eu} quindi: $E_u = \alpha_{Eu} \times E$

(***) Per individuare il valore di Cu per L1 ed L2 si può utilizzare la seguente relazione:

$Cu = 0.46 \cdot OCR^{0.7} \sigma'_v$

Per la costruzione della piastra multifunzionale sono previste quattro tipologie di materiali da costruzione di natura granulare denominati nel seguito come: Bonifico, Scanno, Tout-venant e Rinfianco con le seguenti funzioni:

Bonifico: costituisce lo strato di ripartizione granulometrica dal terreno di fondazione e lo scanno/tout-venant superiori. La sua caratteristica è di avere una curva granulometrica continua composta da sabbia e ghiaia. Sono presenti le 3 frazioni di sabbia fine, media e grossa. La percentuale di ghiaia deve essere tra il 40% ed il 60%. La percentuale fine, ovvero il passante a 0.1 mm, non deve superare il 5%. Il complemento a queste frazioni è costituito da sabbia.

Scanno: rappresenta lo strato di appoggio dei cassoni. E' costituito da pietrame avente granulometria 2-300 kg.

Tout-venant: è un materiale granulare composto da sabbia, ghiaia e ciottoli variamente assortiti, preferibile se ha una curva granulometrica continua, utilizzato come riempimento dell'area rilevato. La percentuale di fine tollerata, passanti al 0.1 mm, può essere fino al 20%.

Rinfianco: è un materiale grossolano utilizzato per il riempimento a tergo dei cassoni reggispinta. Per le sue caratteristiche meccaniche si posso assumere le stesse del tout-venant.

Nella Tab. 7-3 viene riportata la caratterizzazione geotecnica dei suddetti materiali da costruzione considerata nelle analisi.

TAB. 7-3 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – CARATTERIZZAZIONE MATERIALI DA COSTRUZIONE PROGETTO ESECUTIVO

Materiale	γ	G_s	OCR	K	c'	ϕ'	E (*) (MPa)		α_{Eur} (**)	ν	k_0
	(kN/m^3)	(-)	(-)	(m/s)	(kPa)	(°)	m	n	(-)	(-)	(-)
BONIFICO	18	2.72	1	5E-4	0	38	54	0.8	10	0.27	0.38
SCANNO	17	2.72	1	5E-4	0	45	30	0.8	10	0.20	0.30
TOUT - VENANT	19	2.72	1	5E-4	0	38	114	0.8	10	0.27	0.38

(*) E varia con lo stato tensionale tramite la formula seguente:

$E = m(\sigma'_v/p_a)^n$ dove p_a = pressione atmosferica,

σ'_v = sforzo verticale agente = σ'_{v0} allo stato naturale

= $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v$ in presenza delle opere

(**) E_R si ottiene da E attraverso il fattore α_{Eur} quindi: $E_{ur} = \alpha_{Eur} \times E$

8. RIEMPIMENTO

8.1. Generalità

Il rilevato viene realizzato utilizzando Tout-Venant fino a raggiungere una quota di +4.50 m l.m.m.

Al di sopra del fondale naturale prima di versare il tout-venant viene steso uno strato di transizione granulometrica detto Bonifico. Lo strato di transizione ha lo scopo da una parte di fungere da transizione granulometrica tra il limo e la frazione più grossolana del tout-venant e dall'altra di consolidare il terreno di fondazione per effetto del proprio peso incrementando le tensioni efficaci agenti e favorendo la successiva messa in opera del tout-venant.

Il fondale naturale nell'area a mare varia tra circa la -11 m l.m.m. e la -25 m l.m.m. nell'angolo Sud-Est della conterminazione.

8.2. Stratigrafia di riferimento sotto l'area a mare

Le sezioni stratigrafiche di riferimento sono, in direzione trasversale alla piastra, dalla T6 alla T10, mentre in direzione longitudinale dalla L2 alla L5 fino alla loro intersezione con la T6.

In direzione longitudinale, le sezioni da L1 ad L4, mostrano il fondale marino degradare dalla -13.00 m l.m.m. circa, fino alla -20 m l.m.m., fondale medio della banchina Rinfuse.

La potenza dello strato di limo (L1 ed L2) risulta sostanzialmente costante al di sotto dell'intera area e mediamente pari a 9-10 metri.

Al di sotto dei limi si trova lo strato di sabbia limosa SL anch'esso con potenza sostanzialmente costante e pari mediamente a 5 metri, che però tende ad incrementarsi verso mare, attestandosi su spessori di circa 7-8 m.

Decisamente più variabile risulta la potenza dello strato di ghiaia che si interpone tra la sabbia SL e l'argilla di base. Le sezioni mostrano uno spessore piuttosto ridotto, pari a circa 4 m, nella zona centrale della Piattaforma, tendendo ad incrementarsi verso mare e verso le banchine laterali, fino a spessori di 20 m, a causa dell'inabissamento del tetto dell'argilla di base.

8.3. Fasi costruttive considerate nelle analisi

Le analisi condotte hanno considerato le diverse fasi costruttive del riempimento in avanzamento e della sua precarica, verificando quindi la stabilità ed i cedimenti.

Infatti al fine di limitare i futuri cedimenti dell'area rilevato si ritiene necessario eseguire una precarica del rilevato stesso e al fine di minimizzare l'impatto di tale operazione con le fasi costruttive si è pensato di eseguire la precarica in avanzamento, man mano che il fronte di tout-venant di rilevato avanza, utilizzando il tout-venant stesso come materiale per la precarica.

Lo schema costruttivo implementato nelle analisi e riferito alla sezione in avanzamento è di seguito schematizzato nella Fig. 8-1. Si è considerato un fondale medio di circa -16 m l.m.m.

La precarica è stata calcolata considerando di eseguirla dalla +2.50 m l.m.m. considerando 2 metri di terra per arrivare alla quota finale di +4.50 m l.m.m. ed il sovraccarico dell'area containers di 75 KPa per un totale di:

$q = 2 \text{ m} \times 19 \text{ KN/m}^3 + 75 \text{ KPa} = 113 \text{ KPa}$

Considerando un peso di volume del materiale pari a 19 KN/m^3 si ottiene un'altezza del rilevato di precarica pari a:

$H = 113 \text{ KPa} / 19 \text{ KN/m}^3 = 5.94 \text{ m}$

Ovvero il rilevato di precarica deve raggiungere una quota pari alla +8.50 m l.m.m.

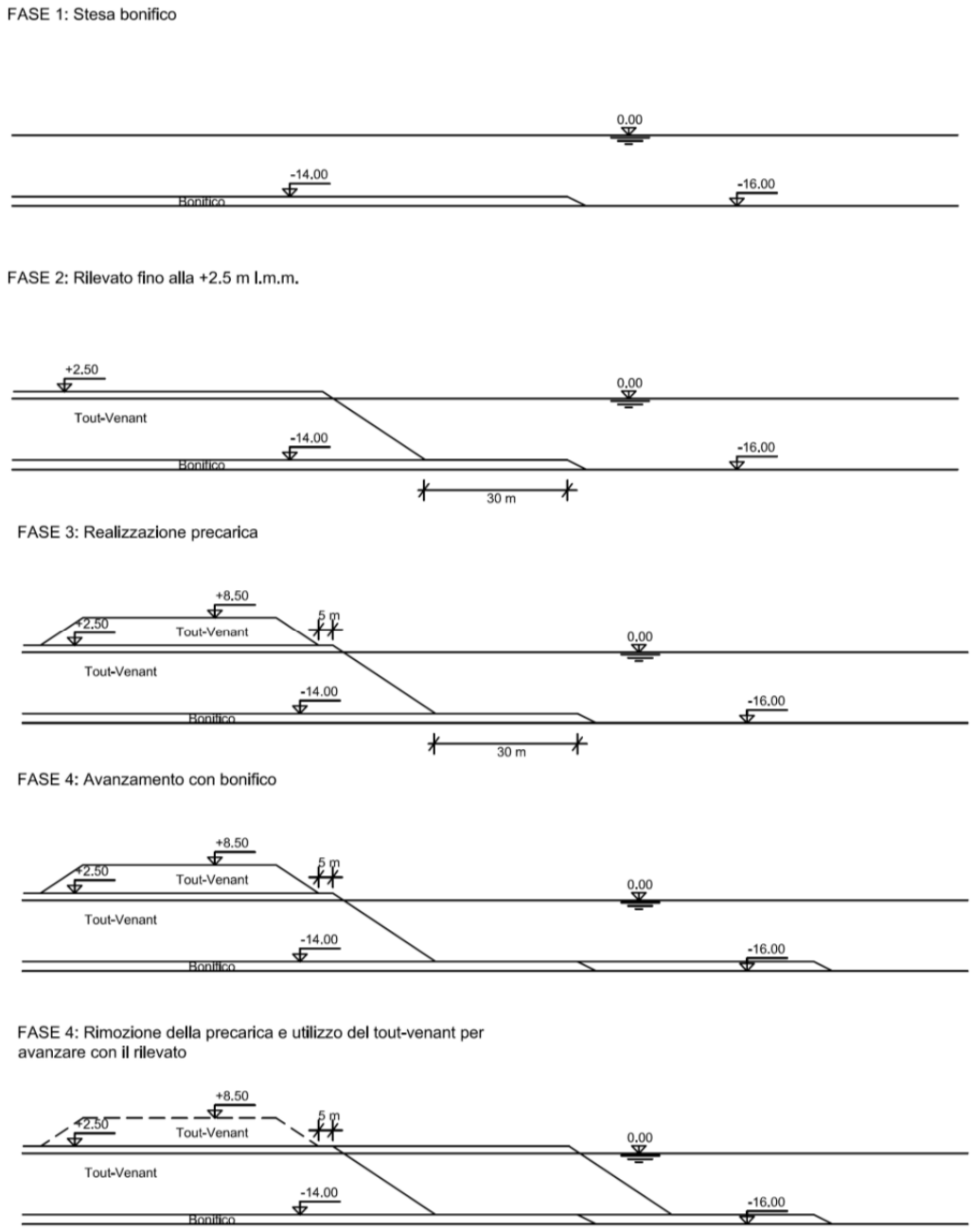


FIG. 8-1 VADO LIGURE - NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASI COSTRUTTIVE DEL RILEVATO CONSIDERATE NEL CALCOLO – SEZIONE IN AVANZAMENTO

La sezione trasversale considerata nei calcoli è invece quella della Fig. 8-2.

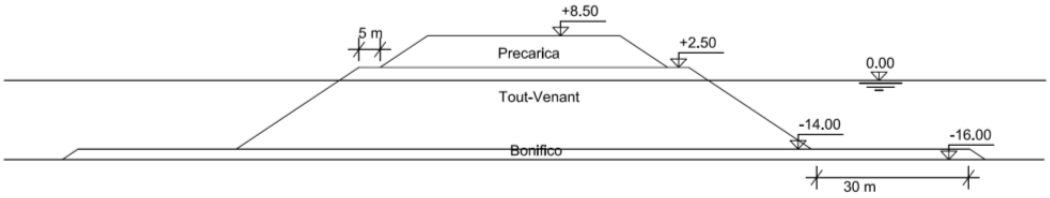


FIG. 8-2 VADO LIGURE - NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASI COSTRUTTIVE DEL RILEVATO CONSIDERATE NEL CALCOLO – SEZIONE TRASVERSALE TIPO

Le Fig. 8-3 e Fig. 8-4 seguenti mostrano i modelli Plaxis realizzati per le analisi.

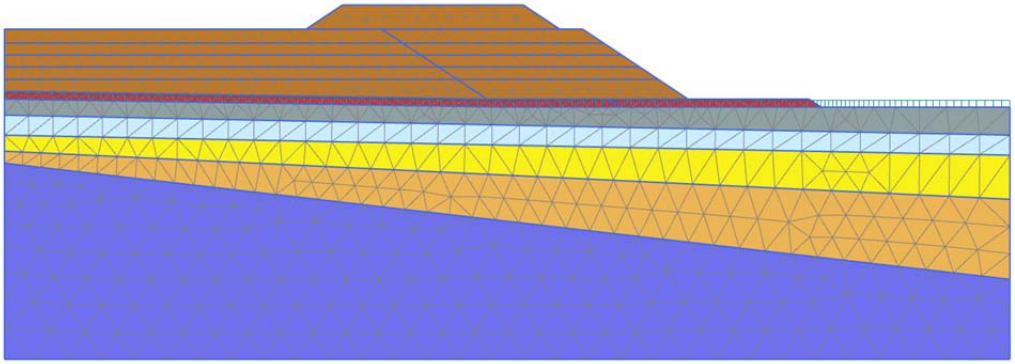


FIG. 8-3 VADO LIGURE - NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASI COSTRUTTIVE DEL RILEVATO – SEZIONE IN AVANZAMENTO IMPLEMENTATA NEL MODELLO FEM

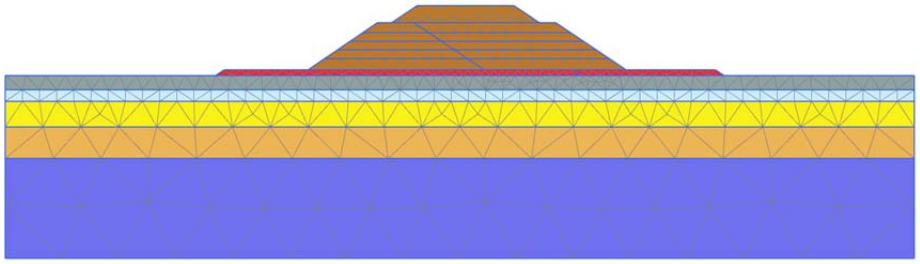


FIG. 8-4 VADO LIGURE - NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASI COSTRUTTIVE DEL RILEVATO– SEZIONE TRASVERSALE IMPLEMENTATA NEL MODELLO FEM

8.4. Verifiche di Stato Limite di Esercizio (SLE)

Le verifiche di stato limite di esercizio sono finalizzate alla valutazione dei cedimenti che il terreno di fondazione subisce durante le fasi costruttive del rilevato e conseguentemente alla valutazione dei volumi di materiale in più che sono necessari per raggiungere la quota finale di +2.50 m l.m.m. prevista.

Per i terreni naturali ed i materiali da costruzione si sono usati i parametri presentati al capitolo 7.

Un primo calcolo di riferimento viene fatto nella seguente ipotesi di fasi costruttive:

1. Stesa bonifico in 45 giorni;
2. Realizzazione del rilevato in tout-venant in 50 giorni;
3. Realizzazione del rilevato di precarica alla +8.5 in 15 giorni;
4. Attesa della totale consolidazione del terreno di fondazione.

In tale ipotesi si mostra in Fig. 8-5 l'andamento del cedimento sul fondale nel tempo, alle diverse fasi costruttive.

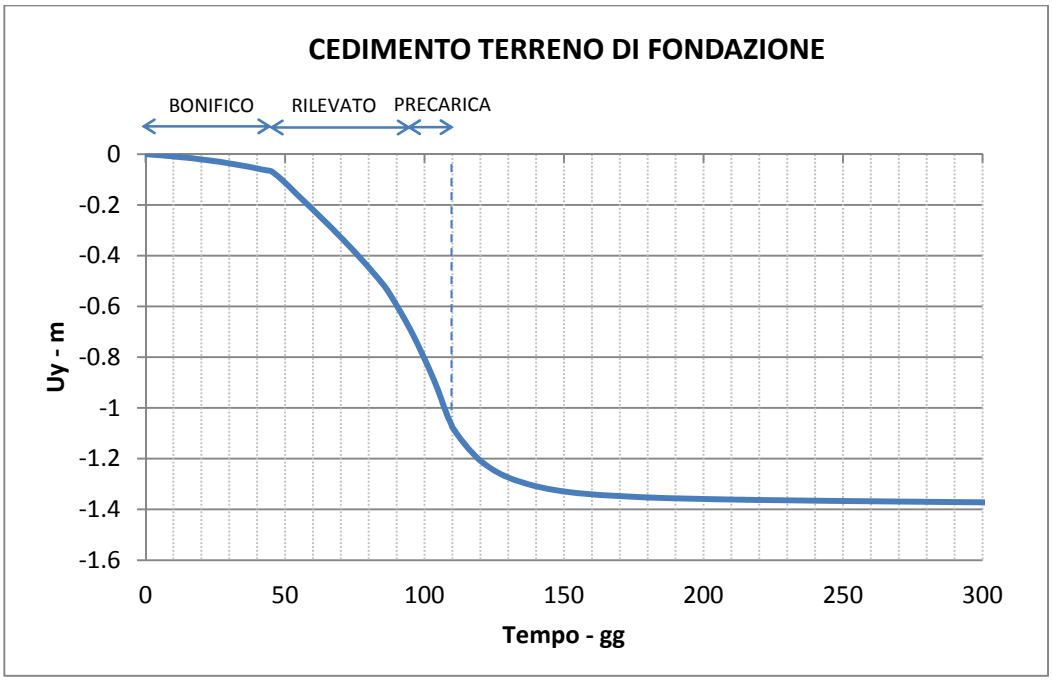


FIG. 8-5 VADO LIGURE - NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASI COSTRUTTIVE DEL RILEVATO – ANDAMENTO DEL CEDIMENTO NEL TEMPO NELL'IPOTESI DI TOTALE CONSOLIDAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Il cedimento complessivo che si raggiunge è pari a circa 1.4 metri. Tale cedimento si sviluppa in circa 150 giorni dall'inizio della costruzione o a circa 40 giorni dal termine di applicazione della precarica.

Tuttavia, tale curva di consolidazione comprende la completa consolidazione dell'argilla di base, che però è già sovraconsolidata e lo rimarrà sotto i futuri carichi di esercizio. Pertanto non è necessario attendere la sua completa consolidazione durante la precarica del rilevato, che invece è necessaria per gli strati superficiali. Se si diagrammano gli eccessi di pressione neutra nei vari livelli deposizionali si ottiene il diagramma di Fig. 8-6.

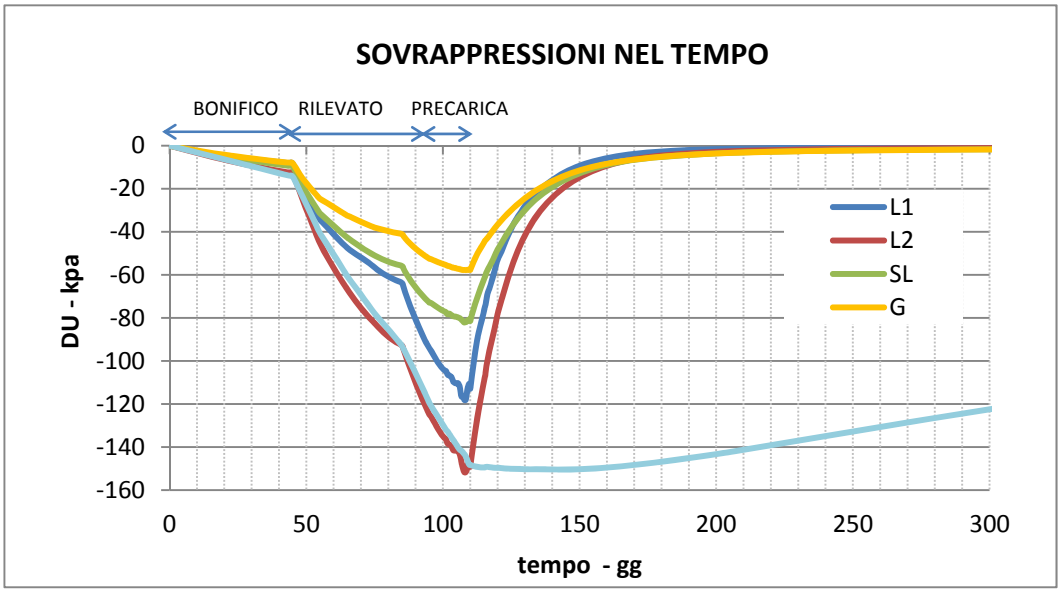


FIG. 8-6 VADO LIGURE - NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASI COSTRUTTIVE DEL RILEVATO – ANDAMENTO DELLE SOVRAPPRESSIONI NEL TEMPO NELL'IPOTESI DI TOTALE CONSOLIDAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Dai risultati dell'analisi si può osservare come il tempo di consolidazione dell'argilla di base sia nettamente più lungo degli altri strati, che invece a 150 giorni hanno completamente consolidato.

Tuttavia per ottenere la consolidazione di tali strati è necessario attendere almeno 40-50 giorni dall'applicazione della precarica. Un tempo di consolidazione di tale entità è probabilmente legato alle dimensioni che si sono considerate per il modu-

lo costruttivo del rilevato. Infatti è lecito pensare che se esso fosse più stretto i percorsi di drenaggio orizzontale potrebbero essere più efficaci nel ridurre i tempi di consolidazione e portarli a valori dell'ordine dei 20-30 giorni.
A titolo esemplificativo nei calcoli si considera di tenere la precarica per 20 giorni e poi di dismetterla.
Il diagramma di Fig. 8-7 mostra l'andamento della sovrappressione neutra nel livello L2 in tale ipotesi di calcolo.

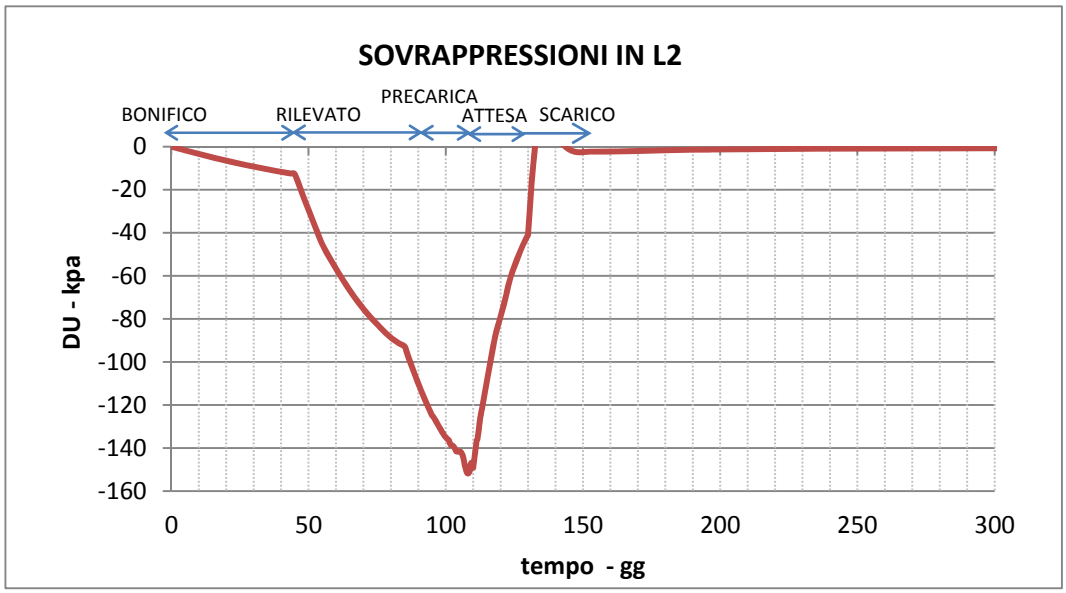


FIG. 8-7 VADO LIGURE - NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASI COSTRUTTIVE DEL RILEVATO – ANDAMENTO DELLE SOVRAPPRESSIONI NEL TEMPO IN L2 NELL'IPOTESI DI RIMUOVERE LA PRECARICA DOPO 20 GIORNI

Di fatto con la rimozione della precarica si ferma anche la consolidazione del terreno di fondazione, che però in buona parte si era già verificata, avendo infatti ridotto le sue sovrappressioni da 150 a 40 kpa.
La precarica, con un tempo di attesa di 20 giorni, sarà pertanto parziale, tuttavia sarà sufficiente a ridurre i cedimenti di esercizio.
Simulando quindi la precarica in 20 giorni e completando la costruzione si è valutato il cedimento di esercizio in presenza del sovraccarico di 75 kPa.

L'analisi indica un cedimento di esercizio di 13 cm. Tale cedimento risulta accettabile. Inoltre si sperimenterebbe soltanto durante il primo carico, mentre per i successivi sarebbe sempre in ricarico totale.
In termini di cedimento differenziale sulle gru o sulla pavimentazione c'è da considerare che i 13 cm di cedimento assoluto si distribuiscono su una lunghezza dell'area di carico pari a 260 m, con una distorsione quindi molto ridotta.
Per quanto concerne le aree caricate con 40 KPa il cedimento sarà a maggior ragione inferiore e quindi non comporterà problematiche per la funzionalità dell'opera.

8.5. Verifiche di Stato Limite Ultimo (SLU)

Le verifiche di stato limite ultimo sono chiaramente finalizzate alla verifica dei fattori di sicurezza, in termini di stabilità globale, del rilevato durante le varie fasi costruttive.
Le verifiche vengono condotte con la combinazione di coefficienti A2+M2+R2 i cui valori sono riassunti al capitolo 5.2.
In particolare rispetto quanto indicato al capitolo 5.2 si assume, per il solo carico di precarica, un coefficiente parziale unitario, ovvero viene considerato come carico permanente piuttosto che come carico variabile.
Le verifiche di stabilità vengono condotte nelle seguenti fasi:

1. Raggiungimento della quota +2.50 m l.m.m. con il rilevato;
2. Applicazione della precarica;

Applicando la riduzione dei valori caratteristici degli angoli di resistenza al taglio dei materiali di un fattore 1.25, applicato alla tangente dell'angolo, deve risultare un fattore di sicurezza globale superiore a 1.1 (pari al coefficiente R2).
Si sottolinea che dal modello Plaxis in avanzamento è stato possibile valutare l'entità delle sovrappressioni nelle due fasi analizzate e quindi definire i valori di ru da applicare nelle presenti analisi di stabilità.
I risultati delle analisi sono i seguenti:

1. FS = 1.15;
2. FS = 1.103;

Nelle seguenti Fig. 8-8 e Fig. 8-9 si riportano i risultati delle analisi in termini di superfici di scivolamento critiche.

Come è lecito aspettarsi la condizione più critica è quella in cui si mette in opera la precarica. Tuttavia in entrambi i casi le verifiche risultano soddisfatte.

