

ADEGUAMENTO FUNZIONALE PORTO COMMERCIALE DI SALERNO



F&Mpost

#7
2021



In copertina:
**Adeguamento funzionale,
Porto Commerciale
di Salerno**

ADEGUAMENTO FUNZIONALE PORTO COMMERCIALE DI SALERNO

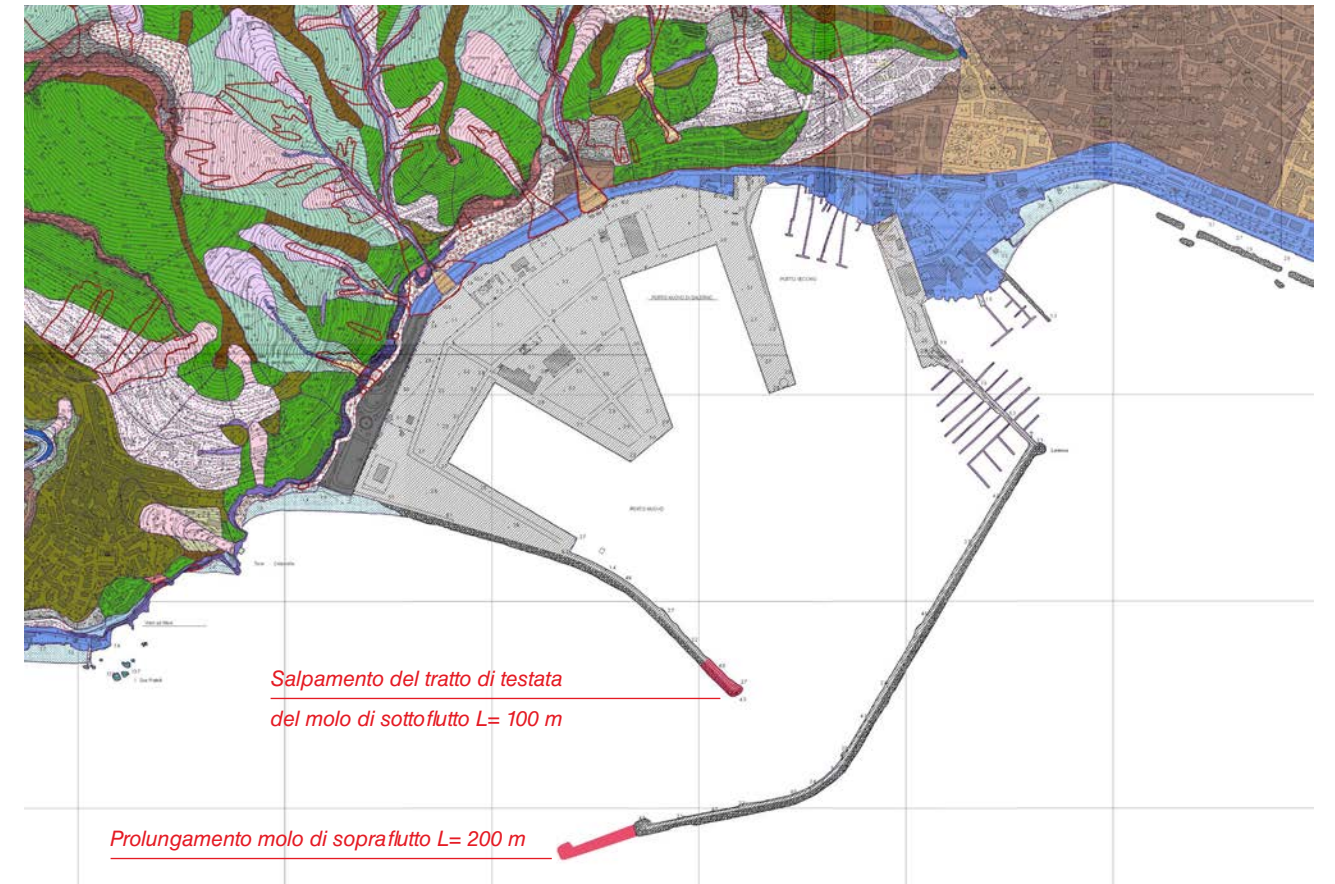
Indice

1	PREMESSA	4
2	MOLO DI SOTTOFLUTTO	6
3	MOLO DI SOPRAFLUTTO	7
4	DURABILITÀ DELL'OPERA	14
5	FUNZIONALITÀ DELL'OPERA	16
6	CASO STUDIO	17

ADEGUAMENTO FUNZIONALE PORTO COMMERCIALE DI SALERNO

Prolungamento del molo di sopraflutto e salpamento del tratto terminale del molo di sottoflutto.

L'allargamento dell'imboccatura del porto di Salerno garantisce l'ingresso e il transito in sicurezza di navi di nuova generazione aventi dimensioni e pescaggio maggiore rispetto a quelle che fanno scalo attualmente nel porto, aumentandone la produttività.



1. Carta geomorfologica con indicazione degli interventi

Dati Tecnici

Luogo

Porto di Salerno

Committente

ACMAR / KOSTRUTTIVA
Autorità Portuale di Salerno

Periodo

Progetto definitivo: 08/2014 - 10/2014
Progetto esecutivo: 01/2019 - 07/2019
Realizzazione: 01/2020 – in corso

Destinazione d'uso

Porto commerciale

Investimento complessivo

22.000.000 €

Professionisti

Progetto definitivo ed esecutivo

F&M Ingegneria Spa
in ATI con HS Marine

Coordinamento della sicurezza in fase di progettazione

F&M Ingegneria Spa

Imprese

ACMAR Scpa
KOSTRUTTIVA Soc. Coop.

1. Premessa

Le opere oggetto dell'appalto (Autorità di Sistema Portuale del Mare Tirreno Centrale: "Progettazione esecutiva, il coordinamento per la sicurezza in fase di progettazione e l'esecuzione dei lavori di prolungamento del molo di sopraflutto e di salpamento del tratto terminale del molo di sottoflutto nel Porto Commerciale di Salerno") sono state finanziate nell'ambito del programma POR FESR Campania 2014-2020 approvato dalla Commissione Europea con la Decisione del 1.12.2015 C(2015) 8578 e dalla Regione Campania con la Delibera della Giunta Regionale n. 720 del 16/12/2015.

Il progetto definitivo reso in sede di gara ha acquisito il parere favorevole in data 24/06/2015 e il contratto d'appalto è stato sottoscritto in data 29/01/2016.

Sono state eseguite, come indicato in sede di offerta, ulteriori indagini geognostiche per integrare le informazioni già disponibili in fase di gara ed è stato eseguito un più

aggiornato rilievo batimetrico dello specchio acqueo interessato dai lavori e da quello più ampio che definisce l'ambito portuale.

In data 27/06/2017 è stato approvato dalla Regione Campania il regolamento che consente il rimodellamento dei fondali in ambito portuale. L'Autorità del Sistema Portuale ha eseguito un intervento urgente di risagomatura dei fondali con spostamento dei sedimenti accumulati nell'ambito portuale e ha eseguito un rilievo batimetrico aggiornato fornito ai progettisti nel settembre 2018.

Il progetto definitivo presentato in sede di offerta prevedeva, per il prolungamento del molo di sopraflutto, la costruzione di cinque cassoni di grande dimensione (fino a 39,2 m di lunghezza) in un bacino di carenaggio ubicato nel porto di Messina, tenuto conto che, in considerazione del vincolo posto in sede di gara sulla ineseguibilità di interventi di escavo, il bacino galleggiante non

avrebbe potuto essere collocato utilmente alla testata del molo Tre Gennaio, all'interno del bacino portuale, così come previsto nel progetto preliminare a base d'appalto, per insufficienza dei fondali.

