

Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Centro Settentrionale

PORTI DI ROMA E DEL LAZIO - CIVITAVECCHIA - FIUMICINO - GAETA

OPERE STRATEGICHE PER IL PORTO DI CIVITAVECCHIA - 2° STRALCIO -

PROLUNGAMENTO BANCHINA N°13 - 2° LOTTO PROLUNGAMENTO ANTEMURALE COLOMBO

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato

RELAZIONE GENERALE

P R 1 D R 0 0 1 0 1 G E N

Committente:

Autorità Portuale di Civitavecchia, Fiumicino e Gaeta

IL PRESIDENTE:

Dr. Pino Musolino

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Maurizio Marini

IL COORDINATORE GENERALE

Dott. Ing. Giuseppe Solinas

Progetto A.T.I. :

MODIMAR S.r.l. (Capogruppo)

V.A.M.S. Ingegneria S.r.l.

SEACON S.r.l.

Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:
05/08/2022	1	REVISIONE AI SENSI D.L. N.50 DEL 17 MAGGIO 2022			
16/06/2022	0	PRIMA EMISSIONE	F. MONDINI	F. MONDINI	P. CONTINI

INDICE:

1.	PREMESSA	2
2.	STATO ANTE OPERAM. DESCRIZIONE DEL PROLUNGAMENTO DEL MOLO DI SOPRAFLUTTO RECENTEMENTE ESEGUITO	3
3.	PROGETTO DELLE NUOVE OPERE.....	7
3.1	Criteri di scelta della sezione tipo	7
3.2	Descrizione delle alternative e confronto tecnico-economico	9
4.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	13
4.1	Caratteristiche geometriche.....	13
4.2	Fasi esecutive.....	16
5.	STUDI A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE	21
5.1	Aggiornamento dello studio meteomarinario.....	21
5.2	Studio dell'agitazione ondosa	21
5.3	Studio delle azioni sulla struttura con modello numerico	24
6.	ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI.....	26
6.1	Indagini eseguite	27
6.2	Assetto stratigrafico locale	30
7.	STIMA ECONOMICA DELL'INTERVENTO	31
8.	TEMPI D'ESECUZIONE E CANTIERIZZAZIONE.....	32
8.1	Tempi di esecuzione	32
8.2	Cantierizzazione	33

1. PREMESSA

Il prolungamento dell'Antemurale C. Colombo ha la fondamentale funzione di proteggere dal moto ondoso l'area Nord del porto commerciale, consentendo un'adeguata operatività degli accosti, e di assicurare idonee condizioni di sicurezza nelle fasi di ingresso e di uscita dal porto. Tale prolungamento consente di ridurre sostanzialmente il down-time portuale dovuto alla penetrazione del moto ondoso come dimostrato nelle simulazioni effettuate con il modello matematico Vega in sede di redazione del PRP.

Inoltre, la disposizione planimetrica della nuova diga consente di agevolare il transito in ingresso ed in uscita delle navi che fruiranno delle infrastrutture portuali con particolare riferimento alle navi da crociera che raggiungono notevoli dimensioni come evidenziato dai risultati delle prove di navigabilità eseguite dalla Force Technology (Division for Maritime Industry, DMI), sempre in fase di redazione del PRP e successivamente dal CETENA.

2. STATO ANTE OPERAM. DESCRIZIONE DEL PROLUNGAMENTO DEL MOLO DI SOPRAFLUTTO RECENTEMENTE ESEGUITO

L'opera in progetto costituisce un ulteriore prolungamento del molo di sopraflutto recentemente realizzato (I° Lotto) di lunghezza pari a circa 415 m mediante la posa in opera di 14 cassoni cellulari in calcestruzzo armato. La disposizione planimetrica prevista dal progetto del I° Lotto (Figura 2, Figura 1) è stata variata successivamente alla gara di appalto, come riportato nella Figura 3, al fine di incrementare la larghezza dell'imboccatura e di facilitare la manovra delle navi dirette verso la darsena traghetti.

I cassoni del I° Lotto sono imbasati sopra uno scanno di fondazione costituito in massi naturali di prima categoria (peso singolo da 50÷1000 kg), protetti lato mare da una mantellata di massi naturali di terza categoria disposti in doppio strato lungo una pendenza 1:3 e superiormente da un doppio strato orizzontale di massi naturali di quarta categoria (peso singolo di oltre 7000 kg). Sul paramento interno lo scanno presenta una scarpa pari a 1/2. Al di sotto dello scanno viene steso un telo di geotessuto del peso di 700 g/cm². Il primo cassone di collegamento con l'antemurale esistente, verrà imbasato alla quota -18.50 m s.l.m., mentre i restanti 13 cassoni verranno imbasati alla -22.00 m s.l.m..

Per la ripartizione interna delle due tipologie di cassoni è stato utilizzato il medesimo modulo cellulare, che presenta dimensioni 3.92 m in direzione longitudinale e 4.51 m in direzione trasversale. I setti longitudinali hanno spessore pari a 25 cm, mentre i setti trasversali hanno spessore pari a 20 cm.

Il primo cassone di collegamento presenta un'altezza inferiore rispetto agli altri cassoni cellulari e nello specifico sarà caratterizzato da un'altezza pari a 19 m, una larghezza pari a 20 m e da una lunghezza pari a 29.86 m. All'interno il cassone sarà suddiviso in 28 (7x4) celle separate da setti in calcestruzzo armato, riempite con materiale inerte proveniente dai dragaggi. Le celle del cassone disposte verso il porto sono dotate di aperture per la dissipazione dell'energia ondosa residua aventi dimensioni di 3.10 m di altezza per 1.82 m di larghezza e raggiungono la profondità di 5.12 m dal filo esterno del fusto. Tali celle sono connesse idraulicamente tra loro mediante analoghe aperture di forma rettangolare applicate sui setti trasversali ed aventi dimensioni di 3.10 m di altezza per 1.50 m di larghezza. Il cassone è delimitato sul fondo da una zattera in c.a. a tutta lunghezza, larga 23.0 m ed alta 0.8 m, mentre in sommità è chiuso con solette di copertura dello spessore di 20 cm.

I restanti 13 cassoni del prolungamento dell'antemurale hanno caratteristiche geometriche del tutto analoghe a quelle del primo cassone precedentemente descritto, con la sola differenza della profondità di imbasamento e del conseguente allungamento del fusto del cassone per un'altezza del manufatto pari a 22.50 m. Anche la suddivisione interna del cassone è operata per mezzo di setti interni in calcestruzzo armato formanti un ugual numero di celle (28), riempite con materiale inerte proveniente dai dragaggi. Le celle antirisacca disposte sul lato del cassone rivolto verso l'interno del porto e la zattera di base hanno le stesse caratteristiche geometriche descritte per il primo cassone.

Per evitare la perdita del materiale di riempimento, tutte le celle dei cassoni dell'Antemurale C. Colombo sono chiuse superiormente con dalle prefabbricate (solette tipo A e tipo B), ad eccezione delle celle antiriflettenti per le quali si prevede il getto in opera di calcestruzzo magro al di sopra del riempimento con materiale inerte, così da formare un tappo di 30 cm di altezza.

Sopra le solette di chiusura dei cassoni viene gettata in opera la sovrastruttura in cemento armato dotata di muro paraonde, la cui quota di coronamento è pari a 9.5 m sul l.m.m.. Il

muro paraonde è posizionato in arretramento di circa 4 m rispetto al filo esterno esposto al moto ondoso.

La quota finale della sovrastruttura è pari a +2,50 m sul l.m.m. sul filo banchina lato porto, mentre lato mare è pari a +2,00 m s.l.m.. Il bordo interno della banchina è protetto da un paraspigolo in acciaio AISI 316 L lungo tutta la sua estensione. Il bordo banchina è reso disponibile per l'ormeggio delle navi per mezzo dell'installazione di 13 bitte in acciaio da 250 t di tiro nominale e 26 parabordi cilindrici in gomma ($\phi_e \times \phi_i$) 1600x800 mm lunghi 2 m, che sono collocati ad interasse pari a circa 15 m. La dotazione degli arredi di banchina è completata sul lato rivolto verso l'interno del porto con l'installazione di 6 scale alla marinara e di 6 anelli di ormeggio, il tutto in acciaio AISI 316 L.

I cassoni cellulari, le dalle di chiusura, la sovrastruttura ed il muro paraonde sono realizzati con calcestruzzo avente resistenza caratteristica R_{ck} 45 N/mm², classe di consistenza S5, classe di esposizione XS3 e presentano armature in acciaio ad aderenza migliorata tipo B450C. Tutte le barre di armatura delle strutture in cemento armato che sono posizionate, anche solo parzialmente, ad una quota superiore rispetto la profondità di -2.50 m s.l.m., devono essere interamente (per l'intera lunghezza della barra) zincate a caldo.

