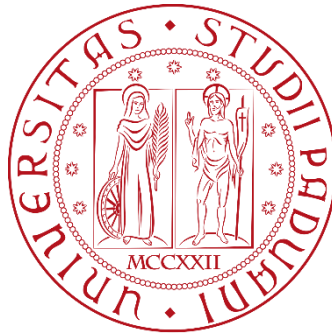


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Civile Magistrale



Tesi di Laurea Magistrale:

**Analisi critica dei cedimenti del MOSE:
casi studio delle barriere di Treporti e Chioggia**

**Critical analysis of the settlement of MOSE:
case studies of Treporti and Chioggia**

Relatrice: Dott.ssa Francesca Ceccato

Correlatrice: Prof.ssa Simonetta Cola

Laureando: Giampaolo Schvarcz

Matricola: 2062504

Anno Accademico: 2023/2024

*“Sono il tipo di persona che se mi fate una domanda
e non so qual è la risposta, vi dico chiaro e tondo
che non la so, ma potete scommettere che
so come trovarla una risposta
e la troverò.”*

La ricerca della Felicità.

Il presente lavoro di tesi è dedicato all'analisi post-costruzione dell'andamento dei cedimenti delle barriere mobili del sistema Mose, progettate per la salvaguardia e la tutela della città di Venezia e della sua Laguna da eventi significativi di alta marea. In particolare, si effettua un'analisi critica dei cedimenti relativi alle barriere di Lido Treporti e di Chioggia, confrontando i risultati ottenuti con i rispettivi dati di monitoraggio. La metodologia di analisi dei cedimenti adottata è di tipo monodimensionale, e si avvale dei dati presenti nelle relazioni tecniche di progetto, quali la stratigrafia del terreno di fondazione considerato, la sequenza di posa in opera delle strutture e l'entità dei carichi applicati sui cassoni di soglia e su quelli di spalla delle barriere esaminate. Si sono calcolati i cedimenti relativi alle fasi di installazione e completamento delle strutture, valutando anche una stima degli andamenti di tali valori nel corso della vita utile delle opere in questione. I risultati conseguiti tramite software di calcolo ed ipotesi progettuali, sono stati messi infine a confronto con i valori di cedimento previsti nelle relazioni tecniche di progetto e con i dati raccolti durante le campagne di misurazione topografica, valutando eventuali differenze e definendo le possibili cause alla base di esse.

Indice

| | |
|--|-----------|
| Indice | 1 |
| Introduzione | 3 |
| Il MOSE | 7 |
| 1.1 La bocca di porto di Lido | 12 |
| 1.2 La bocca di porto di Malamocco..... | 13 |
| 1.3 La bocca di porto di Chioggia..... | 16 |
| Calcolo dei cedimenti di opere geotecniche e marittime..... | 19 |
| 2.1 La teoria di Boussinesq | 23 |
| 2.2 La teoria della consolidazione edometrica..... | 26 |
| La barriera di Lido Treporti..... | 33 |
| 3.1 Configurazione dell'opera..... | 33 |
| 3.1.1 Cassoni di barriera..... | 36 |
| 3.1.2 Palancolati e recessi..... | 41 |
| 3.1.3 Jet grouting..... | 42 |
| 3.2 Analisi geognostica dei terreni di fondazione | 44 |
| 3.3 Cedimenti previsti in fase di progetto..... | 49 |
| 3.3.1 Cedimenti secondari | 56 |
| 3.3.2 Cedimenti ciclici..... | 56 |
| 3.3.3 Risultati di progetto | 58 |
| 3.4 Ricostruzione del calcolo dei cedimenti | 61 |
| 3.4.1 Cedimento primario | 62 |
| 3.4.2 Cedimento secondario | 67 |
| 3.4.3 Fasi operative e carichi..... | 67 |
| 3.5 Interpretazione dei risultati..... | 69 |
| La barriera di Chioggia..... | 79 |
| 4.1 Configurazione dell'opera..... | 79 |
| 4.1.1 Cassoni di barriera..... | 82 |
| 4.1.2 Palancolati e recessi..... | 88 |
| 4.1.3 Pali in acciaio | 89 |
| 4.2 Analisi geognostica dei terreni di fondazione | 92 |
| 4.3 Calcolo dei cedimenti di progetto..... | 95 |
| 4.3.1 Risultati di progetto | 103 |
| 4.4 Ricostruzione del calcolo dei cedimenti | 105 |

| | |
|---|------------|
| 4.4.1 Fasi operative e carichi..... | 108 |
| 4.5 Interpretazione dei risultati..... | 109 |
| Conclusioni | 119 |
| Appendice A | 121 |
| A1 – Stratigrafia di progetto | 121 |
| A2 – Cedimenti di progetto | 130 |
| A3 – Stratigrafia post-costruzione..... | 140 |
| A4 – Carichi post-costruzione..... | 149 |
| Appendice B | 151 |
| B1 – Stratigrafia di progetto | 151 |
| B2 – Cedimenti di progetto..... | 159 |
| B3 – Stratigrafia post-costruzione..... | 167 |
| B4 – Carichi post-costruzione..... | 175 |
| Bibliografia | 179 |
| Ringraziamenti..... | 181 |

Introduzione

Venezia, città senza uguali nel mondo, rappresenta una culla di inestimabile valore storico e artistico, caso di eccezionale connessione e mediazione tra le attività umane e l'ambiente lagunare. Lo storico e saggista italiano Piero Bevilacqua sottolinea che *“la posizione anfibia di questa città, situata tra terra e mare all'interno di una laguna costantemente minacciata da interramenti e altri fenomeni di degradazione, ha spinto precocemente Venezia ad adottare politiche di salvaguardia..”*.

Un aspetto noto e affascinante per i visitatori di Venezia, sebbene possa risultare meno apprezzato da chi risiede in città, è il fenomeno dell'acqua alta: in determinati periodi dell'anno, il livello della laguna di Venezia aumenta, causando inondazioni in alcune zone cittadine e generando disagi alla viabilità.

Tale fenomeno è il risultato della combinazione di vari fattori, che possono essere suddivisi in due ampie categorie: fattori meteorologici e astronomici.

La laguna di Venezia occupa l'estremità settentrionale del Mar Adriatico: quando forti venti provenienti da Sud (come lo Scirocco) soffiano a lungo con forza e costanza sul bacino Adriatico, masse d'acqua marina vengono trasportate verso Nord. Queste masse, una volta raggiunto l'imbocco della laguna, penetrano attraverso le bocche tra i cordoni sabbiosi, propagandosi verso la terraferma.

Un altro fenomeno meteorologico che contribuisce all'acqua alta a Venezia è legato alle grandi perturbazioni atmosferiche: quando si forma una zona di bassa pressione sull'alto Adriatico e al contempo una di alta pressione sull'Adriatico meridionale, l'acqua si sposta verso il Nord del bacino, provocando un aumento del livello del mare di diversi centimetri. Le oscillazioni del livello dell'Adriatico, conosciute come sesse in idrologia, esercitano un'ampia influenza sulle alte maree nella laguna.

Passando agli elementi di natura astronomica, si nota che, nel contesto del Mediterraneo, le maree astronomiche, legate principalmente all'influenza della Luna, risultano molto meno marcate rispetto all'Oceano, pur non essendo del tutto assenti. In alcune circostanze, quando l'alta marea astronomicamente determinata si combina con le condizioni meteorologiche precedentemente descritte, possono verificarsi maree più elevate.

All'origine dell'acqua alta a Venezia intervengono anche fattori di natura geologica, climatica e soprattutto antropologica: la città infatti è soggetta a una marcata subsidenza, un abbassamento del suolo, principalmente causata dal prelievo di

acqua dal sottosuolo e dall'industrializzazione della zona costiera avvenuta negli ultimi decenni (come nel caso di Porto Marghera). L'eustatismo, invece, è collegato ai cambiamenti climatici, anch'essi risultato dell'attività umana, e comporta l'innalzamento del livello del mare a causa del graduale scioglimento delle aree ghiacciate.

L'11 Giugno 1980, il Ministro dei lavori pubblici Franco Nicolazzi affidò ad un gruppo di esperti qualificati la realizzazione di un progetto di massima dedicato alla difesa della laguna di Venezia dal fenomeno dell'acqua alta, noto come "Progettone". Tale incarico prevedeva l'impiego di cassoni sommersi e paratoie a "spinta di galleggiamento". Il 3 Novembre 1988, alla presenza del Ministro Gianni De Michelis, fu inaugurato il prototipo in scala reale del Modulo Sperimentale Elettromeccanico, abbreviato con l'acronimo MOSE, la cui denominazione deriva da Mosè, figura biblica centrale nell'episodio del passaggio del Mar Rosso, in cui si narra che separò le acque toccandole solo con il suo bastone.

Con le sue quattro barriere di dighe mobili indipendenti, complessivamente costituite da 78 paratoie, il MOSE rappresenta un progetto di ingegneria di notevole complessità progettuale e tecnologica, volto a rivalutare i limiti stessi delle possibilità umane in ambito idraulico, geotecnico e paesaggistico. La sua efficienza è garantita da scelte progettuali a priori ben definite, con lo scopo di garantire un funzionamento perpetuo durante il corso della sua vita utile.

Nel presente lavoro di tesi si conduce un'analisi critica dell'evoluzione dei cedimenti delle opere di difesa del Mose, per poter confrontare i valori ottenuti con quelli previsti in fase di progettazione e con quelli ricavati dai monitoraggi delle barriere in fase di esercizio. In particolare si focalizza l'attenzione sulle barriere di Treporti e Chioggia, costituite rispettivamente da nove e otto cassoni totali, di cui due di spalla (Est – Ovest per Treporti; Nord – Sud per Chioggia), considerando i cedimenti edometrici, secondari e ciclici indotti dai carichi agenti. I risultati ottenuti dal seguente lavoro di tesi possono essere impiegati al fine di verificare la corretta fruibilità dell'opera durante la sua vita utile in termini di cedimenti assoluti e differenziali ammissibili e per la corretta funzionalità dei giunti di collegamento disposti fra i cassoni stessi.

La tesi è strutturata come segue:

- Nel Capitolo 1 viene descritto il sistema Mose, focalizzandosi sugli aspetti inerenti al tipo di studio eseguito;
- Nel Capitolo 2 sono descritti i modelli teorici alla base dell'analisi svolta, concerni il calcolo dei cedimenti di opere geotecniche e marittime;
- Nel Capitolo 3 si descrive la geometria della barriera di Treporti, la stratigrafia

- di base, i tipi di monitoraggio eseguiti, i carichi agenti, le fasi di realizzazione, il calcolo dei cedimenti di progetto e la ricostruzione di quest'ultimi a partire dai dati post- costruzione. Si presenta infine una valutazione critica dei risultati ottenuti, confrontando tali valori con i dati di progetto e di monitoraggio;
- Nel Capitolo 4 si esegue l'analisi riportata nel Capitolo 3 anche per il caso della barriera di Chioggia.

Capitolo 1

II MOSE

Il Mose è un colossale sistema di quattro dighe a scomparsa, la cui progettazione è stata avviata a partire dagli anni Ottanta, ma entrato in funzione per la prima volta solo nel 2020. Il sistema è formato da 78 paratie mobili posate sul fondo delle tre bocche di porto, i tratti di mare che uniscono l'Adriatico con la laguna. Quando l'acqua supera il livello di guardia, le paratoie si sollevano una a fianco all'altra, chiudendo completamente la laguna all'azione del mare.

Le barriere del Mose consentono quindi di mantenere il livello delle acque a Venezia entro i 90 centimetri sopra il livello medio e si attivano quando le previsioni indicano che la marea può superare i 110 centimetri. Dal sito del Mose è possibile appurare che negli ultimi decenni questi eventi sono diventati molto più frequenti. Secondo il comune di Venezia, solo tra il 2010 e il 2019, le maree superiori ai 110 centimetri sono state 95, mentre tra il 1870 e il 1949 solo 30. Un incremento dovuto, oltre ai fattori naturali, anche alle attività umane, che hanno contribuito ad abbassare il livello del suolo nella zona di Venezia, sceso di circa 12 centimetri, e all'innalzamento del livello del mare causato dai cambiamenti climatici.



Figura 1.1: La laguna di Venezia, le tre bocche di porto. Foto aerea del 2000, antecedente l'inizio dei lavori di costruzione del Mose.

Il sistema Mose è composto dai seguenti elementi principali:

- i cassoni di alloggiamento delle paratoie, definiti cassoni di soglia;
- i cassoni laterali di estremità, definiti cassoni di spalla;
- le paratoie mobili;
- i giunti di tenuta idraulica tra i cassoni,
- gli edifici tecnologici e gli impianti di servizio,
- il sistema di fondazione e di consolidazione dei terreni.

I cassoni sono strutture prefabbricate, realizzati in calcestruzzo armato e caratterizzati da una configurazione a celle. La loro dimensione varia a seconda delle esigenze legate alle misure e alla profondità dell'ingresso portuale, nonché alla lunghezza delle paratoie che devono supportare. Queste strutture sono organizzate internamente in compartimenti e ambienti disposti su diversi piani, dove alcuni di questi sono destinati a ospitare attrezzature e servizi essenziali per il funzionamento della barriera marittima, mentre altri vengono riempiti con materiale solido o liquido durante le operazioni di affondamento per l'installazione delle strutture stesse. Complessivamente, per quanto riguarda le tre bocche di porto, Lido, Malamocco e Chioggia, sono stati installati 35 cassoni, inclusi 8 cassoni laterali che emergono dall'acqua e 27 cassoni di base che rimangono costantemente sott'acqua.

I cassoni di soglia sono progettati per ospitare le paratoie, con una parte centrale modellata per adattarsi alla loro forma; sono posizionati in fila e formano l'effettiva barriera dell'ingresso portuale. All'interno, lungo l'asse centrale, si trovano due gallerie parallele e un tunnel: le gallerie, accessibili, ospitano l'apparato elettromeccanico, i sistemi di comunicazione e di controllo per il funzionamento delle barriere, progettati con ridondanza per garantire funzionalità anche in caso di avarie, mentre il tunnel serve per la rimozione di acqua e aria durante l'operatività delle paratoie. Sotto l'area dove si collegano le paratoie metalliche sono presenti spazi dedicati all'assemblaggio, all'ispezione e alla manutenzione dei componenti delle paratoie stesse. Una rappresentazione tipica di un cassone per le paratoie è illustrata nella Figura 1.2.

I cassoni di spalla, con dimensioni maggiori di quelli di soglia, fungono da collegamento tra la barriera e la terraferma. Al loro interno sono presenti accessi per le infrastrutture tecniche adibite al personale specializzato, facilitando così l'entrata alla serie di doppie gallerie che percorrono la barriera. Inoltre, queste strutture ospitano sopra di esse edifici tecnologici fondamentali per il funzionamento della barriera stessa.

L'impermeabilità idraulica tra cassoni adiacenti è garantita dall'uso di due tipi di giunti, denominati Gina e Omega, i quali permettono il corretto funzionamento dei cassoni

entro un certo limite di dislivello causato da cedimenti differenziali tra cassoni adiacenti. Per mitigare questi cedimenti sono state adottate misure preventive di consolidamento del terreno di fondazione, come l'inserimento di pali in calcestruzzo armato, in acciaio e tecniche di jet-grouting.

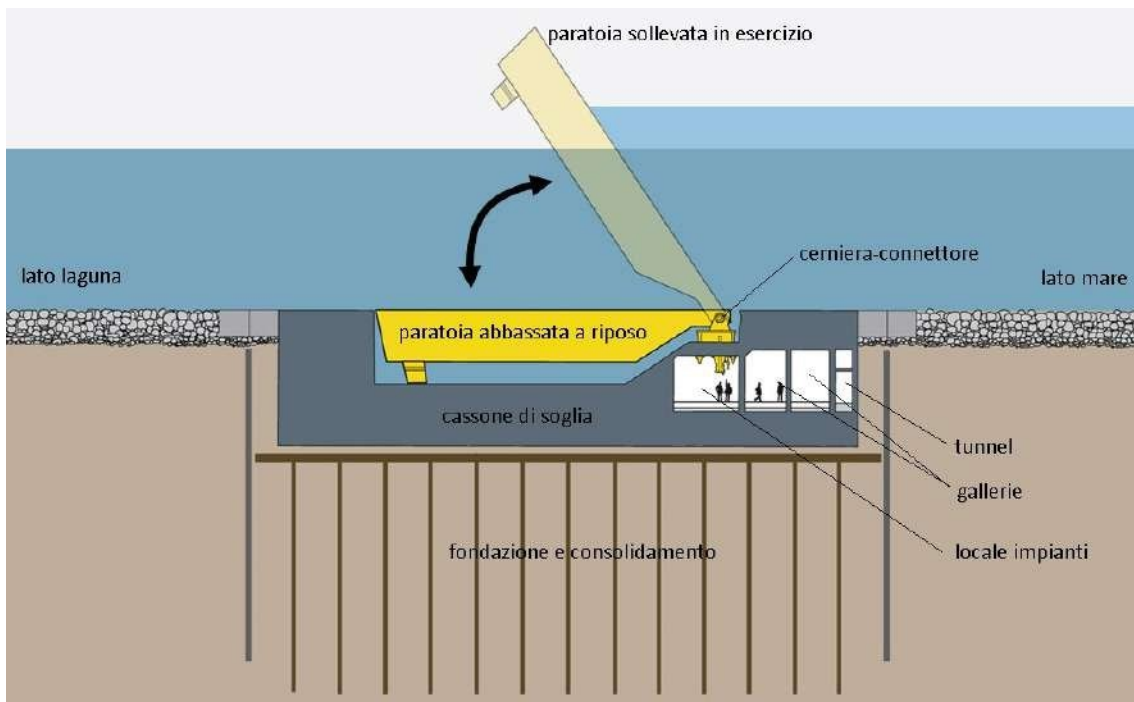


Figura 1.2: Sezione tipo di un cassone soglia ed elementi funzionali essenziali. Configurazione della paratoia in condizione di riposo e in esercizio.

Le paratoie mobili sono strutture metalliche scatolari che, quando non sono in funzione, vengono riempite d'acqua e restano completamente sommerse nei loro alloggiamenti. In occasione di maree alte che rischiano di inondare Venezia, queste paratoie vengono sollevate grazie all'introduzione di aria compressa, che ne provoca lo svuotamento dall'acqua e le fa ruotare intorno ai propri assi di cerniera (ne hanno due), consentendo così il loro innalzamento alla posizione operativa predefinita. Grazie alla forza di galleggiamento, le paratoie sono capaci di compensare il dislivello di marea tra la laguna e il mare, oscillando liberamente e in modo indipendente sotto l'azione delle onde. Le paratoie rimangono in posizione sollevata solo per la durata dell'evento meteorologico e marittimo specifico; una volta che i livelli dell'acqua tra il lato laguna e il lato mare si stabilizzano, le paratoie vengono nuovamente riempite d'acqua e tornano alla posizione iniziale.

Ogni paratoia è dotata di componenti fondamentali per il suo funzionamento ottimale: meccanismi di cerniera-connettore che le fissano ai cassoni permettendo loro di

ruotare, inclinometri per monitorare l'angolazione durante l'operatività, dispositivi ammortizzanti per attenuare il movimento in fase di abbassamento, condotte per il passaggio dell'aria compressa necessaria per il riempimento e lo svuotamento della paratoia, “flap” e guarnizioni in gomma per garantire l'ermeticità tra paratoia e cassone, sistemi di protezione come vernici e anodi sacrificabili contro la corrosione. Tra questi, il meccanismo di cerniera-connettore riveste un ruolo cruciale, illustrato nelle Figure 1.3 e 1.4, ed è composto da tre parti interconnesse: l'elemento maschile attaccato alla paratoia, l'elemento femminile fissato al cassone, e il dispositivo di aggancio che unisce le due parti, facilitando le operazioni di aggancio e sgancio senza necessità dell'intervento di sommozzatori.



Figura 1.3: A sinistra: componenti del gruppo cerniera-connettore (1.elemento maschio, 2.elemento femmina, 3.aggancio). Al centro: elementi maschi installati alla paratoia. A destra: elementi femmina installati sul cassone di soglia.

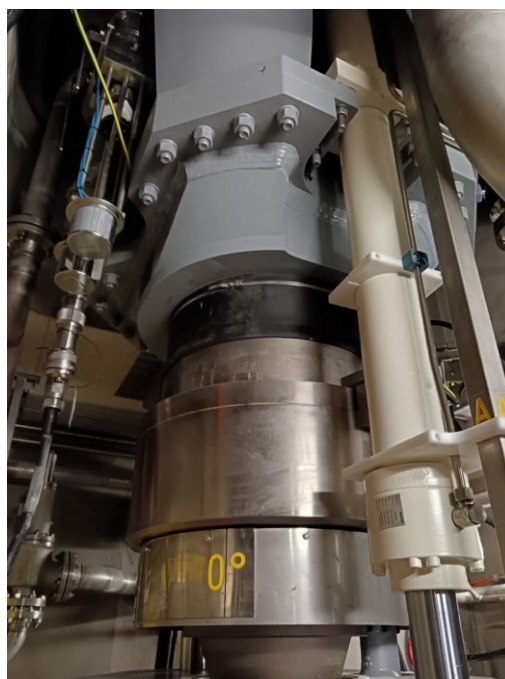


Figura 1.4: Foto di una cerniera-connettore della Barriera di Chioggia (appartenente ad un cassone di soglia).

Il quartier generale per il monitoraggio, la gestione e la manutenzione del sistema Mose si trova nella parte settentrionale dell'Arsenale di Venezia. Le operazioni dedicate alla gestione e alla cura del Mose si articolano in due principali categorie:

La funzione "di cantiere": include le operazioni di manutenzione delle paratoie, degli strumenti necessari per la loro sostituzione e di altri veicoli ausiliari di supporto.

La funzione "di gestione e monitoraggio": riguarda le attività di previsione dei livelli di marea e delle condizioni meteorologiche, oltre al monitoraggio e alla supervisione della laguna, e alla programmazione delle manovre per l'attivazione delle barriere e per il sollevamento o l'abbassamento delle paratoie.

Nei paragrafi successivi si riporta la configurazione in dettaglio delle barriere di difesa costituenti il sistema Mose, collocate alle tre bocche di porto di Lido, di Malamocco e di Chioggia.

1.1 La bocca di porto di Lido

La bocca di porto del Lido, la più vicina a Venezia, si estende in direzione sud-est/nord-ovest tra il limite nord dell'isola del Lido e la costa di Punta Sabbioni. Questa bocca di porto è pressoché il doppio più ampia delle altre e si compone di due canali di profondità variabile, chiamati San Nicolò e Treporti. Di conseguenza, la barriera per il controllo delle maree si divide in due sezioni, separate da un'isola artificiale posizionata al centro.

Come illustrato nella Figura 1.5, il canale di San Nicolò, situato a sud dell'ingresso portuale, include una barriera di 20 paratoie che si estende per circa 400 metri. Il canale di Treporti, posizionato a nord, è dotato di 21 paratoie per un totale di circa 420 metri. L'isola centrale, che copre un'area di circa 9 ettari, accoglie le strutture tecniche e le attrezzature necessarie al funzionamento delle barriere. La parte nord, presso il litorale di Treporti, è stata ampliata con l'aggiunta di un porto rifugio composto da due bacini protetti uniti da una piccola conca di navigazione, assicurando così un riparo e un passaggio sicuro per le imbarcazioni durante l'operatività delle paratoie. Sul lato sud dell'entrata portuale, il molo esistente è stato allargato. In aggiunta, all'esterno dell'ingresso è stata realizzata una scogliera curvilinea lunga circa 1 km, progettata per attenuare le correnti di marea che fluiscono nella laguna. Queste opere sono state precedute da un intervento di consolidamento dei fondali portuali attraverso l'installazione di pali in cemento armato per la barriera di San Nicolò e l'applicazione della tecnica del jet-grouting per quella di Treporti.



Figura 1.5: Bocca di Lido, canali di San Nicolò e Treporti divisi dall'isola artificiale. Foto aerea del 2019.

Il canale di Lido San Nicolò ha una profondità di 12 metri. Le 20 paratoie mobili, lunghe 26.60 metri e larghe 20.00 metri con uno spessore di 4.00 metri, sono alloggiare su 7 cassoni in calcestruzzo armato posizionati sul fondale, che è stato dragato e consolidato con pali in cemento armato. Sei di questi cassoni misurano 60.00 metri per 45.45 metri, mentre uno è di dimensioni 40.00 metri per 45.45 metri, tutti con un'altezza di 10.75 metri. Oltre ai 7 cassoni di alloggiamento, noti anche come cassoni di soglia, ci sono 2 cassoni di spalla: la spalla Sud, di dimensioni 20.00 metri per 60.20 metri per 24.95 metri, che consente il collegamento a terra, e la spalla Nord, di dimensioni 24.00 metri per 60.20 metri per 24.95 metri, che collega la barriera all'isola artificiale. I cassoni per questa barriera sono stati prefabbricati nel cantiere allestito alla bocca di Malamocco, varati tramite la piattaforma Syncrolift e trasportati per galleggiamento, quindi affondati e zavorrati.

Il canale di Lido Treporti ha una profondità di 6 metri. Le 21 paratoie mobili, lunghe 18.55 metri e larghe 20.00 metri con uno spessore di 3.60 metri, sono alloggiare su 7 cassoni in calcestruzzo armato posizionati sul fondale, che è stato dragato e consolidato con la tecnica del jet-grouting. I cassoni hanno dimensioni in pianta di 36.00 metri per 60.00 metri e altezza pari a 8.70 metri. Oltre ai 7 cassoni di alloggiamento, ci sono 2 cassoni di spalla: la spalla Ovest, di dimensioni 23.80 metri per 49.10 metri per 16.70 metri, che collega la barriera all'isola artificiale, e la spalla Est, di dimensioni 18.30 metri per 49.10 metri per 16.70 metri, che consente il collegamento a terra. I cassoni per questa barriera sono stati prefabbricati all'interno del bacino del porto rifugio, prosciugato e utilizzato come area temporanea di cantiere; il bacino è stato successivamente allagato e i cassoni sono stati trasportati per galleggiamento, quindi affondati e zavorrati.

In entrambe le barriere, i cassoni di spalla forniscono accesso alla galleria che si sviluppa all'interno dei cassoni di soglia che costituiscono lo sbarramento.

1.2 La bocca di porto di Malamocco

La bocca di porto di Malamocco è la più profonda della laguna, raggiungendo una profondità di -14 metri; si estende in direzione sud-nord, tra l'estremità settentrionale dell'isola di Pellestrina e l'estremità meridionale del Lido di Venezia. Questo canale è utilizzato dalle navi dirette al porto commerciale e industriale di Marghera. La configurazione generale della bocca di porto di Malamocco è illustrata nella Figura 1.6.

Sulla sponda meridionale della bocca, corrispondente all'isola di Pellestrina, è stata realizzata una conca di navigazione per consentire il passaggio delle navi durante

l'operatività delle paratoie. Questa conca consente il transito di imbarcazioni fino a 280 metri di lunghezza, 39 metri di larghezza massima e un pescaggio massimo di 12 metri. All'esterno dell'ingresso portuale è stata costruita una scogliera curvilinea lunga 1.28 km, progettata per attenuare le correnti di marea e creare una zona di acque tranquille per le manovre di ingresso delle navi nella conca di navigazione. Questi interventi sono stati preceduti da un processo di consolidamento dei fondali della bocca di porto, mediante l'installazione di pali in cemento armato e acciaio.

Il canale di Malamocco ha una larghezza di circa 380 metri e la barriera è composta da 19 paratoie mobili, lunghe 29.50 metri e larghe 20.00 metri con uno spessore di 4.50 metri, alloggiata su 7 cassoni in calcestruzzo armato installati sul fondale dragato e consolidato.

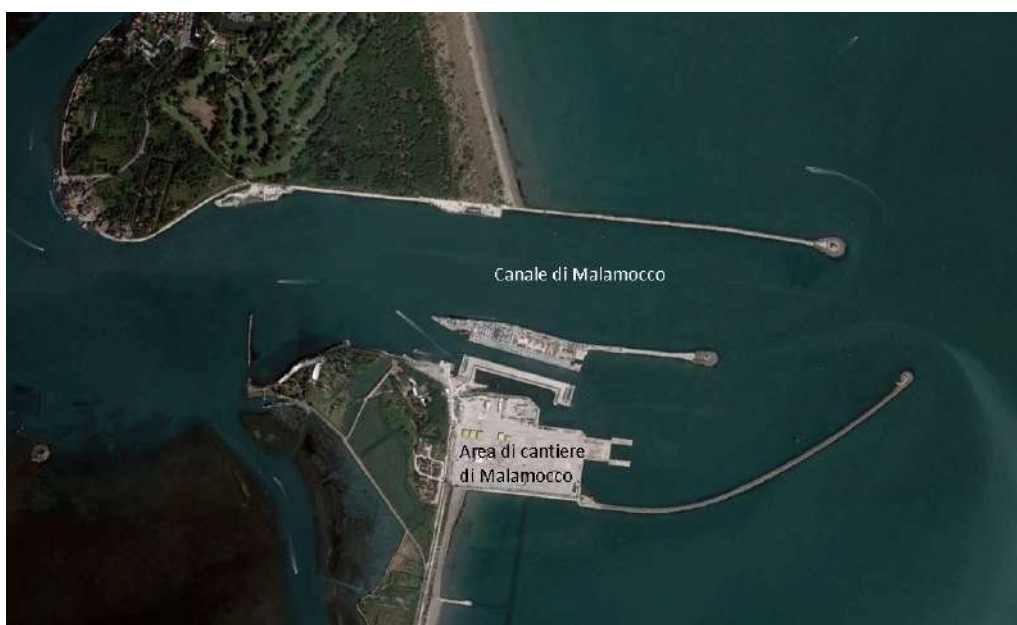


Figura 1.6: Bocca di Malamocco, area di cantiere e collegamento con la terraferma. Foto aerea del 2019.

Cinque di questi cassoni presentano dimensioni di 59.20 metri per 48.30 metri, mentre due hanno dimensioni di 39.20 metri per 48.30 metri, tutti con un'altezza di 11.55 metri. Oltre ai 7 cassoni di alloggiamento, ci sono altri 2 cassoni, definiti come spalle ai lati del canale, che consentono l'accesso alla galleria situata all'interno dei cassoni di soglia: la spalla Sud, di dimensioni 24.00 metri per 63.20 metri per 27.55 metri, posizionata accanto alla conca di navigazione, e la spalla Nord, di dimensioni 20.00 metri per 63.20 metri per 27.55 metri, che collega la barriera all'area di Alberoni all'estremità sud dell'isola di Lido. I cassoni per questa barriera sono stati prefabbricati insieme a quelli destinati alla barriera di Lido San Nicolò nel cantiere di Malamocco, allestito su un vasto terrapieno temporaneo situato sulla sponda sud del canale di Malamocco, protratto per circa 450 metri dalla spiaggia di Pellestrina verso il mare.

Questa grande "penisola" artificiale termina con la piattaforma Syncrolift per il varo dei cassoni, che vengono poi trasportati per galleggiamento e infine zavorrati e affondati nello scavo predisposto per accoglierli.

1.3 La bocca di porto di Chioggia

La bocca di porto di Chioggia si estende in direzione Sud/Nord, tra il litorale di Pellestrina con l'oasi naturalistica di Ca' Roman a nord e il litorale urbanizzato di Sottomarina di Chioggia a sud. Il canale di porto di Chioggia è principalmente utilizzato da pescherecci, imbarcazioni da diporto e navi dirette alle banchine del porto di Val da Rio. La configurazione generale della bocca di porto di Chioggia è illustrata nella Figura 1.7.

Sulla sponda nord è stato realizzato un grande porto rifugio per agevolare il passaggio delle navi durante l'operatività delle paratoie. Questo porto rifugio è composto da due ampi bacini con una superficie di 8 ettari lato mare e 4 ettari lato laguna, collegati da una doppia conca di navigazione, ciascuna lunga 134 metri e profonda 16 metri. Sulla sponda sud si trova un terrapieno con dimensioni in pianta di 330 metri per 80 metri, che ospita gli edifici e le attrezzature necessarie per il funzionamento delle paratoie. All'esterno dell'ingresso portuale è stata costruita una scogliera curvilinea sul lato mare lunga 520 metri e alta 2.50 metri, progettata per attenuare le correnti marine che entrano nella laguna. Questi interventi sono stati preceduti da un processo di consolidamento dei fondali della bocca di porto, mediante l'installazione di pali battuti in acciaio.

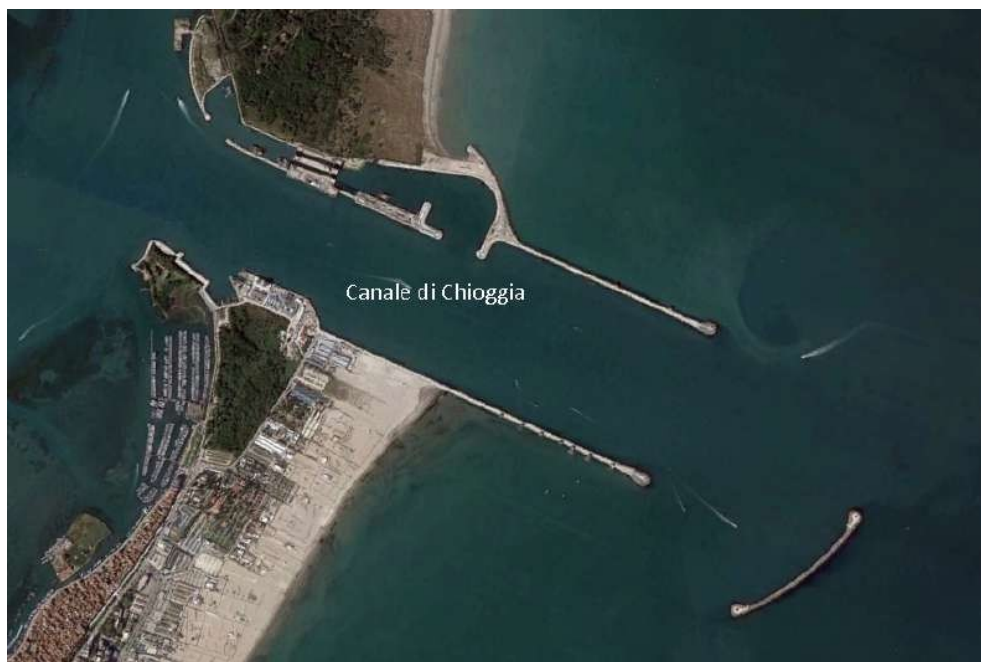


Figura 1.7: Bocca di Chioggia, porto rifugio e litorale di Sottomarina. Foto aerea del 2019.

Il canale di Chioggia ha una profondità di 11 metri e una larghezza di circa 360 metri; la barriera è costituita da 18 paratoie mobili, lunghe 27.30 metri e larghe 20.00 metri, con uno spessore di 5.00 metri, alloggiata su 6 cassoni in calcestruzzo armato con dimensioni di 46.00 metri per 60.00 metri per 11.50 metri. Oltre ai 6 cassoni di alloggiamento, ci sono altri 2 cassoni, definiti di spalla, che collegano la barriera alle sponde: la spalla Sud sul lato di Sottomarina, con dimensioni di 24.60 metri per 60.80 metri per 24.50 metri, e la spalla Nord sul lato di Pellestrina, con dimensioni di 20.40 metri per 60.80 metri per 24.50 metri. I cassoni per questa barriera sono stati prefabbricati all'interno del bacino lato mare del porto rifugio, temporaneamente isolato dal canale e svuotato dall'acqua per essere utilizzato come area di cantiere; successivamente, il bacino è stato allagato e i cassoni sono stati trasportati per galleggiamento, affondati e zavorrati.

Capitolo 2

Calcolo dei cedimenti di opere geotecniche e marittime

I cedimenti verticali del piano di posa delle opere geotecniche e marittime sono causati dalle deformazioni verticali che si verificano nel terreno a seguito dell'applicazione di un carico o di variazioni delle pressioni interstiziali, dovute ad esempio all'incostanza del livello di falda nel tempo. Questi cedimenti sono principalmente di natura plastica e irreversibile, risultanti dal rilascio di stress tra le particelle del terreno e dalla rottura dei granuli. Anche se una piccola percentuale dei cedimenti è dovuta alla deformazione elastica dei granuli solidi, è comune trattare il terreno come un materiale pseudo-elastico, con parametri elastici di deformazione e compressibilità.

Per valutare i cedimenti causati dai carichi verticali, è essenziale comprendere le condizioni stratigrafiche e le caratteristiche di compressibilità del terreno, nonché lo stato tensionale iniziale e finale e le relazioni tensione-deformazione-tempo dei materiali fino ad una profondità dove le variazioni di tensione diventano trascurabili.

Il cedimento ΔH può essere stimato tramite il calcolo delle deformazioni verticali ε_z , integrate con la profondità, secondo la seguente formula generale:

$$\Delta H = \int_0^z \varepsilon_z dz$$

dove z è la profondità per cui il terreno non risente più della variazione tensionale $\Delta\sigma_z$, a sua volta funzione del carico applicato e della profondità. Considerando il terreno come una successione di strati orizzontali di spessore Δz finito, si ottiene:

$$\Delta H = \sum_{i=0}^n \frac{1}{E_i} \Delta\sigma_{zi} \Delta z_i$$

con E_i modulo di deformabilità o compressibilità medio dello strato i -esimo e funzione della profondità (quindi del livello tensionale), $\Delta\sigma_{zi}$ incremento di tensione medio nello strato i -esimo prodotto dall'applicazione del carico in fondazione e Δz_i spessore dello strato i -esimo.

Il cedimento totale s è dato dalla come somma di tre contributi: il cedimento

immediato s_i , che avviene istantaneamente all'applicazione del carico, dovuto alla deformazione del terreno in assenza di variazione del contenuto d'acqua e assenza di deformazione volumetrica, il cedimento di consolidazione s_c , che si sviluppa nel tempo, causato dalla dissipazione delle sovrappressioni interstiziali e comporta una deformazione volumetrica, e il cedimento secondario s_α , legato al comportamento viscoso (creep) del terreno.

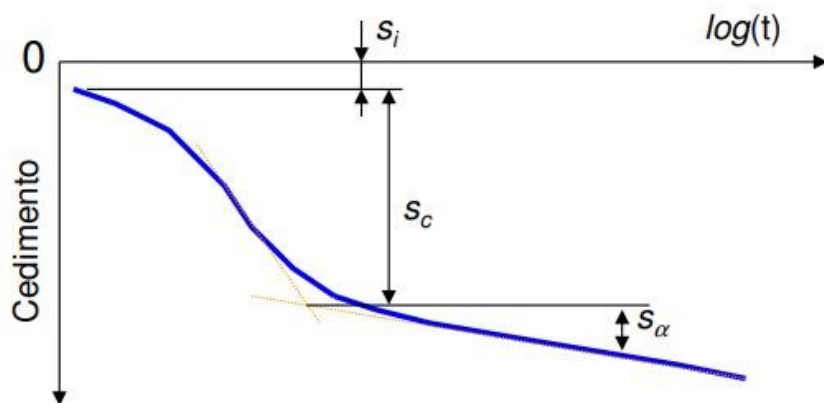


Figura 2.1: Andamento del cedimento nel tempo (esempio).

Il cedimento istantaneo viene valutato secondo la teoria dell'elasticità, mentre il cedimento di consolidazione è regolato dalla teoria formulata da Terzaghi, che consente di calcolare non solo l'ampiezza del cedimento, ma anche il tempo necessario affinché questo si stabilizzi. Nei terreni di natura granulare e nelle argille non sature, il cedimento immediato è predominante, potenzialmente accompagnato da una componente viscosa minore. Per i terreni coesivi e saturi, a eccezione di quelli con una forte componente organica, il cedimento di consolidazione è prevalente. Il cedimento viscoso assume maggiore importanza nei terreni organici e nelle torbiere. Nella pratica, per valutare i cedimenti istantanei o di consolidazione, si utilizza spesso un'equazione del tipo:

$$\Delta H = \varepsilon H = \frac{\Delta \sigma}{M} H$$

Nei terreni sabbiosi e ghiaiosi, il cedimento istantaneo e quello di consolidazione si verificano contemporaneamente. Determinare i parametri di compressibilità per le sabbie attraverso prove di laboratorio risulta essere problematico poiché è difficile ottenere campioni indisturbati di questo materiale (tramite carotaggi). Di conseguenza, nella maggior parte dei casi si ricorre a metodi empirici o semi-empirici per stimare i cedimenti, basati sulla reinterpretazione dei dati raccolti attraverso prove in situ, come il metodo di Schmertmann (1970-1978) che fa riferimento alla resistenza di punta q_c

delle prove penetrometriche statiche CPT, e il metodo di Burland & Burbridge (1985) che utilizza i risultati delle prove penetrometriche dinamiche e SPT, basandosi su un'analisi statistica di un grande numero di casi osservati.

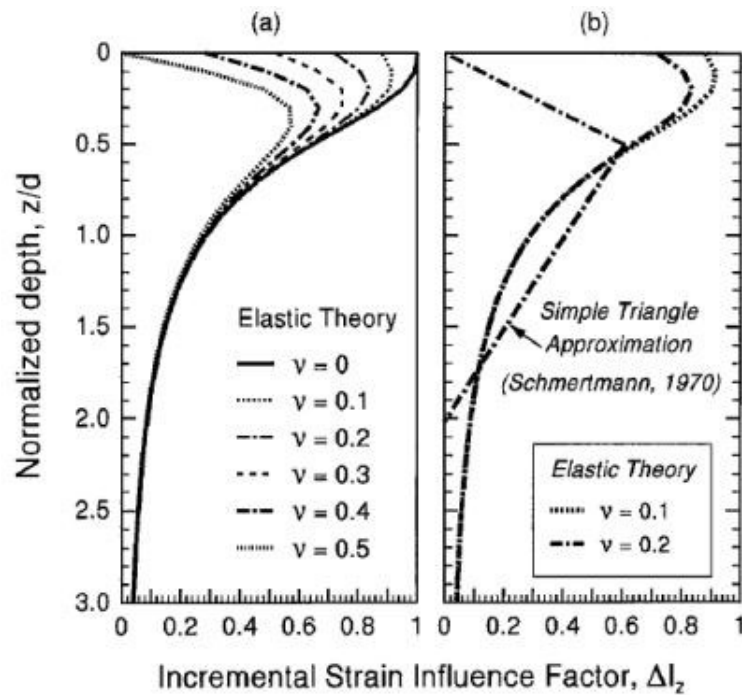


Figura 2.2: Grafico di Schmertmann: mostra la variazione della q_c sulla base della profondità e del coefficiente di Poisson (esempio).

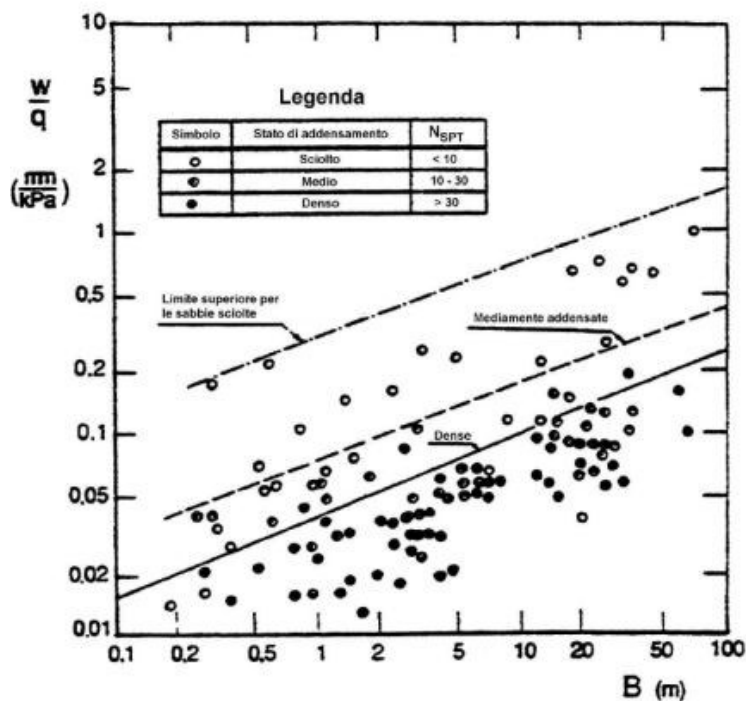


Figura 2.3: Grafico di Burland & Burbridge: basato su prove in situ di tipo SPT, descrive il diverso stato di addensamento delle sabbie sulla base del coefficiente N_{SPT} (esempio).

Esistono anche altri approcci (come quello di Lee e Salgado) che consentono di stimare i cedimenti utilizzando i risultati delle prove su piastra o i dati raccolti tramite dilatometro e pressiometro. Tuttavia, la stima dei cedimenti nei terreni granulari è generalmente incerta a causa della natura empirica dei metodi di calcolo.

Per terreni argillosi e limosi, il cedimento di consolidazione viene comunemente valutato utilizzando il metodo semplificato di Terzaghi, che si basa sulla teoria della consolidazione edometrica monodimensionale. Il volume significativo viene suddiviso in strati di modesto spessore, e si stimano il peso specifico e i parametri geotecnici di compressibilità per ciascuno strato. Successivamente si determina la tensione efficace in situ e si calcola l'incremento di tensione verticale per ogni livello causato dall'applicazione del carico in superficie. Il cedimento di ciascuno strato viene calcolato utilizzando le formule derivate dal metodo edometrico. Il cedimento totale, trattato come un cedimento di tipo edometrico, è ottenuto sommando i contributi di cedimento di ogni livello.

L'assunzione di consolidazione monodimensionale non è sempre valida, pertanto al cedimento edometrico calcolato con il metodo di Terzaghi si applica un fattore di correzione μ , proposto da Skempton & Bjerrum (1957). Questo fattore dipende dal tipo di materiale e dalla geometria dell'area di carico. Inoltre, il cedimento di consolidazione è calcolato assumendo un carico applicato su una superficie flessibile, ma spesso i cedimenti devono essere valutati per fondazioni considerate infinitamente rigide o comunque con un certo grado di rigidità. Poulos & Davis (1974) hanno proposto delle relazioni che permettono di calcolare il cedimento di una fondazione rigida come una frazione del cedimento di una fondazione flessibile.

Per i terreni coesivi saturi è possibile stimare il cedimento istantaneo in termini di tensioni totali, ovvero in condizioni non drenate, mediante l'uso della teoria dell'elasticità. Questo approccio è parzialmente giustificato dal fatto che le tensioni indotte dal carico operativo sono basse. In condizioni non drenate, il terreno saturo sperimenta solamente deformazioni a taglio, senza deformazioni volumetriche, il che implica che il coefficiente di Poisson è pari a 0,5. Il modulo di deformazione da utilizzare è quello relativo alle condizioni non drenate, correlato alla resistenza a taglio non drenata, e spesso si fa riferimento al valore del modulo secante per deformazioni assiali, che può essere pari a $1/2$ o a $1/3$ della deformazione assiale a rottura, determinato mediante prove di compressione semplice o prove triassiali non drenate.

2.1 La teoria di Boussinesq

Il metodo di Boussinesq (1885), basato sulla teoria dell'elasticità, fornisce una soluzione analitica per calcolare le tensioni e le deformazioni causate da una forza concentrata applicata perpendicolarmente alla superficie di un semispazio ideale, continuo, omogeneo, isotropo, elastico lineare e privo di peso. Facendo riferimento alla figura 2.4, le tensioni indotte in un punto generico, espresso in coordinate cilindriche, sono descritte dalla seguente teoria:

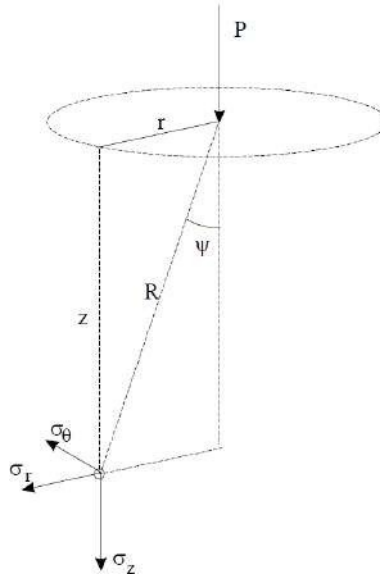


Figura 2.4: Soluzione di Boussinesq per carico concentrato.

$$\sigma_z = \frac{3Pz^3}{2\pi R^5}$$

$$\sigma_r = -\frac{P}{2\pi R^2} \left(-\frac{3r^2z}{R^3} + \frac{(1-2\nu)R}{R+z} \right)$$

$$\sigma_\theta = -\frac{(1-2\nu)P}{2\pi R^2} \left(\frac{z}{R} - \frac{R}{R+z} \right)$$

con $R^2 = r^2 + z^2$.

Gli incrementi di tensione verticale nel terreno causati dall'applicazione di un carico verticale esterno diminuiscono con l'aumentare della profondità. Sebbene questo modello sia semplificato e idealizzato, offre soluzioni ragionevolmente precise. Tuttavia, nella realtà, i terreni sono caratterizzati da stratificazioni e non omogeneità, non sono isotropi, e le loro rigidezze variano in base al tipo di materiali e alla profondità, rendendo l'ipotesi di un comportamento elastico lineare limitata a basse

tensioni. Nonostante queste differenze tra il modello e la realtà, i risultati ottenuti sono generalmente validi per la stima delle tensioni verticali.

Dato che il principio di sovrapposizione degli effetti si applica nell'ambito dell'ipotesi di elasticità lineare, la soluzione di Boussinesq è stata estesa per includere soluzioni elastiche che si adattano a varie condizioni di carico applicate sulla superficie. Una tra queste è la metodologia proposta da Newmark (1935) che facilita l'uso delle equazioni di Boussinesq per calcolare l'incremento di tensioni sotto aree di carico quadrate o rettangolari. Questo incremento di tensioni viene calcolato in qualsiasi punto situato a una profondità z , direttamente sotto uno degli angoli dell'area di carico.

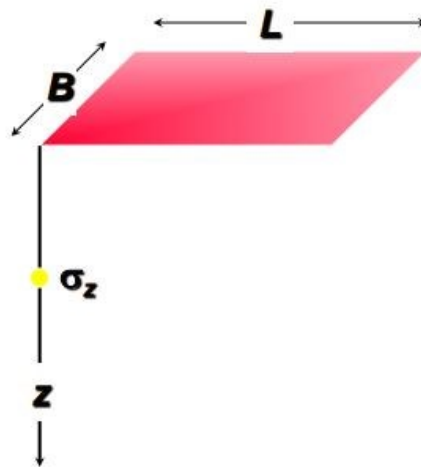


Figura 2.5: Soluzione di Newmark per carico distribuito in area rettangolare variabile.

Si considera $m = B/z$ e $n = L/z$, da cui:

$$I_{\sigma_z} = \frac{1}{2\pi} \left[\arctan \frac{mn}{(m^2 + n^2 + 1)^{0,5}} + \frac{mn}{(m^2 + n^2 + 1)^{0,5}} \left(\frac{1}{1 + m^2} + \frac{1}{1 + n^2} \right) \right]$$

definendo I_{σ_z} come il coefficiente di influenza dell'area caricata. Si ha dunque:

$$\Delta\sigma_z = qI_{\sigma_z}$$

con q valore del carico distribuito.

Esistono in alternativa delle soluzioni tabellate per il calcolo di I_{σ_z} a partire dai coefficienti m e n :

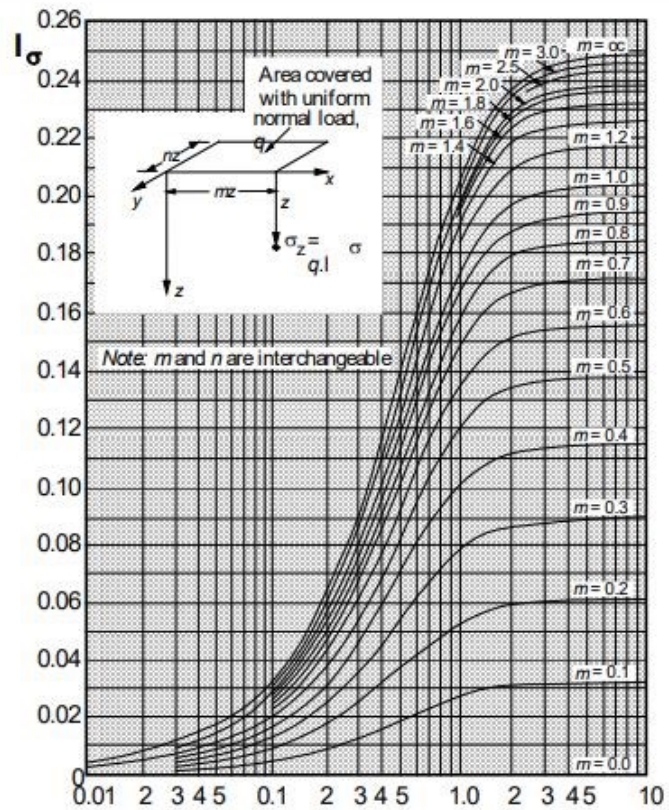


Figura 2.6: Soluzione tabellata per il calcolo del coefficiente di Newmark per carico distribuito in area rettangolare variabile.

Utilizzando il principio di sovrapposizione, questa soluzione permette di determinare lo stato tensionale causato da una pressione uniforme applicata su un'area che può essere divisa in rettangoli, in qualsiasi punto situato sia all'interno che all'esterno dell'area.

2.2 La teoria della consolidazione edometrica

Le condizioni edometriche implicano l'applicazione di un carico distribuito uniformemente su un'area infinitamente ampia, senza che si verifichino deformazioni laterali. A causa dell'aumento delle tensioni efficaci, il terreno si deforma verticalmente:

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

con H_0 pari all'altezza iniziale del volume di materiale considerato, e_0 l'indice dei vuoti iniziale, ΔH la variazione di altezza e Δe la variazione dell'indice dei vuoti dovute all'applicazione di carico. Si ricava:

$$\Delta H = \frac{H_0}{1 + e_0} \Delta e$$

La compressibilità dei terreni viene esaminata in laboratorio attraverso la prova edometrica, la cui finalità è di determinare le deformazioni e quindi i cedimenti dei terreni. La prova si esegue su campioni indisturbati di terreno a grana fine, che presentano una forma cilindrica e sono confinati lateralmente da un anello rigido.