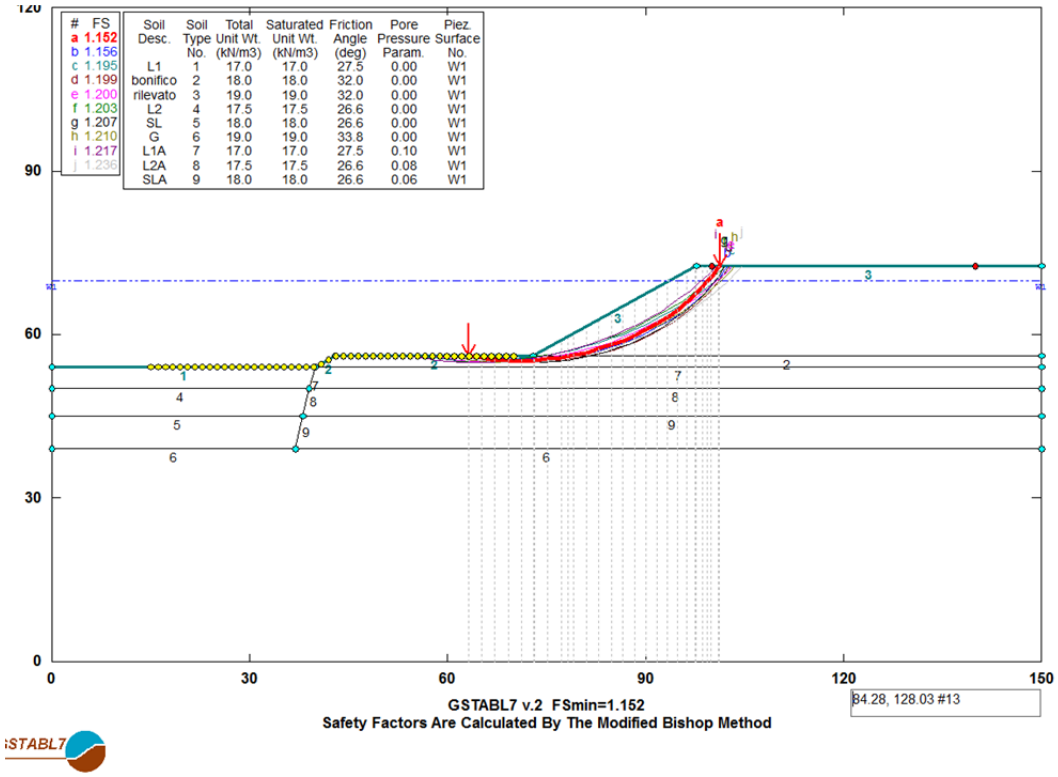


FIG. 8-8 VADO LIGURE - NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASI COSTRUTTIVE DEL RILEVATO – FATTORE DI SICUREZZA PER IL RILEVATO ALLA +2.50

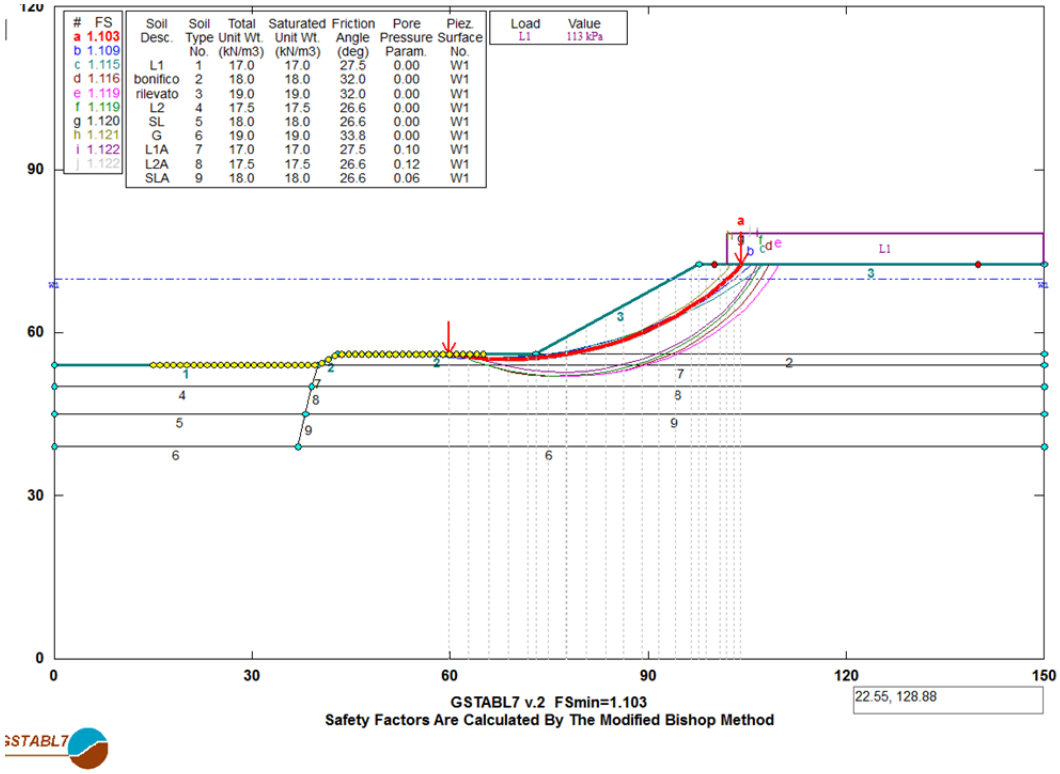


FIG. 8-9 VADO LIGURE - NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASI COSTRUTTIVE DEL RILEVATO – FATTORE DI SICUREZZA PER LA FASE DI PRECARICA A TEMPO ZERO

9. CASSONI REGGISPINTA BANCHINA RINFUSE

9.1. Generalità

Tutti i cassoni presenti lungo la banchina rinfuse saranno imbasati alla quota -16.5 m l.m.m. A tal fine pertanto sarà presente un dragaggio al disotto di quelli posti sui fondali minori. In particolare si avrà infatti un dragaggio alla -18.5 m l.m.m. al di sotto dei cassoni H1, G1 ed F1, che si approfondirà alla -19.5 m l.m.m. al di sotto dei cassoni E1 e D1. Per i restanti cassoni D0, C1, B1 ed A1 non è previsto invece alcun dragaggio.

Per i cassoni posti in corrispondenza del dragaggio alla -18.5 m l.m.m. è quindi prevista la posa di 1 m di strato di bonifico ed 1 m di scanno di imbasamento, raggiungendo così la quota prevista di -16.5 m l.m.m. per la posa dei cassoni.

Per i cassoni posti in corrispondenza del dragaggio alla -19.5 m l.m.m. invece si avrà la posa di 1 m di scanno ed il rimanente spessore sarà bonifico.

I cassoni posti nell'area in assenza di dragaggio vedono invece la posa di 2 m di bonifico ed il resto tutto scanno di imbasamento fino alla -16.5 m l.m.m.

A tergo dei cassoni è poi previsto il riempimento in terra. Soltanto il cassone A1 d'angolo, non è soggetto al riempimento, in quanto su entrambi i lati sono presenti i cassoni, quelli della banchina rinfuse da un lato e quelli della banchina container dall'altro.

Il cassone tipo H1 invece, all'estremità opposta, avrà una parte della parete interna soggetta al riempimento in terra, ed un tratto invece confinante con il cassone della banchina Petroli.

I cassoni hanno dimensioni in pianta 32 m x 22 m ed un'altezza di 19 m fino a raggiungere la quota +2.50 m l.m.m.

Al di sopra della +2.50 verrà eseguita la sovrastruttura e la pavimentazione che porterà il cassone alla quota finale di +4.50 m l.m.m.

Il dragaggio preliminare al di sotto dei cassoni è di fondamentale importanza dal punto di vista geotecnico per due motivi: (1) viene rimosso parte dello strato di limo tenero che maggiormente contribuisce ai cedimenti dei cassoni in esercizio e che maggiormente influenza la stabilità, (2) il terreno di fondazione al di sotto dei

cassoni viene preconsolidato lavorando in ricarico fino a tanto che il carico trasmesso dal cassone in fondazione non eguaglia lo scarico tensionale da dragaggio.

9.2. Carichi

La Tab. 9-1 che segue riepiloga i carichi verticali permanenti e variabili, agenti sul cassone e di conseguenza in fondazione.

A detti carichi va aggiunto il tiro della bitta (32 KN/m), la spinta del terrapieno tenendo presente un sovraccarico di 40 KPa sul terrapieno a tergo ed il sisma.

Le verifiche hanno inoltre considerato la presenza di un moto ondoso. In particolare per le verifiche a SLU si è fatto riferimento ad un Tr = 250 anni, mentre per le verifiche durante le fasi temporanee si è considerato Tr = 5 anni.

Sulla base di tali carichi è stata quindi definita l'entità della precarica sul cassone tipo. In particolare la sua entità sarà pari alla somma del peso della sovrastruttura e del sovraccarico di esercizio:

$$q_{precarica} = 4.99 + 45.7 + 20 + 28 \cong 100 kPa$$

TAB. 9-1 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – CASSONI BANCHINA RINFUSE – ANALISI DEI CARICHI

DESCRIZIONE	TIPOLOGIA	CARICO (KN/m)	PRESSIONE (KPa)
Peso cassone	Permanente	2193.15	99.6
Sovrastruttura	Permanente	1005.2	45.7
Pavimentazione	Permanente	109.8	4.99
Zavorra cassone	Permanente	6579.477	299.06
Sottospinta	Permanente	-3666.3	-166.65
Parziale carichi permanenti		6221.33	282.7
Sovraccarico esercizio	Variabile	440	20
Gru	Variabile	618	28
Parziale carichi variabili			48

Nella definizione di tale carico non si tiene in considerazione il carico indotto dal sovraccarico di esercizio del rilevato a tergo, poiché si è considerato che la precarica di questo avvenga contemporaneamente a quella del cassone. Allo stesso modo, considerando che la precarica avvenga da terra, ossia tramite il rilevato a tergo, si è considerato che siano almeno posati il cassone prima e quello dopo, che a loro volta dovranno essere precaricati contemporaneamente al cassone in oggetto. In questo modo l'entità della precarica stessa non dovrà contenere l'aliquota di carico indotta dalla posa/precarica del cassone adiacente. Questo sarà in automatico preso in conto nel modello, trattandosi di un modello 2D.

L'entità della precarica del rilevato risulta invece pari alla somma del sovraccarico di esercizio e del peso dei 2 metri di terra necessari a raggiungere la +4.50 m l.m.m.:

$$q_{precarica} = 38 + 40 \cong 80kPa$$

9.3. Stratigrafia di riferimento

L'allineamento H1 – A1 prevede, come prima anticipato, il dragaggio sotto metà dei cassoni, che risulteranno pertanto meno critici rispetto a quelli senza dragaggio.

Al di sotto dell'allineamento la stratigrafia è sostanzialmente uniforme con un progressivo approfondimento della quota fondale da circa -14 m a -25 m l.m.m. Pertanto si avrà che, in corrispondenza del dragaggio alla -18.5 m si dragherà una buona parte di L1, mediamente circa 3.5m. Lo spessore dragato si ridurrà invece a circa 1 m nel tratto dei cassoni E1 e D1. In assenza di dragaggio si avrà mediamente uno spessore di L1 pari a circa 4-5 m. Sotto L1 è poi presente lungo tutto l'allineamento L2 con uno spessore di circa 4-5 m. Segue quindi SL con spessore variabile da terra verso mare da 17 a 10 m. Lo strato di sabbia poggia quindi sulla ghiaia che mostra uno spessore pressoché costante e pari a circa 17 m. Segue infine l'argilla di base.

9.4. Fasi costruttive e modelli realizzati

Le analisi sono state svolte definendo le fasi costruttive ottimali al fine di garantire la stabilità. Sulla base di tale fasistica si sono valutati i cedimenti. Le analisi sono state svolte in primis per il cassone più critico ossia il cassone B1, che risulta essere quello in assenza di dragaggio su fondali maggiori. Sulla base delle fasi stabilite per il cassone B1 si sono svolte le analisi degli altri cassoni in modo analogo.

Le fasi considerate sono le seguenti:

- Posa bonifico e scanno;
- Posa del cassone e parziale zavorramento
- Completamento zavorramento;
- Riempimento a tergo;
- Precarica
- Attesa
- Scarico della precarica
- Completamento con la sovrastruttura e la pavimentazione
- Carichi di esercizio.

Al fine di valutare i cedimenti in tutte le fasi costruttive è stato quindi svolto un modello agli elementi finiti con il codice di calcolo Plaxis, realizzando un'analisi non consolidata non drenata in sforzi efficaci. In questo modo si è potuta simulare la tempistica delle varie fasi costruttive, riuscendo a valutare il reale sviluppo delle sovrappressioni nel tempo, rendendo sia il calcolo dei cedimenti che le analisi di stabilità globale più aderenti a quello che sarà il reale comportamento dell'opera. Le analisi di stabilità nelle diverse fasi sono invece state svolte con il codice di calcolo GSTABL, tramite il metodo all'equilibrio limite. Sempre con lo stesso si è inoltre verificata la capacità portante.

Oltre al cassone B1 più critico, si sono poi anche analizzati il cassone A1, che risulta diverso da tutti gli altri, in quanto non presenta il riempimento a tergo, nonché i cassoni E1 e G1, meno critici rispetto al cassone B1 dal punto di vista della

stabilità, ma con dragaggio presente al di sotto, così da poter valutare la variazione in termini di cedimento.

In Fig. 9-1 si riporta la geometria dei modelli realizzati.

I terreni sono stati modellati utilizzando per L1, L2 ed A i modelli costitutivi Soft soil e Modified Cam-Clay, mentre per SL e G si è utilizzato il modello Hardening Soil.

La caratterizzazione utilizzata è quella riportata in Tab. 7-2, mentre per i materiali da costruzione si è considerata quella di Tab. 7-3.

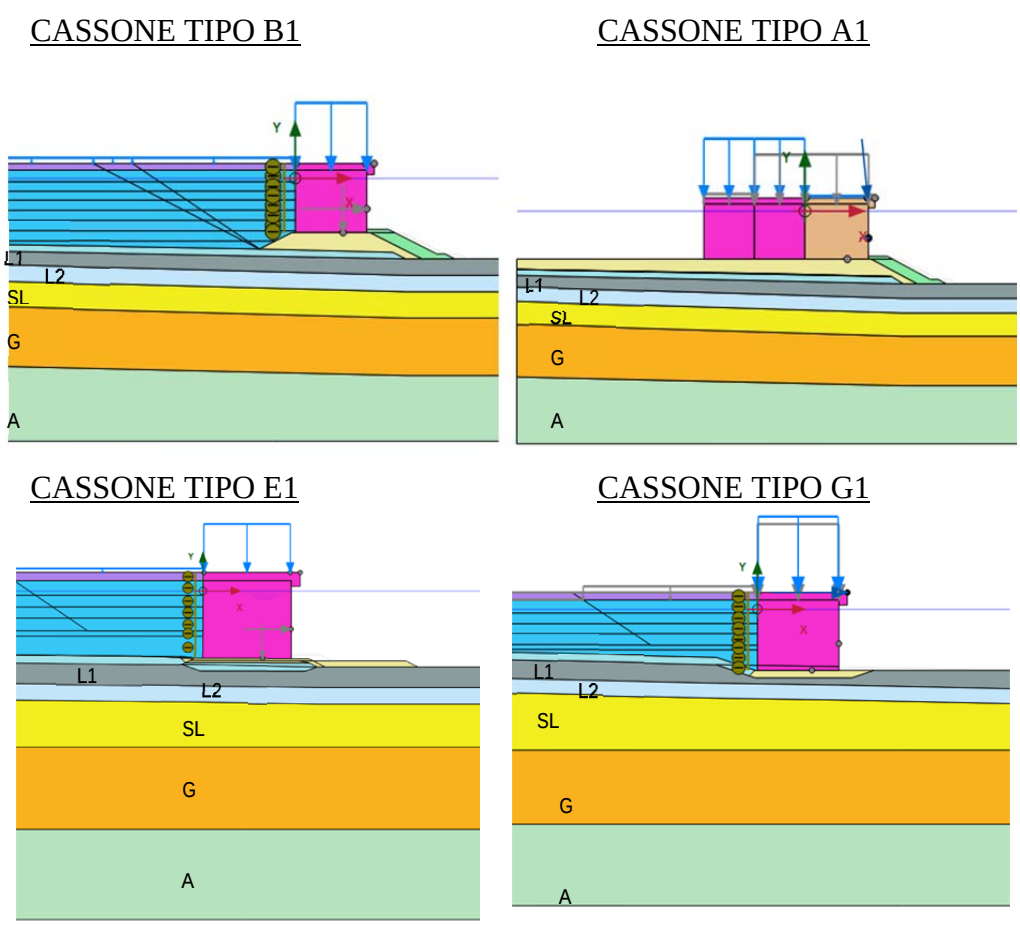


FIG. 9-1- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – MODELLI PLAXIS – CASSONI B1, A1, E1 E G1

Nei seguenti paragrafi si riportano i risultati delle analisi svolte, in termini di cedimenti e stabilità.

9.5. Verifiche di Stato Limite di Esercizio (SLE)

Per quanto concerne il cassone B1 il modello ha simulato la fasistica di costruzione con la seguente tempistica, che risulta essere quella compatibile con i fattori di sicurezza richiesti dalla normativa:

- Posa bonifico e scanno (drenato);
- Posa del cassone e parziale zavorramento t = 5 gg;
- Attesa 5 gg
- Completamento zavorramento t = 1 mese;
- Attesa 10gg;
- Riempimento a tergo t = 2 mesi;
- Attesa 2 mesi;
- Precarica cassone e rilevato t = 1 mese
- Attesa 1 mese
- Scarico della precarica t = 7 gg
- Completamento con la sovrastruttura e la pavimentazione t = 2 mesi
- Consolidazione finale
- Carichi di esercizio.

Tali fasi costruttive sono state adottate anche per gli altri cassoni della banchina rinfuse. L'unica differenza è rappresentata dal cassone A1 che non presenta il riempimento a tergo. Il suo modello ha quindi simulato la posa e la precarica dei due cassoni adiacenti A2 e A3, che inducono un indotto su A1 stesso. Da sottolineare che questo allineamento risulta più critico per A1 che non quello longitudinale alla banchina rinfuse, in quanto considera la larghezza di base minore. La fasistica adottata e compatibile con la stabilità risulta la seguente:

- Posa bonifico e scanno (drenato);
- Posa del cassone e parziale zavorramento t = 5 gg;
- Attesa 5 gg

- Completamento zavorramento t = 1 mese;
- Attesa 10gg;
- Posa del cassone A2 e suo parziale zavorramento t = 5 gg;
- Attesa 5 gg
- Completamento zavorramento A2 t = 1 mese;
- Attesa 10gg;
- Posa del cassone A3 e parziale zavorramento t = 5 gg;
- Attesa 5 gg
- Completamento zavorramento A3 t = 1 mese;
- Attesa 2 mesi;
- Precarica cassoni A1 A2 A3 t = 1 mese
- Attesa 1 mese
- Scarico della precarica t = 7 gg
- Completamento con la sovrastruttura e la pavimentazione t = 2 mesi
- Consolidazione finale
- Carichi di esercizio.

Ciò che tutte le analisi svolte hanno messo in evidenza è stata la necessità di prestare attenzione alle fasi di posa dei cassoni. Al fine di garantire la stabilità è stato quindi necessario evitare di zavorrare il cassone tutto in una volta, ma in due fasi, così da permettere in parte la dissipazione delle sovrappressioni in fondazione. In una prima fase quindi si avrà l'affondamento con un primo zavorramento fino a 100 kPa. Dopo un'attesa di 5 giorni si potrà proseguire al completamento dello zavorramento, che però dovrà essere effettuato in circa 1 mese, al fine di limitare lo sviluppo di sovrappressioni nel terreno di fondazione.
Tra la posa/zavorramento cassone e la successiva fase di precarica sarà poi necessario lasciare trascorrere almeno 2 mesi, al fine di permettere la dissipazione delle

sovrappressioni in fondazione. Durante tale tempo si potrà proseguire con la costruzione dei restanti cassoni.

La precarica dovrà essere effettuata contemporaneamente sul cassone, sul rilevato e sui cassoni adiacenti, così da comprendere l'indotto dell'uno sull'altro. Allo stesso modo per il cassone A1, questa andrà fatta in contemporanea a quella dei cassoni adiacenti. Tale precarica andrà poi applicata in un mese, al fine di limitare le sovrappressioni in fondazione.

Inoltre durante le fasi di posa, riempimento e precarica sarà importante avere già posato tutto lo scanno e le protezioni lato mare, così da avere una berma di 10 m dal filo esterno del cassone fino alla quota di imbasamento del cassone stesso. Questo per i cassoni da A1 a D1 e non invece per i restanti cassoni, che a causa del maggior dragaggio e del fondale minore, risultano meno critici per la stabilità.

9.5.1. Fasi costruttive

IN

Fig. 9-2 e Fig. 9-3 sono riportati gli spostamenti ottenuti dai diversi modelli per i diversi cassoni, per un punto posto alla base del cassone nel tempo.

Come si può osservare il cedimento di costruzione risulta maggiore per i cassoni B1 e E1 in particolare, dove è massimo lo spessore di L1 e L2, mentre via via si riduce negli altri a causa del dragaggio o dell'assenza del riempimento, cassone tipo A1.

I cedimenti di costruzione sono sintetizzati nella seguente tabella al termine delle fasi più significative.

Mediamente, si osserva, il cedimento di costruzione, complessivamente, varia tra 1.1 e 1.6 m, con il cedimento massimo in corrispondenza dei cassoni su fondali maggiori in assenza di dragaggio.

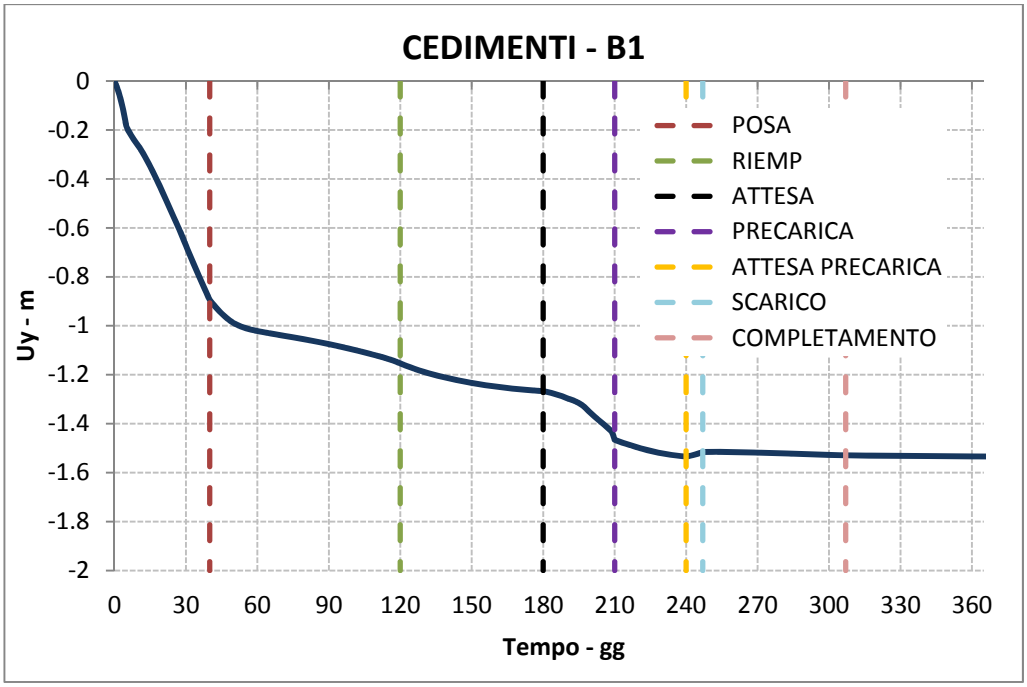
Per quanto riguarda il cedimento del rilevato a tergo, le analisi indicano un cedimento compreso tra 1.40 m nel caso del terrapieno in corrispondenza del cassone E1, ad 1 m in corrispondenza del cassone G1.

TAB. 9-2 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI CEDIMENTI BANCHINA RINFUSE

FASE	A1	B1	E1	G1
	Uy [m]	Uy [m]	Uy [m]	Uy [m]
Posa cassone	0.80	0.90	1.00	0.75
Riempimento a tergo	-	0.35	0.42	0.25
Posa cassoni adiacenti	0.40	-	-	-
Precarica	0.20	0.28	0.18	0.13
TOT	1.40	1.53	1.60	1.13

Valutando le sovrappressioni nei terreni di fondazione sia sotto al cassone che sotto al rilevato a tergo, relativamente alla sola fase di precarica, il cui carico è lasciato consolidare, vedasi Fig. 9-4, si osserva come la tempistica considerata permetta la completa consolidazione dei terreni di fondazione sia sotto al cassone che sotto al rilevato. Soltanto l'argilla di base mostra chiaramente dei tempi di consolidazione maggiori. Essendo però tale strato già sovraconsolidato, l'obiettivo della precarica è comunque raggiunto avendo ottenuto la consolidazione degli strati superficiali. Analogamente per gli altri cassoni.

Sempre per il cassone B1 si riportano gli spostamenti orizzontali durante le varie fasi costruttive in Fig. 9-5. Come si può osservare, durante le fasi di posa e riempimento il cassone si posta verso terra (spostamento negativo) di circa 0.40m. Sembra infatti prevalere il peso del riempimento rispetto alla sua spinta. Con la successiva precarica invece si sposta verso mare di 0.20 m.



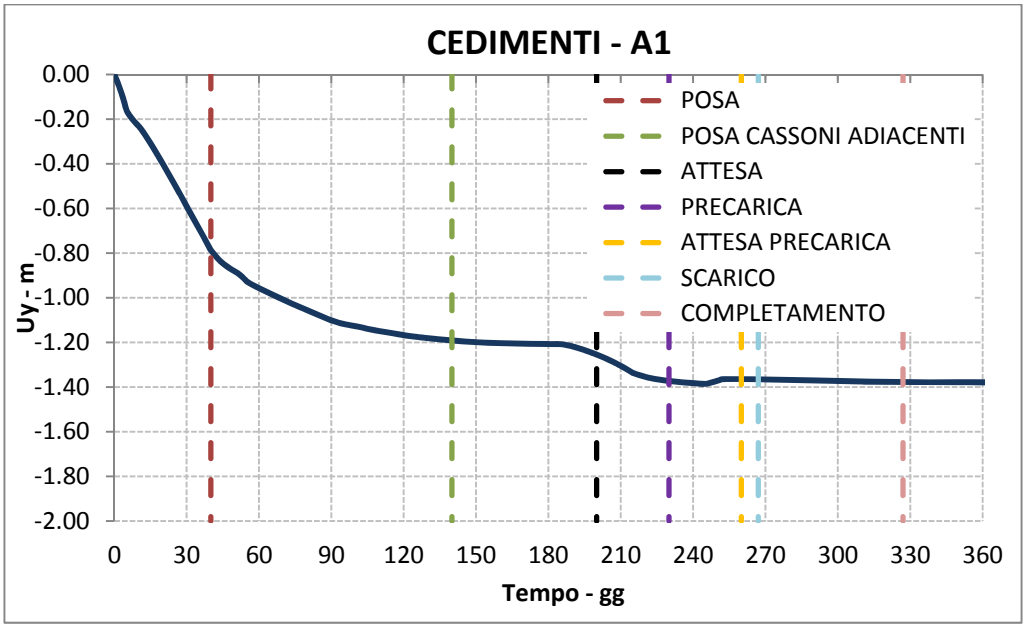
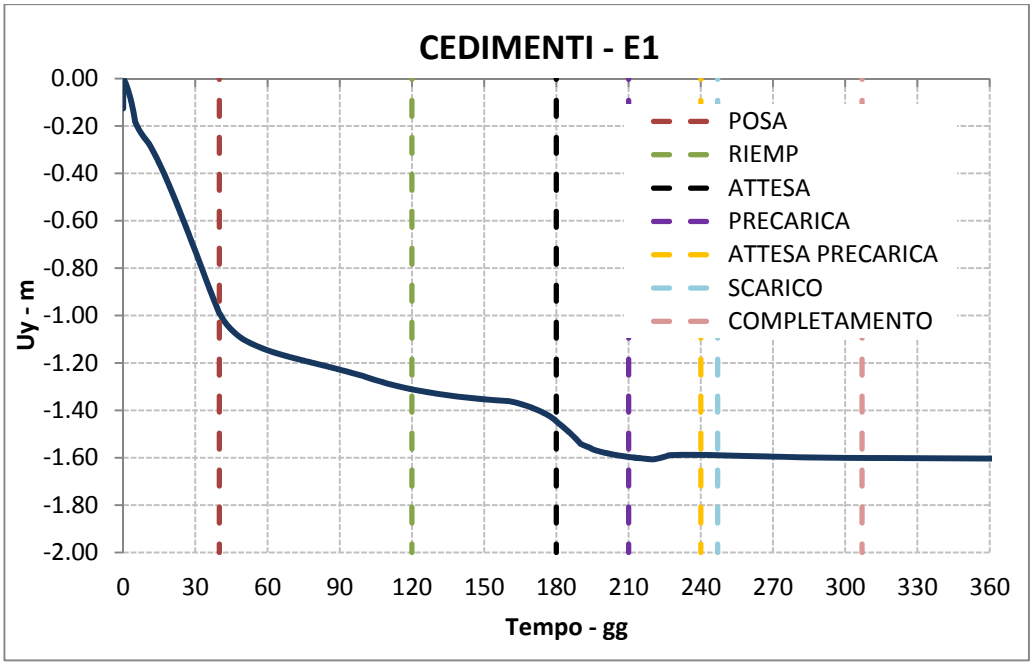