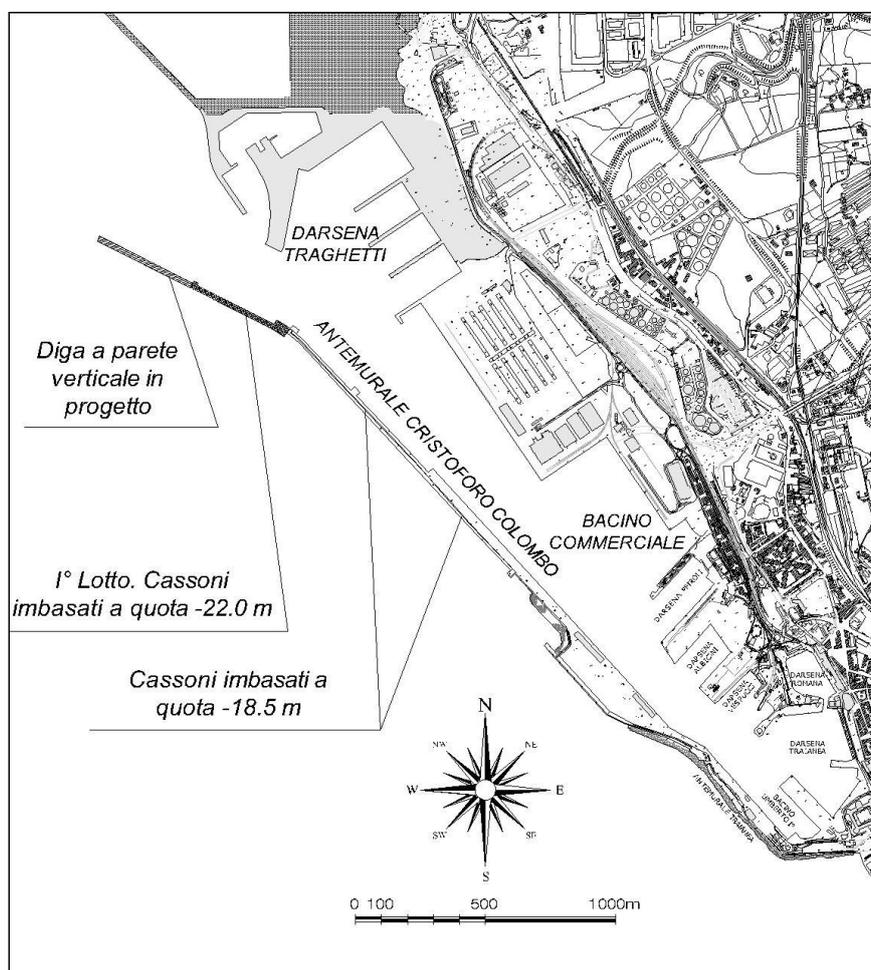


Figura 1: Planimetria di inquadramento

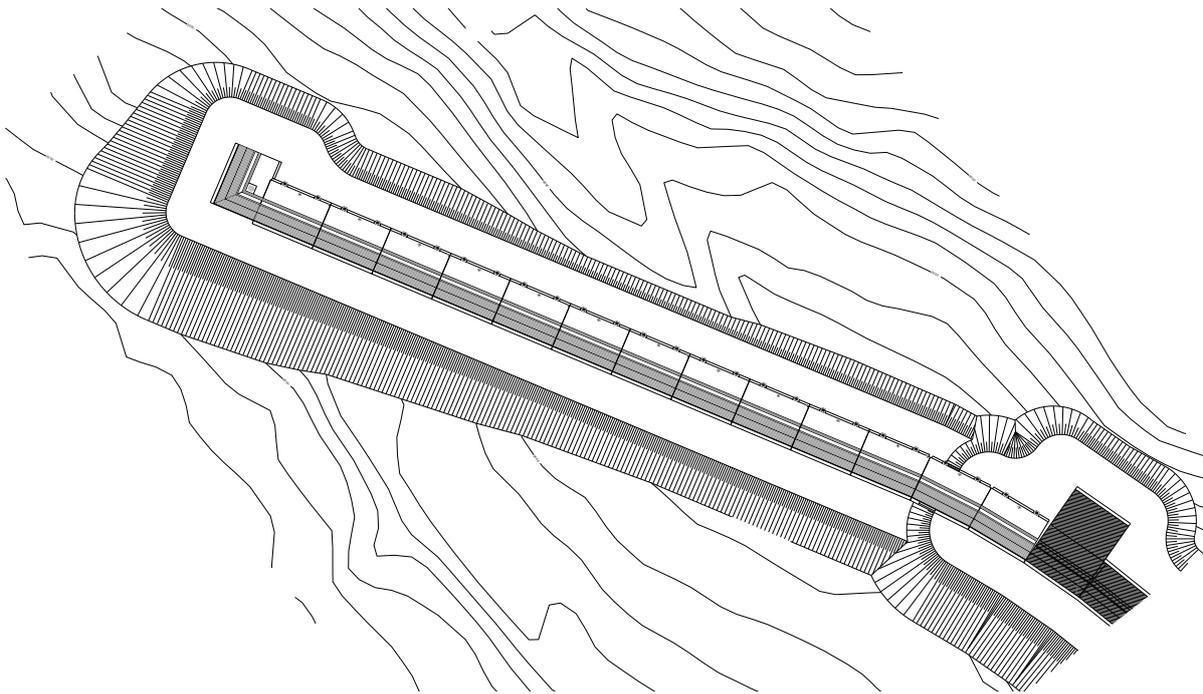


Figura 2: Planimetria del I° lotto delle Opere Strategiche

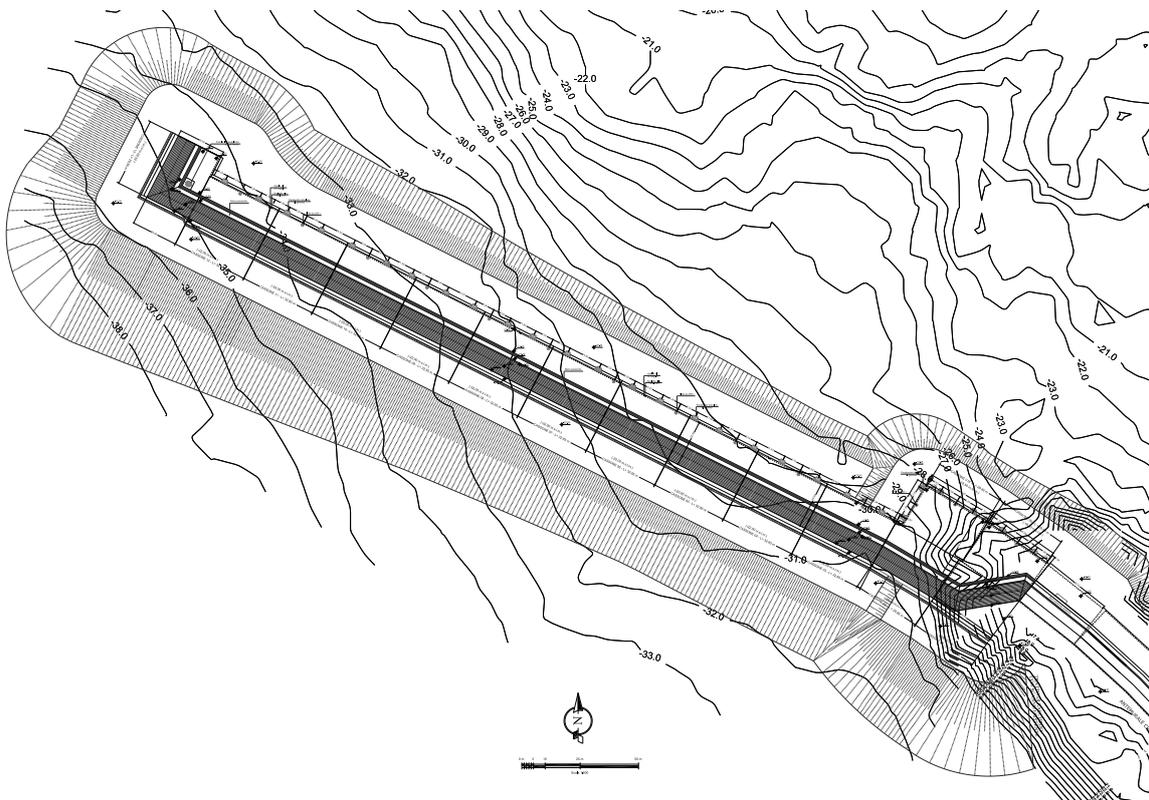


Figura 3: Variazione planimetrica del prolungamento dell'antemurale

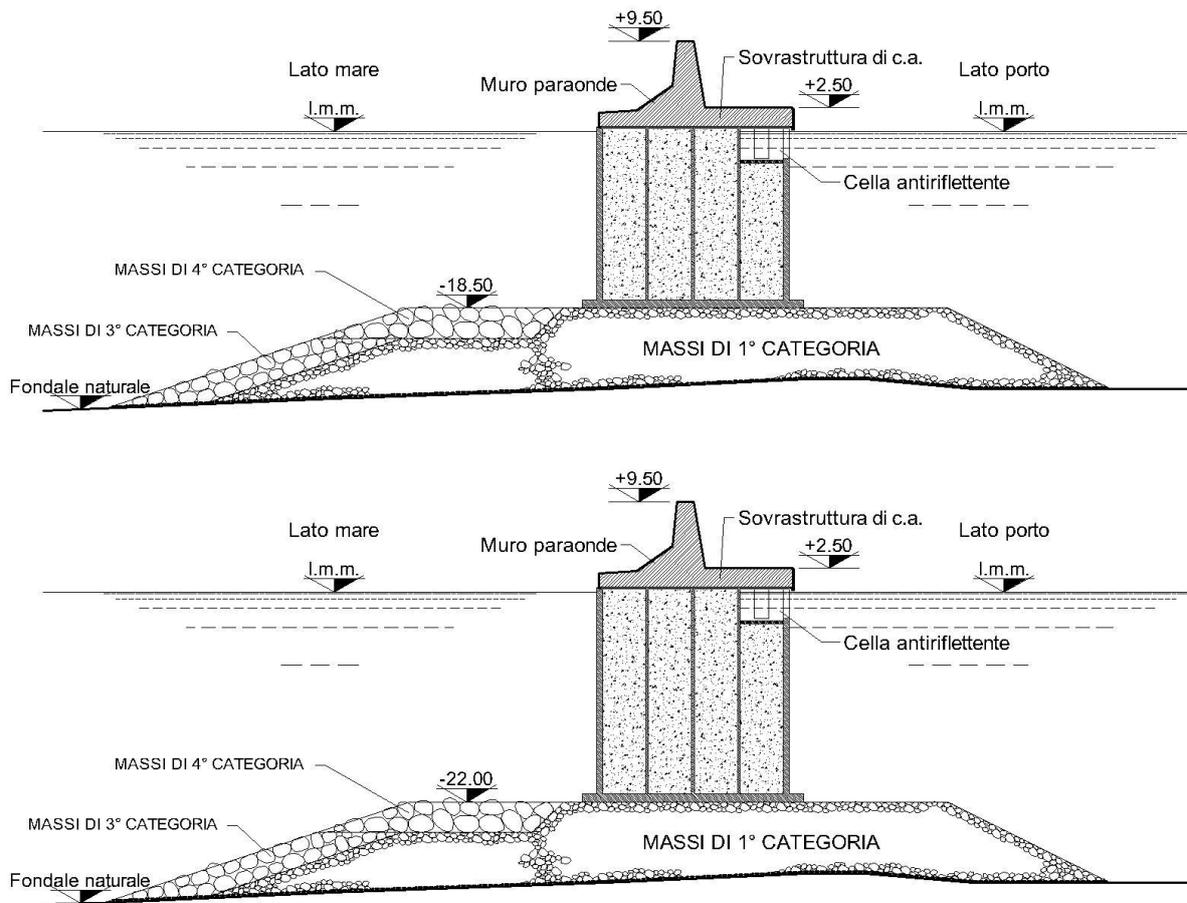


Figura 4: Sezioni tipo del prolungamento dell'antemurale previsto nel I° lotto delle Opere Strategiche

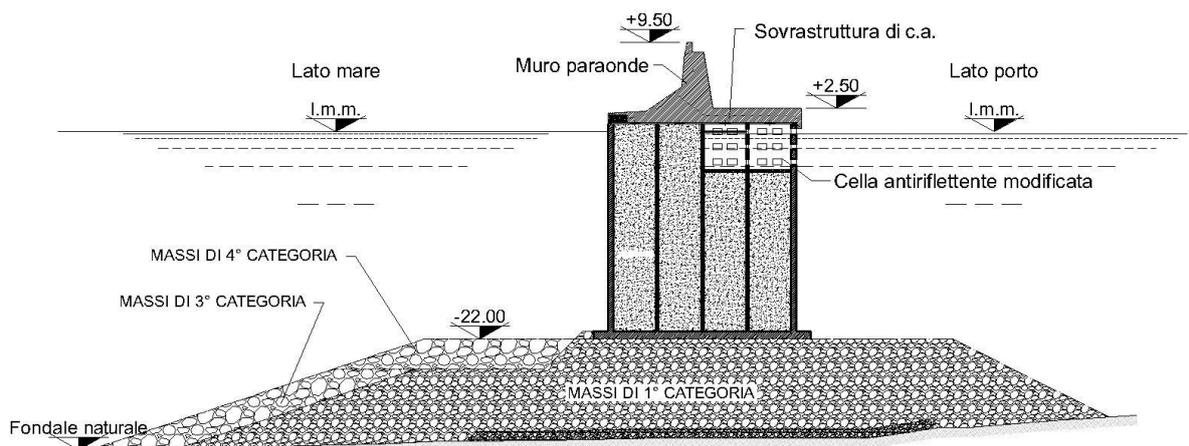


Figura 5: Sezione tipo del prolungamento dell'antemurale a seguito delle varianti migliorative

3. PROGETTO DELLE NUOVE OPERE

3.1 Criteri di scelta della sezione tipo

Il prolungamento della diga foranea si sviluppa su fondali ovunque superiori a 30 m, più precisamente variabili fra -36 e -40 m s.m.m. In presenza di tali fondali il ricorso ad opere di tipo verticale, a cassoni, su imbasamento a scogliera è senza dubbio conveniente dal punto di vista economico, dato il costo molto inferiore rispetto a quello di una tradizionale opera "a gettata", equivalente dal punto di vista della resistenza alle azioni del moto ondoso. Pertanto, pur presentando indubbi vantaggi per quanto concerne il fenomeno della riflessione del moto ondoso e il sormonto del coronamento da parte delle onde, la soluzione a gettata è stata scartata in favore della soluzione a parete verticale.

Nella prima versione del progetto preliminare del prolungamento, redatto nel 2014, e nella successiva project review le considerazioni inerenti le dimensioni e le prestazioni dello scanno di imbasamento in termini di cedimenti hanno avuto particolare rilievo nei criteri di scelta della sezione tipo dell'opera.

Nel tratto terminale dell'antemurale Colombo, realizzato in distinti lotti a sezione composta ovvero con una parete verticale in cassoni imbasata su uno scanno di rilevante spessore, sono stati osservati degli assestamenti distribuiti irregolarmente nel tempo e nello spazio.

I cedimenti osservati nel tratto terminale della diga, in particolare, anche se in generale non pericolosi dal punto di vista della stabilità delle opere, hanno dato luogo comunque ad alcuni inconvenienti, non solo di carattere estetico. Questi aspetti sono stati ulteriormente approfonditi in sede di review del progetto preliminare sulla base di importanti nuovi elementi che hanno portato a riconsiderare i criteri di scelta della sezione tipo di progetto.

I nuovi elementi derivano dai risultati della campagna di monitoraggio del prolungamento dell'antemurale eseguita nell'ambito dei lavori del primo lotto delle Opere Strategiche. Dal confronto tra le misure eseguite nell'ultima campagna con quelle eseguite per i lotti antecedenti (caratterizzati dalla stessa sezione tipologica seppure con diversi spessori dello scanno di imbasamento e diverse altezze dei cassoni) è emerso come la riduzione degli spessori complessivi di scanno non comporti una pratica riduzione dei cedimenti complessivi in fase costruttiva. Lo scanno di imbasamento come noto, infatti, anche se costituito da materiali di buone caratteristiche intrinseche risulta, per modalità di collocazione in opera, nella fase iniziale, sicuramente poco addensato e pertanto sensibile alle prime massime sollecitazioni alle quali viene sottoposto.