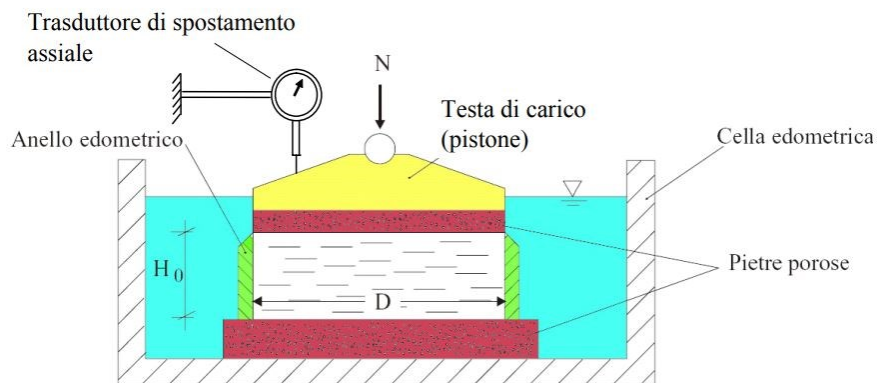


Figura 2.7: Rappresentazione di una prova edometrica.

Durante la prova, i campioni sono sottoposti a compressione e sono dotati di un disco di carta filtro e una pietra porosa sulle loro basi superiore e inferiore per agevolare il drenaggio. Il campione, l'anello e il filtro sono collocati all'interno di una cella edometrica piena d'acqua per garantire la completa saturazione del materiale di prova. Successivamente, viene applicato un carico verticale per incrementi progressivi, ciascuno mantenuto per un tempo sufficiente affinché si completi il cedimento di consolidazione. Durante questo periodo, viene misurata la variazione dell'altezza ΔH

nel tempo. Conoscendo i valori di ΔH per ogni incremento, è possibile calcolare le deformazioni assiali (che in questo caso coincidono con le deformazioni volumetriche) e le variazioni dell'indice dei vuoti. Questi risultati sono rappresentati attraverso curve di compressibilità edometrica, che mostrano come l'indice dei vuoti o le deformazioni assiali variano in funzione della pressione efficace.

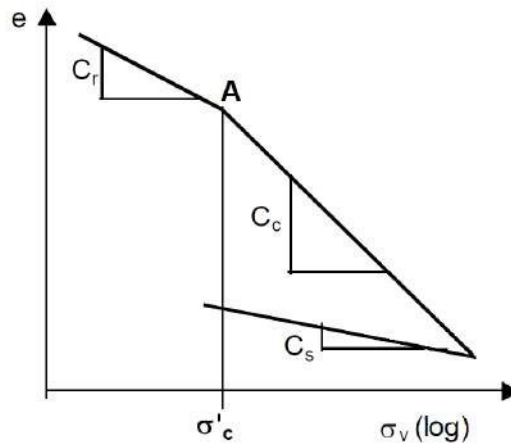


Figura 2.8: Curva sperimentale di compressione edometrica $e - \log \sigma'$.

Dai grafici si ricavano i seguenti parametri:

- l'indice di compressibilità di volume $mv = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma'}$;
- il modulo edometrico $M = \frac{1}{mv}$;
- l'indice di ricomprensione C_r e quello di compressione C_c .

Si scompone quindi il grafico in due segmenti, uno iniziale di ricarico con pendenza C_r fino all'aliquota di carico per cui il terreno ha già consolidato e un altro di carico con pendenza C_c . Il segmento terminale invece è definito di scarico, coincidente con la fase di rimozione del carico agente.

Il cedimento edometrico può quindi essere espresso come:

$$\Delta H = \frac{H_0}{1 + e_0} \left(C_r \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{v0}} + C_c \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta \sigma_v}{\sigma'_c} \right)$$

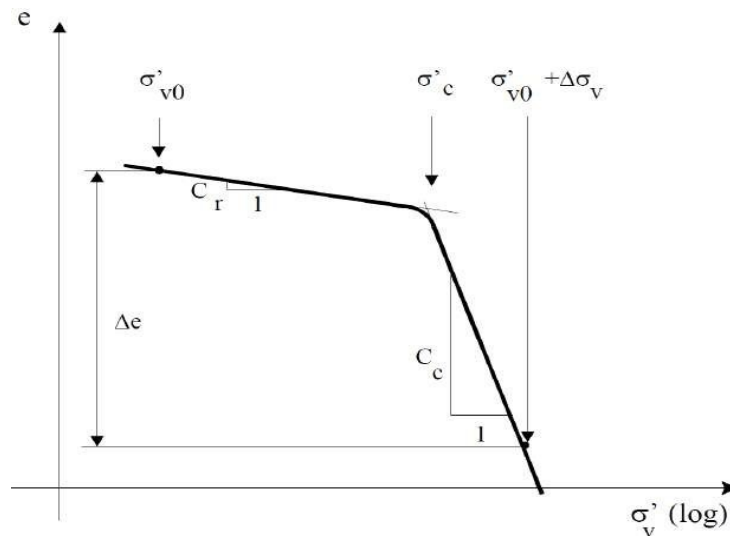


Figura 2.9: Tensioni di consolidazione primaria.

È possibile effettuare il calcolo del cedimento edometrico sulla base del coefficiente di compressibilità di volume:

$$\Delta H = H_0 \Delta \sigma_v m_v$$

Il progresso dei cedimenti nel tempo e, di conseguenza, il tempo richiesto affinché il cedimento di consolidazione raggiunga il suo valore finale, possono essere analizzati utilizzando la teoria della consolidazione monodimensionale. Dopo aver applicato uno stato tensionale al terreno in condizioni non drenate si modificano le condizioni al contorno per consentire all'acqua di attraversare la superficie di confine, si instaura un moto di filtrazione a regime variabile. L'eccesso di pressione neutra causato dal carico esterno tende a dissiparsi poiché la pressione neutra cerca di raggiungere un equilibrio con le condizioni idrauliche al contorno. Allo stesso tempo, si verifica un aumento delle tensioni efficaci e, di conseguenza, una variazione del volume del terreno.

Il decorso della consolidazione avviene in un tempo più o meno lungo in relazione ai valori del coefficiente di permeabilità k e del modulo di deformabilità dello scheletro solido, nonché al percorso massimo H che deve fare l'acqua per raggiungere le superfici drenanti al contorno.

La distribuzione e l'andamento nel tempo degli eccessi di pressione neutra possono essere dedotti uguagliando il volume di liquido che nell'unità tempo attraversa la superficie di contorno di un generico elemento di volume del mezzo alla corrispondente variazione di volume dell'elemento.

La teoria della consolidazione monodimensionale di Terzaghi analizza il processo di consolidazione di uno strato di argilla con uno spessore costante, in cui la filtrazione può avvenire verticalmente verso uno o due strati drenanti posizionati ai margini dello

strato di argilla.

L'equazione differenziale che descrive il processo di consolidazione dello strato di argilla è:

$$c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t}$$

dove c_v è il coefficiente di consolidazione e rappresenta le proprietà del mezzo:

$$c_v = \frac{kE_{ed}}{\gamma_w}$$

Ai fini della trattazione teorica si fa riferimento ad un esempio di base, che considera uno strato di argilla sottostante uno di sabbia.

Nello strato di argilla all'istante t_0 non ci può essere un flusso d'acqua attraverso la superficie drenante (per avere un flusso d'acqua in un tempo infinitesimo sarebbe necessaria un mezzo con permeabilità infinita), mentre in uno di sabbia, data l'elevata permeabilità, il carico si trasmette immediatamente allo scheletro solido.

Tra lo strato di argilla e il sovrastante strato di sabbia si stabilisce una differenza di carico idraulico, che provoca un moto di filtrazione diretto verso l'alto. Il sottile strato di argilla adiacente alla superficie drenante tenderà a mettersi in equilibrio idraulico con le condizioni al contorno più rapidamente di quelli lontani e nell'istante generico $t > t_0$ si ha una distribuzione delle sovrappressioni neutre del tipo di quella riportata nella figura seguente ed una riduzione di volume dello strato proporzionale all'incremento delle tensioni efficaci.

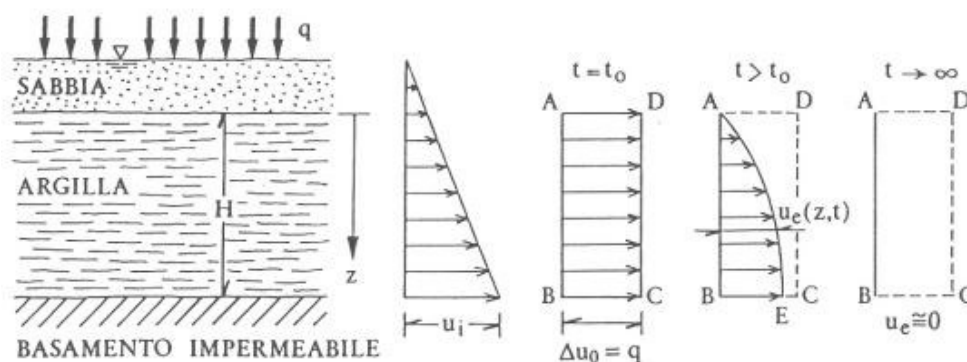


Figura 2.10: Distribuzione delle sovrappressioni per le diverse fasi temporali.

Il processo si arresta quando in ogni punto dello strato di argilla le sovrappressioni interstiziali si sono ridotte a zero e tutto il carico esterno, come tensioni efficaci, è sostenuto dallo scheletro solido dell'argilla che in queste condizioni subisce la massima deformazione.

La dimensione H rappresenta il percorso che la particella d'acqua più lontana dalla superficie drenante deve compiere per raggiungere detta superficie. Nel caso di strato con una sola superficie drenante, H coincide con lo spessore dello strato, mentre è pari alla metà dello spessore dello strato se il drenaggio può avvenire verso l'alto e verso il basso.

La soluzione del problema è espressa in funzione delle grandezze adimensionali T e U^* :

$$T = c_v \frac{t}{H^2}$$

$$U^* = 1 - \frac{\int_0^H u \, dz}{\Delta u_0 H}$$

dove T è il fattore di tempo e U^* è il grado di consolidazione medio.

Si può esprimere il grado di consolidazione medio in funzione del fattore tempo. Dal grafico si rileva che, all'aumentare del tempo, U^* aumenta via via più lentamente e, teoricamente, il processo di consolidazione si esaurisce a tempi infiniti.

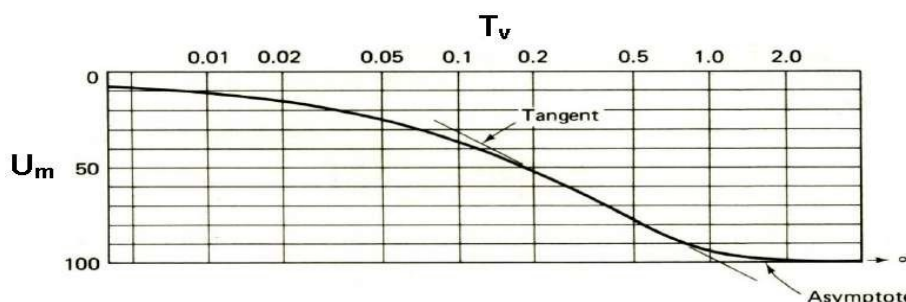


Figura 2.11: Variazione del gradi di consolidazione medio in relazione al fattore di tempo.

La funzione U^* descrive anche l'andamento nel tempo della variazione di volume dello strato di argilla e quindi del cedimento di consolidazione. Noto il valore finale del cedimento di consolidazione, è possibile conoscere il valore del cedimento ad un tempo generico t mediante la relazione:

$$\Delta H(t) = U^* \Delta H$$

con t tempo necessario per raggiungere un determinato grado di consolidazione.

Dati i bassi valori del modulo edometrico delle argille normalmente consolidate, il cedimento finale di consolidazione può essere molto grande e può essere raggiunto in tempi anche lunghi, maggiori della vita economica dell'opera. Ciò che conta però ai fini dell'ammissibilità dei cedimenti è il cedimento durante la vita economica dell'opera.

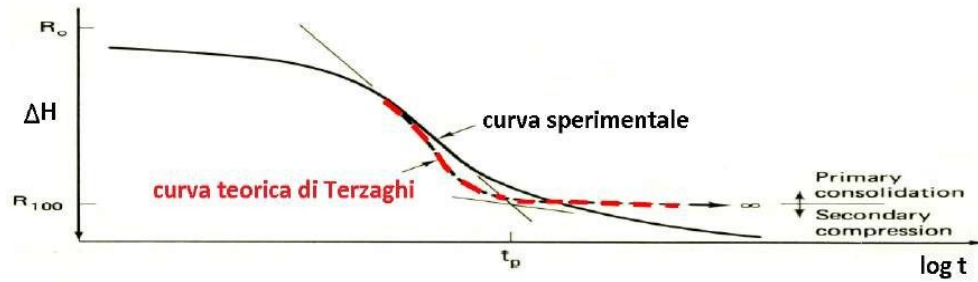


Figura 2.12: Curva di consolidazione nel piano $T_v - U_m$, soluzione della teoria di Terzaghi e curva sperimentale.

La curva teorica della consolidazione edometrica di Terzaghi presenta un asintoto orizzontale nella sua parte terminale, mentre la curva sperimentale mostra un asintoto inclinato. Questa discrepanza è attribuibile alle deformazioni viscosi dello scheletro solido, che si verificano anche a carico costante. La pendenza dell'asintoto inclinato nel piano semilogaritmico è chiamata indice di compressione secondaria c_α ; utilizzando questo parametro, è possibile valutare il cedimento di compressione secondaria come:

$$S_\alpha = H c_\alpha \log \frac{t_c + \Delta t}{t_c}$$

con t_c tempo necessario a terminare la consolidazione primaria. Si nota che questo cedimento è indipendente dall'entità del carico applicato e, in realtà, non vi è una distinzione netta nel tempo tra la conclusione del cedimento primario e l'inizio del cedimento secondario.

Capitolo 3

La barriera di Lido Treporti

3.1 Configurazione dell'opera

La barriera per la regolazione delle maree alla bocca di Lido è articolata in due tratti separati da un'isola artificiale, disposta in posizione intermedia. L'isola, realizzata su bassi fondali, consente la suddivisione funzionale della barriera mobile in due parti, impostate su fondali compatibili con quelli naturali dei canali di bocca, più profondi a San Nicolò e meno profondi a Treporti. Quest'ultima è caratterizzata da una lunghezza di circa 420 metri ed una profondità di 6 metri. Tale configurazione comporta l'impiego di 7 cassoni di soglia standard, aventi la lunghezza L di circa 60 metri e larghezza B di circa 36 metri.

Le altezze massime del monolite si riscontrano nei due corpi alti lato laguna e lato mare ($H=8,70$ metri), mentre il corpo centrale è caratterizzato dall'altezza minima di 3,15 metri, per consentire l'alloggiamento della paratoia di pertinenza.

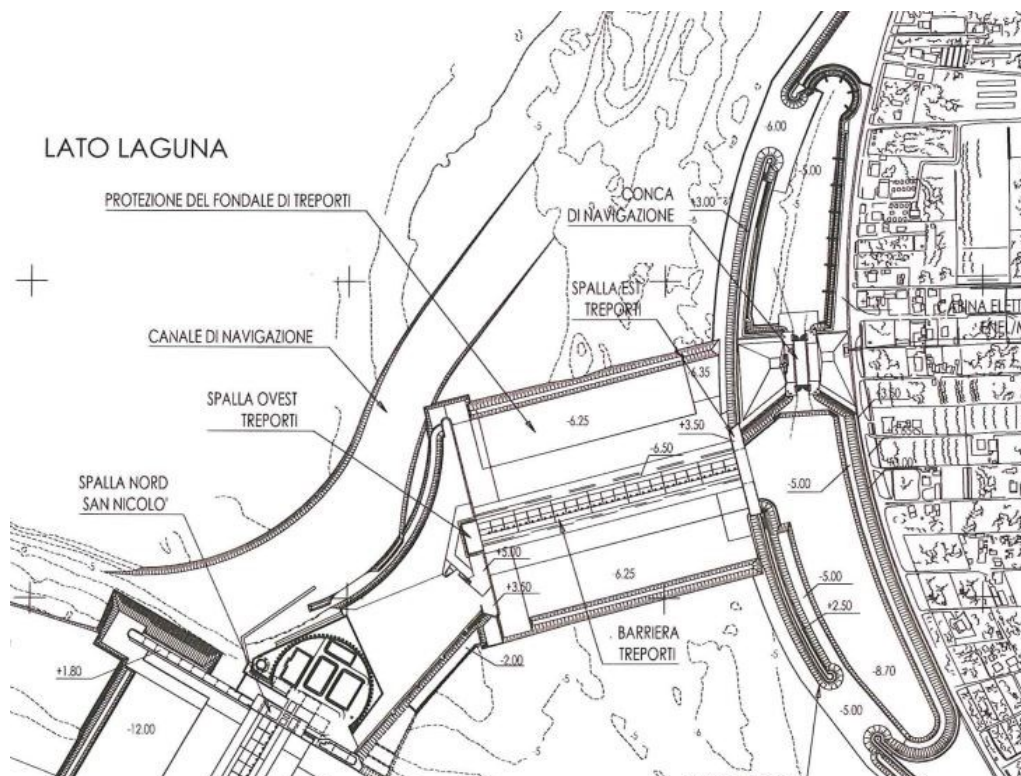


Figura 3.1: Area di interesse della barriera Treporti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

La posa dei cassoni prefabbricati all'interno dei recessi precedentemente dragati è iniziata dalla spalla Ovest, procedendo poi con i cassoni della soglia della barriera e concludendo con il cassone della spalla Est.

Il piano di imposta degli strati di fondazione si trova a -16.40 m s.l.m., e al di sopra di questa quota è presente uno strato di materiale granulare compattato spesso 1.35 m, utilizzato per la distribuzione dei carichi generati dalla posa dei cassoni della barriera. Durante la fase iniziale di installazione, ogni cassone è temporaneamente supportato da 4 selle in cemento armato prefabbricate, inserite nello strato di materiale granulare tramite pins. Al termine delle fasi di posa e installazione, i cassoni sono appoggiati su sacconi in polipropilene, noti come "bags", posizionati tra l'estradosso della soletta e lo strato di materiale granulare. Questi sacconi vengono riempiti con malta cementizia iniettata sotto pressione.

Come misura di riduzione dei cedimenti, è stato realizzato un palancolato in jet-grouting con lunghezza di 19 m, infisso nel terreno a partire da una quota di -16.40 m s.l.m.

Di seguito si riportano le sezioni tipo relative ai cassoni soglia e di spalla:

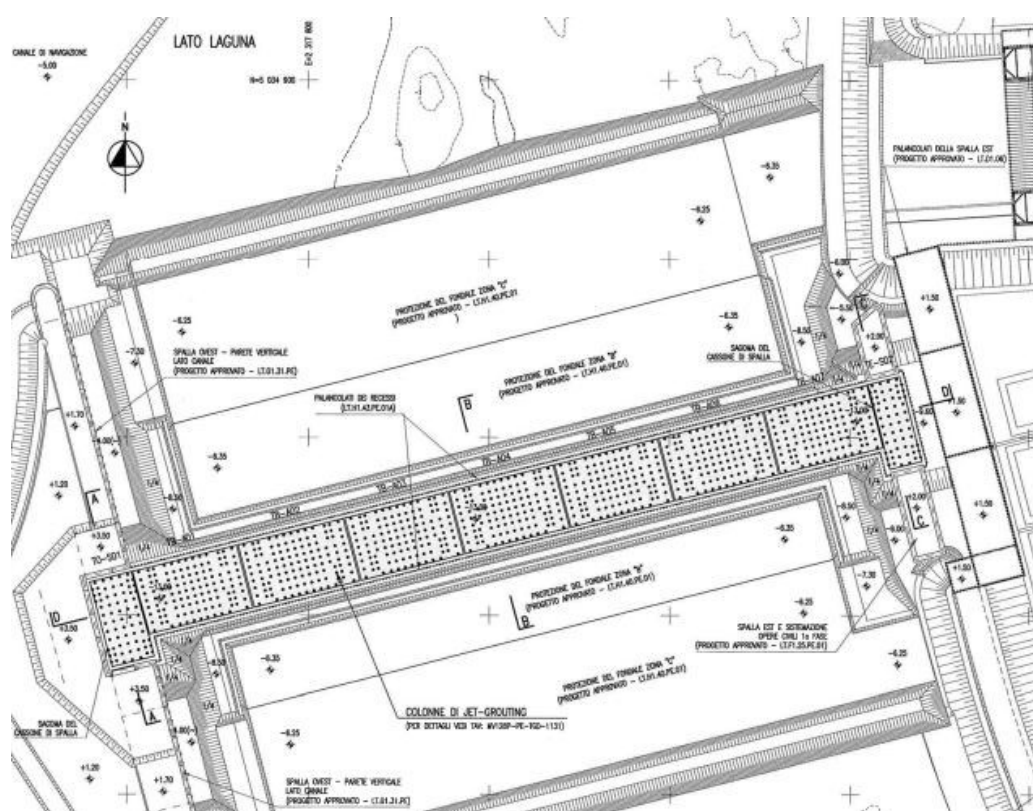


Figura 3.2: Area di interesse della barriera Treporti e relative sezioni di riferimento; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

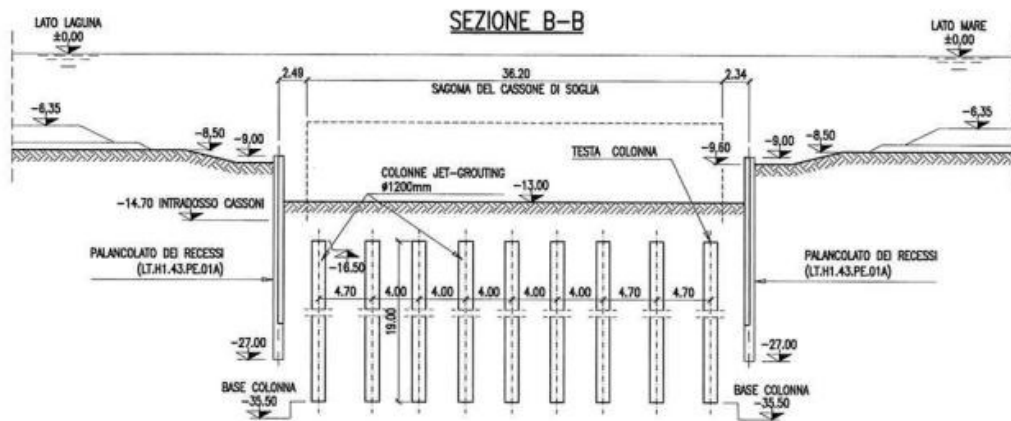


Figura 3.3: Sezione tipo cassone di soglia; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

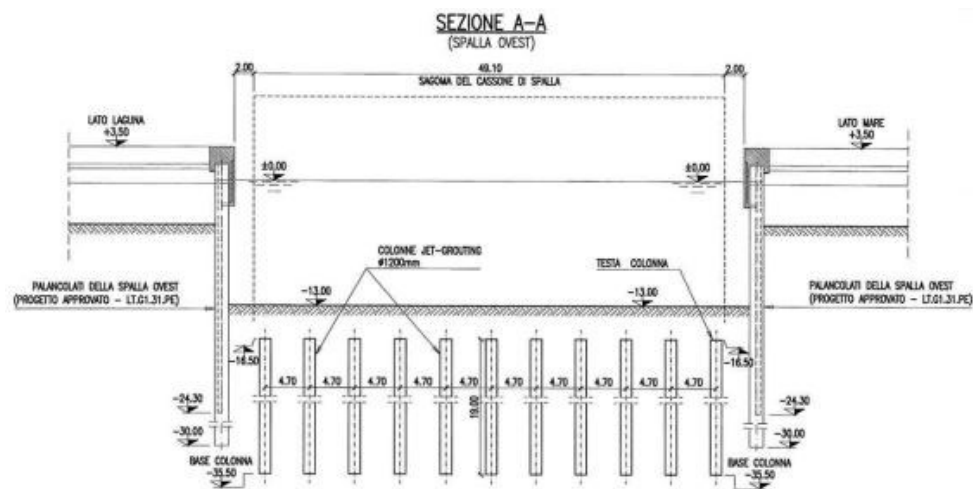


Figura 3.4: Sezione tipo cassone di spalla Ovest; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

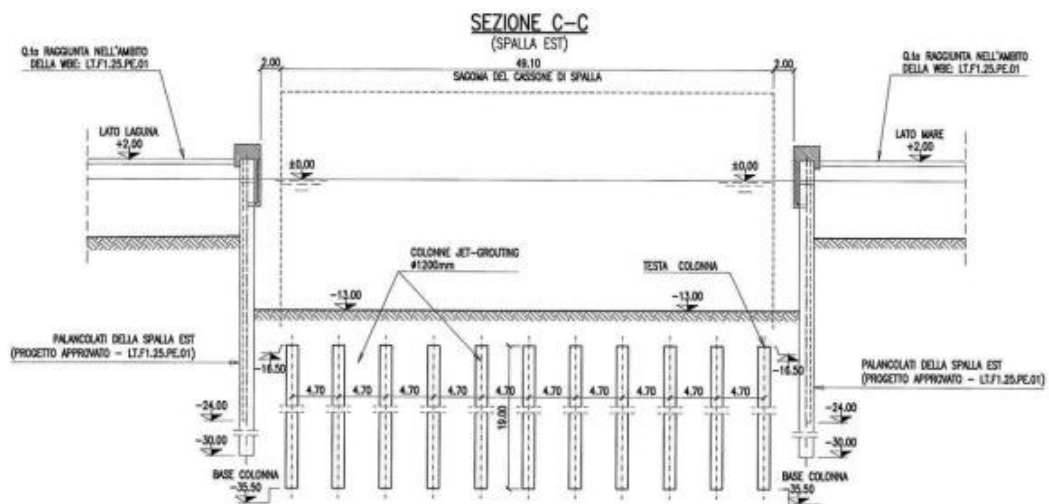


Figura 3.5: Sezione tipo cassone di spalla Est; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

3.1.1 Cassoni di barriera

I cassoni di barriera sono in totale 9 cassoni prefabbricati in calcestruzzo armato a struttura cellulare, si sviluppano secondo il tracciato rappresentato in Figura 3.6:

- I 7 cassoni di soglia denominati da TB-A01 a TB-A07, sono strutture cellulari in c.a. con dimensioni di base di 60.00 m per 36.00 m. L'altezza massima di queste strutture è di 8,70 m nelle zone laterali, diminuendo fino a un'altezza minima di 3.15 m al centro, mantenendosi comunque sommersi.
- I 2 cassoni di spalla saranno posati alle estremità della barriera. Anche questi cassoni presentano una struttura cellulare in c.a.; rispetto a quelli di soglia presentano dimensioni in pianta più ridotte, ma un'altezza circa doppia. Infatti mentre i cassoni di soglia una volta installati saranno completamente immersi in acqua, con la sommità posta alla quota di fondo canale, i cassoni di spalla saranno emergenti, con una quota finale, dopo la realizzazione degli interventi di completamento in opera, che raggiunge circa la +15.00 metri. I cassoni di spalla saranno prefabbricati in tura fino alla quota +2.00 metri. Il cassone di spalla Ovest, il primo ad essere varato e poi imbasato nel recesso ricavato sulla sponda dell'isola artificiale, presenta le seguenti dimensioni B x L x H: 49.10 m x 23.80 m x 16.70 m, mentre quello di spalla Est 49.10 m x 18.30 m x 16.70 m.

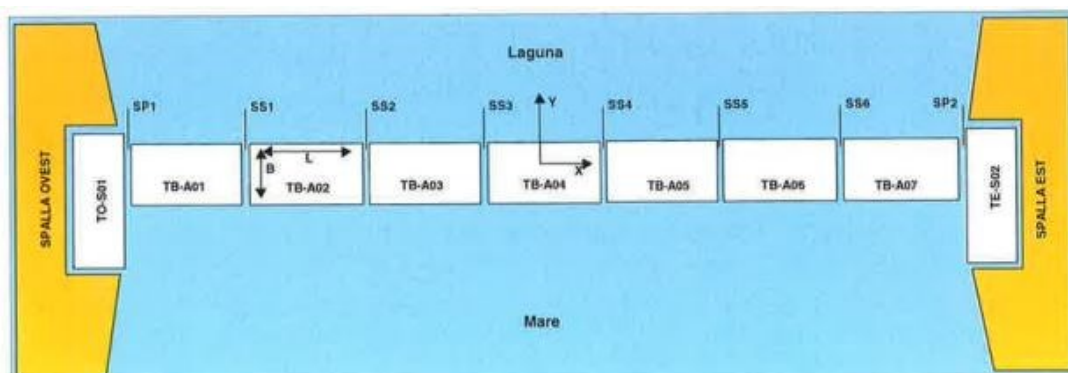


Figura 3.6: Rappresentazione in pianta della barriera di Treporti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Sul lato mare dei cassoni soglia si trovano due gallerie, parallele e non interconnesse, attraversate dagli impianti meccanici ed elettrici principali e di supporto che originano dalle estremità della barriera. In posizione più esterna rispetto a queste, è situato il tunnel destinato alla ventilazione e al drenaggio dell'aria e dell'acqua dalle paratoie. La connessione fra i cassoni è assicurata da un sistema di giunzioni di tipo Gina/Omega, che garantisce un'efficace tenuta idraulica e la continuità dei percorsi di accesso lungo l'intera lunghezza della diga. Il giunto Gina, composto da due anelli (uno rivolto verso la laguna per l'allineamento e l'altro verso il mare che racchiude le tre gallerie agendo da sigillante), viene installato prima del posizionamento del cassone e permette una

immediata impermeabilizzazione con il cassone già posto. Il giunto Omega, formato da tre anelli, viene montato dopo che i cassoni adiacenti sono stati affondati e stabilizzati, applicato lungo il contorno di ogni galleria. Il giunto Gina, una volta installato, non può essere sostituito durante il ciclo di vita dell'infrastruttura senza sostanziali lavori di demolizione e ricostruzione subacquea. Al contrario, il giunto Omega può essere ispezionato e sostituito in caso di danni o usura nel corso del tempo. Entrambi i tipi di giunto sono progettati per tollerare, entro limiti prestabiliti dal fabbricante, le deformazioni causate da restringimento/viscosità, variazioni termiche, errori di installazione, cedimenti geotecnici differenziali e movimenti sismici.

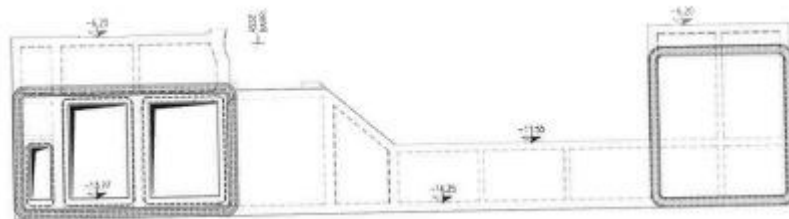


Figura 3.7: Testata del cassone di soglia con vista dei collari del giunto Gina e gli anelli interni del giunto Omega; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Sia sul cassone di spalla Ovest di Treporti, sia su quello Est, saranno posizionati gli edifici ELE/HVAC che alloggiano l'impiantistica elettrica e strumentale di alimentazione e di controllo degli impianti al servizio delle paratoie, nonché tutti gli impianti di ventilazione e condizionamento dei locali e delle gallerie ricavate nei cassoni di soglia. In particolare, sull'adiacente terrapieno di spalla Ovest, verrà posizionato un edificio interrato ausiliario per il controllo delle emergenze, completando l'area di spalla con un impalcato sul quale è impostato il piazzale impiantistico e, a tergo dell'impalcato, con un edificio che verrà adibito ad uso pubblico. L'area di spalla Est invece è completata da un terrapieno finito, sul quale è prevista la realizzazione di un piazzale che sarà ripartito tra aree ad esclusivo accesso al personale Mose e un'area accessibile anche al pubblico.

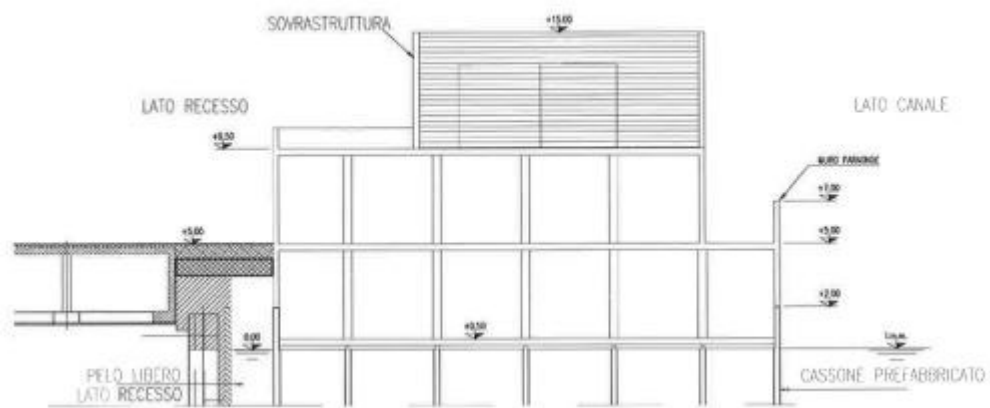


Figura 3.8: Sezione del cassone di spalla Ovest con sovrastuttura; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Costruzione, varo e installazione dei cassoni di barriera

I cassoni della barriera sono stati prefabbricati e stoccati all'asciutto all'interno della tura che è stata appositamente predisposta in corrispondenza del futuro porto rifugio lato mare di Lido Treporti.



Figura 3.9: Vista delle tura di Lido Treporti (Ottobre 2008); estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

La costruzione di ciascun cassone è avvenuta su una platea dedicata in calcestruzzo drenante dello spessore di 40 cm e avente dimensioni planimetriche leggermente superiori a quelle del cassone di pertinenza. Il piano di lavoro è accuratamente livellato con materiale granulare fine. Il monolite di soglia è costituito da una struttura cellulare caratterizzata da 4 orizzontamenti e da una griglia di setti verticali orditi nelle due direzioni principali. Le dimensioni e la complessità geometrica del manufatto sono tali da richiedere che la realizzazione della struttura avvenga per getti in opera consecutivi, con sezioni di ripresa orizzontali e verticali. Al completamento della costruzione di tutti i cassoni, la tura viene allargata ed i cassoni sono portati in condizione di galleggiamento. Si è aperto dunque il varco in corrispondenza della “futura” spalla Est ed i cassoni sono stati portati tramite verricelli nello specchio acqueo prospiciente la tura e connessi all'apposito natante. Il cassone viene quindi trasportato tramite un idoneo mezzo (catamarano).

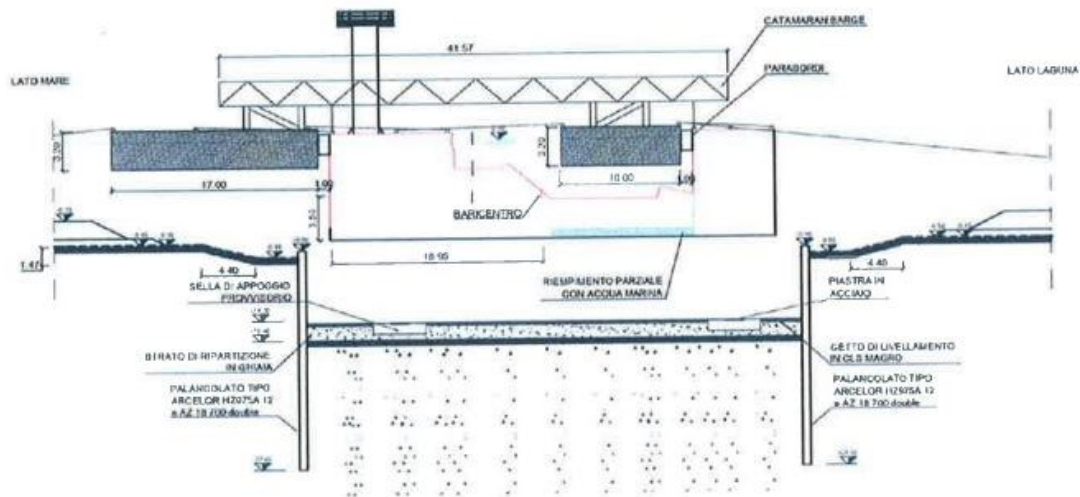


Figura 3.10: Schema del trasporto tramite catamarano dei cassoni di soglia della Barriera di Treporti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Seguono le operazioni di trasporto e di affondamento in trincea di tutti i cassoni, a partire dal cassone di spalla Ovest, il quale viene precedentemente varato. Portato il cassone sopra il punto di imbasamento, esso viene gradualmente zavorrato con acqua e nel contempo tenuto sotto controllo da cavi di sospensione, detti “lifting points” e dal sistema di cavi di ormeggio/tonneggio che vincolano elasticamente al mezzo d’installazione. Verso il termine dell’operazione di affondamento, poco prima di raggiungere il piano di imposta, è stata avviata la fuoriuscita dei 4 perni estensibili dal solettone di fondo; quando i perni giungono a battuta con le quattro piastre di appoggio provvisorio, si ha lo smorzamento delle oscillazioni del cassone e quindi la sua stabilizzazione. Tramite questi dispositivi si possono quindi recuperare gli errori di posa delle selle e regolare i livelli in maniera tale che il cassone si ritrovi in posizione orizzontale e alla quota di progetto. Effettuate le correzioni di quota, il cassone viene tirato verso quello precedente, fintantoché i giunti Gina di testata giungono a battuta sui collari del cassone di riscontro. Questa operazione viene eseguita tramite dei martinetti disposti all’estradosso dei manufatti prospicienti, sempre in prossimità delle testate. Al termine delle operazioni di posa e regolazione dei livelli, il cassone si trova a contatto ed allineato con quello precedente. A questo punto si effettua lo schiacciamento definitivo dei giunti Gina svuotando con pompe le camere di testata comprese fra i due manufatti all’interno del perimetro dei giunti stessi.

Successivamente si procede rapidamente con un secondo zavorramento affinché il cassone sia in grado di sostenere eventuali azioni instabilizzanti da moto ondoso e corrente che dovessero intervenire prima di realizzare l’apposito definitivo del

manufatto.

Infine si è terminata la costruzione della barriera di Treporti tramite l'installazione delle paratoie mobili per mezzo di strutture di sollevamento, le *Jack-Up*, le cui gambe venivano ancorate sulla soletta superiore del cassone; Sui cassoni di spalla Ovest ed Est invece sono stati realizzati gli edifici ELE/HVAC.

3.1.2 Palancolati e recessi

I palancolati sono stati utilizzati per supportare gli scavi di fondazione, assicurando la possibilità di ispezionare i vani e gli spazi tra i cassoni da parte dei sommozzatori durante le operazioni di installazione degli elementi dello sbarramento. Lungo la barriera le palancole hanno quota di sommità a -9.00 m s.l.m.m. lato mare e -9.60 m s.l.m.m. lato laguna. Tale palancolato è caratterizzato da una parete combinata costituita da un elemento portante tipo "P_{Sp}" che si alterna a due elementi di tenuta tipo "P_Z". I singoli elementi sono uniti gli uni agli altri mediante opportuni gargami di aggancio e scorrimento durante l'infissione. I gargami sono realizzati mediante elementi di connessione tipo "P" fra gli elementi "P_{Sp}" e "P_Z".

Nel progetto esecutivo dei recessi di fondazione si è prevista la realizzazione da fondo scavo, posto a quota -16.40 m l.m.m., di un pacchetto di fondazione costituito da:

- uno strato di materiale granulare compattato di 1.35 m, posto sopra il terreno naturale consolidato;
- uno strato di intasamento di 0.50 m, realizzato con iniezioni di malta all'interno di sacconi bags in propilene posti tra lo strato di granulare e l'estradosso della soletta del cassone;
- 4 selle di appoggio provvisorie in c.a. per ciascun cassone di barriera.

Dopo il completamento del dragaggio, il fondale marino si posiziona a una profondità di -16.40 m s.l.m. Successivamente, con la deposizione del materiale granulare, che agisce come strato intermedio tra il terreno consolidato e i sacconi iniettati, e la compattazione effettuata con una piastra vibrante, si arriva alla profondità di progetto di -15.05 m s.l.m. Le basi in calcestruzzo sono inserite in scavi realizzati nel suddetto strato granulare e collocate vicino ai quattro angoli di ogni cassone. Queste basi di appoggio temporaneo, costruite in calcestruzzo armato e preassemblate in ambiente asciutto, hanno la funzione di distribuire al terreno i carichi concentrati esercitati dai perni di appoggio temporaneo del cassone durante la fase intermedia di installazione, successiva all'immersione e precedente all'iniezione dei sacconi.

3.1.3 Jet grouting

Il trattamento del terreno di fondazione con tecnologie jet grouting interessa i terreni che si trovano tra la -16.40 e la -35.40 m l.m.m. Le colonne vengono realizzate utilizzando la metodologia del monofluido con prelavaggio. Sulla base dei parametri operativi adottati il diametro colonna nominale risulta essere di 1.20 metri. Le colonne vengono eseguite da una quota fondale pari alla -13.00 m l.m.m. La disposizione delle colonne jet grouting sotto i cassoni è stata studiata in modo da minimizzare tanto i cedimenti assoluti quanto i differenziali dei cassoni. L'acqua utilizzata per la formazione della miscela stabilizzante in uso nei trattamenti colonnari dei terreni mediante tecnologia jet grouting può essere sia dolce che salata. In entrambi i casi l'acqua è pulita e priva di sostanze organiche e/o alghe in sospensione al fine di garantire la perfetta funzionalità delle apparecchiature di miscelazione e di pompaggio, garantendo così una massa di terreno cementato di caratteristiche meccaniche non alterabili. Il cemento impiegato è di tipo pozzolanico o di alto forno delle classi normali e ad alta resistenza (R 425). Il trattamento attraversa prevalentemente strati di terreno coesivo ed è disposto in una griglia regolare con distanze uniformi di 4.70 m sotto le spalle e 4.00 m al di sotto dei cassoni di soglia.

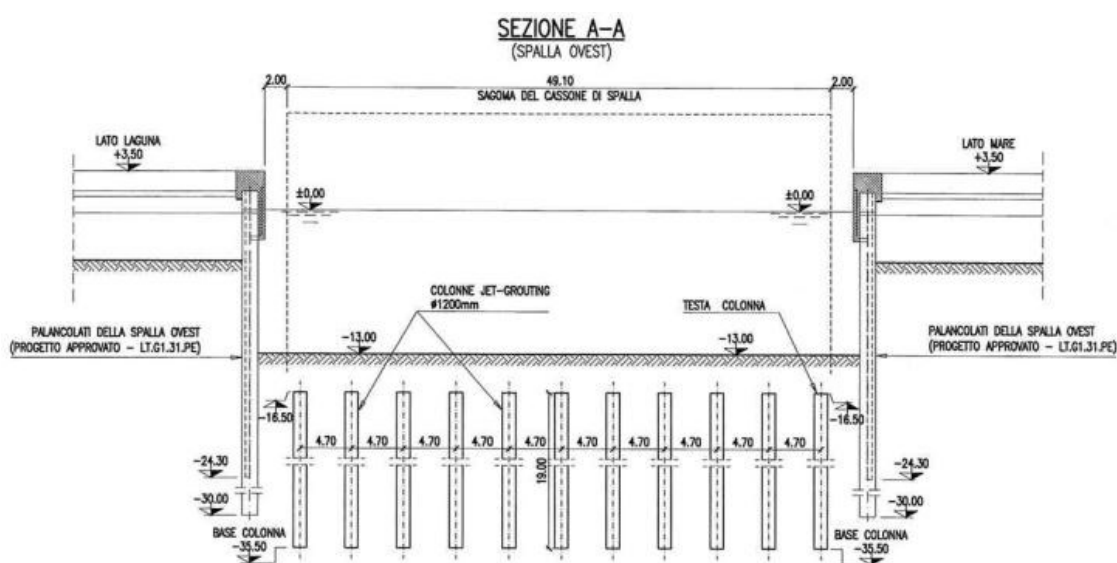


Figura 3.11: Schema jet grouting per il cassone di spalla Ovest; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

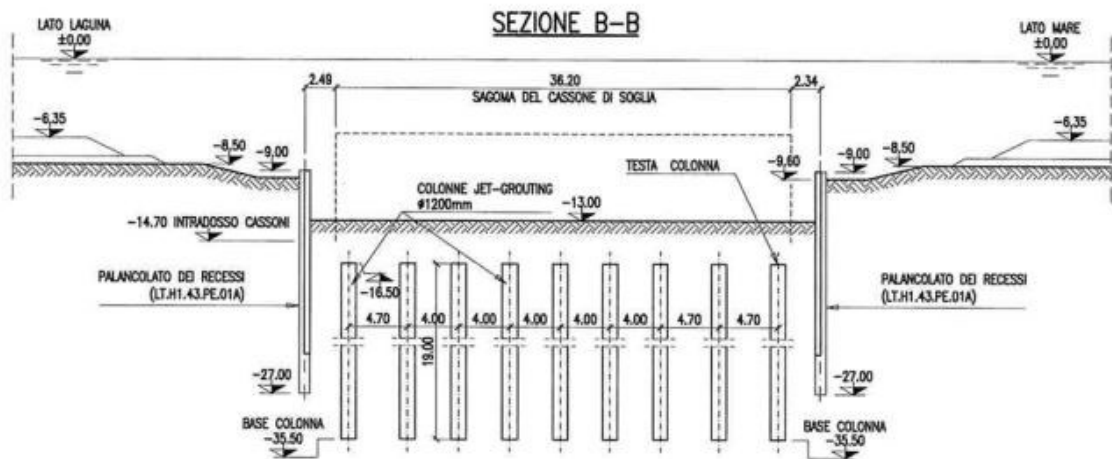


Figura 3.12: Schema jet grouting per un cassone di soglia tipo della barriera Treporti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

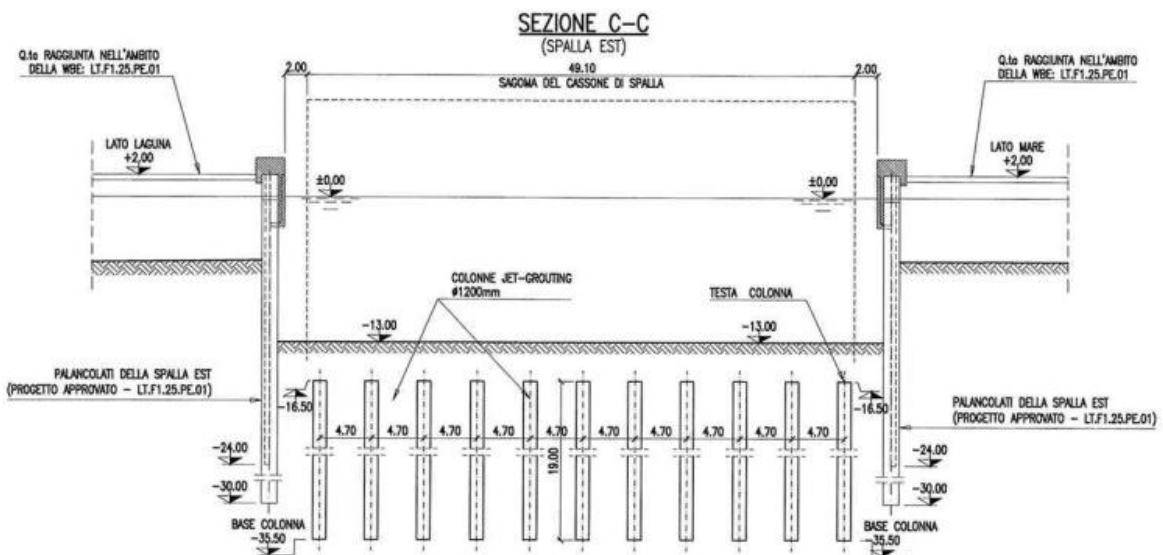


Figura 3.13: Schema jet grouting per il cassone di spalla Est; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

La funzione principale è quella di limitare i cedimenti della struttura, assicurando così la validità dell'opera nel corso della sua vita utile, mitigando in particolare i cedimenti differenziali per preservare l'efficacia dei giunti Gina e Omega tra i cassoni. È importante notare che, data la magnitudine dei carichi e le dimensioni dei cassoni, non emergono questioni relative alla capacità portante.

3.2 Analisi geognostica dei terreni di fondazione

La valutazione delle caratteristiche dei terreni di fondazione e l'analisi delle sezioni stratigrafiche in aree corrispondenti a tutte le componenti della barriera sono state effettuate attraverso successive campagne di indagini geotecniche, realizzate in diverse fasi di progettazione: il progetto REA (Riequilibrio E Ambiente) negli anni '80, il progetto preliminare nel 1992, e il progetto esecutivo nel 2002.

La definizione dei siti per le indagini è stata guidata da un rilievo batimetrico condotto nel 2000 e dall'organizzazione delle strutture previste nel progetto definitivo. Le altitudini sono state calcolate rispetto al livello medio del mare.

Durante la campagna investigativa del 2002-2003, sono state impiegate tre piattaforme modulari autosollevanti, dotate di gambe con meccanismi oleodinamici per l'aggiustamento e dimensionate per ospitare tutte le apparecchiature necessarie per le indagini. Data l'estensione dei cassoni, le indagini hanno interessato terreni fino a una profondità di 100 metri sotto il livello medio del mare. Le perforazioni per le indagini si sono estese lungo l'intera lunghezza della barriera, consentendo di mappare il profilo longitudinale e di effettuare diverse sezioni trasversali, specialmente nei punti dove si collegano le estremità della barriera.

Nel complesso, le indagini eseguite su tutta la bocca di Lido, comprendendo quindi sia il canale di San Nicolò, sia l'isola artificiale che il canale di Treporti, sono state:

- 38 sondaggi geognostici, con profondità compresa tra 40 m e 120 m, utilizzando il metodo del carotaggio continuo. Tra questi, 4 sondaggi sono stati dedicati alle prove SPT e ai test Vane nelle zone dell'isola artificiale e delle spalle. I campioni raccolti durante i sondaggi includono sia campioni indisturbati che rimaneggiati.
- 56 prove penetrometriche CPTU, con la maggior parte limitata a profondità di 30 m e 50 m, concentrandosi sugli strati superficiali responsabili della stabilità delle opere e dei cedimenti più significativi. Inoltre, sono state condotte 6 prove a profondità maggiori, pari a 120 m.
- prove dilatometriche spinte fino a 50 m di profondità;
- misurazioni della velocità delle onde di taglio per mezzo del metodo cross hole fino alla profondità di 60 m;
- misurazione delle sovrappressioni indotte dalle maree nei terreni di fondazione per mezzo di 8 piezometri installati in relazione alla stratigrafia a varie profondità tra 20 m e 60 m.

Sono stati condotti anche dei sondaggi fino a 60 m di profondità dedicati alla ricostruzione della storia deposizionale ed archeologica dei canali della bocca di porto di Lido. I livelli deposizionali che si incontrano nel sito di Treporti sono riportati in Tabella 3.1, dall'alto verso il basso.

| Livello | Tipo | Quote medie [m] | Descrizione |
|---------|------------|-----------------|--|
| A | incoerente | 11 - 13 | sabbia medio-fine con poco limo, contiene sottili intercalazioni limose e limo argillose |
| B | coesivo | 13 - 17 | argilla limosa fortemente consolidata, torba non molto presente se non sotto forma diffusa, passaggi sabbiosi nella parte inferiore; sottostrato sommitale B' detto caranto 1, poco visibile alla bocca di Lido, confuso con livello B |
| C | incoerente | 17 - 21 | sabbia fine debolmente limosa, passante localmente a sabbia media pulita talvolta grossolana, presenza di noduli di argilla e sotto- livelli limo-argillosi di piccolo spessore |
| D | coesivo | 21 - 37 | frequenti intercalazioni di modesto spessore di sabbia limosa e frequenti livelli torbosi |
| E | incoerente | 37 - 75 | sabbia medio-fine, con intercalazioni limose di spessore centimetrico e distanti tra loro; presenza di un sottolivello E' |
| E' | coesivo | | argilla limosa preconsolidata e strati torbosi |
| F | coesivo | 75 - 96 | presenza di intercalazione di strati sabbiosi e scarsa presenza di torba |
| G | incoerente | 96 - 108 | come E, ma più eterogeneo nella granulometria della sabbia e con livelli di limo |
| H | coesivo | 108 - 120 | come E', ma presenza di torba ancora più marcata, meno frequenti le intercalazioni di sabbia |

Tabella 3.1: Livelli deposizionale nell'area di influenza della barriera Treporti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Il primo livello deposizionale che si incontra è il livello incoerente A, il cui letto mediamente lungo la bocca si trova a quota -13.5 m l.m.m. In corrispondenza della spalla Est la quota del letto di A si alza leggermente, arrivando alla -13 m l.m.m.

Tra la -13.5 e la -17.5 m l.m.m. si trova il livello coesivo B. Il suo spessore aumenta nella direzione Est-Ovest. In corrispondenza della spalla Ovest il letto di B si trova ad una quota di -20 m l.m.m. mentre al di sotto della spalla Est si trova alla -17 m l.m.m.

Il livello incoerente C in barriera si trova tra la -17.5 e la -21 m l.m.m. Il livello si assottiglia verso Nord mentre tende ad aumentare di spessore in corrispondenza della

spalla Ovest, dove il letto si trova alla -28 m l.m.m.

Il livello coesivo D lungo la barriera ha il tetto a quota -21 m l.m.m. ed il letto alla quota -37 m l.m.m.

Al di sotto di D si trova il livello incoerente E che in asse barriera si sviluppa tra la -37 e la -75 m l.m.m. Il livello E si assottiglia leggermente verso Ovest dove lo spessore diminuisce nell'ordine di un paio di metri.

Il livello coesivo F, in asse barriera, si trova tra la -75 e la -96 m l.m.m. Tali quote si mantengono costanti anche in corrispondenza delle due spalle.

Il livello incoerente G ha spessore costante lungo tutta l'asse della barriera ed in corrispondenza della spalla. In particolare la quota del tetto è alla -96 m l.m.m. mentre il letto si trova alla -108 m l.m.m.

