

La Piattaforma Logistica di Trieste vince il premio AICAP 2020 per le infrastrutture

La miglior opera in c.a.p. degli ultimi anni comprende una piastra continua sismicamente isolata di 65000 m²

Francesco Alessandrini¹, Dario Fedrigo², Eros Michielin², Federica Pedrini², Diego Valusso²

¹ [ALPE PROGETTI SRL SOCIETA' DI INGEGNERIA](#) - Udine

² ALPE ENGINEERING SRL - Udine

UN'INFRASTRUTTURA CHE COLLEGA L'ITALIA AL MONDO

L'opera premiata dall'[AICAP](#), l'Associazione Italiana del Calcestruzzo Armato e Precompresso, è un'infrastruttura dedicata all'interscambio mare-terra di merci provenienti e dirette in tutto il mondo.

Si tratta della [Piattaforma Logistica](#) appena completata nel Porto di Trieste (figura 1), una struttura molto estesa, oltre 12 ettari, destinata ad ospitare una banchina di attracco per navi Ro-Ro e trasporto container, le zone di parcheggio rimorchi e deposito container, nonché tutta la logistica per il trasporto stradale e ferroviario.



Figura 1 - La zona del Porto di Trieste interessata dalla nuova piattaforma logistica (in giallo). In alto a sinistra il molo VII e in basso a destra la ferriera di Servola.

L'opera è stata scelta tra cinque opere infrastrutturali, tra cui anche il nuovo bel ponte sul Tagliamento in Friuli, il nuovo ponte S. Giorgio di Genova (che ha preso il posto del ponte "Morandi"), e altri due grandi ponti strallati.

Durante la premiazione, il presidente dell'AICAP, prof. Marco Menegotto, ha conferito alla Piattaforma Logistica di Trieste l'attestato di miglior Opera Infrastrutturale AICAP 2020 in virtù dell'importanza, della dimensione dell'opera eseguita e dell'utilizzo innovativo delle tecniche di precompressione dei calcestruzzi e di isolamento sismico della banchina.

LA NUOVA PIATTAFORMA LOGISTICA

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 – figura 2) di cui una parte consistente (8 ha circa) consta di una piastra in calcestruzzo armato post-teso di 6,5 ha che poggia su pali realizzati a mare di diametro 1270mm (figura 3) e su cassoni preesistenti che costituivano una diga foranea, o su pali di diametro 1600mm, nella parte fronte mare (figura 4).

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 €, praticamente coincidente a quello stimato e finanziato inizialmente.



Figura 2 - Foto d'insieme della struttura portuale nella sua forma finale.