FIG. 9-2- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SPOSTAMENTI DI COSTRUZIONE CASSONE B1 E A1



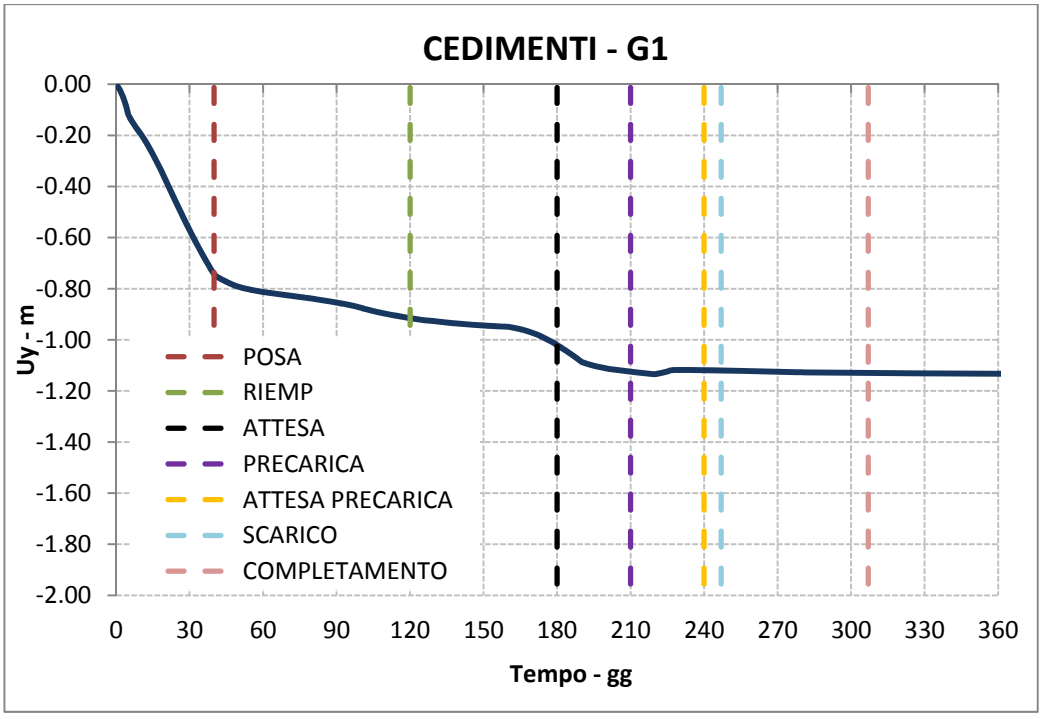
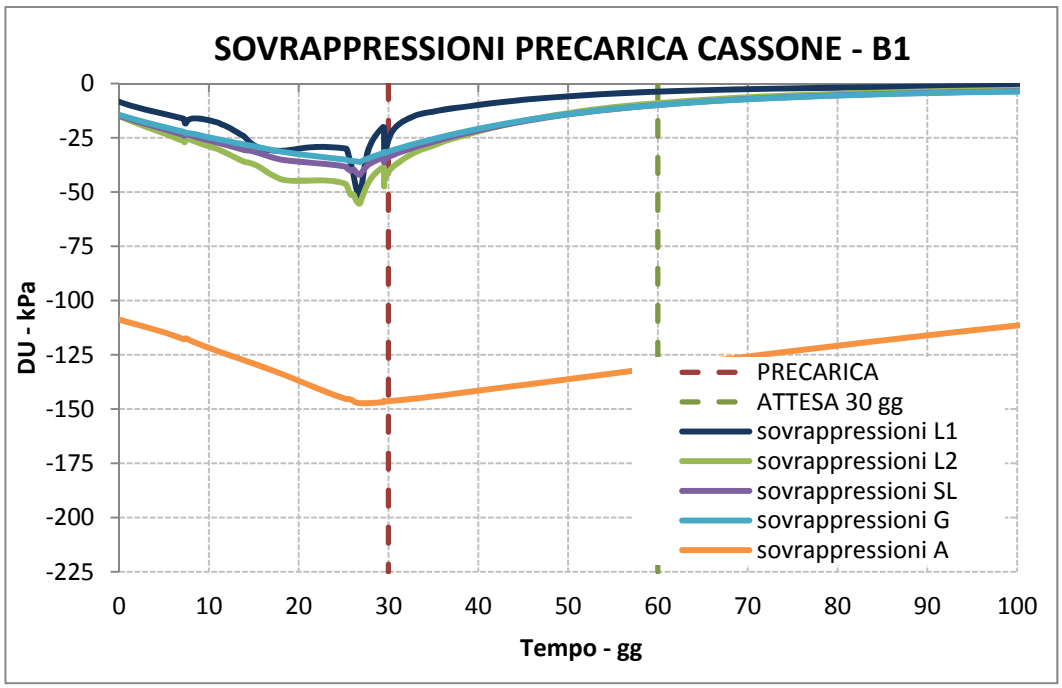


FIG. 9-3- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SPOSTAMENTI DI COSTRUZIONE CASSONE E1 E G1



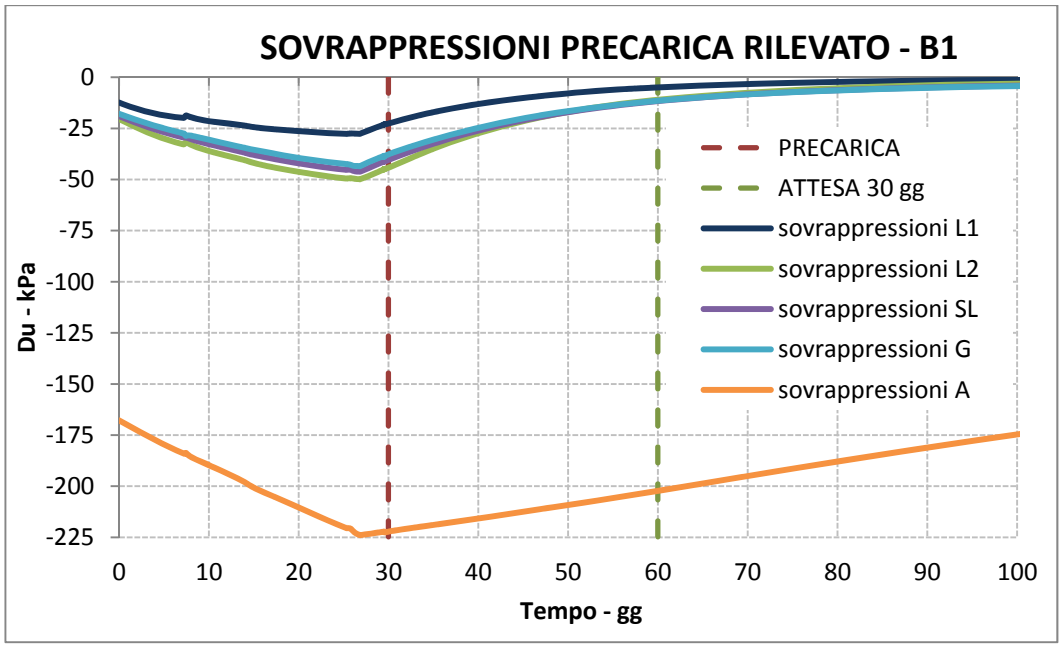


FIG. 9-4- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE –SOVRAPPRESSIONI IN FONDAZIONE DURANTE LA PRECARICA - CASSONE B1

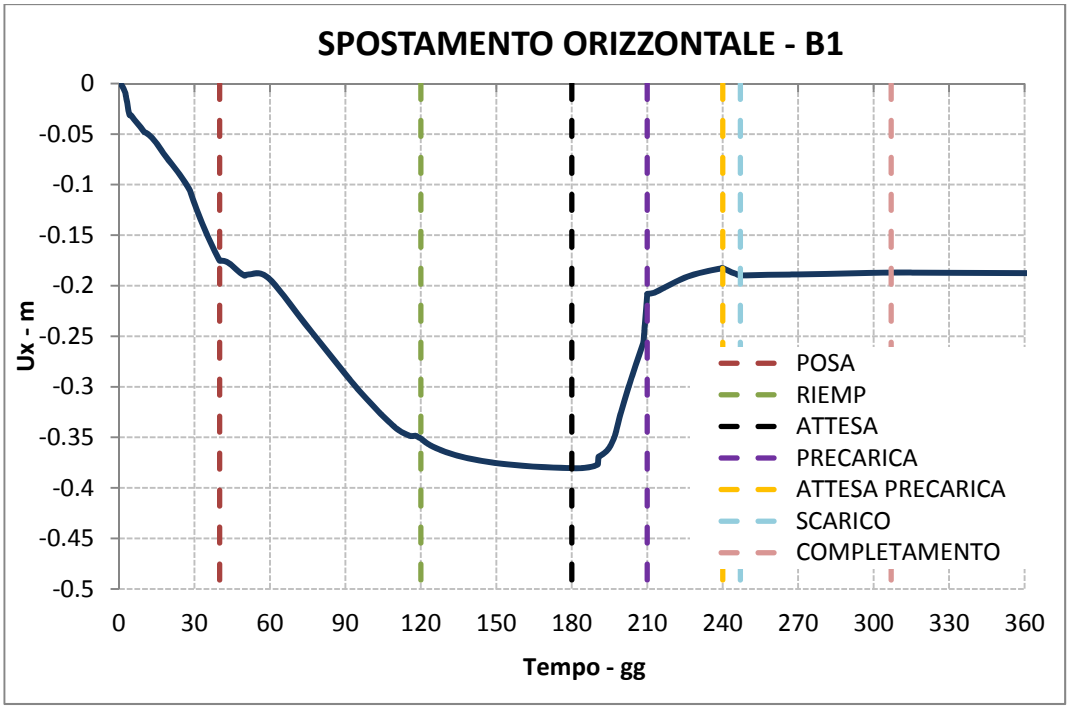


FIG. 9-5- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SPOSTAMENTI ORIZZONTALI - CASSONE B1

9.5.2. Fasi di esercizio

Al fine di massimizzare gli spostamenti in fase di esercizio, i diversi carichi agenti sono stati applicati in condizioni drenate e successivamente combinati secondo la combinazione rara di stato limite di esercizio, combinazione corrispondente agli stati limite irreversibili per la struttura.

Si riportano qui di seguito le aliquote di spostamento orizzontale e verticale del cassone, per ciascun carico di esercizio (gli spostamenti sono positivi se verso mare e se sono dei cedimenti).

CASSONE B1		
CARICO	Uy [cm]	Ux [cm]
Cassone 20 kPa e Riempimento 40 kPa	2.3 (terra) 1.4 (mare)	-
Gru	0 (terra) 2.4 (mare)	2
Bitta	-	-
Onda	1.3 (terra) 3.3 (mare)	3.1

CASSONE A1		
CARICO	Uy [cm]	Ux [cm]
Cassoni 20 kPa	1.2 (terra) 0.8 (mare)	0.5
Gru	0 (terra) 2.3 (mare)	2.3
Bitta	-	-
Onda	0 (terra) 2.3 (mare)	3.4

CASSONE E1		
CARICO	Uy [cm]	Ux [cm]
Cassone 20 kPa e Riempimento 40 kPa	1.7 (terra) 1 (mare)	-
Gru	0 (terra) 1.5 (mare)	1.1
Bitta	-	-
Onda	0 (terra) 1.5 (mare)	2.3

CASSONE G1		
CARICO	Uy [cm]	Ux [cm]
Cassone 20 kPa e Riempimento 40 kPa	1.8 (terra) 0.9 (mare)	0.6
Gru	0 (terra) 1.5 (mare)	1.1
Bitta	-	-
Onda	0 (terra) 1.3 (mare)	1.8

Combinando gli spostamenti si ottiene:

CASSONE B1

$U_y_terra = 3cm$

$U_y_mare = 5cm$

$U_x = 3.2cm$

CASSONE A1

$U_y_terra = 1.2cm$

$U_y_mare = 3.8cm$

$U_x = 4.1cm$

CASSONE E1

$U_y_terra = 1.7cm$

$U_y_mare = 3.2cm$

$U_x = 2.1cm$

CASSONE G1

$U_y_terra = 1.8cm$

$U_y_mare = 2.7cm$

$U_x = 2.5cm$

Per quanto riguarda invece il rilevato a tergo del cassone si ottengono i seguenti risultati, in termini di cedimenti verticali.

CASSONE B1	
CARICO	Uy [m]
Sovraccarico sul cassone 20 kPa	0.023
Sovraccarico sul riempimento a tergo 40 kPa	0.03

CASSONE E1	
CARICO	Uy [m]
Sovraccarico sul cassone 20 kPa	0.016
Sovraccarico sul riempimento a tergo 40 kPa	0.048

CASSONE G1	
CARICO	Uy [m]
Sovraccarico sul cassone 20 kPa	0.018
Sovraccarico sul riempimento a tergo 40 kPa	0.048

In termini di differenziale tra cassoni e rilevato l'analisi mostra differenziali praticamente trascurabili, nell'ordine di 0.004/0.006 m.
Per il caso del cassone A1 e dei cassoni adiacenti si riportano di seguito i cedimenti in fase di esercizio che risultano piuttosto contenuti.
In termini di differenziale al contatto tra i due cassoni il differenziale risulta praticamente trascurabile.

CASSONE A1	
CARICO	Uy [m]
Sovraccarico sul cassone 20 kPa	0.012
Sovraccarico sul cassoni A2 A3 40 kPa	0.013

9.6. Verifiche di Stato Limite Ultimo (SLU)

Le verifiche di stabilità globale sono state svolte tramite il codice all'equilibrio limite GSTABL per i cassone più critici, ossia per il cassone B1 tra quelli senza dragaggio e per il cassone E1, tra quelli con dragaggio.
Così come richiesto dalla normativa tali verifiche si sono svolte secondo la combinazione A2+M2+R2. Il coefficiente di sicurezza così ottenuto dovrà quindi risultare superiore a 1.1.
Allo stesso modo le analisi sono state ripetute per verificare anche la capacità portante, applicando però in questo caso la combinazione A1+M1+R3. Il coefficiente di sicurezza così ottenuto dovrà quindi risultare superiore a 1.4.
In entrambi i casi le analisi hanno tenuto in considerazione la presenza di sovrappressioni nel terreno di fondazione tramite il coefficiente ru, che è stato definito nei diversi casi sulla base dei risultati ottenuti con le analisi Plaxis.
In tutte le analisi non si è modellato il cassone, ma si è direttamente applicata la distribuzione di carico alla base di questo, calcolato considerando i diversi carichi agenti in ogni fase, ciascuno con il proprio braccio.

9.6.1. Fasi costruttive – B1

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte in corrispondenza delle fasi costruttive più critiche, ossia:

- posa cassone
- applicazione della precarica

Nelle fasi temporanee si è considerato un carico derivante da un moto ondoso relativo ad un tempo di ritorno di 5 anni. A favore di sicurezza nel primo caso si è considerato il carico relativo alla cresta d'onda, non essendo ancora presente il riempimento a tergo, mentre nel secondo caso si è considerato il cavo d'onda.
In Fig. 9-6 e Fig. 9-7 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica. I fattori di sicurezza risultano:
SEZIONE B1 – fasi temporanee

- posa cassone – capacità portante: Fs = 1.52
- posa cassone – stabilità globale: Fs = 1.27

- precarica cassone – capacità portante: Fs = 1.57
- precarica cassone – stabilità globale: Fs = 1.23

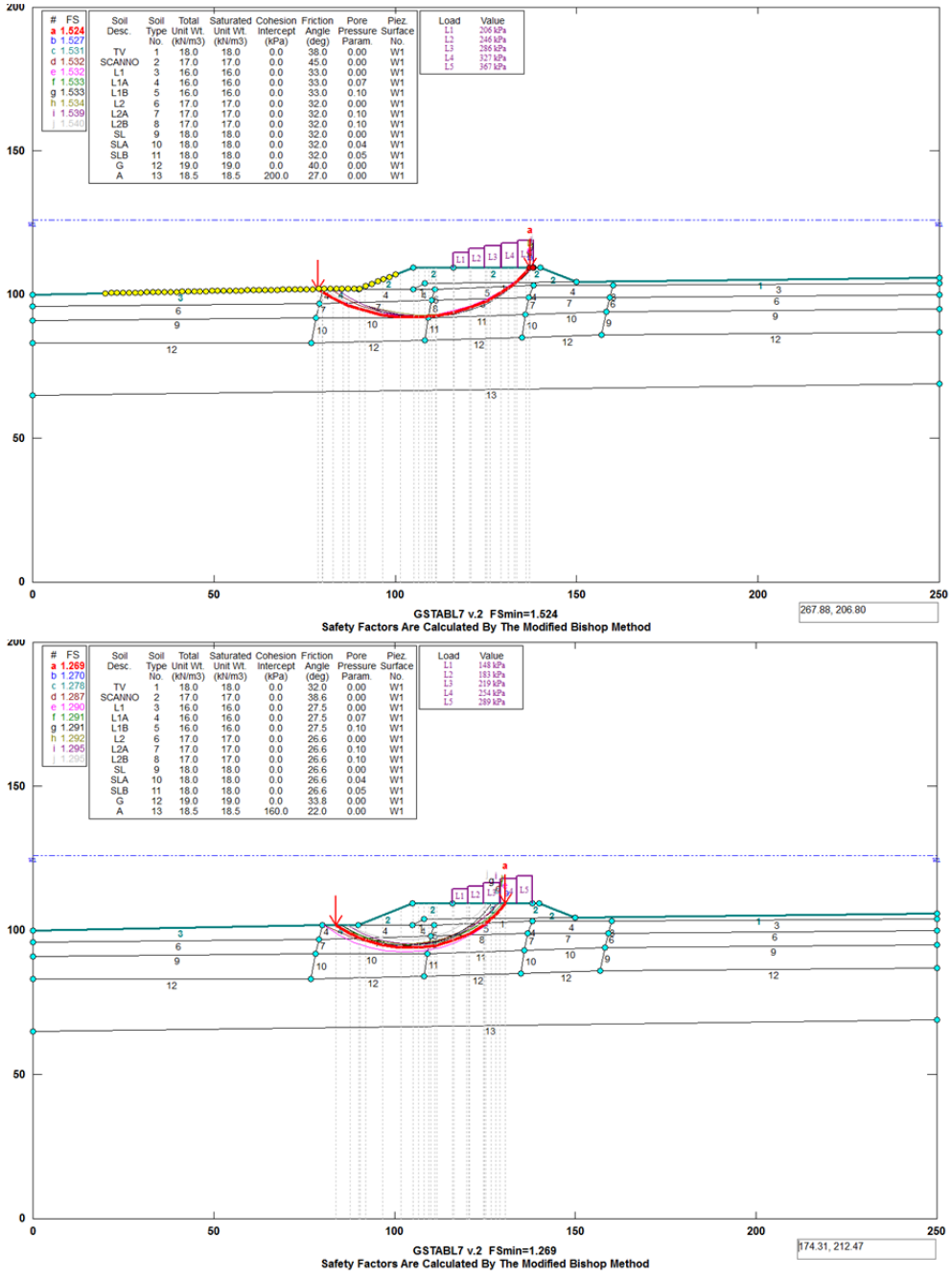
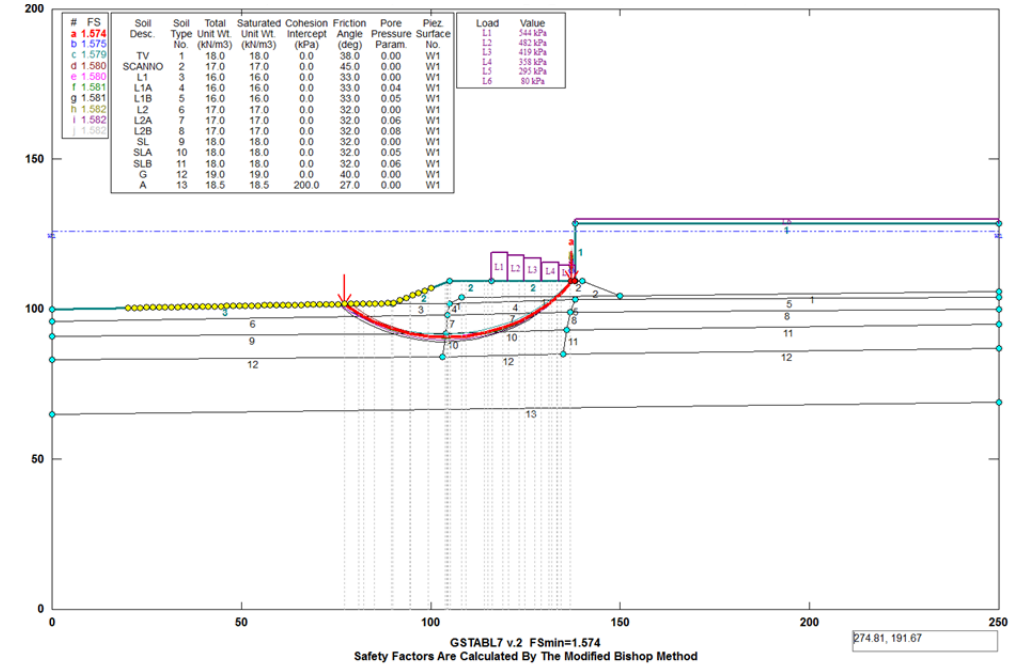


FIG. 9-6- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE POSA CASSONE B1– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE



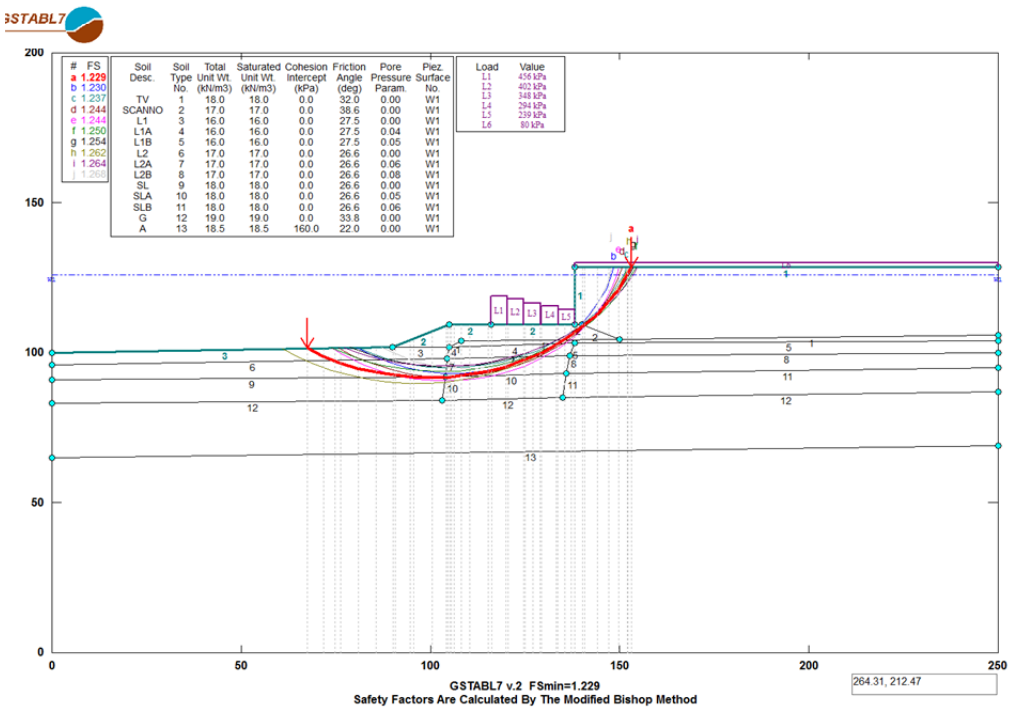


FIG. 9-7- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE PRECARICA CASSONE B1– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

9.6.1. Fase di esercizio – B1

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte considerando le condizioni di carico più critiche:

- Esercizio + carichi di esercizio
- Esercizio + sisma

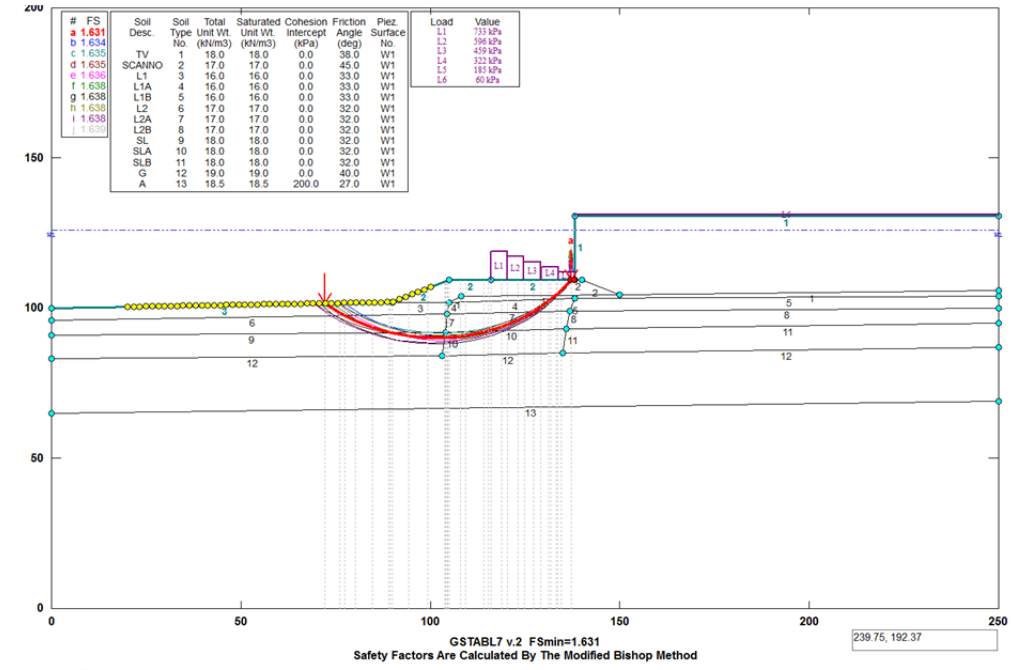
Per quanto riguarda i carichi di esercizio, nell'analisi si sono considerati tutti i carichi di esercizio, opportunamente combinati secondo la combinazione di stato limite ultimo. Per quanto riguarda l'onda si è considerata la condizione più sfavorevole, ossia il cavo d'onda, così da massimizzare il momento agente.

In Fig. 9-8 e Fig. 9-9 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica.

I fattori di sicurezza risultano:

SEZIONE B1 – esercizio

- Esercizio + cavo – capacità portante: Fs = 1.63
- Esercizio + cavo – stabilità globale: Fs = 1.26
- Esercizio + sisma – capacità portante: Fs = 1.64
- Esercizio + sisma – stabilità globale: Fs = 1.46



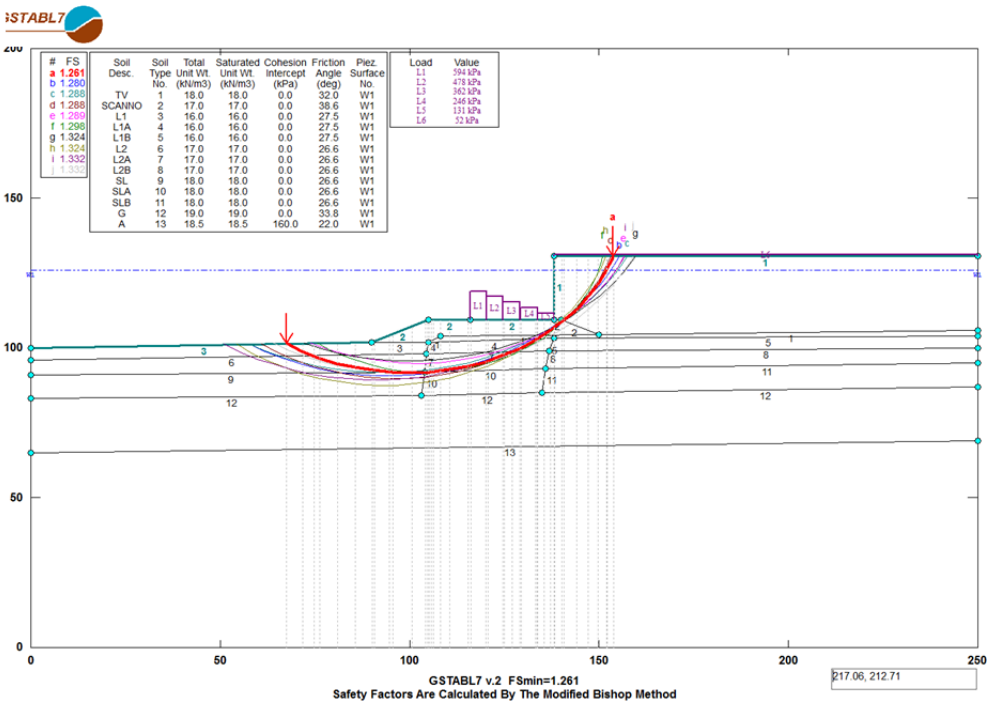


FIG. 9-8- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON ONDA – CASSONE B1– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

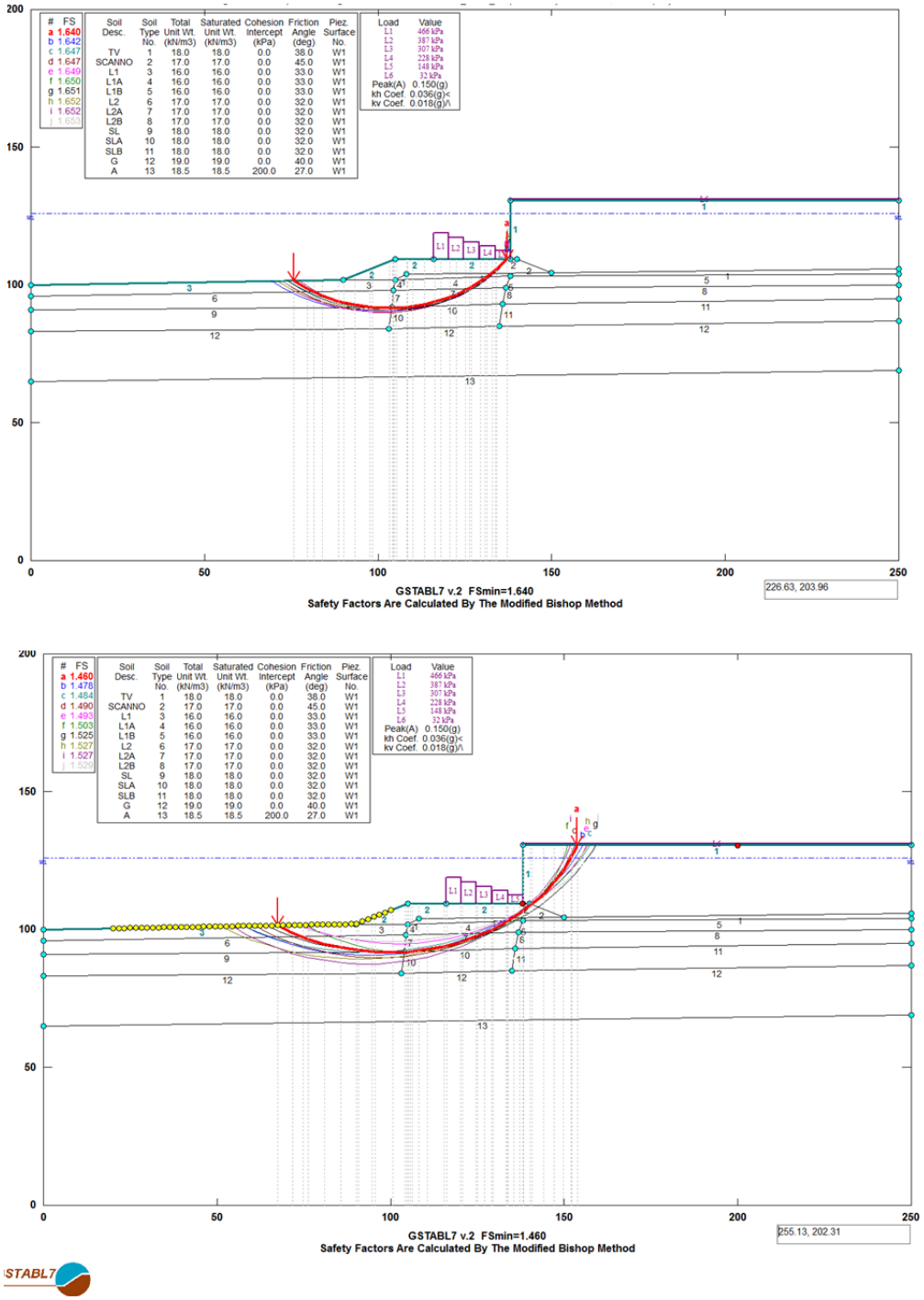


FIG. 9-9- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON SISMA – CASSONE B1– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

9.6.2. Fasi costruttive – E1

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte in corrispondenza delle fasi costruttive più critiche, ossia:

- posa cassone
- applicazione della precarica

Nelle fasi temporanee si è considerato un carico derivante da un moto ondoso relativo ad un tempo di ritorno di 5 anni. A favore di sicurezza nel primo caso si è considerato il carico relativo alla cresta d'onda, non essendo ancora presente il riempimento a tergo, mentre nel secondo caso si è considerato il cavo d'onda.