Al fine di comprendere l'effetto delle diverse altezze dei cassoni e degli spessori degli scanni di imbasamento sui cedimenti attesi, sono state raccolte e messe a confronto le misure eseguite sull'ultimo tratto di diga (denominato PAC e realizzato tra il 2012 e il 2017) con quelle dei lotti antecedenti (realizzati nel periodo 1999-2002 e 2002-2005). Dal confronto è emerso come a spessori (h) minori dello scanno corrispondano valori maggiori del rapporto tra cedimento (w_m) e spessore dello scanno (v. Figura 6).

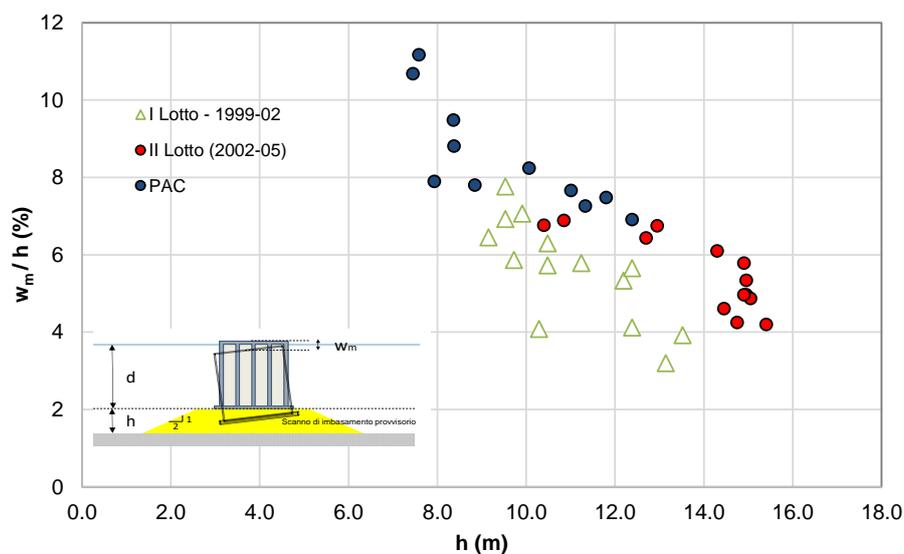


Figura 6 - Cedimenti medi normalizzati rispetto all'altezza dello scanno in funzione dello spessore dello scanno

Questa evidenza ha indotto a riconsiderare i criteri di progetto in favore di una soluzione progettuale consolidata come quella fin qui utilizzata indirizzando gli approfondimenti progettuali verso un'ottimizzazione della stessa. Pertanto, sono state studiate alcune possibili soluzioni alternative (come descritto nel paragrafo successivo) con i seguenti obiettivi progettuali:

- contenimento dello spessore dello scanno entro valori comparabili con gli spessori fin qui realizzati,
- riduzione del volume di materiale necessario per la costruzione dello scanno e dei relativi impatti,
- individuazione di una geometria dei cassoni compatibile con il livello tecnologico medio delle imprese che hanno esperienza in questo particolare settore delle opere marittime.

3.2 Descrizione delle alternative e confronto tecnico-economico

Come già indicato, il tratto di opera in esame è caratterizzato da profondità da 36 a 40 m, circa 10 m in più rispetto alla maggior parte del tratto precedente di antemurale nel quale si è impiegata la soluzione progettata dal Genio Civile e verificata sperimentalmente nel laboratorio di Delft, salvo il già richiamato incremento di altezza di 3,5 m del cassone costituente l'opera a parete verticale. Sono state pertanto prese in esame tre soluzioni alternative.

Una prima soluzione, denominata A (Figura 7), prevede che si continui a utilizzare la stessa sezione tipo dell'ultimo tratto di antemurale realizzato (I° lotto delle Opere Strategiche), cioè un cassone di sezione costante imbasato a -22.0 m s.m.m., di larghezza pari a 20 m commisurata alle necessità di carattere esecutivo (fondamentalmente verifiche dei cassoni in fase di varo, galleggiamento e affondamento) e di carattere statico (tradizionali verifiche di stabilità allo slittamento e al ribaltamento).

La seconda soluzione, denominata B (Figura 8), prevede di realizzare uno scanno di spessore inferiore e comparabile con lo spessore minimo dei tratti di antemurale realizzati tra il 1999 e il 2005. A tal fine la quota di imbasamento è stata posta pari a -27.0 m s.m.m.. Le analisi eseguite di carattere esecutivo e di carattere statico hanno evidenziato che il semplice "aumento di altezza" a parità di larghezza del cassone non è praticabile in quanto il cassone stesso non risulta stabile in fase di esercizio senza incrementarne la larghezza. Pertanto, per assicurare la stabilità dell'opera la larghezza del fusto del cassone è stata incrementata fino a 25.0 m.

La terza soluzione, denominata C (Figura 9), prevede di ridurre ulteriormente lo spessore dello scanno fino a raggiungere il valore minimo corrispondente a quello di alcuni dei cassoni del prolungamento recentemente realizzato. Per questa soluzione resta valida la larghezza del fusto pari a 25.0 m seppure con una riduzione dei coefficienti di sicurezza relativi alla stabilità alla traslazione e al ribaltamento.

Le tre soluzioni individuate sono state messe a confronto tenendo conto dei seguenti aspetti:

- aspetti costruttivi;
- stabilità dell'opera;
- cedimenti;
- costi.

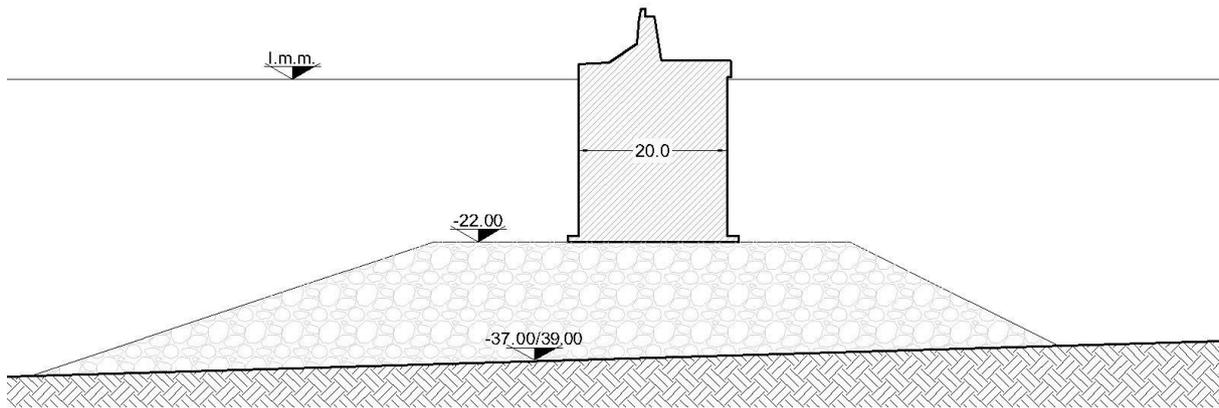


Figura 7: Soluzione alternativa A: cassone di larghezza costante imbasato alla quota -22,0 m s.m.m.

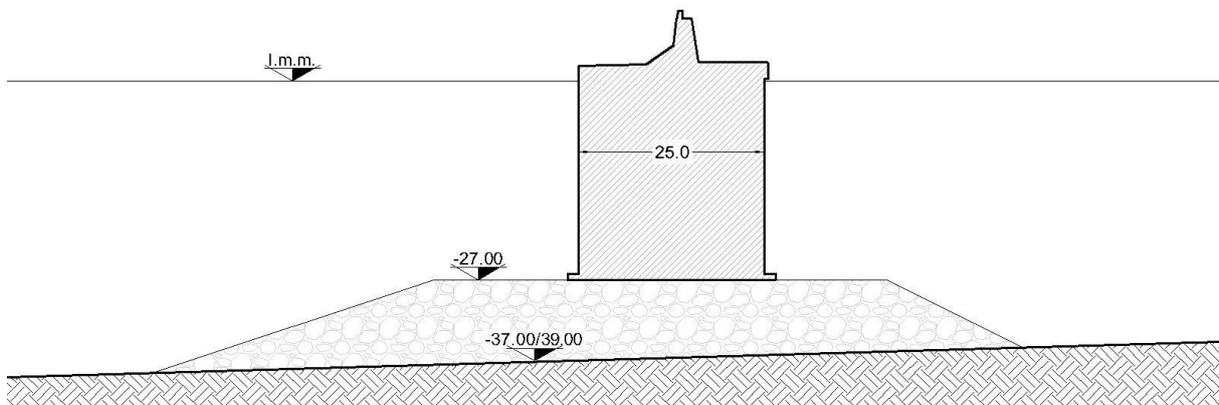


Figura 8: Soluzione alternativa B: cassone di larghezza costante imbasato alla quota -27,0 m s.m.m.

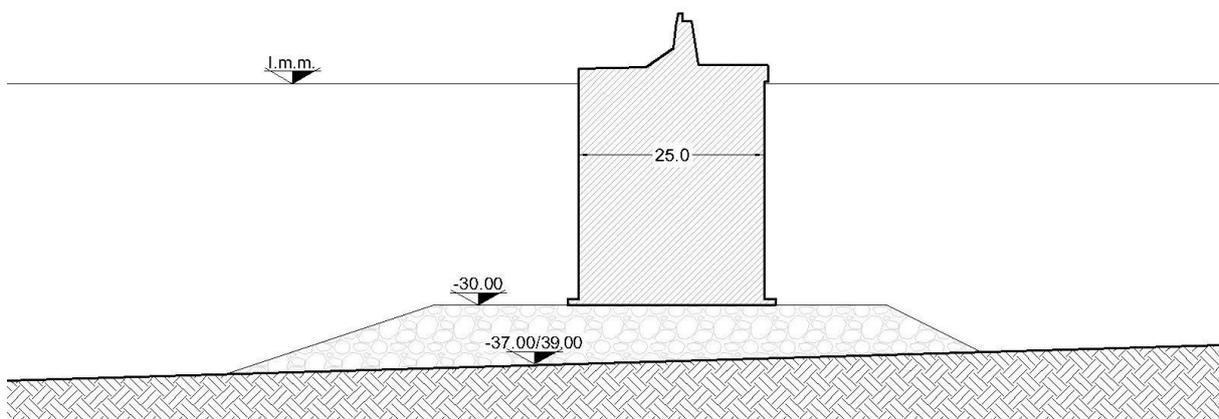


Figura 9: Soluzione alternativa C: cassone di larghezza costante imbasato alla quota -30,0 m s.m.m.

Aspetti costruttivi

Per quanto riguarda la geometria dei cassoni gli aspetti da considerare riguardano sostanzialmente la larghezza e l'altezza dei cassoni. Nel passare dalla soluzione A alla soluzione B la larghezza del fusto del cassone è stata incrementata fino a 25.0 m visto che l'approfondimento della quota di imbasamento richiede un incremento della larghezza del cassone per garantire un adeguata stabilità alla traslazione e al ribaltamento.

La larghezza pari a 25 m può essere ritenuta quella massima realizzabile in relazione alle dimensioni dei bacini galleggianti di prefabbricazione attualmente disponibili e operanti in Italia. Si osserva a riguardo che l'adozione di cassoni di dimensioni maggiori di quelle previste restringerebbe sensibilmente il campo delle imprese in grado di realizzarli.

Per quanto riguarda l'altezza, la soluzione A offre il vantaggio di poter costruire per intero i cassoni sui bacini galleggianti, mentre per le soluzioni B e C è necessaria la costruzione in due fasi: la prima fase nel bacino galleggiante e la seconda fase di completamento con il cassone in galleggiamento o affondato temporaneamente.

All'altezza dei cassoni sono direttamente correlati gli aspetti costruttivi relativi allo scanno. Infatti all'aumentare della profondità di imbasamento dei cassoni il volume complessivo di materiale da porre in opera si riduce notevolmente. In particolare, rispetto alla soluzione A, il volume complessivo di materiale da porre in opera si riduce del 35% (pari a circa 400.000 tonnellate in meno) per la soluzione B e del 50% (pari a circa 650.000 tonnellate in meno) per la soluzione C.

Questo aspetto è importante al fine di ridurre i tempi di realizzazione dell'opera con particolare riferimento alle interferenze con il traffico portuale dovuto ai mezzi marittimi. Si osserva infatti che l'area di cantiere è ubicata in corrispondenza dell'imboccatura portuale e, a differenza dell'ultimo tratto di diga realizzato, lo spazio utile per il transito delle navi risulta ora ridotto in quanto confinato dalle opere di difesa della darsena servizi.

Stabilità dell'opera

Le tre soluzioni sono state verificate per quanto concerne la stabilità alla traslazione e al ribaltamento ma anche per la capacità portante della fondazione.

Le verifiche eseguite hanno evidenziato una significativa maggiore stabilità dell'opera per le soluzioni B e C.

Cedimenti

Per una stima di massima dei cedimenti che subiranno i cassoni nella fase di collocazione in opera e, successivamente, per effetto dei sovraccarichi sono utilmente ripresi ed interpretati i dati di monitoraggio dei tratti di diga esistente caratterizzati dalla stessa tipologia costruttiva.