Per effetto del notevole tempo trascorso dalla data dell'offerta il bacino di carenaggio nel porto di Messina non è più disponibile; al contempo, il modificato quadro normativo sopra richiamato consente di poter effettuare interventi di rimodellamento dei fondali per collocare un adeguato bacino di costruzione dei cassoni alla testata del molo Tre Gennaio.

A seguito di numerosi confronti tecnici, la stazione appaltante, preso atto dei risultati delle indagini integrative, delle mutate condizioni al contorno e ha chiesto all'appaltatore di rielaborare il progetto definitivo, approvato in data 05/06/2019. Il progetto esecutivo è stato approvato in data 5/12/2019.

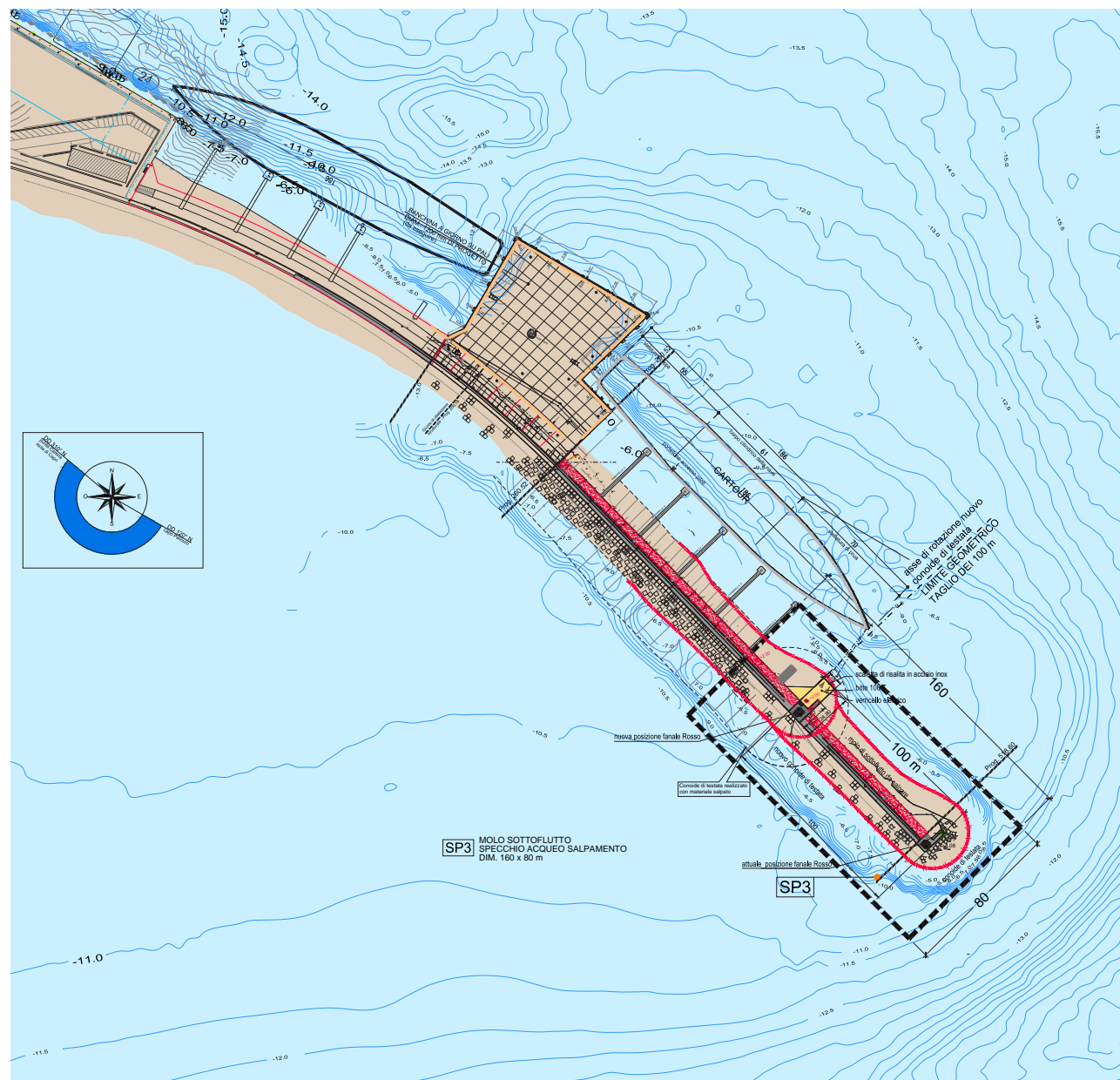
2. Molo di Sottoflutto

Il progetto prevede il **salpamento del molo di sottoflutto** che si compone di una scogliera con un nucleo di scogli calcarei di I categoria, una mantellata (in sagoma) di scogli di II categoria, una mantellata interna fuori sagoma di scogli di I e II categoria ed una mantellata esterna costituita da massi parallelepipedi sovrapposti, ciascuno di dimensioni 2×2 m, che coprono la berna e la scarpa esterna.

La struttura è sormontata da una piattaforma in calcestruzzo con quota di calpestio

variabile a circa 1.9 – 2.1 m s.l.m.m. e da un muro paraonde.

Il progetto prevede lo smontaggio del fanale verde esistente e dei relativi impianti, la demolizione delle strutture in c.a. e la successiva tritovagliatura meccanica per ridurre i volumi di trasporto a discarica, il salpamento dei massi parallelepipedi in c.a. (da collocarsi sul molo di sopraflutto in attesa della ricollocazione alla nuova testata ovvero a protezione del molo sul lato esterno Porto), il salpamento degli scogli di I e II categoria, la ricollocazione del materiale arido salpato.