Di seguito si riportano le stratigrafie riferite ai cassoni di spalla e quelli di soglia:

| TAB. 4-1 – LIDO TREPORTI – CASSONI DI SOGLIA – STRATIGRAFIA UTILIZZATA NEL CALCOLO | |
|--|---------|
| Quota (m l.m.m.) | Livello |
| Fondale ÷ -13.5 | A |
| -13.5 ÷ -17.5 | B |
| -17.5 ÷ -21 | C |
| -21 ÷ -37 | D |
| -37 ÷ -75 | E |
| -75 ÷ -96 | F |

Tabella 3.2: Stratigrafia cassoni di soglia barriera Treporti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

| TAB. 4-3 – LIDO TREPORTI – CASSONE DI SPALLA EST - STRATIGRAFIA UTILIZZATA NEL CALCOLO | |
|--|---------|
| Quota (m l.m.m.) | Livello |
| Fondale ÷ -13 | A |
| -13 ÷ -17 | B |
| -17 ÷ -21 | C |
| -21 ÷ -37 | D |
| -37 ÷ -75 | E |
| -75 ÷ -96 | F |
| -96 ÷ -108 | G |

Tabella 3.3: Stratigrafia cassone di spalla Est barriera Treporti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

| TAB. 4-2 – LIDO TREPORI – CASSONE DI SPALLA OVEST - STRATIGRAFIA UTILIZZATA NEL CALCOLO | |
|--|---------|
| Quota (m l.m.m.) | Livello |
| Fondale ÷ -13.5 | A |
| -13.5 ÷ -20 | B |
| -20 ÷ -28 | C |
| -28 ÷ -40 | D |
| -40 ÷ -76 | E |
| -76 ÷ -96 | F |
| -96 ÷ -108 | G |

Tabella 3.4: Stratigrafia cassone di spalla Ovest barriera Treporti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Gli strati sabbiosi, fino alla profondità massima di indagine, mostrano un comportamento dilatante. Gli strati coesivi, con OCR pari ad 1, evidenziano un comportamento leggermente espansivo. È da notare che i terreni investigati sono prevalentemente saturi.

Sia per i cassoni di spalla, sia per quelli di soglia si riporta la caratterizzazione geotecnica, utilizzata anche per il calcolo dei cedimenti nei capitoli seguenti. La stratigrafia dettagliata presente al di sotto di ogni cassone può essere visionata in Appendice A1.

| CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------|--------|-----------|---------|--------|---------|---------------------------|-------------|------------|-------------|----------------|-----------------|--------|--------|----------------------|-------------|-------------|-----------|-----------------|
| Livello Layer | γ (kN/m ³) | IP (-) | G_s (-) | OCR (-) | DR (%) | K (m/s) | C_v (m ² /s) | C_u (kPa) | C' (kPa) | ϕ' (°) | E_{51} (MPa) | G_{max} (MPa) | CR (-) | RR (-) | $C_{u, C'_{of}}$ (-) | M_c (Mpa) | M_s (Mpa) | ν (-) | k_{β} (-) |
| A | 19.5 | | 2.70 | 1 | 60 | 1E-6 | | | 0 | 40 | 10+30 (1) | 40-60 (1) | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| B | 19 | 15 | 2.72 | 6+4 (1) | | 1E-8 | 5E-7 | 50 | 10 | 32 | | 65 | 0.17 | 0.03 | 2E-3 | 1.6 | 9 | 0.35 | 0.5 |
| C | 18.5 | | 2.70 | 1 | 50 | 1E-6 | | | 0 | 36 | 20 | 70 | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| D | 19 | 15 | 2.72 | 2 | | 1E-7 | 1E-6 | 75 | 10 | 32 | 25 | 80 | 0.15 | 0.03 | 2E-3 | 3 | 20 | 0.35 | 0.5 |
| E | 18.5 | | 2.70 | 1 | 50 | 1E-6 | | | 0 | 38 | 25-50 (1) | 80-150 (1) | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| E' | 19 | 15 | 2.72 | 1.5 | | 1E-8 | 5E-7 | 90 | 20 | 32 | | 120 | 0.20 | 0.03 | 2E-3 | | | 0.35 | 0.5 |
| F | 19.5 | 12 | 2.72 | 1 | | 1E-8 | 1E-6 | 150 | 10 | 34 | 40 | 140 | 0.20 | 0.02 | 1E-3 | 8 | 40 | 0.35 | 0.5 |
| G | 18.5 | | 2.70 | 1 | 50 | 1E-6 | | | 0 | 36 | 70 | 180 | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| H | 19 | 15 | 2.72 | 1 | | 5E-8 | 1E-6 | 180 | 0 | 34 | 50 | 200 | 0.20 | 0.025 | 2E-3 | 11 | 50 | 0.35 | 0.5 |
| Strato torboso (3) | 15 | | | 2 | | 5E-7 | 5E-6 | | 30 | 30 | | | 0.50 | 0.10 | 1E-2 | 3 | 20 | 0.40 | 0.5 |

Tabella 3.5: Caratterizzazione geotecnica cassoni di soglia barriera di Treporti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

| CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------|--------|--------------------|---------|--------|---------|------------------------------------|----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------|--------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|-------|--------------------|
| Livello Layer | γ (kN/m ³) | IP (-) | G _s (-) | OCR (-) | DR (%) | K (m/s) | C _v (m ² /s) | C _u (kPa) | C' (kPa) | ϕ' (°) | E ₀₁ (MPa) | G _{max} (Mpa) | CR (-) | RR (-) | C _u , C _{uf} (-) | M _c (Mpa) | M _r (Mpa) | v (-) | k ₀ (-) |
| A | 19.5 | | 2.70 | 1 | 60 | 1E-6 | | | 0 | 40 | 10+30 (1) | 40-60 (1) | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| B | 19 | 15 | 2.72 | 6+4 (1) | | 1E-8 | 4E-7 | 50 | 10 | 32 | | 65 | 0.17 | 0.03 | 2E-3 | 1.6 | 9 | 0.35 | 0.5 |
| C | 18.5 | | 2.70 | 1 | 50 | 1E-6 | | | 0 | 36 | 20 | 70 | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| D | 19 | 15 | 2.72 | 2 | | 1E-7 | 1E-6 | 75 | 10 | 32 | 25 | 80 | 0.15 | 0.03 | 2E-3 | 3 | 20 | 0.35 | 0.5 |
| E | 18.5 | | 2.70 | 1 | 50 | 1E-6 | | | 0 | 38 | 25-50 (1) | 80-150 (1) | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| E' | 19 | 15 | 2.72 | 1.5 | | 1E-8 | 5E-7 | 90 | 20 | 32 | | 120 | 0.20 | 0.03 | 2E-3 | | | 0.35 | 0.5 |
| F | 19.5 | 12 | 2.72 | 1 | | 1E-8 | 1E-6 | 150 | 10 | 34 | 40 | 140 | 0.20 | 0.02 | 2E-3 | 8 | 40 | 0.35 | 0.5 |
| G | 18.5 | | 2.70 | 1 | 50 | 1E-6 | | | 0 | 36 | 70 | 180 | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| H | 19 | 15 | 2.72 | 1 | | 5E-8 | 1E-6 | 180 | 0 | 34 | 50 | 200 | 0.20 | 0.025 | 2E-3 | 11 | 50 | 0.35 | 0.5 |
| Strato torboso (3) | 15 | | | 2 | | 5E-7 | 5E-6 | | 30 | 30 | | | 0.50 | 0.10 | 1E-2 | 3 | 20 | 0.40 | 0.5 |

Tabella 3.6: Caratterizzazione geotecnica spalla Est barriera Treponti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

| CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------|--------|--------------------|---------|--------|---------|------------------------------------|----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------|--------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|-------|--------------------|
| Livello Layer | γ (kN/m ³) | IP (-) | G _s (-) | OCR (-) | DR (%) | K (m/s) | C _v (m ² /s) | C _u (kPa) | C' (kPa) | ϕ' (°) | E ₀₁ (MPa) | G _{max} (Mpa) | CR (-) | RR (-) | C _u , C _{uf} (-) | M _c (Mpa) | M _r (Mpa) | v (-) | k ₀ (-) |
| A | 19 | | 2.70 | 1 | 60 | 1E-6 | | | 0 | 40 | 10-30 (1) | 40+60 (1) | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| B | 19 | 12 | 2.72 | 5+2 (1) | | 1E-8 | 8E-7 | 50 | 10 | 32 | | 65 | 0.18 | 0.03 | 2E-3 | 1.5 | 7 | 0.35 | 0.5 |
| C | 18.5 | | 2.70 | 1 | 50 | 1E-6 | | | 0 | 36 | 22 | 70 | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| D | 19 | 15 | 2.72 | 2 | | 1E-7 | 1E-6 | 75 | 10 | 32 | 25 | 80 | 0.15 | 0.03 | 2E-3 | 3 | 20 | 0.35 | 0.5 |
| E | 18.5 | | 2.70 | 1 | 50 | 1E-6 | | | 0 | 36 | 30+50 (1) | 80+150 (1) | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| E' | 19 | 15 | 2.72 | 1.5 | | 1E-8 | 5E-7 | 90 | 20 | 32 | | 120 | 0.20 | 0.03 | 2E-3 | | | 0.35 | 0.5 |
| F | 19.5 | 12 | 2.72 | 1 | | 1E-8 | 5E-7 | 150 | 10 | 34 | 40 | 140 | 0.20 | 0.02 | 1E-3 | 8 | 40 | 0.35 | 0.5 |
| G | 18.5 | | 2.70 | 1 | 50 | 1E-6 | | | 0 | 36 | 70 | 180 | | | | | | 0.30 | 0.5 |
| H | 19 | 15 | 2.72 | 1 | | 5E-8 | 1E-6 | 180 | 0 | 34 | 50 | 200 | 0.20 | 0.025 | 2E-3 | 11 | 50 | 0.35 | 0.5 |
| Strato torboso (3) | 15 | | | 2 | | 5E-7 | 5E-6 | | 30 | 30 | | | 0.50 | 0.10 | 1E-2 | 3 | 20 | 0.40 | 0.5 |

Tabella 3.7: Caratterizzazione geotecnica cassone di spalla Ovest barriera Treponti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

3.3 Cedimenti previsti in fase di progetto

Nel presente paragrafo, si presentano le ipotesi di calcolo, le osservazioni e i risultati inclusi nella relazione intitolata "Calcolo dei cedimenti della barriera", redatta ad Ottobre 2010. Le assunzioni che verranno di seguito illustrate derivano dalle decisioni prese dai progettisti durante la fase di progettazione esecutiva dell'opera. Tali assunzioni verranno in seguito rivalutate per il calcolo post-costruzione, fulcro dell'elaborato di tesi svolto, sulla base di informazioni aggiornate pervenute solo in seguito alla costruzione dell'opera. Tuttavia, alcune supposizioni, per esempio quelle riguardanti il metodo di calcolo dei cedimenti secondari, verranno mantenute tali anche per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

I cedimenti geotecnici di progetto dei cassoni costituenti la barriera di Treporti, in relazione al cronoprogramma lavori, sono stati valutati sulla base delle seguenti date:

- Inizio costruzione delle opere alla Bocca di Lido Treporti – Gennaio 2005;
- Inizio posa cassone di spalla Ovest (TO-S01) – Settembre 2011;
- Inizio posa cassoni di soglia (da TB-A01) – Maggio 2012;
- Fine costruzione barriera – Gennaio 2013;
- Termine vita utile dell'opera – Gennaio 2113.

Di seguito è schematizzata la sequenza di installazione dei cassoni di barriera, a partire dalla spalla Ovest fino alla spalla Est, con i carichi applicati in fondazione durante la fase costruttiva. Le fasi di installazione, posa e zavorramento provvisorio sono state previste entro 5 giorni (da cronoprogramma dei lavori).

Le fasi di installazione per i cassoni di barriera considerate nei calcoli di cedimento di progetto si possono così sintetizzare:

1. Fase iniziale stabilizzazione su pin con zavorra parziale su pin con zavorra parziale, pari a 22'000 kN circa il 25% di quella finale;
2. Realizzazione parziale della fondazione;
3. Scarico martinetti e zavorramento provvisorio di stabilizzazione fino a $P_a=42'000$ kN, circa il 50% di quella finale;
4. Completamento della fondazione.

Tali fasi da 1 a 3 devono essere realizzate entro 5 giorni dall'inizio delle fasi di affondamento e stabilizzazione su pin e sono realizzate in sequenza per tutti i cassoni di barriera da Ovest verso Est, mentre la fase 4 nei giorni successivi al quinto.

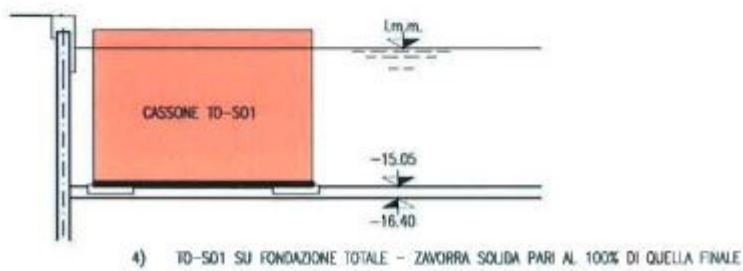
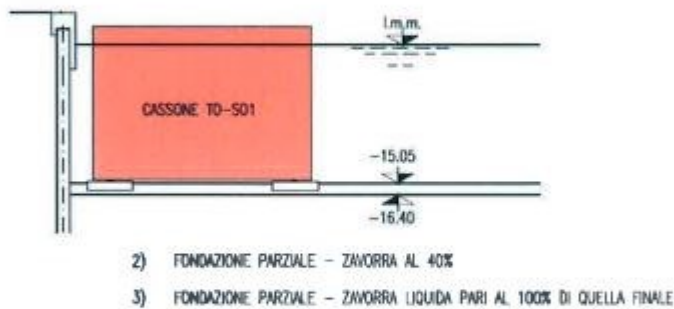
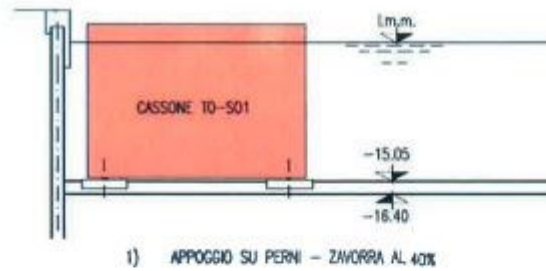
5. Zavorramento finale fino a circa $P_b=78'000$ kN, pari al 100% di zavorra.

Tale fase vale per tutti i cassoni di barriera da Ovest verso Est.

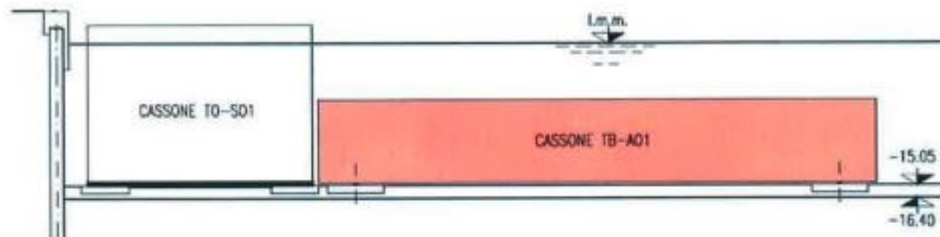
Riguardo alle fasi di zavorramento per le fondazioni, i cassoni della barriera prevedono tre fasi di zavorramento, mentre per i cassoni delle spalle ne vengono realizzate effettivamente due. In particolare, già dalla terza fase si procede con uno zavorramento liquido uguale a quello definitivo. Lo zavorramento conclusivo nella quinta fase consiste essenzialmente in una sostituzione di zavorra, con il liquido utilizzato per il riempimento completo delle celle nella fase tre che viene rimpiazzato da zavorra solida, impiegata per riempire solo alcune celle.

Per entrambi i cassoni, il carico su pin è di $22'000$ kN, corrispondente a circa il 40% del carico finale per la spalla Ovest e il 30% per quella Est. Per quanto riguarda il cassone di spalla Ovest, l'aggiunta di zavorra di stabilizzazione ammonta a circa $59'000$ kN, mentre per il cassone di spalla Est questa è pari a $70'000$ kN.

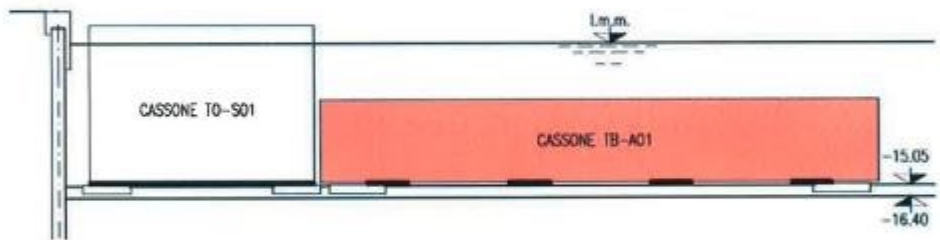
Si riportano di seguito tali fasi di progetto a partire da cassone di spalla Ovest:



Secondo il cronoprogramma considerato per il calcolo dei cedimenti in fase progettuale, la costruzione dell'edificio sul cassone di spalla Ovest è avvenuta conseguentemente alla messa in opera del cassone stesso. I progettisti hanno valutato che tale carico applicato doveva stazionare per un tempo complessivo di circa nove mesi, prima che venisse riavviata la sequenza di posa con il cassone TB-A01.

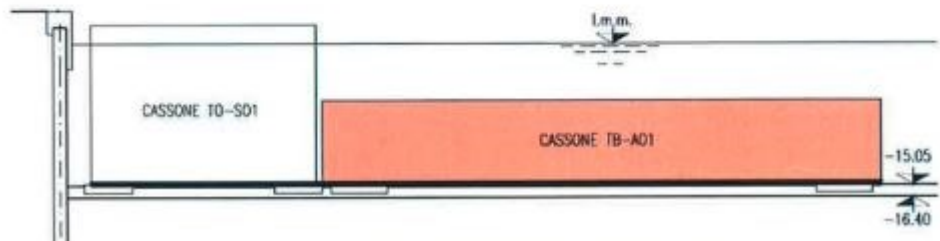


1) TB-A01 SU PERNI - ZAVORRA AL 25%

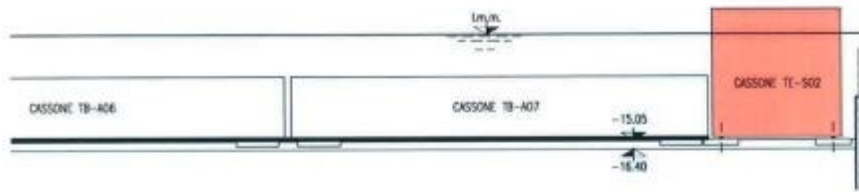


2) FONDAZIONE PARZIALE - ZAVORRA AL 25%

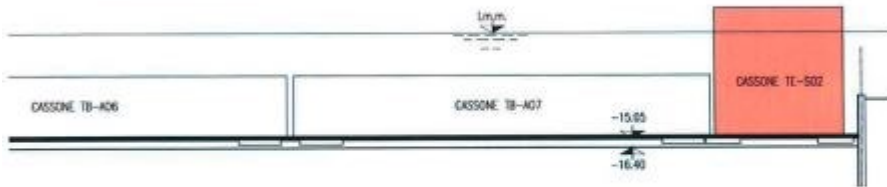
3) FONDAZIONE PARZIALE - ZAVORRA AL 50%



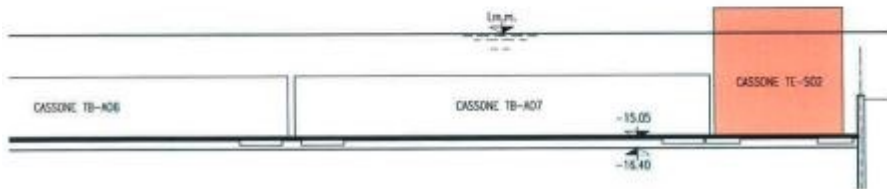
4) TB-A01 SU FONDAZIONE TOTALE - ZAVORRA AL 50%



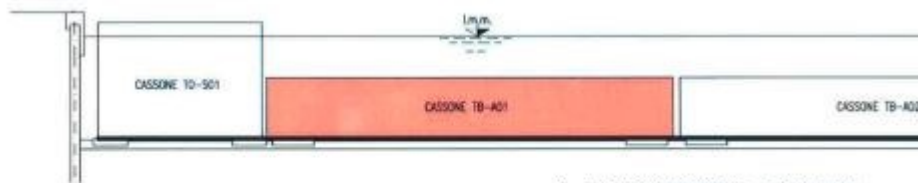
1) APPOGGIO SU PERM - ZAVORRA AL 30%



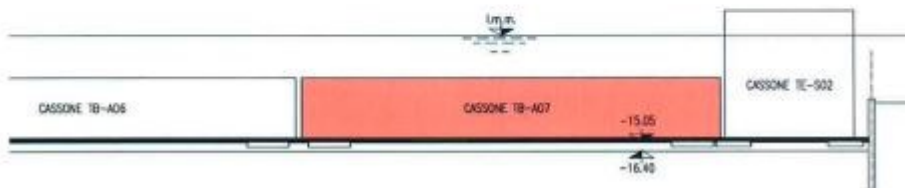
2) FONDAZIONE PARZIALE - ZAVORRA AL 30%
3) FONDAZIONE PARZIALE - ZAVORRA LIQUIDA PER AL 100% DI QUELLA FINALE



4) TE-502 SU FONDAZIONE TOTALE - ZAVORRA SOLIDA PER AL 100% DI QUELLA FINALE



5) TB-A01 SU FONDAZIONE TOTALE - ZAVORRA AL 100%



6) TB-A07 SU FONDAZIONE TOTALE - ZAVORRA AL 100%

Con riferimento alla sequenza di posa appena descritta, si riassumono di seguito i carichi agenti nelle varie fasi, sia per i cassoni di soglia, sia per le spalle:

| Cassone | Zavorra | Fase di carico |
|----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Spalla Ovest | Zso1 = 22000 kN \cong 40% | Su Pin |
| | Zso2 = 59000 kN = 100% | Su fondazione parziale = 70kPa |
| | | Su fondazione totale = 50kPa |
| Con edifici | Zso3 = 110000 kN | Su fondazione totale = 90kPa |
| Soglia | Z1 = 22000 kN \cong 25% | Su Pin |
| | Z2 = 42000 kN \cong 50% | Su fondazione parziale = 55 kPa |
| | | Su fondazione totale = 20 kPa |
| Z3 = 78800 kN = 100% | Su fondazione totale = 36 kPa | |
| Spalla Est | Zse1 = 22000 kN \cong 30% | Su Pin |
| | Zse2 = 70000 kN = 100% | Su fondazione parziale = 100kPa |
| | | Su fondazione totale = 80kPa |
| Con edifici | Zse3 = 116000 kN | Su fondazione totale = 120kPa |

Tabella 3.8: Carichi agenti espressi in kN corrispondenti alle pressioni trasmesse per i cassoni di soglia e di spalla della barriera di Treporti; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della barriera" (Ottobre 2010).

Per il calcolo dei cedimenti di progetto si è fatto riferimento alla stratigrafia descritta nell'Appendice A. Per ognuno degli strati sono stati forniti i parametri di deformabilità del terreno secondo tale stratigrafia in modo da calcolare il contributo al cedimento totale di ogni strato. Per eseguire tale operazione i progettisti hanno fatto riferimento ad un codice di calcolo che consente di valutare il decorso dei cedimenti nel tempo indotti da più aree di carico ad assegnate quote lungo una o più verticali di calcolo secondo la seguente metodologia:

- Individuazione delle opere che contribuiscono al cedimento delle strutture di barriera in esame;
- Schematizzazione delle opere individuate mediante aree di carico/scarico rettangolari poste ad una quota, rispetto ad un piano di riferimento, corrispondente a quella su cui agisce il carico in esame;
- Attribuzione del cronoprogramma lavori che fornisce la tempistica di applicazione dei carichi/scarichi su ciascuna delle aree di carico individuate;
- Definizione della stratigrafia di calcolo al di sotto di ciascun cassone;
- Scelta delle verticali di calcolo lungo le quali effettuare il calcolo: 5 per ciascun cassone posizionate al centro e agli spigoli di ciascuno di essi;

- Calcolo alla quota della base cassone, nei punti precedentemente selezionati, del decorso dei cedimenti nel tempo mediante analisi accoppiata con processo di consolidazione di tipo monodimensionale in condizioni edometriche.

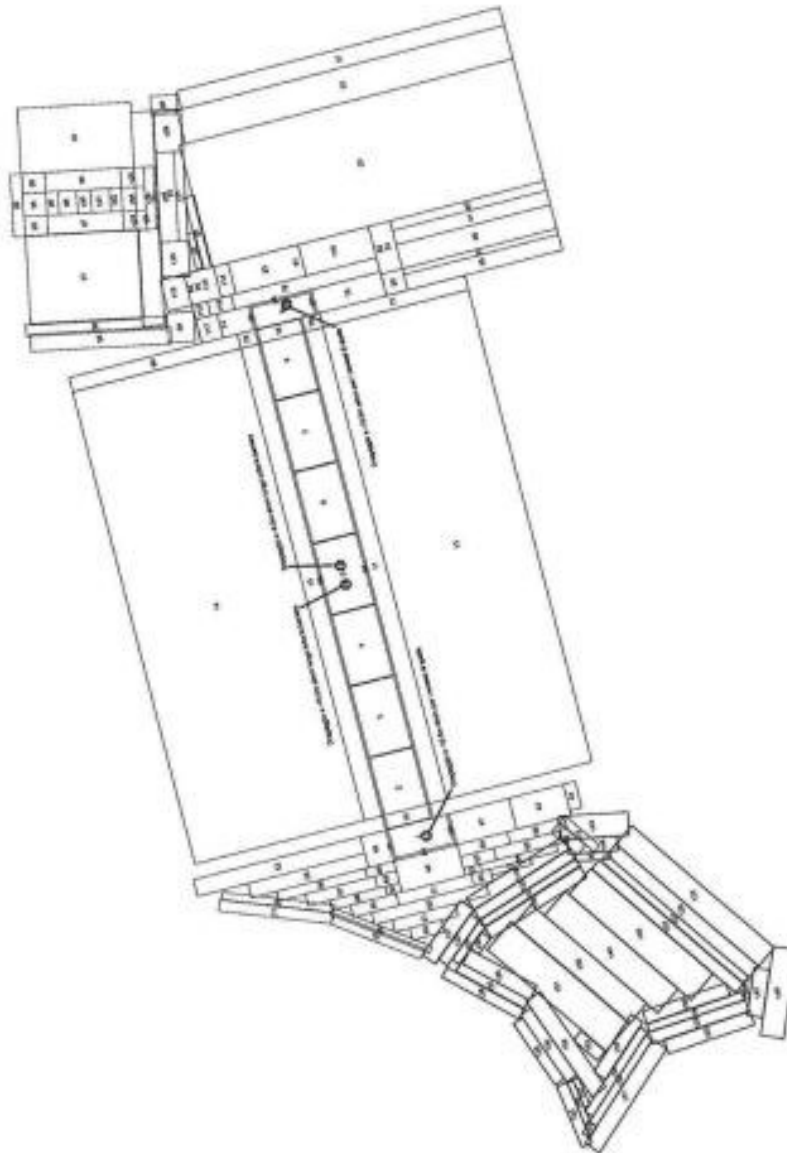


Figura 3.14: Schema utilizzato nel codice di calcolo per la stima dei cedimenti di progetto della barriera Treporti; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della barriera" (Ottobre 2010).

Il risultato finale sono i cedimenti assoluti, somma di tre contributi: il cedimento edometrico, secondario e ciclico. Le teorie alla base del calcolo degli ultimi due sono state descritte sinteticamente dai progettisti nella relazione di "Calcolo dei cedimenti

della barriera” di Ottobre 2010, e vengono di seguito riportate, poiché essenziali per comprendere il successivo calcolo ex-post costruzione.

3.3.1 Cedimenti secondari

Il cedimento secondario per ciascun punto del cassone è stimato sommando i cedimenti secondari dei singoli strati:

$$\Delta H_{sec} = \sum_{i=1}^N \Delta H_{sec,i}$$

Si considerano significativi al fine del calcolo dei cedimenti secondari solo gli strati che hanno sperimentato un incremento di tensione dovuto ai carichi statici di almeno il 7.5% della tensione litostatica iniziale ($\Delta\sigma \geq 0.075\sigma_{z0}$). Tale limite è scelto arbitrariamente ed è in linea con gli standard della pratica professionale.

Il cedimento secondario di ciascun livello i-esimo di terreno costituente la stratigrafia di riferimento è stato valutato con la formula:

$$\Delta H_{sec,i} = H_i C_{\alpha,\epsilon i} \log \frac{t}{t_{cons}}$$

dove $C_{\alpha,\epsilon i}$ è il coefficiente di consolidazione secondaria dello strato i-esimo stimato dai progettisti tramite l'elaborazione dei dati raccolti con le prove in sito, H_i è lo spessore dello strato i-esimo e t_{cons} è il tempo necessario perchè si sviluppi tutto il cedimento primario (tempo di consolidazione). Per i terreni lagunari di Venezia, il t_{cons} è stato assunto pari a 30 giorni per tutti gli strati, quindi il cedimento secondario si calcola da un mese dopo la posa del cassone e per tutta la vita utile della barriera. Il cedimento secondario è assunto trascurabile per lo strato di ripartizione compattato e il terreno consolidato con la palificata.

3.3.2 Cedimenti ciclici

Le ricerche sui cedimenti ciclici in strutture come i cassoni utilizzati per le dighe portuali sono state svolte principalmente attraverso l'uso di modelli numerici o sperimentazioni in laboratorio su modelli ridotti, focalizzandosi sui terreni sabbiosi. Questi studi hanno esaminato in modo particolare i cedimenti causati dalla possibile liquefazione ciclica degli strati granulari durante eventi meteomarinari di notevole intensità. Recenti ricerche, come quelle di Kang et al., del 2021, hanno indagato i dati

di cedimento raccolti tra il 2003 e il 2006 su alcuni cassoni della barriera frangiflutti al largo del porto di Jeju, in Corea del Sud, e attraverso l'interpretazione e l'analisi dei dati ottenuti, si è osservato che le onde influenzano i cedimenti delle strutture, soprattutto durante eventi estremi caratterizzati da altezze d'onda significative, mentre per onde di minore altezza l'effetto sui cedimenti dei cassoni è trascurabile. In particolare, è stato registrato un marcato assestamento dei cassoni a seguito del tifone Maemi nel settembre 2003, che ha generato onde con altezze superiori agli 11 metri. Si è dimostrato che il carico ondoso ha indotto movimenti dinamici del cassone, causando un incremento delle pressioni interstiziali nel terreno di fondazione, prevalentemente sabbioso, portando a cedimenti dovuti alla liquefazione del terreno e alla successiva consolidazione una volta dissipate le sovrappressioni. In generale, si è notato che il terreno soggetto a ripetuti cicli di carico tende a compattarsi e consolidarsi, riducendo gli assestamenti in occasione di eventi futuri.

Per i terreni coesivi, i carichi ciclici, agendo brevemente e in condizioni non drenate, causano un aumento delle pressioni interstiziali e una riduzione delle tensioni efficaci. Al termine dell'applicazione del carico, la dissipazione delle sovrappressioni porta ad un cedimento di consolidazione. Cicli successivi di carico, se seguiti da drenaggio, inducono una compressione continua delle argille, che diventano meno compressibili a causa dell'incrudimento.

Non esiste un metodo analitico semplice e universalmente validato per calcolare i cedimenti ciclici in terreni come quelli della Laguna di Venezia, soggetti a carichi ciclici. Sarebbero necessarie analisi dinamiche complesse con modelli costitutivi avanzati per i terreni che considerino l'interazione tra solido e fluido. Il cedimento ciclico valutato dai progettisti è privo di specifiche fonti bibliografiche. Per ogni strato i -esimo del terreno della stratigrafia di riferimento, il cedimento ciclico è stato calcolato mediante l'uso della formula specifica:

$$\Delta H_{cyc,i} = \frac{1}{E_i} \Delta \sigma_{cyc,i} H_i \left(1 - \frac{1}{\beta_i} \right)$$

in cui E_i è il modulo di ricompressione dello strato i -esimo, $\Delta \sigma_{cyc,i}$ è l'incremento di tensione verticale prodotto dall'applicazione del carico ciclico nel punto medio dello strato i -esimo, H_i è lo spessore dello strato i -esimo e β_i è un coefficiente correttivo. Il valore di β dipende dal tipo di terreno e si assume:

- terreni di natura granulare $\beta = 1.05$;
- terreni di natura coesiva $\beta = 1.03$;
- materiale di ripartizione e la palificata $\beta = 1.00$.

Il cedimento ciclico totale per ciascun cassone è determinato sommando i contributi individuali calcolati per gli stessi strati utilizzati nella valutazione dei cedimenti secondari, ossia quegli strati nei quali l'aumento di tensione causato dai carichi statici eccede il 7,5% della tensione litostatica iniziale. I carichi ciclici q_{cyc} , che influenzano il cedimento ciclico, derivano dall'azione di onde e maree sul cassone e tendono ad aumentare linearmente nel tempo con l'incremento del numero di cicli.

Nelle documentazioni di progetto, le forze orizzontali esercitate sul cassone dalle maree e dalle onde sono state convertite in carichi verticali equivalenti distribuiti in modo uniforme. Per ogni evento meteomarinario analizzato, è stata specificata l'intensità del carico equivalente e la sua frequenza annuale. Il carico ciclico di riferimento per ogni periodo considerato è calcolato sommando i singoli contributi di carico q_i moltiplicati per la rispettiva frequenza annua f_i e il numero di anni presi in esame N :

$$q_{cyc} = \sum q_i f_i N$$

Per ogni cassone, avendo determinato q_{cyc} , si calcola $\Delta\sigma_{cyc,i}$ con la teoria di Boussinesq in modo analogo a quanto fatto per i cedimenti primari.

I cedimenti ciclici si tengono in conto solo a partire dall'entrata in esercizio della barriera e per i successivi 100 anni.

3.3.3 Risultati di progetto

I cedimenti di progetto calcolati tramite l'analisi precedentemente descritta per i 4 vertici di ogni cassone sono riportati in Appendice A2. In particolare si osserva che:

- I cedimenti dei cassoni di soglia sono relativamente modesti per il tipo di opera geotecnica analizzata. Tale fattore induce ad una difficile stima delle cause e delle incertezze dei parametri che possono compromettere tale misura. In pratica una possibile differenza millimetrica tra i risultati di progetto e quelli ottenuti post-costruzione, può essere attribuita a lievi differenze nelle stratigrafie utilizzate o nell'entità dei carichi applicati, così come per la sequenza di posa in opera;

- Le differenze tra i valori dei cedimenti dei cassoni sono attribuibili principalmente a differenze di tipo stratigrafico;
- Il comportamento dei cassoni di spalla è fortemente influenzato dalla sequenza costruttiva di barriera e delle opere di spalla. Il cassone di spalla Ovest TO-S01 è il primo ad essere posto in opera: staziona 9 mesi prima dell'installazione del contiguo cassone di soglia TB-A01 ed in tale intervallo di tempo viene completata anche la costruzione degli edifici sovrastanti. L'andamento del cedimento nel tempo mostra una rotazione del cassone legata allo svilupparsi dei cedimenti secondari dovuti alla vicina isola. I cedimenti assoluti sono dell'ordine di 40 mm, dopo 9 mesi dalla posa ovvero alla ripresa delle operazioni di installazione dei cassoni di barriera. A fine costruzione barriera si hanno circa 45 mm di cedimento fino ai 55 mm a 100 anni da fine costruzione;
- Il cassone di spalla Est TE-S02 è l'ultimo ad essere posato e tende a cedere uniformemente nonostante il cedimento indotto dal cassone di barriera adiacente.
- L'incremento di cedimento da fine costruzione della barriera a 100 anni è dovuto per entrambi i cassoni di spalla quasi esclusivamente ad effetti secondari, l'effetto dei carichi ciclici è stimato pari a circa 10-20% del cedimento totale. I cedimenti assoluti del cassone di spalla Est sono dell'ordine di 52 mm a fine costruzione ed incrementano fino a 70 mm a 100 anni da fine costruzione.
- L'incremento di cedimento da fine costruzione della barriera a 100 anni è dovuto per entrambi i cassoni di spalla quasi esclusivamente ad effetti secondari; l'effetto dei carichi ciclici è stimato pari a circa 10-20% del cedimento totale.

Si riporta di seguito il grafico rappresentativo dei cedimenti della barriera Treporti nel tempo a partire dalla fine della sua realizzazione (da progetto):

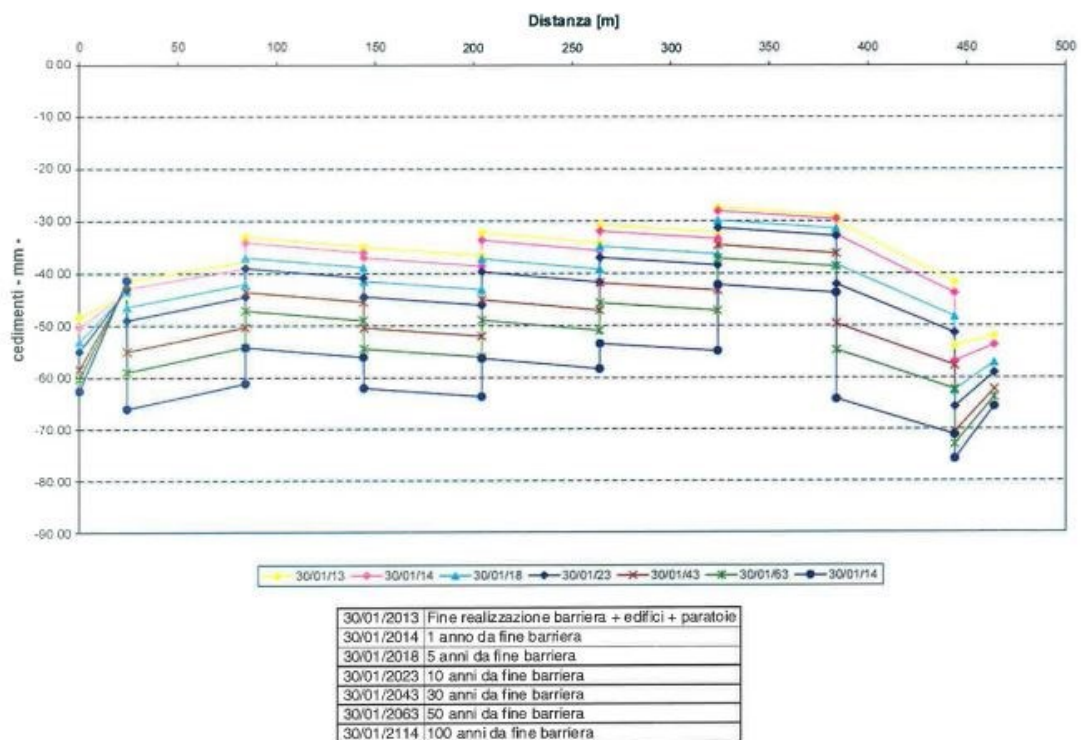


Figura 3.15: Andamento nel tempo dei cedimenti calcolati dai progettisti in fase esecutiva.

Si osserva che i dati ottenuti dal calcolo di progetto risultano essere imprecisi, poiché le date di realizzazione, i carichi effettivi, i tempi di lavorazione non coincidono con le ipotesi adottate. Il lavoro di tesi quindi si propone di partire da questa base di dati e riformulare il calcolo dei cedimenti, usufruendo di nuovi dati ottenuti durante e post-realizzazione della barriera. Nel seguente paragrafo relativo alla barriera di Treporti, si procede alla descrizione del modello utilizzato per definire i valori dei cedimenti post-costruzione, al fine di confrontarli con quelli di progetto e con i dati di monitoraggio raccolti negli anni.

3.4 Ricostruzione del calcolo dei cedimenti

Nel presente paragrafo si descrive il modello di calcolo sviluppato che ha consentito l'analisi dei cedimenti geotecnici post-costruzione della barriera di Lido Treporti. Tale modello si basa sui dati ottenuti dalle relazioni tecniche di esecuzione, dalla documentazione AS BUILT e dai dati di monitoraggio. Queste informazioni hanno facilitato la definizione delle stratificazioni e dei parametri geotecnici dei terreni, la ricostruzione delle sequenze lavorative e la quantificazione dei carichi applicati. Sono state altresì delineate le linee guida sui metodi di calcolo per stimare i cedimenti. Il modello e le relative ipotesi di calcolo sono stati implementati attraverso un codice MATLAB seguendo un preciso schema operativo per ogni cassone che compone la barriera.

La barriera è stata rappresentata come uno stendimento lineare coincidente con il suo asse longitudinale. La valutazione dei cedimenti per ogni cassone è stata effettuata considerando i quattro vertici alla base di ciascuno di essi, come mostrato in Figura 3.17. È importante notare che la sequenza numerica dei vertici segue quella adottata nei documenti di progettazione.

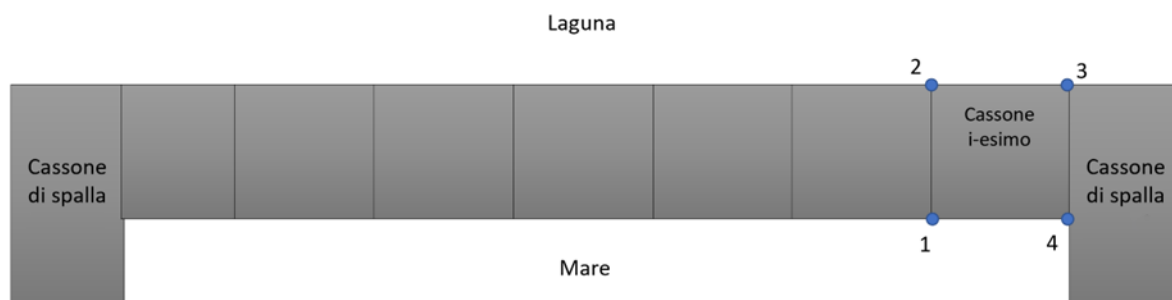


Figura 3.16: Vertici di calcolo dei cedimenti post-costruzione della barriera Treporti.

Il cedimento ΔH può essere stimato a partire dal calcolo delle deformazioni verticali ε_z e mediante la loro integrazione con la profondità, secondo la formula generale:

$$\Delta H = \int_0^{Z_{cr}} \varepsilon_z dz$$

dove Z_{cr} è la profondità oltre la quale la deformazione del terreno può ritenersi trascurabile. Il suolo viene schematizzato con una successione di strati orizzontali di spessore finito Δz , per cui il cedimento può essere valutato come sommatoria:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^N \varepsilon_{z,i} \Delta z_i$$

La deformazione totale nel tempo è valutata come somma di tre contributi:

- Il cedimento primario, indotto dall'incremento della tensione efficace per effetto dell'applicazione dei carichi
- Il cedimento secondario, dovuto al comportamento viscoso del terreno a lungo termine
- Il cedimento ciclico, che si sviluppa nel tempo per effetto dei carichi ciclici come quelli del moto ondoso e delle maree.

3.4.1 Cedimento primario

La deformazione del singolo strato viene calcolata con la teoria elastica:

$$\varepsilon_{z,i} = \frac{\Delta\sigma_i}{M_i}$$

In cui M_i è il modulo edometrico dello strato i -esimo e l'incremento di tensione verticale $\Delta\sigma_i$ è calcolato con il modello di Boussinesq, che ipotizza area di carico flessibile su semispazio omogeneo, isotropo, elastico lineare e senza peso che, pur essendo semplificato e idealizzato, fornisce soluzioni sufficientemente accurate.

Tutti i carichi considerati nella presente relazione sono ipotizzati uniformi su superfici rettangolari flessibili. In tali condizioni si può applicare la formula di Newmark (1935) per il calcolo dell'incremento di tensione al di sotto dello spigolo di un'area rettangolare di dimensioni $B \times L$:

$$\Delta\sigma_z = qI_\sigma(B, L)$$

Dove q è il carico uniformemente distribuito sull'area caricata e $I_\sigma(B, L)$ è il fattore d'influenza che dipende dalla profondità z al di sotto dell'area di carico e dalle dimensioni B ed L della stessa secondo l'equazione:

$$I_\sigma = \frac{1}{2\pi} \left[\arctan \frac{mn}{(m^2 + n^2 + 1)^{0.5}} + \frac{mn}{(m^2 + n^2 + 1)^{0.5}} \left(\frac{1}{1 + m^2} + \frac{1}{1 + n^2} \right) \right]$$

dove:

$$m = B/z \text{ e } n = L/z$$

Sfruttando il principio di sovrapposizione degli effetti, tale soluzione consente di calcolare lo stato tensionale indotto da una pressione uniformemente agente su un'area di forma generica, in un qualsiasi punto interno o esterno l'area.

Ad esempio, con riferimento alla Figura 3.16a, che può rappresentare il calcolo del

cedimento di uno dei vertici lato laguna, per il calcolo della tensione indotta al di sotto del punto A dal carico q applicato sull'area di dimensioni B x L si può procedere calcolando il fattore d'influenza del rettangolo rosso meno quello dell'area blu:

$$\Delta\sigma = q * (I_{\sigma}(d + B, L) - I_{\sigma}(d, L))$$

Per il calcolo del cedimento dei vertici dei cassoni di spalla lato mare si fa invece riferimento alla Figura 3.16b per cui si sommano i contributi dei rettangoli rosso e arancione e si sottraggono quelli dei rettangoli blu e verde:

$$\Delta\sigma = q * (I_{\sigma}(d + B, L + y) - I_{\sigma}(d, L + y) + I_{\sigma}(d, y) - I_{\sigma}(d + B, y))$$

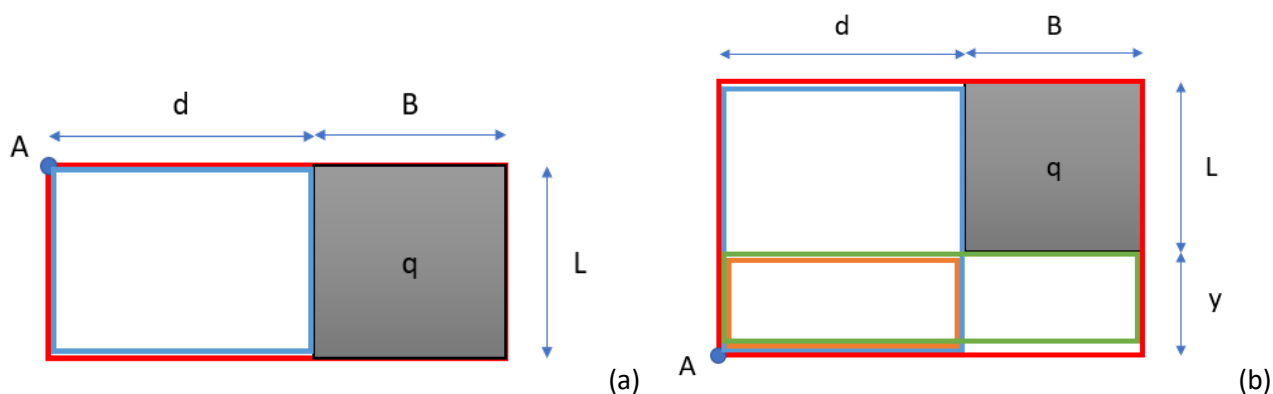


Figura 3.17: Principio di sovrapposizione degli effetti per il calcolo dell'incremento di tensione sotto un punto A.

I cedimenti di una fondazione flessibile uniformemente caricata non sono uniformi. Essi sono massimi al centro e minimi ai bordi e la deformata della fondazione presenta concavità verso l'alto. La formula di Newmark è valida per impronta di carico flessibile, tuttavia i cassoni sono strutture di elevata rigidità pertanto tale formula tende a sottostimare il cedimento ai vertici dei cassoni e sovrastimare quello al centro. A parità di carico risultante e di forma, una fondazione rigida presenta alcuni punti (punti caratteristici) con cedimento uguale a quello della corrispondente fondazione flessibile uniformemente caricata. Pertanto, per calcolare i cedimenti di una fondazione rigida si può far riferimento agli incrementi di tensione lungo la verticale passante per uno dei punti caratteristici della fondazione flessibile corrispondente; la posizione di tali punti dipende dal rapporto di rigidità fra terreno e fondazione, per le analisi successive si considerano i punti caratteristici riportati in Figura 3.17.

Poiché il comportamento reale del cassone è verosimilmente intermedio fra quello della fondazione rigida e della fondazione flessibile, nel seguito si calcoleranno i cedimenti sia con ipotesi di fondazione flessibile, sia con ipotesi di fondazione rigida. L'ipotesi di fondazione rigida è utilizzata per calcolare gli incrementi di tensioni dovuti ai carichi applicati sul cassone stesso, mentre l'effetto dei carichi applicati sui cassoni

adiacenti è sempre calcolato facendo riferimento all'ipotesi di impronta di carico infinitamente flessibile.

Il cedimento edometrico viene, per semplicità, sempre riferito alla data di applicazione del carico corrispondente, senza applicare alcuna correzione per tener conto del fenomeno di consolidazione. Essendo il tempo di consolidazione piuttosto breve nei depositi lagunari (assunto circa 30 giorni), questa ipotesi comporta una lieve accuratezza sul calcolo dei cedimenti durante la costruzione, ma non su quelli a fine opera.

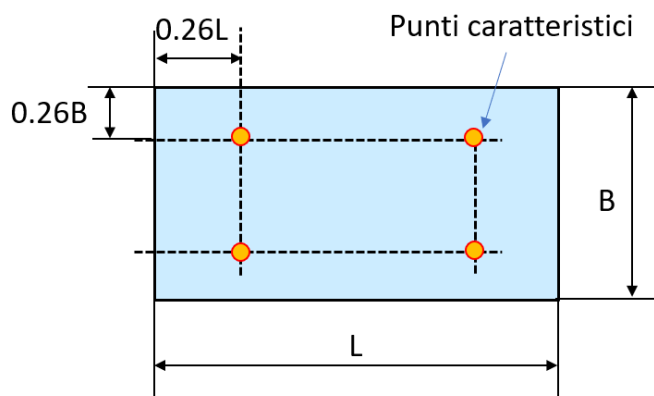


Figura 3.18: Posizione considerata per i punti caratteristici.

Per determinare la successione stratigrafica e per caratterizzare gli strati di materiale costituenti i terreni di fondazione, si è consultata la documentazione contenuta nelle tabelle della relazione di progetto esecutivo intitolata "Calcolo dei cedimenti della barriera" datata Ottobre 2010. Inoltre, sono state considerate le tabelle di sintesi dei parametri geotecnici racchiuse nei file AS BUILT inerenti il consolidamento in jet-grouting" ed allegate alla relazione tecnica generale denominata "Geologia e Geotecnica", redatta a Luglio 2010.

Come già specificato per la barriera di San Nicolò, la stratigrafia dettagliata utilizzata per calcolare i cedimenti dei quattro vertici di ciascun cassone è presupposta coincidere con la stratigrafia rappresentativa della linea verticale al centro del cassone stesso. I parametri geotecnici che caratterizzano ciascuno strato sono medi e vengono assegnati al punto centrale del sottolivello.

I parametri essenziali per il calcolo dei cedimenti includono il modulo edometrico M , il modulo elastico E , e il coefficiente di consolidazione secondaria c_{α} . Nel caso in cui questi dati non siano forniti esplicitamente, sono stati dedotti mediante le adeguate formule di conversione.

Tali moduli rappresentano i valori di ricarico e/o di ricomprensione: il carico generato dalla posa dei cassoni sul terreno di fondazione è minore rispetto alla tensione di scarico causata dal dragaggio dei fondali. Di conseguenza, facendo riferimento alla curva di compressibilità edometrica, ci si trova nella fase di ricarico, e quindi si può

affermare che la realizzazione di tutte le opere di barriera avviene in condizioni di ricomprensione.

Anche per la barriera di Treporti sono stati omessi i coefficienti di consolidazione secondaria per lo strato granulare di ripartizione e lo strato migliorato con jet-grouting, poiché si assume che non influiscano sulla formazione del cedimento secondario.

Le tabelle relative alla stratigrafia utilizzata per il calcolo dei cedimenti post-costruzione sono consultabili in Appendice A3.

In Figura 3.18 e Figura 3.19 vengono plottati, rispettivamente, i valori del modulo edometrico di ricomprensione M e del coefficiente di consolidazione secondaria c_{α} in funzione della profondità e lungo tutto lo sviluppo longitudinale della barriera di Treporti.

Si evidenzia che la quota riportata in ordinata indica la profondità rispetto al piano di posa dei cassoni, che da progetto è posto a -15.05 m s.l.m.m.; nel seguito le quote sono riferite rispetto questo sistema di riferimento. I primi 20.35 m comprendono lo strato di ripartizione di spessore 1.35 m e il terreno consolidato con il jet-grouting di 19.00 m, pertanto i valori di M sono costanti lungo tutto lo stendimento e non vengono forniti i c_{α} perchè tali materiali non sono soggetti a consolidazione secondaria di creep.

Si osserva che nell'intervallo [-20 m, -50 m], il valore del modulo edometrico di ricomprensione M si mantiene pressochè costante da Ovest verso Est, fatta eccezione per alcuni strati di minor compressibilità in corrispondenza dei cassoni TB-A04 e TB-A05. Nell'intervallo [-50 m, -70 m] i valori di M , invece, tendono ad aumentare da Ovest verso Est, quindi i terreni in corrispondenza della spalla Ovest risultano essere più compressibili rispetto a quelli di spalla Est. Per l'ultimo intervallo [-70 m, -95,60 m] si hanno alti valori di M fino al cassone di soglia TB-A05 (fatta eccezione per il cassone TB-A01 per cui non è stato possibile effettuare il calcolo), mentre in corrispondenza della spalla Est tendono a susseguirsi terreni ad alta compressibilità. Gli strati che concorrono principalmente allo sviluppo dei cedimenti edometrici di consolidazione primaria sono quelli più superficiali, indicativamente fino a circa -45 m.

Per quanto riguarda il coefficiente di compressibilità secondario c_{α} si può notare che, in corrispondenza della spalla Ovest, fino alla quota -45 m (oltre la quale i cedimenti secondari possono essere trascurati), si hanno valori discordanti per via del susseguirsi di terreni sabbiosi e argillosi. Nei pressi della spalla Est invece si mantiene un profilo stratigrafico pressochè costante, garantendo un valore univoco per tutti i terreni coinvolti dal cedimento secondario. Oltre tale profondità si osserva un aumento dei valori di c_{α} verso la spalla Ovest, mentre dal cassone TB-A04 fino alle spalle Est, i terreni tendono a mantenere un coefficiente di compressibilità ridotto.