Per quanto riguarda la soluzione A, in particolare, in analogia all'ultimo tratto di antemurale recentemente realizzato, sono da attendersi valori dei cedimenti medi associati alla sola fase di collocazione in opera per lo più nell'ordine dei 85-95 cm. Alla stima complessiva, come per le altre tipologie di cassone, va evidentemente aggiunta l'aliquota associata alla realizzazione della sovrastruttura, contenuta al più entro 10 cm, e dei cedimenti consolidazione dei terreni argillosi profondi di lungo termine generalmente di entità modesta ed al più comparabile.

Cedimenti di entità comparabile sono attesi per la soluzione B, nell'ordine dei 90-100 cm, in conseguenza della riduzione di spessore dello scanno di imbasamento che di fatto viene a

compensare l'incremento di azioni in fondazione, sia in condizioni ordinarie (peso proprio) che effetto delle mareggiate (cresta e cavo dell'onda).

Per la soluzione C è presumibile un ulteriore incremento dei cedimenti per effetto della maggiore altezza dei cassoni; una stima in tal senso è però difficilmente estrapolabile dai dati a disposizione ed andrebbe meglio indagata anche alla luce delle elevate pressioni di contatto tra scanno e solettone di fondo del cassone attese (fino a 85 t/m² per mareggiate estreme). Tali pressioni possono teoricamente portare a rottura gli elementi lapidei dello scanno e concorrere ad indurre ulteriori cedimenti in esercizio di entità difficilmente prevedibili, per cui in linea di principio non sarebbero da escludere possibili accorgimenti in fondazione consistenti in un pretrattamento dello scanno.

Costi

Per quanto riguarda i costi è stata eseguita una stima per ciascuna delle soluzioni progettuali. La stima ha evidenziato che i costi relativi alle tre soluzioni sono sostanzialmente allineati con differenze inferiori al 3%.

La scelta definitiva della soluzione progettuale è stata eseguita sulla base di un confronto tecnico-economico delle ipotesi esaminate.

Al fine di individuare la soluzione ottimale, nella Tabella 1 sono stati sintetizzati per i distinti elementi di giudizio i vantaggi e gli svantaggi relativi a ciascuna delle ipotesi progettuali (con il simbolo "-" sono stati indicati gli svantaggi e con il simbolo "+" i vantaggi).

La tabella mette in evidenza come, a fronte di un modesto incremento dei costi, la Soluzione B costituisca la soluzione ottimale.

Vantaggi/svantaggi	Soluzioni progettuali		
	Soluzione A	Soluzione B	Soluzione C
prefabbricazione dei cassoni	+	-	-
realizzazione dello scanno	-	+	+
impatto sul traffico portuale	-	+	+
stabilità dell'opera	-	+	+
cedimenti della diga	+	+	-
costi	+	+	+
totale	0	++++	++

Tabella 1 – Tabella riassuntiva dei vantaggi e degli svantaggi di ciascuna soluzione progettuale

interamente protetto da una mantellata ed in particolare in prossimità del piede del cassone dove maggiori sono le azioni di scalzamento del moto ondoso. Inoltre, si agevoleranno le operazioni di spianamento dello scanno in quanto si avrà un'unica superficie tutta alla stessa quota.

I cassoni sono caratterizzati da una larghezza pari a 20 m e da una lunghezza pari a 30.30 m. All'interno il cassone sarà suddiviso in 28 (7x4) celle separate da setti in calcestruzzo armato. Le celle del cassone disposte verso il porto saranno dotate di aperture per la dissipazione dell'energia ondosa residua. Tali celle saranno connesse idraulicamente tra loro mediante analoghe aperture di forma rettangolare applicate sui setti trasversali. Il cassone è delimitato sul fondo da un solettone in c.a. a tutta lunghezza (larghezza 23.0 m e spessore 1.0 m).

I cassoni saranno completati da un muro paraonde e da una sovrastruttura in c.a. Il muro paraonde è caratterizzato da una quota di sommità pari a +9.50 m sul l.m.m., mentre la sovrastruttura di banchina è caratterizzata dalla stessa geometria della diga esistente (quota +2,50 m sul l.m.m. e larghezza carrabile 9.0 m circa).

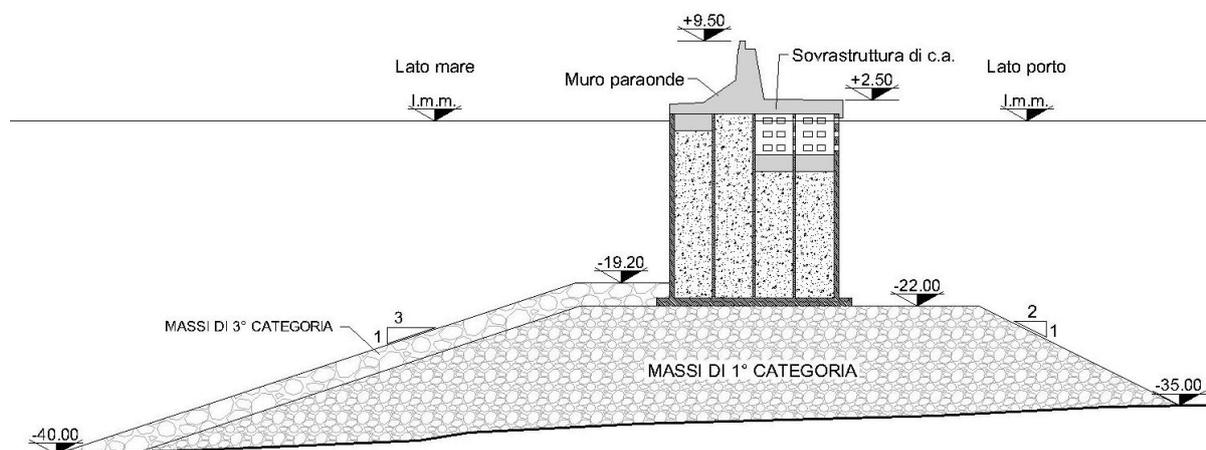


Figura 11: Sezione tipo del tratto di raccordo

Per quanto riguarda il secondo tratto, dello sviluppo di circa 334.0 m, l'opera verrà realizzata mediante la posa in opera di 11 cassoni imbasati alla profondità di 27.0 m su di uno scanno di fondazione costituito da massi naturali di prima categoria (peso singolo da 50÷1000 kg) e di seconda categoria (peso singolo da 1000÷3000 kg). La sezione tipo del tratto corrente ricalca quella del tratto di raccordo fatta eccezione per la quota di imbasamento e le dimensioni dei cassoni.

I cassoni sono caratterizzati da una larghezza pari a 25 m e da una lunghezza pari a 30.30 m. All'interno il cassone sarà suddiviso in 35 (7x5) celle separate da setti in calcestruzzo armato. Le celle del cassone disposte verso il porto saranno dotate di aperture per la dissipazione dell'energia ondosa residua. Tali celle saranno connesse idraulicamente tra loro mediante analoghe aperture di forma rettangolare applicate sui setti trasversali. Il cassone è delimitato sul fondo da un solettone in c.a. a tutta lunghezza (larghezza 28.0 m e spessore 1.0 m).

La parte sommitale della struttura è del tutto identica a quella dell'intera opera foranea a cassoni. È quindi costituita da un muro paraonde e da una sovrastruttura in c.a. Il muro paraonde è caratterizzato da una quota di sommità pari a +9.50 m sul l.m.m., mentre la sovrastruttura di banchina è caratterizzata dalle stesse dimensioni dell'antemurale esistente (quota +2,50 m sul l.m.m. e larghezza carrabile 9.0 m circa).

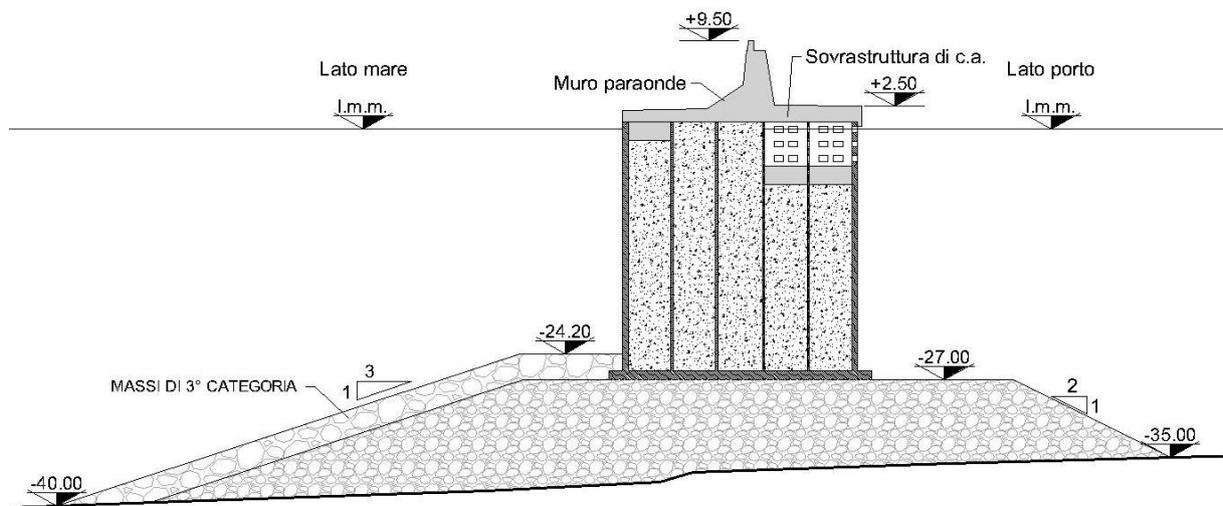


Figura 12: Sezione tipo del tratto corrente

4.2 Fasi esecutive

Le fasi esecutive di prefabbricazione e posa in opera dei cassoni sono state definite ipotizzando di utilizzare un bacino galleggiante di dimensioni medio-grandi (come quelli utilizzati negli ultimi anni per diversi lavori eseguiti nel porto).

Le verifiche di stabilità al galleggiamento hanno permesso di stabilire il pescaggio dei cassoni nelle varie fasi. Per le verifiche si è ipotizzato il ricorso unicamente a zavorramenti con acqua di mare in quanto possono essere modificati facilmente nel corso delle diverse fasi di lavoro. Tuttavia, in base all'esperienza e alle esigenze delle imprese costruttrici si potrà fare ricorso anche all'uso di zavorre solide.

Nel seguito sono descritte le fasi esecutive relative al cassone da imbasare a quota -27.0 m sul l.m.m.. Per quanto riguarda i cassoni di raccordo, da imbasare a quota -22.0 m, le fasi esecutive sono quelle tradizionali in quanto i cassoni possono essere prefabbricati interamente sui bacini galleggianti come per i cassoni realizzati negli ultimi anni.

Fase 1. Prefabbricazione parziale su bacino galleggiante

La prima fase consiste nella prefabbricazione parziale dei cassoni sul bacino galleggiante in quanto l'altezza massima dei cassoni ottenibile è condizionata dai seguenti aspetti:

- ingombro massimo permesso dal bacino inferiore all'altezza del cassone completato;
- pescaggio disponibile al piede delle banchine a servizio dell'area di prefabbricazione.

Fase 2. Varo dal bacino galleggiante

La seconda fase consiste nel varo del cassone eseguito parzialmente. In questa fase il pescaggio del cassone è limitato a circa 12-13 m.

Fase 3. Affondamento nella seconda area di prefabbricazione

La terza fase consiste nel trasportare e affondare il cassone parzialmente costruito in una seconda area di lavorazione. Tenendo conto del pescaggio del cassone completato (pari a circa 18 m), l'area prospiciente la banchina che sarà dedicata al completamento del cassone dovrà essere caratterizzata da una profondità minima di 18.5 m sul l.m.m.. In questa fase verrà incrementata l'altezza delle zavorre liquide fino a far adagiare il cassone sul fondo o a renderlo sufficientemente stabile ma in galleggiamento.

Fase 4. Completamento della struttura del cassone

Una volta adagiato sul fondo il cassone o comunque reso stabile, continueranno le lavorazioni di completamento della prefabbricazione del cassone. Il cassone verrà completato utilizzando di nuovo dei casseri rampanti.

