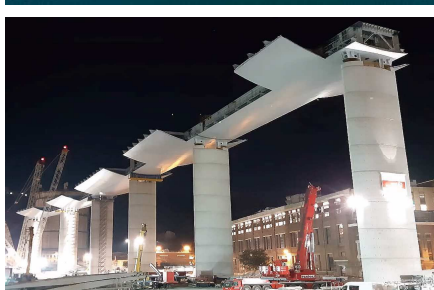


PREMI aicap 2020

REALIZZAZIONI DI OPERE IN CALCESTRUZZO



PREMI aicap 2020
REALIZZAZIONI DI OPERE IN CALCESTRUZZO

OPERE INFRASTRUTTURALI

Premio conferito a:

NUOVA PIATTAFORMA LOGISTICA NEL PORTO DI TRIESTE

La nuova banchina nel porto di Trieste è costituita da una piastra nervata in calcestruzzo priva di giunti e delle dimensioni di circa 65000 m²; la piastra è portata da pali di grosso diametro su cui poggia tramite dispositivi del tipo "friction pendulum", che la isolano sismicamente.

Le eccezionali dimensioni dell'opera, che hanno richiesto l'impiego di circa 140.000 m³ di calcestruzzo, le severe condizioni di esposizioni e le difficoltà di esecuzione costituiscono un esempio eccellente delle potenzialità offerte dal cemento armato precompresso unito alle più recenti innovazioni nel campo dell'ingegneria antisismica.



NUOVA PIATTAFORMA LOGISTICA NEL PORTO DI TRIESTE

INFORMAZIONI GENERALI SULL'OPERA

Ubicazione: Porto di Trieste - zona sud-est

Proprietario: Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Orientale – Porto di Trieste

Concessionario: HHLA PLT Italy srl – Trieste (Direttore del Concessionario: dott. Ing. Paolo Bassi)

Data di ultimazione: 24 settembre 2020

ATTORI COINVOLTI

Progetto esecutivo generale: STUDIO ALTIERI S.p.A. - Thiene

Progetto esecutivo strutturale: ALPE PROGETTI S.r.L - Udine

RUP: Dott. Ing. Eric Marcone (Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Orientale)

Direzione dei lavori: Dott. Ing. Carlo Glauco Amoroso (HMR S.r.L. - Padova)

Direzione operativa delle strutture: Dott. Ing. Francesco Alessandrini (ALPE PROGETTI S.r.L. - Udine)

Coordinatore della sicurezza in fase di esecuzione: Per. Ind. Ed. Carlo Del Frate

Impresa costruttrice: I.CO.P. S.p.A. – Basigliano (UD)

IL PROGETTO IN GENERALE

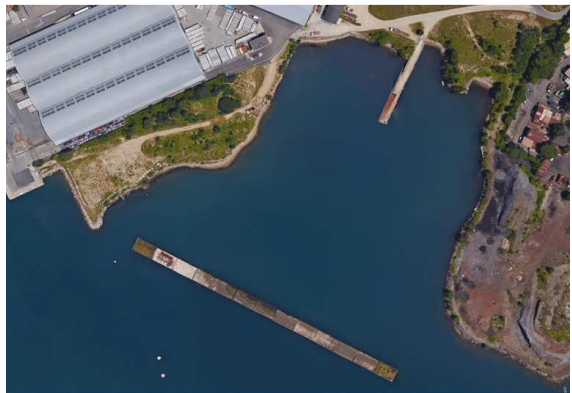
Nell'ambito dei "Lavori di realizzazione della piattaforma logistica in area portuale compresa tra lo Scalo Legnami e l'ex-Italsider e conseguenti opere di collegamento - PROG. APT 1563 - Primo Stralcio", è stata realizzata un'estesa area di banchina portuale (12,3 ha) di cui una parte consistente (8 ha circa) consta di una piastra in calcestruzzo armato post-teso che poggia su pali realizzati a mare di diametro 1270mm (parte interna, 6,5 ha) e su cassoni preesistenti o su pali di diametro 1600mm (parte fronte mare).