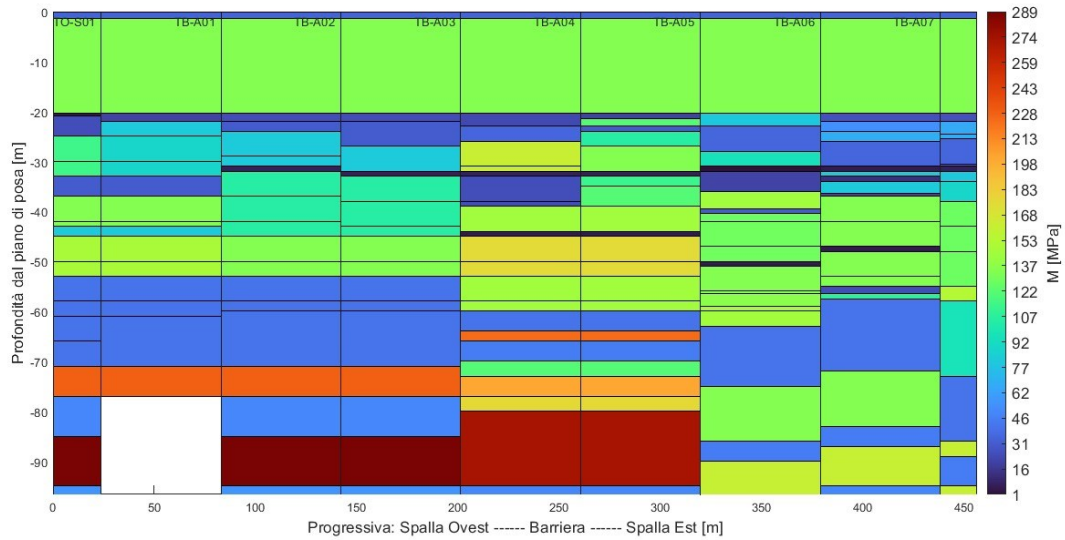


Figura 3.19: Variazione del modulo edometrico di ricomprensione M lungo lo sviluppo longitudinale della barriera, da quota -15.05 m s.l.m.m. e fino alla profondità di -120.00 m s.l.m.m.. Nel grafico il livello 0 m coincide con la quota di posa di progetto dei cassoni, pari a -15.05 m s.l.m.m..

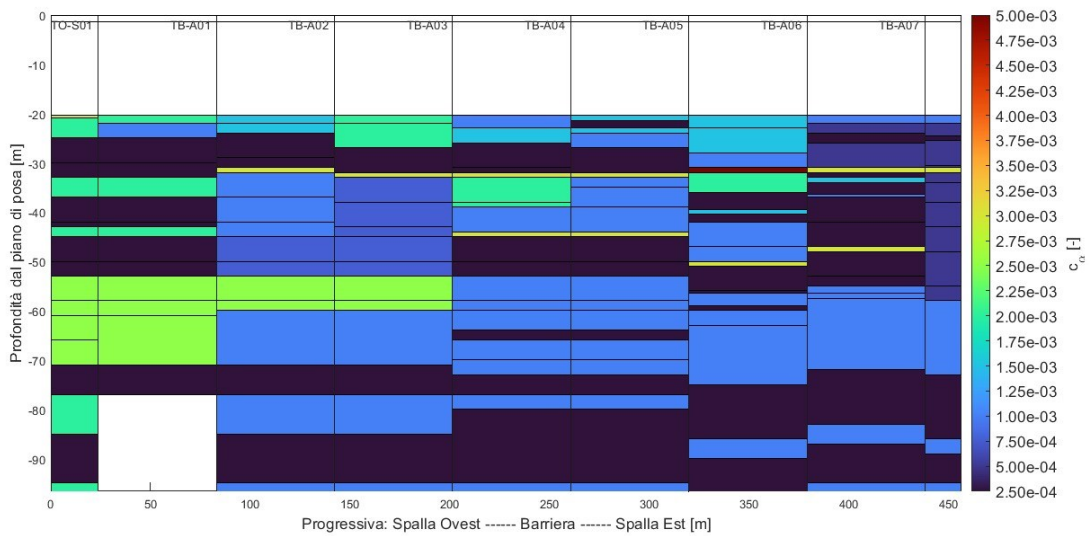


Figura 3.20: Variazione del coefficiente di consolidazione secondaria α lungo lo sviluppo longitudinale della barriera, da quota -15.05 m s.l.m.m. e fino alla profondità di -120.00 m s.l.m.m.. Nel grafico il livello 0 m coincide con la quota di posa di progetto dei cassoni, pari a -15.05 m s.l.m.m.. Per i primi due strati (ripartizione e palificata) non sono definiti i valori di α .

3.4.2 Cedimento secondario

Il cedimento secondario di ciascun livello i -esimo di terreno costituente la stratigrafia di riferimento è stato valutato con la formula:

$$\Delta H_{i,s} = c_{\alpha,i} H_i \log \left(\frac{t}{t_{100}} \right)$$

In cui $c_{\alpha,i}$ rappresenta il coefficiente di consolidazione secondaria dell' i -esimo strato, calcolato attraverso l'analisi dei dati ottenuti dalle prove in sito. H_i indica lo spessore dell' i -esimo strato e t_{100} è il periodo necessario affinché si completi il cedimento primario. Per i terreni lagunari di Venezia, t_{100} è valutabile in 30 giorni: a partire da un mese dopo l'installazione del cassone e per tutta la durata prevista della barriera, stimata in 100 anni, il terreno di fondazione manifesta cedimenti secondari a causa della sua viscosità. Il totale dei cedimenti secondari per ciascun cassone in un punto è calcolato sommando i contributi di ciascuno strato fino ad una profondità in cui si osserva che la variazione della tensione efficace ($\Delta\sigma' \geq 0.075\sigma'_{z0}$). (come stabilito nel calcolo dei cedimenti di progetto).

Anche in questo contesto, la variazione tensionale è determinata applicando la teoria di Boussinesq, e i carichi che influenzano lo sviluppo del cedimento secondario sono attribuiti unicamente al peso proprio dei manufatti. I cedimenti secondari sono considerati trascurabili per lo strato di ripartizione compattato e per il terreno consolidato mediante palificazione.

Il metodo di calcolo descritto è utilizzato per stimare il cedimento secondario in qualsiasi momento t .

Si trascurano gli effetti dei carichi ciclici per il calcolo dei cedimenti post-costruzione, poiché irrilevanti rispetto a quelli già considerati e per la mancanza di teoria di base necessaria alla loro analisi.

3.4.3 Fasi operative e carichi

La sequenza di posa in opera dei cassoni di barriera, le fasi lavorative, le date relative all'installazione delle paratoie e alla costruzione degli edifici/impianti tecnologici soprastanti le spalle, sono state definite sulla base dell'Allegato 4 della relazione tecnica illustrativa delle attività, rendendo così possibile la ricostruzione della storia di carico dell'opera con adeguata precisione e in aderenza con quanto è stato realmente costruito. Dai file AS BUILT e dalle fotografie satellitari di Google Earth, si è invece dedotto che la realizzazione delle opere adiacenti sia avvenuta nei mesi antecedenti la

costruzione stessa della barriera.

Tale informazione risulta rilevante per il calcolo dei cedimenti primari del cassone i-esimo, in quanto sono stati calcolati considerando esclusivamente i carichi agenti a partire dalla data di posa, escludendo quelli applicati prima di tale periodo. Questa ipotesi presuppone che i cedimenti già verificatisi nel terreno prima della posa del cassone di riferimento siano compensati mediante regolazioni ai pins, in modo tale da ottenere un'elevazione di posa uniforme per tutti i cassoni. I cedimenti ciclici, al contrario, iniziano ad influire nella fase operativa della barriera di dighe mobili, ossia al termine della sua costruzione e per l'intera durata della sua vita utile.

Si considera quindi:

- inizio posa cassoni di barriera 17 Maggio 2012
- fine costruzione della barriera 25 Marzo 2015
- termine della vita utile dell'opera (100 anni) Gennaio 2115

Le fasi di collocazione dei cassoni di barriera e le successive operazioni di zavorramento sono state dettagliatamente documentate con le relative date di esecuzione e i carichi applicati per ciascun intervento. Tramite i dati di monitoraggio è stato possibile ottenere con precisione le date di installazione delle paratoie sui cassoni di soglia e della costruzione delle sovrastrutture sui cassoni di spalla. In particolare si ha che i cassoni di soglia sono stati conclusi (con inserimento di paratoie) il 31/08/2014, mentre gli edifici soprastanti le spalle sono stati terminati il 25/03/2015.

Come accennato precedentemente, la realizzazione dell'isola artificiale accanto alla spalla Ovest della barriera, il porto rifugio limitrofo alla spalla Est e la collocazione dei cassoni mobili adiacenti a quelli di spalla, sono tutte operazioni che precedono la posa del primo cassone di barriera e perciò non inficiano sul calcolo dei cedimenti della stessa.

I carichi statici totali su ciascun cassone nelle diverse fasi operative, utilizzati per il calcolo dei cedimenti, sono riportati nel dettaglio in Appendice A4.

3.5 Interpretazione dei risultati

Prima di esaminare i risultati ottenuti, è utile discutere le semplificazioni adottate e le limitazioni che ne derivano dalla metodologia di calcolo utilizzata per stimare i cedimenti post-costruzione dei vertici dei cassoni:

- La stima dell'incremento di tensione si appoggia sulla teoria di Boussinesq, che tratta il terreno come un semispazio elastico, isotropo e omogeneo, nonostante in realtà il terreno sia stratificato e abbia un comportamento elastoplastico. Questa approssimazione è considerata ragionevole per lo scopo.
- L'incremento di tensione presuppone una distribuzione uniforme dei carichi sull'area di appoggio. Tuttavia, la reale distribuzione delle tensioni nel terreno può variare a causa dell'eccentricità dei carichi e dell'interazione tra terreno e struttura. L'impatto di questa semplificazione diminuisce man mano che ci si allontana dall'area di appoggio.
- Il calcolo del cedimento si basa sull'ipotesi edometrica, presupponendo che la deformazione avvenga solo in verticale. Sebbene gli effetti tridimensionali siano sempre presenti, questa assunzione è ritenuta valida per i cassoni di base, ma meno per quelli laterali. L'uso di modelli 3D potrebbe fornire ulteriori dettagli sugli effetti dei cassoni laterali in studi futuri.
- Si assume una stratigrafia omogenea sotto ogni cassone, ignorando le variazioni locali. Questo potrebbe spiegare alcune discrepanze tra i cedimenti calcolati e quelli osservati.
- Il modulo edometrico è considerato costante, mentre in realtà dipende dallo stato di tensione del terreno. Questa semplificazione è accettabile per i cassoni di base, dove l'incremento di carico è limitato, ma potrebbe essere meno valida per i cassoni laterali, dove la compressibilità non lineare diventa più significativa.
- Per ogni fase costruttiva, il cedimento edometrico è associato al momento dell'applicazione del carico, trascurando la durata del processo di consolidazione e del carico. Questo ha maggior impatto sui cedimenti durante la costruzione, ma si limita alla conclusione dei lavori.
- Il periodo di consolidazione è uniformemente assunto pari a 30 giorni, benché i tempi effettivi dipendano dalla stratigrafia locale e dalle condizioni di drenaggio. Questa approssimazione influisce sul calcolo dei cedimenti

secondari a medio termine, ma il suo effetto si attenua nel tempo.

- Gli strati considerati rilevanti per i cedimenti secondari sono quelli con un incremento di tensione del 7,5% della tensione verticale iniziale. Questo criterio è arbitrario ma conforme alla prassi, che varia tra il 5 e il 10%. Ridurre questo valore aumenterebbe i cedimenti secondari stimati.
- Non esistono metodi consolidati in letteratura per la stima dei cedimenti ciclici in opere marittime causati da carichi ondulatori su terreni come quelli lagunari. Pertanto, la valutazione di questo contributo è particolarmente incerta e viene perciò trascurata.

Le pagine seguenti riportano i grafici in scala semilogaritmica dei cedimenti:

- calcolati ex-post in questo studio assumendo ipotesi di fondazione flessibile, senza componente ciclica
- calcolati ex-post in questo studio assumendo ipotesi di fondazione rigida, senza componente ciclica
- calcolati in fase di progettazione
- monitorati in fase di varo
- monitorati dopo l'apertura della galleria

Cedimento dei cassoni nel tempo al centro del cassone

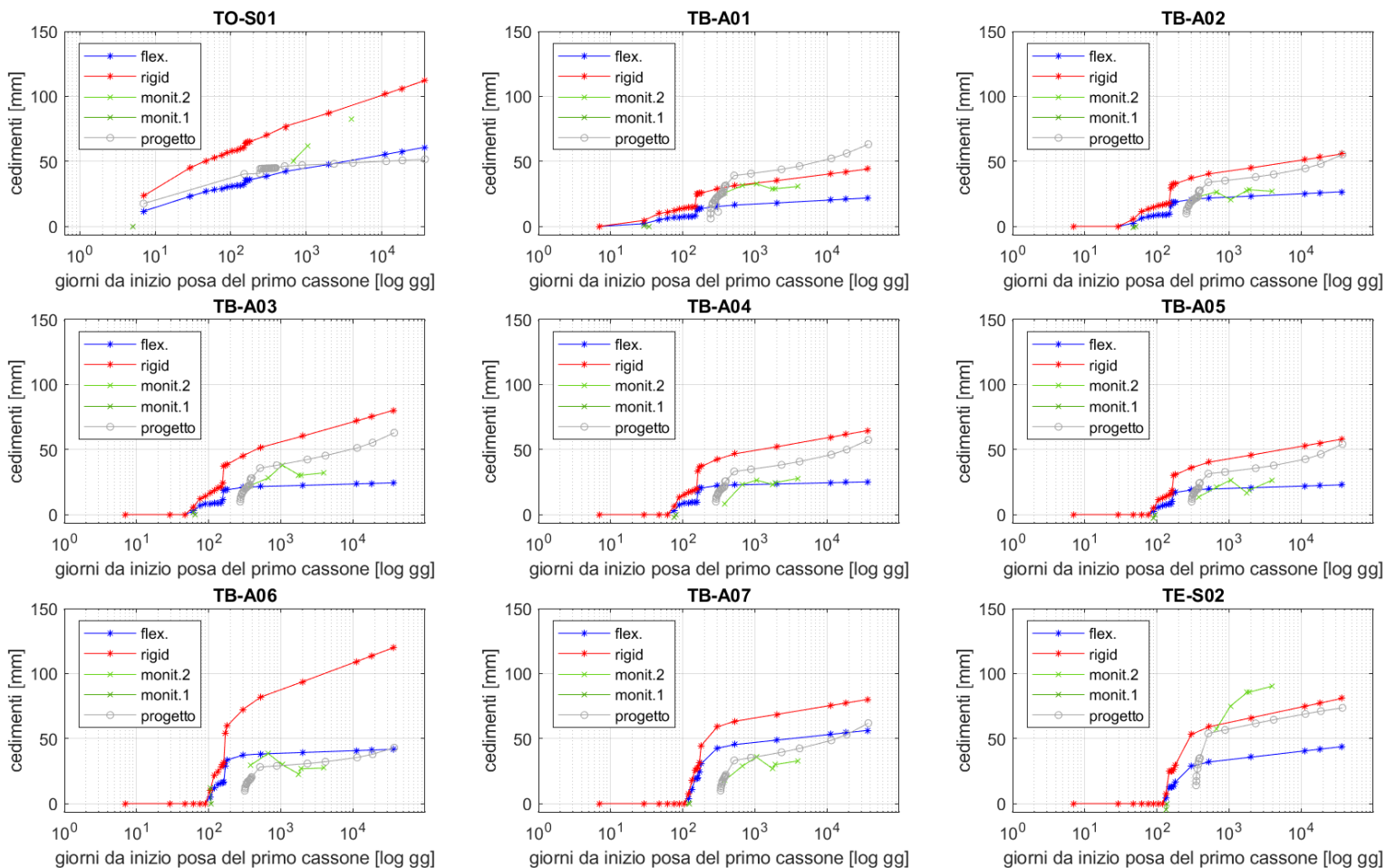


Figura 3.21: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto per i cassoni della barriera di Treporti nel punto centrale.

Cedimento dei cassoni nel tempo nel punto 1

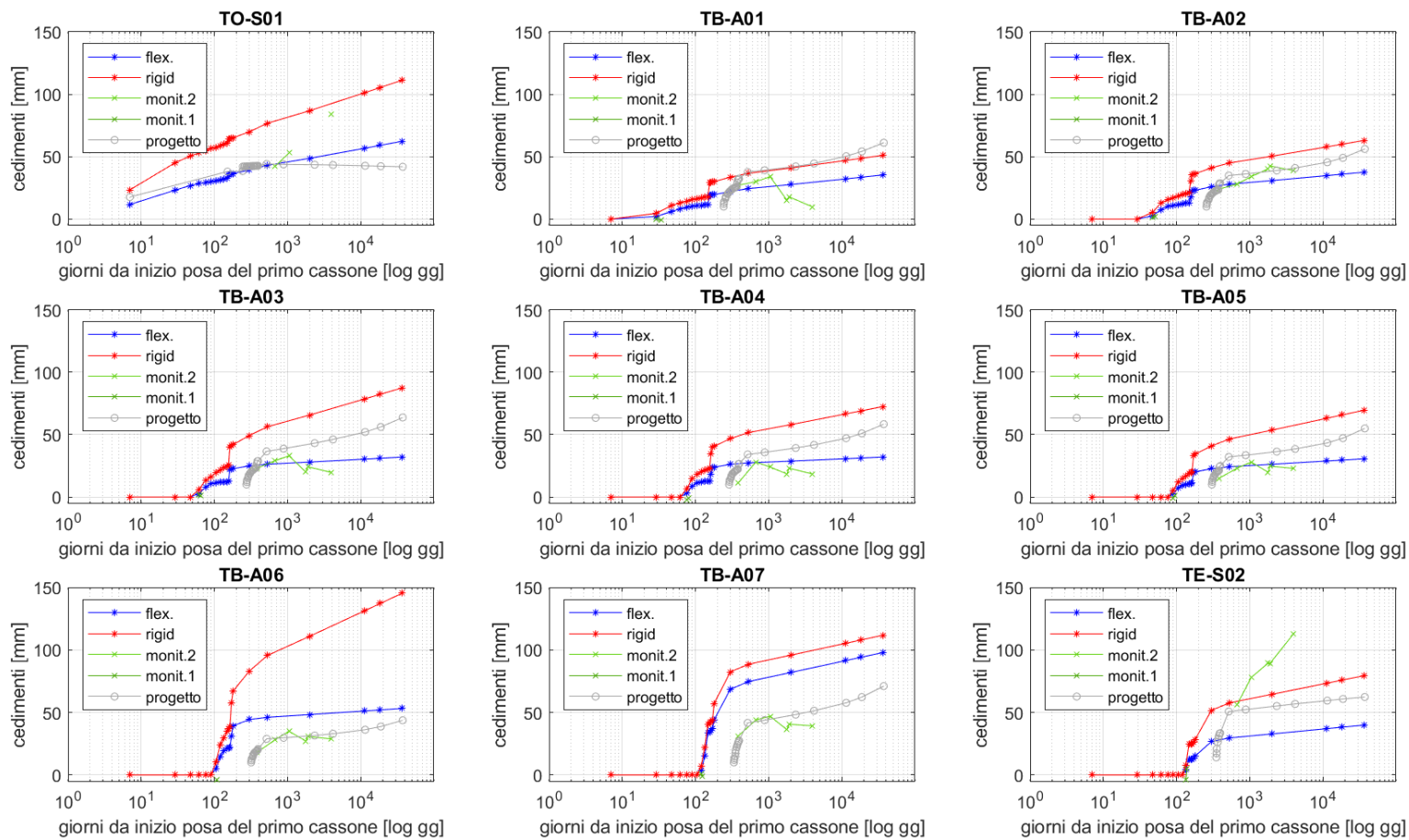


Figura 3.22: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto per i cassoni della barriera di Treporti nel punto 1.

Cedimento dei cassoni nel tempo nel punto 2

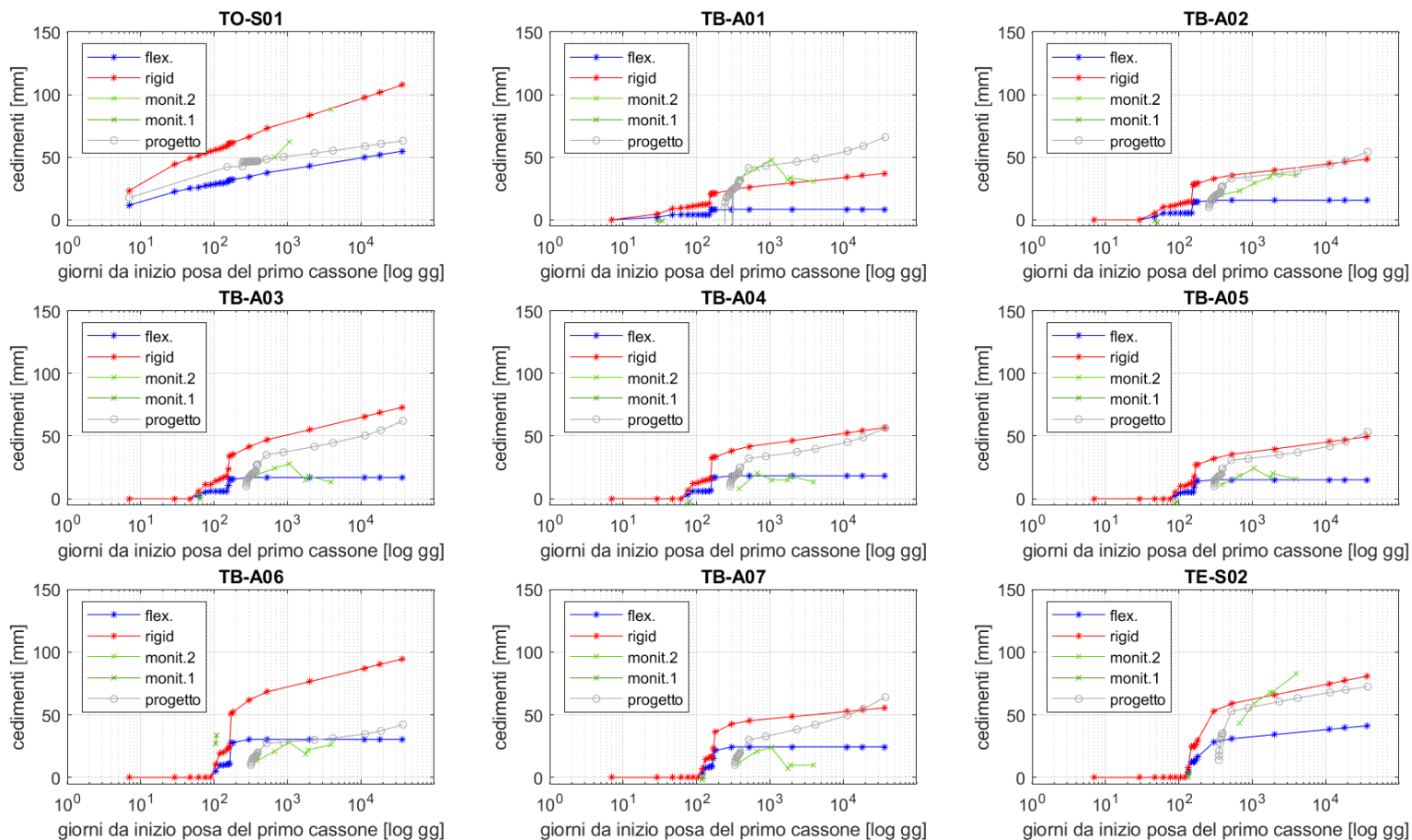


Figura 3.23: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto per i cassoni della barriera di Treporti nel punto 2.

Cedimento dei cassoni nel tempo nel punto 3

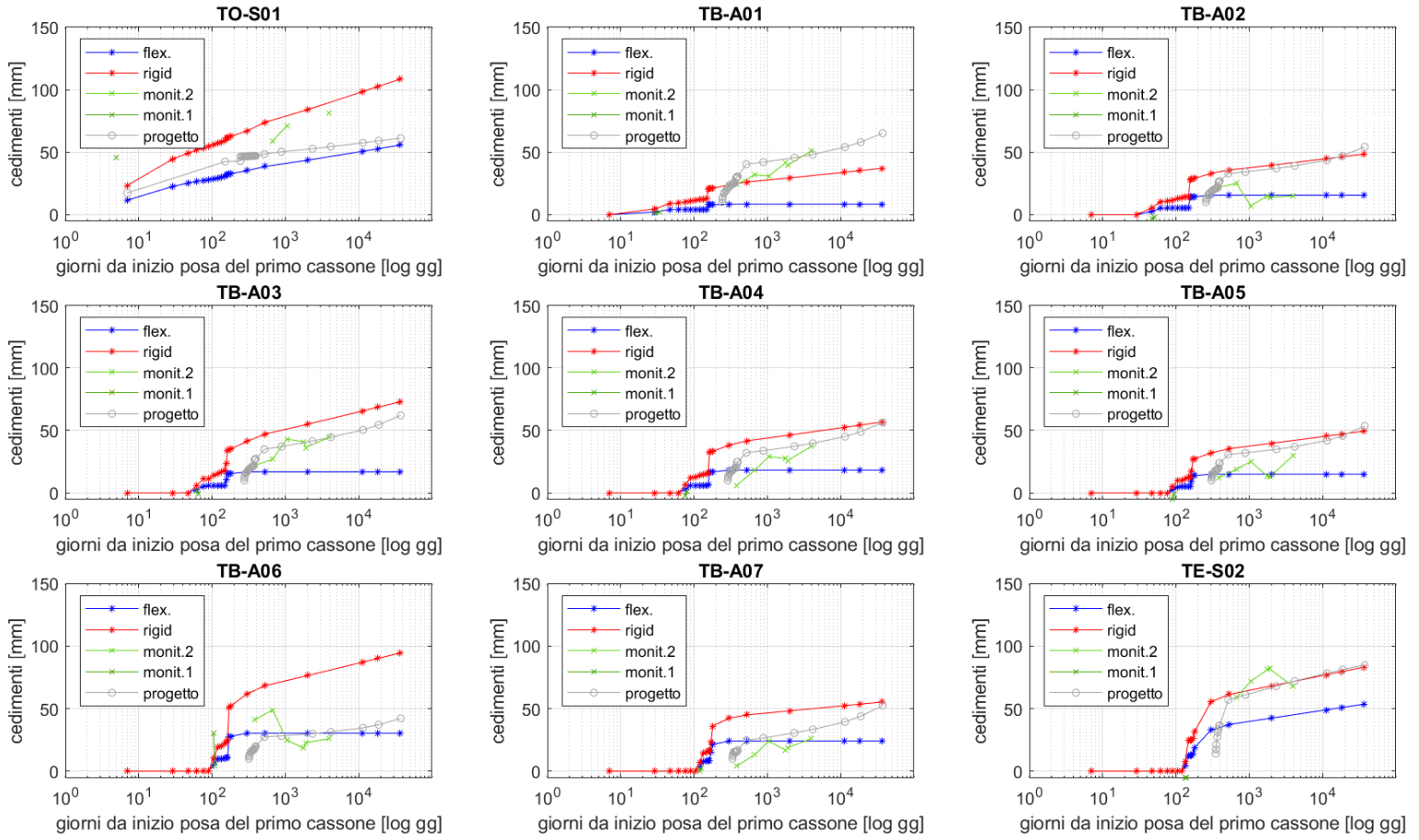


Figura 3.24: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto per i cassoni della barriera di Treporti nel punto 3.

Cedimento dei cassoni nel tempo nel punto 4

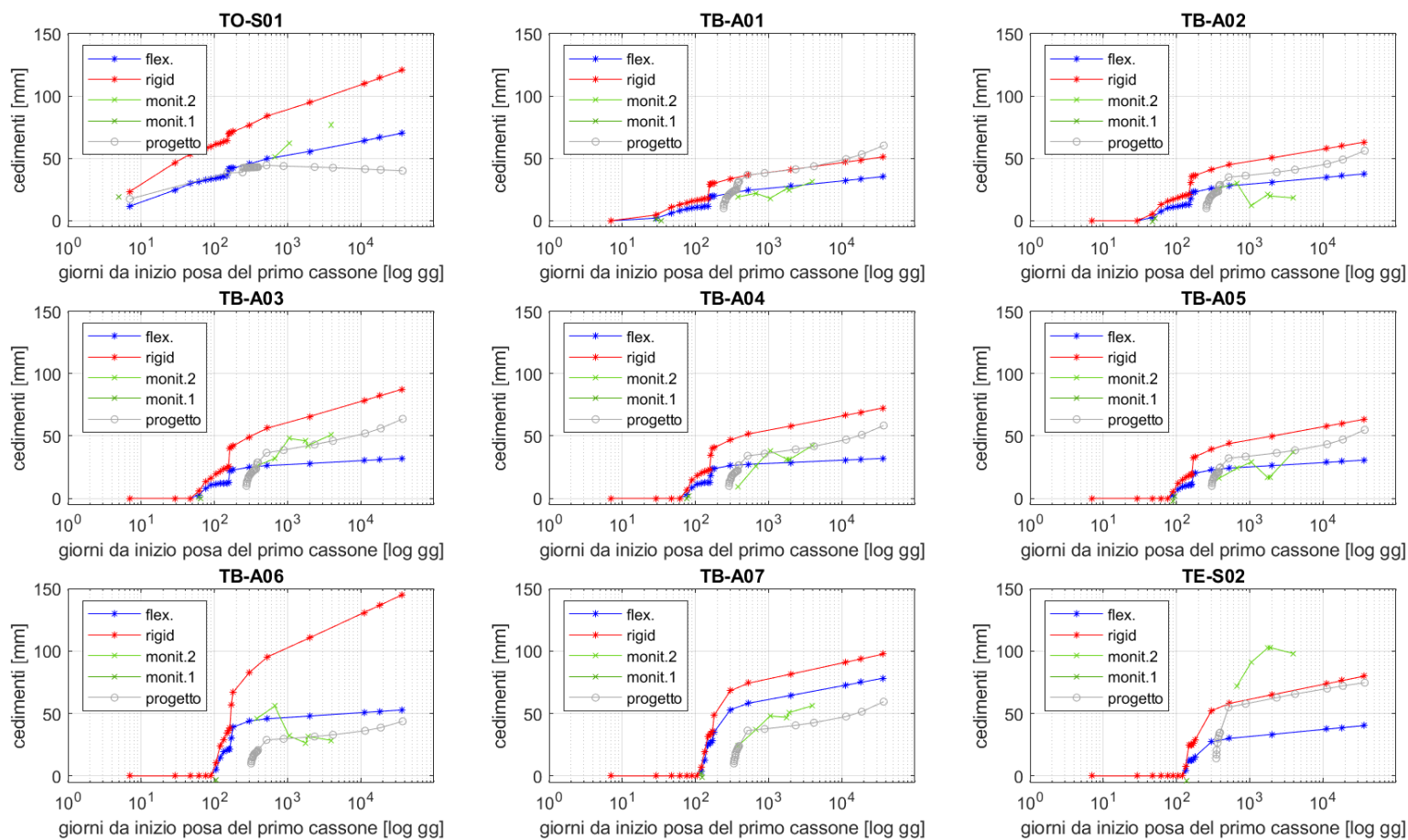


Figura 3.25: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto per i cassoni della barriera di Treporti nel punto 4.

Si osserva che i dati di monitoraggio relativi alla barriera di Lido Treporti, risultano essere abbastanza scarsi ed in alcuni tratti imprecisi. Questo potrebbe esser dovuto ad un difetto di misurazione o dello strumento. Nonostante ciò, i risultati ottenuti rispecchiano perfettamente le misure riscontrate.

Per quanto riguarda il calcolo dei cedimenti nei punti analizzati dei cassoni di soglia si ha che:

- i cedimenti calcolati in condizione di fondazione rigida risultano essere sempre superiori a quelli in condizione di fondazione flessibile (come definito dalla teoria);
- i cedimenti di progetto tendono a mantenersi sempre all'interno della fascia blu-rossa dei cedimenti calcolati; lievi differenze si prospettano per i punti 1 e 4 dei cassoni di soglia TB-A06 e TB-A07, per cui si ha che i cedimenti calcolati risultano essere maggiori, e per i punti 2 e 3 del cassone di soglia TB-A01 per cui i cedimenti calcolati sono inferiori. Tale differenza potrebbe essere data da una non simmetria dei carichi applicati (considerata invece come ipotesi nel calcolo dei cedimenti post-costruzione), e dai diversi approcci di analisi. Il programma di calcolo utilizzato dai progettisti in fase di valutazione dei cedimenti, inoltre, considera ulteriori carichi esterni (trascurati in fase di elaborazione post-costruzione poiché successivi alla realizzazione della barriera stessa). Il dislivello nei grafici risulta comunque esiguo poiché millimetrico rispetto all'entità dell'opera e dei carichi applicati;
- in linea generale l'andamento delle curve blu e rosse corrispondono agli andamenti delle curve grigie, a meno dei cedimenti ciclici, calcolati dai progettisti nella fase di progetto e trascurati nel calcolo post-costruzione, che modificano leggermente l'andamento della curva grigia nei tratti finali;
- nonostante i dati di monitoraggio per la barriera di Treporti risultino essere esigui, è possibile osservare che tali curve (verdi) rientrano nel range rosso-blu, definito dal calcolo dei cedimenti post-costruzione;
- i risultati ottenuti confermano la validità del metodo di calcolo adottato e l'approccio definito in fase di analisi.

Per quanto riguarda il calcolo dei cedimenti nei punti analizzati dei cassoni di spalla si ha che:

- i cedimenti calcolati in condizione di fondazione rigida risultano essere sempre superiori a quelli in condizione di fondazione flessibile (come definito dalla teoria);
- i cedimenti di progetto tendono a mantenersi sempre all'interno della fascia blu-rossa dei cedimenti calcolati; lievi differenze si evidenziano per i punti 1 e 4 del cassone di spalla Ovest TO-S01, per cui si ha che i cedimenti calcolati

risultano essere maggiori rispetto a quelli previsti da progetto. Tali differenze potrebbero essere date da una non simmetria dei carichi applicati (considerata invece come ipotesi nel calcolo dei cedimenti post-costruzione), diversi approcci di analisi, o dalle differenti scelte dei parametri delle stratigrafie. Si osserva infatti che la stratigrafia utilizzata per il calcolo dei cedimenti post-costruzione differisce da quella utilizzata dai progettisti, sia a livello di suddivisione degli strati (alcuni strati più cospicui sono stati suddivisi in strati di spessore inferiore, così da migliorare l'analisi dei cedimenti secondari per il metodo adottato), mentre alcuni parametri, necessari durante il calcolo, sono stati implementati a partire da formule teoriche di base. Una lieve discrepanza a livello stratigrafico può portare a tale dislivello millimetrico tra i risultati ottenuti, esiguo rispetto all'entità dell'opera e dei carichi applicati;

- in linea generale l'andamento delle curve blu e rosse corrisponde agli andamenti delle curve grigie, a meno dei cedimenti ciclici, calcolati dai progettisti nella fase di progetto e trascurati nel calcolo post-costruzione, che modificano leggermente l'andamento della curva grigia nei tratti finali;
- nonostante i dati di monitoraggio per la barriera di Treporti risultino essere esigui, è possibile osservare che tali curve (verdi) rientrano nel range rosso-blu, definito dal calcolo dei cedimenti post-costruzione; Si può notare una discrepanza tra l'andamento dei cedimenti calcolati post-costruzione e i dati di monitoraggio misurati per il cassone di spalla Est TE-S02, attribuibile ad una possibile disomogeneità della stratigrafia. Tra le ipotesi di base infatti è stata definita una stratigrafia uniforme (calcolata per il baricentro del cassone) per tutti i vertici del cassone. Per i cassoni di spalla tale ipotesi risulta funzionale (in quanto permette un calcolo dei cedimenti post-costruzione verosimile alla realtà), ma trascura possibili terreni presenti nell'area subito adiacente al cassone stesso. La differenza tra i due andamenti (post-costruzione e monitoraggio), potrebbe essere dovuta anche alla presenza di carichi esterni, adiacenti ai cassoni di spalla, che non sono stati considerati durante il calcolo. In definitiva si può dire che ciò non comporta un problema dal punto di vista geotecnico, poiché si tratta sempre di cedimenti millimetrici per opere di dimensioni ingenti.

Capitolo 4

La barriera di Chioggia

4.1 Configurazione dell'opera

La barriera per la regolazione delle maree alla bocca di Chioggia si estende dalla spalla Nord lato isola di Pellestrina in zona Ca' Roman, posta di fianco alle conche di navigazione per pescherecci, alla spalla Sud posta in terraferma in territorio di Sottomarina di Chioggia. È caratterizzata da una lunghezza di circa 360 metri ed una profondità di 11 metri. Tale configurazione comporta l'impiego di 6 cassoni di soglia standard, aventi la lunghezza L di circa 60 metri e larghezza B di circa 46.05 metri.

Le altezze massime del monolite si riscontrano nei due corpi alti lato laguna e lato mare (H=11.50 metri), mentre il corpo centrale è caratterizzato dall'altezza minima di 4.70 metri, per consentire l'alloggiamento della paratoia di pertinenza.

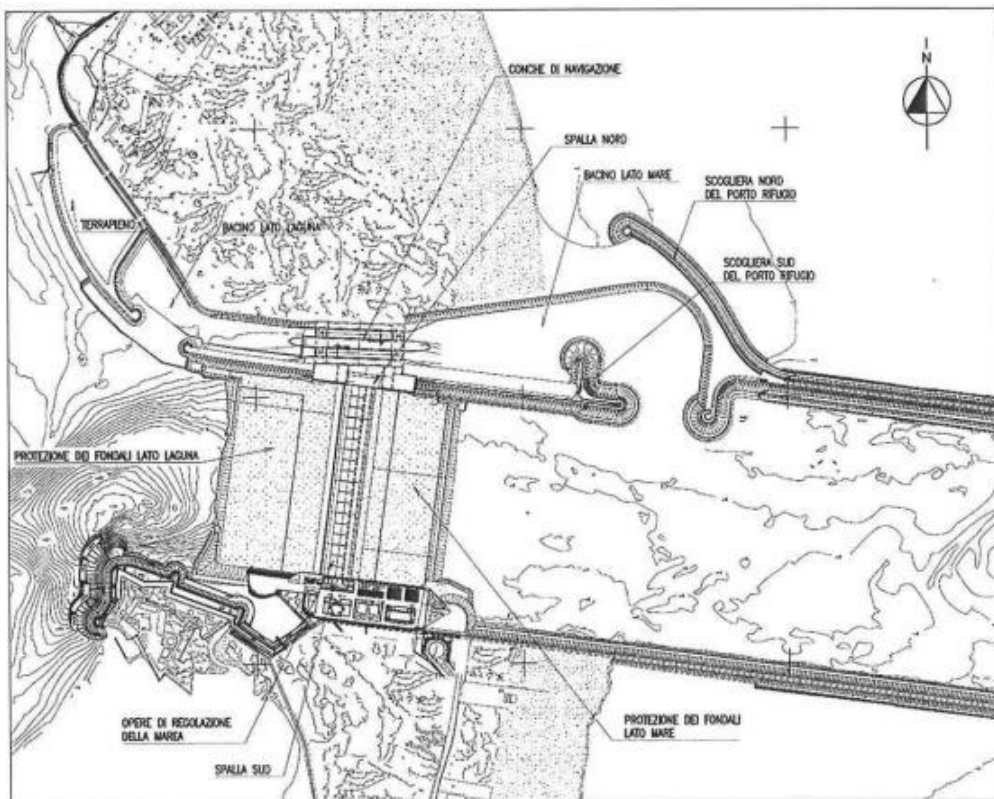


Figura 4.1: Area di interesse della barriera di Chioggia; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

La posa dei cassoni prefabbricati all'interno dei recessi precedentemente dragati è iniziata dalla spalla Nord, procedendo poi con i cassoni della soglia della barriera e concludendo con il cassone della spalla Sud.

Il piano di imposta degli strati di fondazione si trova a -24.20 m s.l.m., e al di sopra di questa quota è presente uno strato di materiale granulare compattato spesso 1.20 m, utilizzato per la distribuzione dei carichi generati dalla posa dei cassoni della barriera. Durante la fase iniziale di installazione, ogni cassone è temporaneamente supportato da 4 selle in cemento armato prefabbricate, inserite nello strato di materiale granulare tramite pins. Al termine delle fasi di posa e installazione, i cassoni sono appoggiati su sacconi in polipropilene, noti come "bags", posizionati tra l'estradosso della soletta e lo strato di materiale granulare. Questi sacconi vengono riempiti con malta cementizia iniettata sotto pressione.

Come misura di riduzione dei cedimenti, è stato realizzato un palancolato in acciaio con pali di lunghezza pari a 19 m, infissi nel terreno a partire da una quota di -24.20 m s.l.m.

Di seguito si riportano le sezioni tipo relative ai cassoni soglia e di spalla:

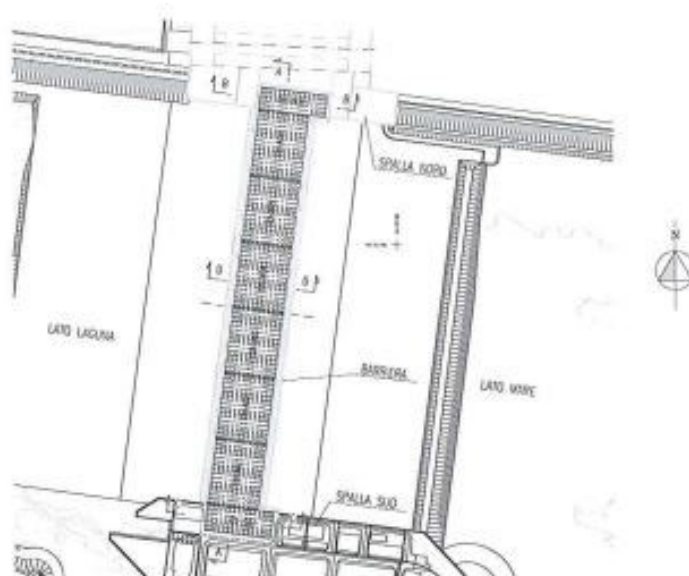


Figura 4.2: Area di interesse della barriera di Chioggia e relative sezioni di riferimento; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

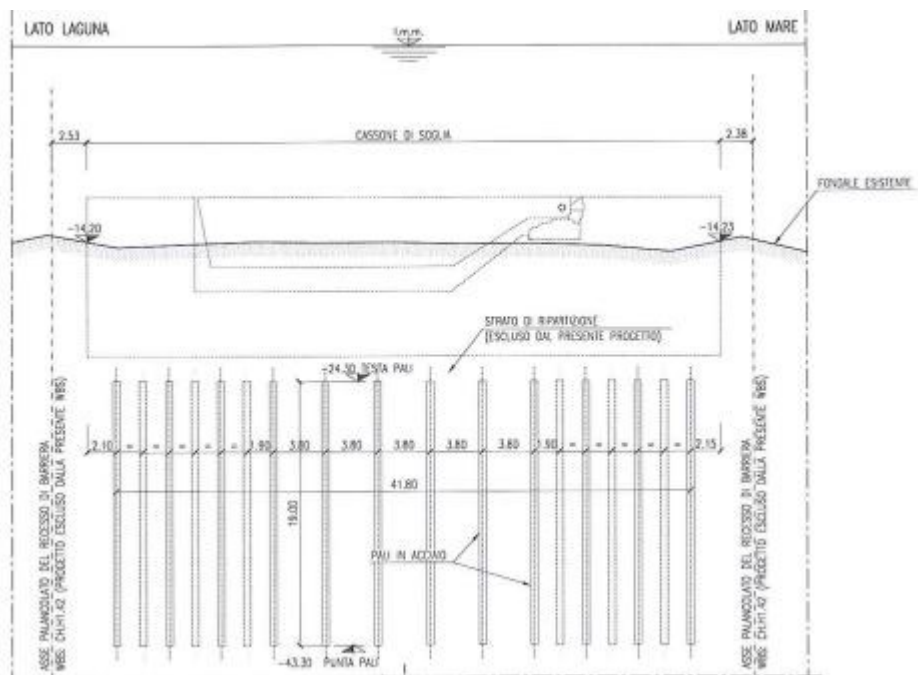


Figura 4.3: Sezione tipo cassone di soglia; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

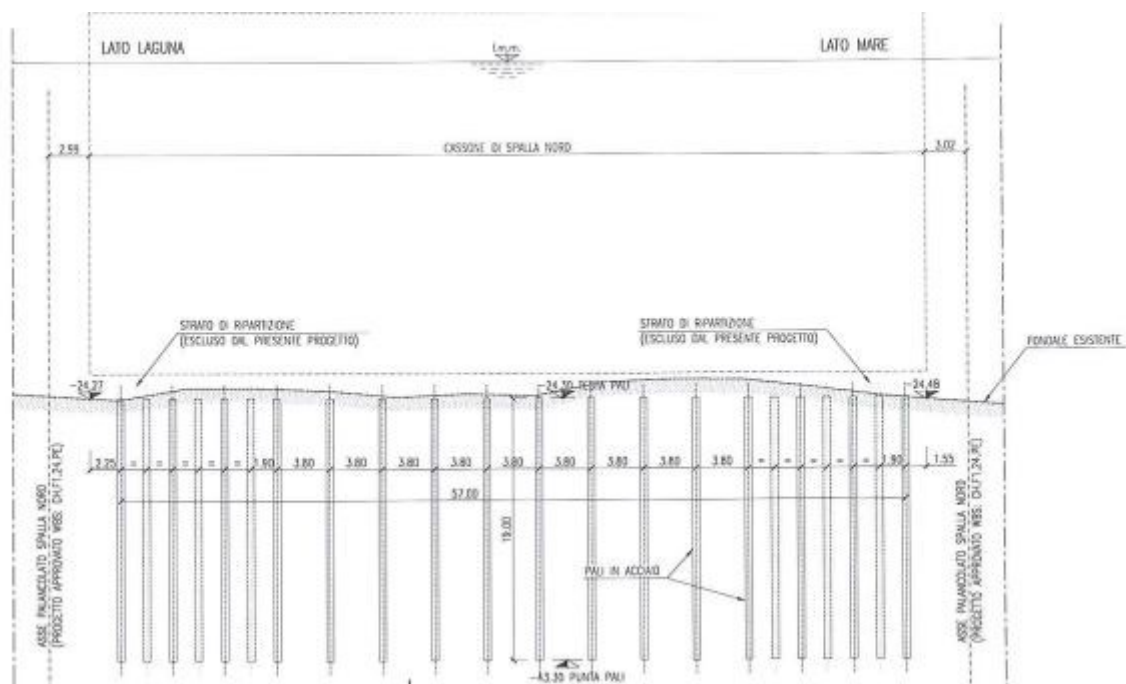


Figura 4.4: Sezione tipo cassone di spalla Nord; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

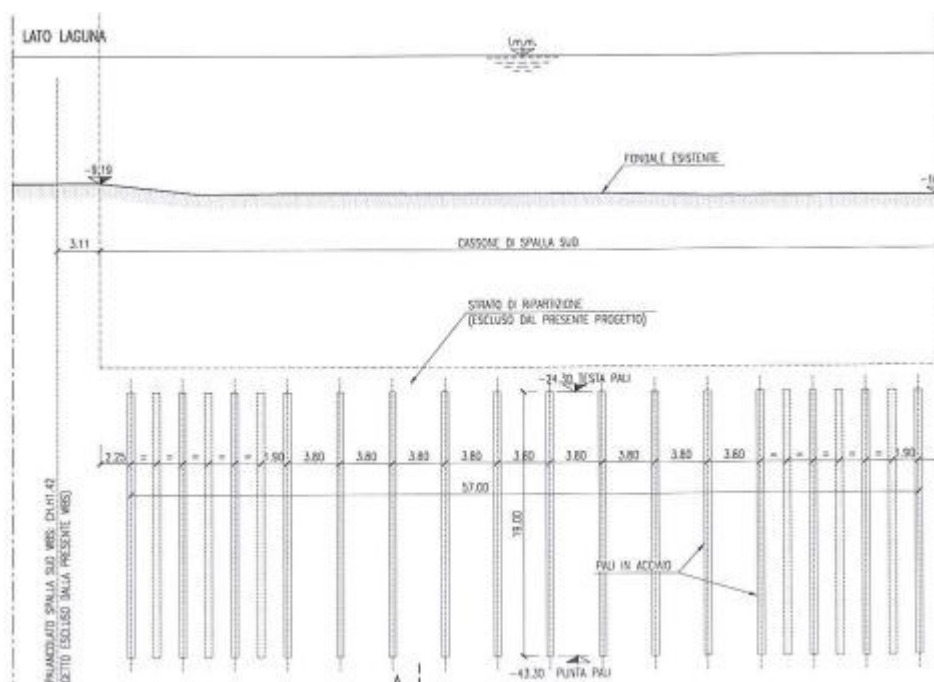


Figura 4.5: Sezione tipo cassone di spalla Sud; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

4.1.1 Cassoni di barriera

I cassoni di barriera sono in totale 8 cassoni prefabbricati in calcestruzzo armato a struttura cellulare, si sviluppano secondo il tracciato rappresentato in Figura 4.6:

- I 6 cassoni di soglia denominati da CB-A01 a CB-A06, sono strutture cellulari in c.a. con dimensioni di base di 60.00 m per 46.00 m. L'altezza massima di queste strutture è di 11.50 m nelle zone laterali, diminuendo fino a un'altezza minima di 4.70 m al centro, mantenendosi comunque sommersi.
- I 2 cassoni di spalla saranno posati alle estremità della barriera. Anche questi cassoni presentano una struttura cellulare in c.a.; rispetto a quelli di soglia presentano dimensioni in pianta più ridotte, ma un'altezza circa doppia. Infatti mentre i cassoni di soglia una volta installati saranno completamente immersi in acqua, con la sommità posta alla quota di fondo canale, i cassoni di spalla saranno emergenti, grazie alla presenza di due edifici (uno sopra il cassone di spalla Nord e l'altro sul cassone di spalla Sud).

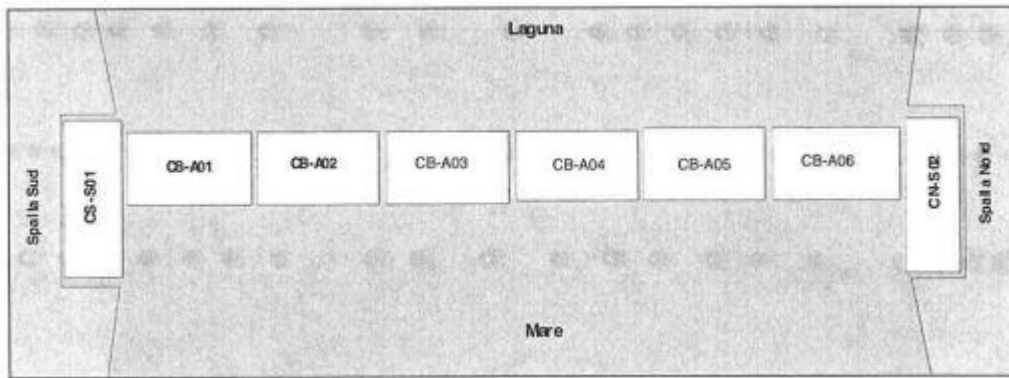


Figura 4.6: Rappresentazione in pianta della barriera di Chioggia; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

La sezione trasversale del cassone si compone sostanzialmente di tre elementi funzionali e strutturali che, procedendo da mare a laguna sono:

- un corpo lato mare con estradosso per la quasi totalità a livello del fondale, comprendente le gallerie degli impianti e di esaurimento aria, gli elementi strutturali per la connessione delle paratoie e i sottostanti locali attrezzati;
- un corpo centrale ribassato sottostante la paratoia, che ha funzione di contenere la paratoia e di offrire il piano di appoggio per gli ammortizzatori posti all'estremità lato laguna della stessa;
- un corpo lato laguna sempre con estradosso a livello del fondale, ma di dimensioni trasversali molto più contenute rispetto a quello del lato mare, che ha la funzione di supportare l'anello del giunto Gina di bilanciamento.

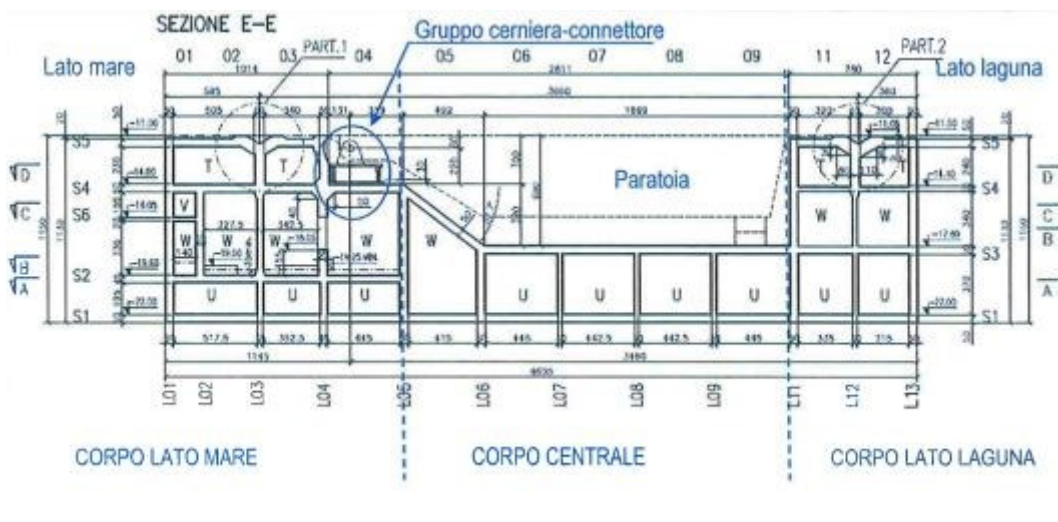


Figura 4.7: Sezione tipo cassone di soglia della barriera di Chioggia; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Il collegamento tra i cassoni viene realizzato con il sistema di giunzione del tipo Gina/Omega. Il giunto di tipo Gina viene montato sul cassone prima del varo e consente di effettuare, completate le operazioni di affondamento, la prima tenuta con il cassone precedentemente installato. Tale giunto si sviluppa in due anelli. In particolare il giunto lato mare ingloba le tre gallerie longitudinali, mentre quello lato laguna non ha alcuna funzione di tenuta idraulica permanente e viene installato principalmente per creare una simmetria di comportamento nella direzione trasversale, evitando disallineamenti nel piano orizzontale fra i successivi cassoni.

Il giunto Omega viene invece installato nella sezione di contatto dei cassoni dopo aver completato le operazioni di affondamento e stabilizzazione dei due cassoni contigui. L'operazione avviene dall'interno delle gallerie, lungo il perimetro di ognuna; si hanno così tre anelli: due attorno alle gallerie degli impianti, l'altro attorno al cunicolo di sfogo aria/acqua. Questo secondo tipo di giunto, il giunto Omega, realizza la tenuta idraulica permanente ed è sostituibile.