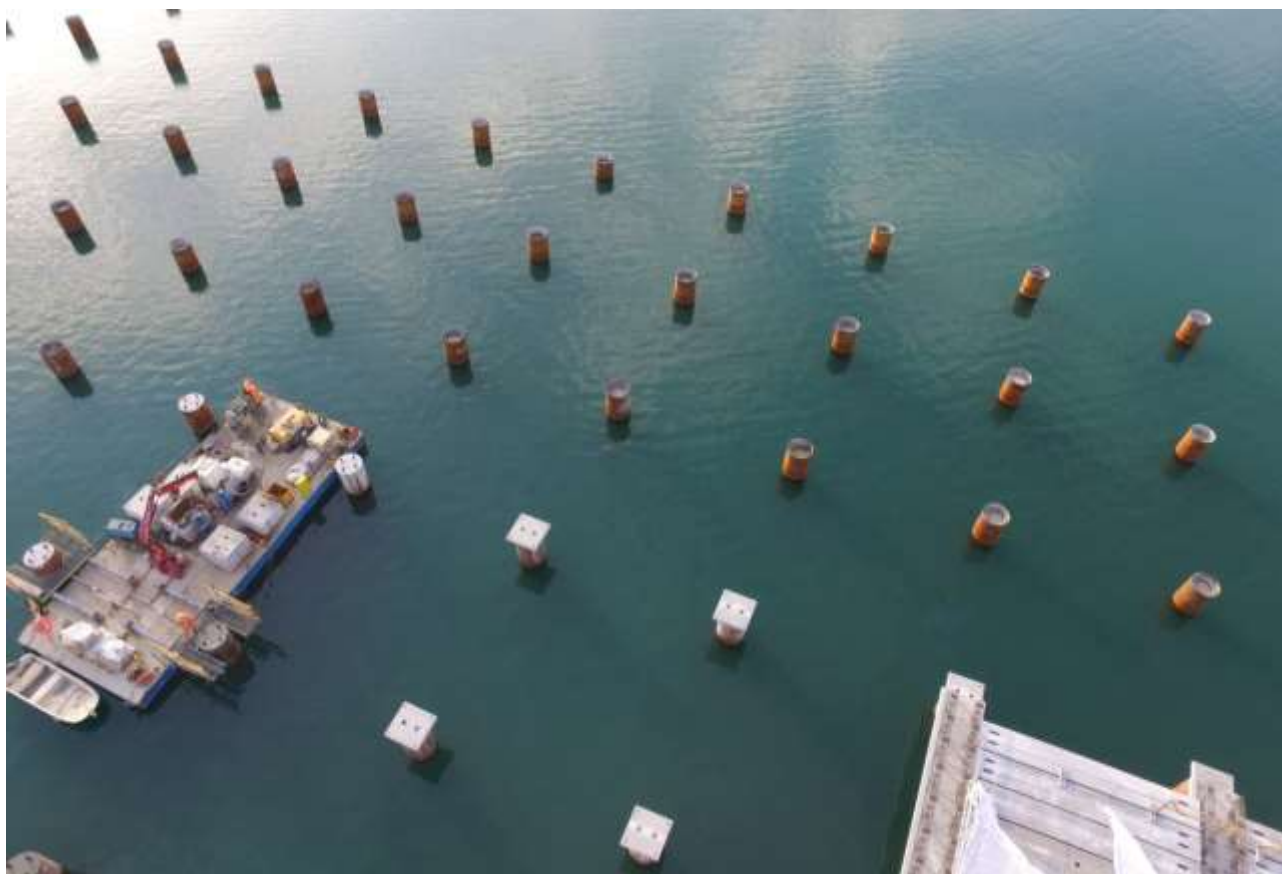


Figura 3 - Pali, pulvini e impalcato, a simboleggiare le varie fasi costruttive dell'opera.



Figura 4 - Lato fronte mare con una delle gru a servizio dello scarico dei containers dalle navi.

UN PROGETTO MULTIFORME

L'opera, nella sua globalità, presenta molteplici aspetti a valenza ambientale, logistica e strutturale. Essa, infatti, comprende varie opere tra cui, in un sintetico riassunto:

- 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).
- Realizzazione di una cassa di colmata, di quasi $\frac{1}{2}$ milione di m^3 , con perimetro a tenuta.
- Realizzazione di una banchina funzionale in c.a.p. sovrastante la zona di colmata, i cassoni e la zona Ro-Ro.
- Realizzazione di un cunicolo servizi sottobanchina.
- Realizzazione di pavimentazione in c.a. controterra nella zona esterna alla banchina pensile.
- Realizzazione di impianti e di raccolta e trattamento delle acque di falda captate (TAF) e delle acque di colmata (TAC).
- Impianto idrico, elettrico, TCCV, controllo varchi, antincendio.
- Opere stradali e ferroviarie.
- 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 (al momento non ancora riempita) di circa $\frac{1}{2}$ milione di m^3 , opportunamente confinata sul perimetro da opere in acciaio e calcestruzzo (palancolate metalliche, pareti combinate - pali più palancole collegati -, pali secanti in c.a. e CSM, ovvero Cutter Soil Mixing, quest'ultima una tecnologia per consolidare il terreno).