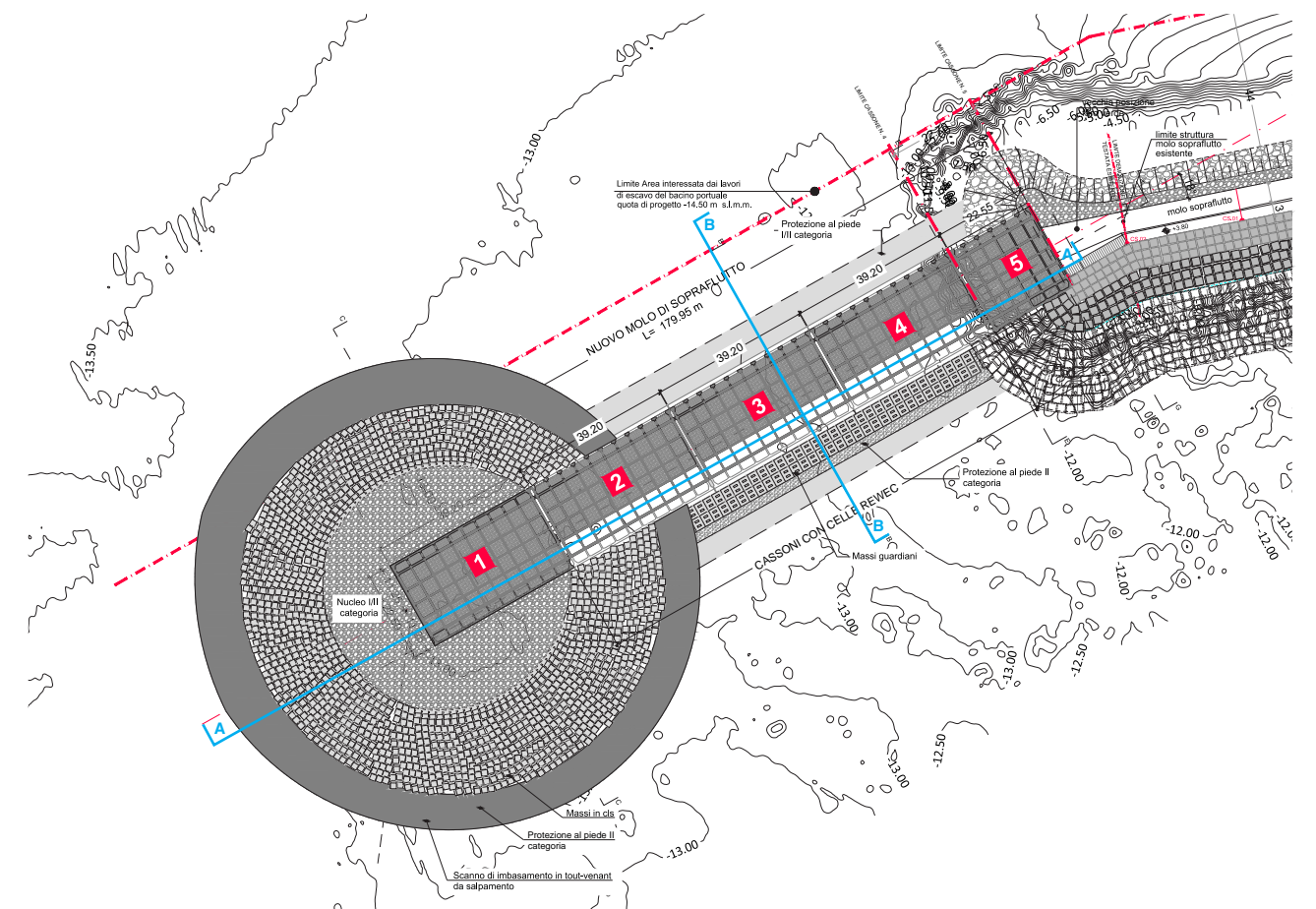


2. Planimetria di progetto

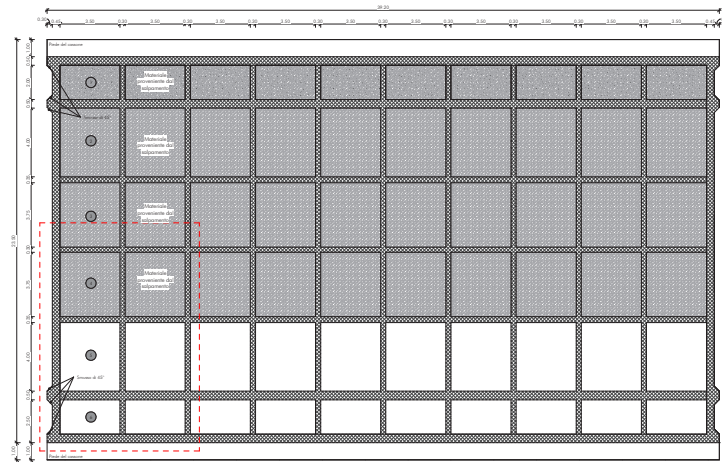
3. Molo di Sopraflutto

La soluzione adottata per il **prolungamento del molo di sopraflutto** del porto di Salerno nasce per garantire continuità con la struttura esistente e, allo stesso tempo, migliorarne le prestazioni. Fattore determinante per le scelte progettuali adottate è la commistione tra azioni di progetto rilevanti e caratteristiche dei terreni di fondazione scadenti. Per la definizione della soluzione progettuale ottimale sono stati condotti diversi studi, sia su modello fisico sia con programmi di calcolo agli elementi finiti. Il progetto prevede il **prolungamento del molo di sopraflutto per una lunghezza di 200 m**, con una inclinazione di 18° verso il mare aperto rispetto all'asse del tratto esistente, **mediante la posa di 5 cassoni cellulari prefabbricati, di cui 3 del tipo REWEC3[®]**, per una lunghezza complessiva di

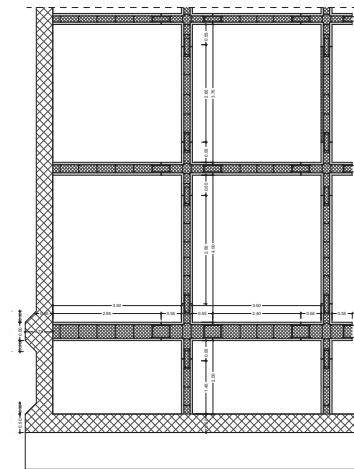
180 m e una larghezza di 22.5 m. La tecnologia REWEC (REsonant Wave Energy Converter) consente di assorbire l'energia del moto ondoso e di incanalare attraverso il cassone per azionare una turbina autoretificante; ciò permette di diminuire gli effetti di tracimazione prodotti dalla riflessione delle onde sulla parete verticale dei cassoni e di produrre energia elettrica. **I cassoni sono fondati a quota -11.40 m s.l.m.m.** su uno scanno di imbasamento in materiale lapideo di spessore non inferiore a 1.6 m realizzato in materiale di nuova fornitura compattato per strati successivi mediante piastra vibrante, al di sotto del quale è prevista la posa di un geotessile con copertura di materassi filtranti zavorrati. **Su tutta l'area di imbasamento dei cassoni, per uno spessore di 7 m (da quota -13.00 m s.l.m.m. a quota -20.00 m s.l.m.m.), è previsto un intervento di consolidamento mediante vibrosostituzione.**



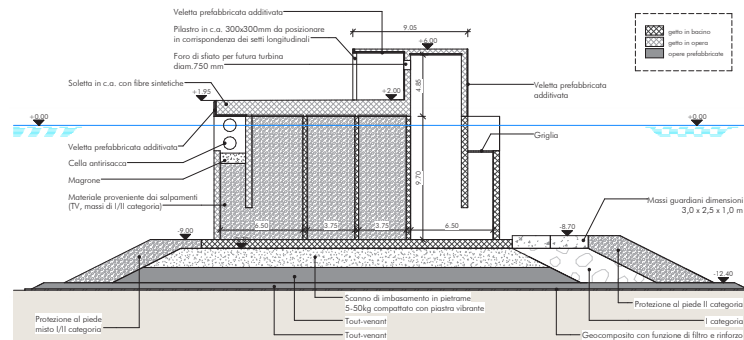
3. Planimetria di progetto con indicazioni dei cassoni



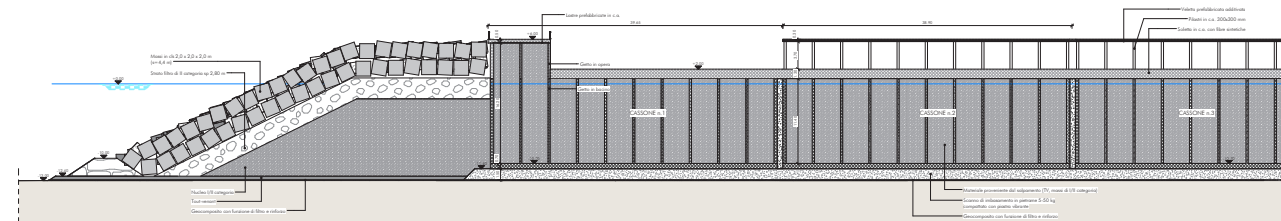
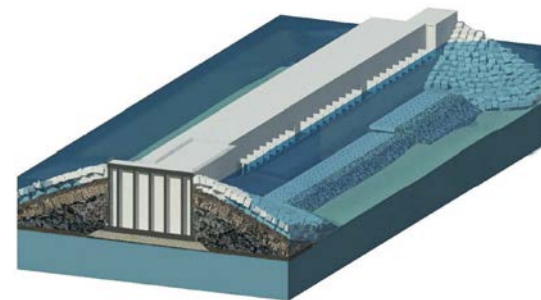
4. Pianta cassoni 2 e 3