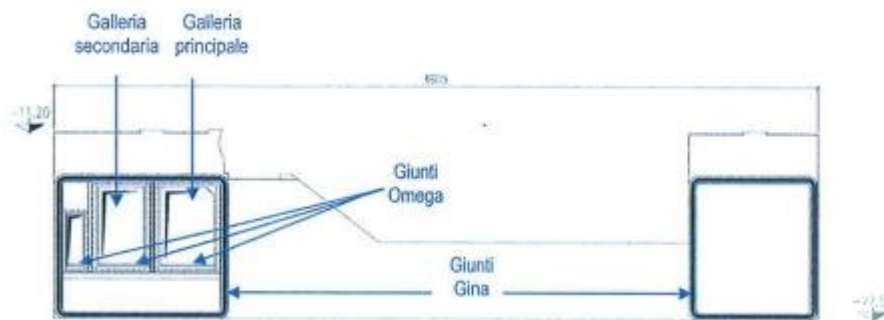


Figura 4.8: Testata del cassone di soglia con vista dei collari del giunto Gina e gli anelli interni del giunto Omega; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Sia sul cassone di spalla Nord di Chioggia, sia su quello Sud, saranno posizionati gli edifici ELE/HVAC che alloggiano l'impiantistica elettrica e strumentale di alimentazione e di controllo degli impianti al servizio delle paratoie, nonché tutti gli impianti di ventilazione e condizionamento dei locali e delle gallerie ricavate nei cassoni di soglia. Nella zona limitrofa al cassone di spalla Nord sono presenti delle conche di navigazione atte all'accesso dei natanti durante la fase di attivazione delle paratoie emergenti. Lato barriera invece viene realizzato un muro paraonde e tutto il complesso edificio/cassone è stato infine sormontato da un mascheramento architettonico in acciaio. Nell'area accanto alla spalla Sud invece sono presenti una serie di edifici tecnologici e di servizio ad accesso esclusivo del personale Mose.



Figura 4.9: Sovrastruttura soprastante il cassone di spalla Nord della Barriera di Chioggia; foto scattata il 2 Febbraio 2024.

Costruzione, varo e installazione dei cassoni di barriera

I cassoni della barriera sono stati prefabbricati e stoccati all'asciutto all'interno della tura che è stata appositamente predisposta in corrispondenza del futuro porto rifugio lato mare di Chioggia.



Figura 4.10: Vista delle tura di Chioggia (Settembre 2008); estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

La costruzione di ciascun cassone è avvenuta su una platea dedicata in calcestruzzo drenante dello spesso di 30 cm e avente dimensioni planimetriche leggermente superiori a quelle del cassone di pertinenza. Il piano di lavoro è accuratamente livellato con materiale granulare fine. Il monolite di soglia è costituito da una struttura cellulare caratterizzata da 5 orizzontamenti e da una griglia di setti verticali orditi nelle due direzioni principali. Le dimensioni e la complessità geometrica del manufatto sono tali da richiedere che la realizzazione della struttura avvenga per getti in opera consecutivi, con sezioni di ripresa orizzontali e verticali. Al completamento della costruzione di tutti i cassoni, la tura viene allargata ed i cassoni sono portati in condizione di galleggiamento. Si è aperto dunque il varco in corrispondenza del futuro porto rifugio ed i cassoni sono stati portati via mare tramite una chiatta di varo denominata “installation barge” verso il luogo del loro posizionamento.

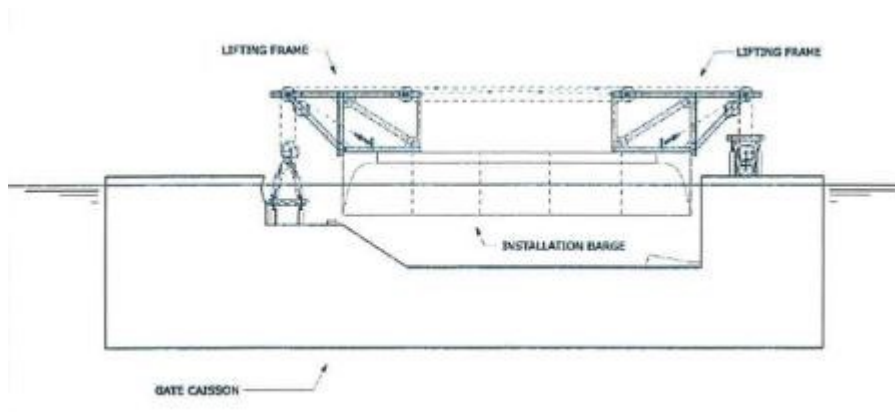


Figura 4.11: Schema del trasporto tramite installation barge dei cassoni di soglia della Barriera di Chioggia; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Seguono le operazioni di trasporto e di affondamento in trincea di tutti i cassoni, a partire dal cassone di spalla Nord, il quale viene precedentemente varato. Portato il cassone sopra il punto di imbasamento, esso viene gradualmente zavorrato con acqua e nel contempo tenuto sotto controllo da cavi di sospensione, detti "lifting points" e dal sistema di cavi di ormeggio/tonneggio che vincolano elasticamente al mezzo d'installazione. Verso il termine dell'operazione di affondamento, poco prima di raggiungere il piano di imposta, è stata avviata la fuoriuscita dei 4 perni estensibili dal solettone di fondo; quando i perni giungono a battuta con le quattro piastre di appoggio provvisorio, si ha lo smorzamento delle oscillazioni del cassone e quindi la sua stabilizzazione. Tramite questi dispositivi si possono quindi recuperare gli errori di posa delle selle e regolare i livelli in maniera tale che il cassone si ritrovi in posizione orizzontale e alla quota di progetto. Effettuate le correzioni di quota, il cassone viene tirato verso quello precedente, fintantoché i giunti Gina di testata giungono a battuta sui collari del cassone di riscontro. Questa operazione viene eseguita tramite dei martinetti disposti all'estradosso dei manufatti prospicienti, sempre in prossimità delle testate. Al termine delle operazioni di posa e regolazione dei livelli, il cassone si trova a contatto ed allineato con quello precedente. A questo punto si effettua lo schiacciamento definitivo dei giunti Gina svuotando con pompe le camere di testata comprese fra i due manufatti all'interno del perimetro dei giunti stessi.

Successivamente si procede rapidamente con un secondo zavorramento affinché il cassone sia in grado di sostenere eventuali azioni instabilizzanti da moto ondoso e corrente che dovessero intervenire prima di realizzare l'apposito definitivo del manufatto.

Al termine dell'operazione di zavorramento si dispongono degli opportuni elementi di contrasto fra il cassone e le palancole laterali per limitare gli spostamenti trasversali del cassone durante le eventuali mareggiate e per ridurre la quota parte di azione orizzontale dell'onda trasferita ai perni di appoggio. Si procede infine con lo zavorramento permanente dei cassoni adiacenti, con il fine di ridurre le diversità di distribuzione degli sforzi sui piani di posa e quindi limitarne i cedimenti differenziali.

4.1.2 Palancolati e recessi

I palancolati sono stati utilizzati per supportare gli scavi di fondazione, assicurando la possibilità di ispezionare i vani e gli spazi tra i cassoni da parte dei sommozzatori durante le operazioni di installazione degli elementi dello sbarramento. Lungo la barriera le palancole hanno quota di sommità a -13.50 m s.l.m.m. lato mare e -14.00 m s.l.m.m. lato laguna. Tale palancolato è caratterizzato da una parete combinata in acciaio costituita da un elemento tubolare in acciaio di lunghezza 46 m che si alterna a due elementi di tenuta tipo "Z". I singoli elementi sono uniti gli uni agli altri mediante opportuni gargami di aggancio e scorrimento durante l'infissione.

Nel progetto esecutivo dei recessi di fondazione si è prevista la realizzazione da fondo scavo, posto a quota -23.00 m l.m.m., di un pacchetto di fondazione costituito da:

- uno strato di materiale granulare compattato di 1.20 m, posto sopra il terreno naturale consolidato;
- uno strato di intasamento di 0.50 m, realizzato con iniezioni di malta all'interno di sacconi bags in propilene posti tra lo strato di granulare e l'estradosso della soletta del cassone;
- 4 selle di appoggio provvisorie in c.a. per ciascun cassone di barriera.

Dopo il completamento del dragaggio, il fondale marino si posiziona a una profondità di -23.00 m s.l.m. Successivamente, con la deposizione del materiale granulare, che agisce come strato intermedio tra il terreno consolidato e i sacconi iniettati, e la compattazione effettuata con una piastra vibrante, si arriva alla profondità di progetto di -24.20 m s.l.m. Le basi in calcestruzzo sono inserite in scavi realizzati nel suddetto strato granulare e collocate vicino ai quattro angoli di ogni cassone. Queste basi di appoggio temporaneo, costruite in calcestruzzo armato e preassemblate in ambiente asciutto, hanno la funzione di distribuire al terreno i carichi concentrati esercitati dai perni di appoggio temporaneo del cassone durante la fase intermedia di installazione, successiva all'immersione e precedente all'iniezione dei sacconi.

4.1.3 Pali in acciaio

L'intervento della posa in opera di pali battuti in acciaio al di sotto dei cassoni di barriera interessa i terreni che si trovano tra la -24.20 e la -43.20 m l.m.m, secondo una maglia 3.80 m x 3.80 m, infittita nelle zone ove sono posizionate le selle prefabbricate in c.a. I pali sono costituiti da profili tubolari di diametro 508 mm, spessore 10 mm e di lunghezza pari a 19 m. I tubi sono chiusi da un fondello in acciaio saldato dello spessore di 30 mm e vengono infissi nel terreno mediante un mandrino che batte sul fondello. Raggiunta la quota di progetto, i pali vengono riempiti di materiale granulare, mediante l'ausilio di tubo forma e tramoggia. I pali di consolidamento vengono battuti nel terreno a partire dalla quota di progetto del fondale. L'infissione dei pali è guidata mediante l'utilizzo di una dima in acciaio; la dima è costituita da un tubo centrale con diametro 1.20 m e lunghezza 20 m, vibroinfisso nel fondale. Su questo tubo è montata una piattaforma metallica ai vertici della quale si trovano spezzoni di tubolare che fanno da guida per infiggere i pali; le guide sono ai vertici di un quadrato con i lati 3.80 x 3.80 m.

La battitura viene effettuata mediante l'ausilio di un mandrino in sommità del quale agisce il battipalo e trasferisce l'energia di battitura in punta al palo; il mandrino ha diametro esterno di 457 mm con spessore di 30 mm.

Il mandrino è costituito da vari spezzoni di lunghezza variabile per un massimo di 20 m . Nell'immagine seguente si può osservare il sistema di giuntura tra i vari pezzi di mandrino ed in particolare la testa dei vari spezzoni di mandrino in cui si distinguono i fori all'interno dei quali, posizionato lo spezzone successivo, si inserisce uno spinotto metallico che funge da elemento di collegamento tra i due elementi.



Figura 4.12: Particolare del tratto terminale di testa del mandrino; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.



Figura 4.13: Particolare del fondo del mandrino e del fondello di un palo; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.



Figura 4.14: Dima in acciaio; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.



Figura 4.15: Particolare del tratto terminale di punta del mandrino; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Una volta che con l'avanzare della battitura la testa del palo è prossima alla quota del fondale, si prevede l'utilizzo di un tubo forma in acciaio di diametro 600 mm e lunghezza 28 m, avente la funzione di sostegno del terreno e per consentire il successivo riempimento del palo con materiale sabbioso.

La funzione principale è quella di limitare i cedimenti della struttura, assicurando così la validità dell'opera nel corso della sua vita utile, mitigando in particolare i cedimenti differenziali per preservare l'efficacia dei giunti Gina e Omega tra i cassoni. È importante notare che, data la magnitudine dei carichi e le dimensioni dei cassoni, non emergono questioni relative alla capacità portante.

4.2 Analisi geognostica dei terreni di fondazione

Le condizioni stratigrafiche rappresentative della barriera sono state definite sulla base della caratterizzazione stratigrafica di inquadramento generale per l'area della bocca nel suo complesso, risultato dell'elaborazione dei dati (sondaggi, prove in sito, prove di laboratorio) ottenuti nel corso delle varie campagne di indagine condotte nell'area; in particolare:

- le campagne di indagine antecedenti al 2002;
- la campagna di indagine 2003/2004 per il progetto esecutivo.

La stratigrafia della barriera di Chioggia interessata giunge fino a -120 m s.l.m.m. che si è stimato essere la massima profondità a cui può estendersi l'influenza delle opere in progetto. Questa profondità è stata raggiunta con alcuni sondaggi che hanno fornito direttamente dati su cui basare la determinazione dei parametri geotecnici.

Ai fini della progettazione geotecnica delle opere è importante evidenziare gli aspetti che differenziano la bocca di Chioggia dalla generale stratigrafia geotecnica della Laguna Veneta.

Il livello di argilla compatta superficiale, definito Caranto e indicato nella stratigrafia generale con B', si può ritenere praticamente assente lungo l'intero sviluppo delle opere alla bocca di Chioggia.

Il primo livello coesivo B ha uno spessore consistente circa costante su tutta la bocca e pari a 7 m. Segue il livello granulare C che ha un notevole spessore circa 14 m in media. Nella parte superiore e lungo la barriera presenta frequenti intercalazioni limose e solo

al fondo è costituito quasi soltanto da sabbia. Questa conformazione stratigrafica è tale da evidenziare all'interno di C uno strato più coesivo C', presente sotto buona parte della sponda Nord. Segue quindi lo stato coesivo D fino alla profondità di -45.00 m s.l.m.m. Gli strati sabbiosi possono considerarsi addensati fino alla massima profondità investigata, quindi con comportamento dilatante quando sollecitati a deformarsi sotto l'azione di uno stato di sforzo applicato con direzione generica.

Gli strati coesivi hanno comportamento leggermente espansivo, in considerazione del fatto che OCR è quasi sempre prossimo a 1.

Al di sotto del livello deposizionale D, i terreni possono tutti considerarsi normalconsolidati in quanto la presenza di piccoli strati argillosi preconsolidati è talmente limitata da non influenzare il comportamento deformazionale dell'intero livello deposizionale. I terreni di fondazione fino alla profondità investigata possono ritenersi frequentemente parzialmente saturi, sia che si tratti di sabbia, di limi argillosi o di argille limose. La stratigrafia inoltre ha permesso l'identificazione di diversi livelli deposizionali, da A a G, con alternanza di livelli prevalentemente coesivi e livelli prevalentemente sabbiosi.

Si riporta di seguito una tabella della stratigrafia media lungo tutta la barriera:

| Livello | Tipo | Quote medie [m] | Descrizione |
|---------|------------|-----------------|--|
| A | incoerente | 10 - 12 | sabbia medio-fine con poco limo, contiene sottili intercalazioni limose e limo argillose |
| B | coesivo | 12 - 19 | argilla limosa fortemente consolidata, torba non molto presente se non sotto forma diffusa, passaggi sabbiosi nella parte inferiore; sottostrato sommitale B' detto caranto 1, poco visibile alla bocca di Lido, confuso con livello B |
| C | incoerente | 19 - 33 | sabbia fine debolmente limosa, passante localmente a sabbia media pulita talvolta grossolana, presenza di noduli di argilla e sotto- livelli limo-argillosi di piccolo spessore |
| D | coesivo | 33 - 45 | frequenti intercalazioni di modesto spessore di sabbia limosa e frequenti livelli torbosi |
| E | incoerente | 45 - 86 | sabbia medio-fine, con intercalazioni limose di spessore centimetrico e distanti tra loro; presenza di un sottolivello E' |
| E' | coesivo | | argilla limosa preconsolidata e strati torbosi |

| | | | |
|---|------------|-----------|--|
| F | coesivo | 86 - 98 | presenza di intercalazione di strati sabbiosi e scarsa presenza di torba |
| G | incoerente | 98 - 110 | come E, ma più eterogeneo nella granulometria della sabbia e con livelli di limo |
| H | coesivo | 110 - 120 | come E', ma presenza di torba ancora più marcata, meno frequenti le intercalazioni di sabbia |

Tabella 4.1: Livelli deposizionale nell'area di influenza della barriera di Chioggia; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Sia per i cassoni di spalla, sia per quelli di soglia si riporta la caratterizzazione geotecnica, utilizzata anche per il calcolo dei cedimenti nei capitoli seguenti. La stratigrafia dettagliata presente al di sotto di ogni cassone può essere visionata in Appendice B1.

| CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|-----------|--------------|------------|-----------|------------|------------------------------|----------------|---------------|----------------|-------------------|--------------------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|----------------|------------|--------------|
| Livello | γ (kN/m ³) | IP (-) | G_s (-) | OCR (-) | DR (%) | K (m/s) | C_v (m ² /s) | C_s (kPa) | c' (kPa) | ϕ' (°) | E_{01} (MPa) | G_{max} (Mpa) | CR (-) | RR (-) | C_{ur}, C_{ov} (-) | M_c (Mpa) | M_r (Mpa) | v (-) | K_0 (-) |
| A | 18,5 | - | 2,70 | 1 | 55 | 5E-6 | - | - | 0 | 40 | 10+15* | 50+80* | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,5 |
| B | 19 | 15 | 2,72 | 1,5 | - | 5E-8 | 1E-6 | 60 | 0 | 38 | - | 70 | 0,2 | 0,025 | 3E-3 | 2,5 | 12 | 0,35 | 0,5 |
| C | 19 | - | 2,70 | 1,25* | 55 | 5E-6 | - | - | 0 | 40 | 30+40* | 100+130* | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,5 |
| C' | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| C | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| D | 19 | 18 | 2,72 | 1 | - | 1E-7 | 1E-6 | 70 | 0 | 35 | - | 100+130* | 0,18 | 0,025 | 2E-3 | 5 | 30 | 0,35 | 0,5 |
| E | 18,75 | - | 2,68 | 1 | 60 | 1E-5 | - | - | 0 | 39 | 40+60* | 150+200* | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,5 |
| E' | 19 | 20 | 2,70 | 1 | - | 1E-7 | 1E-6 | 130 | 10 | 32 | - | 180 | 0,18 | 0,03 | 2E-3 | 5 | 30 | 0,35 | 0,5 |
| F | 19,75 | 12 | 2,72 | 1 | - | 1E-7 | 1E-6 | 180 | 10 | 36 | - | 220 | 0,20 | 0,03 | 1E-3 | 10 | 30 | 0,35 | 0,5 |
| G | 18,5 | - | 2,70 | 1 | 55 | 1E-6 | - | - | 0 | 36 | 100 | 250 | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,5 |

Tabella 4.2: Caratterizzazione geotecnica cassoni di soglia della barriera di Chioggia; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

| CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------------------------|-----------|--------------|------------|-----------|------------|------------------------------|---------------------|---------------|----------------|-------------------|--------------------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| Livello | γ (kN/m ³) | IP (-) | G_s (-) | OCR (-) | DR (%) | K (m/s) | C_v (m ² /s) | C_{η} (kPa) | e' (kPa) | ϕ' (°) | E_{01} (MPa) | G_{max} (MPa) | CR (-) | RR (-) | C_{u1}, C_{u2} (-) | M_c (MPa) | M_r (MPa) | ν (-) | K_0 (-) |
| A | 18,5 | - | 2,70 | 1 | 60 | 5E-6 | - | - | 0 | 40 | 10 | 60 | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,5 |
| B | 19,25 | 12 | 2,72 | 1,5 | - | 5E-8 | 8E-7 | 60 | 0 | 38 | - | 70 | 0,18 | 0,02 | 3E-3 | 2 | 15 | 0,35 | 0,5 |
| C | 19 | - | 2,70 | 1,25* | 55 | 5E-6 | - | - | 0 | 38 | 35+40* | 100+130* | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,5 |
| C' | 19 | 15 | 2,72 | 1,25 | - | 1E-7 | 8E-7 | 50 | 20 | 34 | - | 120 | 0,18 | 0,30 | 2E-3 | 3 | 12 | 0,35 | 0,5 |
| C | 19 | - | 2,7 | 1,25* | 55 | 5E-6 | - | - | 0 | 38 | 35+40* | 100+130* | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,5 |
| D | 18,75 | 18 | 2,72 | 1 | - | 1E-7 | 1E-6 | 70 | 0 | 35 | - | 100+130* | 0,20 | 0,035 | 2E-3 | 4 | 22 | 0,35 | 0,5 |
| E | 18,5 | - | 2,68 | 1 | 60 | 1E-5 | - | - | 0 | 39 | 40+60* | 150+200* | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,5 |
| E' | 19 | 20 | 2,70 | 1 | - | 1E-7 | 1E-6 | 130 | 10 | 32 | - | 180 | 0,18 | 0,03 | 2E-3 | 5 | 30 | 0,35 | 0,5 |
| F | 19,25 | 15 | 2,72 | 1 | - | 1E-7 | 1E-6 | 180 | 10 | 32 | - | 220 | 0,2 | 0,03 | 1E-3 | 10 | 30 | 0,35 | 0,5 |
| G | 18,5 | - | 2,70 | 1 | 55 | 1E-6 | - | - | 0 | 36 | 100 | 250 | - | - | - | - | - | 0,3 | 0,5 |

Tabella 4.3: Caratterizzazione geotecnica dei cassoni di spalla della barriera di Chioggia; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

4.3 Calcolo dei cedimenti di progetto

Nel presente paragrafo, si presentano le ipotesi di calcolo, le osservazioni e i risultati inclusi nella relazione intitolata "Calcolo dei cedimenti della barriera", redatta ad Gennaio 2013. Pertanto, le assunzioni illustrate di seguito derivano dalle decisioni prese dai progettisti durante la fase di progettazione esecutiva. Tuttavia, alcune supposizioni, per esempio quelle riguardanti il metodo di calcolo dei cedimenti secondari, verranno riprese per il calcolo dei cedimenti ex-post costruzione.

I cedimenti geotecnici di progetto dei cassoni costituenti la barriera di Chioggia, in relazione al cronoprogramma lavori, sono stati valutati sulla base delle seguenti date:

- Inizio costruzione delle opere alla Bocca di Chioggia – Aprile 2004;
- Inizio posa cassoni di barriera – Ottobre 2013;
- Fine costruzione barriera – Aprile 2015;
- Termine vita utile dell'opera – Marzo 2114.

Di seguito è schematizzata la sequenza di installazione dei cassoni di barriera, a partire

dalla spalla Nord fino alla spalla Sud, con i carichi applicati in fondazione durante la fase costruttiva.

Le fasi di installazione per i cassoni di barriera considerate nei calcoli di cedimento di progetto si possono così sintetizzare:

1. Fase iniziale stabilizzazione su pin con zavorra parziale pari a 15'200 kN;
2. Realizzazione parziale della fondazione;
3. Riempimento di 16 sacconi di prima fase;
4. Zavorramento provvisorio;
5. Scarico martinetti;
6. Aggiunta zavorra di stabilizzazione fino ad un peso efficace di 44'200 kN;
7. Completamento fondazione;
8. Riempimento dei restanti 32 sacconi;
9. Zavorramento di stabilizzazione per l'evento $T_r = 5$ anni, peso efficace pari a 80'500 kN;
10. Entro 90 giorni dalla posa del cassone, zavorramento di stabilizzazione per l'evento $T_r = 10$ anni, peso efficace pari a 87'100 kN;
11. Zavorramento finale fino ad un peso efficace di 152'600 kN;

Le fasi di installazione per i cassoni di spalla considerate nei calcoli di cedimento di progetto si possono così sintetizzare:

1. Fase iniziale stabilizzazione su pin con zavorra parziale pari a 20'000 kN per la spalla Nord e 23'000 kN per la spalla Sud;
2. Realizzazione parziale della fondazione;
3. Riempimento di 12 sacconi di prima fase;
4. Zavorramento provvisorio;
5. Scarico martinetti;
6. Aggiunta di zavorra di stabilizzazione fino ad un peso efficace di 60'000 kN per la spalla Nord e 102'000 kN per la spalla Sud;
7. Entro 90 giorni dalla posa del cassone, zavorramento finale, peso efficace pari a 72'000 kN per la spalla Nord e 112'000 kN per la spalla Sud;
8. Realizzazione degli edifici di spalla fino ad un peso efficace di 140'000 kN per la spalla Nord e 172'000 kN per la spalla Sud.

Si riportano di seguito tali fasi di progetto a partire da cassone di spalla Nord:

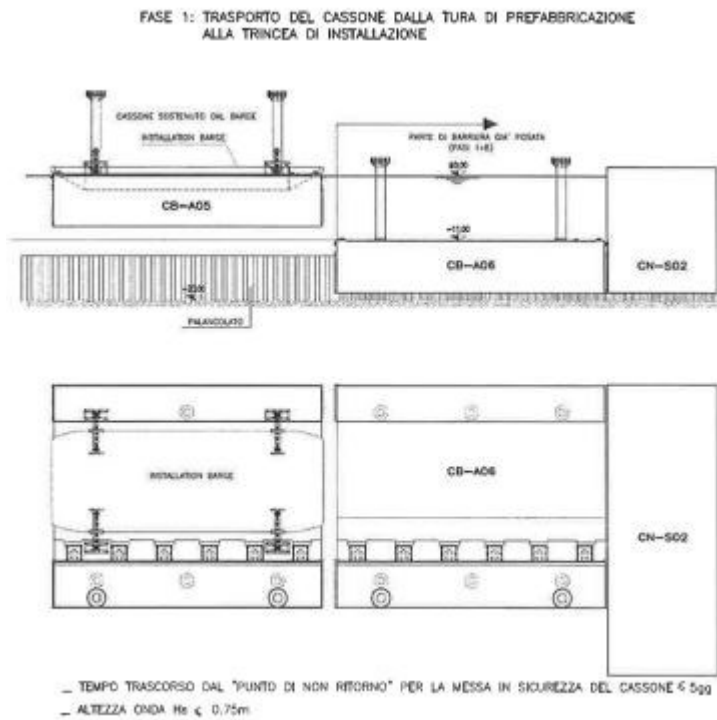


Figura 4.16: Fase 1 – Cassone in affondamento; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

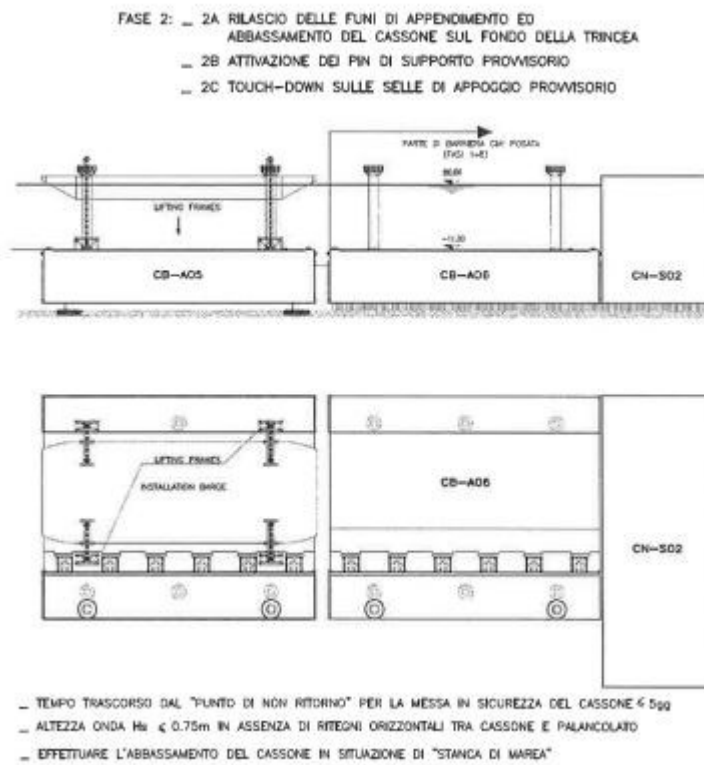


Figura 4.17: Fase 2 – Cassone appoggiato su martinetti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

FASE 3: - 3A LIVELLAMENTO SU PIN PER ALLINEAMENTO VERTICALE GIUNTI GINA
 - 3B INSTALLAZIONE PULLING-JACKS

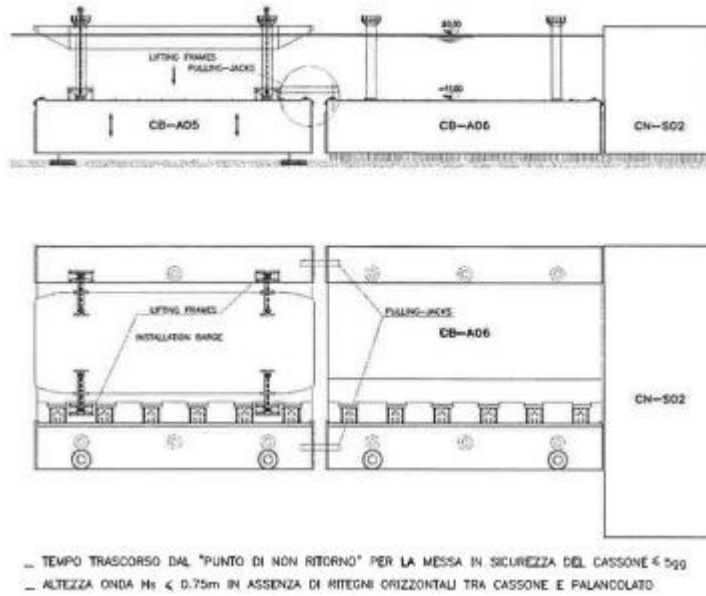


Figura 4.18: Fase 3 – Livellamento del cassone; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

FASE 4: - 4A AVVICINAMENTO AL CASSONE PRECEDENTEMENTE INSTALLATO
 E REALIZZAZIONE CONTATTO GIUNTI GINA
 - 4B SVUOTAMENTO VANO COMPRESO TRA LE TESTATE DEI CASSONI POSTI
 IN CONTATTO E CONSEGUENTE MESSA IN PRESSIONE DEI GIUNTI GINA
 - 4C RIMOZIONE PULLING-JACKS
 - 4D RIMOZIONE LIFTING FRAMES

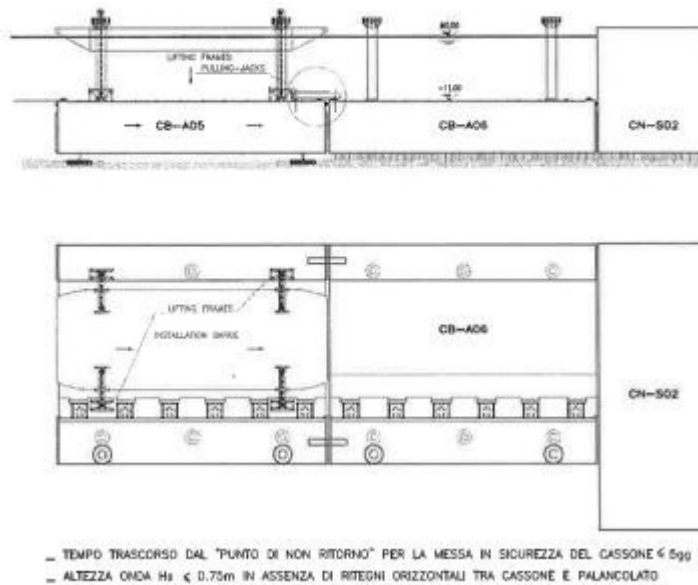
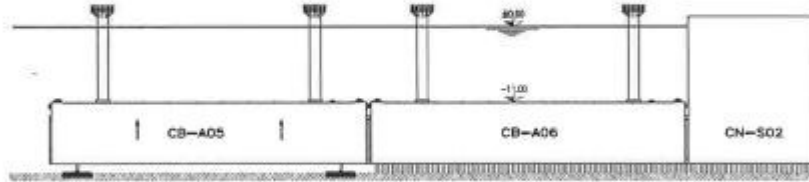


Figura 4.19: Fase 4 – Avvicinamento e messa in forza dei giunti Gina; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

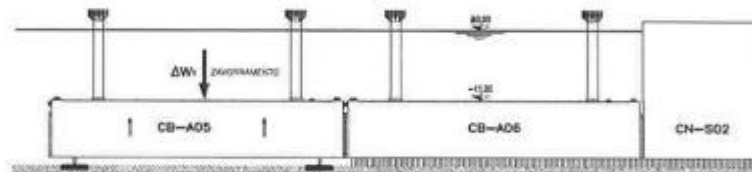
FASE 5: EVENTUALE PREDEFORMAZIONE DEL GIUNTO GINA, MEDIANTE INNALZAMENTO DEL CASSONE TRAMITE PERNI DI LIVELLAMENTO, PER COMPENSARE IL CEDIMENTO DELLA FASE SUCCESSIVA



- _ TEMPO TRASCORSO DALLA MESSA IN NAVIGAZIONE DEL CASSONE ≤ 5 gg
- _ ALTEZZA ONDA $H_s \leq 0,75$ m IN ASSENZA DI RITEGNI ORIZZONTALI TRA CASSONE E PALANCOLATO

Figura 4.20: Fase 5 – Secondo livellamento; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

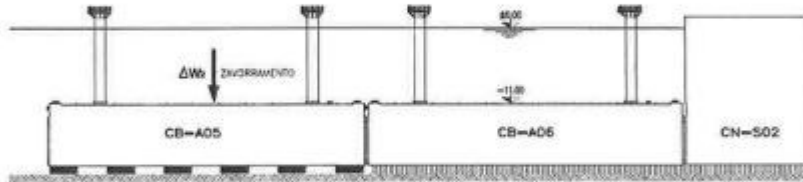
FASE 6: _ 6A INCREMENTO DI ZAVORRA LIQUIDA PER LA FASE DI STAZIONAMENTO SU PIN (ΔW_1)
 _ 6B EVENTUALE INNALZAMENTO DEL CASSONE ZAVORRATO TRAMITE PERNI DI LIVELLAMENTO, PER COMPENSARE IL CEDIMENTO DELLA FASE SUCCESSIVA



- _ TEMPO TRASCORSO DAL "PUNTO DI NON RITORNO" PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL CASSONE ≤ 5 gg
- _ ALTEZZA ONDA $H_s \leq 0,75$ m IN ASSENZA DI RITEGNI ORIZZONTALI TRA CASSONE E PALANCOLATO

Figura 4.21: Fase 6 – Stabilizzazione su martinetti; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

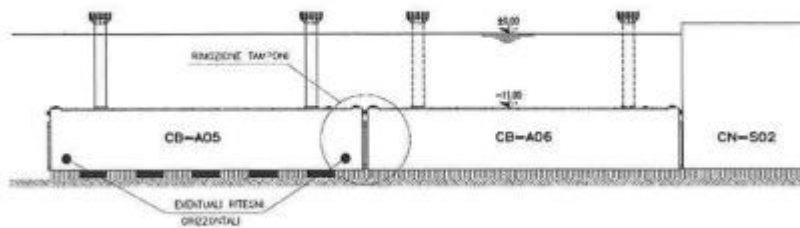
- FASE 7: - 7A REALIZZAZIONE DELLA FONDAZIONE TEMPORANEA MEDIANTE INTASAMENTO DEI SACCONI IN POLIPROPILENE DI PRIMA FASE
- 7B DISATTIVAZIONE PIN DI APPOGGIO PROVVISORIO
 - 7C INCREMENTO DI ZAVORRA LIQUIDA PER LA FASE DI STAZIONAMENTO SU SACCONI (ΔW_2)



- TEMPO TRASCORSO DAL "PUNTO DI NON RITORNO" PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL CASSONE ≤ 5 gg
- ALTEZZA ONDA $H_s \leq 0.75$ m IN ASSENZA DI RITEGNI ORIZZONTALI TRA CASSONE E PALANCOLATO

Figura 4.22: Fase 7 – Realizzazione fondazione provvisoria e zavorramento; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

- FASE 8: - 8A RIMOZIONE DEI TAMPONI METALLICI DI SEPARAZIONE TRA LE GALLERIE DELL'ULTIMO CASSONE POSATO ED IL PRECEDENTE
- 8B COMPLETAMENTO DELLA FONDAZIONE MEDIANTE INTASAMENTO DEI RIMANENTI SACCONI IN POLIPROPILENE
 - 8C RIMOZIONE DEI TORRINI SUL CASSONE PRECEDENTEMENTE POSATO
 - 8D EVENTUALE POSA IN OPERA DI RITEGNI ORIZZONTALI FRA CASSONE E PALANCOLATO (NOTA 4)



- TEMPO TRASCORSO DAL "PUNTO DI NON RITORNO" PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL CASSONE $\leq 15-20$ gg
- ALTEZZA ONDA H_s CON $T_r = 1$ ANNO
 $H_s < 1.80$ m PER CHIOGGIA

Figura 4.23: Fase 8 – Completamento dell'intasamento; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

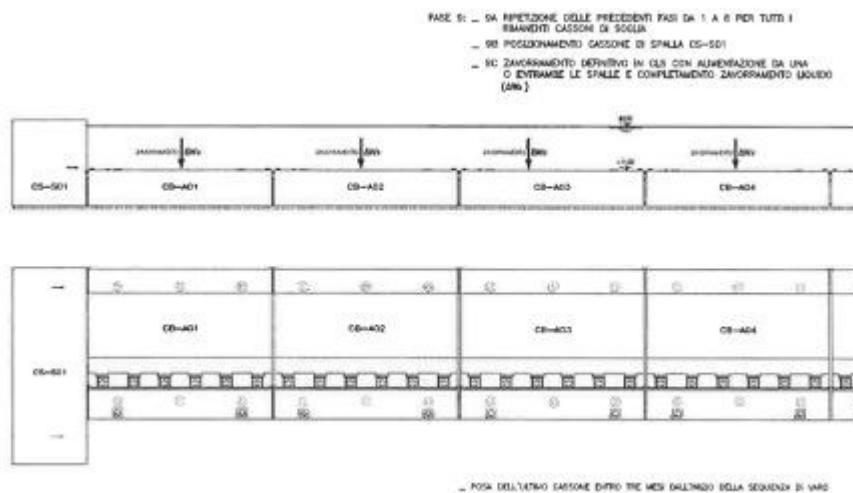


Figura 4.24: Fase 9 – Completamento dell’installazione e zavorramento finale in cls; estratto dagli elaborati grafici AS BUILT.

Tabella 3.8: Carichi agenti espressi in kN corrispondenti alle pressioni trasmesse per i cassoni di soglia e di spalla della barriera di Treporti; estratto dalla relazione “Calcolo dei cedimenti della barriera” (Ottobre 2010).

Per il calcolo dei cedimenti di progetto, i progettisti hanno fatto riferimento alla stratigrafia descritta nell’Appendice B1: per ognuno degli strati sono stati forniti i parametri di deformabilità del terreno secondo tale stratigrafia in modo da calcolare il contributo al cedimento totale di ogni strato. Per eseguire tale operazione hanno utilizzato un codice di calcolo che consente di valutare il decorso dei cedimenti nel tempo indotti da più aree di carico ad assegnate quote lungo una o più verticali di calcolo secondo la seguente metodologia:

- Individuazione delle opere che contribuiscono al cedimento delle strutture di barriera in esame;
- Schematizzazione delle opere individuate mediante aree di carico/scarico rettangolari poste ad una quota, rispetto ad un piano di riferimento, corrispondente a quella su cui agisce il carico in esame;
- Attribuzione del cronoprogramma lavori che fornisce la tempistica di applicazione dei carichi/scarichi su ciascuna delle aree di carico individuate;
- Definizione della stratigrafia di calcolo al di sotto di ciascun cassone;

- Scelta delle verticali di calcolo lungo le quali effettuare il calcolo: 5 per ciascun cassone posizionate al centro e agli spigoli di ciascuno di essi;
- Calcolo alla quota della base cassone, nei punti precedentemente selezionati, del decorso dei cedimenti nel tempo mediante analisi accoppiata con processo di consolidazione di tipo monodimensionale in condizioni edometriche.

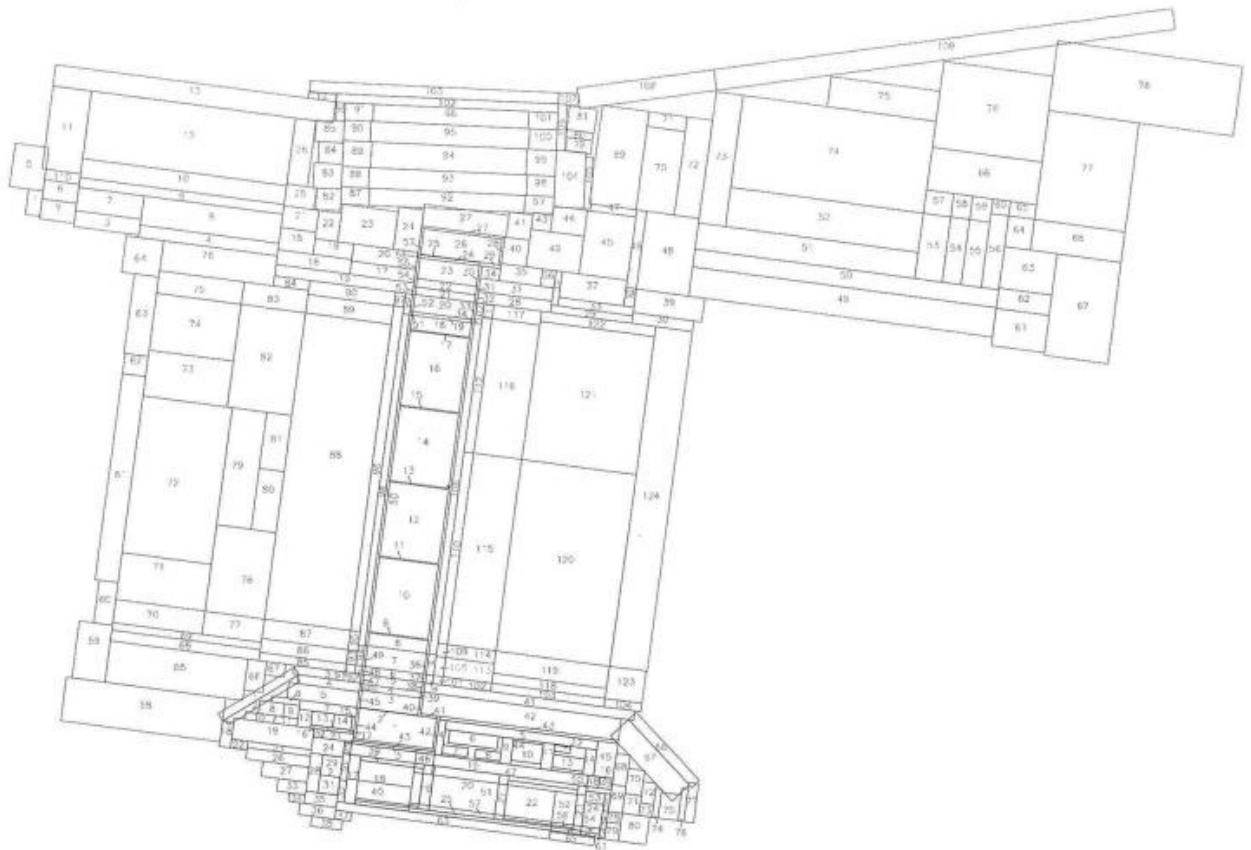


Figura 4.25: Schema utilizzato nel codice di calcolo per la stima dei cedimenti di progetto della barriera di Chioggia; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della barriera" (Gennaio 2013).

Il risultato finale sono i cedimenti assoluti, somma di tre contributi: il cedimento edometrico, secondario e ciclico. Le teoria alla base del calcolo dei progettisti degli ultimi due contributi sono state precedentemente descritte per la barriera Treporti nei paragrafi 3.3.1 e 3.3.2 del medesimo elaborato.

4.3.1 Risultati di progetto

I cedimenti di progetto calcolati tramite l'analisi precedentemente descritta per i 4 vertici di ogni cassone sono riportati in Appendice B2. In particolare si osserva che:

- I cedimenti dei cassoni di soglia sono relativamente modesti per il tipo di opera geotecnica analizzata. Tale fattore induce ad una difficile stima delle cause e delle incertezze dei parametri che possono compromettere tale misura. In pratica una possibile differenza millimetrica tra i risultati di progetto e quelli ottenuti post-costruzione, può essere attribuita a lievi differenze nelle stratigrafie utilizzate o nell'entità dei carichi applicati, così come per la sequenza di posa in opera;
- Le differenze tra i valori dei cedimenti dei cassoni sono attribuibili principalmente a differenze di tipo stratigrafico;
- Il comportamento dei cassoni di spalla è fortemente influenzato dalla sequenza costruttiva di barriera e delle opere di spalla. Il cassone di spalla Nord CN-S02 è il primo ad essere posto in opera, per cui risente dei carichi indotti da tutti i cassoni successivamente posati. L'andamento del suo cedimento nel tempo mostra una rotazione costante del cassone verso la barriera.
- I cedimenti assoluti sono dell'ordine di 40 mm per la spalla Nord e 38 mm per la spalla Sud, a fine costruzione barriera e si incrementano rispettivamente fino a 60 mm per la spalla Nord e a 45 mm per la spalla Sud, a 100 anni da fine costruzione.
- L'incremento di cedimento da fine costruzione della barriera a 100 anni è dovuto per entrambi i cassoni di spalla quasi esclusivamente ad effetti secondari; l'effetto dei carichi ciclici è stimato pari a circa 10-20% del cedimento totale.

Si riporta di seguito il grafico rappresentativo dei cedimenti della barriera di Chioggia nel tempo a partire dalla fine della sua realizzazione (da progetto):

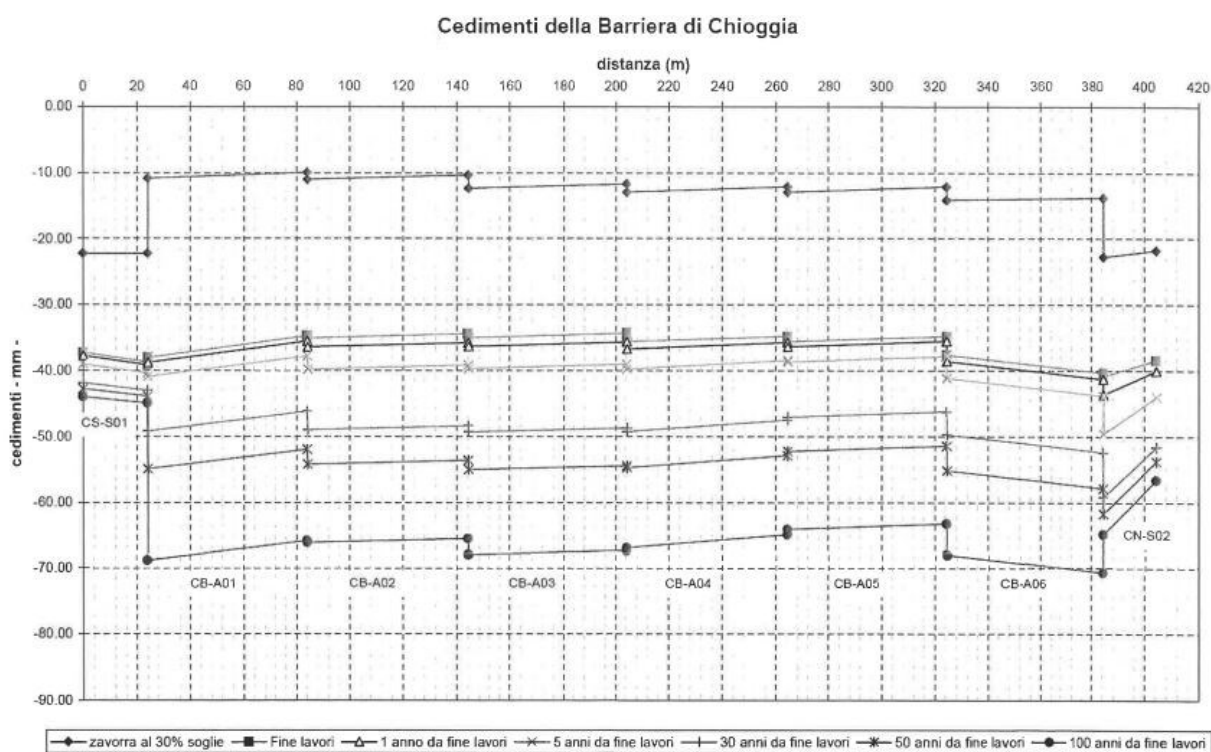


Figura 4.26: Andamento nel tempo dei cedimenti di progetto, calcolati dai progettisti in fase esecutiva.

Si osserva che i dati ottenuti dal calcolo di progetto risultano diversi da quelli monitorati, poiché le date di realizzazione, i carichi effettivi, i tempi di lavorazione in fase operativa non coincidono esattamente con le stime di base adottate. Il lavoro di tesi quindi si propone di partire da questa base di dati e riformulare il calcolo dei cedimenti, usufruendo di nuovi dati ottenuti durante e post-realizzazione della barriera. Nel seguente paragrafo relativo alla barriera di Chioggia, si procede alla descrizione del modello utilizzato per definire i valori dei cedimenti post-costruzione, al fine di confrontarli con quelli di progetto e con i dati di monitoraggio raccolti negli anni.

4.4 Ricostruzione del calcolo dei cedimenti

Nel presente paragrafo si descrive il modello di calcolo sviluppato che ha consentito l'analisi dei cedimenti geotecnici post-costruzione della barriera di Chioggia. Tale modello si basa sui dati ottenuti dalle relazioni tecniche di esecuzione, dalla documentazione AS BUILT, dai dati di monitoraggio e dal sopralluogo effettuato in data 2 Febbraio 2024. Queste informazioni hanno facilitato la definizione delle stratificazioni e dei parametri geotecnici dei terreni, la ricostruzione delle sequenze lavorative e la quantificazione dei carichi applicati. Sono state altresì delineate le linee guida sui metodi di calcolo per stimare i cedimenti. Il modello e le relative ipotesi di calcolo sono stati implementati attraverso un codice MATLAB seguendo un preciso schema operativo per ogni cassone che compone la barriera.

La barriera è stata rappresentata come uno stendimento lineare coincidente con il suo asse longitudinale. La valutazione dei cedimenti per ogni cassone è stata effettuata considerando i quattro vertici alla base di ciascuno di essi, come mostrato in Figura 4.26. È importante notare che la sequenza numerica dei vertici segue quella adottata nei documenti di progettazione. La teoria alla base del calcolo dei cedimenti primari e secondari post-costruzione della barriera di Chioggia è la stessa di quella utilizzata per l'analisi della barriera di Treporti, descritta nei paragrafi 3.4.1 e 3.4.2.

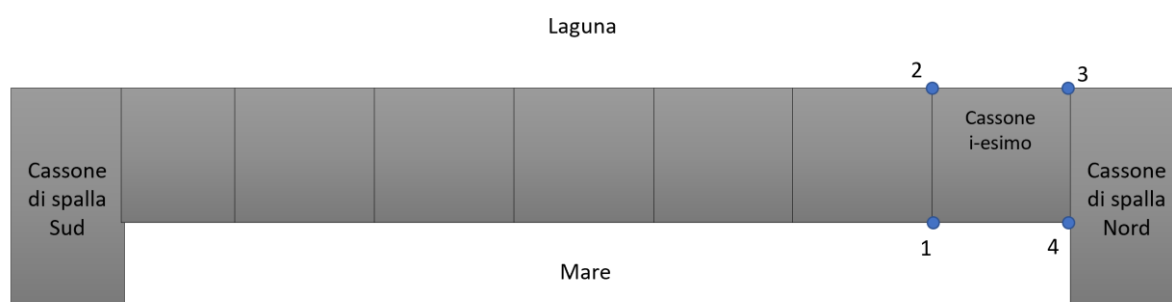


Figura 4.27: Vertici di calcolo dei cedimenti post-costruzione della barriera di Chioggia.

Per determinare la sequenza stratigrafica utilizzata nei calcoli e per descrivere gli strati di materiale che formano i terreni di fondazione, si è fatto affidamento sulle tabelle incluse nella relazione di progetto esecutivo "Calcolo dei cedimenti della barriera" di Gennaio 2013, nonché sulle tabelle riassuntive dei parametri geotecnici allegati alla relazione tecnica generale "Pali di consolidamento in acciaio" di Luglio 2007. La stratigrafia dettagliata adottata per stimare i cedimenti ai quattro angoli di ogni cassone è stata assunta identica a quella rappresentativa della verticale al centro del cassone stesso; i parametri geotecnici che definiscono ogni strato sono basati su valori

medi attribuiti al punto centrale del sottosuolo.

È importante evidenziare che i parametri chiave per il calcolo dei cedimenti includono il modulo edometrico M , il modulo elastico E e il coefficiente di consolidazione secondaria α . Questi, quando non forniti direttamente, sono stati ottenuti tramite formule di conversione appropriate.

I moduli E e M si riferiscono a moduli di sovraccarico/ricompressione: il carico applicato alle fondazioni dalla posa dei cassoni è minore rispetto allo sgravio tensionale causato dal dragaggio dei fondali, ovvero, riferendosi alla curva di compressibilità edometrica, si opera nella fase di sovraccarico, indicando che la costruzione delle strutture di barriera avviene in condizioni di ricompressione. Non sono stati inclusi i coefficienti di consolidazione secondaria per lo strato di distribuzione e lo strato di terreno contenente la palificazione, poiché questi non contribuiscono al cedimento secondario.

Le tabelle relative alla stratigrafia utilizzata per il calcolo dei cedimenti post-costruzione sono consultabili in Appendice B3.

In Figura 4.27 e Figura 4.28 vengono plottati, rispettivamente, i valori del modulo edometrico di ricompressione M e del coefficiente di consolidazione secondaria α in funzione della profondità e lungo tutto lo sviluppo longitudinale della barriera di Chioggia.

Si evidenzia che la quota riportata in ordinata indica la profondità rispetto al piano di posa dei cassoni, che da progetto è posto a -23.00 m s.l.m.m.; nel seguito le quote sono riferite rispetto questo sistema di riferimento. I primi 20.20 m comprendono lo strato di ripartizione di spessore 1.20 m e il terreno consolidato tramite pali in acciaio di lunghezza 19.00 m, pertanto i valori di M sono costanti lungo tutto lo stendimento e non vengono forniti i α perché tali materiali non sono soggetti a consolidazione secondaria di creep.

Si osserva che nell'intervallo [-20 m, -50 m], il valore del modulo edometrico di ricompressione M tende ad aumentare dalla spalla Sud verso Nord, fatta eccezione per alcune intercalazioni di materiale più compressibile. Anche nell'intervallo [-50 m, -70 m] i valori di M tendono ad aumentare da Sud verso Nord, quindi i terreni in corrispondenza della spalla Sud risultano essere più compressibili rispetto a quelli di spalla Nord. Per l'ultimo intervallo [-70 m, -96,00 m] si hanno valori costanti di M per i cassoni di soglia CB-A03, CB-A04 e CB-A05, in corrispondenza della spalla Sud si hanno terreni ad alta compressibilità seguiti da uno strato granulare fino alla quota di fondo, mentre per la spalla Nord si ha, a meno di piccole intercalazioni di materiale coesivo, una crescita progressiva dei valori del modulo edometrico.