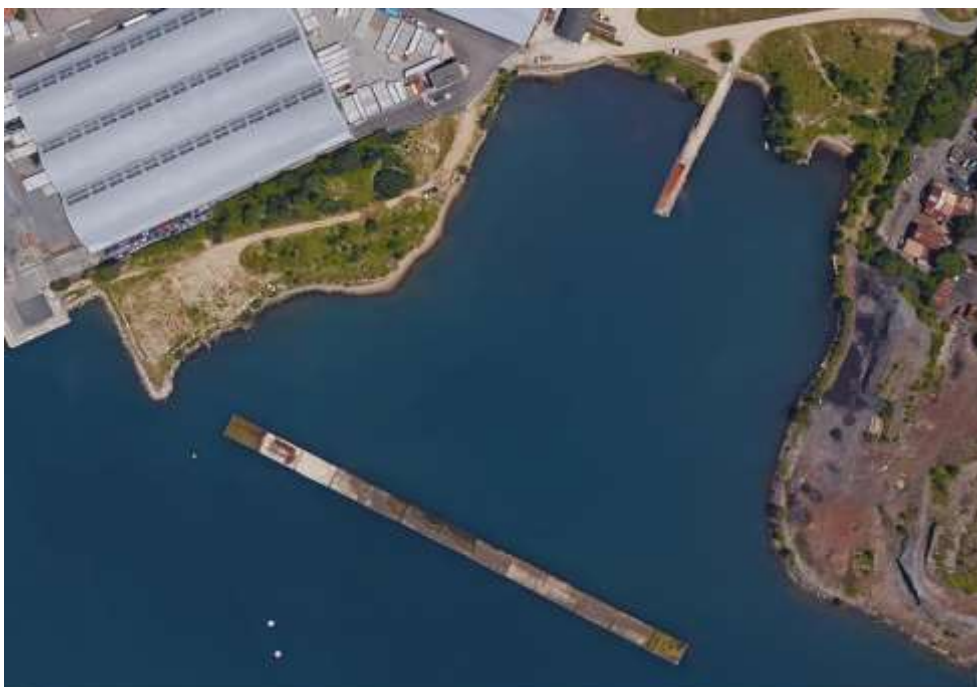


Figura 5 - La baia nella situazione iniziale. In basso sono visibili i cassoni precedentemente costruiti (diga foranea) che delimitano il bordo esterno della nuova banchina.

La banchina va a riempire una preesistente baia (figura 5), in parte già chiusa e ristretta nel tempo passato con detriti di provenienza post bellica: sul fondo sono stati rinvenuti durante i lavori enormi elementi prefabbricati, residui di colate d'acciaio, vari pezzi di navi - il sito è stato anche zona di demolizioni di navi - tra cui una bellissima ancora alta circa 4 m. Vi lasciamo dunque immaginare le difficoltà esecutive incontrate nella realizzazione dei pali trivellati che hanno costretto l'Impresa a realizzare una bonifica preventiva di tutte le zone in cui sono stati poi costruiti i pali stessi.

La banchina pensile (figura 6 e 7) presenta la caratteristica di essere appoggiata su pali trivellati lunghi da una ventina a una quarantina di metri che si innestano nel basamento roccioso (flysch), la cui sommità si trova a profondità variabile e degradante verso il mare. L'appoggio della banchina sui pali avviene mediante dei dispositivi a "doppio pendolo" (friction pendulum) con funzione di isolatori sismici: siamo dunque di fronte ad una soletta continua della dimensione di circa 65000 m² sismicamente completamente isolata dai pali di fondazione e dalle strutture limitrofe. L'opera è, se non la più estesa, una delle più estese strutture al mondo monolitiche, continue ed isolate sismicamente.