Il progetto, che si inserisce nell'ambito del futuro modello di sviluppo del porto giuliano in direzione sud est, consiste nell'infrastrutturazione della zona compresa fra lo Scalo Legnami e l'area della Ferriera di Servola (zona evidenziata in giallo nella figura).

I lavori hanno consentito la realizzazione di un nuovo accosto attrezzato per navi Ro-Ro e portacontainer, la creazione di nuovi piazzali per merci e container, la possibilità di utilizzare le aree retrostanti per le operazioni portuali e/o l'accatastamento e la movimentazione, l'intermodalità completa tra navi, gomma e ferro.

L'area oggetto di intervento rientra nel SIN (Sito di Interesse Nazionale) di Trieste. Fa parte del "TRIESTE HUB – A EUROPEAN SUPER STRUCTURE", cofinanziata dall'Unione Europea. Il costo complessivo delle opere è stato di circa 130 milioni di €, coincidente a quello stimato e finanziato inizialmente. Tutti i lavori sono stati collaudati.

Baia nella situazione iniziale



In generale i lavori eseguiti hanno compreso:

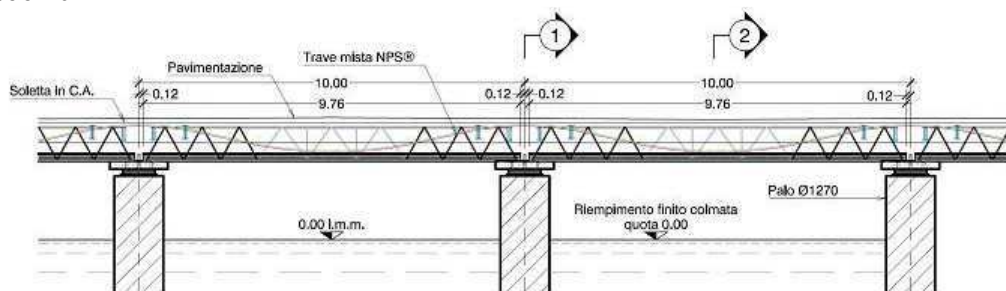
1. Bonifica ambientale dei fondali marini ricadenti nelle aree di intervento e delle aree a terra (bonifica a mare certificata -CAB- e messa in sicurezza provvisoria -MISP- di tutte le aree a terra in concessione anch'esse certificate).
2. Realizzazione di una cassa di colmata, di quasi $\frac{1}{2}$ milione di m^3 , con perimetro a tenuta.
3. Realizzazione di una banchina funzionale in cap soprastante la zona di colmata, i cassoni e la zona Ro-Ro.
4. Realizzazione di un cunicolo servizi sottobanchina.
5. Realizzazione di pavimentazione in c.a. controterra nella zona esterna alla banchina pensile.
6. Realizzazione di impianti e di raccolta e trattamento delle acque di falda captate (TAF) e delle acque di colmata (TAC).
7. Impianto idrico, elettrico, TCCV, controllo varchi, antincendio.
8. Opere stradali e ferroviarie.
9. Deviazione e tombamento del torrente Baiamonti e dello scarico a mare di emergenza dell'impianto di depurazione AcegasAPS-AMGA.

IL PROGETTO DELLE OPERE IN CALCESTRUZZO

La grande particolarità di questa opera, con specifico riferimento al Premio AICAP, è la realizzazione di una piastra pensile in calcestruzzo continua (senza giunti) della dimensione di oltre 6.5 ha. Al di sotto della piastra è stata realizzata una cassa di colmata (non ancora riempita) di circa $\frac{1}{2}$ milione di mc, opportunamente confinata sul perimetro da opere in acciaio e calcestruzzo (palancolate, pareti combinate, pali secanti e CSM).