In Fig. 9-10 e Fig. 9-11 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica. I fattori di sicurezza risultano:

SEZIONE E1 – fasi temporanee

- posa cassone – capacità portante: Fs = 1.74
- posa cassone – stabilità globale: Fs = 1.29
- precarica cassone – capacità portante: Fs = 1.81
- precarica cassone – stabilità globale: Fs = 1.33

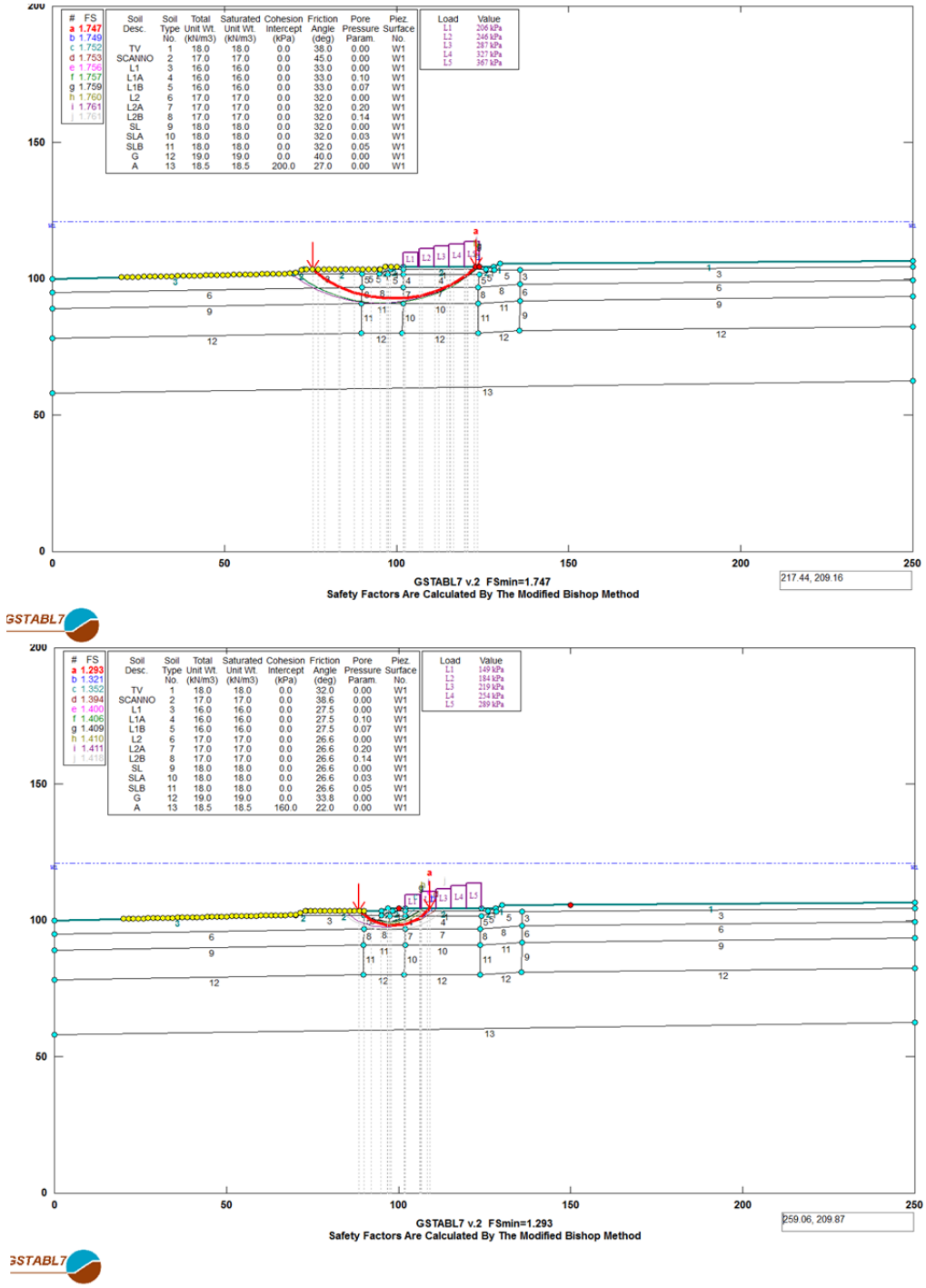
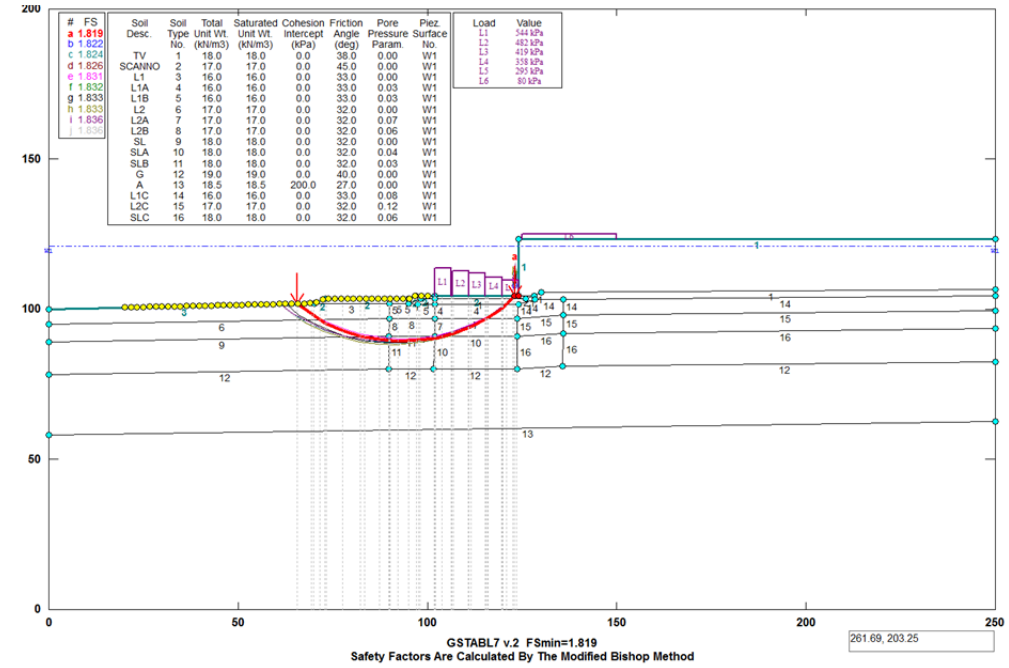


FIG. 9-10- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE POSA CASSONE E1– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE



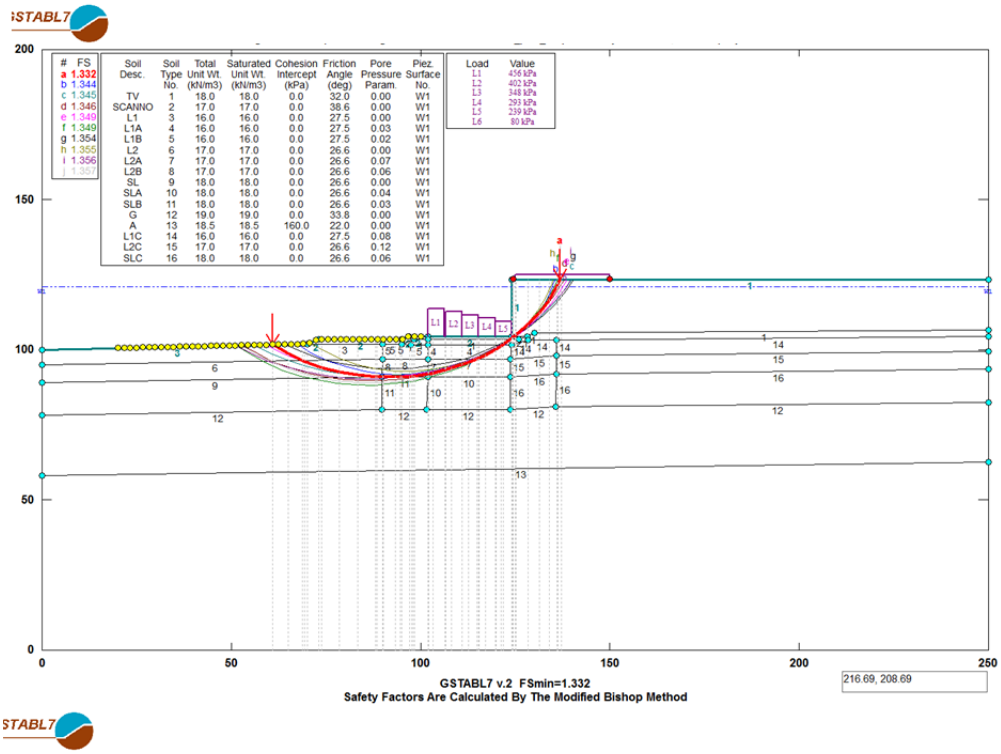


FIG. 9-11- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE PRECARICA CASSONE B1– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

9.6.3. Fase di esercizio – E1

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte considerando le condizioni di carico più critiche:

- Esercizio + carichi di esercizio
- Esercizio + sisma

Per quanto riguarda i carichi di esercizio, nell'analisi si sono considerati tutti i carichi di esercizio, opportunamente combinati secondo la combinazione di stato limite ultimo. Per quanto riguarda l'onda si è considerata la condizione più sfavorevole, ossia il cavo d'onda, così da massimizzare il momento agente.

In Fig. 9-12 e Fig. 9-13 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica.

I fattori di sicurezza risultano:

SEZIONE E1 – esercizio

- Esercizio + cavo – capacità portante: Fs = 1.88
- Esercizio + cavo – stabilità globale: Fs = 1.34
- Esercizio + sisma – capacità portante: Fs = 1.91
- Esercizio + sisma – stabilità globale: Fs = 1.56

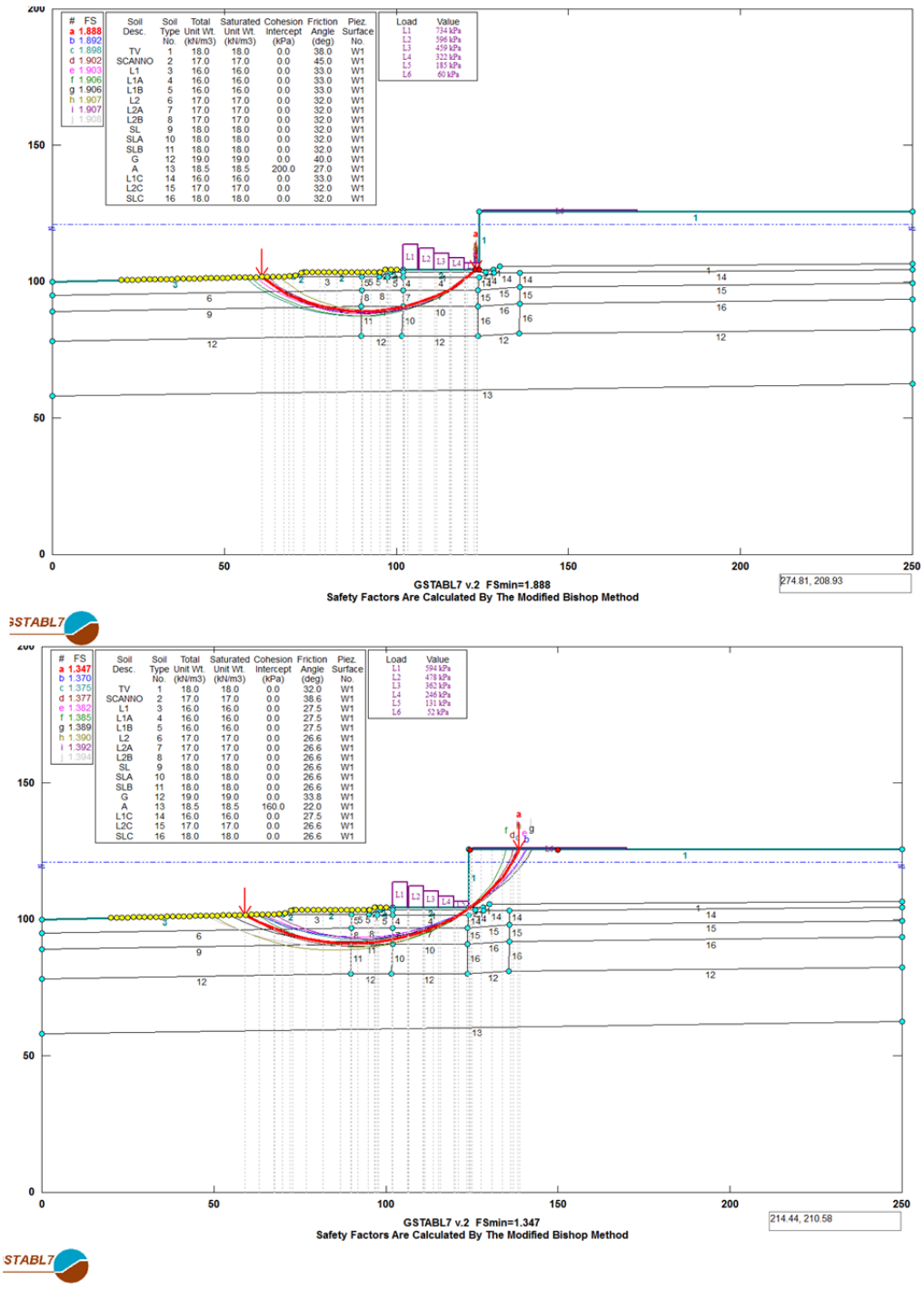
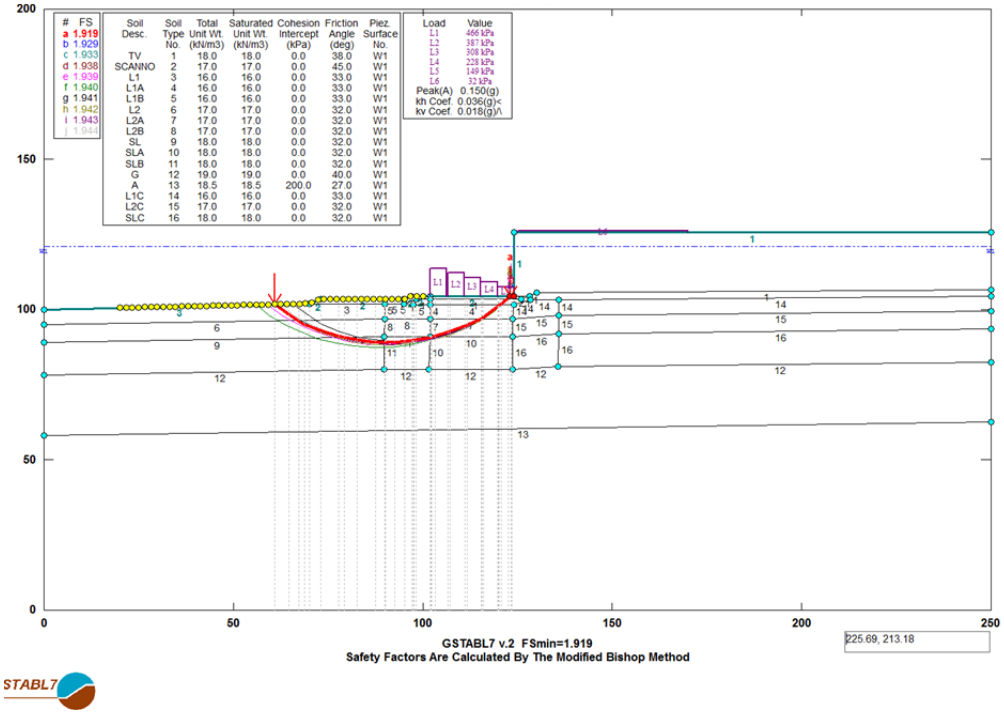


FIG. 9-12- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON ONDA – CASSONE E1– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE



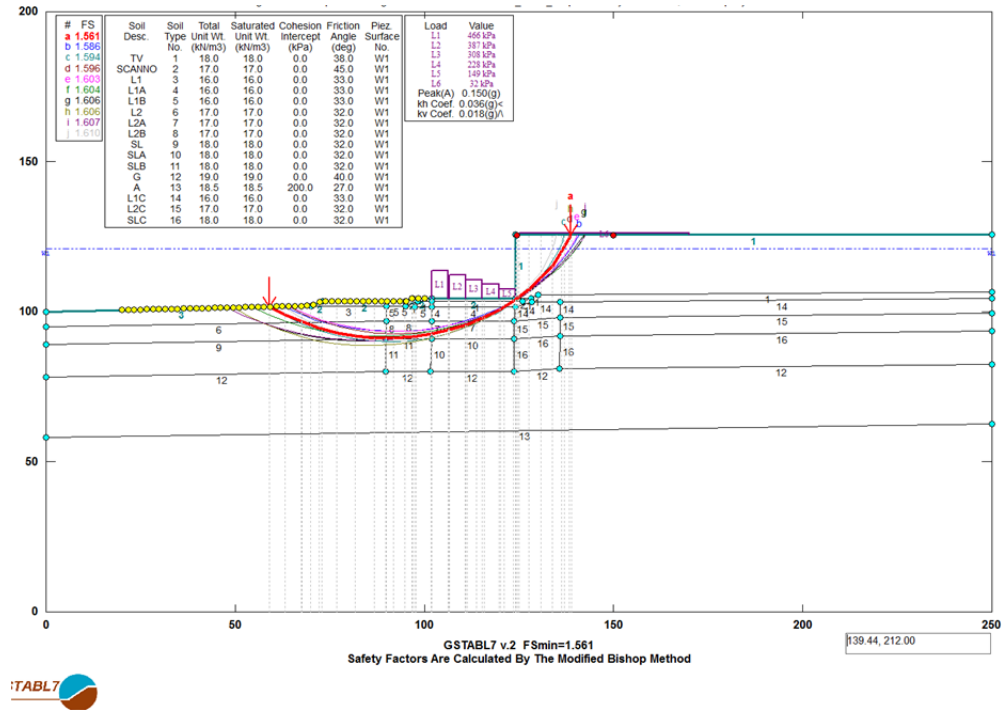


FIG. 9-13- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON SISMA – CASSONE E1– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

9.6.4. Sintesi dei fattori di sicurezza ottenuti dalle analisi

TAB. 9-3 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI ANALISI DI STABILITA' – CASSONI TIPO B1 E E1

	POSA CASSONE	PRECARICA	ESERCIZIO	SISMA
B1- Capacità portante	1.52	1.57	1.63	1.64
B1 - Stabilità globale	1.27	1.23	1.25	1.46
E1- Capacità portante	1.74	1.81	1.88	1.91
E1 - Stabilità globale	1.29	1.33	1.34	1.56

10. CASSONI BANCHINA CONTAINER

10.1. Generalità

Tutti i cassoni presenti lungo la banchina container saranno imbasati alla quota -16.5 m l.m.m. A tal fine pertanto sarà presente un dragaggio al disotto dei cassoni posti sui fondali minori. In particolare si avrà un dragaggio alla -19.5 m l.m.m. al di sotto dei cassoni da A15 a A11. Per i restanti cassoni da A9 ad A1 non è previsto invece alcun dragaggio.

Per i cassoni posti in corrispondenza del dragaggio è quindi prevista la posa di 2 m di strato di bonifico ed 1 m di scanno di imbasamento, raggiungendo così la quota prevista di -16.5 m l.m.m. per la posa dei cassoni.

I cassoni posti nell'area in assenza di dragaggio invece vedono la posa di 2 m di bonifico ed il resto tutto scanno di imbasamento fino alla -16.5 m l.m.m.

A tergo dei cassoni è poi previsto il riempimento in terra. I cassoni da A15 a A4 hanno dimensioni in pianta 32 m x 22 m ed un'altezza di 19 m fino a raggiungere la quota +2.50 m l.m.m. Soltanto i cassoni più verso mare, ossia i cassoni A3 e A2, hanno dimensioni diverse: 17.45 x 32 m. Anch'essi però hanno un'altezza di 19 m raggiungendo così la +2.50 m l.m.m.

Al di sopra della +2.50 verrà eseguita la sovrastruttura e la pavimentazione che porterà il cassone alla quota finale di +4.50 m l.m.m.

I cassoni posti in corrispondenza del dragaggio risultano pertanto i meno critici in quanto il dragaggio da un punto di vista geotecnico risulta favorevole in quanto: (1) viene rimosso parte dello strato di limo tenero che maggiormente contribuisce ai cedimenti dei cassoni in esercizio e che maggiormente influenza la stabilità, (2) il terreno di fondazione al di sotto dei cassoni viene preconsolidato lavorando in ricarico fino a tanto che il carico trasmesso dal cassone in fondazione non eguaglia lo scarico tensionale da dragaggio.

A meno dei cassoni A2 e A3 che sono più piccoli, tutti gli altri cassoni sono analoghi ai cassoni della banchina rinfuse, semplicemente ruotati di 90°. In sezione pertanto questi cassoni mostrano la larghezza maggiore di 32 m. Sono quindi meno critici da un punto di vista della stabilità rispetto a quelli della banchina rinfu-

se. I cassoni 22x32 m saranno poi più critici di quelli 17.45 x 32 m, trasmettendo in fondazione un carico maggiore.

Per quanto detto prima il cassone più critico della banchina rinfuse risulta essere il cassone A4, in corrispondenza del fondale più profondo e in assenza di dragaggio.

10.2. Carichi

La Tab. 10-1 che segue riepiloga i carichi verticali permanenti e variabili, agenti sui cassoni e di conseguenza in fondazione. Si riportano soltanto i carichi dei cassoni 22x32 m risultando questi quelli più critici.

A detti carichi va aggiunto il tiro della bitta (135.75 KN/m), la spinta del terrapieno tenendo presente un sovraccarico di 40 KPa sul terrapieno a tergo ed il sisma.

Le verifiche hanno inoltre considerato la presenza di un moto ondoso. In particolare per le verifiche a SLU si è fatto riferimento ad un Tr = 250 anni, mentre per le verifiche durante le fasi temporanee si è considerato Tr = 5 anni.

Sulla base di tali carichi è stata quindi definita l'entità della precarica sul cassone tipo. In particolare questa è stata definita considerando il peso della sovrastruttura ed il sovraccarico di esercizio:

$$q_{precarica} = 4.44 + 44.3 + 40 + 28 \cong 125 kPa$$

TAB. 10-1 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – CASSONI BANCHINA CONTAINER 22X32 M

DESCRIZIONE	TIPOLOGIA	CARICO (KN/m)	PRESSIONE (KPa)
Peso cassone	Permanente	3182.36	99.4
Sovrastruttura	Permanente	1417.94	44.3
Pavimentazione	Permanente	142.2	4.44
Zavorra cassone	Permanente	9556.62	298
Sottospinta	Permanente	-5332.8	-166.65
Parziale carichi permanenti		8966.32	280.2
Sovraccarico esercizio	Variabile	1280	40
Gru	Variabile	898	28
Parziale carichi variabili			68

Nella definizione di tale carico non si tiene in considerazione il carico indotto dal sovraccarico di esercizio del rilevato a tergo, poiché si è considerato che la precarica di questo avvenga contemporaneamente a quella del cassone. Allo stesso modo, considerando che la precarica avvenga da terra, ossia tramite il rilevato a tergo, si è considerato che siano almeno posati il cassone prima e dopo, che andranno precaricati contemporaneamente al cassone in oggetto. In questo modo l'entità della precarica stessa non contiene l'aliquota di carico indotto dalla posa/precarica dei cassoni adiacenti.

L'entità della precarica del rilevato risulta invece pari alla somma del sovraccarico di esercizio e del peso dei 2 metri di terra necessari a raggiungere la +4.50 m l.m.m.:

$$q_{precarica} = 38 + 40 \cong 80kPa$$

10.3. Stratigrafia di riferimento

L'allineamento A2-A15 prevede, come prima anticipato, il dragaggio sotto alcuni dei cassoni, che risulteranno pertanto meno critici rispetto a quelli senza dragaggio.

Al di sotto dell'allineamento la stratigrafia è sostanzialmente uniforme con un progressivo approfondimento della quota fondale da circa -17 m a -25 m l.m.m. Pertanto si avrà che, in corrispondenza del dragaggio alla -19.5 m si dragherà una parte di L1, mediamente circa 1-2 m. In assenza di dragaggio si avrà mediamente uno spessore di L1 pari a circa 4 m. Sotto L1 è poi presente, lungo tutto l'allineamento, L2 con uno spessore di circa 5 m. Segue quindi SL con spessore variabile da terra verso mare da 5 a 7 m. Lo strato di sabbia poggia sulla ghiaia che mostra uno spessore circa costante e pari a circa 15 m. Segue infine l'argilla di base.

10.4. Fasi costruttive e modelli realizzati

Le analisi sono state svolte definendo le fasi costruttive ottimali al fine di garantire la stabilità. Sulla base di tale fasistica si sono quindi valutati i cedimenti. Le analisi sono state svolte per il cassone più critico, ossia il cassone A4, che risulta

essere quello in assenza di dragaggio su fondali maggiori, e per il cassone A14, così da valutare la variabilità in termini di cedimenti. Il comportamento dei restanti cassoni è estrapolato sulla base dei risultati delle analisi svolte.

Le fasi considerate sono le seguenti:

- Posa bonifico e scanno;
- Posa del cassone e parziale zavorramento
- Completamento zavorramento;
- Riempimento a tergo;
- Precarica
- Attesa
- Scarico della precarica
- Completamento con la sovrastruttura e la pavimentazione
- Carichi di esercizio.