Per quanto riguarda il coefficiente di compressibilità secondario α si può notare che, per tutta l'estensione della barriera e in relazione all'intera profondità investigata, i valori tendono a mantenersi costanti, relativamente bassi. Lievi differenze si

ricontrano per il cassone di soglia CB-A02 nell'intervallo [-40 m, -75 m]. In corrispondenza della spalla Sud dell'opera si ha un picco di valore dato da uno strato granulare alla quota di circa -60 m.

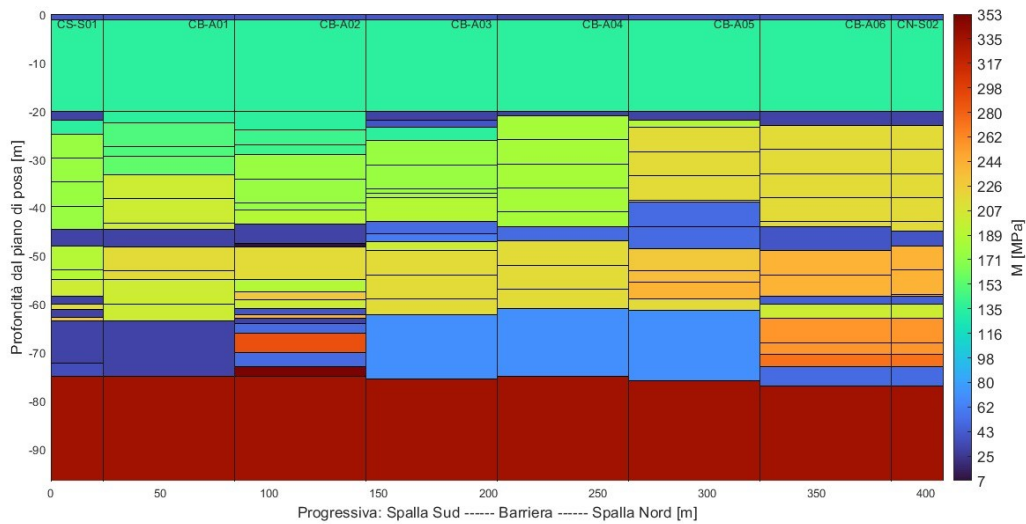


Figura 4.28: Variazione del modulo edometrico di ricompressione M lungo lo sviluppo longitudinale della barriera, da quota -23.00 m s.l.m.m. e fino alla profondità di -120.00 m s.l.m.m.. Nel grafico il livello 0 m coincide con la quota di posa di progetto dei cassoni, pari a -23.00 m s.l.m.m.

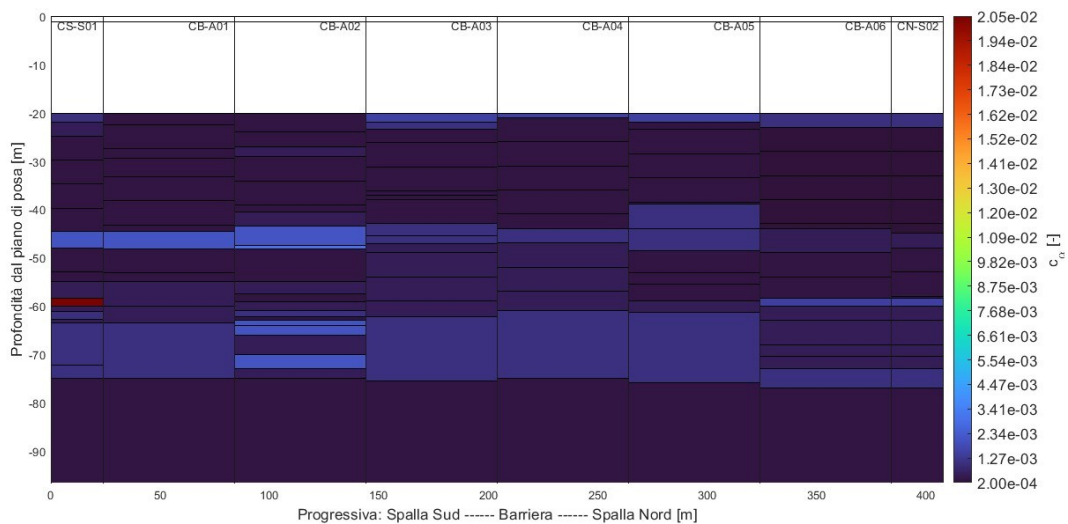


Figura 4.29: Variazione del coefficiente di consolidazione secondaria c_s lungo lo sviluppo longitudinale della barriera, da quota -23.00 m s.l.m.m. e fino alla profondità di -120.00 m s.l.m.m.. Nel grafico il livello 0 m coincide con la quota di posa di progetto dei cassoni, pari a -23.00 m s.l.m.m.. Per i primi due strati (ripartizione e palificata) non sono definiti i valori di c_s .

4.4.1 Fasi operative e carichi

Per analizzare le fasi lavorative che hanno condotto all'installazione dei cassoni di barriera e al loro successivo completamento, inclusa l'installazione delle paratoie, la realizzazione degli edifici e degli impianti tecnologici, nonché il perfezionamento delle finiture, si è consultato il file relativo ai dati di monitoraggio, che definisce per ogni cassone la lavorazione eseguita, la data ed il rispettivo carico. Questo documento ha permesso di ricostruire con precisione la sequenza di carico dell'opera, assicurando la coerenza con quanto effettivamente realizzato. Nonostante ciò, in tale documento non vi sono presenti i dati relativi alla costruzione degli edifici soprastanti le spalle. Si è dunque proceduto ad ottenerli tramite un sopralluogo effettuato in data 2 Febbraio 2024, e conseguendo così nuovi dati di monitoraggio.

La dettagliata ricostruzione del programma dei lavori, e quindi della storia di carico sui terreni di fondazione, ha giocato un ruolo cruciale nel calcolo dei cedimenti dei cassoni della barriera di Chioggia. I cedimenti primari registrati dal singolo cassone sono stati calcolati a partire dalla loro installazione, ossia prendendo in considerazione unicamente i cedimenti risultanti da incrementi di carico successivi alla data di posa e escludendo quelli derivanti da carichi applicati in precedenza; questa assunzione prevede che eventuali cedimenti pregressi del terreno, anteriori alla posa del cassone considerato, siano stati compensati dalle operazioni di regolazione in modo che la quota di posa rimanga uniforme per tutti i cassoni. Si considera quindi:

- inizio posa cassoni di barriera 08 Giugno 2014
- fine costruzione della barriera 28 Settembre 2018
- termine della vita utile dell'opera (100 anni) Settembre 2118

Durante le fasi di installazione dei cassoni di barriera e le operazioni di zavorramento ad esse seguite, sono state accuratamente documentate le date di realizzazione e i carichi applicati per ogni singolo intervento, riportate nel documento di monitoraggio sopracitato "Quote barriera". Dal sopralluogo invece è stato possibile definire con data di fine costruzione delle sovrastrutture dei cassoni di il 28 Settembre 2016. Dal 14 Agosto 2014, data relativa all'ultimo monitoraggio valutato nel rispettivo file Excel al 28 Settembre 2016, si è proceduto a mantenere un andamento lineare crescente dei valori di carico, supponendo una costruzione progressiva nel tempo. Successivamente da 16 Aprile 2018 al termine ultimo dei lavori, si sono inseriti i carichi relativi alle rampe di accesso alla sovrastruttura del cassone di spalla Nord.

Dall'analisi dei documenti e a seguito dell'incontro con i referenti in loco, è emerso che la costruzione degli edifici tecnologici limitrofi alla spalla Sud è avvenuta precedentemente a quanto descritto. Pertanto, i carichi derivanti da queste attività non sono stati presi in considerazione nel calcolo dei cedimenti, in quanto non influenzano tale processo. Si è invece inserito nel calcolo del cedimento finale, l'intasamento dei recessi di fondazione (il riempimento tramite getti di cls e materiale granulare dell'intercapedine presente tra le palancole ed il cassone), avvenuto post-realizzazione della barriera.

I carichi statici totali su ciascun cassone nelle diverse fasi operative, utilizzati per il calcolo dei cedimenti, sono riportati nel dettaglio in Appendice B.4.

4.5 Interpretazione dei risultati

Nell'analisi dei risultati ottenuti ci si avvale delle stesse semplificazioni adottate per la barriera Treporti e le limitazioni che ne derivano dalla metodologia di calcolo utilizzata. Tali informazioni sono riportate nel paragrafo 3.5 relativo alla barriera di Lido Treporti.

Le pagine seguenti riportano i grafici in scala semilogaritmica dei cedimenti:

- calcolati ex-post in questo studio assumendo ipotesi di fondazione flessibile, senza componente ciclica
- calcolati ex-post in questo studio assumendo ipotesi di fondazione rigida, senza componente ciclica
- calcolati in fase di progettazione
- monitorati in fase di varo
- monitorati dopo l'apertura della galleria

Cedimento dei cassoni nel tempo al centro del cassone

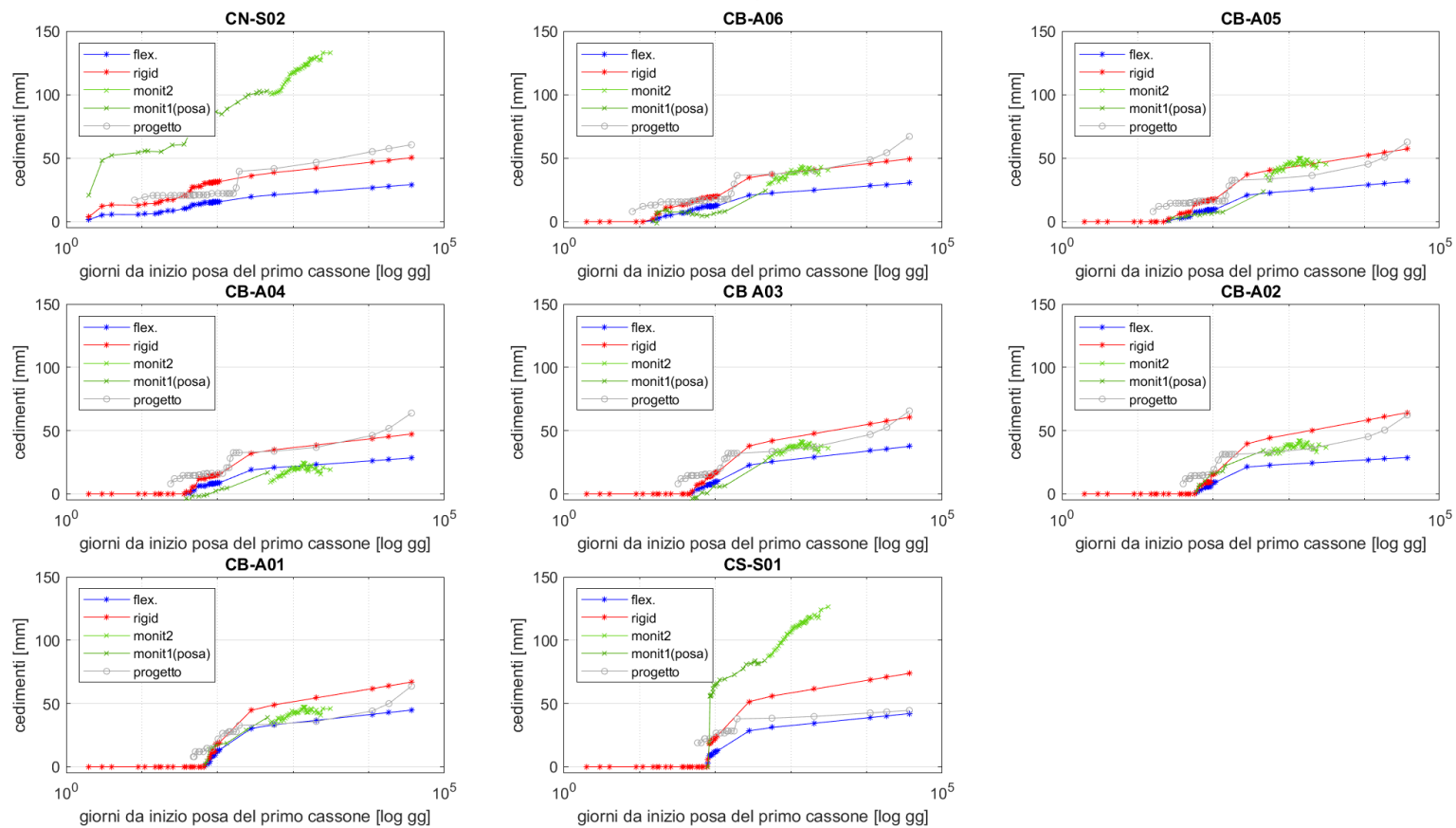


Figura 4.30: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto dei cassoni della barriera di Chioggia nel punto centrale.

Cedimento dei cassoni nel tempo nel punto 1

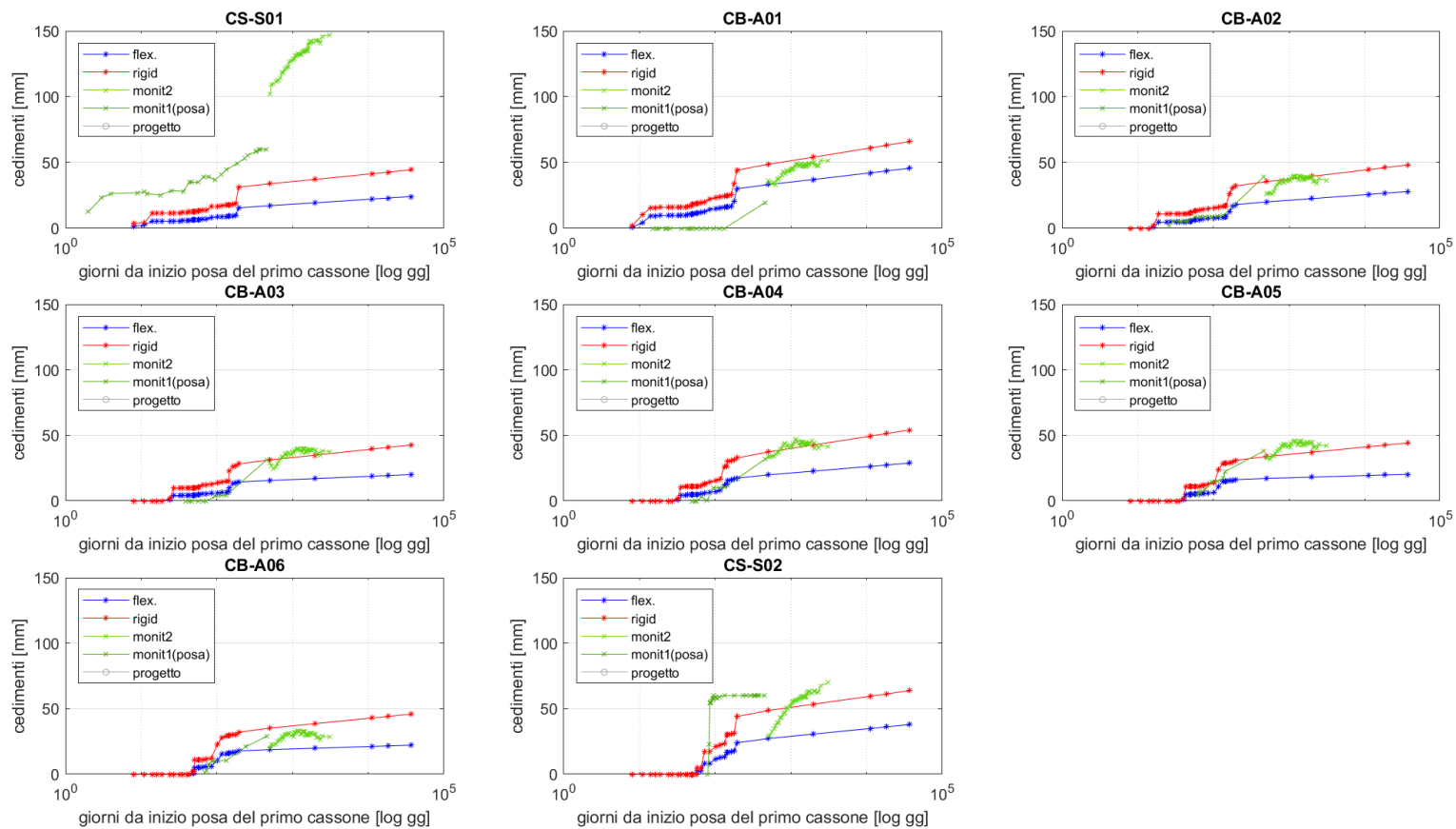


Figura 4.31: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto dei cassoni della barriera di Chioggia nel punto 1.

Cedimento dei cassoni nel tempo nel punto 2

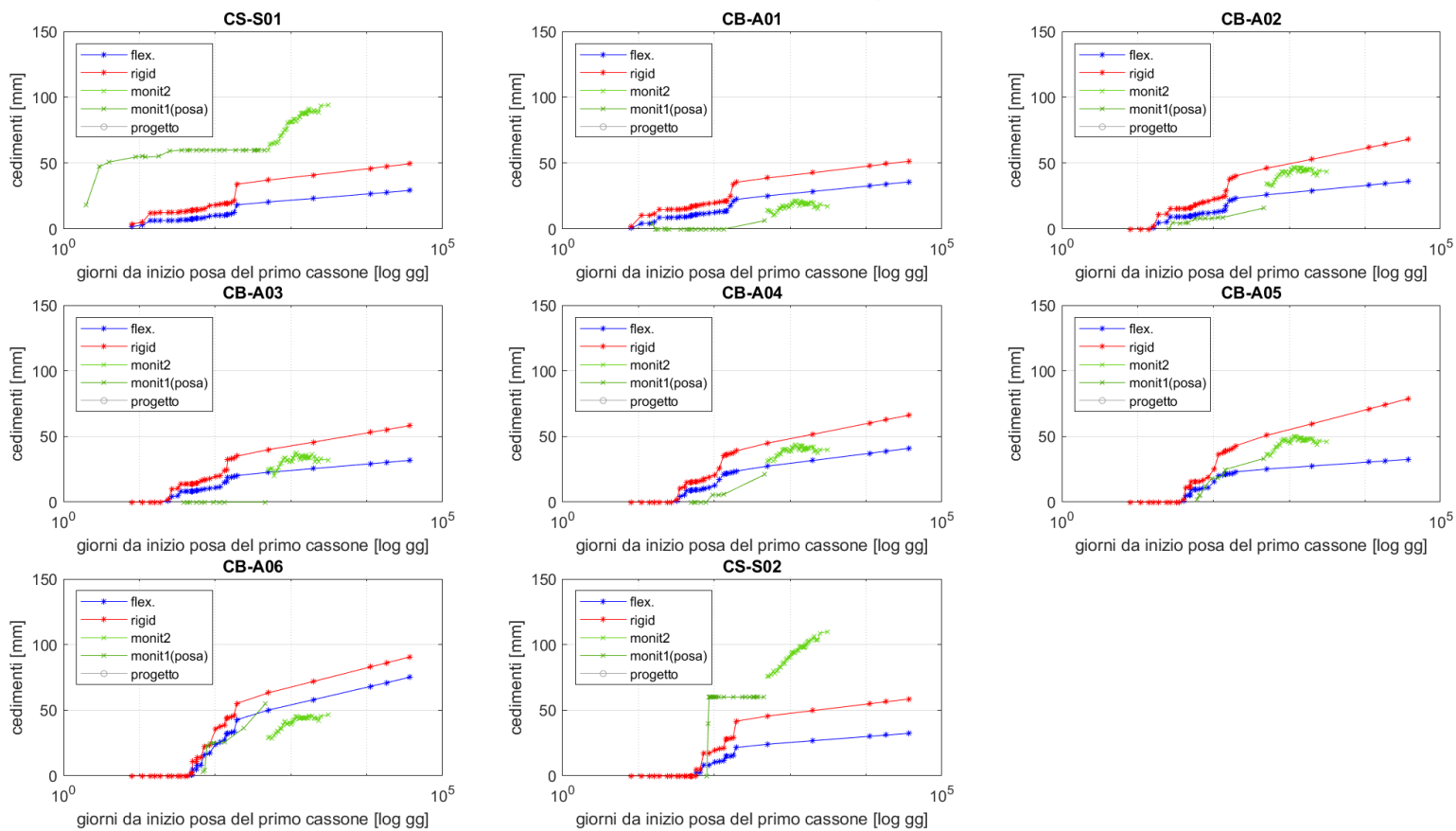


Figura 4.32: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto dei cassoni della barriera di Chioggia nel punto 2.

Cedimento dei cassoni nel tempo nel punto 3

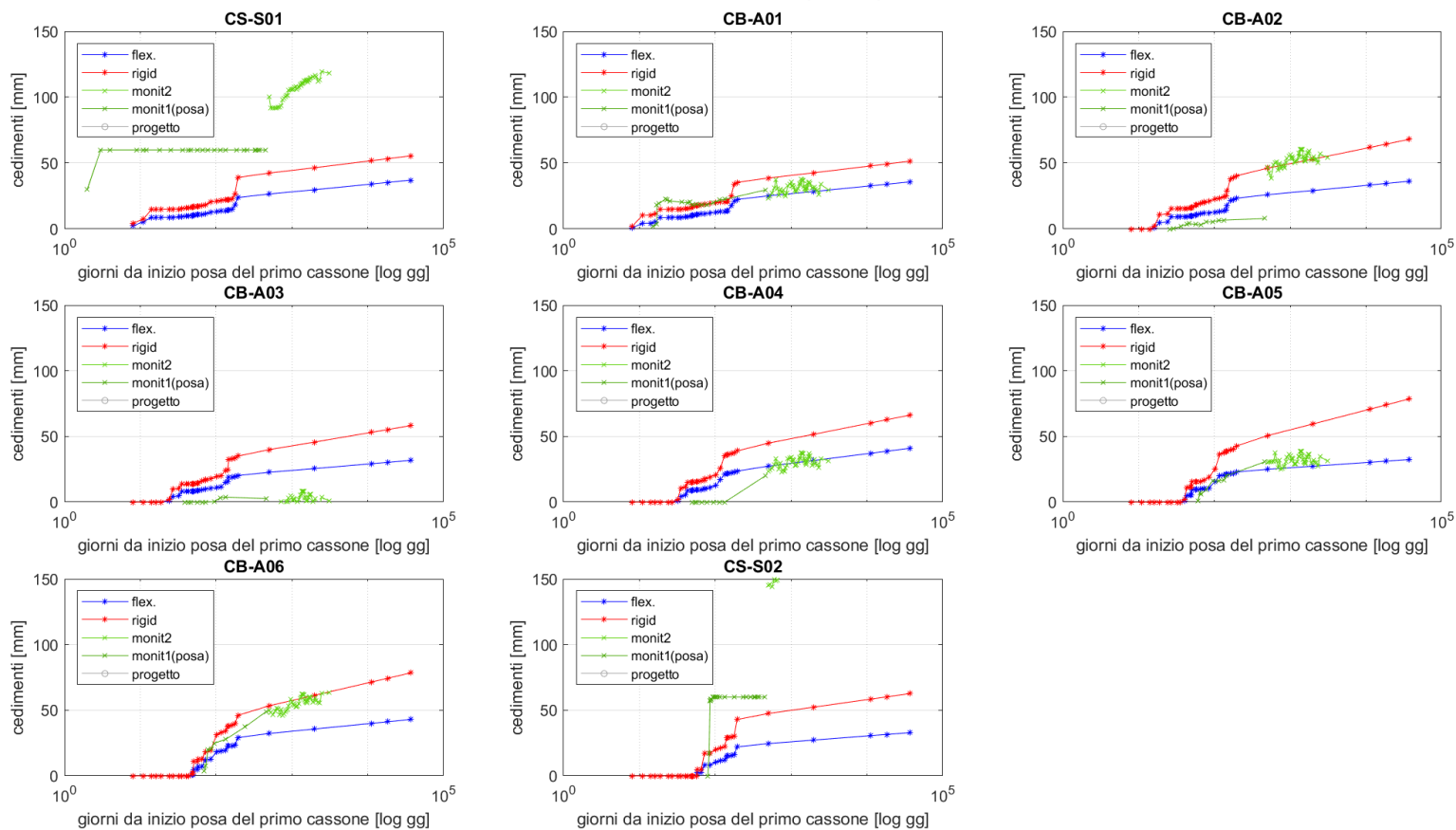


Figura 4.33: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto dei cassoni della barriera di Chioggia nel punto 3.

Cedimento dei cassoni nel tempo nel punto 4

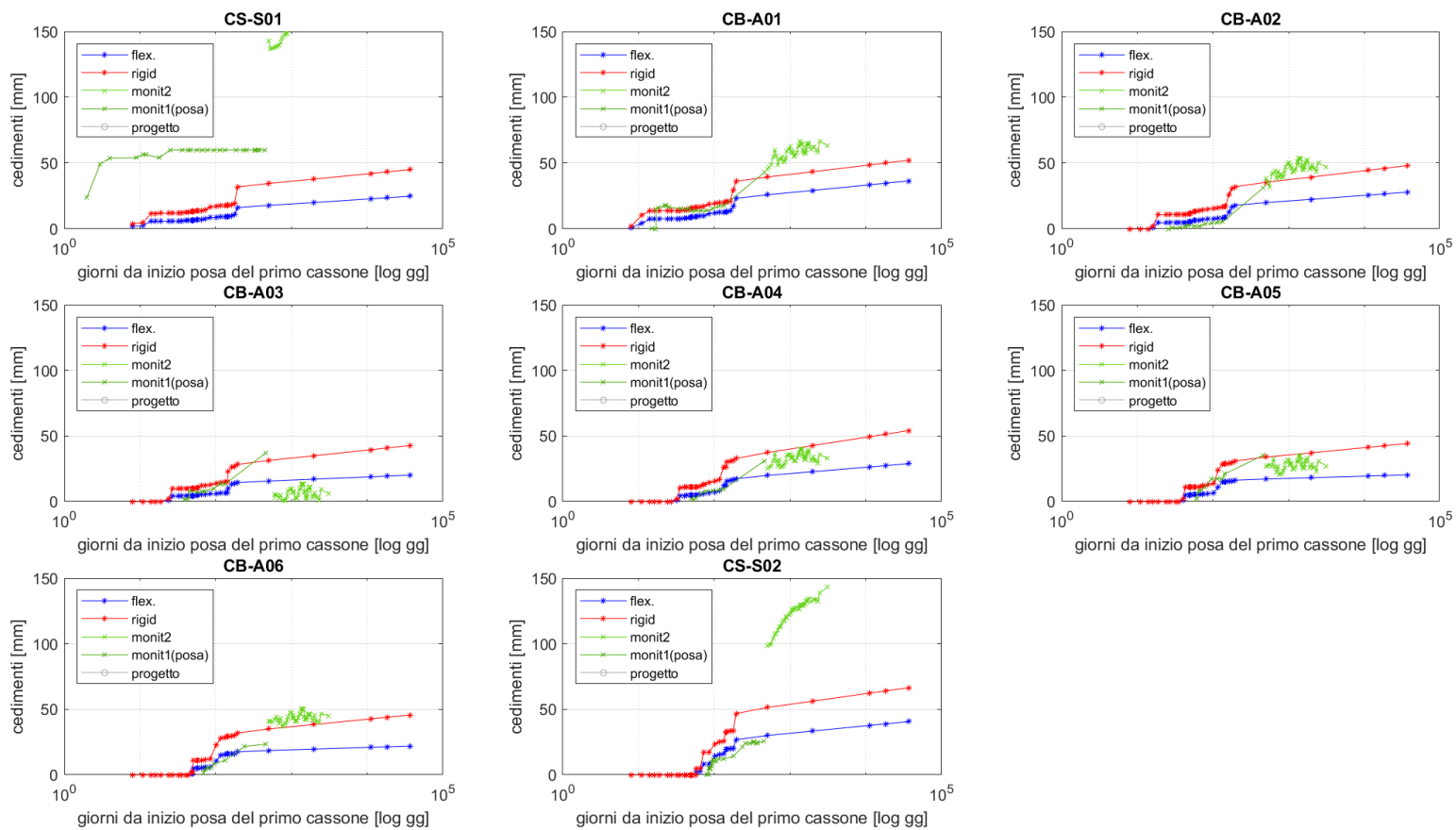


Figura 4.34: Cedimenti calcolati, monitorati e di progetto dei cassoni della barriera di Chioggia nel punto 4.

Si osserva che i dati di monitoraggio relativi alla barriera di Chioggia sono assai numerosi e permettono di definire una curva ben definita nel tempo (in verde). L'andamento stabile di tali dati è garantito da una serie di misurazioni topografiche che sono state effettuate durante le varie fasi lavorative necessarie alla costruzione della barriera e negli anni seguenti alla sua realizzazione, fino ai giorni nostri. I risultati ottenuti rispecchiano perfettamente le misure calcolate post-costruzione per i cassoni di soglia, mentre si osserva che vi sono delle differenze per quelli di spalla.

Per quanto riguarda il calcolo dei cedimenti nei punti analizzati dei cassoni di soglia si ha che:

- i cedimenti calcolati in condizione di fondazione rigida risultano essere sempre superiori a quelli in condizione di fondazione flessibile (come definito dalla teoria);
- i cedimenti di progetto tendono a mantenersi sempre all'interno della fascia blu-rossa dei cedimenti calcolati;
- in linea generale l'andamento delle curve blu e rosse corrispondono agli andamenti delle curve grigie, a meno dei cedimenti ciclici, calcolati dai progettisti nella fase di progetto e trascurati nel calcolo post-costruzione, che modificano leggermente l'andamento della curva grigia nei tratti finali;
- l'andamento dei dati di monitoraggio concorda con quello dei cedimenti calcolati post-costruzione, in quanto nei grafici è possibile osservare la corrispondenza tra la curva verde e quelle rosse/blu, basate sull'ipotesi di fondazione rigida e di condizione di fondazione flessibile; la discrepanza millimetrica tra i due andamenti suggerisce una conformità tra il metodo di analisi utilizzato in fase post-costruzione e ciò che avviene nella realtà. Si può quindi dire che i parametri di caratterizzazione geotecnica utilizzati, la sequenza di posa esaminata e l'entità dei carichi agenti, rispecchiano i valori reali presenti nella barriera di Chioggia.
- i risultati ottenuti confermano la validità del metodo di calcolo adottato e l'approccio definito in fase di analisi.

Per quanto riguarda il calcolo dei cedimenti nei punti analizzati dei cassoni di spalla si ha che:

- i cedimenti calcolati in condizione di fondazione rigida risultano essere sempre superiori a quelli in condizione di fondazione flessibile (come definito dalla teoria);
- i cedimenti di progetto tendono a mantenersi sempre all'interno della fascia blu-rossa dei cedimenti calcolati;
- in linea generale l'andamento delle curve blu e rosse corrispondono agli andamenti delle curve grigie, a meno dei cedimenti ciclici, calcolati dai progettisti nella fase di progetto esecutivo e trascurati nel calcolo post-costruzione, che modificano leggermente l'andamento della curva grigia nei tratti finali;
- è possibile osservare che le curve verdi relative ai dati di monitoraggio differiscono da quelle rosse-blu, definite dal calcolo dei cedimenti post-costruzione; Si osserva infatti che le misurazioni topografiche registrano, in corrispondenza dei punti centrali dei cassoni di spalla, un cedimento immediato di circa 35 mm, assente nei grafici di calcolo. Tale incremento rapido del valore di cedimento potrebbe essere dovuto ad un assestamento iniziale dello strato di ripartizione o ad una scelta dei parametri di caratterizzazione geotecnica diversi da quelli presenti effettivamente in loco. Altra ipotesi plausibile è riferita alla quota di misurazione: i monitoraggi potrebbero essere iniziati a partire da una quota del terreno differente da quella utilizzata nel calcolo post-costruzione. Se così fosse basterebbe "*shiftare*" il primo punto (subito dopo l'incremento repentino) del grafico verde in corrispondenza di quello delle curve rosso-blu. Quest'ultima ipotesi prende forza osservando gli andamenti riscontrati per gli altri punti (1, 2, 3 e 4) dei cassoni di spalla: si può osservare che per alcuni di essi l'andamento dei dati di monitoraggio inizialmente rettilineo tende a modificarsi nel giro di poco tempo, registrando uno sbalzo del valore di cedimento di oltre 50 mm. In altri casi invece si ha un cedimento immediato seguito da una linea pressoché orizzontale, teoricamente incerta poiché si dovrebbe procedere con un andamento crescente data la presenza della consolidazione primaria. Oltre tali incertezze, in generale l'andamento della curva dei monitoraggi assume una pendenza maggiore rispetto a quella registrata nel calcolo. Lo scompenso è attribuibile ad una possibile disomogeneità della stratigrafia. Tra le ipotesi di base infatti è stata definita una stratigrafia uniforme (calcolata per il baricentro del cassone) per tutti i vertici del cassone. Per i cassoni di spalla tale ipotesi risulta funzionale (in quanto permette un calcolo dei cedimenti

post-costruzione verosimile alla realtà), ma trascura possibili differenze presenti nell'area di interesse del cassone stesso (si ricorda che l'area di base del cassone è di circa 60 m x 24 m). La differenza tra i due andamenti (post-costruzione e monitoraggio), potrebbe essere dovuta anche alla presenza di carichi esterni, adiacenti ai cassoni di spalla, che non sono stati considerati durante il calcolo. Un'altra ipotesi potrebbe derivare dalla scelta dei parametri geotecnici in fase di analisi. Tali valori infatti potrebbero differire leggermente da quelli calcolati, modificando così l'andamento generale dei dati ottenuti. Si può dire che ciò non comporta un problema dal punto di vista geotecnico, poiché si tratta sempre di cedimenti millimetrici per opere di dimensioni ingenti. Si ricorda inoltre che lo zavorramento da progetto esecutivo è avvenuto asimmetricamente alla struttura dei cassoni e che i cedimenti dei cassoni di spalla possono essere stati influenzati anche da quelli secondari delle strutture limitrofe realizzate precedentemente alla barriera stessa.

Conclusioni

Il presente lavoro di tesi, volto ad esaminare in maniera critica i cedimenti registrati nelle barriere di Lido Treporti e di Chioggia, mette a confronto i dati calcolati tramite un'analisi post-costruzione delle barriere con le previsioni progettuali e le misurazioni topografiche effettuate in loco durante il posizionamento dei cassoni e l'operatività delle barriere stesse. Il modello di calcolo, sviluppato su MATLAB, considera stratigrafie, parametri geotecnici, sequenze posa in opera ed entità dei carichi applicati alla barriera, leggermente diverse da quelle sviluppate durante la fase progettuale. Questo è dovuto in primis ad un aggiornamento temporale della documentazione necessaria all'analisi di tali dati e, in secondo luogo, ad un differente approccio di base per il calcolo dei cedimenti. Il modello così realizzato ha permesso di determinare i cedimenti dovuti alla consolidazione primaria e secondaria, risultanti dai carichi applicati ai cassoni delle due rispettive barriere, secondo la teoria monodimensionale di Newmark, trascurando il contributo dato dal cedimento ciclico causato dalle maree e dall'azione delle onde sui cassoni. Si è quindi osservato che i risultati ottenuti rispecchiano in linea generale i cedimenti misurati tramite monitoraggi, a meno di alcune lievi discrepanze, date da variazioni nelle semplificazioni adottate durante il processo di analisi, sia per quanto concerne i parametri stratigrafici, che per le sequenze di posa ed i carichi applicati. Nonostante ciò, si può affermare un riscontro positivo per il presente studio realizzato, poiché le differenze dei risultati ottenuti rispetto ai valori calcolati dai progettisti in fase di costruzione delle barriere e quelli di monitoraggio, risultano essere esigue, millimetriche rispetto all'entità delle opere geotecniche analizzate. Questo lavoro di tesi non rivela quindi problematiche funzionali legate ai cedimenti delle barriere di Lido Treporti e di Chioggia, appartenenti al sistema Mose, prestigiosa opera ingegneristica di altissimo livello, per la salvaguardia e la tutela di Venezia e della sua Laguna.

Appendice A

A1 – Stratigrafia di progetto

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia | Argilla | Ca |
|------------|-----------------------|---------|--|--------|---------|----------|
| | da | a | | E | M | |
| | | | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -15.05 | -16.40 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Palificata | -16.40 | -35.40 | Terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| torba | -35.40 | -36.00 | torba | - | 3 | 3 |
| D | -36.00 | -40.00 | argilla/limo/sabbioso | - | 25 | 2 |
| E | -40.00 | -48.00 | sabbia | 85 | | 0.25 |
| E' | -48.00 | -52.00 | coesivo con torba | | 30 | 2 |
| E | -52.00 | -58.00 | sabbia con qualche intercalazione coesiva | 100 | | 0.25 |
| E | -58.00 | -60.00 | terreno sabbioso con torba | 60 | | 2 |
| E | -60.00 | -68.00 | sabbia | 110 | | 0.25 |
| E' | -68.00 | -76.00 | coesivo con sabbia | | 40 | 2.5 |
| F | -76.00 | -86.00 | coesivo con torba | | 40 | 2.5 |
| G | -86.00 | -92.00 | sabbia/limo | 170 | | 0.25 |
| H | -92.00 | -100.00 | argilloso/sabbioso | | 50 | 2 |
| | -100.00 | -110.00 | sabbia | 180 | | 0.25 |
| | -110.00 | -120.00 | coesivo | | 55 | 2 |

Tabella A.1: Stratigrafia del cassone di spalla Ovest TO-S01 della barriera di Treporti utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia E | Argilla M | c _α |
|---------|-----------------------|--------|--|----------|-----------|----------------|
| | da | a | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -15.05 | -16.40 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -16.40 | -35.40 | Terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| D | -35.40 | -37.00 | coesivo con qualche intercalazione di torba | - | 20 | 2 |
| E | -37.00 | -40.00 | sabbioso un po' coesivo | 60 | - | 1 |
| | -40.00 | -48.00 | sabbioso | 65 | - | 0.25 |
| E' | -48.00 | -52.00 | coesivo con torba | - | 30 | 2 |
| E | -52.00 | -58.00 | sabbia con qualche intercalazione coesiva | 100 | - | 0.25 |
| E | -58.00 | -60.00 | terreno sabbioso con torba | 60 | - | 2 |
| E | -60.00 | -68.00 | sabbia | 110 | - | 0.25 |
| E' | -68.00 | -76.00 | coesivo con sabbia | - | 40 | 2.5 |
| F | -76.00 | -86.00 | coesivo con torba | - | 40 | 2.5 |
| G | -86.00 | -92.00 | sabbia/limo | 170 | - | 0.25 |

Tabella A.2: Stratigrafia del cassone di soglia TB-A01 della barriera di Treporti utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia E | Argilla M | ca |
|---------|-----------------------|---------|---|----------|-----------|----------|
| | da | a | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -15.05 | -16.40 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | | |
| Pali | -16.40 | -35.40 | Terreno equivalente la palificata | 100 | | 0 |
| D | -35.40 | -37.00 | coesivo - sabbioso | | 25 | 1.5 |
| E' | -37.00 | -39.00 | coesivo - sabbioso | | 30 | 1.5 |
| E | -39.00 | -46.00 | sabbia con poco limo | 60 | - | 0.25 |
| E' | -46.00 | -47.00 | torba non molto pura | | 7 | 3 |
| E' | -47.00 | -60.00 | sabbia e limo alternati | 65 | - | 1 |
| E | -60.00 | 68.00 | sabbia un po' più coesiva che nei cassoni TO-SOI e TB-A01 | 100 | - | 0.75 |
| E' | -68.00 | -75.00 | coesivo con livelli di sabbia | - | 40 | 2.5 |
| F | -75.00 | -86.00 | coesivo con sabbia | | 40 | 1 |
| G | -86.00 | -92.00 | sabbioso | 170 | - | 0.25 |
| H | -92.00 | -100.00 | coesivo | - | 50 | 1 |
| | -100.00 | -110.00 | sabbioso | 180 | | 0.25 |
| | -110.00 | -120.00 | coesivo | | 55 | 1 |

Tabella A.3: Stratigrafia del cassone di soglia TB-A02 della barriera di Treporti utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia E | Argilla M | ca |
|---------|-----------------------|---------|---|----------|-----------|----------|
| | da | a | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -15.05 | -16.40 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | |
| Pali | -16.40 | -35.40 | Terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| D | -35.40 | -37.00 | coesivo | - | 25 | 2 |
| E' | -37.00 | -42.00 | coesivo e sabbioso | - | 30 | 2 |
| E | -42.00 | -47.00 | sabbia | 75 | - | 0.25 |
| t | -47.00 | -48.00 | torba non molto pura | | 7 | 3 |
| E' | -48.00 | -60.00 | sabbia e limo alternati | 65 | - | 0.75 |
| E | -60.00 | -68.00 | sabbia un po' più coesiva che nei cassoni TO-SO1 e TB-A01 | 100 | - | 0.75 |
| E' | -68.00 | -75.00 | coesivo con livelli di sabbia | - | 40 | 2.5 |
| F | -75.00 | -86.00 | coesivo con sabbia | | 40 | 1 |
| G | -86.00 | -92.00 | sabbioso | 170 | - | 0.25 |
| H | -92.00 | -100.00 | sabbioso | - | 50 | 1 |
| | -100.00 | -110.00 | coesivo | 180 | | 0.25 |
| | -110.00 | -120.00 | | | 55 | 1 |

Tabella A.4: Stratigrafia del cassone di soglia TB-A03 della barriera di Treporti utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia | Argilla | Ca |
|---------|-----------------------|---------|--|--------|---------|----------|
| | da | a | | E | M | |
| | | | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -15.05 | -16.40 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | | |
| Pali | -16.40 | -35.40 | Terreno equivalente la palificata | 100 | | 0 |
| D | -35.40 | -38.00 | coesivo | - | 22 | 1 |
| E' | -38.00 | -41.00 | coesivo con sabbia | - | 35 | 1.5 |
| E | -41.00 | -47.00 | sabbia | 120 | - | 0.25 |
| t | -47.00 | -48.00 | torba non molto pura | | 7 | 3 |
| E' | -48.00 | -54.00 | coesivo con strati di sabbia e torba | - | 25 | 2 |
| E' | -54.00 | -59.00 | alternanza sabbia e coesivo | 90 | - | 1 |
| t | -59.00 | -60.00 | torba | | 4 | 3 |
| E | -60.00 | -68.00 | sabbia | 130 | - | 0.25 |
| E' | -68.00 | -75.00 | coesivo - sabbioso | 90 | - | 1 |
| F | -75.00 | -79.00 | coesivo | - | 40 | 1 |
| | -79.00 | -81.00 | sabbioso | 140 | - | 0.25 |
| | -81.00 | -85.00 | coesivo | - | 45 | 1 |
| G | -85.00 | -88.00 | alternanza di coesivo e sabbia | 90 | - | 1 |
| | -88.00 | -92.00 | sabbia | 150 | - | 0.25 |
| H | -92.00 | -95.00 | coesivo e sabbioso | 110 | - | 1 |
| | -95.00 | -110.00 | sabbioso | 170 | - | 0.25 |
| | -110.00 | -120.00 | coesivo | - | 50 | 1 |

Tabella A.5: Stratigrafia del cassone di soglia TB-A04 della barriera di Treporti utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia E | Argilla M | Ca |
|---------|-----------------------|---------|---|----------|-----------|----------|
| | da | a | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -15.05 | -16.40 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | | |
| Pali | -16.40 | -35.40 | Terreno equivalente la palificata | 100 | | 0 |
| D | -35.40 | -36.50 | coesivo | - | 20 | 1.5 |
| E | -36.50 | -38.00 | sabbia | 90 | - | 0.25 |
| E' | -38.00 | -39.00 | coesivo | - | 30 | 1.5 |
| E' | -39.00 | -42.00 | coesivo - sabbioso | 65 | - | 1 |
| E | -42.00 | -47.00 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| torba | -47.00 | -48.00 | torba non molto pura | | 7 | 3 |
| E' | -48.00 | -50.00 | coesivo - sabbioso | 70 | - | 1 |
| E' | -50.00 | -54.00 | coesivo - sabbioso | 75 | - | 1 |
| E' | -54.00 | -59.00 | alternanza sabbia e coesivo | 90 | - | 1 |
| torba | -59.00 | -60.00 | torba | | 4 | 3 |
| E | -60.00 | -68.00 | sabbia | 130 | - | 0.25 |
| E' | -68.00 | -75.00 | coesivo - sabbioso | 90 | | 1 |
| F | -75.00 | -79.00 | coesivo | - | 40 | 1 |
| | -79.00 | -81.00 | sabbioso | 140 | - | 0.25 |
| | -81.00 | -85.00 | coesivo | - | 45 | 1 |
| G | -85.00 | -88.00 | alternanza di coesivo e sabbia | 90 | - | 1 |
| | -88.00 | -92.00 | sabbia | 150 | - | 0.25 |
| H | -92.00 | -95.00 | coesivo e sabbioso | 110 | | 1 |
| | -95.00 | -110.00 | sabbioso | 170 | | 0.25 |
| | -110.00 | -120.00 | coesivo | - | 50 | 1 |

Tabella A.6: Stratigrafia del cassone di soglia TB-A05 della barriera di Treporti utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia E | Argilla M | Ca |
|---------|-----------------------------|---------|--|-------------|--------------|----------|
| | da | a | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -15.05 | -16.40 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | | |
| Pali | -16.40 | -35.40 | Terreno equivalente la palificata | 100 | | 0 |
| D | -35.40 | -38.00 | coesivo e sabbioso | 50 | - | 1.5 |
| E' | -38.00 | -43.00 | coesivo con un po' di sabbia | - | 35 | 1.5 |
| E | -43.00 | -46.00 | sabbioso con un po' di coesivo | 70 | - | 1 |
| t | -46.00 | -47.00 | torba | | 1 | 5 |
| E' | -47.00 | -51.00 | coesivo con torba | | 20 | 2 |
| E' | -51.00 | -54.50 | sabbioso | 90 | - | 0.25 |
| E' | -54.50 | -55.50 | coesivo | - | 30 | 1.5 |
| E | -55.50 | -57.00 | sabbia | 95 | - | 0.25 |
| E' | -57.00 | -62.00 | sabbia - coesivo | 80 | - | 1 |
| t | -62.00 | -63.00 | torba | | 4 | 3 |
| E | -63.00 | -68.50 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| E' | -68.50 | -71.00 | sabbia con coesivo | 85 | - | 1 |
| E | -71.00 | -72.00 | sabbia | 110 | - | 0.25 |
| E' | -72.00 | -75.00 | sabbia con coesivo | 90 | - | 1 |
| F | -75.00 | -87.00 | coesivo con sabbia | - | 40 | 1 |
| G | -87.00 | -98.00 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| H | -98.00 | -102.00 | coesivo | - | 45 | 1 |
| | -102.00 | -110.00 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| | -110.00 | -120.00 | coesivo | - | 50 | 1 |

Tabella A.7: Stratigrafia del cassone di soglia TB-A06 della barriera di Treporti utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia | Argilla | ca |
|---------|-----------------------|---------|--|--------|---------|----------|
| | da | a | | E | M | |
| | | | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -15.05 | -16.40 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | | |
| Pali | -16.40 | -35.40 | Terreno equivalente la pali- ficata | 100 | | 0 |
| D | -35.40 | -37.00 | coesivo | - | 26 | 1 |
| E | -37.00 | -39.00 | sabbioso - coesivo | 40 | - | 0.5 |
| E | -39.00 | -41.00 | sabbioso | 50 | - | 0.25 |
| E' | -41.00 | -46.00 | coesivo con sabbia | - | 35 | 0.5 |
| torba | -46.00 | -47.00 | torba | | 4 | 3 |
| E | -47.00 | -48.00 | sabbia | 60 | - | 0.25 |
| E' | -48.00 | -49.00 | coesivo con sabbia | - | 12 | 1.5 |
| E | -49.00 | -51.50 | sabbia | 60 | - | 0.25 |
| E' | -51.50 | -52.00 | coesivo | - | 20 | 1 |
| E | -52.00 | -62.00 | sabbia | 100 | | 0.25 |
| torba | -62.00 | -63.00 | torba | | 4 | 3 |
| E | -63.00 | -70.00 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| E' | -70.00 | -71.50 | coesivo con sabbia | - | 25 | 1 |
| E | -71.50 | -72.50 | sabbia con limo | 80 | - | 1 |
| F | -72.50 | -87.00 | coesivo con sabbia | - | 40 | 1 |
| G | -87.00 | -98.00 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| H | -98.00 | -102.00 | coesivo | - | 45 | 1 |
| | -102.00 | -110.00 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| | -110.00 | -120.00 | coesivo | - | 50 | 1 |

Tabella A.8: Stratigrafia del cassone di soglia TB-A07 della barriera di Treporti utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia | Argilla | Ca |
|---------|-----------------------|---------|--|--------|---------|----------|
| | da | a | | E | M | |
| | | | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -15.05 | -16.40 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -16.40 | -35.40 | Terreno equivalente la pali- ficata | 100 | - | 0 |
| D | -35.40 | -37.00 | coesivo | - | 26 | 1 |
| E' | -37.00 | -39.50 | sabbioso - coesivo | 41 | - | 0.5 |
| E | -39.50 | -40.50 | sabbia | 50 | - | 0.25 |
| E' | -40.50 | -46.00 | coesivo con sabbia | - | 35 | 0.5 |
| t | -46.00 | -47.00 | torba non molto pura | | 7 | 3 |
| E' | -47.00 | -49.00 | coesivo e sabbia | 50 | - | 0.5 |
| E' | -49.00 | -53.00 | coesivo e sabbia | 55 | - | 0.5 |
| E | -53.00 | -70.00 | sabbia con qualche strato coesivo | 95 | - | 0.5 |
| E' | -70.00 | -73.00 | sabbia e coesivo | 95 | - | 0.5 |
| F | -73.00 | -88.00 | coesivo | 60 | - | 1 |
| G | -88.00 | -101.00 | sabbia | - | 40 | 0.25 |
| H | -101.00 | -104.00 | coesivo | 100 | - | 1 |
| | -104.00 | -110.00 | sabbia | - | 45 | 0.25 |
| | -110.00 | -120.00 | coesivo | 100 | - | 1 |

Tabella A.9: Stratigrafia del cassone di spalla Est TE-S02 della barriera di Treporti utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

A2 – Cedimenti di progetto

| Fase | Tempo (gg) da inizio posa | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Fase di posa-livellazione su pin | | 01/09/2011 | | | | |
| Fondazione parziale TO-S01 | | 01/09/2011 | -9.80 | -9.80 | -9.80 | -9.80 |
| zavorra definitiva su TO-S01 | 7 | 08/09/2011 | -17.66 | -17.38 | -17.38 | -17.65 |
| Tempo per la costruzione dell'edificio, fino alla posa del cassone TB-A01 | 151 | 30/01/2012 | -42.20 | -42.48 | -38.38 | -38.09 |
| fondazione parziale TB-A01 | 243 | 01/05/2012 | -42.59 | -42.87 | -38.77 | -38.48 |
| | 244 | 02/05/2012 | -42.68 | -42.96 | -38.86 | -38.57 |
| | 245 | 03/05/2012 | -46.20 | -46.48 | -42.38 | -42.09 |
| fondazione parziale TB-A02 | 257 | 15/05/2012 | -46.30 | -46.58 | -42.48 | -42.19 |
| | 259 | 17/05/2012 | -46.31 | -46.59 | -42.49 | -42.20 |
| | 261 | 19/05/2012 | -46.32 | -46.60 | -42.50 | -42.21 |
| fondazione parziale TB-A03 | 274 | 01/06/2012 | -46.36 | -46.64 | -42.54 | -42.25 |
| | 277 | 04/06/2012 | -46.37 | -46.65 | -42.55 | -42.26 |
| | 279 | 06/06/2012 | -46.38 | -46.66 | -42.56 | -42.27 |
| fondazione parziale TB-A04 | 288 | 15/06/2012 | -46.42 | -46.70 | -42.60 | -42.31 |
| | 291 | 18/06/2012 | -46.43 | -46.71 | -42.61 | -42.32 |
| | 293 | 20/06/2012 | -46.44 | -46.71 | -42.62 | -42.33 |
| fondazione parziale TB-A05 | 304 | 01/07/2012 | -46.47 | -46.75 | -42.65 | -42.37 |
| | 307 | 04/07/2012 | -46.49 | -46.76 | -42.67 | -42.38 |
| | 309 | 06/07/2012 | -46.49 | -46.77 | -42.67 | -42.38 |
| fondazione parziale TB-A06 | 318 | 15/07/2012 | -46.54 | -46.81 | -42.72 | -42.43 |
| | 321 | 18/07/2012 | -46.55 | -46.83 | -42.73 | -42.44 |
| | 323 | 20/07/2012 | -46.56 | -46.83 | -42.73 | -42.45 |
| fondazione parziale TB-A07 | 335 | 01/08/2012 | -46.59 | -46.87 | -42.77 | -42.48 |
| | 338 | 04/08/2012 | -46.61 | -46.88 | -42.78 | -42.50 |
| | 340 | 06/08/2012 | -46.61 | -46.89 | -42.79 | -42.50 |
| fondazione parziale TE-S02 | 349 | 15/08/2012 | -46.65 | -46.93 | -42.83 | -42.54 |
| | 352 | 18/08/2012 | -46.66 | -46.94 | -42.84 | -42.55 |
| | 354 | 20/08/2012 | -46.67 | -46.95 | -42.85 | -42.56 |
| zavorra definitiva TE-S02 | 366 | 01/09/2012 | -46.70 | -46.98 | -42.88 | -42.59 |
| zavorra definitiva TB-A01/TB-A02 | 373 | 08/09/2012 | -46.73 | -47.01 | -42.91 | -42.62 |
| zavorra definitiva TB-A03/TB-A04 | 380 | 15/09/2012 | -46.76 | -47.04 | -42.94 | -42.65 |
| zavorra definitiva TB-A05/TB-A06 | 387 | 22/09/2012 | -46.79 | -47.07 | -42.97 | -42.68 |
| zavorra definitiva TB-A07 | 395 | 30/09/2012 | -46.82 | -47.10 | -43.00 | -42.71 |
| Fine realizzazione barriera + edifici + paratoie | 517 | 30/01/2013 | -48.22 | -48.50 | -44.40 | -44.11 |
| 1 anno da fine barriera | 882 | 30/01/2014 | -50.40 | -50.38 | -43.78 | -43.79 |
| 5 anni da fine barriera | 2343 | 30/01/2018 | -53.26 | -52.74 | -43.04 | -43.54 |
| 10 anni da fine barriera | 4169 | 30/01/2023 | -55.21 | -54.39 | -42.49 | -43.29 |
| 30 anni da fine barriera | 11474 | 30/01/2043 | -58.80 | -57.49 | -41.38 | -42.69 |
| 50 anni da fine barriera | 18779 | 30/01/2063 | -60.71 | -59.14 | -40.79 | -42.35 |
| 100 anni da fine barriera | 37406 | 30/01/2114 | -63.07 | -61.20 | -40.05 | -41.90 |