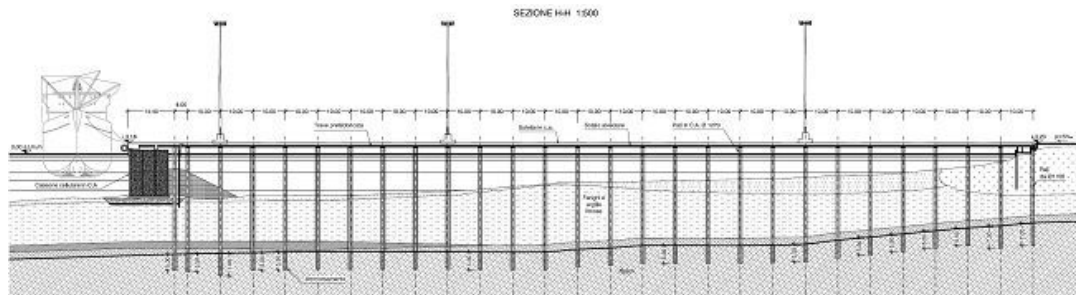
La banchina pensile presenta la caratteristica di essere appoggiata su pali trivellati mediante dei dispositivi di appoggio a doppio pendolo (friction pendulum) con funzione di isolatore sismico: siamo dunque di fronte ad una soletta continua della dimensione di circa 65000 m^2 completamente isolata dal punto di vista sismico che è, se non la più estesa, una delle più estese strutture al mondo monolitiche, continue ed isolate sismicamente.

Particolarmente interessante è stato il calcolo del sistema di isolamento, che ha dovuto comprendere una complessa analisi tridimensionale stante le variabili rigidzze del sistema dei pali (pali a rigidzza variabile per la diversa lunghezza libera e la diversa quota di ammortamento) abbinata alla presenza dei dispositivi antisismici.

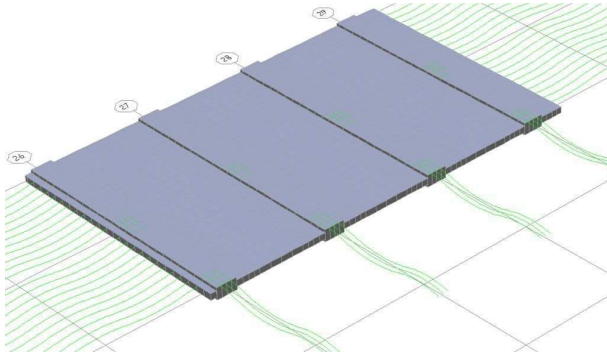


Sezione strutturale tipo: si notano le travi in acciaio-calcestruzzo, l'andamento sinuoso dei cavi di precompressione e gli appoggi sulla testa pali

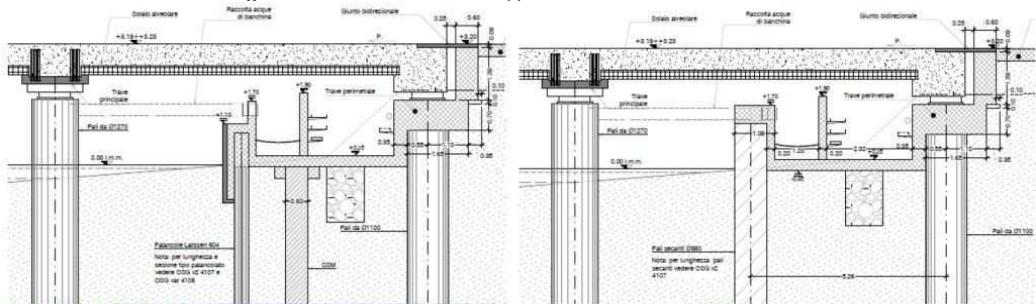
Sezione strutturale generale: la sezione individua il volume della cassa di colmata, i pali che raggiungono il sottostante flysch e i cassoni preesistenti sul fronte



Il calcolo è stato eseguito sulla base del metodo “displacement based seismic design”, per il quale è stata anche chiesta la consulenza del Prof. Michele Calvi e dell’Ing. Matteo Moratti, grandi esperti del settore. Altra particolarità è stata l’analisi di una struttura costruita per fasi e di dimensioni enormi, con problematiche termiche non usuali (getti a temperatura diversa, a diverso livello di maturazione e sviluppo di fluage sotto precompressione a tempi sfalsati, ...). Tale problematica ha richiesto un reiterato e complesso controllo in fase esecutiva degli spostamenti agli appoggi, che si è rivelato soddisfacentemente congruente con le ipotesi progettuali iniziali.