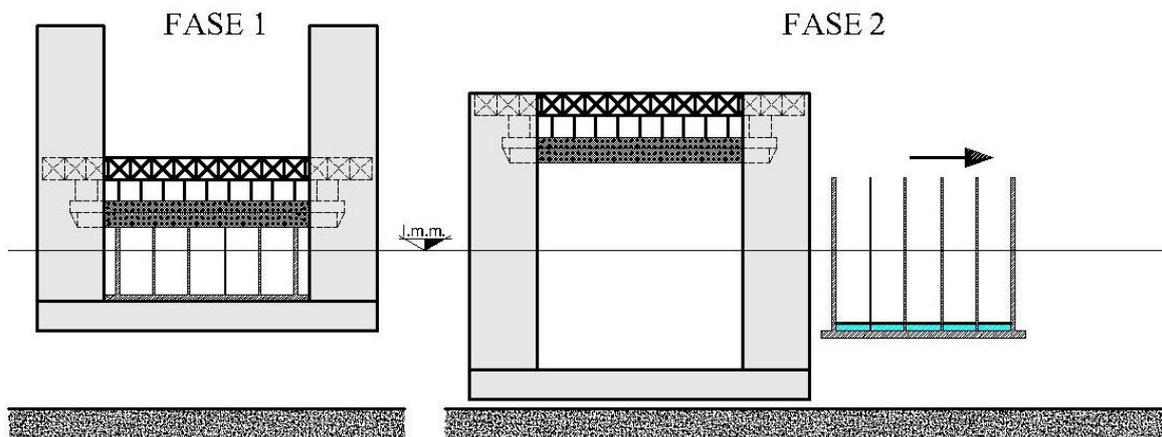


Figura 13: Fasi 1 e 2. Prefabbricazione parziale su bacino galleggiante e successivo varo

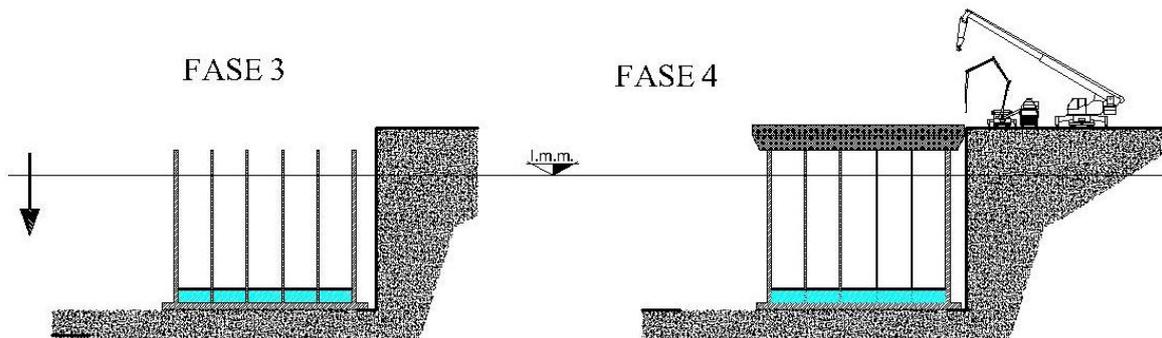


Figura 14: Fasi 3 e 4. Affondamento e completamento della prefabbricazione

Fase 5a. Galleggiamento del cassone completato

Diminuendo l'altezza delle zavorre di acqua, il cassone verrà messo in galleggiamento.

Fase 5b. Trasporto in area affondamento

In questa fase il cassone, perfettamente stabile, verrà trainato nell'area di affondamento.

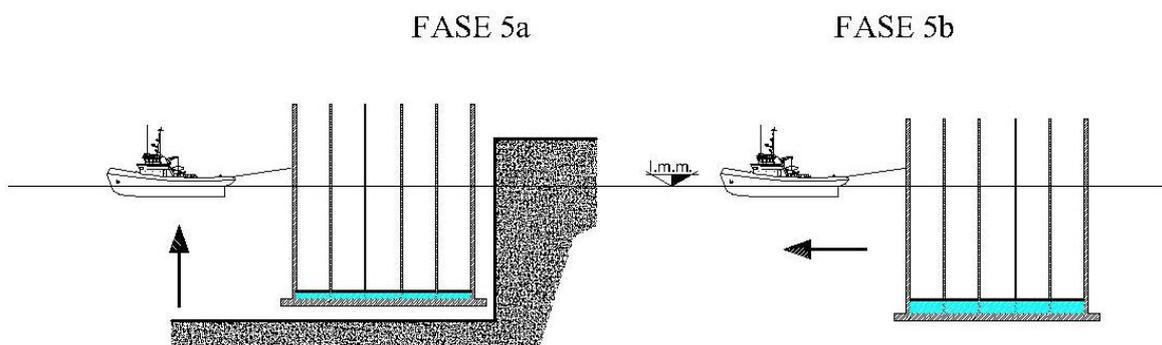


Figura 15: Fasi 5a e 5b. Galleggiamento del cassone completato e trasporto in area affondamento

Fase 6. Affondamento e riempimento delle celle del cassone

Al fine di far affondare il cassone mantenendolo verticale, le zavorre liquide dovranno essere progressivamente e, raggiunto il pescaggio di 27 m, il cassone dovrà essere riempito completamente di acqua. Successivamente le celle del cassone verranno riempite con il materiale inerte e il calcestruzzo ove previsto.

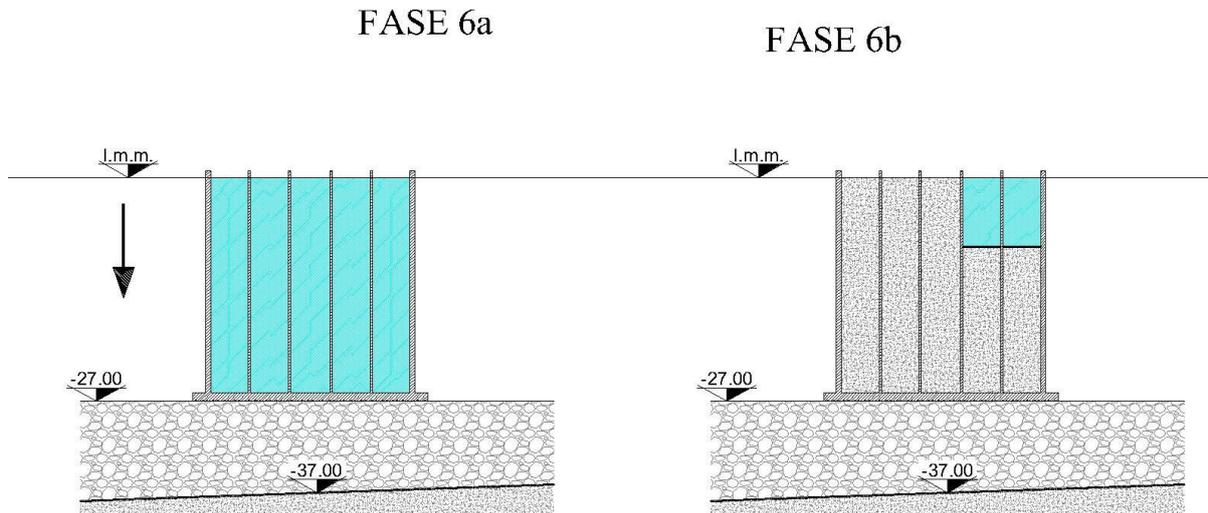


Figura 16: Fasi 6a e 6b. Affondamento del cassone e riempimento

Nelle fasi successive si provvederà al completamento dell'opera e in particolare alla costruzione della sovrastruttura e del muro paraonde.

L'area ove eseguire il completamento della prefabbricazione dei cassoni può essere ubicata lungo il molo di sopraflutto del porto. Nella Figura 18 sono riportate alcune sezioni, la cui ubicazione è indicata nella Figura 17, dalle quali si evince la disponibilità di aree a mare in prossimità delle banchine con un fondale sufficientemente profondo per il completamento del cassone (Fasi 3 e 4) e il successivo varo e trasporto (Fasi 5a e 5b). Nella suddetta figura è rappresentato anche uno scanno di imbasamento provvisorio nel caso venga utilizzato per la fase di completamento della struttura dei cassoni.

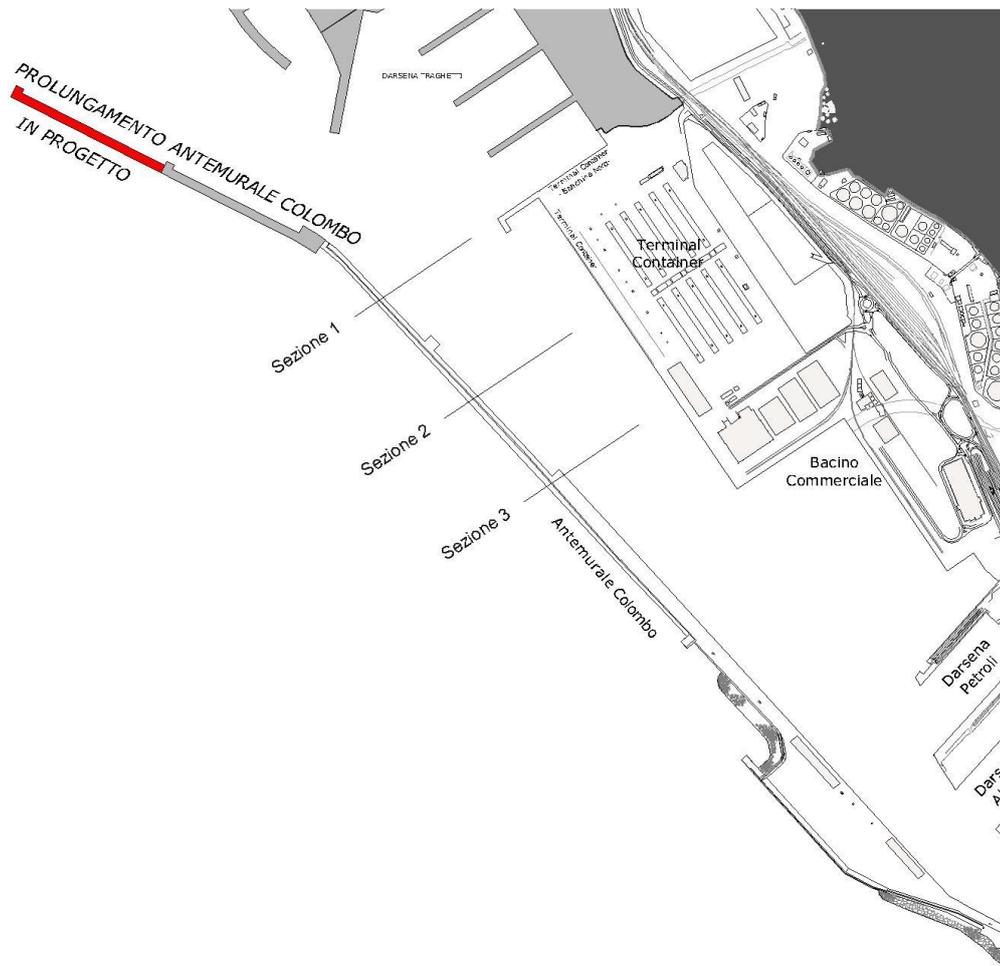


Figura 17: Ubicazione delle sezioni di riferimento per il completamento della prefabbricazione dei cassoni lungo l'antemurale Colombo