Tabella A.10: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di spalla Ovest TO-S01 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

| Fase | Tempo (gg) da inizio posa | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Fase di posa-livellazione su pin | | 01/09/2011 | | | | |
| Fondazione parziale TO-S01 | | 01/09/2011 | | | | |
| zavorra definitiva su TO-S01 | 7 | 08/09/2011 | | | | |
| Tempo per la costruzione dell'edificio, fino alla posa del cassone TB-A01 | 151 | 30/01/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A01 | 243 | 01/05/2012 | -10.00 | -10.00 | -10.00 | -10.00 |
| | 244 | 02/05/2012 | -12.36 | -12.28 | -12.03 | -12.10 |
| | 245 | 03/05/2012 | -14.05 | -13.92 | -13.52 | -13.65 |
| fondazione parziale TB-A02 | 257 | 15/05/2012 | -17.54 | -17.17 | -16.00 | -16.36 |
| | 259 | 17/05/2012 | -18.06 | -17.65 | -17.10 | -17.50 |
| | 261 | 19/05/2012 | -18.38 | -17.94 | -17.84 | -18.27 |
| fondazione parziale TB-A03 | 274 | 01/06/2012 | -19.97 | -19.39 | -19.41 | -19.99 |
| | 277 | 04/06/2012 | -20.40 | -19.78 | -19.79 | -20.41 |
| | 279 | 06/06/2012 | -20.67 | -20.03 | -20.04 | -20.68 |
| fondazione parziale TB-A04 | 288 | 15/06/2012 | -21.88 | -21.13 | -21.01 | -21.75 |
| | 291 | 18/06/2012 | -22.20 | -21.43 | -21.27 | -22.04 |
| | 293 | 20/06/2012 | -22.41 | -21.62 | -21.43 | -22.22 |
| fondazione parziale TB-A05 | 304 | 01/07/2012 | -23.34 | -22.48 | -22.17 | -23.03 |
| | 307 | 04/07/2012 | -23.59 | -22.72 | -22.37 | -23.25 |
| | 309 | 06/07/2012 | -23.76 | -22.87 | -22.50 | -23.40 |
| fondazione parziale TB-A06 | 318 | 15/07/2012 | -24.57 | -23.62 | -23.14 | -24.10 |
| | 321 | 18/07/2012 | -24.77 | -23.80 | -23.31 | -24.27 |
| | 323 | 20/07/2012 | -24.89 | -23.92 | -23.41 | -24.38 |
| fondazione parziale TB-A07 | 335 | 01/08/2012 | -25.48 | -24.47 | -23.88 | -24.88 |
| | 338 | 04/08/2012 | -25.64 | -24.62 | -24.01 | -25.03 |
| | 340 | 06/08/2012 | -25.74 | -24.72 | -24.09 | -25.12 |
| fondazione parziale TE-S02 | 349 | 15/08/2012 | -26.22 | -25.17 | -24.48 | -25.53 |
| | 352 | 18/08/2012 | -26.35 | -25.29 | -24.59 | -25.65 |
| | 354 | 20/08/2012 | -26.44 | -25.37 | -24.66 | -25.72 |
| zavorra definitiva TE-S02 | 366 | 01/09/2012 | -26.76 | -25.68 | -24.93 | -26.00 |
| zavorra definitiva TB-A01/TB-A02 | 373 | 08/09/2012 | -30.05 | -28.96 | -28.20 | -29.29 |
| zavorra definitiva TB-A03/TB-A04 | 380 | 15/09/2012 | -30.90 | -29.80 | -30.26 | -31.36 |
| zavorra definitiva TB-A05/TB-A06 | 387 | 22/09/2012 | -31.59 | -30.48 | -31.14 | -32.25 |
| zavorra definitiva TB-A07 | 395 | 30/09/2012 | -31.67 | -30.56 | -31.23 | -32.34 |
| Fine realizzazione barriera + edifici + paratoie | 517 | 30/01/2013 | -41.35 | -40.38 | -36.78 | -37.74 |
| 1 anno da fine barriera | 882 | 30/01/2014 | -43.02 | -42.07 | -38.20 | -39.15 |
| 5 anni da fine barriera | 2343 | 30/01/2018 | -46.43 | -45.50 | -41.21 | -42.14 |
| 10 anni da fine barriera | 4169 | 30/01/2023 | -49.03 | -48.11 | -43.63 | -44.55 |
| 30 anni da fine barriera | 11474 | 30/01/2043 | -55.06 | -54.13 | -49.41 | -50.34 |
| 50 anni da fine barriera | 18779 | 30/01/2063 | -59.00 | -58.07 | -53.27 | -54.19 |
| 100 anni da fine barriera | 37406 | 30/01/2114 | -66.06 | -65.13 | -60.27 | -61.19 |

Tabella A.11: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia TB-A01 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

| Fase | Tempo (gg) da inizio posa | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Fase di posa-livellazione su pin | | 01/09/2011 | | | | |
| Fondazione parziale TO-S01 | | 01/09/2011 | | | | |
| zavorra definitiva su TO-S01 | 7 | 08/09/2011 | | | | |
| Tempo per la costruzione dell'edificio, fino alla posa del cassone TB-A01 | 151 | 30/01/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A01 | 243 | 01/05/2012 | | | | |
| | 244 | 02/05/2012 | | | | |
| | 245 | 03/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A02 | 257 | 15/05/2012 | -10.00 | -10.00 | -10.00 | -10.00 |
| | 259 | 17/05/2012 | -11.99 | -11.99 | -11.91 | -11.91 |
| | 261 | 19/05/2012 | -13.43 | -13.43 | -13.30 | -13.30 |
| fondazione parziale TB-A03 | 274 | 01/06/2012 | -15.72 | -15.72 | -15.38 | -15.38 |
| | 277 | 04/06/2012 | -16.04 | -16.04 | -16.46 | -16.47 |
| | 279 | 06/06/2012 | -16.23 | -16.23 | -17.19 | -17.19 |
| fondazione parziale TB-A04 | 288 | 15/06/2012 | -17.26 | -17.26 | -18.64 | -18.65 |
| | 291 | 18/06/2012 | -17.53 | -17.53 | -19.00 | -19.00 |
| | 293 | 20/06/2012 | -17.71 | -17.71 | -19.23 | -19.23 |
| fondazione parziale TB-A05 | 304 | 01/07/2012 | -18.50 | -18.50 | -20.15 | -20.15 |
| | 307 | 04/07/2012 | -18.71 | -18.71 | -20.39 | -20.39 |
| | 309 | 06/07/2012 | -18.85 | -18.85 | -20.55 | -20.55 |
| fondazione parziale TB-A06 | 318 | 15/07/2012 | -19.53 | -19.53 | -21.32 | -21.32 |
| | 321 | 18/07/2012 | -19.70 | -19.70 | -21.50 | -21.50 |
| | 323 | 20/07/2012 | -19.81 | -19.80 | -21.62 | -21.62 |
| fondazione parziale TB-A07 | 335 | 01/08/2012 | -20.30 | -20.30 | -22.17 | -22.17 |
| | 338 | 04/08/2012 | -20.43 | -20.43 | -22.31 | -22.31 |
| | 340 | 06/08/2012 | -20.52 | -20.52 | -22.41 | -22.42 |
| fondazione parziale TE-S02 | 349 | 15/08/2012 | -20.91 | -20.91 | -22.85 | -22.85 |
| | 352 | 18/08/2012 | -21.03 | -21.03 | -22.97 | -22.97 |
| | 354 | 20/08/2012 | -21.10 | -21.10 | -23.05 | -23.05 |
| zavorra definitiva TE-S02 | 366 | 01/09/2012 | -21.37 | -21.37 | -23.34 | -23.34 |
| zavorra definitiva TB-A01/TB-A02 | 373 | 08/09/2012 | -22.69 | -22.68 | -23.45 | -23.46 |
| zavorra definitiva TB-A03/TB-A04 | 380 | 15/09/2012 | -25.77 | -25.77 | -27.54 | -27.54 |
| zavorra definitiva TB-A05/TB-A06 | 387 | 22/09/2012 | -26.71 | -26.70 | -28.61 | -28.62 |
| zavorra definitiva TB-A07 | 395 | 30/09/2012 | -26.80 | -26.79 | -28.71 | -28.72 |
| Fine realizzazione barriera + edifici + paratoie | 517 | 30/01/2013 | -33.00 | -32.98 | -34.86 | -34.88 |
| 1 anno da fine barriera | 882 | 30/01/2014 | -34.26 | -34.24 | -36.12 | -36.14 |
| 5 anni da fine barriera | 2343 | 30/01/2018 | -37.03 | -37.01 | -38.88 | -38.90 |
| 10 anni da fine barriera | 4169 | 30/01/2023 | -39.05 | -39.04 | -40.91 | -40.92 |
| 30 anni da fine barriera | 11474 | 30/01/2043 | -43.64 | -43.62 | -45.49 | -45.51 |
| 50 anni da fine barriera | 18779 | 30/01/2063 | -47.17 | -47.16 | -49.02 | -49.04 |
| 100 anni da fine barriera | 37406 | 30/01/2114 | -54.27 | -54.25 | -56.12 | -56.14 |

Tabella A.12: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia TB-A02 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

| Fase | Tempo (gg) da inizio posa | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Fase di posa-livellazione su pin | | 01/09/2011 | | | | |
| Fondazione parziale TO-S01 | | 01/09/2011 | | | | |
| zavorra definitiva su TO-S01 | 7 | 08/09/2011 | | | | |
| Tempo per la costruzione dell'edificio, fino alla posa del cassone TB-A01 | 151 | 30/01/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A01 | 243 | 01/05/2012 | | | | |
| | 244 | 02/05/2012 | | | | |
| | 245 | 03/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A02 | 257 | 15/05/2012 | | | | |
| | 259 | 17/05/2012 | | | | |
| | 261 | 19/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A03 | 274 | 01/06/2012 | -10.00 | -10.00 | -10.00 | -10.00 |
| | 277 | 04/06/2012 | -12.11 | -12.11 | -11.95 | -11.95 |
| | 279 | 06/06/2012 | -13.59 | -13.58 | -13.34 | -13.34 |
| fondazione parziale TB-A04 | 288 | 15/06/2012 | -15.81 | -15.81 | -15.34 | -15.34 |
| | 291 | 18/06/2012 | -16.15 | -16.15 | -16.43 | -16.44 |
| | 293 | 20/06/2012 | -16.35 | -16.35 | -17.15 | -17.15 |
| fondazione parziale TB-A05 | 304 | 01/07/2012 | -17.42 | -17.42 | -18.60 | -18.60 |
| | 307 | 04/07/2012 | -17.72 | -17.72 | -18.99 | -18.99 |
| | 309 | 06/07/2012 | -17.91 | -17.91 | -19.23 | -19.23 |
| fondazione parziale TB-A06 | 318 | 15/07/2012 | -18.87 | -18.86 | -20.29 | -20.30 |
| | 321 | 18/07/2012 | -19.11 | -19.10 | -20.56 | -20.56 |
| | 323 | 20/07/2012 | -19.26 | -19.26 | -20.73 | -20.74 |
| fondazione parziale TB-A07 | 335 | 01/08/2012 | -19.97 | -19.97 | -21.51 | -21.51 |
| | 338 | 04/08/2012 | -20.17 | -20.16 | -21.72 | -21.72 |
| | 340 | 06/08/2012 | -20.29 | -20.29 | -21.86 | -21.86 |
| fondazione parziale TE-S02 | 349 | 15/08/2012 | -20.88 | -20.88 | -22.50 | -22.50 |
| | 352 | 18/08/2012 | -21.04 | -21.04 | -22.67 | -22.67 |
| | 354 | 20/08/2012 | -21.15 | -21.15 | -22.79 | -22.79 |
| zavorra definitiva TE-S02 | 366 | 01/09/2012 | -21.55 | -21.55 | -23.22 | -23.22 |
| zavorra definitiva TB-A01/TB-A02 | 373 | 08/09/2012 | -21.98 | -21.98 | -23.61 | -23.62 |
| zavorra definitiva TB-A03/TB-A04 | 380 | 15/09/2012 | -26.26 | -26.26 | -26.69 | -26.70 |
| zavorra definitiva TB-A05/TB-A06 | 387 | 22/09/2012 | -27.21 | -27.21 | -28.66 | -28.66 |
| zavorra definitiva TB-A07 | 395 | 30/09/2012 | -27.31 | -27.31 | -28.78 | -28.79 |
| Fine realizzazione barriera + edifici + paratole | 517 | 30/01/2013 | -34.95 | -34.94 | -36.53 | -36.54 |
| 1 anno da fine barriera | 882 | 30/01/2014 | -37.09 | -37.08 | -38.68 | -38.69 |
| 5 anni da fine barriera | 2343 | 30/01/2018 | -41.54 | -41.54 | -43.13 | -43.13 |
| 10 anni da fine barriera | 4169 | 30/01/2023 | -44.53 | -44.52 | -46.11 | -46.12 |
| 30 anni da fine barriera | 11474 | 30/01/2043 | -50.45 | -50.44 | -52.03 | -52.04 |
| 50 anni da fine barriera | 18779 | 30/01/2063 | -54.51 | -54.51 | -56.10 | -56.10 |
| 100 anni da fine barriera | 37406 | 30/01/2114 | -62.09 | -62.10 | -63.69 | -63.69 |

Tabella A.13: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia TB-A03 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

| Fase | Tempo (gg) da inizio posa | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Fase di posa-livellazione su pin | | 01/09/2011 | | | | |
| Fondazione parziale TO-S01 | | 01/09/2011 | | | | |
| zavorra definitiva su TO-S01 | 7 | 08/09/2011 | | | | |
| Tempo per la costruzione dell'edificio, fino alla posa del cassone TB-A01 | 151 | 30/01/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A01 | 243 | 01/05/2012 | | | | |
| | 244 | 02/05/2012 | | | | |
| | 245 | 03/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A02 | 257 | 15/05/2012 | | | | |
| | 259 | 17/05/2012 | | | | |
| | 261 | 19/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A03 | 274 | 01/06/2012 | | | | |
| | 277 | 04/06/2012 | | | | |
| | 279 | 06/06/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A04 | 288 | 15/06/2012 | -10.00 | -10.00 | -10.00 | -10.00 |
| | 291 | 18/06/2012 | -12.12 | -12.12 | -12.13 | -12.13 |
| | 293 | 20/06/2012 | -13.54 | -13.54 | -13.54 | -13.54 |
| fondazione parziale TB-A05 | 304 | 01/07/2012 | -15.40 | -15.40 | -15.19 | -15.19 |
| | 307 | 04/07/2012 | -15.69 | -15.69 | -16.29 | -16.28 |
| | 309 | 06/07/2012 | -15.87 | -15.87 | -16.97 | -16.96 |
| fondazione parziale TB-A06 | 318 | 15/07/2012 | -16.95 | -16.95 | -18.31 | -18.31 |
| | 321 | 18/07/2012 | -17.21 | -17.21 | -18.65 | -18.65 |
| | 323 | 20/07/2012 | -17.37 | -17.37 | -18.86 | -18.87 |
| fondazione parziale TB-A07 | 335 | 01/08/2012 | -18.14 | -18.14 | -19.73 | -19.73 |
| | 338 | 04/08/2012 | -18.35 | -18.35 | -19.97 | -19.97 |
| | 340 | 06/08/2012 | -18.49 | -18.48 | -20.13 | -20.13 |
| fondazione parziale TE-S02 | 349 | 15/08/2012 | -19.12 | -19.11 | -20.82 | -20.82 |
| | 352 | 18/08/2012 | -19.29 | -19.29 | -21.01 | -21.01 |
| | 354 | 20/08/2012 | -19.39 | -19.39 | -21.13 | -21.13 |
| zavorra definitiva TE-S02 | 366 | 01/09/2012 | -19.82 | -19.81 | -21.60 | -21.60 |
| zavorra definitiva TB-A01/TB-A02 | 373 | 08/09/2012 | -20.21 | -20.20 | -22.01 | -22.01 |
| zavorra definitiva TB-A03/TB-A04 | 380 | 15/09/2012 | -21.56 | -21.56 | -22.26 | -22.26 |
| zavorra definitiva TB-A05/TB-A06 | 387 | 22/09/2012 | -24.67 | -24.67 | -26.39 | -26.40 |
| zavorra definitiva TB-A07 | 395 | 30/09/2012 | -24.80 | -24.80 | -26.56 | -26.57 |
| Fine realizzazione barriera + edifici + paratoie | 517 | 30/01/2013 | -32.16 | -32.16 | -34.13 | -34.14 |
| 1 anno da fine barriera | 882 | 30/01/2014 | -33.76 | -33.76 | -35.73 | -35.74 |
| 5 anni da fine barriera | 2343 | 30/01/2018 | -37.25 | -37.25 | -39.22 | -39.24 |
| 10 anni da fine barriera | 4169 | 30/01/2023 | -39.75 | -39.75 | -41.73 | -41.74 |
| 30 anni da fine barriera | 11474 | 30/01/2043 | -45.09 | -45.09 | -47.06 | -47.08 |
| 50 anni da fine barriera | 18779 | 30/01/2063 | -48.96 | -48.95 | -50.93 | -50.94 |
| 100 anni da fine barriera | 37406 | 30/01/2114 | -56.37 | -56.36 | -58.34 | -58.35 |

Tabella A.14: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia TB-A04 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

| Fase | Tempo (gg) da inizio posa | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Fase di posa-livellazione su pin | | 01/09/2011 | | | | |
| Fondazione parziale TO-S01 | | 01/09/2011 | | | | |
| zavorra definitiva su TO-S01 | 7 | 08/09/2011 | | | | |
| Tempo per la costruzione dell'edificio, fino alla posa del cassone TB-A01 | 151 | 30/01/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A01 | 243 | 01/05/2012 | | | | |
| | 244 | 02/05/2012 | | | | |
| | 245 | 03/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A02 | 257 | 15/05/2012 | | | | |
| | 259 | 17/05/2012 | | | | |
| | 261 | 19/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A03 | 274 | 01/06/2012 | | | | |
| | 277 | 04/06/2012 | | | | |
| | 279 | 06/06/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A04 | 288 | 15/06/2012 | | | | |
| | 291 | 18/06/2012 | | | | |
| | 293 | 20/06/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A05 | 304 | 01/07/2012 | -10.00 | -10.00 | -10.00 | -10.00 |
| | 307 | 04/07/2012 | -12.15 | -12.15 | -12.07 | -12.07 |
| | 309 | 06/07/2012 | -13.59 | -13.59 | -13.46 | -13.46 |
| fondazione parziale TB-A06 | 318 | 15/07/2012 | -15.52 | -15.52 | -15.16 | -15.15 |
| | 321 | 18/07/2012 | -15.80 | -15.80 | -16.25 | -16.24 |
| | 323 | 20/07/2012 | -15.98 | -15.99 | -16.92 | -16.92 |
| fondazione parziale TB-A07 | 335 | 01/08/2012 | -16.90 | -16.90 | -18.10 | -18.09 |
| | 338 | 04/08/2012 | -17.14 | -17.15 | -18.44 | -18.44 |
| | 340 | 06/08/2012 | -17.31 | -17.32 | -18.66 | -18.66 |
| fondazione parziale TE-S02 | 349 | 15/08/2012 | -18.02 | -18.03 | -19.48 | -19.48 |
| | 352 | 18/08/2012 | -18.22 | -18.22 | -19.71 | -19.70 |
| | 354 | 20/08/2012 | -18.36 | -18.36 | -19.86 | -19.86 |
| zavorra definitiva TE-S02 | 366 | 01/09/2012 | -18.81 | -18.81 | -20.37 | -20.37 |
| zavorra definitiva TB-A01/TB-A02 | 373 | 08/09/2012 | -19.22 | -19.22 | -20.84 | -20.83 |
| zavorra definitiva TB-A03/TB-A04 | 380 | 15/09/2012 | -19.68 | -19.68 | -21.26 | -21.25 |
| zavorra definitiva TB-A05/TB-A06 | 387 | 22/09/2012 | -23.77 | -23.77 | -24.31 | -24.31 |
| zavorra definitiva TB-A07 | 395 | 30/09/2012 | -23.89 | -23.89 | -24.81 | -24.81 |
| Fine realizzazione barriera + edifici + paratoie | 517 | 30/01/2013 | -30.72 | -30.72 | -32.15 | -32.15 |
| 1 anno da fine barriera | 882 | 30/01/2014 | -32.04 | -32.04 | -33.47 | -33.47 |
| 5 anni da fine barriera | 2343 | 30/01/2018 | -34.92 | -34.92 | -36.35 | -36.35 |
| 10 anni da fine barriera | 4169 | 30/01/2023 | -37.03 | -37.03 | -38.47 | -38.46 |
| 30 anni da fine barriera | 11474 | 30/01/2043 | -41.88 | -41.89 | -43.32 | -43.31 |
| 50 anni da fine barriera | 18779 | 30/01/2063 | -45.70 | -45.70 | -47.14 | -47.13 |
| 100 anni da fine barriera | 37406 | 30/01/2114 | -53.50 | -53.50 | -54.93 | -54.93 |

Tabella A.15: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia TB-A05 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

| Fase | Tempo (gg) da inizio posa | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Fase di posa-livellazione su pin | | 01/09/2011 | | | | |
| Fondazione parziale TO-S01 | | 01/09/2011 | | | | |
| zavorra definitiva su TO-S01 | 7 | 08/09/2011 | | | | |
| Tempo per la costruzione dell'edificio, fino alla posa del cassone TB-A01 | 151 | 30/01/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A01 | 243 | 01/05/2012 | | | | |
| | 244 | 02/05/2012 | | | | |
| | 245 | 03/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A02 | 257 | 15/05/2012 | | | | |
| | 259 | 17/05/2012 | | | | |
| | 261 | 19/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A03 | 274 | 01/06/2012 | | | | |
| | 277 | 04/06/2012 | | | | |
| | 279 | 06/06/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A04 | 288 | 15/06/2012 | | | | |
| | 291 | 18/06/2012 | | | | |
| | 293 | 20/06/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A05 | 304 | 01/07/2012 | | | | |
| | 307 | 04/07/2012 | | | | |
| | 309 | 06/07/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A06 | 318 | 15/07/2012 | -10.00 | -10.00 | -10.00 | -10.00 |
| | 321 | 18/07/2012 | -11.75 | -11.75 | -11.66 | -11.66 |
| | 323 | 20/07/2012 | -13.01 | -13.01 | -12.87 | -12.87 |
| fondazione parziale TB-A07 | 335 | 01/08/2012 | -14.91 | -14.91 | -14.54 | -14.54 |
| | 338 | 04/08/2012 | -15.20 | -15.21 | -15.51 | -15.51 |
| | 340 | 06/08/2012 | -15.38 | -15.38 | -16.15 | -16.15 |
| fondazione parziale TE-S02 | 349 | 15/08/2012 | -16.20 | -16.21 | -17.39 | -17.39 |
| | 352 | 18/08/2012 | -16.42 | -16.42 | -17.70 | -17.71 |
| | 354 | 20/08/2012 | -16.57 | -16.56 | -17.91 | -17.91 |
| zavorra definitiva TE-S02 | 366 | 01/09/2012 | -17.08 | -17.08 | -18.52 | -18.53 |
| zavorra definitiva TB-A01/TB-A02 | 373 | 08/09/2012 | -17.52 | -17.52 | -19.04 | -19.05 |
| zavorra definitiva TB-A03/TB-A04 | 380 | 15/09/2012 | -17.95 | -17.94 | -19.51 | -19.52 |
| zavorra definitiva TB-A05/TB-A06 | 387 | 22/09/2012 | -19.27 | -19.27 | -19.78 | -19.78 |
| zavorra definitiva TB-A07 | 395 | 30/09/2012 | -20.00 | -20.00 | -20.79 | -20.79 |
| Fine realizzazione barriera + edifici + paratoie | 517 | 30/01/2013 | -27.41 | -27.40 | -28.92 | -28.92 |
| 1 anno da fine barriera | 882 | 30/01/2014 | -28.19 | -28.18 | -29.71 | -29.71 |
| 5 anni da fine barriera | 2343 | 30/01/2018 | -30.00 | -29.99 | -31.53 | -31.53 |
| 10 anni da fine barriera | 4169 | 30/01/2023 | -31.41 | -31.40 | -32.94 | -32.94 |
| 30 anni da fine barriera | 11474 | 30/01/2043 | -34.66 | -34.65 | -36.20 | -36.20 |
| 50 anni da fine barriera | 18779 | 30/01/2063 | -37.18 | -37.17 | -38.72 | -38.72 |
| 100 anni da fine barriera | 37406 | 30/01/2114 | -42.23 | -42.22 | -43.77 | -43.77 |

Tabella A.16: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia TB-A06 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

| Fase | Tempo (gg) da inizio posa | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Fase di posa-livellazione su pin | | 01/09/2011 | | | | |
| Fondazione parziale TO-S01 | | 01/09/2011 | | | | |
| zavorra definitiva su TO-S01 | 7 | 08/09/2011 | | | | |
| Tempo per la costruzione dell'edificio, fino alla posa del cassone TB-A01 | 151 | 30/01/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A01 | 243 | 01/05/2012 | | | | |
| | 244 | 02/05/2012 | | | | |
| | 245 | 03/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A02 | 257 | 15/05/2012 | | | | |
| | 259 | 17/05/2012 | | | | |
| | 261 | 19/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A03 | 274 | 01/06/2012 | | | | |
| | 277 | 04/06/2012 | | | | |
| | 279 | 06/06/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A04 | 288 | 15/06/2012 | | | | |
| | 291 | 18/06/2012 | | | | |
| | 293 | 20/06/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A05 | 304 | 01/07/2012 | | | | |
| | 307 | 04/07/2012 | | | | |
| | 309 | 06/07/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A06 | 318 | 15/07/2012 | | | | |
| | 321 | 18/07/2012 | | | | |
| | 323 | 20/07/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A07 | 335 | 01/08/2012 | -10.00 | -10.00 | -10.00 | -10.00 |
| | 338 | 04/08/2012 | -12.05 | -11.99 | -11.84 | -11.90 |
| | 340 | 06/08/2012 | -13.46 | -13.36 | -13.12 | -13.22 |
| fondazione parziale TE-S02 | 349 | 15/08/2012 | -15.69 | -15.40 | -14.77 | -15.05 |
| | 352 | 18/08/2012 | -16.14 | -15.35 | -16.62 | -17.40 |
| | 354 | 20/08/2012 | -16.39 | -15.09 | -18.28 | -19.58 |
| zavorra definitiva TE-S02 | 366 | 01/09/2012 | -17.23 | -15.09 | -20.11 | -22.26 |
| zavorra definitiva TB-A01/TB-A02 | 373 | 08/09/2012 | -17.92 | -15.26 | -21.32 | -23.99 |
| zavorra definitiva TB-A03/TB-A04 | 380 | 15/09/2012 | -18.52 | -15.47 | -22.30 | -25.34 |
| zavorra definitiva TB-A05/TB-A06 | 387 | 22/09/2012 | -19.12 | -15.76 | -23.13 | -26.49 |
| zavorra definitiva TB-A07 | 395 | 30/09/2012 | -20.30 | -16.90 | -23.98 | -27.38 |
| Fine realizzazione barriera + edifici + paratoie | 517 | 30/01/2013 | -30.06 | -24.72 | -36.35 | -41.68 |
| 1 anno da fine barriera | 882 | 30/01/2014 | -32.75 | -26.57 | -37.66 | -43.84 |
| 5 anni da fine barriera | 2343 | 30/01/2018 | -38.36 | -30.57 | -40.54 | -48.31 |
| 10 anni da fine barriera | 4169 | 30/01/2023 | -42.13 | -33.41 | -42.67 | -51.39 |
| 30 anni da fine barriera | 11474 | 30/01/2043 | -49.61 | -39.46 | -47.60 | -57.75 |
| 50 anni da fine barriera | 18779 | 30/01/2063 | -54.71 | -43.89 | -51.50 | -62.32 |
| 100 anni da fine barriera | 37406 | 30/01/2114 | -64.15 | -52.54 | -59.52 | -71.12 |

Tabella A.17: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia TB-A07 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

| Fase | Tempo (gg) da inizio posa | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|------------------------------|------------|--------|--------|--------|--------|
| Fase di posa-livellazione su pin | | 01/09/2011 | | | | |
| Fondazione parziale TO-S01 | | 01/09/2011 | | | | |
| zavorra definitiva su TO-S01 | 7 | 08/09/2011 | | | | |
| Tempo per la costruzione dell'edificio, fino alla posa del cassone TB-A01 | 151 | 30/01/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A01 | 243 | 01/05/2012 | | | | |
| | 244 | 02/05/2012 | | | | |
| | 245 | 03/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A02 | 257 | 15/05/2012 | | | | |
| | 259 | 17/05/2012 | | | | |
| | 261 | 19/05/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A03 | 274 | 01/06/2012 | | | | |
| | 277 | 04/06/2012 | | | | |
| | 279 | 06/06/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A04 | 288 | 15/06/2012 | | | | |
| | 291 | 18/06/2012 | | | | |
| | 293 | 20/06/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A05 | 304 | 01/07/2012 | | | | |
| | 307 | 04/07/2012 | | | | |
| | 309 | 06/07/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A06 | 318 | 15/07/2012 | | | | |
| | 321 | 18/07/2012 | | | | |
| | 323 | 20/07/2012 | | | | |
| fondazione parziale TB-A07 | 335 | 01/08/2012 | | | | |
| | 338 | 04/08/2012 | | | | |
| | 340 | 06/08/2012 | | | | |
| fondazione parziale TE-S02 | 349 | 15/08/2012 | -14.00 | -14.00 | -14.00 | -14.00 |
| | 352 | 18/08/2012 | -17.44 | -17.37 | -17.19 | -17.27 |
| | 354 | 20/08/2012 | -21.19 | -21.04 | -20.72 | -20.88 |
| zavorra definitiva TE-S02 | 366 | 01/09/2012 | -27.06 | -27.36 | -26.55 | -26.25 |
| zavorra definitiva TB-A01/TB-A02 | 373 | 08/09/2012 | -30.34 | -30.97 | -29.80 | -29.17 |
| zavorra definitiva TB-A03/TB-A04 | 380 | 15/09/2012 | -32.80 | -33.69 | -32.24 | -31.34 |
| zavorra definitiva TB-A05/TB-A06 | 387 | 22/09/2012 | -34.81 | -35.96 | -34.26 | -33.12 |
| zavorra definitiva TB-A07 | 395 | 30/09/2012 | -35.32 | -36.58 | -34.71 | -33.45 |
| Fine realizzazione barriera + edifici + paratoie | 517 | 30/01/2013 | -52.83 | -57.12 | -55.07 | -50.77 |
| 1 anno da fine barriera | 882 | 30/01/2014 | -55.55 | -61.00 | -57.79 | -52.34 |
| 5 anni da fine barriera | 2343 | 30/01/2018 | -60.50 | -68.05 | -62.75 | -55.18 |
| 10 anni da fine barriera | 4169 | 30/01/2023 | -63.37 | -72.11 | -65.61 | -56.86 |
| 30 anni da fine barriera | 11474 | 30/01/2043 | -67.82 | -78.34 | -70.06 | -59.52 |
| 50 anni da fine barriera | 18779 | 30/01/2063 | -69.95 | -81.30 | -72.19 | -60.83 |
| 100 anni da fine barriera | 37406 | 30/01/2114 | -72.50 | -84.83 | -74.74 | -62.40 |

Tabella A.18: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di spalla Est TE-S02 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

A3 – Stratigrafia post-costruzione

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -15.05 | -16.40 | 1.35 | 19.00 | 0.20 | 30 | 33 | - |
| pali | -16.40 | -35.40 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -35.40 | -37.00 | 1.60 | 19.00 | 0.35 | 16 | 26 | 1.0E-03 |
| E' | -37.00 | -39.50 | 2.50 | 19.00 | 0.35 | 41 | 66 | 5.0E-04 |
| E | -39.50 | -40.50 | 1.00 | 18.50 | 0.30 | 50 | 67 | 2.5E-04 |
| E' | -40.50 | -45.50 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 22 | 35 | 5.0E-04 |
| E' | -45.50 | -46.00 | 0.50 | 19.00 | 0.35 | 22 | 35 | 5.0E-04 |
| torba | -46.00 | -47.00 | 1.00 | 15.00 | 0.40 | 3 | 7 | 3.0E-03 |
| E' | -47.00 | -49.00 | 2.00 | 19.00 | 0.35 | 50 | 80 | 5.0E-04 |
| E' | -49.00 | -53.00 | 4.00 | 19.00 | 0.35 | 55 | 88 | 5.0E-04 |
| E | -53.00 | -58.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 95 | 128 | 5.0E-04 |
| E | -58.00 | -63.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 95 | 128 | 5.0E-04 |
| E | -63.00 | -70.00 | 7.00 | 18.50 | 0.30 | 95 | 128 | 5.0E-04 |
| E' | -70.00 | -73.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 95 | 152 | 5.0E-04 |
| F | -73.00 | -88.00 | 15.00 | 19.50 | 0.35 | 60 | 96 | 1.0E-03 |
| G | -88.00 | -101.00 | 13.00 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | 2.5E-04 |
| H | -101.00 | -104.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 100 | 160 | 1.0E-03 |
| H | -104.00 | -110.00 | 6.00 | 19.00 | 0.35 | 28 | 45 | 2.5E-04 |
| H | -110.00 | -120.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 100 | 160 | 1.0E-03 |

Tabella A.19: Stratigrafia relativa al cassone di spalla Ovest TO-S01 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -15.05 | -16.40 | 1.35 | 19.00 | 0.20 | 30 | 33 | - |
| pali | -16.40 | -35.40 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -35.40 | -37.00 | 1.60 | 19.00 | 0.35 | 12 | 20 | 2.0E-03 |
| E | -37.00 | -40.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 60 | 81 | 1.0E-03 |
| E | -40.00 | -45.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 65 | 88 | 2.5E-04 |
| E | -45.00 | -48.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 65 | 88 | 2.5E-04 |
| E' | -48.00 | -52.00 | 4.00 | 19.00 | 0.35 | 19 | 30 | 2.0E-03 |
| E | -52.00 | -57.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -57.00 | -58.00 | 1.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -58.00 | -60.00 | 2.00 | 18.50 | 0.30 | 60 | 81 | 2.0E-03 |
| E | -60.00 | -65.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 110 | 148 | 2.5E-04 |
| E | -65.00 | -68.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 110 | 148 | 2.5E-04 |
| E' | -68.00 | -73.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| E' | -73.00 | -76.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| F | -76.00 | -86.00 | 10.00 | 19.50 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| G | -86.00 | -92.00 | 6.00 | 18.50 | 0.30 | 170 | 229 | 2.5E-04 |

Tabella A.20: Stratigrafia relativa al cassone di soglia TB-A01 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -15.05 | -16.40 | 1.35 | 19.00 | 0.20 | 30 | 33 | - |
| pali | -16.40 | -35.40 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -35.40 | -37.00 | 1.60 | 19.00 | 0.35 | 16 | 25 | 1.5E-03 |
| E' | -37.00 | -39.00 | 2.00 | 19.00 | 0.35 | 19 | 30 | 1.5E-03 |
| E | -39.00 | -44.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 60 | 81 | 2.5E-04 |
| E | -44.00 | -46.00 | 2.00 | 18.50 | 0.30 | 60 | 81 | 2.5E-04 |
| E' | -46.00 | -47.00 | 1.00 | 19.00 | 0.35 | 4 | 7 | 3.0E-03 |
| E' | -47.00 | -52.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 65 | 104 | 1.0E-03 |
| E' | -52.00 | -57.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 65 | 104 | 1.0E-03 |
| E' | -57.00 | -60.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 65 | 104 | 1.0E-03 |
| E | -60.00 | -65.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 7.5E-04 |
| E | -65.00 | -68.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 7.5E-04 |
| E' | -68.00 | -73.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| E' | -73.00 | -75.00 | 2.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| F | -75.00 | -86.00 | 11.00 | 19.50 | 0.35 | 25 | 40 | 1.0E-03 |
| G | -86.00 | -92.00 | 6.00 | 18.50 | 0.30 | 170 | 229 | 2.5E-04 |
| H | -92.00 | -100.00 | 8.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |
| H | -100.00 | -110.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 180 | 289 | 2.5E-04 |
| H | -110.00 | -120.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 34 | 55 | 1.0E-03 |

Tabella A.21: Stratigrafia relativa al cassone di soglia TB-A02 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -15.05 | -16.40 | 1.35 | 19.00 | 0.20 | 30 | 33 | - |
| pali | -16.40 | -35.40 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -35.40 | -37.00 | 1.60 | 19.00 | 0.35 | 16 | 25 | 2.0E-03 |
| E' | -37.00 | -42.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 19 | 30 | 2.0E-03 |
| E | -42.00 | -47.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 60 | 81 | 2.5E-04 |
| torba | -47.00 | -48.00 | 1.00 | 19.00 | 0.35 | 4 | 7 | 3.0E-03 |
| E' | -48.00 | -53.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 65 | 104 | 7.5E-04 |
| E' | -53.00 | -58.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 65 | 104 | 7.5E-04 |
| E' | -58.00 | -60.00 | 2.00 | 19.00 | 0.35 | 65 | 104 | 7.5E-04 |
| E | -60.00 | -65.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 7.5E-04 |
| E | -65.00 | -68.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 7.5E-04 |
| E' | -68.00 | -73.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| E' | -73.00 | -75.00 | 2.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| F | -75.00 | -86.00 | 11.00 | 19.50 | 0.35 | 25 | 40 | 1.0E-03 |
| G | -86.00 | -92.00 | 6.00 | 18.50 | 0.30 | 170 | 229 | 2.5E-04 |
| H | -92.00 | -100.00 | 8.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |
| H | -100.00 | -110.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 180 | 289 | 2.5E-04 |
| H | -110.00 | -120.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 34 | 55 | 1.0E-03 |

Tabella A.22: Stratigrafia relativa al cassone di soglia TB-A03 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -15.05 | -16.40 | 1.35 | 19.00 | 0.20 | 30 | 33 | - |
| pali | -16.40 | -35.40 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -35.40 | -38.00 | 2.60 | 19.00 | 0.35 | 14 | 22 | 1.0E-03 |
| E' | -38.00 | -41.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 22 | 35 | 1.5E-03 |
| E | -41.00 | -46.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 120 | 162 | 2.5E-04 |
| E | -46.00 | -47.00 | 1.00 | 18.50 | 0.30 | 120 | 162 | 2.5E-04 |
| torba | -47.00 | -48.00 | 1.00 | 15.00 | 0.40 | 3 | 7 | 3.0E-03 |
| E' | -48.00 | -53.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 16 | 25 | 2.0E-03 |
| E' | -53.00 | -54.00 | 1.00 | 19.00 | 0.35 | 16 | 25 | 2.0E-03 |
| E' | -54.00 | -59.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 90 | 144 | 1.0E-03 |
| torba | -59.00 | -60.00 | 1.00 | 15.00 | 0.40 | 2 | 4 | 3.0E-03 |
| E | -60.00 | -65.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -65.00 | -68.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E' | -68.00 | -73.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 90 | 144 | 1.0E-03 |
| E' | -73.00 | -75.00 | 2.00 | 19.00 | 0.35 | 90 | 144 | 1.0E-03 |
| F | -75.00 | -79.00 | 4.00 | 19.50 | 0.35 | 25 | 40 | 1.0E-03 |
| F | -79.00 | -81.00 | 2.00 | 19.50 | 0.35 | 140 | 225 | 2.5E-04 |
| F | -81.00 | -85.00 | 4.00 | 19.50 | 0.35 | 28 | 45 | 1.0E-03 |
| G | -85.00 | -88.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 90 | 121 | 1.0E-03 |
| G | -88.00 | -92.00 | 4.00 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 2.5E-04 |
| H | -92.00 | -95.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 110 | 177 | 1.0E-03 |
| H | -95.00 | -110.00 | 15.00 | 19.00 | 0.35 | 170 | 273 | 2.5E-04 |
| H | -110.00 | -120.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |

Tabella A.23: Stratigrafia relativa al cassone di soglia TB-A04 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -15.05 | -16.40 | 1.35 | 19.00 | 0.20 | 30 | 33 | - |
| pali | -16.40 | -35.40 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -35.40 | -36.50 | 1.10 | 19.00 | 0.35 | 12 | 20 | 1.5E-03 |
| E | -36.50 | -38.00 | 1.50 | 18.50 | 0.30 | 90 | 121 | 2.5E-04 |
| E' | -38.00 | -39.00 | 1.00 | 19.00 | 0.35 | 19 | 30 | 1.5E-03 |
| E' | -39.00 | -42.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 65 | 104 | 1.0E-03 |
| E | -42.00 | -47.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| torba | -47.00 | -48.00 | 1.00 | 15.00 | 0.40 | 3 | 7 | 3.0E-03 |
| E' | -48.00 | -50.00 | 2.00 | 19.00 | 0.35 | 70 | 112 | 1.0E-03 |
| E' | -50.00 | -54.00 | 4.00 | 19.00 | 0.35 | 75 | 120 | 1.0E-03 |
| E' | -54.00 | -59.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 90 | 144 | 1.0E-03 |
| torba | -59.00 | -60.00 | 1.00 | 15.00 | 0.40 | 2 | 4 | 3.0E-03 |
| E | -60.00 | -65.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -65.00 | -68.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E' | -68.00 | -73.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 90 | 144 | 1.0E-03 |
| E' | -73.00 | -75.00 | 2.00 | 19.00 | 0.35 | 90 | 144 | 1.0E-03 |
| F | -75.00 | -79.00 | 4.00 | 19.50 | 0.35 | 25 | 40 | 1.0E-03 |
| F | -79.00 | -81.00 | 2.00 | 19.50 | 0.35 | 140 | 225 | 2.5E-04 |
| F | -81.00 | -85.00 | 4.00 | 19.50 | 0.35 | 28 | 45 | 1.0E-03 |
| G | -85.00 | -88.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 90 | 121 | 1.0E-03 |
| G | -88.00 | -92.00 | 4.00 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 2.5E-04 |
| H | -92.00 | -95.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 110 | 177 | 1.0E-03 |
| H | -95.00 | -110.00 | 15.00 | 19.00 | 0.35 | 170 | 273 | 2.5E-04 |
| H | -110.00 | -120.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |

Tabella A.24: Stratigrafia relativa al cassone di soglia TB-A05 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -15.05 | -16.40 | 1.35 | 19.00 | 0.20 | 30 | 33 | - |
| pali | -16.40 | -35.40 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -35.40 | -38.00 | 2.60 | 19.00 | 0.35 | 50 | 80 | 1.5E-03 |
| E' | -38.00 | -43.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 22 | 35 | 1.5E-03 |
| E | -43.00 | -46.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 70 | 94 | 1.0E-03 |
| torba | -46.00 | -47.00 | 1.00 | 15.00 | 0.40 | 0 | 1 | 5.0E-03 |
| E' | -47.00 | -51.00 | 4.00 | 19.00 | 0.35 | 12 | 20 | 2.0E-03 |
| E' | -51.00 | -54.50 | 3.50 | 19.00 | 0.35 | 90 | 144 | 2.5E-04 |
| E' | -54.50 | -55.50 | 1.00 | 19.00 | 0.35 | 19 | 30 | 1.5E-03 |
| E | -55.50 | -57.00 | 1.50 | 18.50 | 0.30 | 95 | 128 | 2.5E-04 |
| E' | -54.00 | -59.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 80 | 128 | 1.0E-03 |
| E' | -59.00 | -62.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 80 | 128 | 1.0E-03 |
| torba | -62.00 | -63.00 | 1.00 | 15.00 | 0.40 | 2 | 4 | 3.0E-03 |
| E | -63.00 | -68.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -68.00 | -68.50 | 0.50 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E' | -68.50 | -71.00 | 2.50 | 19.00 | 0.35 | 85 | 136 | 1.0E-03 |
| E | -71.00 | -72.00 | 1.00 | 18.50 | 0.30 | 110 | 148 | 2.5E-04 |
| E' | -72.00 | -75.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 90 | 144 | 1.0E-03 |
| F | -75.00 | -87.00 | 12.00 | 19.50 | 0.35 | 25 | 40 | 1.0E-03 |
| G | -87.00 | -98.00 | 11.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| H | -98.00 | -102.00 | 4.00 | 19.00 | 0.35 | 28 | 45 | 1.0E-03 |
| H | -102.00 | -110.00 | 8.00 | 19.00 | 0.35 | 100 | 160 | 2.5E-04 |
| H | -110.00 | -120.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |

Tabella A.25: Stratigrafia relativa al cassone di soglia TB-A06 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -15.05 | -16.40 | 1.35 | 19.00 | 0.20 | 30 | 33 | - |
| pali | -16.40 | -35.40 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -35.40 | -37.00 | 1.60 | 19.00 | 0.35 | 16 | 26 | 1.0E-03 |
| E | -37.00 | -39.00 | 2.00 | 18.50 | 0.30 | 40 | 54 | 5.0E-04 |
| E | -39.00 | -41.00 | 2.00 | 18.50 | 0.30 | 50 | 67 | 2.5E-04 |
| E' | -41.00 | -46.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 22 | 35 | 5.0E-04 |
| torba | -46.00 | -47.00 | 1.00 | 15.00 | 0.40 | 2 | 4 | 3.0E-03 |
| E | -47.00 | -48.00 | 1.00 | 18.50 | 0.30 | 60 | 81 | 2.5E-04 |
| E' | -48.00 | -49.00 | 1.00 | 19.00 | 0.35 | 7 | 12 | 1.5E-03 |
| E | -49.00 | -51.50 | 2.50 | 18.50 | 0.30 | 60 | 81 | 2.5E-04 |
| E' | -51.50 | -52.00 | 0.50 | 19.00 | 0.35 | 12 | 20 | 1.0E-03 |
| E | -52.00 | -57.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -57.00 | -62.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| torba | -62.00 | -63.00 | 1.00 | 15.00 | 0.40 | 2 | 4 | 3.0E-03 |
| E | -63.00 | -68.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -68.00 | -70.00 | 2.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E' | -70.00 | -71.50 | 1.50 | 19.00 | 0.35 | 16 | 25 | 1.0E-03 |
| E | -71.50 | -72.50 | 1.00 | 18.50 | 0.30 | 80 | 108 | 1.0E-03 |
| F | -72.50 | -87.00 | 14.50 | 19.50 | 0.35 | 25 | 40 | 1.0E-03 |
| G | -87.00 | -98.00 | 11.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| H | -98.00 | -102.00 | 4.00 | 19.00 | 0.35 | 28 | 45 | 1.0E-03 |
| H | -102.00 | -110.00 | 8.00 | 19.00 | 0.35 | 100 | 160 | 2.5E-04 |
| H | -110.00 | -120.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |
| H | -102.00 | -110.00 | 8.00 | 19.00 | 0.35 | 100 | 160 | 2.5E-04 |
| H | -110.00 | -120.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |

Tabella A.26: Stratigrafia relativa al cassone di soglia TB-A07 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -15.05 | -16.40 | 1.35 | 19.00 | 0.20 | 30 | 33 | - |
| pali | -16.40 | -35.40 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| torba | -35.40 | -36.00 | 0.60 | 15.00 | 0.40 | 1 | 3 | 3.0E-03 |
| D | -36.00 | -40.00 | 4.00 | 19.00 | 0.35 | 16 | 25 | 2.0E-03 |
| E | -40.00 | -45.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 85 | 114 | 2.5E-04 |
| E | -45.00 | -48.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 85 | 114 | 2.5E-04 |
| E' | -48.00 | -52.00 | 4.00 | 19.00 | 0.35 | 19 | 30 | 2.0E-03 |
| E | -52.00 | -57.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -57.00 | -58.00 | 1.00 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -58.00 | -60.00 | 2.00 | 18.50 | 0.30 | 60 | 81 | 2.0E-03 |
| E | -60.00 | -65.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 110 | 148 | 2.5E-04 |
| E | -65.00 | -68.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 110 | 148 | 2.5E-04 |
| E' | -68.00 | -73.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| E' | -73.00 | -76.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| F | -76.00 | -81.00 | 5.00 | 19.50 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| F | -81.00 | -86.00 | 5.00 | 19.50 | 0.35 | 25 | 40 | 2.5E-03 |
| G | -86.00 | -92.00 | 6.00 | 18.50 | 0.30 | 170 | 229 | 2.5E-04 |
| H | -92.00 | -100.00 | 8.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 2.0E-03 |
| H | -100.00 | -110.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 180 | 289 | 2.5E-04 |
| H | -110.00 | -120.00 | 10.00 | 19.00 | 0.35 | 34 | 55 | 2.0E-03 |

Tabella A.27: Stratigrafia relativa al cassone di spalla Est TE-S02 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

A4 – Carichi post-costruzione

| data | 17/05/2012 | 25/05/2012 | 04/06/2012 | 15/06/2012 | 25/06/2012 | 02/07/2012 | 10/07/2012 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 0 | 8 | 18 | 29 | 39 | 46 | 54 |
| TO-S01 | 49475 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 |
| TB-A01 | 0 | 0 | 0 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41528 | 41528 |
| TB-A03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TB-A04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TB-A05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TB-A06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TB-A07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TE-S02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| step | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

| data | 16/07/2012 | 25/07/2012 | 31/07/2012 | 08/08/2012 | 14/08/2012 | 22/08/2012 | 23/08/2012 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 60 | 69 | 75 | 83 | 89 | 97 | 98 |
| TO-S01 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 |
| TB-A01 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A02 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A03 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A04 | 0 | 0 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TB-A07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TE-S02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| step | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |

| data | 29/08/2012 | 06/09/2012 | 13/09/2012 | 21/09/2012 | 28/09/2012 | 12/10/2012 | 26/10/2012 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 104 | 112 | 119 | 127 | 134 | 148 | 162 |
| TO-S01 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 |
| TB-A01 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 79394 |
| TB-A02 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A03 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A04 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A05 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A06 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TB-A07 | 0 | 0 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TE-S02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32632 | 32632 | 32632 |
| step | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |

| data | 09/11/2012 | 12/11/2012 | 24/11/2012 | 14/12/2012 | 18/01/2013 | 21/01/2013 | 15/02/2013 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 176 | 179 | 191 | 211 | 246 | 249 | 274 |
| TO-S01 | 58976 | 58976 | 58976 | 58976 | 59301 | 59301 | 59301 |
| TB-A01 | 79394 | 79394 | 79394 | 79394 | 79394 | 79394 | 79394 |
| TB-A02 | 79233 | 79233 | 79233 | 79233 | 79233 | 79233 | 79233 |
| TB-A03 | 41528 | 41528 | 79303 | 79303 | 79303 | 79303 | 79303 |
| TB-A04 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 78743 | 78743 | 78743 |
| TB-A05 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 78407 | 78407 |
| TB-A06 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 78589 |
| TB-A07 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 | 41528 |
| TE-S02 | 32632 | 69867 | 69867 | 69867 | 69867 | 69867 | 69867 |
| step | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |

| data | 06/03/2013 | 28/05/2013 | 05/06/2013 | 05/06/2013 | 30/06/2013 | 15/02/2014 | 12/03/2014 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 293 | 376 | 384 | 384 | 409 | 639 | 664 |
| TO-S01 | 59301 | 59301 | 59301 | 80000 | 80000 | 93000 | 93000 |
| TB-A01 | 79394 | 79394 | 79394 | 79394 | 79394 | 79394 | 79394 |
| TB-A02 | 79233 | 79233 | 79233 | 79233 | 84213 | 84213 | 84933 |
| TB-A03 | 79303 | 79303 | 79303 | 79303 | 81013 | 84433 | 84433 |
| TB-A04 | 78743 | 78743 | 78743 | 78743 | 78743 | 80453 | 80453 |
| TB-A05 | 78407 | 78407 | 78407 | 78407 | 78407 | 78407 | 78407 |
| TB-A06 | 78589 | 78589 | 78589 | 78589 | 78589 | 78589 | 78589 |
| TB-A07 | 78673 | 78673 | 78673 | 78673 | 78673 | 78673 | 78673 |
| TE-S02 | 69867 | 69867 | 69867 | 69867 | 69867 | 80000 | 80000 |
| step | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |

| data | 30/06/2014 | 31/07/2014 | 31/08/2014 | 10/09/2014 | 25/03/2015 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 774 | 805 | 836 | 846 | 1042 |
| TO-S01 | 110298 | 110298 | 110298 | 110298 | 110298 |
| TB-A01 | 79394 | 82814 | 84524 | 84524 | 84524 |
| TB-A02 | 84933 | 84933 | 84933 | 84933 | 84933 |
| TB-A03 | 84433 | 84433 | 84433 | 84433 | 84433 |
| TB-A04 | 83873 | 83873 | 83873 | 83873 | 83873 |
| TB-A05 | 78407 | 83537 | 83537 | 83537 | 83537 |
| TB-A06 | 78589 | 83719 | 83719 | 83719 | 83719 |
| TB-A07 | 78673 | 82093 | 83803 | 83803 | 83803 |
| TE-S02 | 80000 | 105000 | 105000 | 116154 | 116154 |
| step | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |

Appendice B

B1 – Stratigrafia di progetto

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia | Argilla | ca |
|---------|-----------------------|---------|---|--------|----------|------|
| | da | a | | E | M | |
| | | | MPa | MPa | 1.00E-03 | |
| G | -23.00 | -24.20 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -24.20 | -43.20 | terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| D | -43.20 | -45.00 | coesivo con sabbia | - | 30 | I |
| E | -45.00 | -47.80 | sabbia limosa | 100 | - | 0.5 |
| E | -47.80 | -67.50 | sabbia | 130 | - | 0.25 |
| E' | -67.50 | -71.00 | limo argilloso con sabbia | - | 30 | 2 |
| E | -71.00 | -78.00 | sabbia | 140 | - | 0.25 |
| E | -78.00 | -81.50 | sabbia limosa | 150 | - | 0.5 |
| E | -81.50 | -83.00 | limo sabbioso | - | 30 | 2 |
| E | -83.00 | -84.20 | sabbia limosa | 160 | - | 0.5 |
| E | -84.20 | -85.80 | limo sabbioso | - | 30 | 1 |
| E | -85.80 | -86.50 | sabbia limosa | 170 | - | 0.5 |
| F | -86.50 | -95.30 | coesivo | - | 30 | 1 |
| F | -95.30 | -98.00 | coesivo con sabbia | - | 35 | 1 |
| G | -98.00 | -120.00 | sabbia | 250 | - | 0.25 |