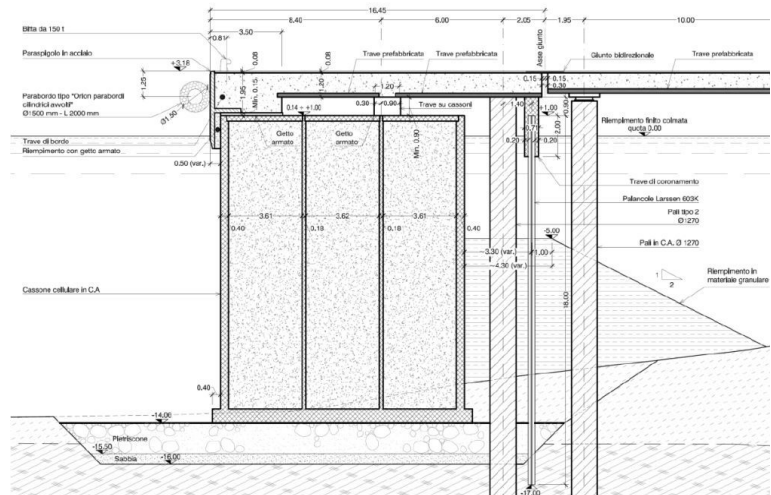


L’andamento sinuoso e concentrato della precompressione lungo le travi principali in una direzione e l’andamento diffuso in soletta nella direzione opposta



Sezione sottobanchina. Si notano il cunicolo laterale con le sottostrutture di contenimento (palancolate o pali secanti) e la diaframmatura in CSM impermeabilizzante

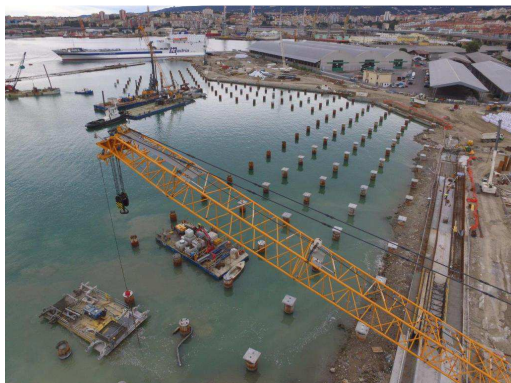
La sezione strutturale tipo in corrispondenza dei cassoni preesistenti, così come risultante dopo la perizia di variante finale



L'ESECUZIONE

L'esecuzione della struttura della banchina è stata fatta per fasi con sezioni di soletta mediate di circa 1200 m², via via gettate e precomprese bidirezionalmente con collegamento alle zone di impalcato precedentemente realizzate.

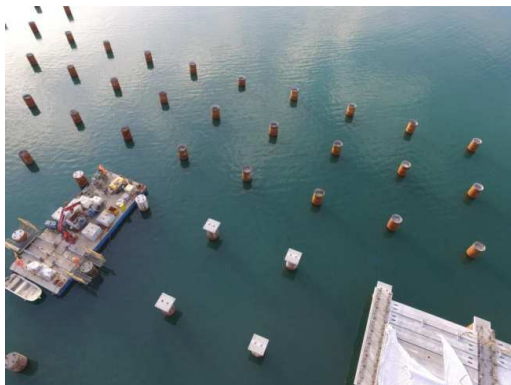
La banchina è stata realizzata a partire dal posizionamento sui pali di travi in acciaio-calcestruzzo, sulle quali a loro volta vengono appoggiati degli alveolari prefabbricati. Su questo "cassero nervato" viene poi gettata la soletta dello spessore medio di 52 cm post-tesa in corrispondenza delle travi principali in una direzione e in modo diffuso lungo la direzione perpendicolare. A completare l'opera è stata eseguita la pavimentazione, in FRC, incollata alla sottostante struttura, per dare le opportune pendenze con la finalità di scarico delle acque meteoriche e per garantire una superficie resistente alle sollecitazioni ambientali.