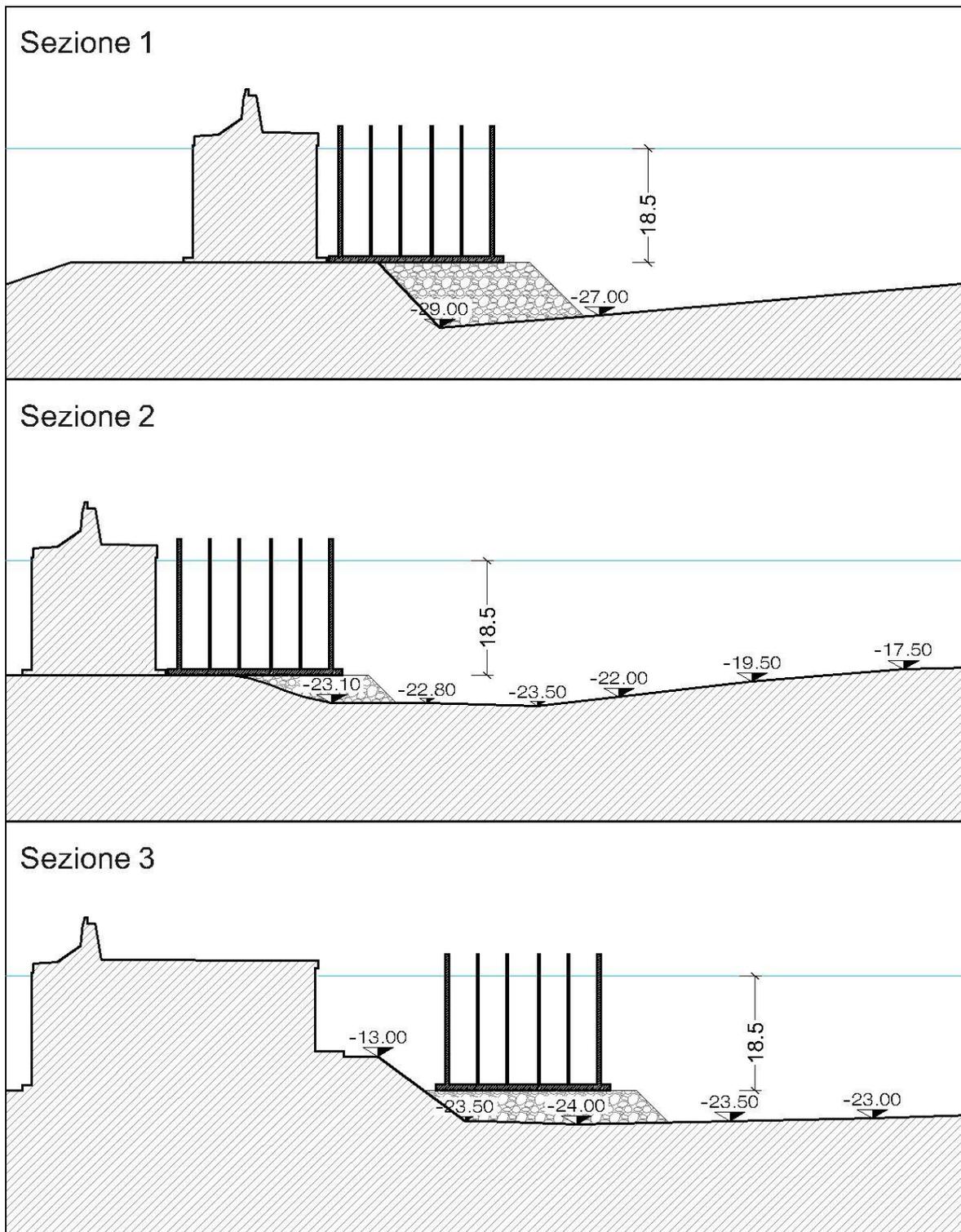


Figura 18: Sezioni di riferimento per il completamento della prefabbricazione dei cassoni lungo l'antemurale Colombo

5. STUDI A SUPPORTO DELLA PROGETTAZIONE

5.1 Aggiornamento dello studio meteomarinario

L'aggiornamento dello studio meteomarinario ha avuto per obiettivo la definizione del clima ondometrico a ridosso delle opere previste per il prolungamento dell'antemurale.

La ricostruzione del moto ondoso sotto costa è stato effettuato attraverso l'applicazione del modello matematico di rifrazione inversa spettrale MEROPE (sviluppato dalla MODIMAR S.r.l.), che ha consentito la definizione delle principali caratteristiche meteomarine che contraddistinguono il paraggio in esame, necessarie per la determinazione dei principali parametri progettuali.

Lo studio aggiorna e completa lo studio meteo marino, eseguito dall'Università di Padova per l'autorità Portuale, che ha definito le caratteristiche ondometriche al largo del porto.

5.2 Studio dell'agitazione ondosa

Nello studio della penetrazione del moto ondoso all'interno del porto è stato analizzato, oltre alla configurazione attuale delle opere del porto, il layout del prolungamento dell'antemurale sia nella configurazione prevista dal PRP sia per configurazioni parziali che prevedono un progressivo aumento dello sviluppo planimetrico dell'opera. Le diverse configurazioni prevedono di prolungare la diga da 250 m fino a 400 m corrispondente alla configurazione di PRP (vedi Figura 19).

Tenuto conto della disposizione planimetrica delle opere portuali esistenti e in progetto, l'analisi della distribuzione direzionale degli eventi di moto ondoso ha messo in evidenza che gli stati di mare significativi ai fini della valutazione dell'agitazione ondosa sono quelli provenienti da libeccio, ponente e maestrale. Gli eventi di libeccio sono sensibilmente più frequenti rispetto alle altre direzioni, tuttavia da ponente provengono gli eventi più intensi anche se decisamente meno frequenti.

Per ciascuna direzione di provenienza sono stati considerati due valori del periodo d'onda incidente al fine di verificare l'agitazione ondosa dovuta a condizioni frequenti (tempo di ritorno 1-2 anni, periodo d'onda inferiore) e a condizioni eccezionali (tempo di ritorno 50 anni, periodo d'onda superiore).

Dall'analisi dei risultati ottenuti dall'applicazione del modello VEGA sono state tratte le seguenti conclusioni:

- il prolungamento dell'antemurale Colombo produce un miglioramento delle condizioni di agitazione ondosa residua alla configurazione attuale dell'opera. Tale miglioramento è tanto più consistente quanto più è prolungata la diga attuale.
- in virtù dell'orientamento della diga, per gli stati di mare provenienti da libeccio l'azione di protezione della diga è particolarmente efficace anche con un prolungamento parziale di 250 m. Con un prolungamento di 350 m l'agitazione ondosa residua risulta praticamente annullata all'interno del porto e in corrispondenza dell'imboccatura della darsena servizi.
- per gli stati di mare provenienti da ponente l'azione di protezione della diga è meno efficace rispetto a quella offerta per gli eventi di libeccio ma tuttavia significativa ai fini dell'utilizzo degli accosti anche con un prolungamento parziale di 300 m. Tuttavia l'agitazione ondosa residua persiste in corrispondenza dell'imboccatura della darsena servizi anche con un prolungamento di 400 m.

- per gli stati di mare provenienti da maestrale l'azione di protezione della diga è meno efficace rispetto a tutte le altre direzioni in quanto maestrale coincide con la rotta di ingresso al porto. Tuttavia è significativa la riduzione dell'agitazione ondosa in corrispondenza della banchina del terminal container.

In conclusione, il prolungamento della diga foranea risulta efficace nei confronti della riduzione dell'agitazione ondosa residua con particolare riferimento agli eventi di moto ondoso provenienti dal settore di libeccio caratterizzato da eventi frequenti e intensi. Per quanto riguarda i settori di ponente e maestrale, caratterizzati da una bassa frequenza di accadimento, la protezione pur risultando meno efficace determina un miglioramento delle condizioni di accosto per il bacino interno.

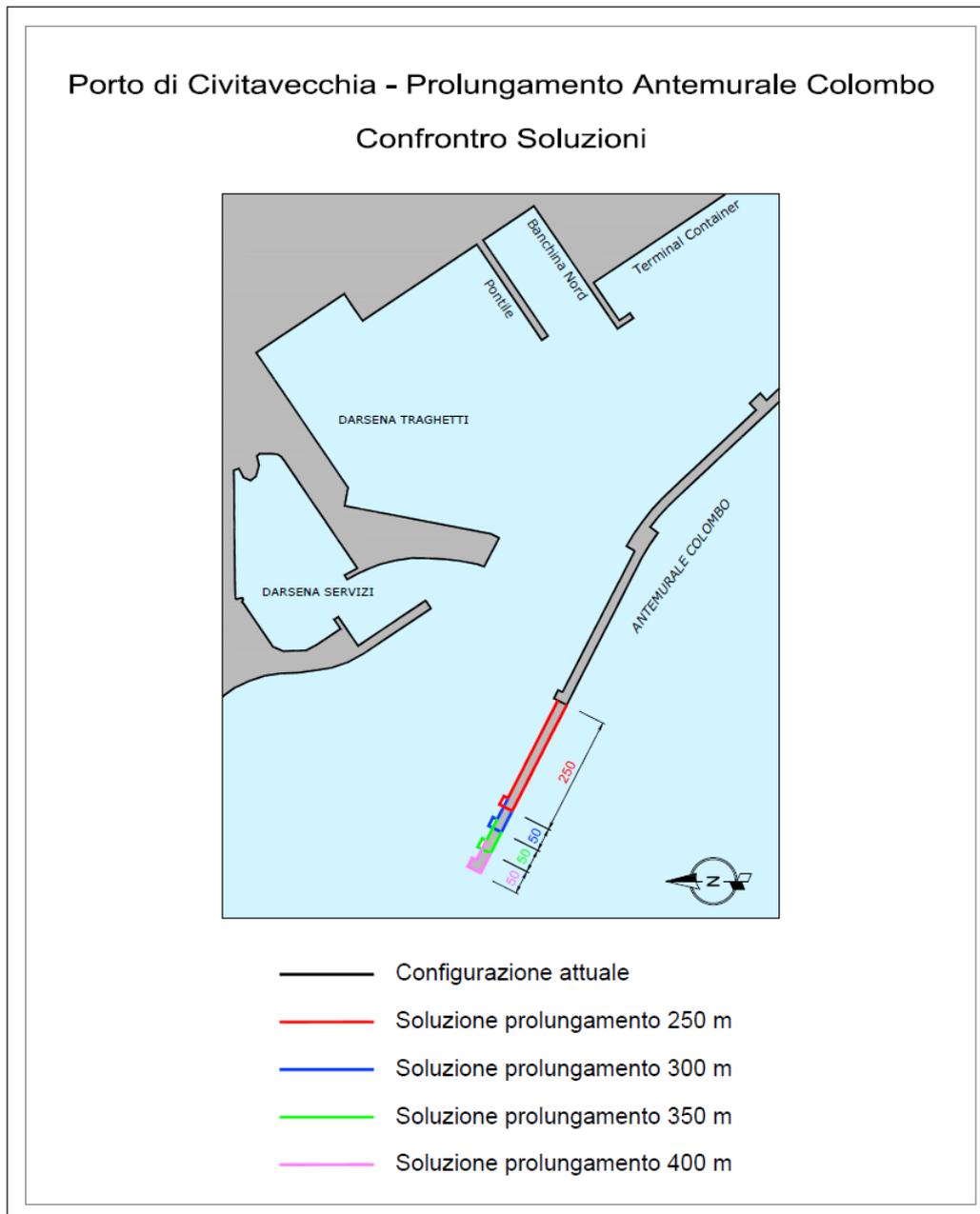


Figura 19 – Layout analizzati nello studio della penetrazione del moto ondoso

5.3 Studio delle azioni sulla struttura con modello numerico

Nello studio sono riportati i risultati di alcune simulazioni numeriche eseguite mediante il codice numerico CFD OpenFOAM® al fine di calcolare il campo di pressione e le conseguenti forze che agiscono sulla struttura in progetto nelle condizioni di moto ondoso estreme assunte per il dimensionamento dell'opera foranea in esame.

Il codice numerico, che risolve le equazioni di Navier-Stokes mediate alla Reynolds in presenza di acqua e di aria con la tecnica numerica dei volumi finiti, è in grado di simulare la propagazione e l'interazione di stati di mare con strutture di qualsiasi geometria anche in presenza di onde frangenti e di azioni di tipo impulsivo. Il codice di calcolo utilizzato, che si avvale dei "toolbox" InterFOAM e IHFOAM, è in grado di riprodurre stati di mare regolari e irregolari di prefissate caratteristiche e simula anche la presenza di un mezzo poroso, che nel presente caso è costituito dallo scanno di imbasamento, dove sono risolte le equazioni VARANS (Volume-Averaged/Reynolds Averaged Navier-Stokes).

Le simulazioni eseguite hanno riguardato stati di mare caratterizzati dai tempi di ritorno di 50, 100 e 250 anni. I risultati ottenuti in termini di pressioni agenti sull'opera sono stati opportunamente integrati per calcolare le forze che agiscono sulla struttura e i rispettivi punti di applicazione. A titolo di esempio nella Figura 20 è riportata l'evoluzione dell'onda incidente sulla struttura per diversi istanti temporali di calcolo.

Le forze calcolate numericamente sono state poste a confronto con quelle ottenute applicando le formule di Goda estese da Takahashi per onde frangenti.

Il confronto ha mostrato che le formule di Goda nel presente caso risultano conservative poiché le pressioni e le forze ottenute numericamente risultano inferiori rispetto a quelle fornite dalle formule. Tale comportamento è pienamente giustificato dal fatto che mentre il codice numerico riproduce i fenomeni di sormonto del moto ondoso che riducono la spinta orizzontale che agisce sulla parete verticale della struttura, ciò non accade dall'applicazione delle formule di Goda le quali, supponendo che la parete verticale abbia un'altezza infinita, forniscono pressioni e forze maggiori.

I risultati numerici hanno mostrato inoltre che l'opera risulta stabile anche in presenza di stati di mare con $T_r=100$ anni e 250 anni.