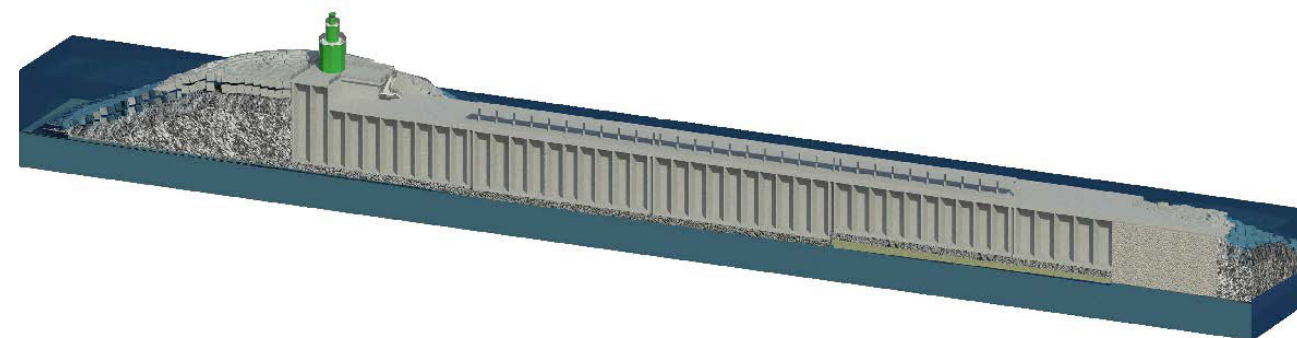
5. Dettaglio costruttivo cassone



6. Sezione BB e spaccato assometrico di dettaglio



7. Sezione AA



8 Spaccato assometrico di dettaglio (sezione AA)

Analisi per la valutazione della stabilità dei cassoni

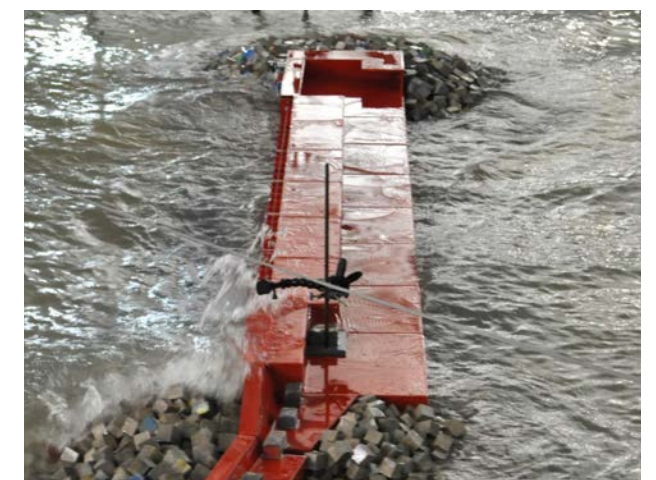
Inizialmente è stato presentato il **modello fisico tridimensionale** sviluppato per analizzare gli effetti delle sollecitazioni indotte dal moto ondoso e da cui sono emerse alcune criticità risolte nell'ambito della progettazione definitiva dell'opera. Successivamente è stato riportato il **modello dinamico** agli elementi finiti che ha permesso di studiare la mobilità ciclica dei terreni sabbiosi di fondazione causata dalle azioni del sisma e del moto ondoso (considerate separatamente).

Le analisi hanno confermato la necessità, emersa già dalle prove geotecniche, di eseguire il **consolidamento dei terreni di fondazione dei cassoni**. È anche stato possibile individuare le zone maggiormente soggette a instabilità così da ottimizzare l'intervento di **vibrosostituzione** previsto, incrementando la profondità del consolidamento in modo da garantire la **stabilità dell'intera struttura** sotto le azioni dinamiche di progetto.

Modello fisico

A supporto della progettazione definitiva è stato sviluppato un **modello fisico del molo di sopraflutto** per uno sviluppo di circa 200 m in scala 1:40, testato in uno dei bacini di HR Wallingford, per valutare la stabilità delle nuove opere nei confronti dell'azione del moto ondoso, con particolare riferimento alla sezione di raccordo tra strutture esistenti e nuove.

Dai test condotti sono emerse alcune criticità che sono state poi risolte durante l'elaborazione del progetto definitivo, quali la **necessità di rafforzamento complessivo del sistema strutturale del muro paraonde e l'omogeneizzazione delle quote di imbasamento di tutti i cassoni per ridurre l'instabilità dei massi guardiani e l'erosione al piede**.



9. Immagini del modello fisico

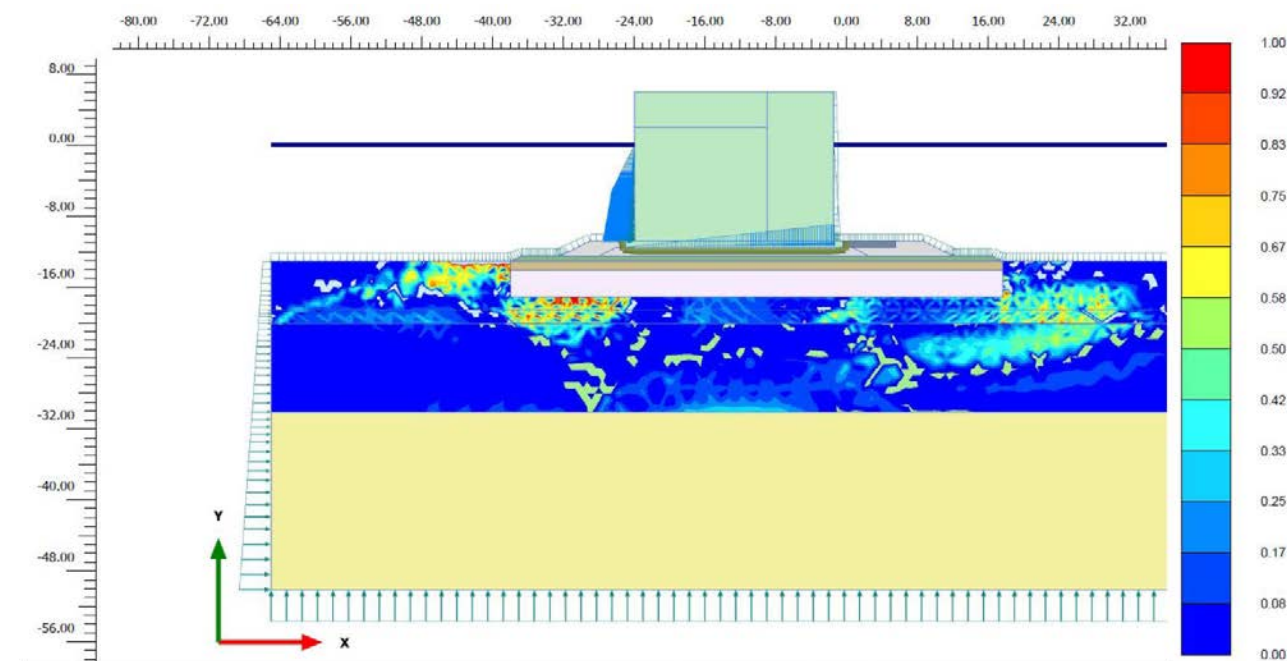
Modello FEM

A seguito delle modifiche geometriche apportate grazie al modello fisico tridimensionale, **sono stati sviluppati due modelli dinamici bidimensionali agli elementi finiti** (con elementi triangolari a 15 nodi) per studiare in maniera più accurata le condizioni di sollecitazione ciclica nei terreni di fondazione dei cassoni derivanti rispettivamente dagli eventi sismici (3 accelerogrammi) e dal moto ondoso. Durante la modellazione, **è emersa la necessità di modificare la lunghezza del trattamento di vibro-sostituzione inizialmente previsto da 4 m a 7 m** per coinvolgere l'intero strato di sabbie sciolte.