Tabella B.1: Stratigrafia del cassone di spalla Sud CS-S01 della barriera di Chioggia utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia | Argilla | c α |
|---------|-----------------------|---------|--|--------|---------|------------|
| | da | a | | E | M | |
| | | | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -23.00 | -24.20 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -24.20 | -43.20 | terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| E | -43.20 | -45.50 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| E | -45.50 | -52.50 | sabbia | 110 | - | 0.25 |
| E | -52.50 | -56.20 | sabbia | 115 | - | 0.25 |
| E | -56.20 | -67.50 | sabbia | 150 | - | 0.25 |
| E' | -67.50 | -71.20 | argilla con limo con presenza di torba | - | 30 | 2 |
| E | -71.20 | -78.00 | sabbia | 160 | - | 0.25 |
| E | -78.00 | -86.50 | sabbia limosa | 150 | - | 0.5 |
| F | -86.50 | -98.00 | coesivo con sabbia | - | 30 | 1 |
| G | -98.00 | -120.00 | sabbia | 250 | - | 0.25 |

Tabella B.2: Stratigrafia del cassone di soglia CB-A01 della barriera di Chioggia utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia E | Argilla M | ca |
|---------|-----------------------|---------|---|----------|-----------|----------|
| | da | a | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -23.00 | -24.20 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -24.20 | -43.20 | terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| E | -43.20 | -47.00 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| E | -47.00 | -50.00 | sabbia | 105 | - | 0.25 |
| E | -50.00 | -52.10 | sabbia limosa | 105 | - | 0.5 |
| E | -52.10 | -63.50 | sabbia | 130 | - | 0.25 |
| E | -63.50 | -66.50 | sabbia limosa | 140 | - | 0.5 |
| E' | -66.50 | -70.50 | argilla con limo | - | 30 | 2 |
| t | -70.50 | -71.20 | torba | - | 7 | 3 |
| E | -71.20 | -78.00 | sabbia | 160 | - | 0.25 |
| E | -78.00 | -80.50 | sabbia limosa | 140 | - | 0.5 |
| E | -80.50 | -82.10 | sabbia | 170 | - | 0.25 |
| E | -82.10 | -84.00 | sabbia limosa | 150 | - | 0.5 |
| E | -84.00 | -85.20 | coesivo con sabbia | - | 40 | 1 |
| E | -85.20 | -86.00 | sabbia | 180 | - | 0.25 |
| F | -86.00 | -87.10 | coesivo con torba | - | 30 | 2 |
| F | -87.10 | -89.00 | limo sabbioso | - | 50 | 2 |
| F | -89.00 | -93.00 | sabbia con coesivo | 180 | - | 0.5 |
| F | -93.00 | -96.00 | coesivo | - | 50 | 2 |
| F | -96.00 | -98.00 | sabbia limosa | 220 | - | 0.5 |
| G | -98.00 | -120.00 | sabbia | 250 | - | 0.25 |

Tabella B.3: Stratigrafia del cassone di soglia CB-A02 della barriera di Chioggia utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia | Argilla | ca |
|---------|-----------------------|---------|--|------------|---------|----------|
| | da | a | | E | M | |
| | | | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -23.00 | -24.20 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -24.20 | -43.20 | terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| D | -43.20 | -45.00 | coesivo | - | 30 | 1.5 |
| D | -45.00 | -46.50 | coesivo con sabbia | - | 40 | 1 |
| E | -46.50 | -49.20 | sabbia | 100 | - | 0.25 |
| E | -49.20 | -60.00 | sabbia | 130 | - | 0.25 |
| E | -60.00 | -61.00 | sabbia | 135 | - | 0.25 |
| E | -61.00 | -66.00 | sabbia | 140 | - | 0.25 |
| E' | -66.00 | -68.50 | coesivo/sabbioso | - | 50 | 1 |
| E' | -68.50 | -70.20 | coesivo/sabbioso | - | 60 | 1 |
| E | -70.20 | -72.00 | sabbia limosa | 150 | - | 0.5 |
| E | -72.00 | -85.30 | sabbia limosa | 160 | - | 0.5 |
| F | -85.30 | -98.50 | limo sabbioso | - | 70 | 1 |
| G | -98.50 | -120.00 | sabbia | 250 | - | 0.25 |

Tabella B.4: Stratigrafia del cassone di soglia CB-A03 della barriera di Chioggia utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia E | Argilla M | ca |
|---------|-----------------------|---------|--|-------------|--------------|----------|
| | da | a | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -23.00 | -24.20 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -24.20 | -43.20 | terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| D | -43.20 | -44.00 | argilla limosa | - | 30 | 1.5 |
| E | -44.00 | -67.00 | sabbia | 135 | - | 0.25 |
| E' | -67.00 | -70.00 | coesivo/sabbioso | - | 50 | 1 |
| E | -70.00 | -84.00 | sabbia limosa | 160 | - | 0.5 |
| F | -84.00 | -98.00 | coesivo con sabbia | - | 70 | I |
| G | -98.00 | -120.00 | sabbia | 250 | - | 0.25 |

Tabella B.5: Stratigrafia del cassone di soglia CB-A04 della barriera di Chioggia utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia E | Argilla M | $c\alpha$ |
|---------|-----------------------|---------|--|----------|-----------|-----------|
| | da | a | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -23.00 | -24.20 | strat di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -24.20 | -43.20 | terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| D | -43.20 | -45.00 | coesivo | - | 30 | 1.5 |
| E | -45.00 | -46.50 | sabbia | 140 | - | 0.25 |
| E | -46.50 | -62.00 | sabbia | 160 | - | 0.25 |
| E' | -62.00 | -71.50 | coesivo con sabbia | - | 50 | 1 |
| E | -71.50 | -76.10 | sabbia | 170 | - | 0.25 |
| E | -76.10 | -78.50 | sabbia | 175 | - | 0.25 |
| E | -78.50 | -82.00 | sabbia | 180 | - | 0.25 |
| E | -82.00 | -84.30 | sabbia limosa | 160 | - | 0.5 |
| F | -84.30 | -99.00 | coesivo con sabbia | - | 70 | 1 |
| G | -99.00 | -120.00 | sabbia | 250 | - | 0.25 |

Tabella B.6: Stratigrafia del cassone di soglia CB-A05 della barriera di Chioggia utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia E | Argilla M | ca |
|---------|-----------------------------|---------|--|-------------|--------------|----------|
| | da | a | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -23.00 | -24.20 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -24.20 | -43.20 | terreno equivalente la pali- ficata | J00 | - | 0 |
| D | -43.20 | -46.00 | coesivo | - | 30 | 1 |
| E | -46.00 | -67.00 | sabbia | 160 | - | 0.2 |
| E' | -67.00 | -72.00 | coesivo con presenza di torba e sabbia | - | 40 | 0.5 |
| E | -72.00 | -81.50 | sabbia/sabbia limosa | 180 | - | 0.25 |
| E | -81.50 | -83.00 | coesivo con torba | - | 45 | 1.5 |
| E | -83.00 | -86.00 | limo sabbioso | 150 | - | 0.5 |
| F | -86.00 | -91.00 | sabbia limosa | 160 | - | 0.5 |
| F | -91.00 | -93.50 | limo sabbioso | 160 | - | 0.5 |
| F | -93.50 | -96.00 | sabbia limosa | 170 | - | 0.5 |
| F | -96.00 | -100.00 | coesivo con presenza di torba e sabbia | - | 50 | 1 |
| G | -100.00 | -120.00 | sabbia | 250 | - | 0.25 |

Tabella B.7: Stratigrafia del cassone di soglia CB-A06 della barriera di Chioggia utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

| Livello | Profondità m s.l.m.m. | | Descrizione stratigrafica | Sabbia | Argilla | ca |
|---------|-----------------------|---------|---|--------|---------|----------|
| | da | a | | E | M | |
| | | | | MPa | MPa | 1.00E-03 |
| G | -23.00 | -24.20 | strato di ripartizione granulare compattato | 30 | - | - |
| Pali | -24.20 | -43.20 | terreno equivalente la palificata | 100 | - | 0 |
| D | -43.20 | -46.00 | argilla limosa | - | 30 | 1 |
| E | -46.00 | -68.00 | sabbia | 160 | - | 0.2 |
| E' | -68.00 | -71.00 | coesivo con torba e sabbia | - | 40 | 0.5 |
| E | -71.00 | -81.50 | sabbia/sabbia limosa | 180 | - | 0.25 |
| E | -81.50 | -83.00 | coesivo con torba | - | 45 | 1.5 |
| E | -83.00 | -86.00 | limo sabbioso | 150 | - | 0.5 |
| F | -86.00 | -91.00 | sabbia limosa | 160 | - | 0.5 |
| F | -91.00 | -93.50 | limo sabbioso | 160 | - | 0.5 |
| F | -93.50 | -96.00 | sabbia limosa | 170 | - | 0.5 |
| F | -96.00 | -100.00 | coesivo con presenza di torba e sabbia | - | 50 | 1 |
| G | -100.00 | -120.00 | sabbia | 250 | - | 0.25 |

Tabella B.8: Stratigrafia del cassone di spalla Nord CN-S02 della barriera di Chioggia utilizzata per il calcolo dei cedimenti di progetto dai progettisti in fase di progetto esecutivo.

B2 – Cedimenti di progetto

| Cassone CN-S02 | | | | | |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| Fase | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Inizio barriera | 01/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CN-S02 | 07/10/2013 | 17,00 | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Fondazione parziale CB-A06 | 15/10/2013 | 17,00 | 17,00 | 17,00 | 17,00 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A06 | 18/10/2013 | 19,89 | 19,89 | 19,06 | 19,06 |
| Zavorra CN-S02 | 21/10/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Fondazione parziale CB-A05 | 23/10/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A05 | 26/10/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Fondazione parziale CB-A04 | 31/10/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A04 | 03/11/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Fondazione parziale CB-A03 | 08/11/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A03 | 11/11/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Fondazione parziale CB-A02 | 16/11/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A02 | 19/11/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Fondazione parziale CB-A01 | 24/11/2013 | 21,03 | 21,03 | 20,20 | 20,20 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A06 | 25/11/2013 | 21,56 | 21,56 | 20,58 | 20,58 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A01 | 27/11/2013 | 21,56 | 21,56 | 20,58 | 20,58 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A05 | 03/12/2013 | 21,56 | 21,56 | 20,58 | 20,58 |
| Fondazione parziale CS-S01 | 04/12/2013 | 21,56 | 21,56 | 20,58 | 20,58 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A04 | 11/12/2013 | 21,56 | 21,56 | 20,58 | 20,58 |
| Zavorra CS-S01 | 18/12/2013 | 21,56 | 21,56 | 20,58 | 20,58 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A03 | 19/12/2013 | 21,56 | 21,56 | 20,58 | 20,58 |
| Zavorra finale CN-S02 | 30/12/2013 | 22,72 | 22,72 | 21,74 | 21,74 |
| Zavorra finale CB-A01 | 17/01/2014 | 22,72 | 22,72 | 21,74 | 21,74 |
| Zavorra finale CB-A02 | 01/02/2014 | 22,72 | 22,72 | 21,74 | 21,74 |
| Zavorra finale CB-A03 | 16/02/2014 | 22,72 | 22,72 | 21,74 | 21,74 |
| Zavorra finale CS-S01 | 26/02/2014 | 22,72 | 22,72 | 21,74 | 21,74 |
| Zavorra finale CB-A04 | 03/03/2014 | 22,72 | 22,72 | 21,74 | 21,74 |
| Zavorra finale CB-A05 | 18/03/2014 | 22,72 | 22,72 | 21,74 | 21,74 |
| Zavorra finale CB-A06 | 02/04/2014 | 27,94 | 27,94 | 25,47 | 25,47 |
| Fine lavori | 19/04/2014 | 40,87 | 40,87 | 38,39 | 38,39 |
| 1 anno da fine lavori | 19/04/2015 | 43,70 | 43,40 | 39,82 | 40,12 |
| 5 anni da fine lavori | 18/04/2019 | 49,78 | 49,13 | 43,50 | 44,15 |
| 30 anni da fine lavori | 11/04/2044 | 59,44 | 58,54 | 50,96 | 51,86 |
| 50 anni da fine lavori | 06/04/2064 | 61,94 | 61,09 | 53,16 | 54,01 |
| 100 anni da fine lavori | 26/03/2114 | 65,08 | 64,23 | 56,00 | 56,85 |

Tabella B.9: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di spalla Nord CN-S02 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

Cassone CB-A06

| Fase | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| Inizio barriera | 01/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CN-S02 | 07/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A06 | 15/10/2013 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A06 | 18/10/2013 | 7,41 | 16,83 | 16,83 | 7,41 |
| Zavorra CN-S02 | 21/10/2013 | 8,19 | 17,61 | 17,93 | 8,51 |
| Fondazione parziale CB-A05 | 23/10/2013 | 8,19 | 17,61 | 17,93 | 8,51 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A05 | 26/10/2013 | 11,08 | 20,50 | 19,99 | 10,57 |
| Fondazione parziale CB-A04 | 31/10/2013 | 11,08 | 20,50 | 19,99 | 10,57 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A04 | 03/11/2013 | 11,08 | 20,50 | 19,99 | 10,57 |
| Fondazione parziale CB-A03 | 08/11/2013 | 11,08 | 20,50 | 19,99 | 10,57 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A03 | 11/11/2013 | 11,08 | 20,50 | 19,99 | 10,57 |
| Fondazione parziale CB-A02 | 16/11/2013 | 11,08 | 20,50 | 19,99 | 10,57 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A02 | 19/11/2013 | 11,08 | 20,50 | 19,99 | 10,57 |
| Fondazione parziale CB-A01 | 24/11/2013 | 11,08 | 20,50 | 19,99 | 10,57 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A06 | 25/11/2013 | 12,81 | 20,28 | 19,77 | 12,29 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A01 | 27/11/2013 | 12,81 | 20,28 | 19,77 | 12,29 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A05 | 03/12/2013 | 13,33 | 20,80 | 20,14 | 12,67 |
| Fondazione parziale CS-S01 | 04/12/2013 | 13,33 | 20,80 | 20,14 | 12,67 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A04 | 11/12/2013 | 13,33 | 20,80 | 20,14 | 12,67 |
| Zavorra CS-S01 | 18/12/2013 | 13,33 | 20,80 | 20,14 | 12,67 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A03 | 19/12/2013 | 13,33 | 20,80 | 20,14 | 12,67 |
| Zavorra finale CN-S02 | 30/12/2013 | 14,12 | 21,59 | 21,24 | 13,77 |
| Zavorra finale CB-A01 | 17/01/2014 | 14,12 | 21,59 | 21,24 | 13,77 |
| Zavorra finale CB-A02 | 01/02/2014 | 14,12 | 21,59 | 21,24 | 13,77 |
| Zavorra finale CB-A03 | 16/02/2014 | 14,12 | 21,59 | 21,24 | 13,77 |
| Zavorra finale CS-S01 | 26/02/2014 | 14,12 | 21,59 | 21,24 | 13,77 |
| Zavorra finale CB-A04 | 03/03/2014 | 14,12 | 21,59 | 21,24 | 13,77 |
| Zavorra finale CB-A05 | 18/03/2014 | 19,34 | 26,81 | 24,97 | 17,49 |
| Zavorra finale CB-A06 | 02/04/2014 | 33,08 | 27,92 | 26,08 | 31,24 |
| Fine lavori | 19/04/2014 | 37,62 | 32,46 | 35,15 | 40,31 |
| 1 anno da fine lavori | 19/04/2015 | 38,60 | 33,53 | 36,23 | 41,29 |
| 5 anni da fine lavori | 18/04/2019 | 41,17 | 36,31 | 38,99 | 43,86 |
| 30 anni da fine lavori | 11/04/2044 | 49,74 | 45,15 | 47,83 | 52,42 |
| 50 anni da fine lavori | 06/04/2064 | 55,21 | 50,67 | 53,35 | 57,89 |
| 100 anni da fine lavori | 26/03/2114 | 68,00 | 63,54 | 66,21 | 70,68 |

Tabella B.10: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia CB-A06 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

Cassone CB-A05

| Fase | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| Inizio barriera | 01/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CN-S02 | 07/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A06 | 15/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A06 | 18/10/2013 | | | | |
| Zavorra CN-S02 | 21/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A05 | 23/10/2013 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A05 | 26/10/2013 | 7,41 | 16,83 | 16,83 | 7,41 |
| Fondazione parziale CB-A04 | 31/10/2013 | 7,41 | 16,83 | 16,83 | 7,41 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A04 | 03/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Fondazione parziale CB-A03 | 08/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A03 | 11/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Fondazione parziale CB-A02 | 16/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A02 | 19/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Fondazione parziale CB-A01 | 24/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A06 | 25/11/2013 | 10,67 | 20,09 | 19,42 | 10,00 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A01 | 27/11/2013 | 10,67 | 20,09 | 19,42 | 10,00 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A05 | 03/12/2013 | 12,40 | 19,87 | 19,19 | 11,72 |
| Fondazione parziale CS-S01 | 04/12/2013 | 12,40 | 19,87 | 19,19 | 11,72 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A04 | 11/12/2013 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra CS-S01 | 18/12/2013 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A03 | 19/12/2013 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CN-S02 | 30/12/2013 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CB-A01 | 17/01/2014 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CB-A02 | 01/02/2014 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CB-A03 | 16/02/2014 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CS-S01 | 26/02/2014 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CB-A04 | 03/03/2014 | 18,14 | 25,62 | 23,29 | 15,82 |
| Zavorra finale CB-A05 | 18/03/2014 | 31,89 | 26,73 | 24,40 | 29,56 |
| Zavorra finale CB-A06 | 02/04/2014 | 35,61 | 30,45 | 29,62 | 34,78 |
| Fine lavori | 19/04/2014 | 35,61 | 30,45 | 29,62 | 34,78 |
| 1 anno da fine lavori | 19/04/2015 | 36,37 | 31,68 | 30,84 | 35,54 |
| 5 anni da fine lavori | 18/04/2019 | 38,67 | 34,90 | 34,06 | 37,83 |
| 30 anni da fine lavori | 11/04/2044 | 47,05 | 44,45 | 43,61 | 46,21 |
| 50 anni da fine lavori | 06/04/2064 | 52,26 | 49,91 | 49,07 | 51,43 |
| 100 anni da fine lavori | 26/03/2114 | 64,10 | 62,03 | 61,19 | 63,26 |

Tabella B.11: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia CB-A05 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

Cassone CB-A04

| Fase | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| Inizio barriera | 01/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CN-S02 | 07/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A06 | 15/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A06 | 18/10/2013 | | | | |
| Zavorra CN-S02 | 21/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A05 | 23/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A05 | 26/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A04 | 31/10/2013 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A04 | 03/11/2013 | 7,41 | 16,83 | 16,83 | 7,41 |
| Fondazione parziale CB-A03 | 08/11/2013 | 7,41 | 16,83 | 16,83 | 7,41 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A03 | 11/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Fondazione parziale CB-A02 | 16/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A02 | 19/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Fondazione parziale CB-A01 | 24/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A06 | 25/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A01 | 27/11/2013 | 10,30 | 19,72 | 18,89 | 9,47 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A05 | 03/12/2013 | 10,67 | 20,09 | 19,42 | 10,00 |
| Fondazione parziale CS-S01 | 04/12/2013 | 10,67 | 20,09 | 19,42 | 10,00 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A04 | 11/12/2013 | 12,40 | 19,87 | 19,19 | 11,72 |
| Zavorra CS-S01 | 18/12/2013 | 12,40 | 19,87 | 19,19 | 11,72 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A03 | 19/12/2013 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CN-S02 | 30/12/2013 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CB-A01 | 17/01/2014 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CB-A02 | 01/02/2014 | 12,92 | 20,39 | 19,57 | 12,09 |
| Zavorra finale CB-A03 | 16/02/2014 | 18,14 | 25,62 | 23,29 | 15,82 |
| Zavorra finale CS-S01 | 26/02/2014 | 18,14 | 25,62 | 23,29 | 15,82 |
| Zavorra finale CB-A04 | 03/03/2014 | 31,89 | 26,73 | 24,40 | 29,56 |
| Zavorra finale CB-A05 | 18/03/2014 | 35,61 | 30,45 | 29,62 | 34,78 |
| Zavorra finale CB-A06 | 02/04/2014 | 35,61 | 30,45 | 29,62 | 34,78 |
| Fine lavori | 19/04/2014 | 35,61 | 30,45 | 29,62 | 34,78 |
| 1 anno da fine lavori | 19/04/2015 | 36,74 | 31,74 | 30,73 | 35,72 |
| 5 anni da fine lavori | 18/04/2019 | 39,79 | 35,11 | 33,75 | 38,42 |
| 30 anni da fine lavori | 11/04/2044 | 49,28 | 45,01 | 43,23 | 47,49 |
| 50 anni da fine lavori | 06/04/2064 | 54,75 | 50,57 | 48,71 | 52,88 |
| 100 anni da fine lavori | 26/03/2114 | 66,87 | 62,80 | 60,85 | 64,92 |

Tabella B.12: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia CB-A04 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

Cassone CB-A03

| Fase | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| Inizio barriera | 01/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CN-S02 | 07/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A06 | 15/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A06 | 18/10/2013 | | | | |
| Zavorra CN-S02 | 21/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A05 | 23/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A05 | 26/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A04 | 31/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A04 | 03/11/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A03 | 08/11/2013 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A03 | 11/11/2013 | 7,41 | 16,83 | 16,83 | 7,41 |
| Fondazione parziale CB-A02 | 16/11/2013 | 7,41 | 16,83 | 16,83 | 7,41 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A02 | 19/11/2013 | 10,24 | 19,66 | 18,85 | 9,43 |
| Fondazione parziale CB-A01 | 24/11/2013 | 10,24 | 19,66 | 18,85 | 9,43 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A06 | 25/11/2013 | 10,24 | 19,66 | 18,85 | 9,43 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A01 | 27/11/2013 | 10,24 | 19,66 | 18,85 | 9,43 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A05 | 03/12/2013 | 10,24 | 19,66 | 18,85 | 9,43 |
| Fondazione parziale CS-S01 | 04/12/2013 | 10,24 | 19,66 | 18,85 | 9,43 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A04 | 11/12/2013 | 10,62 | 20,04 | 19,38 | 9,96 |
| Zavorra CS-S01 | 18/12/2013 | 10,62 | 20,04 | 19,38 | 9,96 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A03 | 19/12/2013 | 12,34 | 19,81 | 19,15 | 11,68 |
| Zavorra finale CN-S02 | 30/12/2013 | 12,34 | 19,81 | 19,15 | 11,68 |
| Zavorra finale CB-A01 | 17/01/2014 | 12,34 | 19,81 | 19,15 | 11,68 |
| Zavorra finale CB-A02 | 01/02/2014 | 17,54 | 25,01 | 22,86 | 15,39 |
| Zavorra finale CB-A03 | 16/02/2014 | 31,28 | 26,12 | 23,97 | 29,13 |
| Zavorra finale CS-S01 | 26/02/2014 | 31,28 | 26,12 | 23,97 | 29,13 |
| Zavorra finale CB-A04 | 03/03/2014 | 35,01 | 29,85 | 29,19 | 34,35 |
| Zavorra finale CB-A05 | 18/03/2014 | 35,01 | 29,85 | 29,19 | 34,35 |
| Zavorra finale CB-A06 | 02/04/2014 | 35,01 | 29,85 | 29,19 | 34,35 |
| Fine lavori | 19/04/2014 | 35,01 | 29,85 | 29,19 | 34,35 |
| 1 anno da fine lavori | 19/04/2015 | 36,37 | 31,36 | 30,65 | 35,66 |
| 5 anni da fine lavori | 18/04/2019 | 39,70 | 35,04 | 34,38 | 39,04 |
| 30 anni da fine lavori | 11/04/2044 | 49,35 | 45,14 | 44,53 | 48,74 |
| 50 anni da fine lavori | 06/04/2064 | 55,04 | 50,88 | 50,32 | 54,48 |
| 100 anni da fine lavori | 26/03/2114 | 67,91 | 63,90 | 63,29 | 67,30 |

Tabella B.13: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia CB-A03 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

Cassone CB-A02

| Fase | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| Inizio barriera | 01/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CN-S02 | 07/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A06 | 15/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A06 | 18/10/2013 | | | | |
| Zavorra CN-S02 | 21/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A05 | 23/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A05 | 26/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A04 | 31/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A04 | 03/11/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A03 | 08/11/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A03 | 11/11/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A02 | 16/11/2013 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A02 | 19/11/2013 | 7,78 | 16,29 | 16,29 | 7,78 |
| Fondazione parziale CB-A01 | 24/11/2013 | 7,78 | 16,29 | 16,29 | 7,78 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A06 | 25/11/2013 | 7,78 | 16,29 | 16,29 | 7,78 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A01 | 27/11/2013 | 10,62 | 19,13 | 18,31 | 9,81 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A05 | 03/12/2013 | 10,62 | 19,13 | 18,31 | 9,81 |
| Fondazione parziale CS-S01 | 04/12/2013 | 10,62 | 19,13 | 18,31 | 9,81 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A04 | 11/12/2013 | 10,62 | 19,13 | 18,31 | 9,81 |
| Zavorra CS-S01 | 18/12/2013 | 10,62 | 19,13 | 18,31 | 9,81 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A03 | 19/12/2013 | 11,00 | 19,50 | 18,84 | 10,33 |
| Zavorra finale CN-S02 | 30/12/2013 | 11,00 | 19,50 | 18,84 | 10,33 |
| Zavorra finale CB-A01 | 17/01/2014 | 16,19 | 24,70 | 22,55 | 14,04 |
| Zavorra finale CB-A02 | 01/02/2014 | 31,33 | 24,35 | 22,20 | 29,18 |
| Zavorra finale CB-A03 | 16/02/2014 | 35,05 | 28,08 | 27,42 | 34,40 |
| Zavorra finale CS-S01 | 26/02/2014 | 35,05 | 28,08 | 27,42 | 34,40 |
| Zavorra finale CB-A04 | 03/03/2014 | 35,05 | 28,08 | 27,42 | 34,40 |
| Zavorra finale CB-A05 | 18/03/2014 | 35,05 | 28,08 | 27,42 | 34,40 |
| Zavorra finale CB-A06 | 02/04/2014 | 35,05 | 28,08 | 27,42 | 34,40 |
| Fine lavori | 19/04/2014 | 35,05 | 28,08 | 27,42 | 34,40 |
| 1 anno da fine lavori | 19/04/2015 | 36,43 | 29,46 | 28,80 | 35,78 |
| 5 anni da fine lavori | 18/04/2019 | 39,81 | 32,84 | 32,18 | 39,16 |
| 30 anni da fine lavori | 11/04/2044 | 49,00 | 41,98 | 41,37 | 48,40 |
| 50 anni da fine lavori | 06/04/2064 | 54,25 | 47,23 | 46,62 | 53,65 |
| 100 anni da fine lavori | 26/03/2114 | 66,13 | 59,12 | 58,51 | 65,54 |

Tabella B.14: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia CB-A02 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

Cassone CB-A01

| Fase | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| Inizio barriera | 01/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CN-S02 | 07/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A06 | 15/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A06 | 18/10/2013 | | | | |
| Zavorra CN-S02 | 21/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A05 | 23/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A05 | 26/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A04 | 31/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A04 | 03/11/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A03 | 08/11/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A03 | 11/11/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A02 | 16/11/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A02 | 19/11/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A01 | 24/11/2013 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A06 | 25/11/2013 | 8,00 | 8,00 | 8,00 | 8,00 |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A01 | 27/11/2013 | 7,78 | 16,29 | 16,29 | 7,78 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A05 | 03/12/2013 | 7,78 | 16,29 | 16,29 | 7,78 |
| Fondazione parziale CS-S01 | 04/12/2013 | 7,78 | 16,29 | 16,29 | 7,78 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A04 | 11/12/2013 | 7,78 | 16,29 | 16,29 | 7,78 |
| Zavorra CS-S01 | 18/12/2013 | 10,84 | 19,34 | 18,47 | 9,96 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A03 | 19/12/2013 | 10,84 | 19,34 | 18,47 | 9,96 |
| Zavorra finale CN-S02 | 30/12/2013 | 10,84 | 19,34 | 18,47 | 9,96 |
| Zavorra finale CB-A01 | 17/01/2014 | 25,97 | 19,00 | 18,12 | 25,10 |
| Zavorra finale CB-A02 | 01/02/2014 | 29,68 | 22,70 | 23,32 | 30,29 |
| Zavorra finale CB-A03 | 16/02/2014 | 29,68 | 22,70 | 23,32 | 30,29 |
| Zavorra finale CS-S01 | 26/02/2014 | 31,22 | 24,24 | 24,42 | 31,39 |
| Zavorra finale CB-A04 | 03/03/2014 | 31,22 | 24,24 | 24,42 | 31,39 |
| Zavorra finale CB-A05 | 18/03/2014 | 31,22 | 24,24 | 24,42 | 31,39 |
| Zavorra finale CB-A06 | 02/04/2014 | 31,22 | 24,24 | 24,42 | 31,39 |
| Fine lavori | 19/04/2014 | 38,01 | 31,04 | 27,75 | 34,72 |
| 1 anno da fine lavori | 19/04/2015 | 38,79 | 31,82 | 28,57 | 35,53 |
| 5 anni da fine lavori | 18/04/2019 | 40,93 | 33,94 | 30,80 | 37,79 |
| 30 anni da fine lavori | 11/04/2044 | 49,21 | 42,27 | 39,24 | 46,17 |
| 50 anni da fine lavori | 06/04/2064 | 54,95 | 47,98 | 45,01 | 51,96 |
| 100 anni da fine lavori | 26/03/2114 | 68,77 | 61,81 | 58,87 | 65,82 |

Tabella B.15: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di soglia CB-A01 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

Cassone CS-S01

| Fase | Data | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| Inizio barriera | 01/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CN-S02 | 07/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A06 | 15/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A06 | 18/10/2013 | | | | |
| Zavorra CN-S02 | 21/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A05 | 23/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A05 | 26/10/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A04 | 31/10/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A04 | 03/11/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A03 | 08/11/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A03 | 11/11/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A02 | 16/11/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A02 | 19/11/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CB-A01 | 24/11/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A06 | 25/11/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 5 anni CB-A01 | 27/11/2013 | | | | |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A05 | 03/12/2013 | | | | |
| Fondazione parziale CS-S01 | 04/12/2013 | 19,00 | 19,00 | 19,00 | 19,00 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A04 | 11/12/2013 | 19,00 | 19,00 | 19,00 | 19,00 |
| Zavorra CS-S01 | 18/12/2013 | 22,22 | 22,22 | 22,22 | 22,22 |
| Zavorra Tr = 10 anni CB-A03 | 19/12/2013 | 22,22 | 22,22 | 22,22 | 22,22 |
| Zavorra finale CN-S02 | 30/12/2013 | 22,22 | 22,22 | 22,22 | 22,22 |
| Zavorra finale CB-A01 | 17/01/2014 | 25,93 | 25,93 | 27,42 | 27,42 |
| Zavorra finale CB-A02 | 01/02/2014 | 25,93 | 25,93 | 27,42 | 27,42 |
| Zavorra finale CB-A03 | 16/02/2014 | 25,93 | 25,93 | 27,42 | 27,42 |
| Zavorra finale CS-S01 | 26/02/2014 | 27,55 | 27,55 | 29,04 | 29,04 |
| Zavorra finale CB-A04 | 03/03/2014 | 27,55 | 27,55 | 29,04 | 29,04 |
| Zavorra finale CB-A05 | 18/03/2014 | 27,55 | 27,55 | 29,04 | 29,04 |
| Zavorra finale CB-A06 | 02/04/2014 | 27,55 | 27,55 | 29,04 | 29,04 |
| Fine lavori | 19/04/2014 | 37,22 | 37,22 | 38,71 | 38,71 |
| 1 anno da fine lavori | 19/04/2015 | 37,69 | 37,83 | 39,26 | 39,12 |
| 5 anni da fine lavori | 18/04/2019 | 38,96 | 39,31 | 40,65 | 40,30 |
| 30 anni da fine lavori | 11/04/2044 | 41,74 | 42,28 | 43,40 | 42,87 |
| 50 anni da fine lavori | 06/04/2064 | 42,67 | 43,18 | 44,28 | 43,77 |
| 100 anni da fine lavori | 26/03/2114 | 43,82 | 44,42 | 45,42 | 44,81 |

Tabella B.16: Cedimenti calcolati dai progettisti per il cassone di spalla Sud CS-S01 in fase di progetto esecutivo; estratto dalla relazione "Calcolo dei cedimenti della Barriera".

B3 – Stratigrafia post-costruzione

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -23.00 | -24.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | - |
| pali | -24.20 | -43.20 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -43.20 | -46.00 | 2.80 | 18.75 | 0.35 | 19 | 30 | 1.0E-03 |
| E | -46.00 | -51.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 1.5E-03 |
| E | -51.00 | -56.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.0E-04 |
| E | -56.00 | -61.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.0E-04 |
| E | -61.00 | -66.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.0E-04 |
| E | -66.00 | -68.00 | 2.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.0E-04 |
| E' | -68.00 | -71.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 5.0E-04 |
| E | -71.00 | -76.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 180 | 242 | 2.5E-04 |
| E | -76.00 | -81.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 180 | 242 | 2.5E-04 |
| E | -81.00 | -81.50 | 0.50 | 18.50 | 0.30 | 180 | 242 | 2.5E-04 |
| E | -81.50 | -83.00 | 1.50 | 18.50 | 0.30 | 33 | 45 | 1.5E-03 |
| E | -83.00 | -86.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 5.0E-04 |
| F | -86.00 | -91.00 | 5.00 | 19.25 | 0.35 | 160 | 257 | 5.0E-04 |
| F | -91.00 | -93.50 | 2.50 | 19.25 | 0.35 | 160 | 257 | 5.0E-04 |
| F | -93.50 | -96.00 | 2.50 | 19.25 | 0.35 | 170 | 273 | 5.0E-04 |
| F | -96.00 | -100.00 | 4.00 | 19.25 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |
| G | -100.00 | -120.00 | 20.00 | 18.50 | 0.30 | 250 | 337 | 2.5E-04 |

Tabella B.17: Stratigrafia relativa al cassone di spalla Nord CN-S02 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -23.00 | -24.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | - |
| pali | -24.20 | -43.20 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -43.20 | -46.00 | 2.80 | 18.75 | 0.35 | 19 | 30 | 1.0E-03 |
| E | -46.00 | -51.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.0E-04 |
| E | -51.00 | -56.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.0E-04 |
| E | -56.00 | -61.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.0E-04 |
| E | -61.00 | -66.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.0E-04 |
| E | -66.00 | -67.00 | 1.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.0E-04 |
| E' | -67.00 | -72.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 25 | 40 | 5.0E-04 |
| E | -72.00 | -77.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 180 | 242 | 2.5E-04 |
| E | -77.00 | -81.50 | 4.50 | 18.50 | 0.30 | 180 | 242 | 2.5E-04 |
| E | -81.50 | -83.00 | 1.50 | 18.50 | 0.30 | 33 | 45 | 1.5E-03 |
| E | -83.00 | -86.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 5.0E-04 |
| F | -86.00 | -91.00 | 5.00 | 19.25 | 0.35 | 160 | 257 | 5.0E-04 |
| F | -91.00 | -93.50 | 2.50 | 19.25 | 0.35 | 160 | 257 | 5.0E-04 |
| F | -93.50 | -96.00 | 2.50 | 19.25 | 0.35 | 170 | 273 | 5.0E-04 |
| F | -96.00 | -100.00 | 4.00 | 19.25 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |
| G | -100.00 | -120.00 | 20.00 | 18.50 | 0.30 | 250 | 337 | 2.5E-04 |

Tabella B.18: Stratigrafia relativa al cassone di soglia CB-A06 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -23.00 | -24.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | - |
| pali | -24.20 | -43.20 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -43.20 | -45.00 | 1.80 | 18.75 | 0.35 | 19 | 30 | 1.5E-03 |
| E | -45.00 | -46.50 | 1.50 | 18.50 | 0.30 | 140 | 188 | 2.5E-04 |
| E | -46.50 | -51.50 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.5E-04 |
| E | -51.50 | -56.50 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.5E-04 |
| E | -56.50 | -61.50 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.5E-04 |
| E | -61.50 | -62.00 | 0.50 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.5E-04 |
| E' | -62.00 | -67.00 | 5.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |
| E' | -67.00 | -71.50 | 4.50 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |
| E | -71.50 | -76.10 | 4.60 | 18.50 | 0.30 | 170 | 229 | 2.5E-04 |
| E | -76.10 | -78.50 | 2.40 | 18.50 | 0.30 | 175 | 236 | 2.5E-04 |
| E | -78.50 | -82.00 | 3.50 | 18.50 | 0.30 | 180 | 242 | 2.5E-04 |
| E | -82.00 | -84.30 | 2.30 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 5.0E-04 |
| F | -84.30 | -99.00 | 14.70 | 19.25 | 0.35 | 44 | 70 | 1.0E-03 |
| G | -99.00 | -120.00 | 21.00 | 18.50 | 0.30 | 250 | 337 | 2.5E-04 |

Tabella B.19: Stratigrafia relativa al cassone di soglia CB-A05 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -23.00 | -24.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | - |
| pali | -24.20 | -43.20 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -43.20 | -44.00 | 0.80 | 18.75 | 0.35 | 19 | 30 | 1.5E-03 |
| E | -44.00 | -49.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 135 | 182 | 2.5E-04 |
| E | -49.00 | -54.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 135 | 182 | 2.5E-04 |
| E | -54.00 | -59.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 135 | 182 | 2.5E-04 |
| E | -59.00 | -64.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 135 | 182 | 2.5E-04 |
| E | -64.00 | -67.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 135 | 182 | 2.5E-04 |
| E' | -67.00 | -70.00 | 3.00 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |
| E | -70.00 | -75.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 5.0E-04 |
| E | -75.00 | -80.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 5.0E-04 |
| E | -80.00 | -84.00 | 4.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 5.0E-04 |
| F | -84.00 | -98.00 | 14.00 | 19.25 | 0.35 | 44 | 70 | 1.0E-03 |
| G | -98.00 | -120.00 | 22.00 | 18.50 | 0.30 | 250 | 337 | 2.5E-04 |

Tabella B.20: Stratigrafia relativa al cassone di soglia CB-A04 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -23.00 | -24.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | - |
| pali | -24.20 | -43.20 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -43.20 | -45.00 | 1.80 | 18.75 | 0.35 | 19 | 30 | 1.5E-03 |
| D | -45.00 | -46.50 | 1.50 | 18.75 | 0.35 | 25 | 40 | 1.0E-03 |
| E | -46.50 | -49.20 | 2.70 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -49.20 | -54.20 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -54.20 | -59.20 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -59.20 | -60.00 | 0.80 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -60.00 | -61.00 | 1.00 | 18.50 | 0.30 | 135 | 182 | 2.5E-04 |
| E | -61.00 | -66.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 140 | 188 | 2.5E-04 |
| E' | -66.00 | -68.50 | 2.50 | 19.00 | 0.35 | 31 | 50 | 1.0E-03 |
| E' | -68.50 | -70.20 | 1.70 | 19.00 | 0.35 | 37 | 60 | 1.0E-03 |
| E | -70.20 | -72.00 | 1.80 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 5.0E-04 |
| E | -72.00 | -77.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 5.0E-04 |
| E | -77.00 | -82.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 5.0E-04 |
| E | -82.00 | -85.30 | 3.30 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 5.0E-04 |
| F | -85.30 | -98.50 | 13.20 | 19.25 | 0.35 | 44 | 70 | 1.0E-03 |
| G | -98.50 | -120.00 | 21.50 | 18.50 | 0.30 | 250 | 337 | 2.5E-04 |

Tabella B.21: Stratigrafia relativa al cassone di soglia CB-A03 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -23.00 | -24.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | - |
| pali | -24.20 | -43.20 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| E | -43.20 | -47.00 | 3.80 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -47.00 | -50.00 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 105 | 141 | 2.5E-04 |
| E | -50.00 | -52.10 | 2.10 | 18.50 | 0.30 | 105 | 141 | 5.0E-04 |
| E | -52.10 | -57.10 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -57.10 | -62.10 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -62.10 | -63.50 | 1.40 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -63.50 | -66.50 | 3.00 | 18.50 | 0.30 | 140 | 188 | 5.0E-04 |
| E' | -66.50 | -70.50 | 4.00 | 19.00 | 0.35 | 19 | 30 | 2.0E-03 |
| t | -70.50 | -71.20 | 0.70 | 15.00 | 0.40 | 3 | 7 | 3.0E-03 |
| E | -71.20 | -78.00 | 6.80 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.5E-04 |
| E | -78.00 | -80.50 | 2.50 | 18.50 | 0.30 | 140 | 188 | 5.0E-04 |
| E | -80.50 | -82.10 | 1.60 | 18.50 | 0.30 | 170 | 229 | 2.5E-04 |
| E | -82.10 | -84.00 | 1.90 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 5.0E-04 |
| E | -84.00 | -85.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | 1.0E-03 |
| E | -85.20 | -86.00 | 0.80 | 18.50 | 0.30 | 180 | 242 | 2.5E-04 |
| F | -86.00 | -87.10 | 1.10 | 19.25 | 0.35 | 19 | 30 | 2.0E-03 |
| F | -87.10 | -89.00 | 1.90 | 19.25 | 0.35 | 31 | 50 | 2.0E-03 |
| F | -89.00 | -93.00 | 4.00 | 19.25 | 0.35 | 180 | 289 | 5.0E-04 |
| F | -93.00 | -96.00 | 3.00 | 19.25 | 0.35 | 31 | 50 | 2.0E-03 |
| F | -96.00 | -98.00 | 2.00 | 19.25 | 0.35 | 220 | 353 | 5.0E-04 |
| G | -98.00 | -120.00 | 22.00 | 18.50 | 0.30 | 250 | 337 | 2.5E-04 |

Tabella B.22: Stratigrafia relativa al cassone di soglia CB-A02 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -23.00 | -24.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | - |
| pali | -24.20 | -43.20 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| E | -43.20 | -45.50 | 2.30 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 2.5E-04 |
| E | -45.50 | -50.50 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 110 | 148 | 2.5E-04 |
| E | -50.50 | -52.50 | 2.00 | 18.50 | 0.30 | 110 | 148 | 2.5E-04 |
| E | -52.50 | -56.20 | 3.70 | 18.50 | 0.30 | 115 | 155 | 2.5E-04 |
| E | -56.20 | -61.20 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 2.5E-04 |
| E | -61.20 | -66.20 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 2.5E-04 |
| E | -66.20 | -67.50 | 1.30 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 2.5E-04 |
| E' | -67.50 | -71.20 | 3.70 | 19.00 | 0.35 | 19 | 30 | 2.0E-03 |
| E | -71.20 | -76.20 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.5E-04 |
| E | -76.20 | -78.00 | 1.80 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 2.5E-04 |
| E | -78.00 | -83.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 5.0E-04 |
| E | -83.00 | -86.50 | 3.50 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 5.0E-04 |
| F | -86.50 | -98.00 | 11.50 | 19.25 | 0.35 | 19 | 30 | 1.0E-03 |
| G | -98.00 | -120.00 | 22.00 | 18.50 | 0.30 | 250 | 337 | 2.5E-04 |

Tabella B.23: Stratigrafia relativa al cassone di soglia CB-A01 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

| strato | da [m] | a [m] | spessore [m] | γ [kN/m ³] | ν [-] | E [MPa] | M [MPa] | C_α [-] |
|--------------|-----------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| ripartizione | -23.00 | -24.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 30 | 40 | - |
| pali | -24.20 | -43.20 | 19.00 | 20.00 | 0.30 | 100 | 135 | - |
| D | -43.20 | -45.00 | 1.80 | 18.75 | 0.35 | 19 | 30 | 1.0E-03 |
| E | -45.00 | -47.80 | 2.80 | 18.50 | 0.30 | 100 | 135 | 5.0E-04 |
| E | -47.80 | -52.80 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -52.80 | -57.80 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -57.80 | -62.80 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E | -62.80 | -67.50 | 4.70 | 18.50 | 0.30 | 130 | 175 | 2.5E-04 |
| E' | -67.50 | -71.00 | 3.50 | 19.00 | 0.35 | 19 | 30 | 2.0E-03 |
| E | -71.00 | -76.00 | 5.00 | 18.50 | 0.30 | 140 | 188 | 2.5E-04 |
| E | -76.00 | -78.00 | 2.00 | 18.50 | 0.30 | 140 | 188 | 2.5E-04 |
| E | -78.00 | -81.50 | 3.50 | 18.50 | 0.30 | 150 | 202 | 5.0E-04 |
| E | -81.50 | -83.00 | 1.50 | 18.50 | 0.30 | 22 | 30 | 2.1E-02 |
| E | -83.00 | -84.20 | 1.20 | 18.50 | 0.30 | 160 | 215 | 5.0E-04 |
| E | -84.20 | -85.80 | 1.60 | 18.50 | 0.30 | 22 | 30 | 1.0E-03 |
| E | -85.80 | -86.50 | 0.70 | 18.50 | 0.30 | 170 | 229 | 5.0E-04 |
| F | -86.50 | -95.30 | 8.80 | 19.25 | 0.35 | 19 | 30 | 1.0E-03 |
| F | -95.30 | -98.00 | 2.70 | 19.25 | 0.35 | 22 | 35 | 1.0E-03 |
| G | -98.00 | -120.00 | 22.00 | 18.50 | 0.30 | 250 | 337 | 2.5E-04 |

Tabella B.24: Stratigrafia relativa al cassone di spalla Sud CS-S01 per il calcolo dei cedimenti post-costruzione.

B4 – Carichi post-costruzione

| data | 08/06/2014 | 10/06/2014 | 11/06/2014 | 12/06/2014 | 17/06/2014 | 19/06/2014 | 23/06/2014 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 0 | 2 | 3 | 4 | 9 | 11 | 15 |
| CN-S02 | 21422 | 21422 | 69210 | 74324 | 72518 | 79652 | 79652 |
| CB-A06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15416 |
| CB-A05 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CB-A04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CB-A03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CB-A02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CB-A01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CS-S01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| step | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

| data | 25/06/2014 | 26/06/2014 | 30/06/2014 | 04/07/2014 | 14/07/2014 | 17/07/2014 | 21/07/2014 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 17 | 18 | 22 | 26 | 36 | 39 | 43 |
| CN-S02 | 79652 | 86654 | 86654 | 86654 | 102399 | 102399 | 118064 |
| CB-A06 | 46537 | 46537 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 |
| CB-A05 | 0 | 0 | 0 | 15462 | 44832 | 44832 | 44832 |
| CB-A04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15513 | 15513 |
| CB-A03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CB-A02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CB-A01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CS-S01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| step | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |

| data | 24/07/2014 | 28/07/2014 | 04/08/2014 | 07/08/2014 | 14/08/2014 | 17/08/2014 | 25/08/2014 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 46 | 50 | 57 | 60 | 67 | 70 | 78 |
| CN-S02 | 133772 | 133772 | 133772 | 133772 | 145435 | 145584 | 145982 |
| CB-A06 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 |
| CB-A05 | 44832 | 44832 | 81053 | 81053 | 81053 | 81053 | 81053 |
| CB-A04 | 45063 | 45063 | 81360 | 81360 | 81360 | 81360 | 81360 |
| CB-A03 | 0 | 15274 | 44789 | 44789 | 44789 | 44789 | 80740 |
| CB-A02 | 0 | 0 | 0 | 15291 | 44972 | 44972 | 44972 |
| CB-A01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15820 | 45280 |
| CS-S01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| step | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |

| data | 27/08/2014 | 30/08/2014 | 01/09/2014 | 02/09/2014 | 03/09/2014 | 04/09/2014 | 08/09/2014 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 80 | 83 | 85 | 86 | 87 | 88 | 92 |
| CN-S02 | 146082 | 146231 | 146331 | 146381 | 146430 | 146480 | 146679 |
| CB-A06 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 |
| CB-A05 | 81053 | 81053 | 81053 | 81053 | 81053 | 81053 | 81053 |
| CB-A04 | 81360 | 81360 | 81360 | 81360 | 81360 | 81360 | 81360 |
| CB-A03 | 80740 | 80740 | 80740 | 80740 | 80740 | 80740 | 80740 |
| CB-A02 | 44972 | 44972 | 44972 | 44972 | 44972 | 44972 | 44972 |
| CB-A01 | 45280 | 45280 | 45280 | 45280 | 45280 | 45280 | 45280 |
| CS-S01 | 24487 | 82041 | 82067 | 84685 | 87095 | 92436 | 92436 |
| step | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |

| data | 09/09/2014 | 10/09/2014 | 11/09/2014 | 15/09/2014 | 17/09/2014 | 23/09/2014 | 15/03/2015 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 93 | 94 | 95 | 99 | 101 | 107 | 280 |
| CN-S02 | 146729 | 146779 | 146829 | 147028 | 147127 | 147426 | 156036 |
| CB-A06 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 80815 | 152600 |
| CB-A05 | 81053 | 81053 | 81053 | 81053 | 81053 | 81053 | 152600 |
| CB-A04 | 81360 | 81360 | 81360 | 81360 | 81360 | 81360 | 152600 |
| CB-A03 | 80740 | 80740 | 80740 | 80740 | 80740 | 80740 | 152600 |
| CB-A02 | 44972 | 76209 | 76209 | 76209 | 76209 | 76209 | 152600 |
| CB-A01 | 45280 | 76395 | 76395 | 76395 | 76395 | 76395 | 152600 |
| CS-S01 | 92436 | 92436 | 92436 | 92726 | 100711 | 103787 | 111704 |
| step | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |

| data | 29/04/2016 | 31/05/2016 | 30/06/2016 | 28/07/2016 | 31/08/2016 | 28/09/2016 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 691 | 723 | 753 | 781 | 815 | 843 |
| CN-S02 | 176492 | 178085 | 179578 | 180971 | 182663 | 184057 |
| CB-A06 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A05 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A04 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A03 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A02 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A01 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CS-S01 | 153727 | 156999 | 160067 | 162930 | 166406 | 169269 |
| step | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 |

| data | 16/04/2018 | 31/05/2018 | 28/06/2018 | 25/07/2018 | 28/08/2018 | 28/09/2018 |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| giorni | 1408 | 1453 | 1481 | 1508 | 1542 | 1573 |
| CN-S02 | 185257 | 185257 | 185257 | 185257 | 185257 | 185257 |
| CB-A06 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A05 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A04 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A03 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A02 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CB-A01 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 | 152600 |
| CS-S01 | 169269 | 169269 | 169269 | 169269 | 169269 | 169269 |
| step | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 |

Bibliografia

Si riportano di seguito le fonti relative al “*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Provveditorato Interregionale alle OO. PP. del Veneto – Trentino Alto Adige – Friuli Venezia Giulia*”:

1. Consorzio Venezia Nuova. Intasamento del recesso di fondazione, Calcolo dei Cedimenti della Barriera (Treporti). Ottobre 2010;
2. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Lido Treporti, Edifici ELE/HVAC. Ottobre 2012;
3. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Lido Treporti, Palancole, Preparazione dei recessi. Luglio 2007;
4. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Lido Treporti, Consolidazione in jet-grouting. Settembre 2010;
5. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Lido Treporti, Cassoni di soglia TB-A01, TB-A02, TB-A03. Novembre 2008;
6. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Lido Treporti, Cassoni di soglia TB-A01, TB-A02, TB-A03. Gennaio 2009;
7. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Lido Treporti, Cassone di spalla Ovest TO-S01. Aprile 2010;
8. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Lido Treporti, Cassone di spalla Est TE-S02. Luglio 2010;
9. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Lido Treporti, Trasporto ed installazione dei cassoni. Ottobre 2010;
10. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Lido Treporti, Completamento dei cassoni. Febbraio 2011;
11. Consorzio Venezia Nuova. Intasamento del recesso di fondazione, Calcolo dei Cedimenti della Barriera (Chioggia). Gennaio 2013;
12. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Chioggia, Preparazione dei recessi, Pali di consolidamento in acciaio. Luglio 2007;
13. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Chioggia, Cassone di spalla Nord CN-S02. Maggio 2007;
14. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Chioggia, Cassone di spalla Sud CS-S01. Novembre 2007;
15. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Chioggia, Cassoni di soglia CB-A01, CB-A02. Giugno 2009;

16. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Chioggia, Cassoni di soglia CB-A03, CB-A04. Ottobre 2009;
17. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Chioggia, Cassoni di soglia CB-A05. Luglio 2010;
18. Consorzio Venezia Nuova. Bocca di Chioggia, Cassoni di soglia CB-A06. Dicembre 2010;

Altre fonti:

1. MOSE. <https://www.mosevenezia.eu/>
2. Bowles J. E., FONDAZIONI PROGETTO E ANALISI, McGraw-Hill, Milano, 1991
3. Colombo P., Colleselli F., ELEMENTI DI GEOTECNICA, Zanichelli, Bologna, 2004
4. Facciorusso J., Madiati C., Vannucchi G. – DISPENSE DI GEOTECNICA, Dipartimento di Ingegneria Civile – Sezione Geotecnica, Università degli Studi di Firenze, 2006
5. Lancellotta R., Costanzo D., Foti S., PROGETTAZIONE GEOTECNICA SECONDO L'EUROCODICE 7 (UNI EN 1997) E LE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (NTC 2008), Hoepli Ed., Milano, 2011
6. Lancellotta R., Calavera J., FONDAZIONI, McGraw-Hill, Milano, 2003

Ringraziamenti

Ringrazio la Relatrice Francesca Ceccato per il supporto, la dedizione, la passione trasmessa e per avermi regalato la possibilità di visitare la Barriera di Chioggia.

Ringrazio la Correlatrice Simonetta Cola per avermi dato l'occasione di partecipare ad un progetto di tale interesse, relativo ad una delle opere più importanti dal punto di vista ingegneristico.

Ringrazio la mia famiglia, sempre vicina in ogni momento, ed in particolare mio padre, fonte di ispirazione, figura professionale che ammiro e aspiro a diventare.

Ringrazio tutti i miei colleghi, amici e compagni di corso, che assieme a me hanno affrontato questa fantastica avventura, superando ostacoli e condividendo esperienze.

Ringrazio tutti i professori del Dipartimento, per gli insegnamenti e la cultura trasmessi.

Ringrazio la mia ragazza per avermi incentivato giorno dopo giorno a progredire e migliorare.

Ringrazio infine la stessa Ingegneria, il "Mondo dei Perché?", fonte di conoscenza e di interesse, in grado di affascinare e avvicinare tutti coloro la cui Curiosità supera l'Intelligenza stessa.