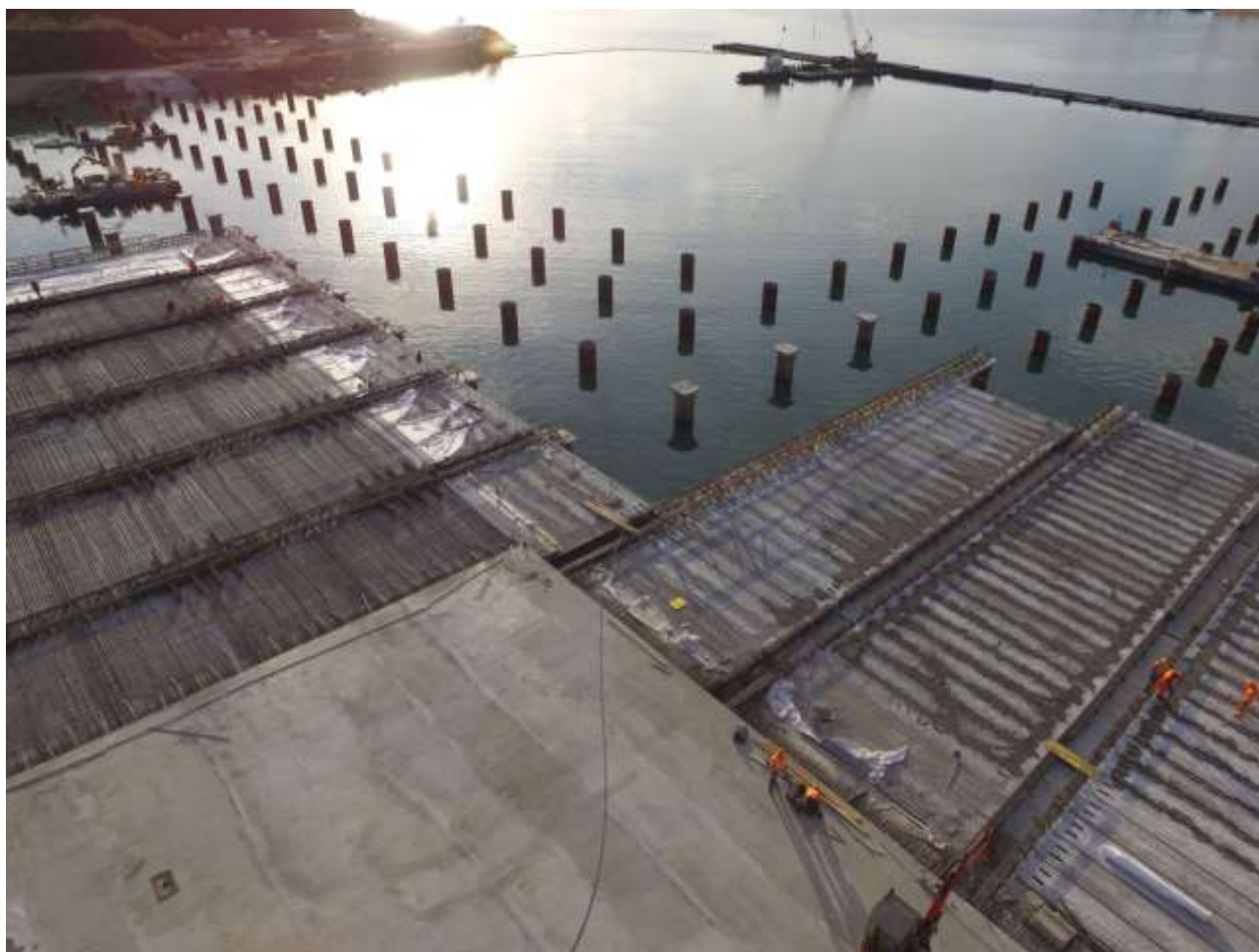


Figura 6 - Ulteriore stadio di avanzamento della costruzione della banchina.



Figura 7 - Fase avanzata di costruzione della banchina su pali.

Particolarmente interessante è stato il calcolo del sistema di isolamento, che ha dovuto comprendere una complessa analisi tridimensionale stante le continuamente variabili rigidità del sistema dei pali (pali con diversa lunghezza libera iniziale, poi modificata dal riempimento della colmata, e diversa quota di ammortamento) abbinata alla presenza dei dispositivi antisismici. Il calcolo è stato eseguito con il 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. Ci piace al riguardo ricordare che, durante i contatti avuti con il Prof. Calvi al tempo del terremoto dell’Aquila, discutendo dell’isolamento sismico dei nuovi condomini che avrebbero dovuto essere costruiti in zona terremotata, era emersa la possibilità, da un punto di vista teorico, di costruire delle piastre in calcestruzzo enormi - allora si disse fino a 1km^2 - tutte isolate sismicamente. Il problema era però l’esecuzione - grossi problemi di ritiro e di sollecitazioni indotte da deformazioni termiche - e il calcolo sismico che, fatto con i criteri classici, portava a sollecitazioni eccessive. Quelle considerazioni ci sono tornate alla mente durante la progettazione della piattaforma trovando il modo di superare tutte le difficoltà del caso: da un lato mediante l’utilizzo di una diffusa precompressione bidirezionale dei calcestruzzi eseguita per fasi e, dall’altro, mediante l’utilizzo del citato metodo di calcolo sismico basato sugli spostamenti, anziché sulle sollecitazioni.

Ecco allora che è stata concepita una piastra nervata con una precompressione principale in direzione delle nervature ed una secondaria in direzione delle solette di collegamento, come sinteticamente intuibile dalla figura 8.

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, ...). Tali problematiche hanno richiesto un reiterato e complesso controllo in fase esecutiva degli spostamenti agli appoggi, che si è rivelato soddisfacentemente congruente con le ipotesi progettuali iniziali.