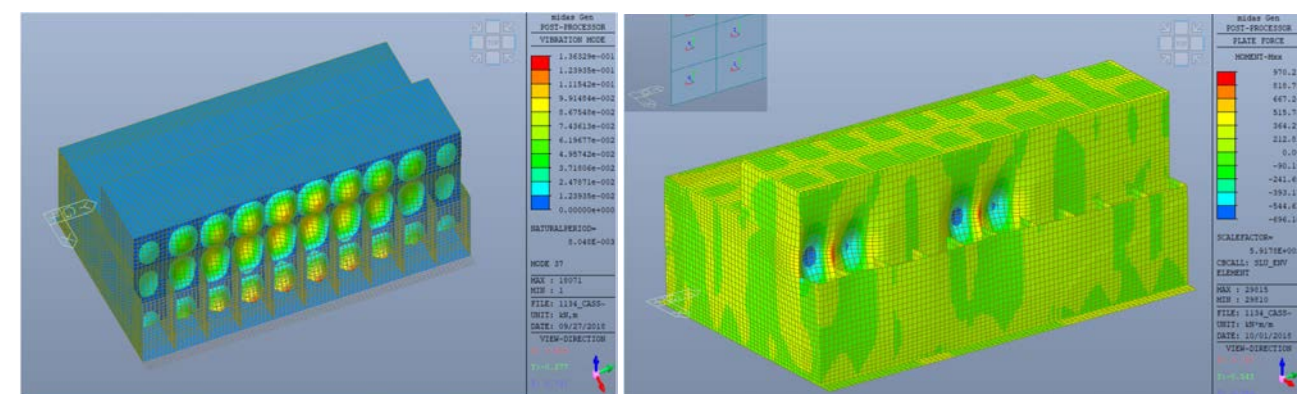
Intervento di vibroflottazione

L'intervento di **vibrosostituzione** di progetto **si estende in profondità per 7 m**, ha maglia triangolare di lato 2 m e sarà eseguito da motopontone immettendo, all'interno del cono di depressione delle colonne vibroflottate, materiale inerte calcareo di grossa pezzatura.

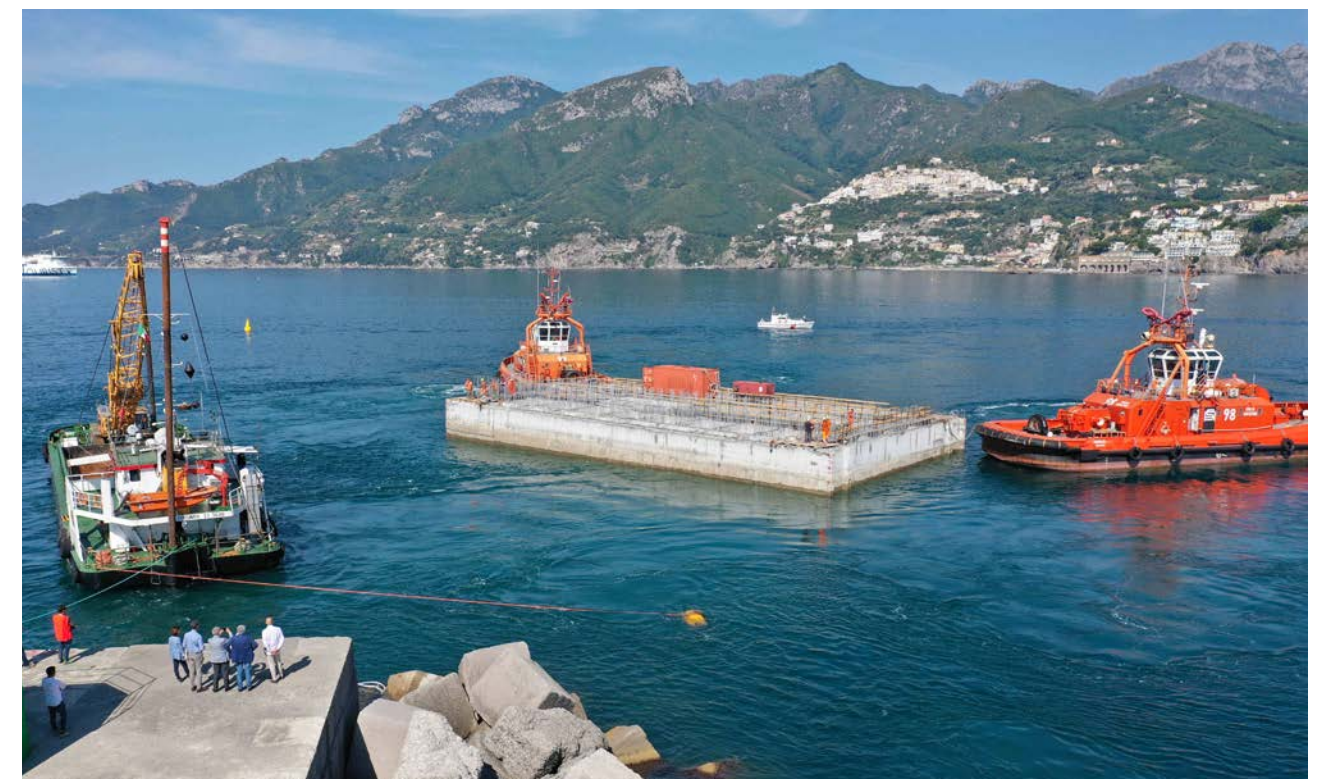
Per quantificare l'incremento delle caratteristiche meccaniche e deformative dei terreni trattati e l'assorbimento di materiale arido apportato, **è stato eseguito un campo prova** su una porzione di fondale di dimensioni di 10x10m in prossimità della testata del molo di sopraflutto.