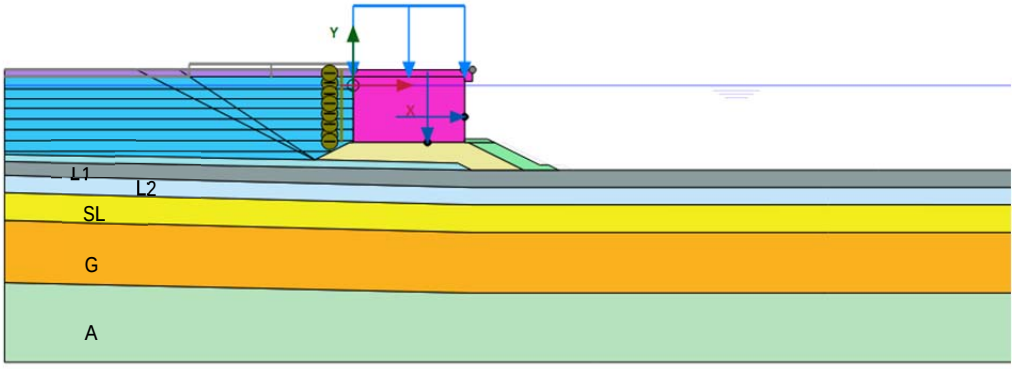
Al fine di valutare i cedimenti in tutte le fasi costruttive è stato quindi svolto un modello agli elementi finiti con il codice di calcolo Plaxis, realizzando un'analisi non consolidata non drenata in sforzi efficaci. In questo modo si è potuta simulare la tempistica delle varie fasi costruttive, riuscendo a valutare il reale sviluppo delle sovrappressioni nel tempo, rendendo sia il calcolo dei cedimenti che le analisi di stabilità globale più aderenti a quello che sarà il reale comportamento dell'opera. Le analisi di stabilità nelle diverse fasi sono invece state svolte con il codice di calcolo GSTABL, tramite il metodo all'equilibrio limite. Sempre con lo stesso si è inoltre verificata la capacità portante.

In Fig. 10-1 si riporta la geometria dei modelli realizzati.

I terreni sono stati modellati utilizzando per L1, L2 ed A il modello costitutivi Soft soil e Modified Cam-Clay, mentre per SL e G si è utilizzato il modello Hardening Soil.

La caratterizzazione utilizzata è quella riportata in Tab. 7-2, mentre per i materiali da costruzione si è considerata quella di Tab. 7-3.

CASSONE A4



CASSONE A14

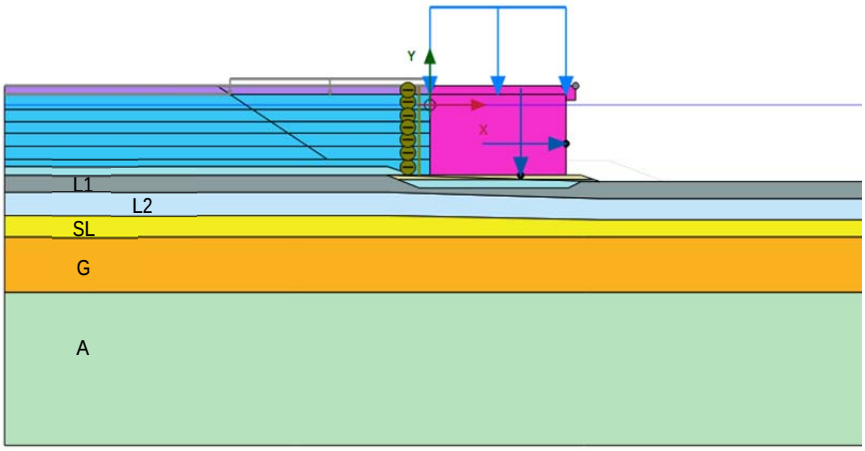


FIG. 10-1- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – MODELLO PLAXIS – CASSONE A4 E A14

Nei seguenti paragrafi si riportano i risultati delle analisi svolte, in termini di cedimenti e stabilità.

10.5. Verifiche di Stato Limite di Esercizio (SLE)

Il modello ha simulato la fasistica di costruzione con la seguente tempistica, che risulta essere quella compatibile con i fattori di sicurezza richiesti dalla normativa:

- Posa bonifico e scanno (drenato);
- Posa del cassone e parziale zavorramento t = 5 gg;
- Attesa 5 gg

- Completamento zavorramento t = 1 mese;
- Attesa 10 gg;
- Riempimento a tergo t = 2 mesi;
- Attesa 2 mesi;
- Precarica cassone e rilevato t = 1 mese
- Attesa 1 mese
- Scarico della precarica t = 7 gg
- Completamento con la sovrastruttura e la pavimentazione t = 2 mesi
- Consolidazione finale
- Carichi di esercizio.

Ciò che le analisi svolte hanno messo in evidenza è stata la necessità, anche in questo caso, di prestare attenzione alle fasi di posa dei cassoni. Al fine di garantire la stabilità è stato quindi necessario evitare di zavorrare il cassone tutto in una volta, ma in due fasi, così da permettere in parte la dissipazione delle sovrappressioni in fondazione. In una prima fase quindi si avrà l'affondamento con un primo zavorramento fino a 100 kPa. Dopo un'attesa di 5 giorni si potrà proseguire al completamento dello zavorramento, che però dovrà essere effettuato in circa 1 mese.
Prima di effettuare la precarica sarà poi necessario lasciar trascorrere almeno 2 mesi, dopo la fine dello zavorramento del cassone e del suo riempimento a tergo. Durante tale tempo si potrà proseguire con la costruzione dei restanti cassoni.
La precarica dovrà essere effettuata contemporaneamente sul cassone, sul rilevato e sui cassoni adiacenti, così da comprendere l'indotto dell'uno sull'altro.
Inoltre durante le fasi di posa, riempimento e precarica sarà importante anticipare la posa di tutto lo scanno e delle protezioni lato mare così da avere una berma di 10 m dal filo esterno del cassone fino alla quota di imbasamento del cassone. Questo per i cassoni da A1 a A8, ossia quelli in assenza di dragaggio e su fondali maggiori, così da garantire la stabilità nelle fasi temporanee.

10.5.1. Fasi costruttive

In Fig. 10-2 sono riportati gli spostamenti ottenuti dai modelli per un punto posto alla base del cassone nel tempo.

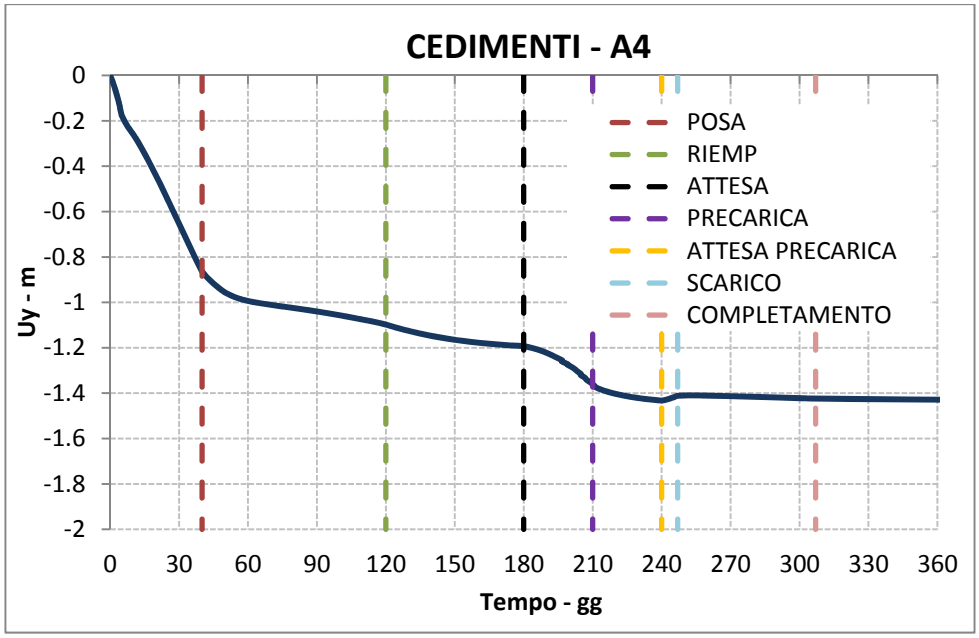
I cedimenti di costruzione ottenuti sono sintetizzati nella seguente tabella al termine delle fasi più significative.

TAB. 10-2 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI CEDIMENTI BANCHINA CONTAINER

FASE	A4	A14
	Uy [m]	Uy [m]
Posa cassone	0.85	0.80
Riempimento a tergo	0.35	0.20
Precarica	0.2	0.20
TOT	1.4	1.2

Complessivamente si osserva un cedimento di costruzione che varia tra 1.2 e 1.4 m.

Per quanto riguarda il cedimento del rilevato a tergo, le analisi indicano un cedimento variabile tra circa 1.1 e 1.20 m.



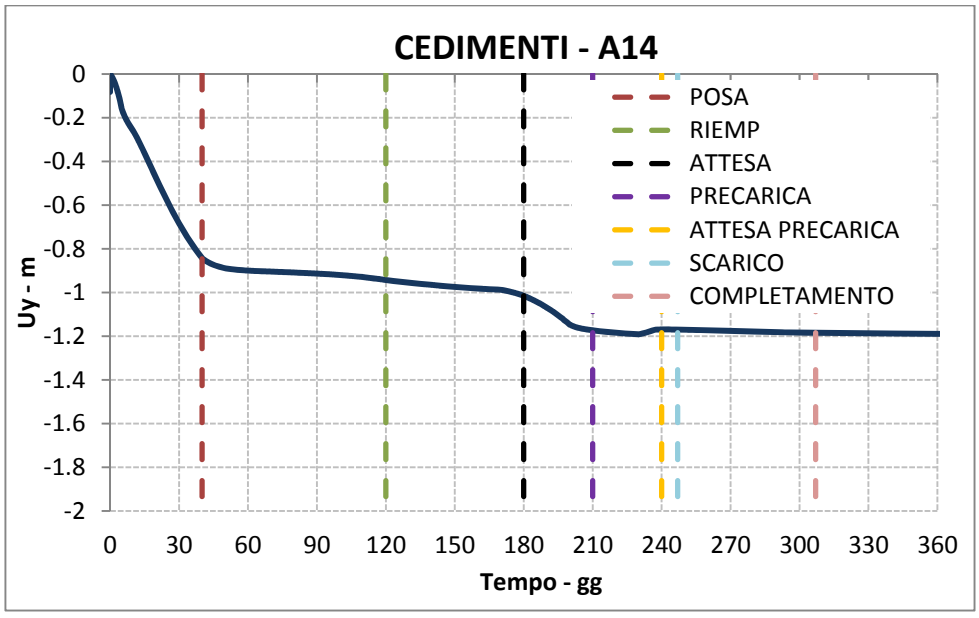
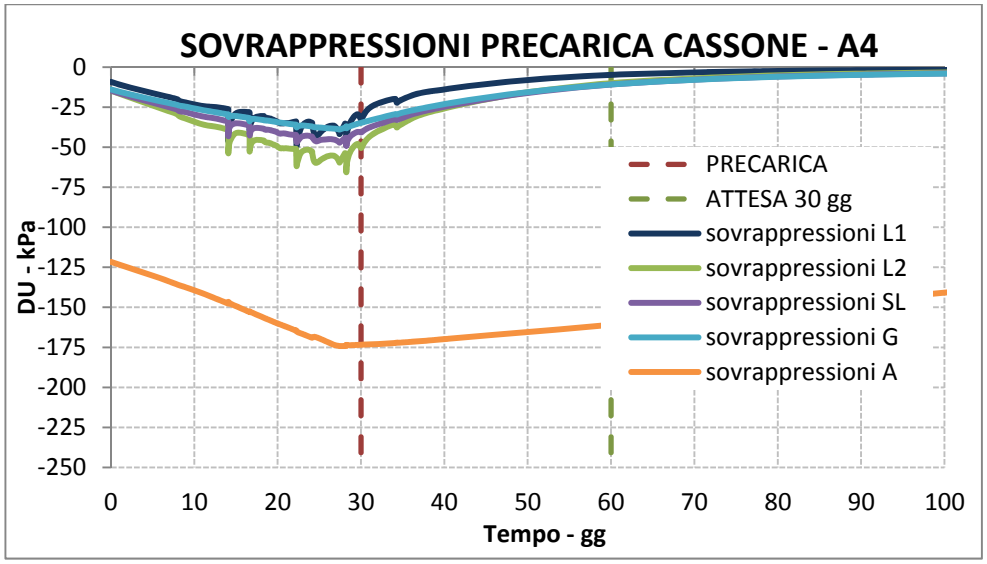


FIG. 10-2- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SPOSTAMENTI DI COSTRUZIONE CASSONE A4 – A14

In Fig. 10-3 si mostrano le sovrappressioni per il cassone A4 più critico nei terreni di fondazione sia sotto al cassone che sotto al rilevato a tergo, relativamente alla

sola fase di precarica, lasciando consolidare il carico completamente. Si osserva come la tempistica considerata permetta la completa consolidazione dei terreni di fondazione sia sotto al cassone che sotto al rilevato. Soltanto l'argilla di base mostra chiaramente dei tempi di consolidazione maggiori. Essendo però tale strato già sovraconsolidato, l'obiettivo della precarica è comunque raggiunto.



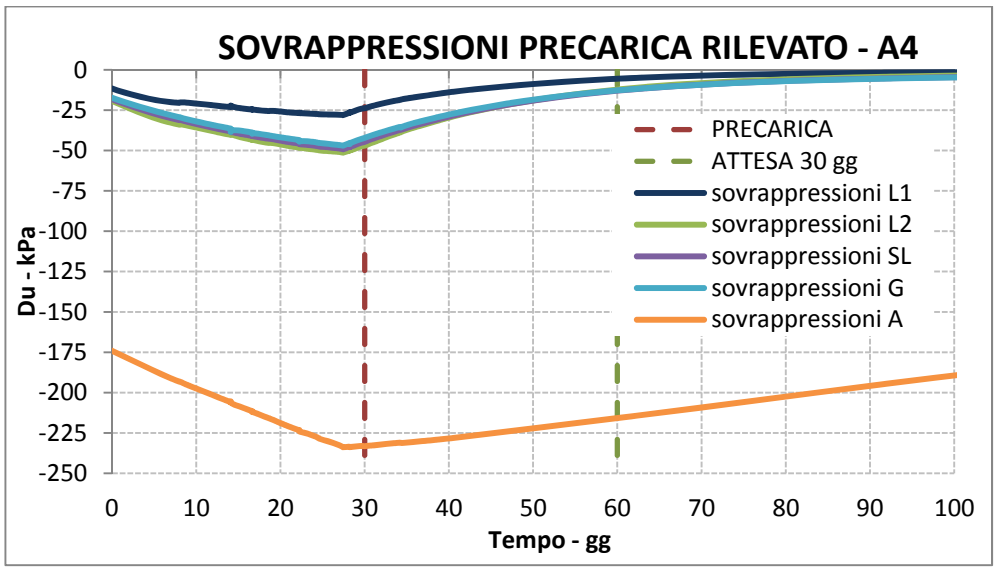


FIG. 10-3- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE –SOVRAPPRESSIONI IN FONDAZIONE DURANTE LA PRECARICA - CASSONE A4

Nella seguente Fig. 10-4 si riportano inoltre gli spostamenti orizzontali del cassone A4 durante le diverse fasi costruttive. Come si può osservare si osserva durante la posa ed il riempimento, uno spostamento lato terra di circa 0.22 m (spostamento negativo), che si inverte lato mare invece durante la fase di precarica.

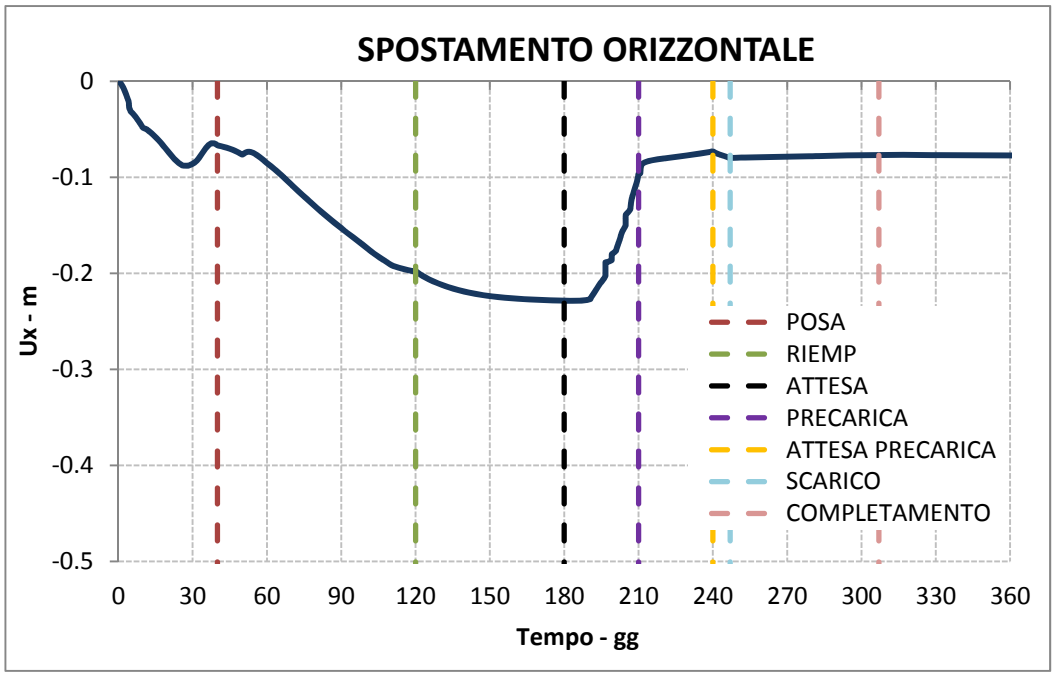


FIG. 10-4- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SPOSTAMENTI ORIZZONTALI - CASSONE A4

10.5.2. Fasi di esercizio

Al fine di massimizzare gli spostamenti in fase di esercizio, i diversi carichi agenti sono stati applicati in condizioni drenate e successivamente combinati secondo la combinazione rara di stato limite di esercizio, combinazione corrispondente agli stati limite irreversibili per la struttura.

Si riportano qui di seguito le aliquote di spostamento orizzontale e verticale del cassone, per ciascun carico di esercizio (gli spostamenti sono positivi se verso mare e se sono dei cedimenti).

CASSONE A4		
CARICO	Uy [cm]	Ux [cm]
Cassone 40 kPa e Riempimento 40 kPa	2.3 (terra) 1.7 (mare)	-
Gru	0 (terra) 2.2 (mare)	1.6
Bitta	-	-
Onda	0 (terra) 1.3 (mare)	1.5

CASSONE A14		
CARICO	Uy [cm]	Ux [cm]
Cassone 40 kPa e Riempimento 40 kPa	3.2 (terra) 2.5 (mare)	-
Gru	0 (terra) 3 (mare)	1.9
Bitta	-	-
Onda	0 (terra) 1.4 (mare)	1.1

Combinando gli spostamenti si ottiene:

CASSONE A4

$U_{y_terra} = 2.3cm$

$U_{y_mare} = 4cm$

$U_x = 2cm$

CASSONE A14

$U_{y_terra} = 3.2cm$

$U_{y_mare} = 5.4cm$

$U_x = 2cm$

Per quanto riguarda invece il rilevato a tergo del cassone si ottengono i seguenti risultati, in termini di cedimenti verticale.

CASSONE A4	
CARICO	Uy [m]
Sovraccarico sul cassone 40 kPa	0.023
Sovraccarico sul riempimento a tergo 40 kPa	0.03
Differenziale rilevato/cassone 0.001 m	

CASSONE A14	
CARICO	Uy [m]
Sovraccarico sul cassone 40 kPa	0.032
Sovraccarico sul riempimento a tergo 40 kPa	0.045
Differenziale rilevato/cassone 0.002 m	

10.6. Verifiche di Stato Limite Ultimo (SLU)

Le verifiche di stabilità globale sono state svolte tramite il codice all'equilibrio limite GSTABL per il cassone A4 senza dragaggio ed il cassone A14 con dragaggio.

Così come richiesto dalla normativa tali verifiche si sono svolte secondo la combinazione A2+M2+R2. Il coefficiente di sicurezza così ottenuto dovrà quindi risultare superiore a 1.1.

Allo stesso modo le analisi sono state ripetute per verificare anche la capacità portante, applicando però in questo caso la combinazione A1+M1+R3. Il coefficiente di sicurezza così ottenuto dovrà quindi risultare superiore a 1.4.

In entrambi i casi le analisi hanno tenuto in considerazione la presenza di sovrappressioni nel terreno di fondazione tramite il coefficiente ru, che è stato definito nei diversi casi sulla base dei risultati ottenuti con le analisi Plaxis.

In tutte le analisi non si è modellato il cassone, ma si è direttamente applicata la distribuzione di carico alla base di questo, calcolata considerando i diversi carichi agenti in ogni fase, ciascuno con il proprio braccio.

10.6.1. Fasi costruttive – A4

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte in corrispondenza delle fasi costruttive più critiche, ossia:

- posa cassone
- applicazione della precarica

Nelle fasi temporanee si è considerato un carico derivante da un moto ondoso relativo ad un tempo di ritorno di 5 anni. A favore di sicurezza nel primo caso si è considerato il carico relativo alla cresta d'onda, non essendo ancora presente il riempimento a tergo, mentre nel secondo caso si è considerato il cavo d'onda.

In Fig. 10-5 e Fig. 10-6 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica.

I fattori di sicurezza risultano:

SEZIONE A4 – fasi temporanee

- posa cassone – capacità portante: Fs = 1.83
- posa cassone – stabilità globale: Fs = 1.23
- precarica cassone – capacità portante: Fs = 1.73
- precarica cassone – stabilità globale: Fs = 1.32

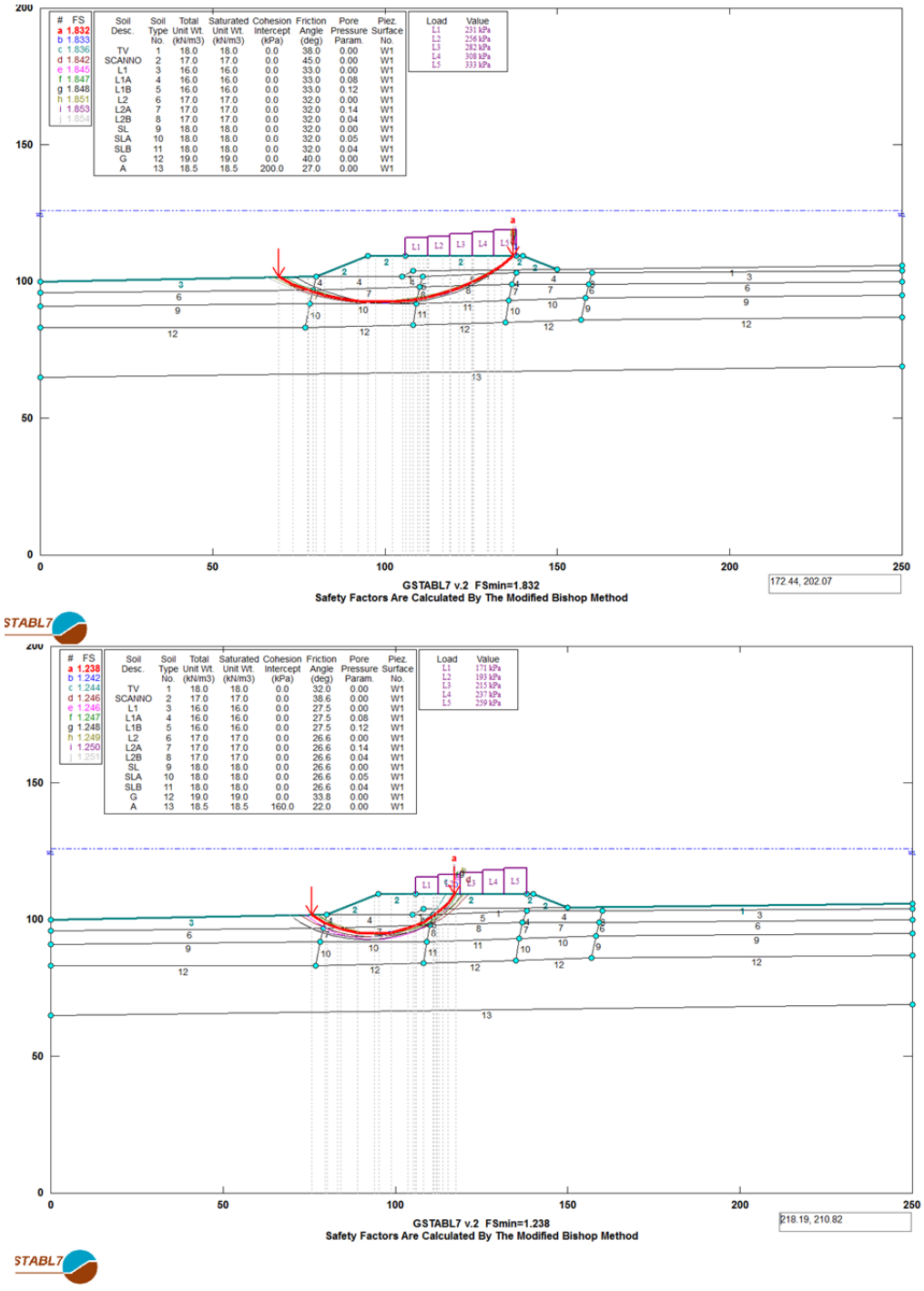
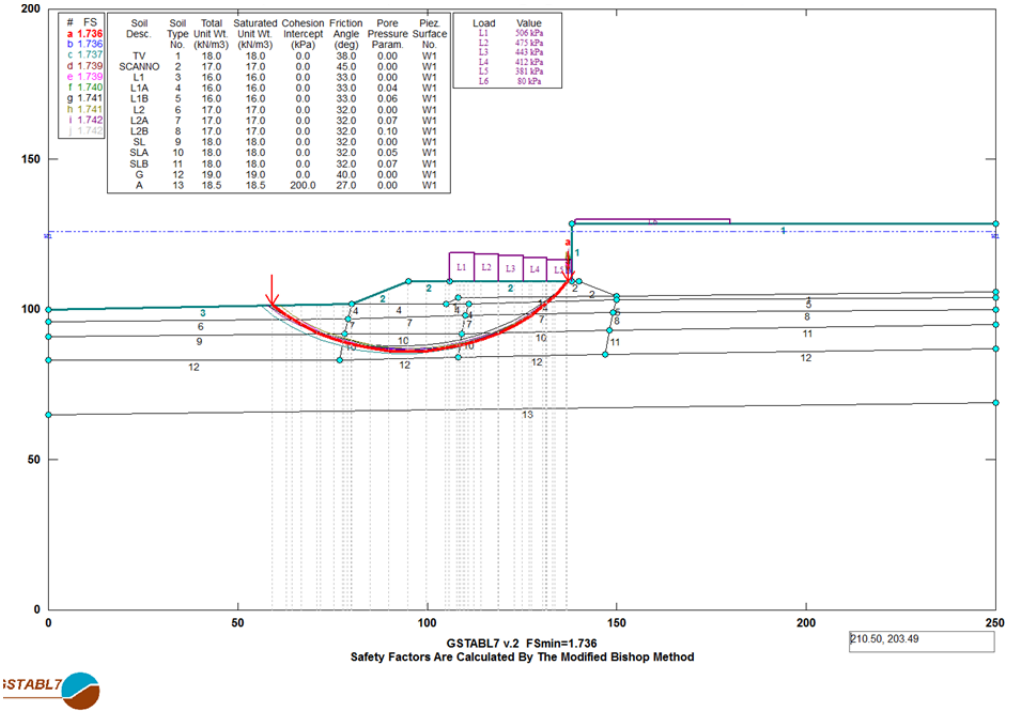


FIG. 10-5- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE POSA CASSONE A4– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE



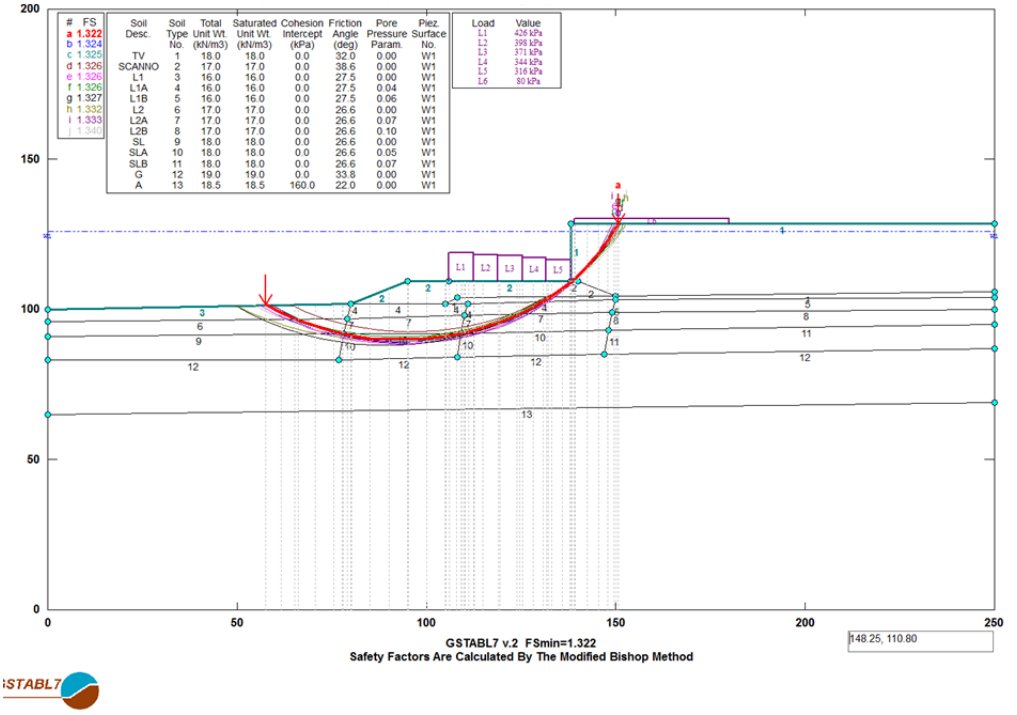


FIG. 10-6- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE PRECARICA CASSONE A4– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

10.6.2. Fase di esercizio – A4

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte considerando le condizioni di carico più critiche:

- Esercizio + carichi di esercizio
- Esercizio + sisma

Per quanto riguarda i carichi di esercizio, nell'analisi si sono considerati tutti i carichi di esercizio, opportunamente combinati secondo la combinazione di stato limite ultimo. Per quanto riguarda l'onda si è considerata la condizione più sfavorevole, ossia il cavo d'onda, così da massimizzare il momento agente.