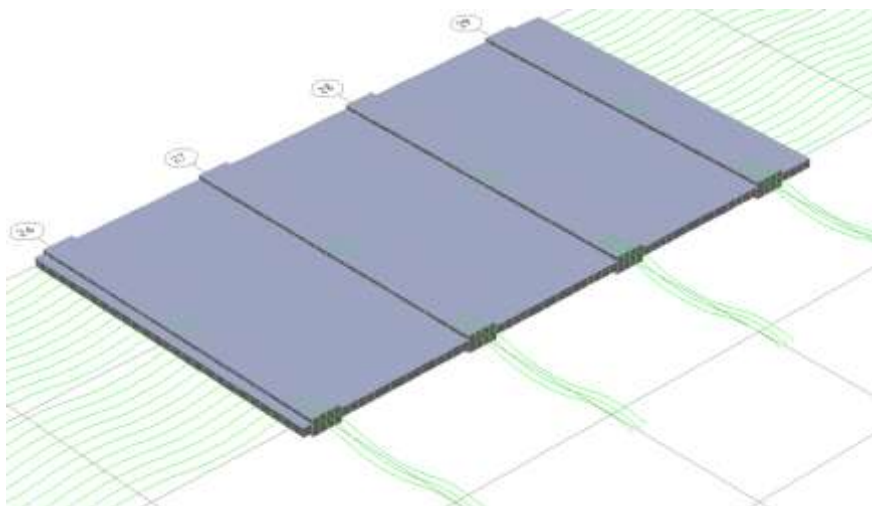


Figura 8 - Andamento della precompressione bidirezionale: l'andamento sinuoso e concentrato della precompressione lungo le travi principali in una direzione e l'andamento diffuso in soletta nella direzione opposta

Il progetto costruttivo della banchina su pali è stato restituito in modalità BIM (figura 9), permettendo, in particolare durante la costruzione, un controllo informatico continuo tra cantiere e progettisti. Nicola De Biaggio, direttore generale del dipartimento ingegneria di I.CO.P. S.p.A., al ritiro del premio Tekla Italia 2020 ha dichiarato che i vantaggi più evidenti dell'utilizzo delle soluzioni BIM adottate sono stati la possibilità di eliminare le interferenze tra i vari elementi del progetto e la possibilità di trasferire velocemente in cantiere il progetto in modo da renderlo subito disponibile agli utilizzatori.