10. Modello matematico (Plaxis)



11. Modello matematico (Midas)



12. Immagini del varo del primo cassone cellulare - © Photo by Francesco Pecoraro



13. Varo del primo cassone cellulare - © Photo by Francesco Pecoraro

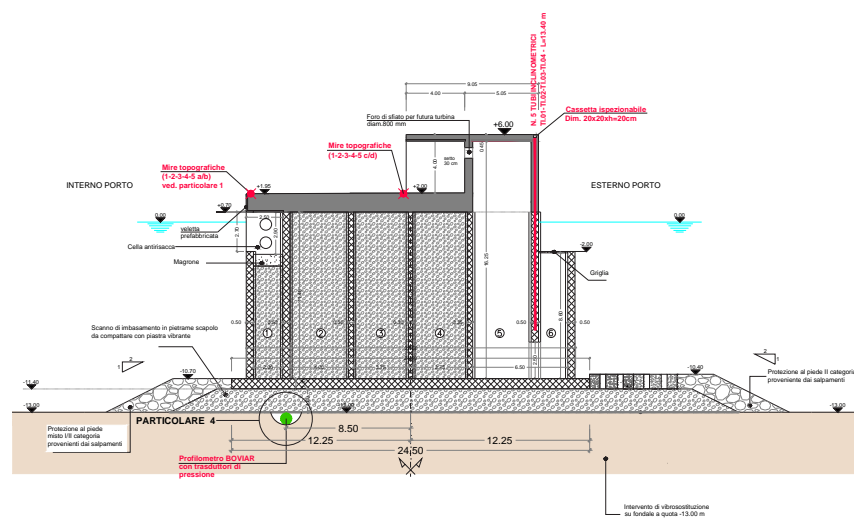
4. Durabilità dell'opera

In fase progettuale, al fine di **semplificare le lavorazioni e velocizzare le operazioni**, si è optato per un ampio **utilizzo di elementi in c.a. prefabbricati**. L'utilizzo di strutture prefabbricate realizzate in stabilimento e certificate dai produttori ha consentito di ottenere maggiori garanzie circa la rispondenza delle caratteristiche degli elementi. L'adozione di sistemi a **lastre tralicciate prefabbricate per la totalità dei setti trasversali e longitudinali interni al cassone**, ha permesso di **migliorare la qualità e la durabilità** dei materiali ed i **tempi di esecuzione** delle opere, con l'eliminazione per le celle interne di casserature a recupero, con notevole riduzione dei tempi di posa in opera e **diminuzione dell'impatto ambientale**.

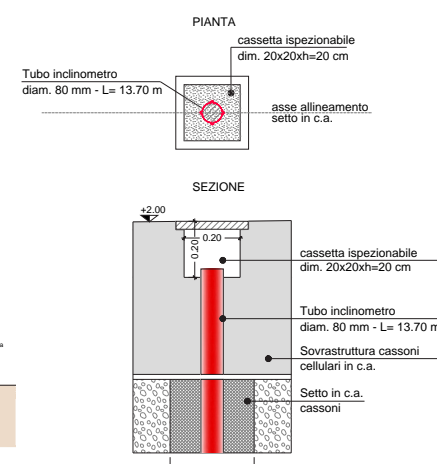
Per **augmentare la durabilità del calcestruzzo esposto** direttamente all'escursione di marea e attenuare l'azione degradante degli elementi in calcestruzzo soggetti alla corrosione dovuta all'anidride carbonica dell'aria, al cloruro disciolto nell'acqua di mare e ai fenomeni di cristallizzazione salina, oltre all'utilizzo di un idoneo coprifermo, è stato **modificato il mix design delle lastre prefabbricate introducendo un additivo in polvere**.

Ad ulteriore **garanzia della durabilità delle opere in c.a. componenti il muro paraonde dei cassoni**, è stata eseguita la **zincatura a caldo di tutte le barre d'armatura relativi ai getti in opera della soletta di collegamento dei cassoni** (e degli elementi verticali in calcestruzzo) e un **monitoraggio dello strato di corrosione delle armature** inserendo, al momento della costruzione, appositi **elettrodi di riferimento** per la misura del potenziale di corrosione.

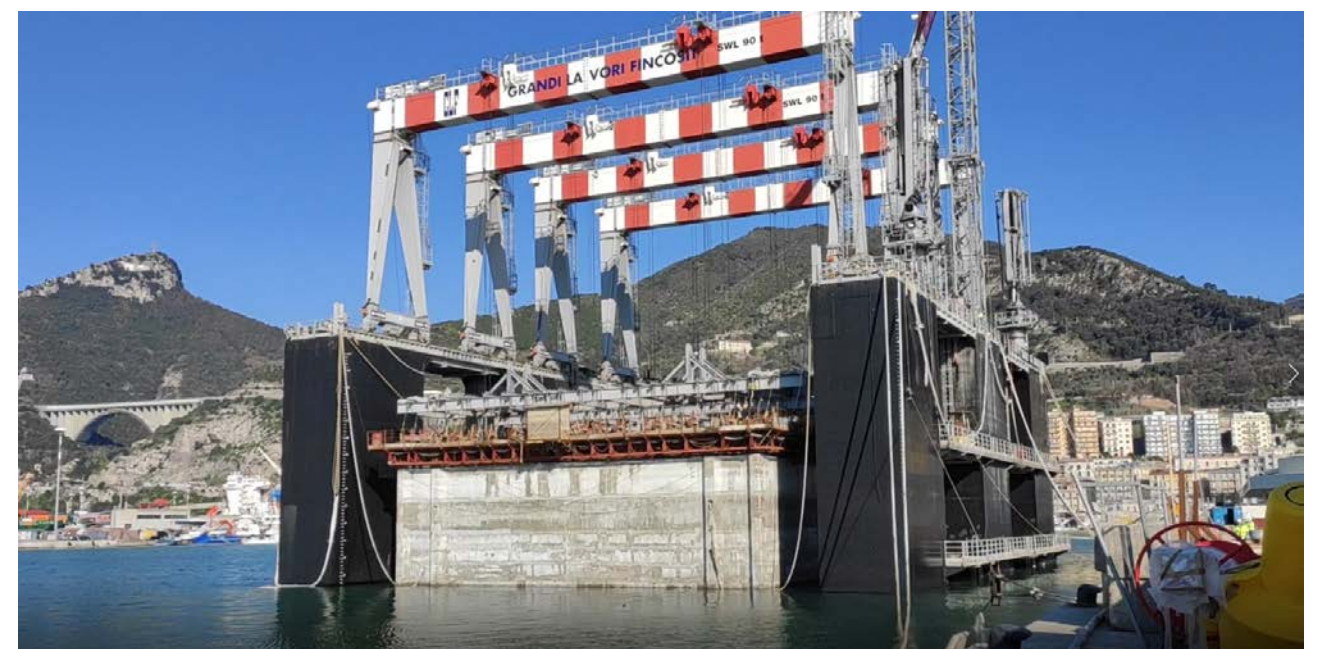
Il **monitoraggio dei cedimenti dell'intera struttura del molo di sopraflutto** mediante opportuna strumentazione, ha **permesso il controllo pre-durante-post realizzazione**. Per la misura dei cedimenti dello scanno di imbasamento e di quelli indotti dalla presenza dei cassoni, oltre al **rilevamento multibeam**, è stato utilizzato un **profilometro automatico accoppiato a degli assestimetri a piastra**. Il profilometro automatico permette di controllare l'andamento dei cedimenti del rilevato durante la costruzione e durante le fasi di consolidamento. All'interno dei cassoni 2, 3 e 4 è predisposto l'alloggiamento di un **inclinometro per il controllo degli spostamenti orizzontali dei cassoni** a seguito dell'azione impulsiva del moto ondoso.