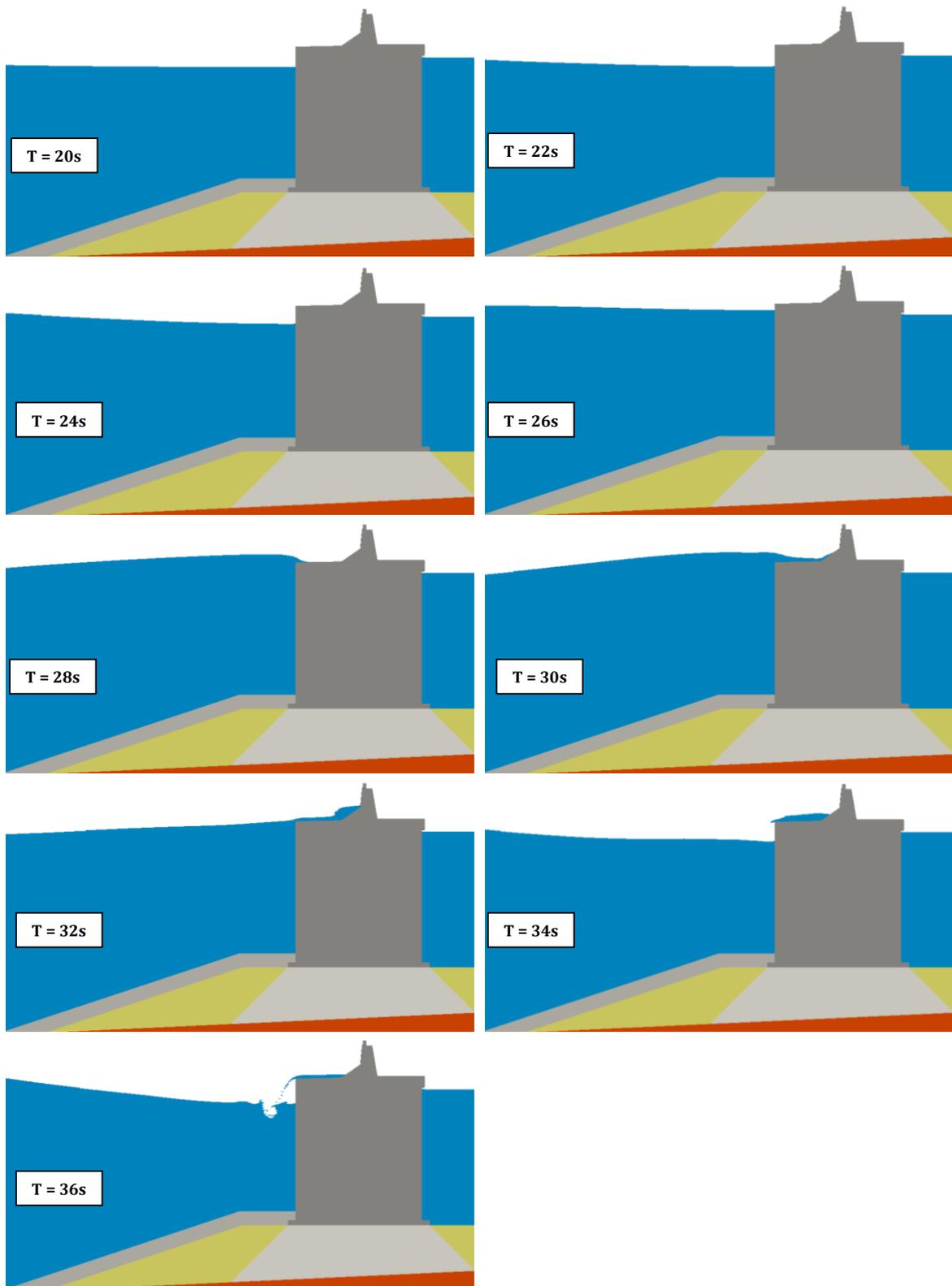


Figura 20 – Evoluzione dell'onda incidente sulla diga a parete verticale.

6. ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI

Nella prima versione del progetto preliminare la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni interessati dal prolungamento dell'antemurale era stata assunta coerente ed in continuità con quella ben indagata e verificata per i tratti di antemurale già realizzati in stretta adiacenza.

In particolare la ricostruzione del quadro geologico e geomorfologico preliminare era stato basato sulla raccolta delle indagini già disponibili e delle interpretazioni eseguite nel corso di tutti gli interventi già eseguiti e progettati in aree adiacenti e comunque rientranti nello stesso contesto ambientale. Tra queste ultime, significativa rilevanza avevo avuto le indagini eseguite nel Progetto della Darsena Grandi Masse e quelle svolte durante la progettazione del primo Stralcio delle Opere Strategiche. Un quadro sintetico dei dati disponibili è rappresentato in Figura 21.

A seguito degli esiti della campagna di indagine integrativa recentemente completata, predisposta e programmata già in sede di Progettazione Preliminare dei diversi interventi, e fatta lodevolmente eseguire direttamente dall'Autorità Portuale, per i terreni interessati dalla costruzione del nuovo antemurale è risultato un quadro stratigrafico più completo e meglio rappresentativo di quello inizialmente assunto.

Come meglio rappresentato nella Relazione geotecnica di progetto alla quale per completezza si rimanda, dal nuovo quadro geotecnico complessivo non sono derivate pratiche conseguenze sulle condizioni di stabilità dei cassoni.

La più completa e maggiormente significativa modellazione geotecnica dei terreni di imposta ha inoltre consentito di affinare i calcoli dei cedimenti residui dei cassoni attesi nel tempo.



Figura 21 – Sondaggi disponibili nell'area

6.1 Indagini eseguite

La grande profondità dei fondali nel tratto dove dovrà essere impostato il prolungamento dell'Antemurale Colombo pone eccezionali difficoltà operative nei riguardi dell'esecuzione di sondaggi meccanici per la necessaria caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni di imposta dei nuovi manufatti, che risulterebbero di fatto incompatibili con le esigenze di programmazione e finanziamento delle previste nuove opere di adeguamento del Porto. Difficoltà in ogni caso esaltate da problemi di praticabilità ed operatività dell'area a fronte degli attuali importanti traffici marittimi.

In tale contesto è stato studiato e predisposto un piano di indagine alternativo basato sulla massima utilizzazione dei dati disponibili e recepibili, consistente nella esecuzione di indagini dirette ed indirette di tipo off-shore basate sulla realizzazione di sondaggi geognostici con apparecchiature di carotaggio a vibrazione (Vibrocore) a taratura di rilievi indiretti di tipo geofisico, accompagnate da un sondaggio "profondo" realizzato a terra in corrispondenza della attuale testata dell'Antemurale (SS1).

La campagna di indagine è stata eseguita nel mese di giugno 2021 dalla società Geo Gav S.r.l.. In particolare il sondaggio SS1, di lunghezza 72 metri, dopo aver attraversato il cassone e lo scanno di imbasamento, è stato spinto fino ad una profondità sufficientemente rappresentativa di circa 34 m dal fondale preesistente, ed integrato da prelievo di campioni e prove in sito, essenzialmente prove penetrometriche dinamiche tipo SPT. In fase di perforazione sono stati prelevati n.3 campioni indisturbati (CI1, CI2 e CI3, rispettivamente a 42 m, 48.5 m e 54.6 m) e n.6 campioni rimaneggiati di classe superiore (CR2, CR8, CR4, CR5, CR9 e CR6) sui quali sono state effettuate usuali prove di caratterizzazione fisica e meccanica di laboratorio consistenti in: prove compressione ad espansione laterale libera ELL, prove di taglio diretto TD e di compressione edometrica. Alcune prove di classificazione hanno infine riguardato anche i materiali grossolani superficiali. Una sintetica rappresentazione delle prove complessivamente eseguite è rappresentata in tabella:

Codice		Profondità		Pocket	Contenuto d'acqua	Peso di volume naturale	Peso secco	Peso specifico grani	Granulometria	Limite liquido e plastico	Mineralogiche	Prova compressione semplice	Taglio diretto	Edometrica	
Sondaggio	Camp. Rim.	NSPT	da	a	PP	w	γ_n	γ_d	Gs	GR	LC	(calcimetrica)	ELL	TD	ED
SS1	CR10		39.5	39.7					X	X		X			
SS1	CR1		41.2	41.4					X	X		X			
SS1	CI1		42	42.5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SS1	SPT1	88	42.5	42.95					X	X		X			
SS1	CR2		45.5	45.7		X	X		X	X	X		X		
SS1	CR7		47.3	47.5					X	X	X				
SS1	CI2		48.5	49	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
SS1	SPT2	82	49	49.45					X	X	X	X			
SS1	CR8		52.7	52.9		X	X		X	X	X		X		
SS1	CR3		53.3	53.5					X	X	X				
SS1	CI3		54.6	55.1	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
SS1	SPT3	90	55.6	56.05					X	X	X	X			
SS1	CR4		58.8	59		X	X		X	X	X		X		
SS1	CR5		62.5	62.7		X	X		X	X	X		X		
SS1	SPT4	112	63.6	64.05					X	X	X	X			
SS1	CR9		64.7	64.9		X	X		X	X	X		X		
SS1	SPT5	100	68.6	69.05					X	X	X	X			
SS1	CR6		70.5	70.7		X	X		X	X	X		X		
SS1	SPT6	115	70.5	70.95					X	X	X	X			

Come accennato, ad integrazione del sondaggio a terra, nell'ampia zona a mare corrispondente all'allineamento in prolungamento dell'Antemurale, sono stati eseguiti n.15 sondaggi geognostici con apparecchiature di carotaggio a vibrazione (Vibrocore) (SV1, .., SV15) disposti su n.5 terne coincidenti con le linee di rilievo geofisiche.

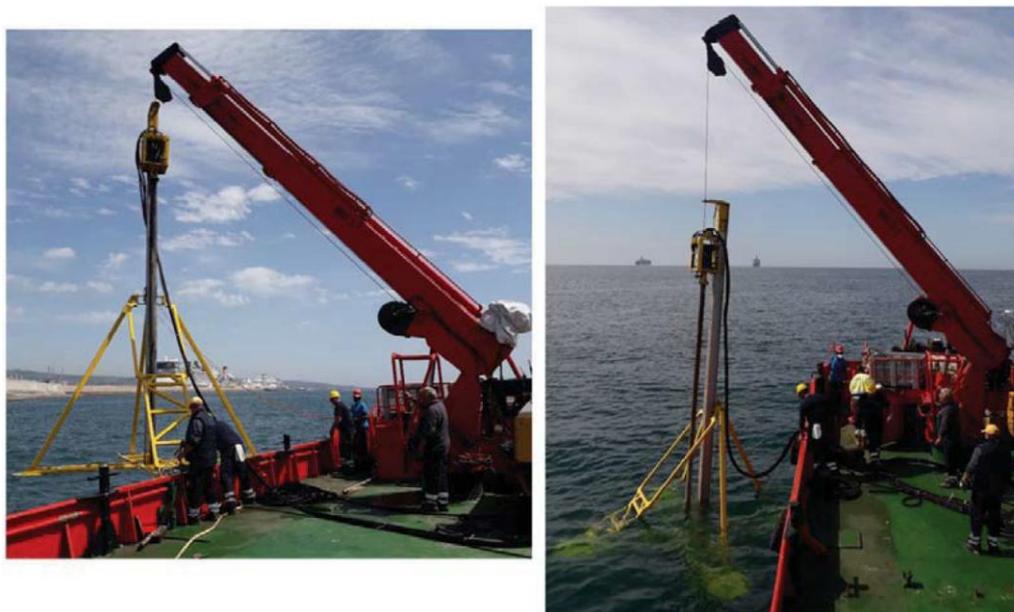


Figura 22 – Sondaggi vibrocore: apparecchiatura utilizzata

Questo sistema di perforazione ha consentito di effettuare un carotaggio continuo dei sedimenti al procedere dell'infissione fino ad una profondità massima di circa 4 m dal fondale marino. Le carote raccolte da una fustella campionatrice presente all'interno dell'asta sono state aperte per la determinazione della stratigrafia ed hanno consentito il prelievo di ulteriori campioni rimaneggiati successivamente sottoposti alle specifiche prove di caratterizzazione fisica e meccanica di laboratorio rappresentate in tabella:

Codice		Profondità VIBROCORE		Profondità CAMPIONE		Pocket	Contenuto d'acqua	Peso di volume naturale	Peso specifico grani	Granulometria	Limite liquido e plastico	Taglio diretto
Sondaggio	Camp. Rim.	da	a	da	a	PP	w	γ_n	Gs	GR	LC	TD
-	SV1	0	1.41	0.8	1.2		X		X	X		
-	SV2	0	2.1	1.4	1.7		X		X	X	X	
-	SV3	0	1.5	0	0.4		X		X	X	X	
-	SV4	0.66	1.59	0.7	1.1		X		X	X		
-	SV5	0	1.75	0.55	1		X		X	X		
-	SV6	0	0.84	0.6	0.84		X		X	X		X
-	SV7	2	3.4	2.5	2.9		X		X	X		
-	SV8	0	1.92	1.15	1.74		X		X	X	X	
-	SV9	0.66	1.71	0.66	1.71		X		X	X		
-	SV10	0.45	1.87	1.1	1.6		X		X	X	X	X
-	SV11	0	1.08	0.4	0.7		X		X	X	X	
-	SV12A	0	2.4	1	1.4		X		X	X	X	
-	SV12B	2.4	4.4	3.8	4.4	X	X	X	X	X	X	X
-	SV13	0	0.96	0.5	0.9		X		X	X	X	
-	SV14	1.54	2.43	1.6	1.9		X		X	X		
-	SV15	0	1.1	0.45	1		X		X	X		

A completamento di indagine lungo tre linee longitudinali, allineate con i sondaggi vibrocore, è stata eseguita una indagine geofisica ad alta risoluzione tramite strumentazione acustica "Sub Bottom Profiler" a tecnologia Chirp. Nel complesso sono state eseguiti n.9 profili acustici di cui 3+1 con andamento parallelo all'asse della diga, per una lunghezza circa 600 metri ognuna, e cinque perpendicolari ad esso ciascuno di lunghezza di 300 metri (**Figura 23**).