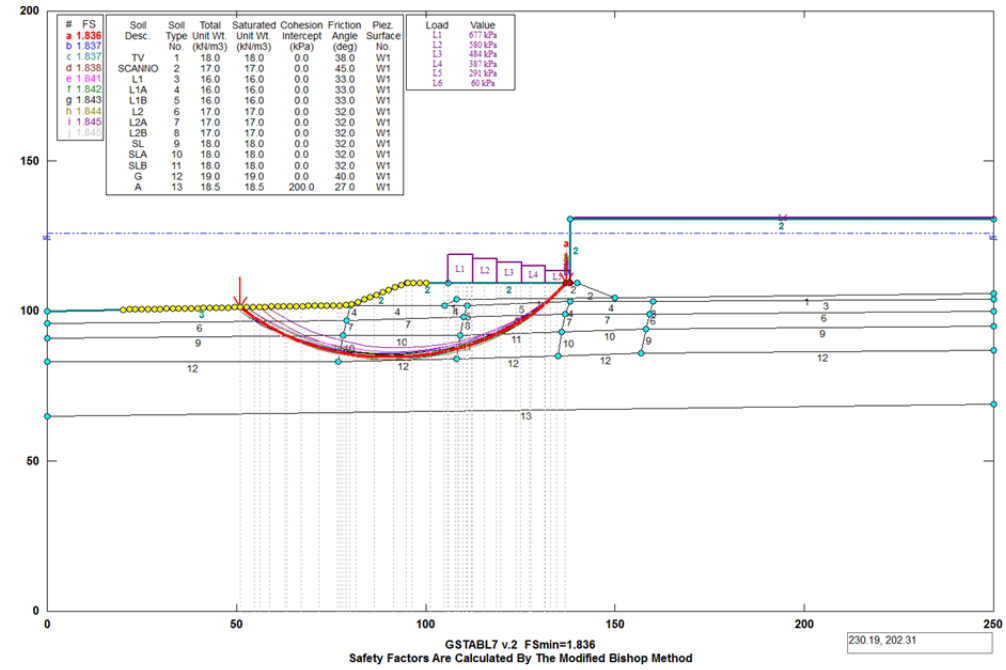
IN

Fig. 10-7 e Fig. 10-8 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica.

I fattori di sicurezza risultano:

SEZIONE A4 – esercizio

- Esercizio + cavo – capacità portante: Fs = 1.83
- Esercizio + cavo – stabilità globale: Fs = 1.42
- Esercizio + sisma – capacità portante: Fs = 1.83
- Esercizio + sisma – stabilità globale: Fs = 1.62



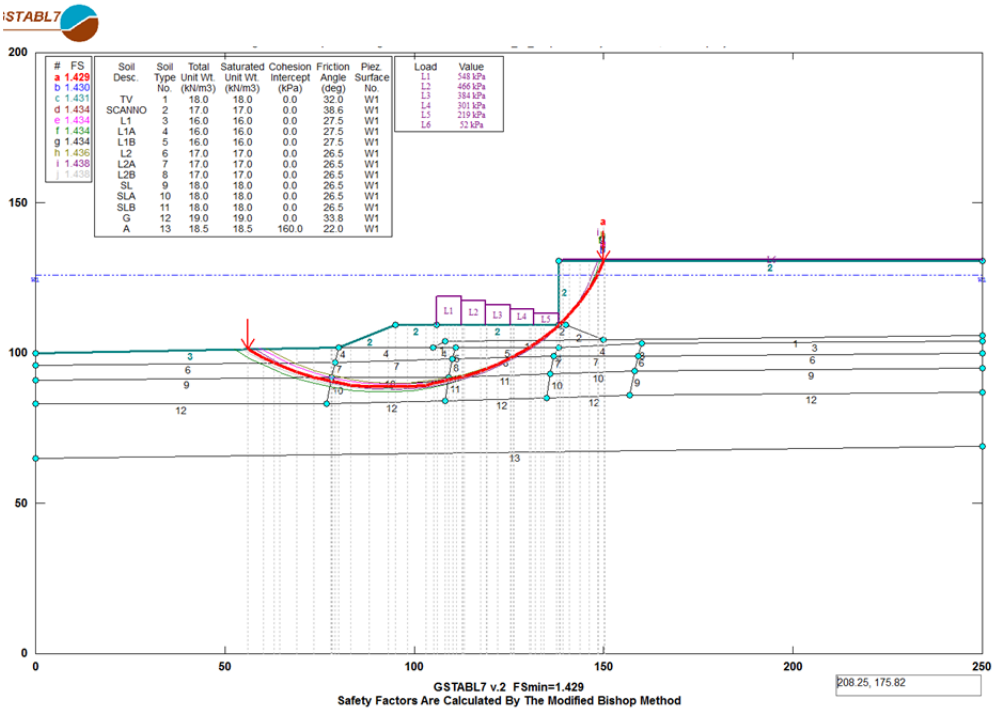


FIG. 10-7- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON ONDA – CASSONE A4 – CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

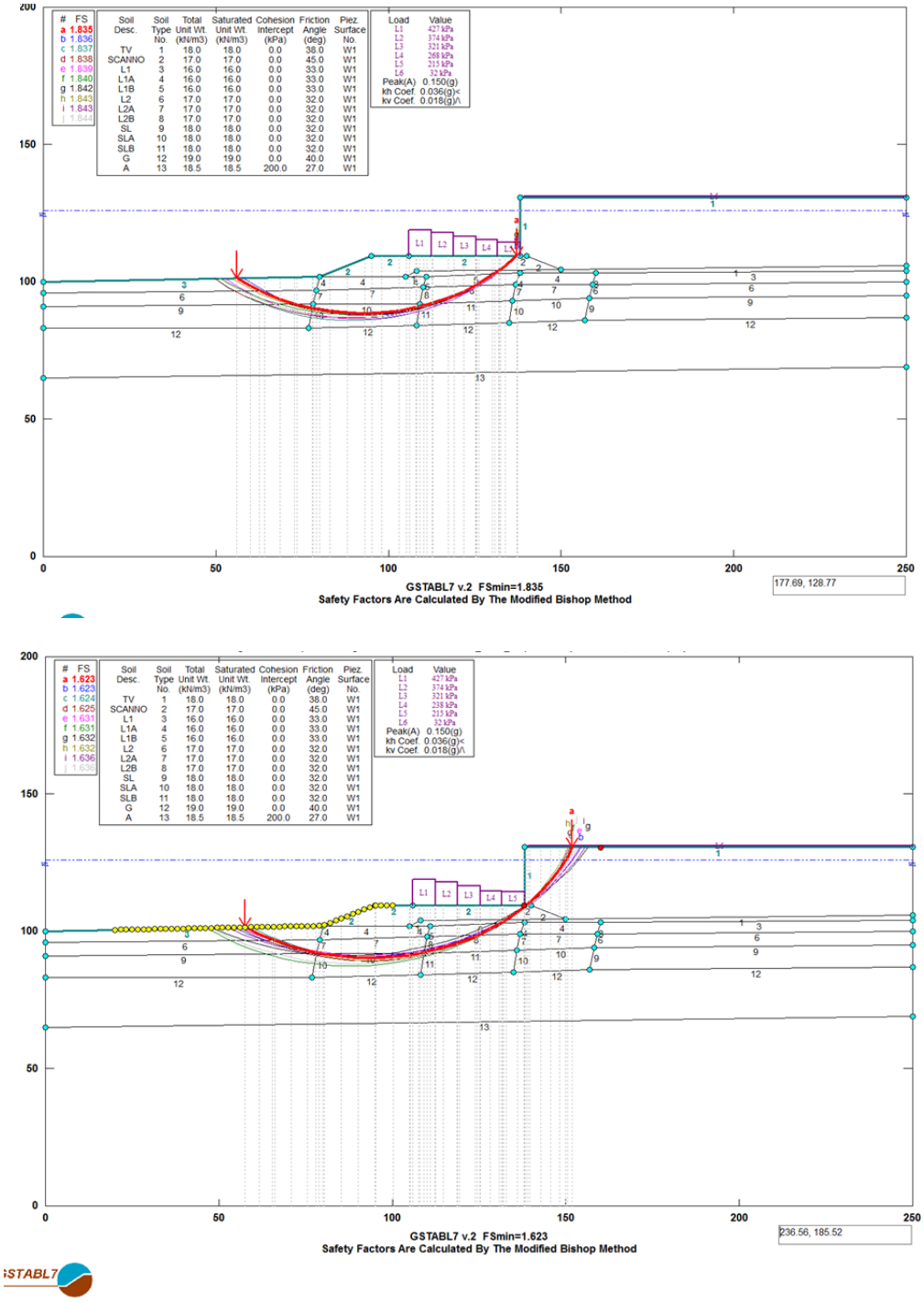


FIG. 10-8- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON SISMA – CASSONE A4– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

10.6.3. Fasi costruttive – A14

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte in corrispondenza delle fasi costruttive più critiche, ossia:

- posa cassone
- applicazione della precarica

Nelle fasi temporanee si è considerato un carico derivante da un moto ondoso relativo ad un tempo di ritorno di 5 anni. A favore di sicurezza nel primo caso si è considerato il carico relativo alla cresta d'onda, non essendo ancora presente il riempimento a tergo, mentre nel secondo caso si è considerato il cavo d'onda.

IN FIG. 10-9 E

Fig. 10-10 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica.

I fattori di sicurezza risultano:

SEZIONE A14 – fasi temporanee

- posa cassone – capacità portante: Fs = 2.22
- posa cassone – stabilità globale: Fs = 1.5
- precarica cassone – capacità portante: Fs = 2.07
- precarica cassone – stabilità globale: Fs = 1.56

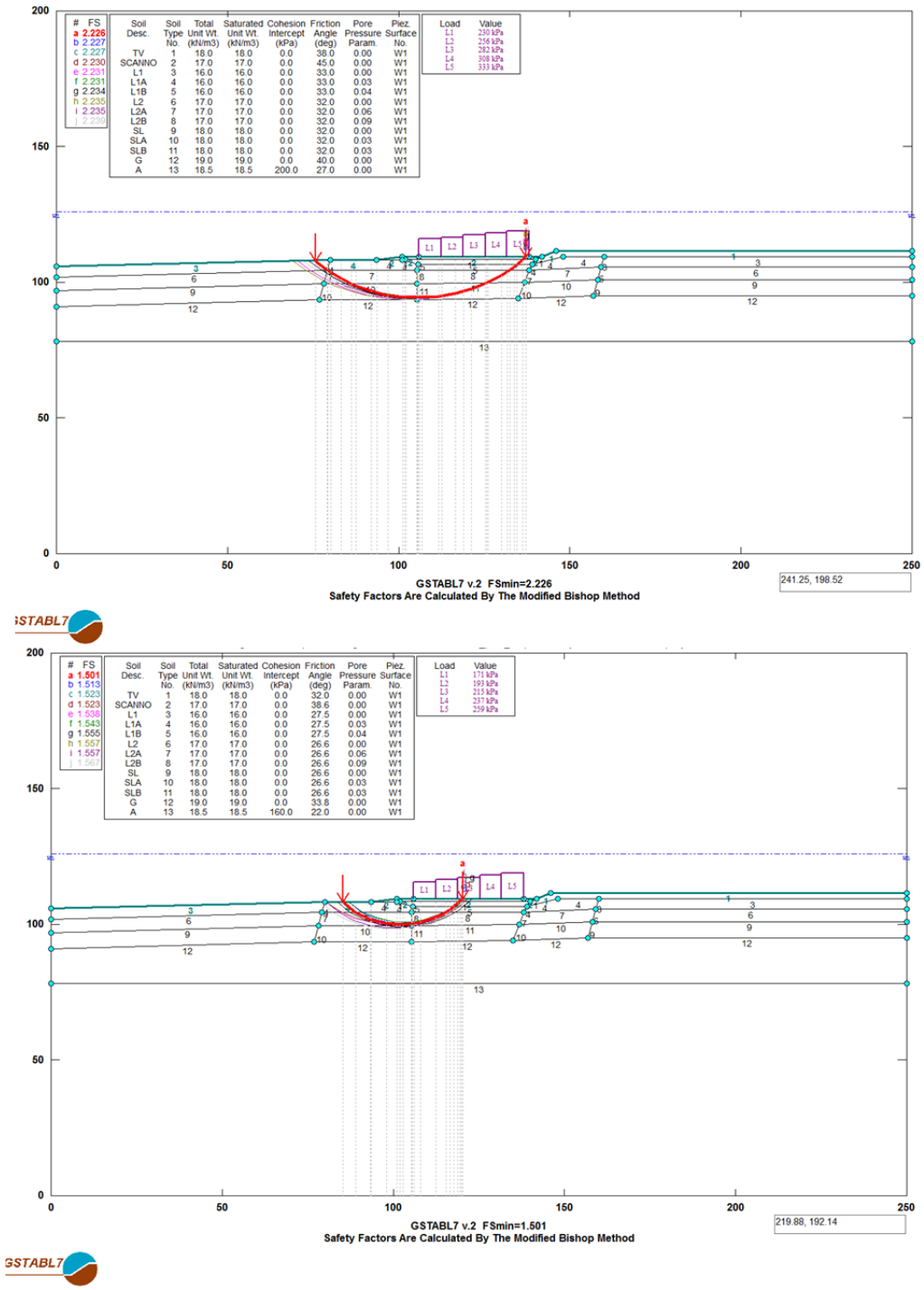


FIG. 10-9- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE POSA CASSONE A14– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

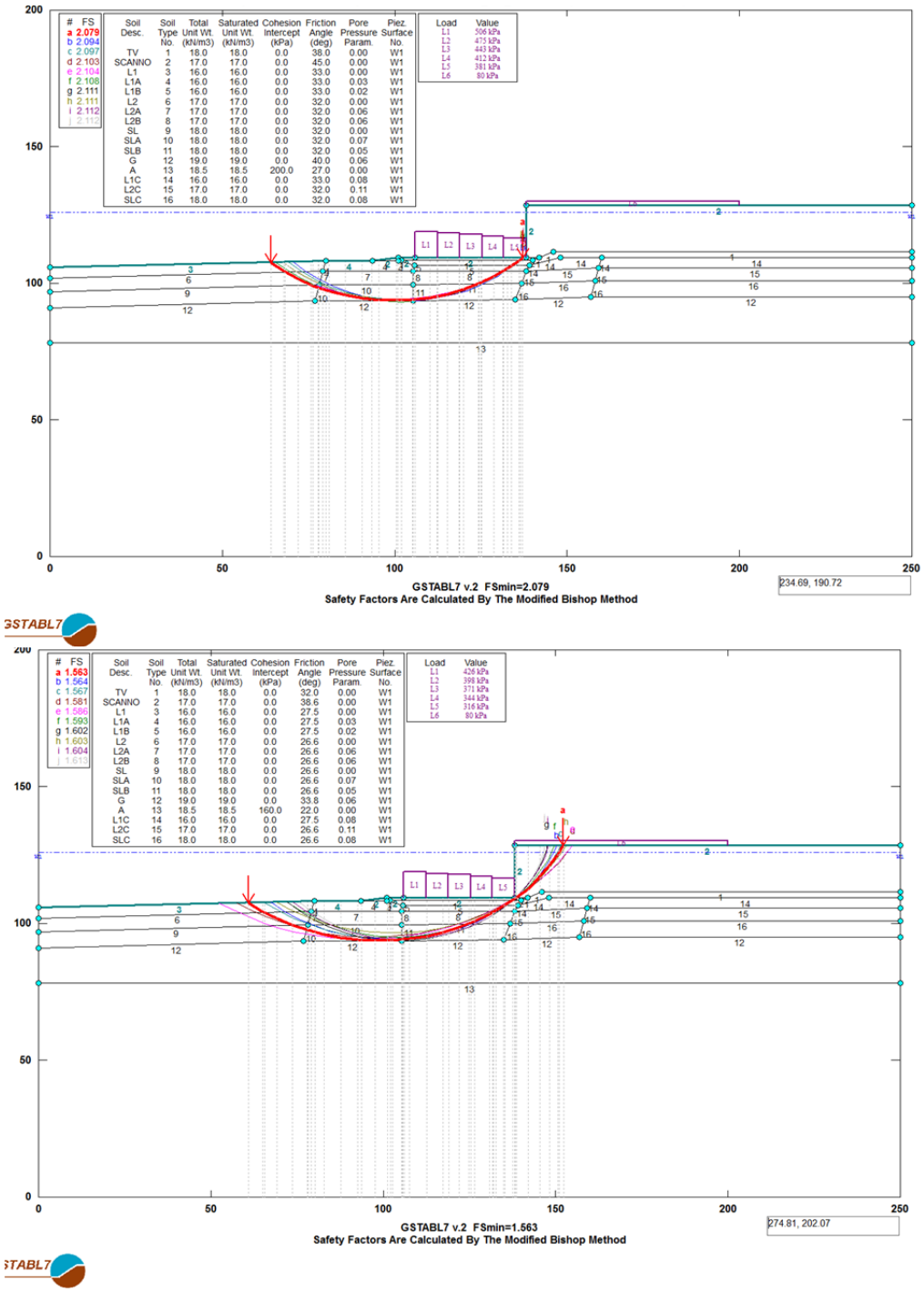


FIG. 10-10- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE PRECARICA CASSONE A14 – CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

10.6.4. Fase di esercizio – A14

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte considerando le condizioni di carico più critiche:

- Esercizio + carichi di esercizio
- Esercizio + sisma

Per quanto riguarda i carichi di esercizio, nell'analisi si sono considerati tutti i carichi di esercizio, opportunamente combinati secondo la combinazione di stato limite ultimo. Per quanto riguarda l'onda si è considerata la condizione più sfavorevole, ossia il cavo d'onda, così da massimizzare il momento agente.

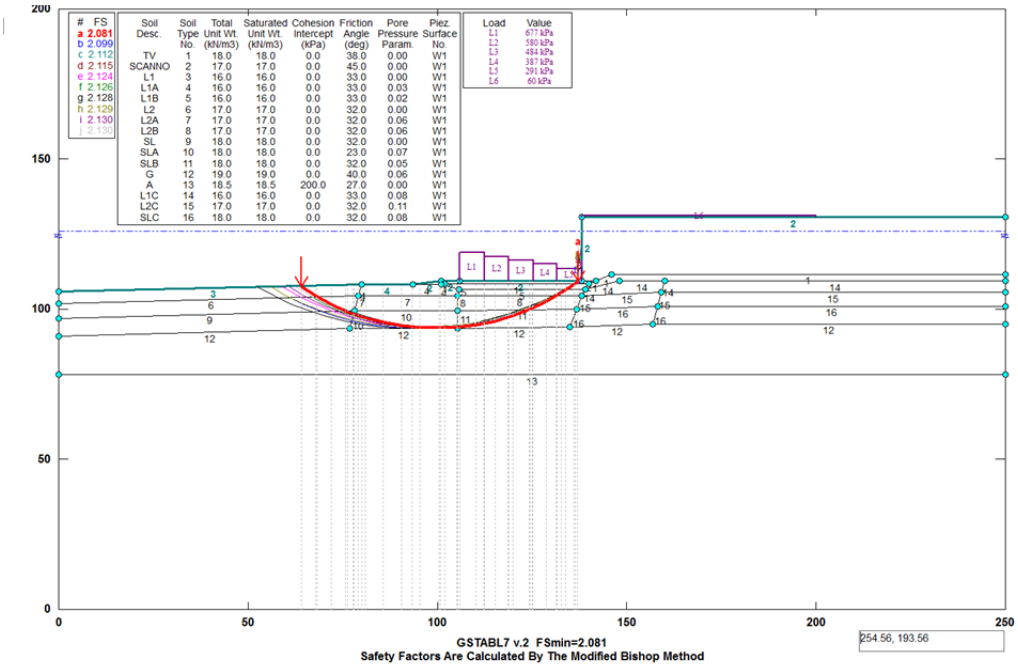
IN

Fig. 10-11 e Fig. 10-12 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica.

I fattori di sicurezza risultano:

SEZIONE A14 – esercizio

- Esercizio + cavo – capacità portante: Fs = 2.08
- Esercizio + cavo – stabilità globale: Fs = 1.64
- Esercizio + sisma – capacità portante: Fs = 2.01
- Esercizio + sisma – stabilità globale: Fs = 1.79



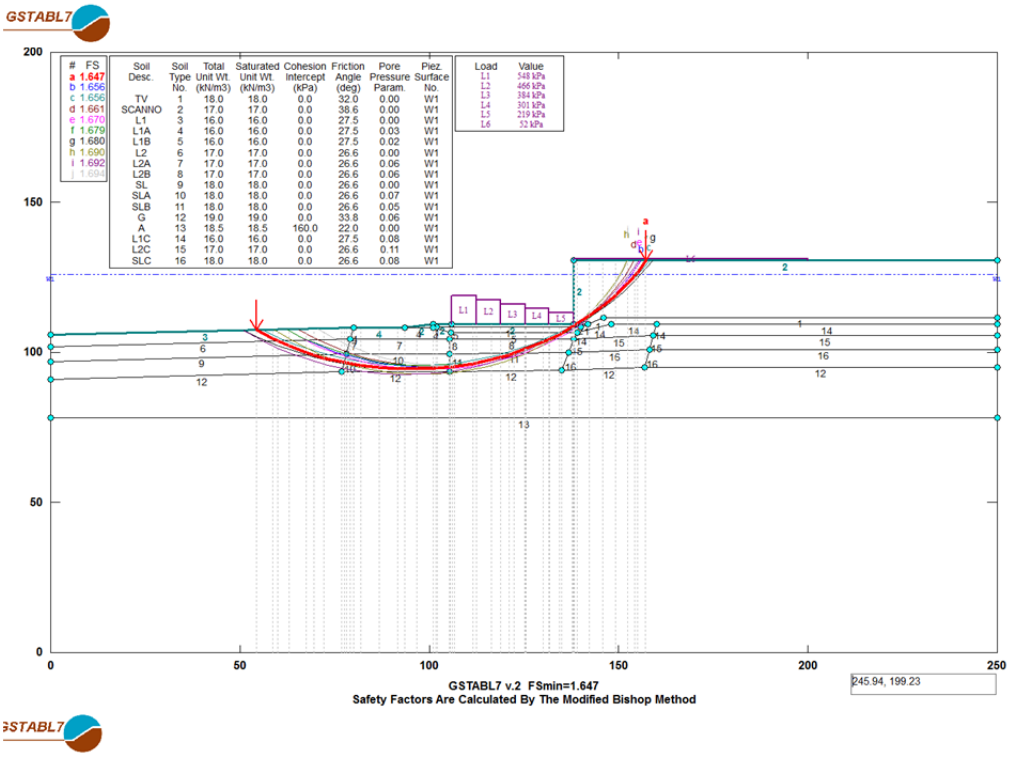
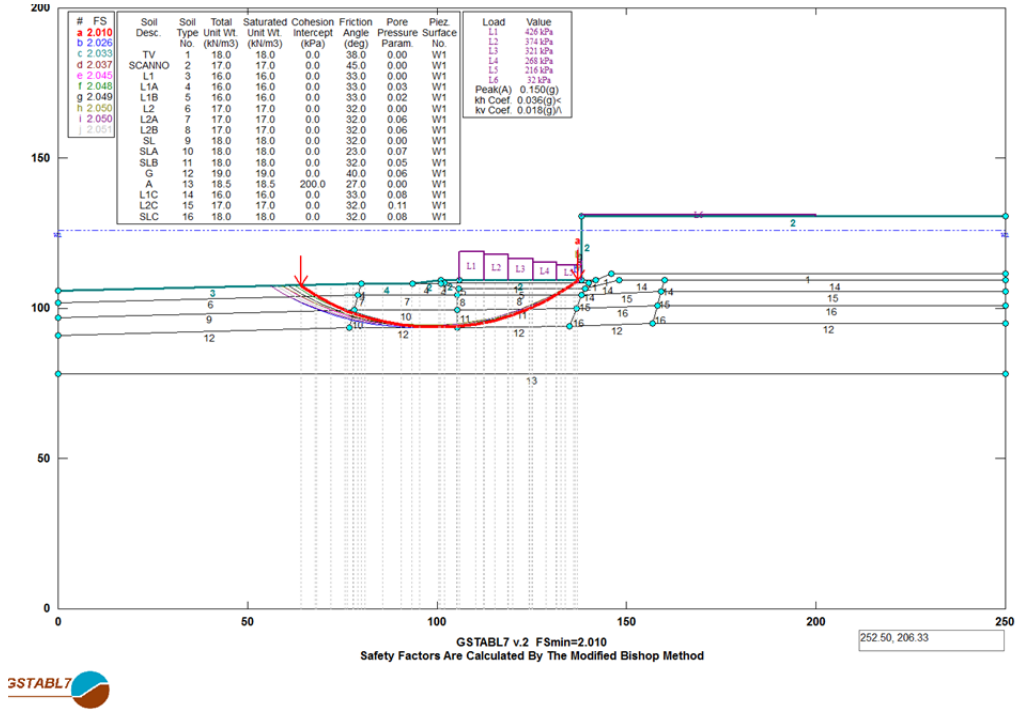


FIG. 10-11- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON ONDA – CASSONE A14 – CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE



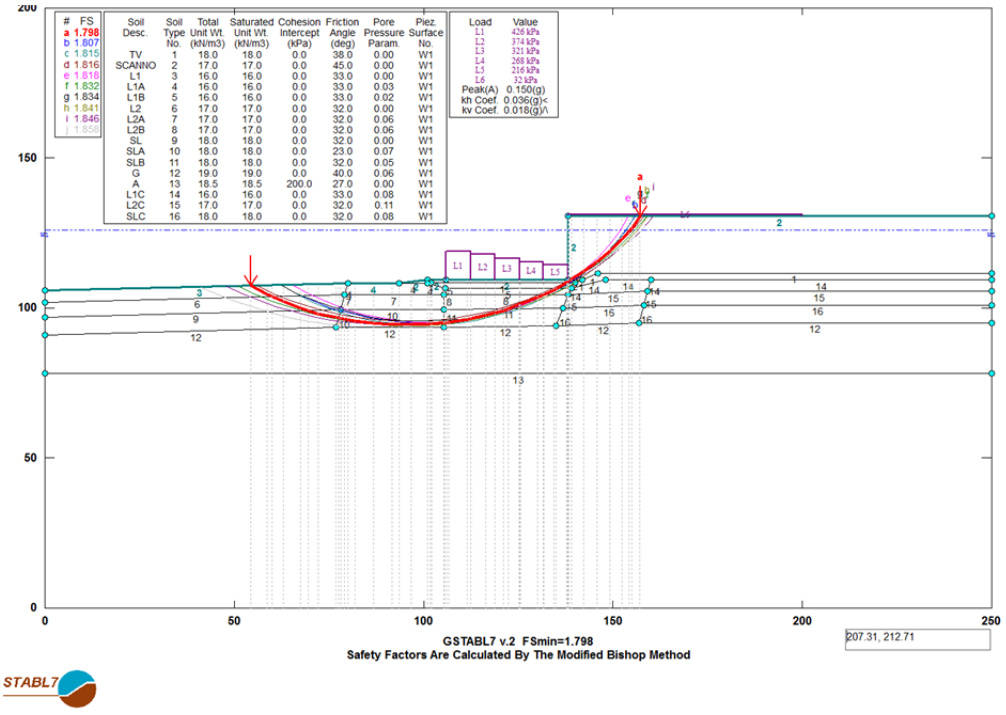


FIG. 10-12- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON SISMA – CASSONE A14– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

10.6.5. Sintesi dei fattori di sicurezza ottenuti dalle analisi

TAB. 10-3 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – CASSONE TIPO A4 – A14

	POSA CASSONE	PRECARICA	ESERCIZIO	SISMA
A4 - Capacità portante	1.83	1.73	1.83	1.83
A4 - Stabilità globale	1.23	1.32	1.42	1.62
A14 - Capacità portante	2.22	2.07	2.08	2.01
A14 - Stabilità globale	1.50	1.56	1.64	1.79

11. CASSONI BANCHINA PETROLI

11.1. Generalità

Tutti i cassoni presenti lungo la banchina petroli saranno imbasati alla quota -13 m l.m.m. Lungo tutta tale banchina è presente un dragaggio alla -15 m l.m.m.
Seguirà quindi la posa di 1 m di bonifico e di 1 m di scanno per raggiungere la quota di imbasamento dei cassoni.
A tergo dei cassoni, analogamente agli altri, è previsto il riempimento in terra. I cassoni hanno dimensioni 17.45 x 32 m e un'altezza di 15.5 m raggiungendo così la +2.50 m l.m.m.
Al di sopra della +2.50 verrà eseguita la sovrastruttura e la pavimentazione che porterà il cassone alla quota finale di +4.50 m l.m.m.
Questi cassoni risultano essere i meno critici sia da un punto di vista della stabilità che dei cedimenti in quanto, essendo imbasati ad una quota inferiore, scaricano un carico inferiore e sono tutti interessati dal dragaggio, che mediamente rimuove da 1 a 4 m di materiale. Questo implica che buona parte o tutto L1 viene rimosso, riducendo le problematiche geotecniche.
Si presenteranno nel seguito le analisi di stabilità relative soltanto al cassone più critico, ossia il cassone H2, in corrispondenza dei fondali maggiori e dove quindi il dragaggio rimuove soltanto 1 m di L1, mentre in termini di cedimenti si riportano i risultati per il cassone tipo H2 e H10, nell'area di maggior dragaggio.