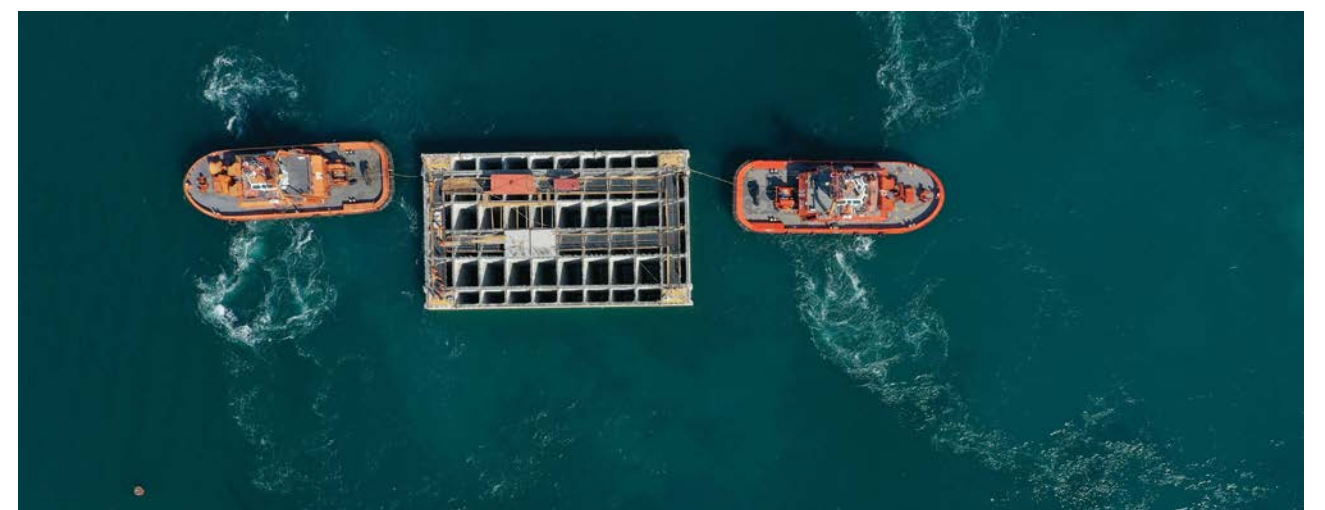
14. Sezione con monitoraggio strutturale cassoni



15. Dettaglio inclinometro



16. Bacino Dario in fase di varo del cassone



17. Spostamento del cassone cellulare verso il Molo di Sopraflutto - © Photo by Francesco Pecoraro

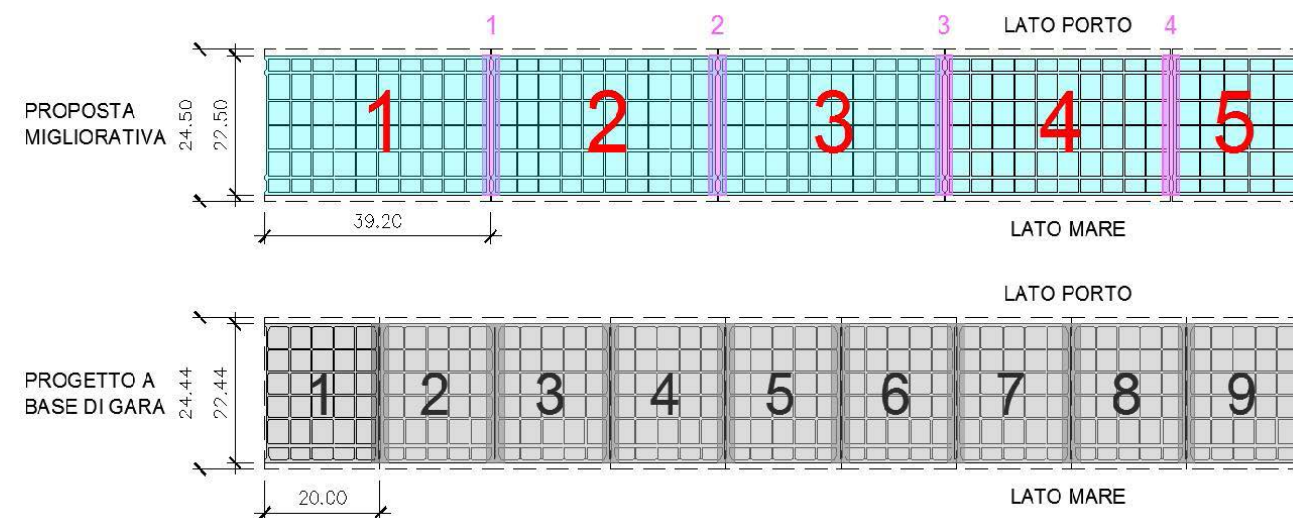
5. Funzionalità dell'opera

Le **prefabbricazioni dei cassoni** vengono eseguite in un'area esterna al porto (a differenza di quanto a base di gara che prevedeva una piattaforma galleggiante interna al porto) e completamente all'asciutto. Questo consente un **costante controllo dei getti in opera** a tutt'altezza durante l'intera fase realizzativa dei cassoni, la possibilità di eseguire controlli del paramento esterno e dei setti ed eventuali ripristini locali all'asciutto delle superfici in calcestruzzo, la possibilità di eseguire getti con altezze maggiori rispetto alle dimensioni standard proprie dei casseri rampanti (limitando notevolmente i giunti di ripresa del getto), e una condizione ottimale per il curing, fenomeno intrinseco della stagionatura del calcestruzzo che inizia immediatamente dopo le operazioni di getto

e implica il mantenimento delle condizioni di temperatura e umidità, sia all'interno che nella superficie del calcestruzzo per una certa estensione di tempo.

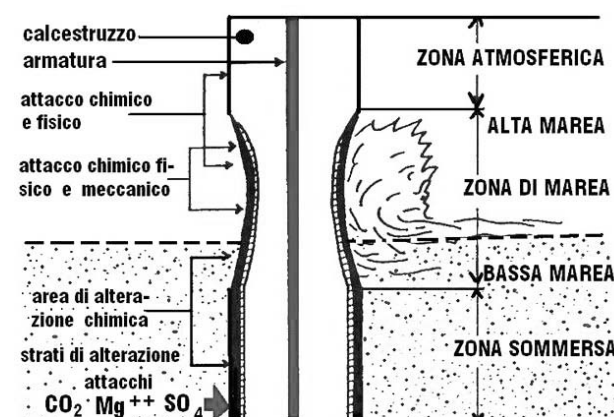
La **riduzione del numero** di cassoni comporta una **diminuzione dei giunti tra le strutture** e la **riduzione dei trasporti da eseguire**.

La riduzione del numero permette inoltre un'**ottimizzazione della configurazione dei cassoni**, prevedendo manufatti di elevata lunghezza (fino a 40 m) con sostanziale conseguente **diminuzione dei cicli di prefabbricazione**, eliminazione delle interferenze con il traffico portuale lungo il canale di accesso portuale, l'**aumento della stabilità** (globale e rispetto all'azione del moto ondoso) del singolo cassone, la riduzione dei cedimenti differenziali fra singolo cassone.



18. Pianta schematica dei cassoni: confronto tra il progetto a base di gara e il progetto esecutivo

In fase progettuale si è proposto di **elevare la quota del cassone con altezze maggiori** rispetto al livello del medio mare una volta eseguita la fase di varo e di affondamento. Oltre a questo si è stabilito di utilizzare **elementi prefabbricati in c.a. per le parti della sovrastruttura direttamente esposte al moto ondoso**.