Figura 23 –Planimetria allineamenti sub-bottom profiler

I dati acquisiti opportunamente elaborati hanno consentito di ottenere delle sezioni geofisiche rappresentative e coerenti tra di loro, ed in grado di integrare ed estrapolare le informazioni puntuali ottenute dai sondaggi vibrocure a mare e da quello in testata SS1. La disposizione delle indagini complessivamente disponibili, comprensiva dei sondaggi eseguiti in passato per il tratto di antemurale precedente e per il primo lotto di opere strategiche è rappresentata in **Figura 24** per le stratigrafie dei sondaggi e per i dettagli ed i risultati delle prove geotecniche in situ e di laboratorio e del rilievo sub-bottom profiler si rinvia allo specifico Rapporto Tecnico allegato.

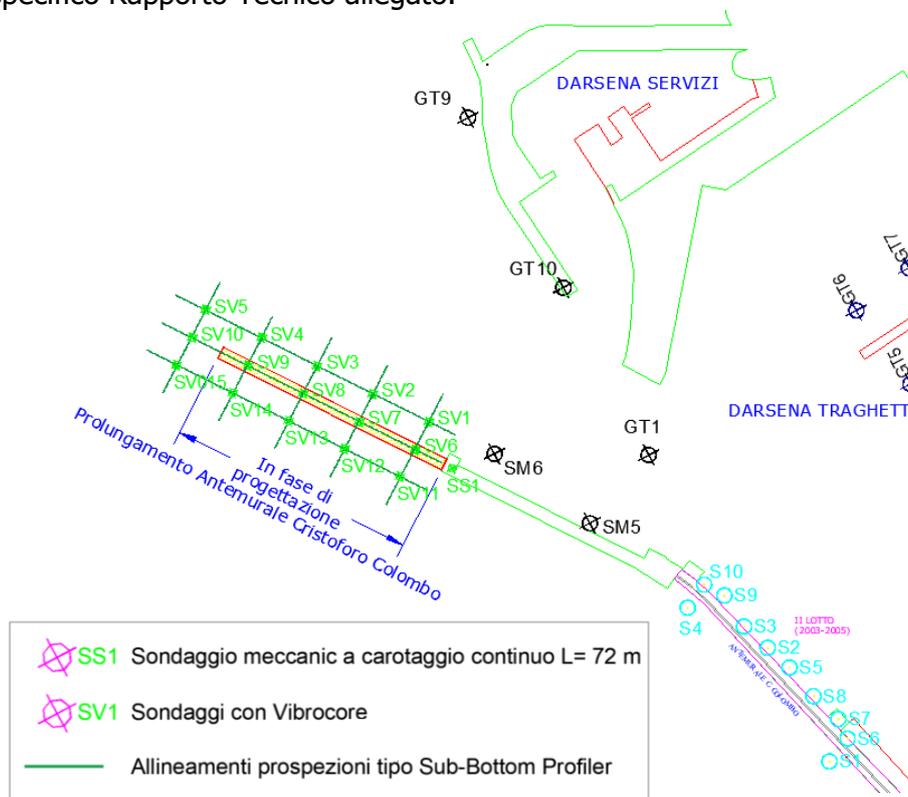


Figura 24 –Planimetria indagini integrative e indagini disponibili

6.2 Assetto stratigrafico locale

Le indagini hanno nell'insieme confermato il quadro geologico dei tratti di antemurale già realizzati in stretta adiacenza.

Da una attenta interpretazione delle nuove risultanze stratigrafiche, correlate con quelle già disponibili, è stato comunque possibile addivenire ad una ricostruzione stratigrafica più rappresentativa di quella del progetto iniziale, rimuovendo alcune incertezze riguardanti essenzialmente i rapporti stratigrafici nella zona mediana ed esterna del prolungamento.

Il quadro stratigrafico è risultato in particolare caratterizzato, per tutto il tratto del molo, dalla presenza di terreni attribuiti alla formazione dei "limi argillosi grigi" che comprende limi argillosi consistenti, a luoghi debolmente marnosi ed intercalati a sottili livelli di sabbie fini limose, e che costituisce il substrato locale dell'intero prolungamento.

Questi terreni, in superficie, sono risultati ricoperti da uno spessore di qualche metro di terreni attribuiti alla formazione delle "sabbie debolmente cementate e calcareniti", costituita da sabbie a granulometria variabile da medio-fine a grossolana con numerosi frammenti litici angolari e con frequenti intercalazioni di calcari organogeni più o meno cementati ("Panchina").

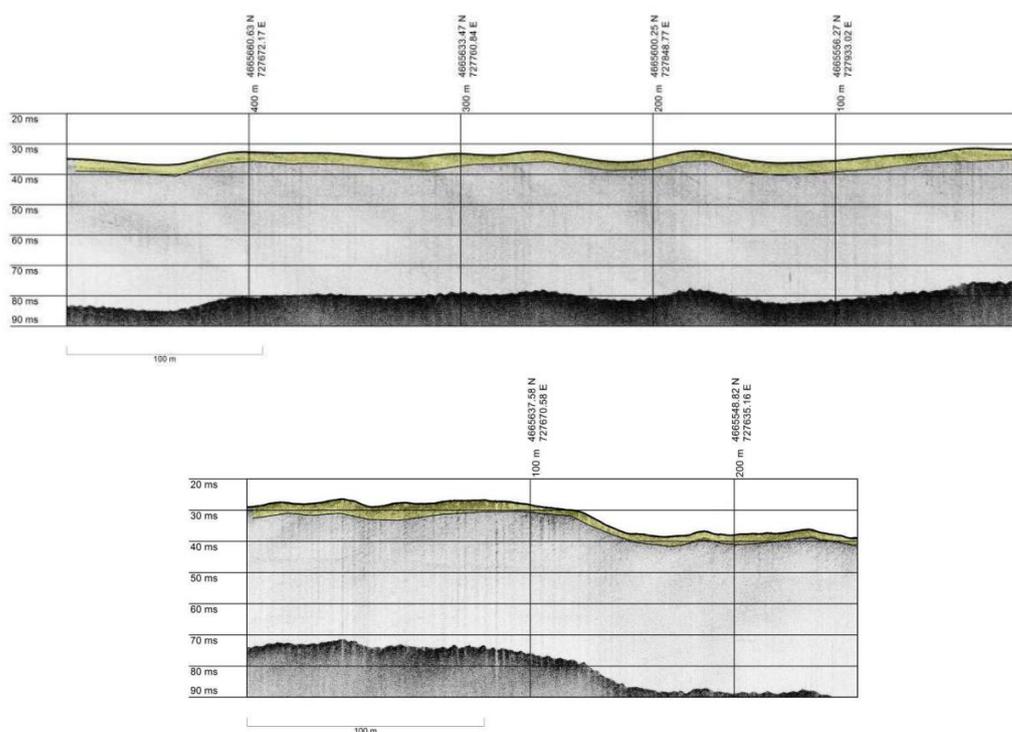


Figura 25 – Prolungamento Antemurale Colombo – Profili geofisici, sopra in asse all'Antemurale e trasversale (sotto)

Tale quadro, pur confermando il nota ed atteso assetto geologico della zona, consente di togliere alcune incertezze interpretative del progetto preliminare iniziale, riguardanti la supposta presenza di livelli di sabbie e calcareniti ed un anomalo andamento del substrato limo argilloso. La maggior profondità raggiunta dal sondaggio SS1 è risultata in questo senso utile elemento diagnostico.

7. STIMA ECONOMICA DELL'INTERVENTO

L'importo dei lavori, derivante dal computo metrico estimativo, ammonta a € 99.282.828,69 e gli oneri per la sicurezza ammontano a € 730.047,16.

Per i prezzi elementari della mano d'opera, dei noli, dei materiali utilizzati e delle lavorazioni considerate nel computo per la definizione degli importi dei lavori e degli oneri della sicurezza si è fatto riferimento alla Tariffa dei Prezzi per Opere Pubbliche della Regione Lazio del Luglio 2022.

Per la determinazione del corrispettivo per la progettazione esecutiva da porre a base di gara si è fatto riferimento al Decreto Legislativo del 18 aprile 2016, n. 50 (Codice degli appalti), e al relativo regolamento del Decreto del Ministero di Giustizia del 17 giugno 2016.

Nella seguente tabella è riportato il riepilogo degli importi:

a	Importo esecuzione lavori a base d'asta, soggetto a ribasso	€ 99.282.828,69
b	Oneri per l'attuazione del piano di sicurezza, non soggetti a ribasso	€ 730.047,16
c	Corrispettivo per progettazione esecutiva, soggetto a ribasso	€ 644.701,78
T	IMPORTO TOTALE APPALTO	€ 100.657.577,63

Tabella 2 – Riepilogo degli importi

8. TEMPI D'ESECUZIONE E CANTIERIZZAZIONE

8.1 Tempi di esecuzione

La complessa articolazione delle lavorazioni da svolgere, caratterizzate da una reciproca interdipendenza, è stata affrontata mediante un approfondito studio delle sequenze lavorative inerenti le movimentazioni di tutti i materiali in gioco.

Tale studio ha consentito di sviluppare delle macro fasi realizzative volte a favorire un impiego ottimale delle risorse da utilizzare e individuando le tempistiche dei necessari approvvigionamenti per la fattibilità dei lavori.

Tale analisi ha consentito di stimare in 24 mesi la durata dei lavori secondo il cronoprogramma riportato nella figura seguente.

	Mesi																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Cantierizzazione	■																							
Ricerca masse metalliche	■																							
Scanno di imbasamento (massi 1 ^a cat)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Scanno di imbasamento (massi 3 ^a cat)				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Prefabbricazione dei cassoni		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Trasporto e affondamento				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Riempimento cassoni					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sovrastruttura								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Smobilizzo cantiere																								■

Figura 26 –Cronoprogramma

8.2 Cantierizzazione

L'area e l'impianto di cantiere saranno definite compiutamente in fase di progettazione esecutiva. Tuttavia, in ottemperanza a quanto previsto nella normativa vigente, sono state definite delle linee guida per la installazione dell'impianto di cantiere fornendo una proposta progettuale per la logistica, la viabilità e le misure di sicurezza da adottare.

Le motivazioni a supporto degli schemi progettuali di seguito proposti sono:

- la disponibilità di aree a terra cantierizzabili, anche in relazione all'esposizione ondosa del paraggio oggetto di intervento (assenza di opere foranee di protezione da moto ondoso);
- la disponibilità di viabilità interna al porto che consenta il collegamento carrabile tra i sottocantieri;
- le banchine operative in adiacenza al cantiere;
- la profondità minime per impianto del bacino di prefabbricazione;
- il rispetto del cronoprogramma redatto in fase di progetto;
- l'ottimizzazione della security e safety di cantiere;
- la stima dei costi inerenti l'impianto

In relazione alla tipologia, entità, alla tempistica delle opere da eseguire, si propone l'allestimento delle seguenti aree di cantiere (descritte in dettaglio nel PSC):

- Cantiere A: area adibita alle funzioni logistiche (servizi amministrativi, igienico-assistenziali, mensa, etc..) allestita con unità abitative prefabbricate ed impianti di servizio e alle funzioni operative (a mare e a terra) allestita per la prefabbricazione di prima fase dei cassoni cellulari su bacino galleggiante. Il cantiere A è ubicato all'estremità Nord della banchina del terminale contenitori;
- Cantiere B: area operativa (a mare e a terra) allestita per la prefabbricazione di seconda fase dei cassoni cellulari. Il cantiere B è ubicato sull'antemurale Colombo;
- Cantiere C: area operativa (a mare e a terra) adibita alle operazioni di scarico e carico per la realizzazione delle opera a mare. Il cantiere C è ubicato nella Darsena Servizi;
- Cantiere D: area operativa (a mare e a terra) consiste nell'area di lavoro per il prolungamento dell'antemurale della testata esistente dell'Antemurale Colombo.