Fase iniziale costruzione pali



Fase iniziale costruzione impalcato

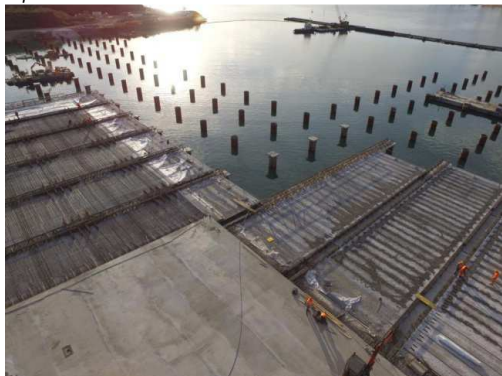


Pali, pulvini e impalcato



Fase di getto impalcato con sensore di temperatura

Impalcato a vari stadi di lavorazione



Appoggio travi con smorzatori sismici



Particolarmente gravosa è stata l'esecuzione dei pali trivellati in un ambiente ricolmo di detriti di ogni genere, tra cui anche i residui della demolizione di navi e grossi elementi in calcestruzzo e acciaio, che hanno richiesto una preventiva bonifica dei punti in cui si sono andati a realizzare i pali stessi.

ASPETTO ESTETICO ED INSERIMENTO NEL CONTESTO AMBIENTALE

Trattandosi di infrastruttura portuale, l'estetica si riduce alla realizzazione di un grande piazzale omogeneo, interrotto dai pali dell'illuminazione e da poche secondarie strutture fuoriterza (uffici prefabbricati, uffici di controllo, impianti di trattamento acque e aria). L'approccio estetico e funzionale è stato quello di rendere minime le strutture fuoriterza – tutte le vasche di raccolta acque e condutture servizi di ogni genere risultano interrate o posizionate sottoimpalcato - e organizzare il più visibile fronte mare in modo estremamente minimale e ordinato (utilizzo di velette di delimitazione in modo da ottenere un fronte mare omogeneo anche in caso di bassa marea, numero minimo di fender di dimensione non eccessiva, scalette e bitte di ormeggio in numero minimo, assenza di colonne servizi esterne).

L'aspetto ambientale di grande valenza è stato quello di riportare alla vita, con un grande e impegnativo lavoro di bonifica, un'area precedentemente soggetta a forte inquinamento e degrado e ottenere, al contempo, un volume notevole (1/2 milione di m³) da dedicare a cassa di colmata.

CARATTERISTICHE INNOVATIVE DEL CALCESTRUZZO IMPIEGATO

I calcestruzzi impiegati sono di tipo classico ad elevata resistenza – C35/45 XS3 S5 per l'impalcato gettato in opera e C45/55 XS3 per la pavimentazione – additivato per soddisfare alle esigenze di rapidità di raggiungimento di resistenza per accelerare al massimo la precompressione, in genere applicata il 3° giorno dopo il getto. Ulteriore additivazione (o diverso mix design) è stata prevista per superare le forti variazioni climatiche (getti a basse e alte temperature, presenze saltuarie di forte vento, getti all'asciutto e in condizioni di pioggia...). Inoltre il calcestruzzo per la realizzazione della pavimentazione è stato additivato con fibre (metalliche, in basalto, sintetiche, a seconda della zona di posa e degli spessori da realizzare).

A posteriori, si può dire che uno degli aspetti più interessanti maturati da questa esperienza è proprio la necessità di un pressoché continuo adattamento delle miscele dei calcestruzzi gettati, certamente facilitato dalla produzione in cantiere, con qualche sorpresa dovuta a inaspettate variazioni, talvolta inspiegabili, delle caratteristiche di miscele apparentemente del tutto omogenee.

I calcestruzzi sono stati controllati con grande attenzione e anche con l'utilizzo di tecniche recenti di controllo, quali l'inglobamento nei getti di sensori di temperatura rilevabili wireless dall'esterno, che hanno permesso di stimare la resistenza effettiva dei calcestruzzi in opera al fine di eseguire il più presto possibile le operazioni di precompressione.

Viste le grandi quantità di materiali impiegati (circa 140.000 m³ di calcestruzzo, circa 12,7 milioni di kg di acciaio lento, circa 2 milioni di kg di acciaio da precompressione, circa 3,8 milioni di kg di acciaio da carpenteria – lamierini pali e palancole) e visto il controllo continuo, è stato possibile verificare l'omogeneità delle forniture con qualche sorpresa soprattutto nei calcestruzzi (elevata variabilità nei tempi di maturazione della resistenza in funzione della temperatura e discretamente elevata variabilità nelle resistenze, pur con l'utilizzo degli stessi materiali compositivi dei calcestruzzi) e negli acciai da precompressione (alta variabilità del modulo elastico e ottima costanza dei valori di snervamento/rottura).