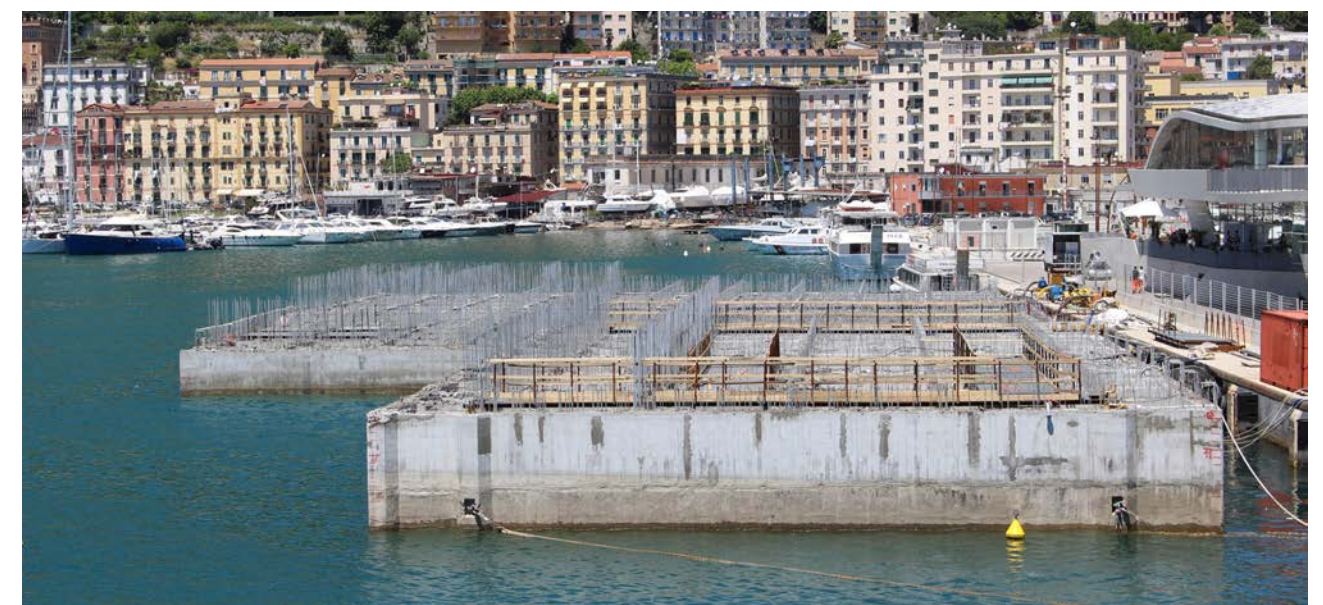
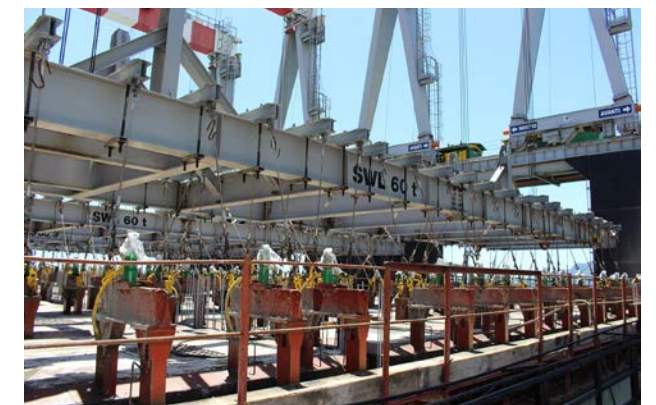
6. Caso studio

I lavori di adeguamento funzionale del Porto di Salerno sono diventati **“best practice”** e **“caso studio”** della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli.

Il cantiere, nella sua fase di lavoro avanzata, è stato oggetto di sopralluogo da parte di un gruppo di ventidue studenti, accompagnati professor Mario Calabrese, ingegnere e ordinario di Costruzioni Marittime e componente del Comitato di Gestione dell'Autorità di Sistema Portuale.

È stata l'occasione per illustrare alcuni particolari dell'intervento ed i futuri ingegneri hanno potuto anche approfondire la **tecnica utilizzata per la realizzazione dei cassoni cellulari in calcestruzzo armato**, visitando il bacino di prefabbricazione galleggiante, ormeggiato al Molo Manfredi, a poca distanza dalla stazione marittima di Zaha Hadid.

La definizione “best practice” è stata assegnata proprio alla metodologia operativa che ha visto il **trasporto in galleggiamento con la tecnica dei “casseri rampanti” dei mega cassoni cellulari** in cemento armato con dimensioni in pianta di 39 x 22,5 metri e un'altezza complessiva di 12,5 metri.



19. Foto del sopralluogo in cantiere degli studenti della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli



20. Il primo cassone cellulare prefabbricato tipo REWEC3®

F&M INGEGNERIA

UNA SOCIETÀ DI INGEGNERIA MULTIDISCIPLINARE ED INTERNAZIONALE A SERVIZIO DELL'AMBIENTE COSTRUITO

Da quasi 40 anni F&M Ingegneria è leader in soluzioni progettuali all'avanguardia nei campi dell'ingegneria civile, delle infrastrutture, del project management e della sostenibilità. L'azienda è operativa negli ambiti più ampi, dalla riqualificazione di grandi aree al restauro di importanti edifici storici; dalle opere infrastrutturali (centri logistici, terminal aeroportuali e ferroviari, porti, strade, ponti ed opere in sotterraneo) alla realizzazione di edifici prestigiosi (strutture sanitarie, sportive, luoghi di culto e per l'istruzione) e grandi poli commerciali.

UNA CONTINUA EVOLUZIONE PER SODDISFARE LE ESIGENZE E LE SFIDE DI UNA COMMITTENZA MODERNA ED INTERNAZIONALE

F&M Ingegneria è in continua espansione. A Colonia nel 2002 è nata F&M Retail GmbH, specializzata nei servizi al mondo del retail. Nel 2010 F&M Ingegneria decide di ampliare gli orizzonti verso il Medio Oriente ed istituisce l'Oman Branch con sede a Muscat che nel 2015 diventa F&M Middle East Engineering Consultancy LLC. Nel 2018 continua l'espansione con la nascita di F&M Divisione Impianti Srl per approfondire la già consolidata esperienza nel settore impiantistico ed energetico. Sempre nel 2018, F&M apre a Parigi una filiale francese per seguire importanti commesse e consolidare la propria presenza in Francia. Nel 2021 nasce F&M East Europe, con sede a Tirana, per sviluppare progetti ed iniziative nelle regioni orientali europee, gestendo in maniera efficace i diversi interventi sul territorio. Nello stesso anno nasce anche F&M Infrastrutture.

SOLUZIONI ALL'AVANGUARDIA PER CIASCUN CAMPO DI APPLICAZIONE

F&M Ingegneria ha sviluppato know-how specifici in vari settori, sia in Italia che all'estero: Edilizia, Management Consulting ed Infrastrutture. F&M Ingegneria offre soluzioni complete nell'ambito della progettazione BIM. Il Building Modeling Information (BIM) è un processo basato su modelli 3D che consente agli ingegneri di F&M, in collaborazione con gli architetti e altri consulenti di progetto, di generare un modello federato del progetto, contenente tutte le informazioni delle diverse discipline. Questo modello permette ai nostri clienti di visualizzare il loro investimento prima che il progetto sia realizzato. Il BIM per sua natura, è in grado di offrire, a tutte le parti, la possibilità di controllare e coordinare il progetto come mai prima d'ora.

www.fm-ingegneria-com

ADEGUAMENTO FUNZIONALE PORTO COMMERCIALE DI SALERNO

Concept & Graphic Design

F&M Ingegneria SpA
comunicazione@fm-ingegneria.com

Edited by

Arch. Eleonora Salvalaio
Nicoletta Caporaletti

Published by

F&M Ingegneria SpA

Published in

Settembre 2021

Copyright

2021 © F&M Ingegneria SpA