11.2. Carichi

La Tab. 11-1 che segue riepiloga i carichi verticali permanenti e variabili, agenti sui cassoni e di conseguenza in fondazione.
A detti carichi va aggiunto il tiro della bitta (62.3 KN/m), la spinta del terrapieno tenendo presente un sovraccarico di 20 KPa sul terrapieno a tergo ed il sisma.
Sulla base di tali carichi è stata quindi definita l'entità della precarica sul cassone tipo. In particolare si è considerato il peso della sovrastruttura e dei sovraccarichi di esercizio:

$$q_{precarica} = 49.3 + 7.8 + 20 \cong 80 kPa$$

TAB. 11-1 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – CASSONI BANCHINA PETROLI 17.45 X 32 M			
DESCRIZIONE	TIPOLOGIA	CARICO (KN/m)	PRESSIONE (KPa)
Peso cassone	Permanente	1581.72	90.6
Sovrastruttura	Permanente	860.9	49.3
Pavimentazione	Permanente	137	7.8
Zavorra cassone	Permanente	4157.8	238.3
Sottospinta	Permanente	-2307.3	-132.2
Parziale carichi permanenti		4430.12	253.8
Sovraccarico esercizio	Variabile	349	20
Parziale carichi variabili		349	20

Nella definizione di tale carico non si tiene in considerazione il carico indotto dal sovraccarico di esercizio del rilevato a tergo, poiché si è considerato che la precarica di questo avvenga contemporaneamente a quella del cassone. Allo stesso modo, considerando che la precarica avvenga da terra, ossia tramite il rilevato a tergo, si è considerato che siano almeno posati il cassone prima e dopo e che entrambi siano contemporaneamente precaricati. In questo modo l'entità della precarica stessa non contiene l'aliquota di carico indotto dalla posa/precarica del cassone adiacente.

L'entità della precarica del rilevato risulta invece pari alla somma del sovraccarico di esercizio e del peso dei 2 metri di terra necessari a raggiungere la +4.50 m l.m.m.:

$$q_{precarica} = 38 + 20 \cong 60 kPa$$

11.3. Stratigrafia di riferimento

L'allineamento H2-H11 prevede, come prima anticipato, il dragaggio sotto tutti i cassoni, che risulteranno pertanto meno critici rispetto a quelli delle altre banchine.

Al di sotto dell'allineamento la stratigrafia è abbastanza uniforme con un progressivo approfondimento della quota fondale da circa -11 m a -14 m l.m.m. Il dragaggio alla -15 m l.m.m. pertanto eliminerà buona parte di L1 nei cassoni più a terra. In assenza di dragaggio si avrà mediamente uno spessore di L1 pari a circa 4-6 m. Sotto L1 è poi presente, lungo tutto l'allineamento, L2 con uno spessore di circa 4-5 m. Segue quindi SL con spessore variabile, che si incrementa da terra verso mare da 4 a 17 m. Lo strato di sabbia poggia quindi sulla ghiaia che mostra uno spessore variabile tra 3 e 17 m. Segue infine l'argilla di base.

11.4. Fasi costruttive e modelli realizzati

Le analisi sono state svolte definendo le fasi costruttive ottimali al fine di garantire la stabilità. Sulla base di tale fasistica si sono quindi valutati i cedimenti. Le analisi sono state svolte per il cassone più critico, ossia il cassone H2, che risulta essere quello col minor spessore di dragaggio, essendo posto sui fondali maggiori. Un ulteriore modello è stato poi svolto per il cassone H10, così da valutare il cedimento anche in corrispondenza del massimo dragaggio. Il comportamento dei restanti cassoni è estrapolato sulla base dei risultati delle analisi svolte.
Le fasi considerate sono le seguenti:

- Posa bonifico e scanno;
- Posa del cassone e parziale zavorramento
- Completamento zavorramento;
- Riempimento a tergo;
- Precarica
- Attesa
- Scarico della precarica
- Completamento con la sovrastruttura e la pavimentazione
- Carichi di esercizio.

AL FINE DI VALUTARE I CEDIMENTI IN TUTTE LE FASI COSTRUTTIVE È STATO QUINDI SVOLTO UN MODELLO AGLI ELEMENTI FINITI CON IL CODICE DI CALCOLO PLAXIS, REALIZ-

ZANDO UN'ANALISI NON CONSOLIDATA NON DRENATA IN SFORZI EFFICACI. IN QUESTO MODO SI È POTUTA SIMULARE LA TEMPISTICA DELLE VARIE FASI COSTRUTTIVE, RIUSCENDO A VALUTARE IL REALE SVILUPPO DELLE SOVRAPPRESSIONI NEL TEMPO, RENDENDO SIA IL CALCOLO DEI CEDIMENTI CHE LE ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE PIÙ ADERENTI A QUELLO CHE SARÀ IL REALE COMPORTAMENTO DELL'OPERA. IN

Fig. 11-1 si riporta la geometria dei modelli realizzati.

I terreni sono stati modellati utilizzando per L1, L2 ed A il modello costitutivo Soft soil e Modified Cam-Clay, mentre per SL e G si è utilizzato il modello Hardening Soil.

La caratterizzazione utilizzata è quella riportata in Tab. 7-2, mentre per i materiali da costruzione si è considerata quella di Tab. 7-3.

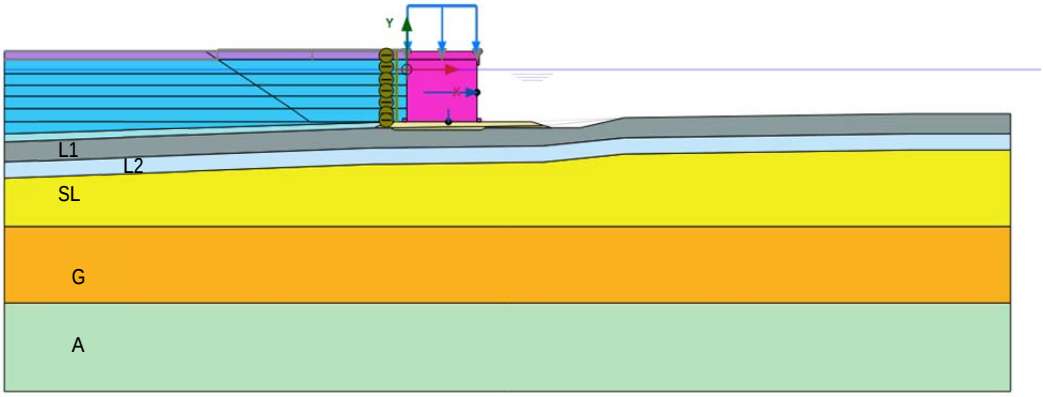
Nei seguenti paragrafi si riportano i risultati delle analisi svolte, in termini di cedimenti e stabilità.

11.5. Verifiche di Stato Limite di Esercizio (SLE)

Il modello ha simulato la fasistica di costruzione con la seguente tempistica, che risulta essere quella compatibile con i fattori di sicurezza richiesti dalla normativa:

- Posa bonifico e scanno (drenato);
- Posa del cassone e parziale zavorramento t = 5 gg;
- Attesa 5 gg
- Completamento zavorramento t = 1 mese;
- Attesa 10 gg;
- Riempimento a tergo t = 1.5 mesi;
- Attesa 2 mesi;
- Precarica cassone e rilevato t = 1 mese

CASSONE H2



CASSONE H10

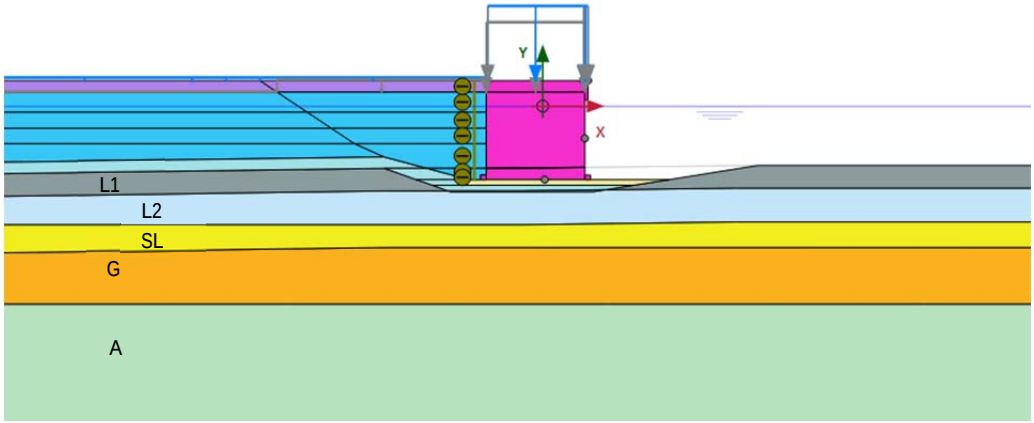


FIG. 11-1- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – MODELLO PLAXIS – CASSONE H2 E H10

- Attesa 1 mese
- Scarico della precarica t = 7 gg
- Completamento con la sovrastruttura e la pavimentazione t = 2 mesi
- Consolidazione finale
- Carichi di esercizio.

Le analisi hanno messo in evidenza come questi cassoni siano meno critici rispetto ai precedenti. La fase più critica risulta essere quella di posa cassone, che sarà opportuno svolgere solo dopo aver messo in opera lo strato di bonifico nell'area a tergo, così che funga da sovraccarico sul fondale.
Anche in questo caso sarà comunque opportuno zavorrare il cassone in due fasi. In una prima fase quindi si avrà l'affondamento con un primo zavorramento fino a circa 100 kPa. Dopo un'attesa di 5 giorni si potrà proseguire al completamento dello zavorramento, che però dovrà essere effettuato in circa 1 mese.
Prima di effettuare la precarica, dopo la fine dello zavorramento del cassone e del suo riempimento a tergo, sarà poi necessario lasciar trascorrere almeno 2 mesi. Durante tale tempo si potrà proseguire con la costruzione dei restanti cassoni. La precarica dovrà essere effettuata contemporaneamente sul cassone, sul rilevato e sui cassoni adiacenti, così da comprendere l'indotto dell'uno sull'altro.

11.5.1. Fasi costruttive

In Fig. 11-2 sono riportati gli spostamenti ottenuti dai modelli per un punto posto alla base del cassone nel tempo.
I cedimenti di costruzione ottenuti sono sintetizzati nella seguente tabella al termine delle fasi più significative.

TAB. 11-2 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI CEDIMENTI BANCHINA PETROLI

FASE	H10	H2
	Uy [m]	Uy [m]
Posa cassone	0.9	0.9
Riempimento a tergo	0.1	0.25
Precarica	0.1	0.15
TOT	1.1	1.3

Complessivamente si osserva un cedimento di costruzione che varia tra 1.1 e 1.3 m.

Per quanto riguarda il cedimento del rilevato a tergo, le analisi indicano un cedimento variabile tra circa 0.9 e 1 m.

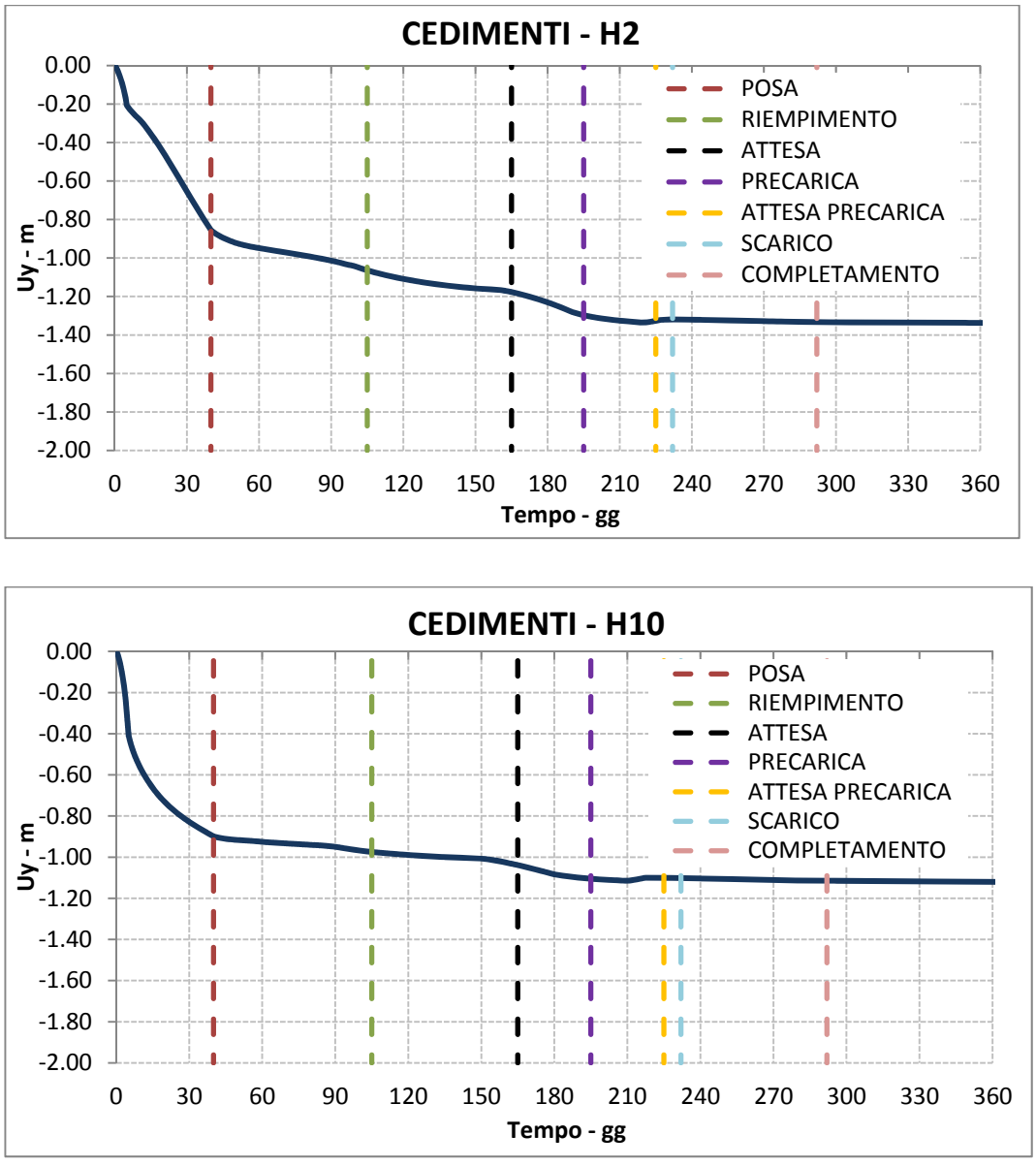


FIG. 11-2- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SPOSTAMENTI DI COSTRUZIONE CASSONE H2 E H10

Nella seguente Fig. 11-3 si riporta per il cassone H2 l'andamento dello spostamento orizzontale del cassone, che come si può osservare sono piuttosto ridotti, pari a circa 0.10 m lato terra durante il riempimento e altri 0.10 m lato mare durante la fase di precarica.

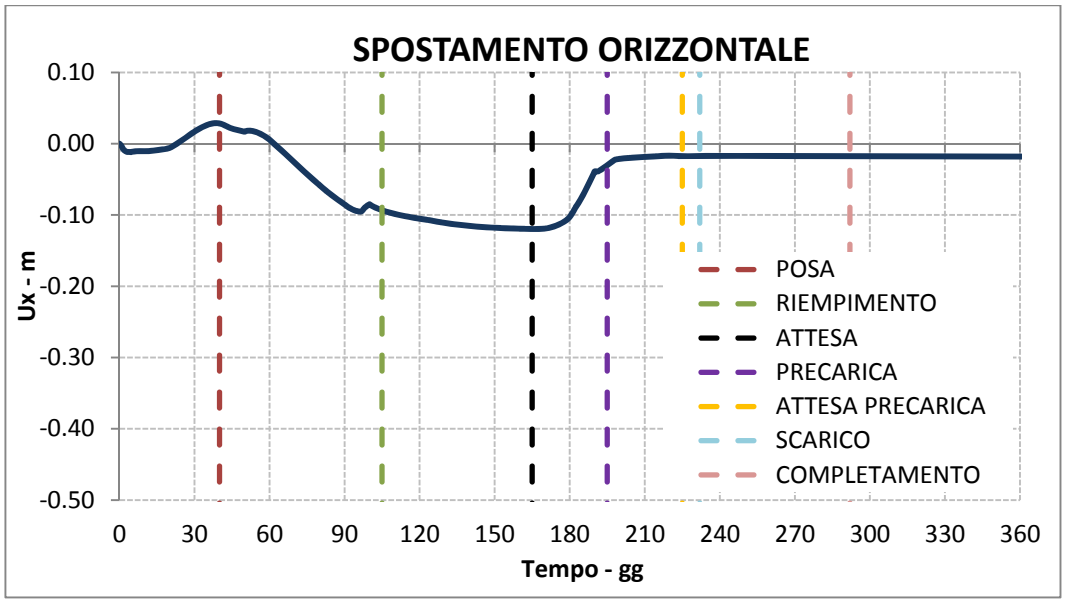


FIG. 11-3- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SPOSTAMENTI ORIZZONTALI – CASSONE H2

11.5.2. Fasi di esercizio

Al fine di massimizzare gli spostamenti in fase di esercizio, i diversi carichi agenti sono stati applicati in condizioni drenate e successivamente combinati secondo la combinazione rara di stato limite di esercizio, combinazione corrispondente agli stati limite irreversibili per la struttura.

Si riportano qui di seguito le aliquote di spostamento orizzontale e verticale del cassone, per ciascun carico di esercizio (gli spostamenti sono positivi se verso mare e se sono dei cedimenti).

CASSONE H2		
CARICO	Uy [cm]	Ux [cm]
Cassone 20 kPa e Riempimento 20 kPa	1.6 (terra) 1.4 (mare)	-
Bitta	-	-
Onda	-	-

CASSONE H10		
CARICO	Uy [cm]	Ux [cm]
Cassone 20 kPa e Riempimento 20 kPa	2 (terra) 1.3 (mare)	-
Bitta	-	-
Onda	-	-

Combinando gli spostamenti si ottiene:

CASSONE H2

$U_{y_terra} = 1.6cm$

$U_{y_mare} = 1.4cm$

$U_x = Trasc$

CASSONE H10

$U_{y_terra} = 2cm$

$U_{y_mare} = 1.3cm$

$U_x = Trasc$

Per quanto riguarda invece il rilevato a tergo del cassone si ottengono i seguenti risultati, in termini di cedimenti verticale.

CASSONE H2	
CARICO	Uy [m]
Sovraccarico sul cassone 20 kPa	0.016
Sovraccarico sul riempimento a tergo 20 kPa	0.038
Differenziale rilevato/cassone 0.001 m	

CASSONE H10	
CARICO	Uy [m]
Sovraccarico sul cassone 20 kPa	0.02
Sovraccarico sul riempimento a tergo 20 kPa	0.02
Differenziale rilevato/cassone 0.002 m	

11.6. Verifiche di Stato Limite Ultimo (SLU)

Le verifiche di stabilità globale sono state svolte tramite il codice all'equilibrio limite GSTABL per il cassone più critico, ossia per il cassone H2.
Così come richiesto dalla normativa tali verifiche si sono svolte secondo la combinazione A2+M2+R2. Il coefficiente di sicurezza così ottenuto dovrà quindi risultare superiore a 1.1.
Allo stesso modo le analisi sono state ripetute per verificare anche la capacità portante, applicando però in questo caso la combinazione A1+M1+R3. Il coefficiente di sicurezza così ottenuto dovrà quindi risultare superiore a 1.4. In entrambi i casi le analisi hanno tenuto in considerazione la presenza di sovrappressioni nel terreno di fondazione tramite il coefficiente ru, che è stato definito nei diversi casi sulla base dei risultati ottenuti con le analisi Plaxis.
In tutte le analisi non si è modellato il cassone, ma si è direttamente applicata la distribuzione di carico alla base di questo, calcolata considerando i diversi carichi agenti in ogni fase, ciascuno con il proprio braccio.

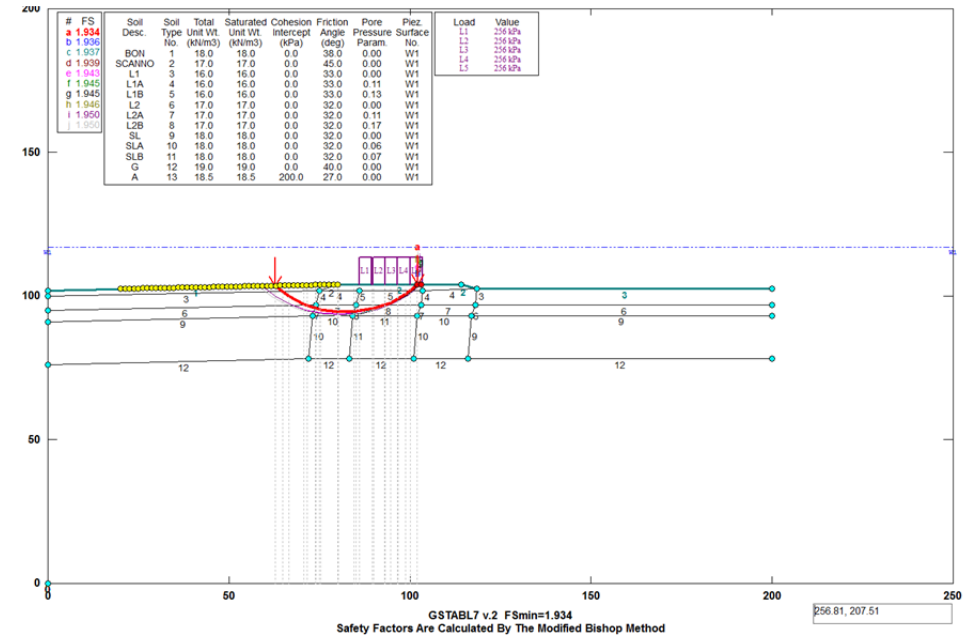
11.6.1. Fasi costruttive

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte in corrispondenza delle fasi costruttive più critiche, ossia:

- posa cassone
- applicazione della precarica

Nelle fasi temporanee non si è considerato il carico derivante da un moto ondoso poiché trascurabile per questi cassoni.

In Fig. 11-4 e Fig. 11-5 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica.



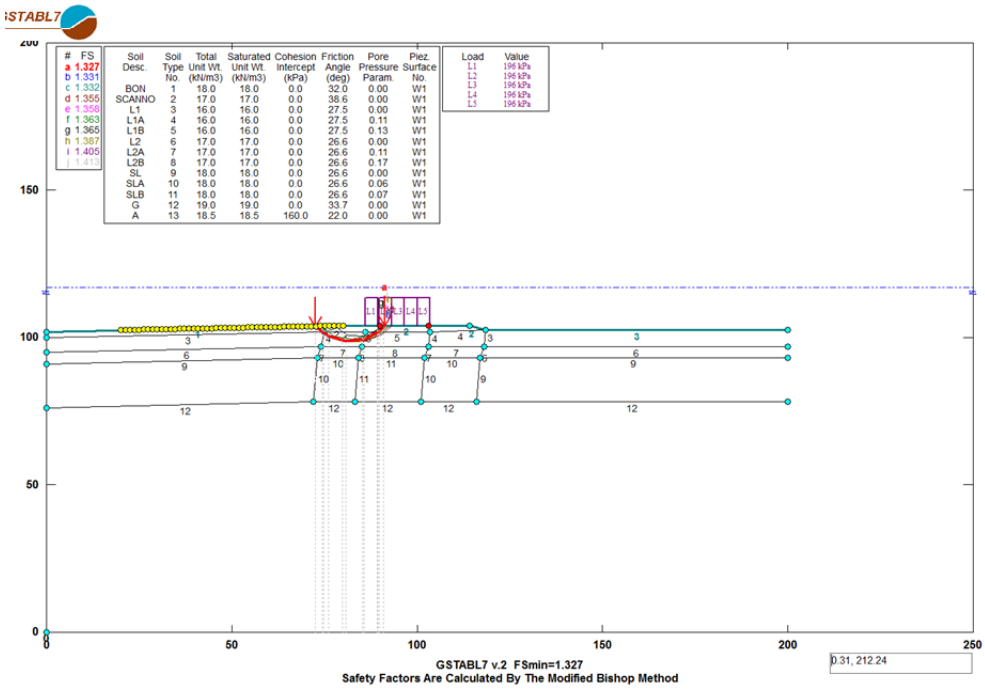


FIG. 11-4- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE POSA CASSONE H2– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

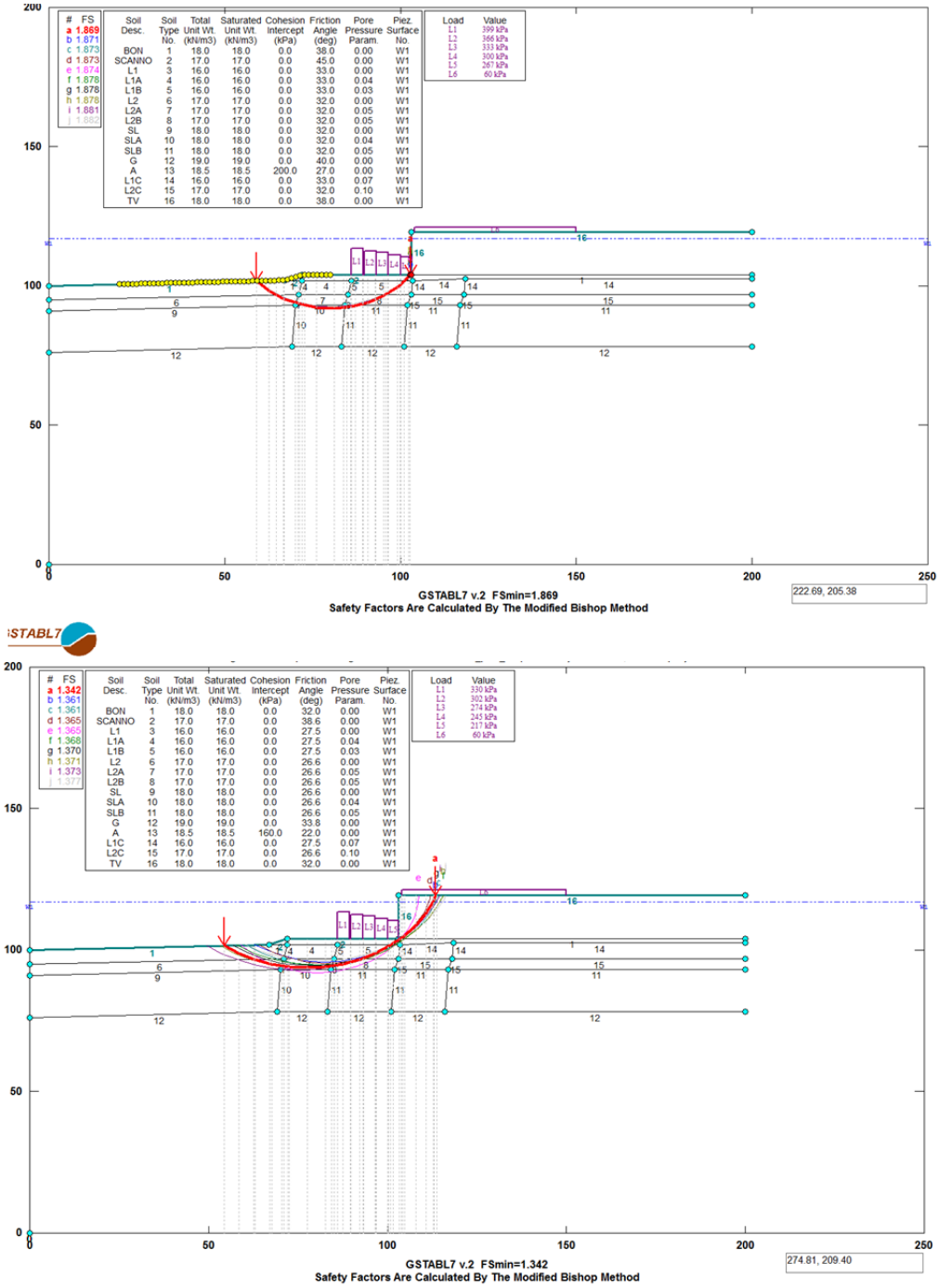


FIG. 11-5- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE PRECARICA CASSONE H2– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

I fattori di sicurezza risultano:

SEZIONE H2 – fasi temporanee

- posa cassone – capacità portante: Fs = 1.93
- posa cassone – stabilità globale: Fs = 1.32
- precarica cassone – capacità portante: Fs = 1.86
- precarica cassone – stabilità globale: Fs = 1.34

11.6.2. Fase di esercizio

Le verifiche di stabilità globale si sono svolte considerando le condizioni di carico più critiche:

- Esercizio + carichi di esercizio
- Esercizio + sisma

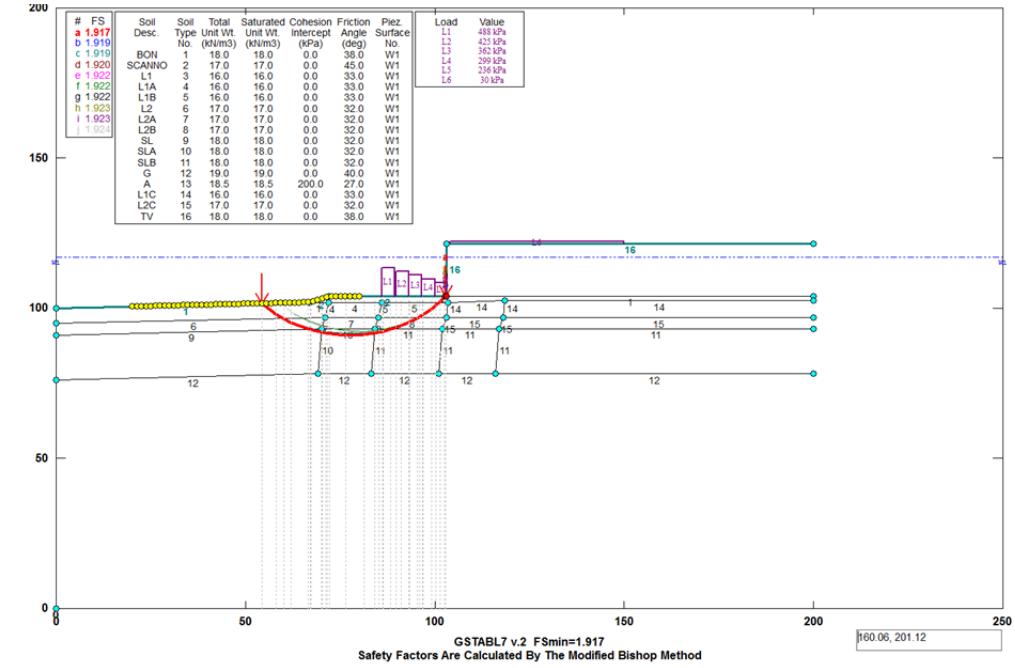
Per quanto riguarda i carichi di esercizio, nell'analisi si sono considerati tutti i carichi di esercizio, opportunamente combinati secondo la combinazione di stato limite ultimo. Per quanto riguarda l'onda si è considerata la condizione più sfavorevole, ossia il cavo d'onda, così da massimizzare il momento agente.