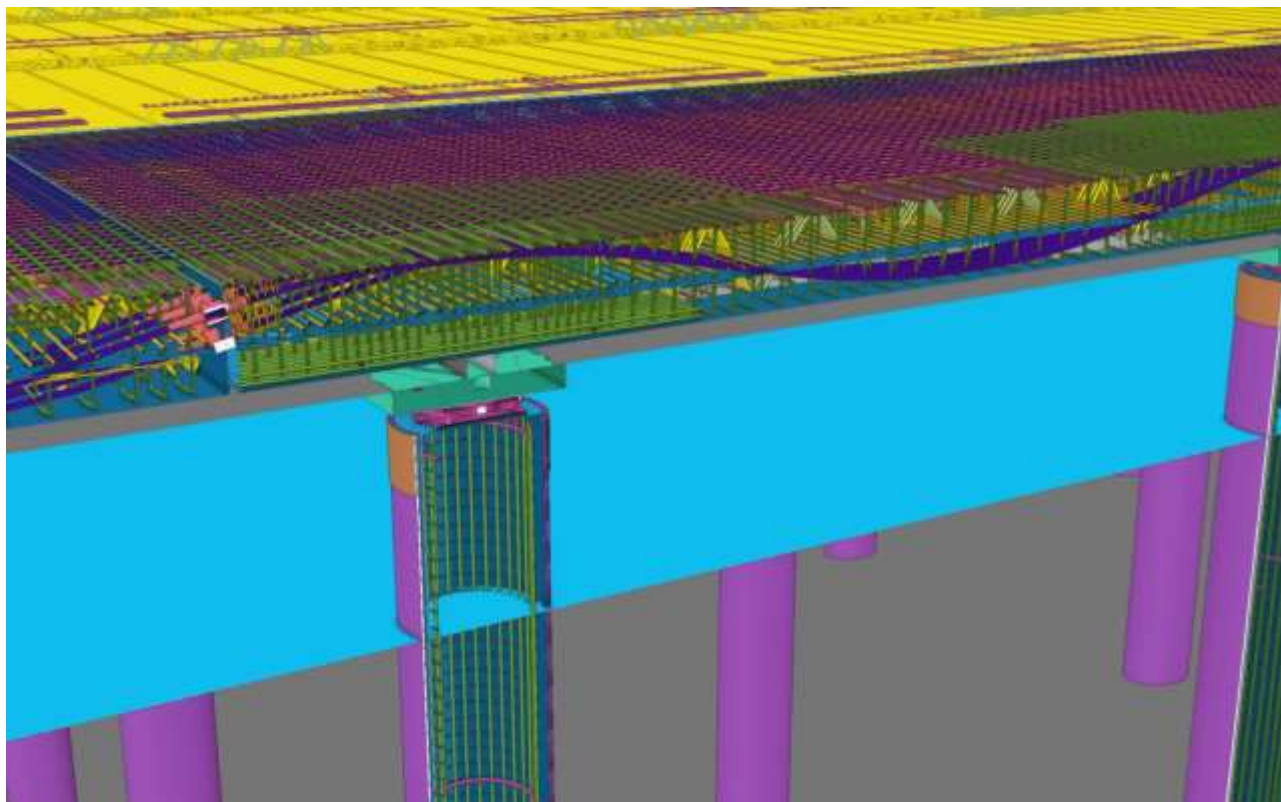


Figura 9 - Particolare del disegno 3D in ambiente BIM delle armature della banchina – si notino i cavi di precompressione ad andamento ondulato - sopra un appoggio su palo.

Nell'ambito del progetto costruttivo ci piace ricordare anche il contributo di Pierino Burba, sempre della I.CO.P. S.p.A., recentemente insignito del titolo di "Ingegnere Honoris Causa" dall'Università di Udine. Burba ha progettato una particolare dima galleggiante in grado di permettere una precisa costruzione dei pali in acqua... che per sua natura non si ferma mai e ciò rende molto difficile il posizionamento preciso delle strutture: non è così scontato fare un "buco in acqua" esattamente nel punto voluto! A lui anche il merito di aver progettato un dispositivo per la sostituzione degli appoggi/smorzatori sismici a impalcato posizionato, operazione questa che dovrà aver luogo secondo le tempistiche dettate dal piano di manutenzione.

L'ESECUZIONE DELLA BANCHINA SU PALI

L'esecuzione della struttura della banchina è stata realizzata per fasi, ognuna con la costruzione di porzioni di soletta mediamente 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 (travi NPS®), sulle quali a loro volta sono state appoggiate delle piastre alveolari prefabbricate. Su questo "cassero nervato" è stata successivamente gettata la soletta dello spessore medio di 52 cm postesa 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 (fiber reinforced concrete), 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.

I CALCESTRUZZI

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 le esigenze di rapidità di raggiungimento di resistenza e 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,...). Nel calcestruzzo per la realizzazione della pavimentazione sono state utilizzate fibre (metalliche, in basalto e/o sintetiche) in quantità e tipologia diversificata a seconda della zona di posa e degli spessori da realizzare.

A posteriori, si può dire che uno degli aspetti interessanti maturati da questa esperienza è stata 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 prestazioni meccaniche fornite da miscele apparentemente del tutto omogenee.

La maturazione dei calcestruzzi è stata controllata con grande attenzione e anche con l'utilizzo di tecniche recenti di controllo, quali l'inglobamento nei getti di sensori di temperatura wireless rilevabili dall'esterno, al fine di eseguire il più presto possibile le operazioni di precompressione (figura 10).

Viste le grandi quantità di materiali impiegati e visto il controllo continuo, è stato possibile verificare l'omogeneità delle forniture con qualche sorpresa soprattutto nei calcestruzzi, dove si è riscontrata un'elevata variabilità nei tempi di maturazione della resistenza in funzione della temperatura e anche una discretamente elevata variabilità nelle resistenze finali, pur con l'utilizzo degli stessi materiali compositivi dei calcestruzzi. Gli acciai da precompressione hanno altresì dimostrato un'alta variabilità del modulo elastico, a fronte di un'ottima costanza dei valori di snervamento/rottura.



Figura 10 - Fase di getto dell'impalcato con evidenziato uno dei sensori di temperatura, che è stato posizionato all'interno della soletta ed annegato nel getto, utilizzato per valutare lo stato di resistenza raggiunto dal calcestruzzo.