LAVORAZIONI E FINITURE

Per le finiture del piazzale, soggetto a grandi carichi e possibilità di usura, è stata preferita l'esecuzione di una pavimentazione in FRC gettata al di sopra della struttura portante dell'impalcato, in grado di presentarsi come difficilmente usurabile e degradabile e che, nel contempo, può venir facilmente riparata nel caso di rotture.

Tale pavimentazione è stata realizzata con l'ausilio di slipform a quattro cingoli utilizzate normalmente in pavimentazioni aeroportuali in grado di stendere fasce parallele di 5 m di larghezza e con calcestruzzi molto asciutti (classe di consistenza S1-S2) per minimizzare le problematiche dovute al ritiro. Tale tecnologia ha permesso una notevole omogeneizzazione dei calcestruzzi superficiali, sia nella finitura sia nella colorazione.

Il fronte mare è stato realizzato con velette prefabbricate di notevoli dimensioni (alte 3,5 m) in grado di garantire elevata estetica e resistenza.



Fase avanzata di costruzione dell'impalcato



*Fronte banchina a fender montati
Situazione finale*



Situazione finale presso rampa RoRo



ULTERIORE DOCUMENTAZIONE

Articoli e presentazioni che evidenziano in particolare:

- a) Modalità e difficoltà esecutive incontrate nell'esecuzione dei pali di fondazione in c.a.
Pedrini F., Alessandrini F., Fedrigo D., Valusso D., *Pali a mare: aspetti critici nell'esecuzione e nel controllo*, 8° IAGIG Udine, 2018
Bringiotti M., Nicastro D., Di Bari A., Giauni F., *Il progetto e la costruzione di una piattaforma logistica di 130.000 mq (I lotto) nel porto di Trieste*; Icop & Liebherr, accoppiata vincente di organizzazione cantieristica, logistica e macchine potenti ed efficienti, 8° IAGIG Udine, 2018
Francesco Alessandrini, Dario Fedrigo, Luca Grillo, Federica Pedrini, Diego Valusso, *Pile Foundations of Trieste's New Logistic Platform*, DFI-EFFC International Conference on Deep Foundations and Ground Improvement, June 5-8, 2018 – Rome
- b) Redazione del progetto esecutivo con modalità BIM, vincita del premio TEKLA 2019 Italia, successiva partecipazione al premio TEKLA Europa
Piattaforma logistica di Trieste: un progetto BIM da 150 milioni, 7 Ottobre 2020 - in Newsletter Harpaceas /da Flavia Tarsilla
Piattaforma logistica di Trieste Fonte: 30 anni HARPACEAS More than BIM 10/20 Le nostre notizie
- c) Partecipazione alla finale del concorso Previsioni BOVIAR AWARDS 2019 con una presentazione relativa all'esperienza con sensori termici nei calcestruzzi della piattaforma
Alessandrini Francesco, Fedrigo Dario, Michelin Eros, Pedrini Federica, Slobic Luca, Valusso Diego - ALPE PROGETTI srl società di ingegneria - *Determinazione continua della resistenza del calcestruzzo mediante sensori annegati nel getto: prime esperienze applicative*
- d) Pubblicazione dell'esperienza con i sensori termici
Determinazione continua della resistenza del calcestruzzo mediante sensori annegati nel getto. Prime esperienze applicative, Alessandrini Francesco, Fedrigo Dario, Valusso Diego, Pedrini Federica, Michelin Eros, Slobic Luca, RASSEGNA TECNICA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA & NOTIZIARIO INGEGNERI, rt 375, ANNO LXXI - GENNAIO/FEBBRAIO 2020

Presentazione di:

Francesco Alessandrini e Dario Fedrigo, ALPE PROGETTI srl Società di Ingegneria – Udine
Carlo Glauco Amoroso, HMR srl – Padova
Nicola De Biaggio, I.CO.P. spa – Basiliano (UD)