In Fig. 11-6 e Fig. 11-7 sono riportati i risultati dell'analisi in termini di superficie critica.

I fattori di sicurezza risultano:

SEZIONE H2 – esercizio

- Esercizio + cavo – capacità portante: Fs = 1.91
- Esercizio + cavo – stabilità globale: Fs = 1.35
- Esercizio + sisma – capacità portante: Fs = 1.95
- Esercizio + sisma – stabilità globale: Fs = 1.59



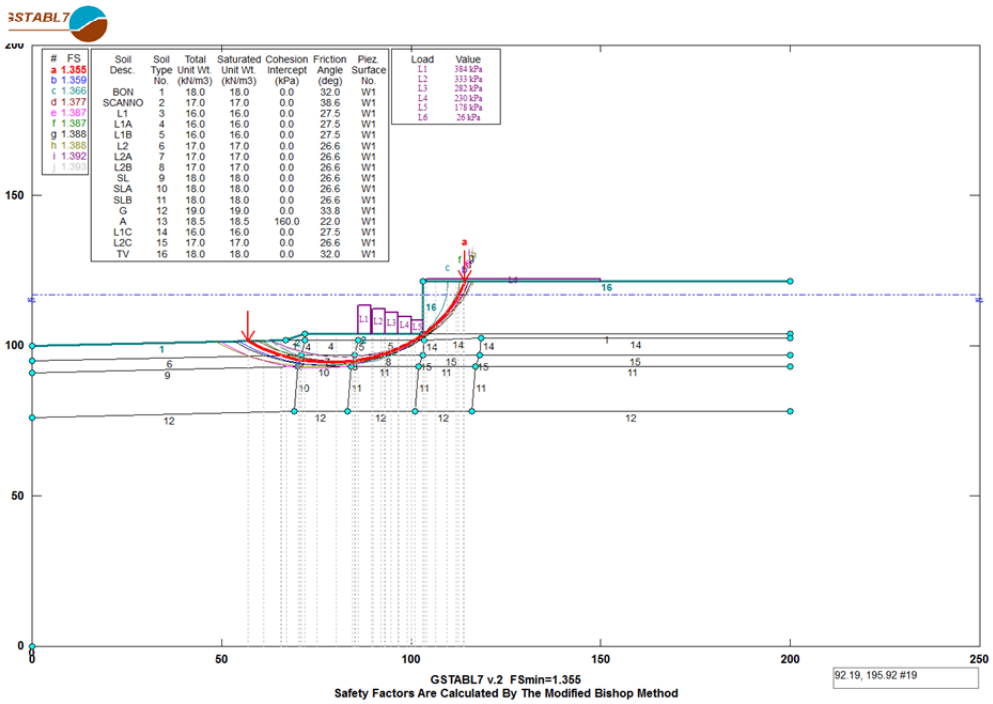


FIG. 11-6- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON ONDA – CASSONE H2 – CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

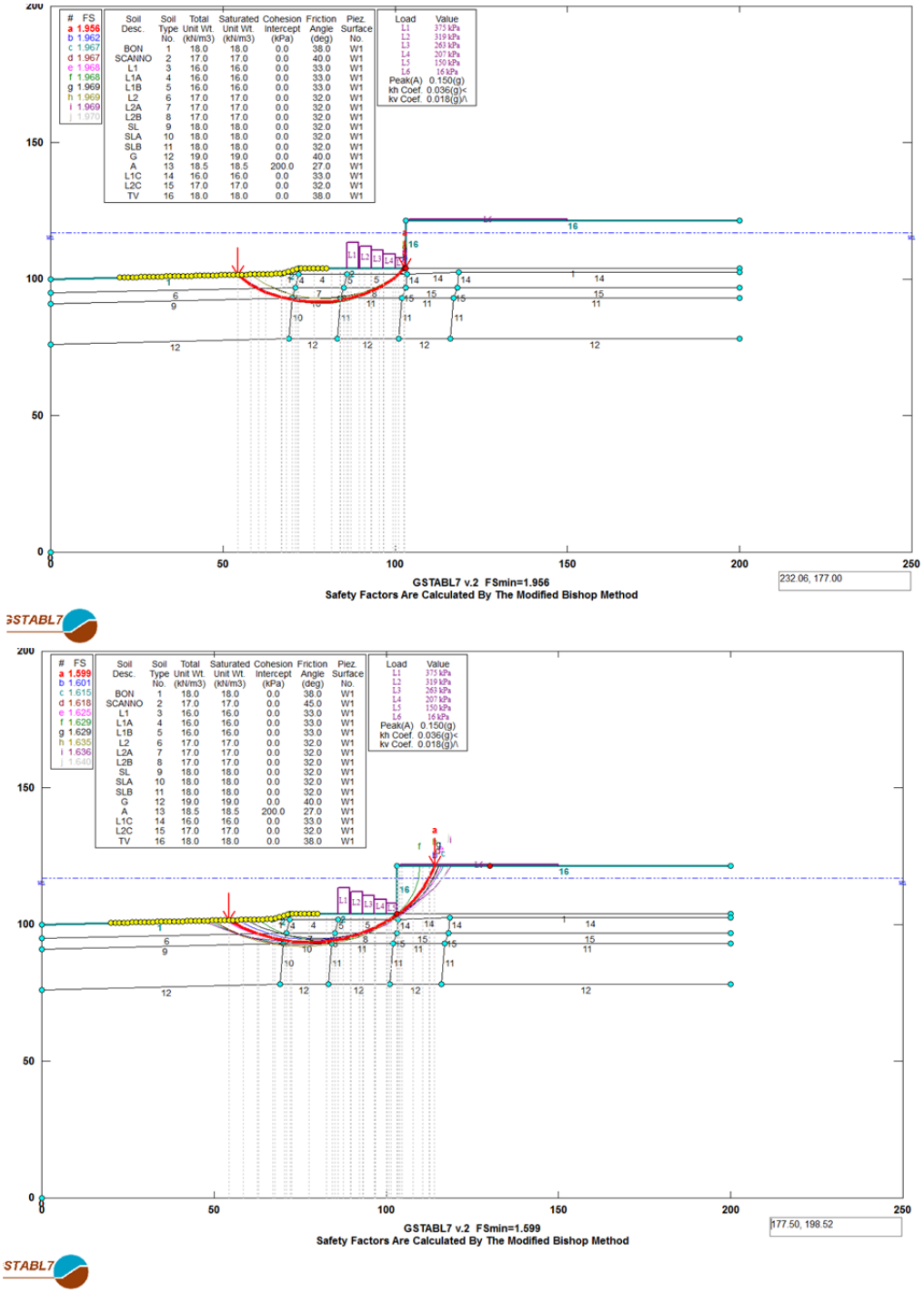


FIG. 11-7- VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – FASE ESERCIZIO CON SISMA – CASSONE H2– CAPACITA' PORTANTE E STABILITA' GLOBALE

11.6.3. Sintesi dei fattori di sicurezza ottenuti dalle analisi

TAB. 11-3 – VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – CASSONE TIPO H2

	POSA CASSONE	PRECARICA	ESERCIZIO	SISMA
Capacità portante	1.93	1.86	1.91	1.95
Stabilità globale	1.32	1.34	1.35	1.59

12. VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI

12.1. Generalità

Nei capitoli precedenti si sono riportati i valori dei cedimenti calcolati con i modelli numerici per le varie opere che definiscono la conterminazione dell'area rilevato, nonché dell'area rilevato stessa.
Il risultato del calcolo è stato fornito per tutte le sezioni analizzate ed in questo capitolo si provvede a fornire una sintesi dei risultati ottenuti e si fa una stima dei cedimenti differenziali cui saranno soggette le opere in esercizio.

12.2. Cassoni Banchina Rinfuse

La tabella che segue riporta una sintesi dei cedimenti assoluti calcolati e presentati in precedenza.

TAB. 12-1 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI CEDIMENTI DI ESERCIZIO DEI CASSONI DELLA BANCHINA RINFUSE

CONFIGURAZIONE DEI CARICHI	CASSONE B1 cm	CASSONE A1 cm	CASSONE E1 cm	CASSONE G1 cm
Carico cassone 20 kPa + Carico cassone 40 kPa	u_{y1_terra} = 2.3 u_{y1_mare} = 1.4 u_{x1} = -	u_{y1_terra} = 1.2 u_{y1_mare} = 0.8 u_{x1} = 0.5	u_{y1_terra} = 1.7 u_{y1_mare} = 1 u_{x1} = -	u_{y1_terra} = 1.8 u_{y1_mare} = 0.9 u_{x1} = 0.6
Gru	u_{y2_terra} = 0 u_{y2_mare} = 2.4 u_{x2} = 2	u_{y2_terra} = 0 u_{y2_mare} = 2.3 u_{x2} = 2.3	u_{y2_terra} = 0 u_{y2_mare} = 1.5 u_{x2} = 1.1	u_{y2_terra} = 0 u_{y2_mare} = 1.5 u_{x2} = 1.1
Bitta	u_{y3} = / u_{x3} = /	u_{y3} = / u_{x3} = /	u_{y3} = / u_{x3} = /	u_{y3} = / u_{x3} = /
Onda	u_{y4_terra} = 1.3 u_{y4_mare} = 3.3 u_{x4} = 3.1	u_{y4_terra} = 0 u_{y4_mare} = 2.3 u_{x4} = 3.4	u_{y4_terra} = 0 u_{y4_mare} = 1.5 u_{x4} = 2.3	u_{y4_terra} = 0 u_{y4_mare} = 1.3 u_{x4} = 1.8

In termini di cedimento assoluto totale appare opportuno combinare i diversi cedimenti dovuti alle single aliquote così come già spiegato ai capitoli precedenti ottenendo di conseguenza i seguenti cedimenti assoluti totali:

- Cassone B1:

$U_{y\ terra} = 3$ cm
$U_{y\ mare} = 5$ cm
$U_x = 3.2$ cm

- Cassoni A1:

$U_{y\ terra} = 1.2$ cm
$U_{y\ mare} = 3.8$ cm
$U_x = 4.1$ cm

- Cassoni E1:

$U_{y\ terra} = 1.7$ cm
$U_{y\ mare} = 3.2$ cm
$U_x = 2.1$ cm

- Cassoni G1:

$U_{y\ terra} = 1.8$ cm
$U_{y\ mare} = 2.7$ cm
$U_x = 2.5$ cm

Il rilevato a tergo del cassone subisce un cedimento verticale compreso tra 3 e 5 cm lungo l'intero allineamento, mentre all'interfaccia con il cassone il cedimento differenziale risulta praticamente trascurabile.
In termini di cedimento differenziale tra cassoni si considerano le seguenti considerazioni:

- Carico containers: il carico è applicato sull'intera superficie del cassone e si considera che esso porti a cedimenti indotti anche sui cassoni adiacenti scarichi. Pertanto si considera un effettivo cedimento differenziale tra cassoni pari al 40% del cedimento assoluto calcolato;
- Carico gru: il calcolo è stato fatto a favore di sicurezza nelle condizioni peggiori, ossia di scarrocciamento. Pertanto si considera come differenziale

il 50% del cedimento assoluto calcolato, poichè tale carico in realtà agisce in condizioni non drenate, mentre nell'analisi è stato applicato in condizioni drenate;

- Bitta: si considera come differenziale l'intero cedimento assoluto calcolato;
- Onda: lo spostamento assoluto valutato nei modelli è relativo all'applicazione del carico d'onda in condizioni drenate. Il carico d'onda in realtà è un carico ciclico e quindi il reale cedimento sarà inferiore a quello qui calcolato. Si assume quindi di considerare come differenziale tra cassoni il 50% del cedimento assoluto calcolato.

I cedimenti sono stati calcolati con modelli 2D, ma in realtà i carichi per determinare i differenziali si considerano, cautelativamente, applicati solo su un cassone lasciando scarichi quelli adiacenti. La modalità di carico è dunque 3D e non 2D, il che porta a cedimenti inferiori. Il confronto tra cedimenti del modello 2D e 3D è stato già valutato in precedenti fasi del progetto, in particolare vedasi il rapporto MI010P-PE-G-G-R-1207-C0. In tale sede si era svolto un confronto tra analisi 2D e 3D relativamente ai cassoni, evidenziando come il cedimento 3D sia al più pari al 70% del cedimento 2D. Pertanto i cedimenti differenziali valutati a partire dai modelli 2D verranno poi scalati per un fattore pari a 0.7.
I cedimenti valutati per il cassone B1 può ritenersi valido per l'adiacente cassone C1. Quelli del cassone E1 si estendono anche al D1 ed al D0, mentre quelli di G1 si estendono a F1 e H1.
Da tutte queste considerazioni, segue che:

- Cedimento differenziale cassoni A1:

Δu_{y_terra} = 0.34 cm;
Δu_{y_mare} = 1.27 cm;
Δu_{x} = 1.41 cm.

- Cedimento differenziale cassoni B1-C1:

Δu_{y_terra} = 0.9 cm;
Δu_{y_mare} = 1.67 cm;
Δu_{x} = 1.14 cm.

- Cedimento differenziale cassoni E1-D1-D0:

Δu_{y_terra} = 0.47 cm;
Δu_{y_mare} = 0.96 cm;
Δu_x = 0.75 cm.

- Cedimento differenziale cassoni G1-F1-H1:

Δu_{y_terra} = 0.5 cm;
Δu_{y_mare} = 0.89 cm;
Δu_x = 0.81 cm.

12.3. Cassoni Banchina Container

La tabella che segue riporta una sintesi dei cedimenti assoluti calcolati e presentati in precedenza.

TAB. 12-2 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI CEDIMENTI DI ESERCIZIO DEI CASSONI DELLA BANCHINA CONTAINER

CONFIGURAZIONE DEI CARICHI	CASSONE A4 cm	CASSONE A14 cm
Carico cassone 40 kPa + Carico cassone 40 kPa	u_{y1_terra} = 2.3 u_{y1_mare} = 1.7 u_{x1} = -	u_{y1_terra} = 3.2 u_{y1_mare} = 2.5 u_{x1} = -
Gru	u_{y2_terra} = 0 u_{y2_mare} = 2.2 u_{x2} = 1.6	u_{y2_terra} = 0 u_{y2_mare} = 3 u_{x2} = 1.9
Bitta	u_{y3} = / u_{x3} = /	u_{y3} = / u_{x3} = /
Onda	u_{y4_terra} = 0 u_{y4_mare} = 1.3 u_{x4} = 1.5	u_{y4_terra} = 0 u_{y4_mare} = 1.4 u_{x4} = 1.1

In termini di cedimento assoluto totale appare opportuno combinare i diversi cedimenti dovuti alle single aliquote così come già spiegato ai capitoli precedenti ottenendo di conseguenza i seguenti cedimenti assoluti totali:

- Cassone A4:

U_{y_terra} = 2.3 cm;
U_{y_mare} = 4 cm
U_x = 2 cm

- Cassoni A14:

U_{y_terra} = 3.2 cm;
U_{y_mare} = 5.4 cm
U_x = 2 cm

Il rilevato a tergo del cassone subisce un cedimento verticale compreso tra 3 e 4.5 cm lungo l'intero allineamento, mentre all'interfaccia con il cassone il cedimento differenziale risulta praticamente trascurabile.
In termini di cedimento differenziale tra cassoni si considerano le seguenti considerazioni:

- Carico containers: il carico è applicato sull'intera superficie del cassone e si considera che esso porti a cedimenti indotti anche sui cassoni adiacenti scarichi. Pertanto si considera un effettivo cedimento differenziale tra cassoni pari al 40% del cedimento assoluto calcolato;
- Carico gru: il calcolo è stato fatto a favore di sicurezza nelle condizioni peggiori, ossia di scarrocciamento. Pertanto si considera come differenziale il 50% del cedimento assoluto calcolato, poichè tale carico in realtà agisce in condizioni non drenate, mentre nell'analisi è stato applicato in condizioni drenate;
- Bitta: si considera come differenziale l'intero cedimento assoluto calcolato;
- Onda: lo spostamento assoluto valutato nei modelli è relativo all'applicazione del carico d'onda in condizioni drenate. Il carico d'onda in realtà è un carico ciclico e quindi il reale cedimento sarà inferiore a quello

qui calcolato. Si assume quindi di considerare come differenziale tra cassoni il 50% del cedimento assoluto calcolato.

I cedimenti sono stati calcolati con modelli 2D, ma in realtà i carichi per determinare i differenziali si considerano, cautelativamente, applicati solo su un cassone lasciando scarichi quelli adiacenti. La modalità di carico è dunque 3D e non 2D, il che porta a cedimenti inferiori. Il confronto tra cedimenti del modello 2D e 3D è stato già valutato in precedenti fasi del progetto, in particolare vedasi il rapporto MI010P-PE-G-G-R-1207-C0. In tale sede si era svolto un confronto tra analisi 2D e 3D relativamente ai cassoni, evidenziando come il cedimento 3D sia al più pari al 70% del cedimento 2D. Pertanto i cedimenti differenziali valutati a partire dai modelli 2D verranno poi scalati per un fattore pari a 0.7.
I cedimenti valutati per il cassone A4 possono ritenersi validi per gli adiacenti cassoni fino al cassone A10 ed anche per i cassoni A2 e A3. Quelli del cassone A14 si estendono anche ai cassoni A15, A13, A12, A11.
Da tutte queste considerazioni e riferendosi alla Tab. 12-2, segue che:

- Cedimento differenziale cassoni A2-A10:

  Δu_{y_terra} = 0.64 cm;
  Δu_{y_mare} = 1.28 cm;
  Δu_{x} = 0.7cm.

- Cedimento differenziale cassoni A11-A15:

  Δu_{y_terra} = 0.89 cm;
  Δu_{y_mare} = 1.72 cm;
  Δu_{x} = 0.69 cm.

12.4. Cassoni Banchina Petroli

La tabella che segue riporta una sintesi dei cedimenti assoluti calcolati e presentati in precedenza.

TAB. 12-3 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – SINTESI CEDIMENTI DI ESERCIZIO DEI CASSONI DELLA BANCHINA PETROLI		
CONFIGURAZIONE DEI CARICHI	CASSONE H2 cm	CASSONE H10 cm
Carico cassone 40 kPa + Carico cassone 40 kPa	u_{y1_terra} = 1.6 u_{y1_mare} = 1.4 u_{x1} = /	u_{y1_terra} = 2 u_{y1_mare} = 1.3 u_{x1} = -
Bitta	u_{y2} = / u_{x2} = /	u_{y2} = / u_{x2} = /
Onda	u_{y3} = / u_{x3} = /	u_{y3} = / u_{x3} = /

In termini di cedimento assoluto totale appare opportuno combinare i diversi cedimenti dovuti alle single aliquote così come già spiegato ai capitoli precedenti ottenendo di conseguenza i seguenti cedimenti assoluti totali:

- Cassone H2:

U_{y_terra} = 1.6 cm;
U_{y_mare} = 1.4 cm;
U_x = trasc

- Cassoni H10:

U_{y_terra} = 2 cm;
U_{y_mare} = 1.3 cm;
U_x = trasc

Il rilevato a tergo del cassone subisce un cedimento verticale compreso tra 3 e 4 cm lungo l'intero allineamento, mentre all'interfaccia con il cassone il cedimento differenziale risulta praticamente trascurabile.
In termini di cedimento differenziale tra cassoni si considerano le seguenti considerazioni:

- Carico containers: il carico è applicato sull'intera superficie del cassone e si considera che esso porti a cedimenti indotti anche sui cassoni adiacenti sca-

richi. Pertanto si considera un effettivo cedimento differenziale tra cassoni pari al 40% del cedimento assoluto calcolato;

- Bitta: si considera come differenziale l'intero cedimento assoluto calcolato;
- Onda: lo spostamento assoluto valutato nei modelli è relativo all'applicazione del carico d'onda in condizioni drenate. Il carico d'onda in realtà è un carico ciclico e quindi il reale cedimento sarà inferiore a quello qui calcolato. Si assume quindi di considerare come differenziale tra cassoni il 50% del cedimento assoluto calcolato.

I cedimenti sono stati calcolati con modelli 2D, ma in realtà i carichi per determinare i differenziali si considerano, cautelativamente, applicati solo su un cassone lasciando scarichi quelli adiacenti. La modalità di carico è dunque 3D e non 2D, il che porta a cedimenti inferiori. Il confronto tra cedimenti del modello 2D e 3D è stato già valutato in precedenti fasi del progetto, in particolare vedasi il rapporto MI010P-PE-G-G-R-1207-C0. In tale sede si era svolto un confronto tra analisi 2D e 3D relativamente ai cassoni, evidenziando come il cedimento 3D sia al più pari al 70% del cedimento 2D. Pertanto i cedimenti differenziali valutati a partire dai modelli 2D verranno poi scalati per un fattore pari a 0.7.
I cedimenti valutati per il cassone H2 possono ritenersi validi per gli adiacenti cassoni fino al cassone H8. Quelli del cassone H10 si estendono anche ai cassoni H9, H11.
Da tutte queste considerazioni e riferendosi alla Tab. 10-3, segue che:

- Cedimento differenziale cassoni H2-H8:

Δu_{y_terra} = 0.44 cm;
Δu_{y_mare} = 0.39 cm;
Δu_{x} = / cm.

- Cedimento differenziale cassoni H9-H11:

Δu_{y_terra} = 0.56 cm;
Δu_{y_mare} = 0.36 cm;
Δu_{x} = / cm.

12.5. Area rilevato

L'area centrale del rilevato, soggetta ai carichi di esercizio ha un cedimento totale in esercizio di 13 cm, mentre le aree periferiche di 4-5 cm.

Il cedimento al bordo dell'area centrale è quindi circa il 35% di quello a centro area. In tal senso, quindi, non vi sono differenziali tra area centrale e aree periferiche.

Nel caso di carico applicato alla sola area centrale, il cedimento di 13 cm va rapportato alla distanza rispetto alla quale esso si sviluppa, ovvero 260 m con una conseguente distorsione dell'ordine dello 0.5‰.

12.6. Sintesi dei risultati

La tabella che segue riporta la sintesi dei cedimenti differenziali tra cassoni e tra cassoni e rilevato.

TAB. 12-4 VADO LIGURE – NUOVA PIASTRA MULTIFUNZIONALE – CEDIMENTI DIFFERENZIALI - SINTESI

ALLINEAMENTO	Δu_y (cm)	Δu_x (cm)
Cassone A1	0.34 terra 1.27 mare	1.41
Cassoni B1-C1	0.9 terra 1.67 mare	1.14
Cassoni D0-E1	0.47 terra 0.96 mare	0.75
Cassoni F1-H1	0.50 terra 0.89 mare	0.81
Cassoni H2-H8	0.44 terra 0.39 mare	Trasc
Cassoni H9-H11	0.56 terra 0.36 mare	Trasc
Cassoni A2-A10	0.64 terra 1.28 mare	0.7

Cassoni A11-A15	0.89 terra 1.72 mare	0.69
Rilevato/Cassoni	Trasc	Trasc
Area rilevato	Distorsione angolare = 0.5‰.	

13. MONITORAGGI IN CORSO D'OPERA

Durante le fasi costruttive è previsto un monitoraggio delle opere finalizzato ad avere tanto un controllo qualità delle fasi operative quanto un metodo per la validazione delle ipotesi di calcolo e la conferma quindi dei risultati attesi.

13.1. Monitoraggio topografico

Si prevede un monitoraggio topografico per tutti i cassoni durante le fasi di zavorramento, precarica e scarico. In particolare si predisporranno 4 capisaldi topografici in corrispondenza dei 4 spigoli dei cassoni per i quali durante le fasi costruttive si eseguiranno le letture di cedimento nel tempo.
Le fasi costruttive principali da monitorare per i cassoni sono le seguenti:

- Zavorramento solido dei cassoni;
- Realizzazione del terrapieno a tergo dei cassoni;
- Fase di precarica;
- Scarico della precarica;

Il monitoraggio topografico dei 4 vertici del cassone dovrà restituire l'andamento del cedimento nel tempo e dovrà essere possibile, consultando il giornale dei lavori, poter ricostruire le curve cedimento misurato-carico applicato in fondazione, ovvero dovranno essere chiaramente indicate le date di inizio e di fine delle singole attività elencate in precedenza.
I monitoraggi topografici potranno essere eseguiti con cadenza temporale di due volte a settimana con un infittimento delle misure nelle fasi lavorative più salienti quali, ad esempio, la messa in opera della precarica e la successiva fase di consolidazione dei terreni di fondazione e la fase di scarico della precarica stessa. Infatti il monitoraggio della fase di precarica consente di verificare i cedimenti attesi e le velocità di consolidazione dei terreni ed il cedimento di scarico consente di avere una prima stima del successivo cedimento di ricarico in esercizio.
Allo stesso modo la fase di precarica del riempimento andrà anch'essa monitorato, posizionando 3 piastre assestimetriche alla quota +2.5 m, prima di iniziare la posa del rilevato di precarica. Tali piastre dovranno essere monitorate durante tutta la

fase di precarica e potranno poi essere spostate e riutilizzate nella successiva area di precarica del riempimento.