LE SCHEDE DELL'OPERA

DATI DI PROGETTO

SUPERFICIE COMPLESSIVA IN CONCESSIONE	12,3 ha
SUPERFICIE BANCHINA PENSILE ISOLATA SISMICAMENTE	6,5 ha
SUPERFICIE PIAZZALI CONTROTERRA PAVIMENTATI	5,8 ha
LUNGHEZZA BANCHINA PRINCIPALE	431 m
LUNGHEZZA COMPLESSIVA BANCHINA	480 m
PROFONDITA' FONDALE DI ACCOSTO	14 m
N° PALI PER IL SOSTEGNO DELLA BANCHINA E DI DELIMITAZIONE PERIMETRALE	864
DIAMETRO PALI TRIVELLATI	1600/1270/1100 mm
LUNGHEZZA CONFINAMENTO AMBIENTALE CSM/PALI SECANTI E TRINCEA DRENANTE	877 m - 1080 m
CAPIENZA DELLA CASSA DI COLMATA SOTTO LA BANCHINA PENSILE	500.000 m ³
ATTRACCO RO-RO	fisso, largo 35m
SOVRACCARICO DI CALCOLO	60 kPa
VOLUMI DI CALCESTRUZZO IMPIEGATI	140.000 m ³
PESO ACCIAIO LENTO DA CALCESTRUZZO	12.700 t
PESO ACCIAIO DA PRECOMPRESSIONE	2.000 t
PESO ACCIAIO DA CARPENTERIA – lamierini pali e palancole	3.800 t

GLI ATTORI

UBICAZIONE	Porto di Trieste - zona sud-est - Via degli Altiforni - Trieste
PROPRIETARIO	Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Orientale – Porto di Trieste
CONCESSIONARIO	HHLA PLT Italy srl – Via degli Altiforni snc – 34145 Trieste
DIRETTORE DEL CONCESSIONARIO	dott. ing. Paolo Bassi
DATA DI ULTIMAZIONE	24 settembre 2020
PROGETTO ESECUTIVO GENERALE	STUDIO ALTIERI s.p.a. - Thiene
PROGETTO ESECUTIVO STRUTTURALE	ALPE PROGETTI s.r.l. società di ingegneria - Udine
RUP	dott. ing. Eric Marcone (Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Orientale)
DIREZIONE DEI LAVORI	dott. ing. Carlo Glauco Amoroso
DIREZIONE OPERATIVA DELLE STRUTTURE	dott. ing. Francesco Alessandrini
DIREZIONE OPERATIVA DELLA GEOTECNICA	dott. ing. Adriano Susani
COORD. SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE	Per. Ind. Ed. Carlo Del Frate
IMPRESA COSTRUTTRICE	I.CO.P. S.p.A. – Basiliano (UD) Cosmo Ambiente s.r.l. – Noale (VE)

BIBLIOGRAFIA

- [1] Pedrini F. et al. - *Pali a mare: aspetti critici nell'esecuzione e nel controllo* - slides di presentazione - IAGIG 2018
- [2] Pedrini F. et al. - [Pali a mare: aspetti critici nell'esecuzione e nel controllo](#) - IAGIG 2018 - Atti
- [3] Bringiotti M. et al. - [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](#) - IAGIG 2018 - Atti
- [4] Alessandrini F. et al. - [Pile Foundations of Trieste's New Logistic Platform](#) – Boviar Awards 2020 – Proceedings DFI-EFFC 2018
- [5] Tarsilla F. - [Piattaforma logistica di Trieste: un progetto BIM da 150 milioni](#) - newsletter Harpaceas 7 ottobre 2020
- [6] Premio Tekla 2020 - [Piattaforma logistica di Trieste: intervista a Nicola De Biaggio](#) - 30 anni HARPACEAS: More than BIM - Le nostre notizie 10/20
- [7] Alessandrini F. et al. - *Determinazione continua della resistenza del calcestruzzo mediante sensori annegati nel getto: prime esperienze applicative* – [PREVisioni Boviar Awards](#) – 2020
- [8] Alessandrini F. et al. - *Determinazione continua della resistenza del calcestruzzo mediante sensori annegati nel getto: prime esperienze applicative* - [Rassegna tecnica FVG](#) – 375 – feb 2020