

LA STRUTTURA MOBILE PER LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO TERMINAL CONTAINER DEL PORTO DI HAIFA IN ISRAELE

THE MOBILE STRUCTURE
FOR THE CONSTRUCTION
OF THE NEW MARINE CONTAINER TERMINAL
IN HAIFA PORT, ISRAEL

Ph.D. Ing. Fabio Dall'Aglio*, Dott. Ing. Luca Piacentini
Piacentini Ingegneri

Dott. Ing. Anisa Cane
Piacentini Costruzioni



Il presente articolo descrive la struttura mobile usata per la posa in opera della parete combinata pali-palancole (parete principale) e della parete in palancole posteriore (parete di ancoraggio) per la costruzione del nuovo terminal container del porto di Haifa in Israele. Verrà presentata una descrizione generale della struttura e dei criteri di calcolo utilizzati in fase di progetto. La struttura è stata utilizzata per la posa della parete combinata delle

* Corresponding author. Email: fabio.dallaglio@ordingbo.it

banchine 6 e 7 del nuovo terminal container e per la posa della parete interna di ancoraggio che è collegata alla parete principale mediante tiranti che garantiscono la stabilità del sistema durante la costruzione e in esercizio. La struttura mobile è composta da due parti principali: una reticolare spaziale inferiore fondata su pali metallici vibroinfissi ed una piattaforma mobile superiore. Sulla piattaforma mobile, di dimensioni 24,52 x 15,80 m, opera una gru cingolata attrezzata con vibroinfessore ed utilizzata per la posa sia della parete frontale principale che della parete posteriore di ancoraggio, distanti circa 50 m l'una dall'altra. La struttura reticolare spaziale inferiore, di dimensioni complessive 27,58 x 26,65 m, è formata da tre moduli separati collegabili, che la stessa gru è in grado di spostare contestualmente all'avanzamento della realizzazione della banchina. Una volta che la gru ha posizionato la parete combinata pali-palancole nel tratto affacciato alla piattaforma mobile superiore, la gru sposta il primo modulo reticolare più arretrato davanti a quello più avanzato secondo il verso di costruzione della banchina e riposiziona i tre pali di fondazione del modulo. Quindi la piattaforma mobile superiore trasla nella nuova posizione di operatività grazie ad un sistema idraulico combinato di pistoni di sollevamento e di pistoni di spinta orizzontale. In caso di eventi atmosferici eccezionali che determinino mareggiate di forte intensità, l'azione del moto ondoso potrebbe superare la resistenza della parete combinata non ancora irrigidita dal terreno a tergo e dall'impalcato della banchina in fase di costruzione. Per aumentare la resistenza della parete e garantirne la stabilità anche in condizioni eccezionali, la stessa può venire collegata alla struttura reticolare di ancoraggio che quindi assolve anche alla funzione secondaria di presidio del fronte di avanzamento della banchina nel caso di eventi atmosferici eccezionali.

The present report describes the structure used for the installation of the combi wall of the new Hamifratz Port Project in Haifa. An overall description and the design criteria will be discussed in the following paragraphs. The installation structure aims at the positioning of the combi wall in correspondence of quay 6 and 7; it is used also for the placement of the parallel internal wall, which is connected to the external one by means of anchors, and ensures the stability of the front combi wall during the construction and under operating conditions too. The structure is composed of two main parts: a spatial lattice structure on piles foundations and an overlying mobile platform. The top mobile platform corresponds to the support of the crane, responsible for the installation of both the front combi wall of quay 6 and 7, and the anchor wall, at 50 meters of distance one to the other. The bottom spatial lattice structure consists of a modular structure that the crane itself translates as the installation of the combi wall is proceeding. Once the machinery has positioned the combi wall throughout the length of the mobile platform, the crane moves the first modulus of the lattice structure, anchoring it at the extremity of the other two still in their original position, then it relocates the three piles, and at the end the platform translates by means of hydraulic pistons. In the case of exceptional atmospheric events like coastal storms, the waves action could exceed the strength of the combi-wall not yet stiffened by the ground behind and the deck of the quay still during construction. In order to increase the strength of the sheet pile wall and ensure its stability, even during exceptional conditions, it will be connected to the lattice structure, which therefore also performs the secondary function of protecting the front of the quay in the case of exceptional atmospheric events.

DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

Il presente articolo descrive la struttura mobile usata per la posa in opera della parete combinata pali-palancole (parete principale) e della parete in palancole posteriore (parete di ancoraggio) per la costruzione del nuovo terminal container del porto di Haifa in Israele. Il Progetto della costruzione del nuovo porto di Haifa, in Israele, prevede la realizzazione di tre banchine, per un totale di circa 1400 m di sviluppo, tramite l'infissione:

- di una serie di paratie principali composte da profili HZ doppi combinati con palancole di tipo AZ;
- di una paratia di ancoraggio, composta solo di palancole di

tipo AZ.

La batimetria del fondale varia da quota 0,00 m a quota -14,50 m rispetto il livello del mare medio.

Considerando che la vibro-infissione delle pareti doveva avvenire su un fondale con significativa variabilità della profondità e in un tratto di costa completamente esposta al mare aperto dove l'unica protezione è quella dei cassoni della nuova diga foranea ancora in fase di posizionamento, le specifiche di progetto non prevedevano l'impiego di pontoni o mezzi galleggianti ma solo di *jack up*, piattaforme galleggianti autosollevanti composte da uno scafo, delle gambe e un sistema di sollevamento. Il sistema di sollevamento



Fig. 1 - Vista di assieme della piattaforma mobile

permette di abbassare le gambe fino a raggiungere il fondo marino e successivamente elevare lo scafo al di sopra del pelo dell'acqua garantendo alla struttura adeguata stabilità per contrastare i carichi ambientali e di lavoro. Una volta completato il suo scopo, lo scafo

viene riabbassato al punto di galleggiamento, le gambe vengono risollevate e la struttura viene mossa in un'altra posizione. Tuttavia il ritardo accusato dai lavori nelle fasi preliminari alla realizzazione delle pareti delle banchine ha richiesto lo studio di una soluzione integrativa rispetto l'utilizzo dei due *jack up* presenti in cantiere.

L'impresa Piacentini Costruzioni, sub-appaltatore italiano incaricato della realizzazione delle pareti combinate e delle pareti in palancole, ha quindi proposto l'utilizzo di una piattaforma mobile di supporto alla gru, appoggiata su pali vibroinfissi, in grado di seguire l'avanzamento della posa dei palancole.

Per la costruzione del porto sono stati quindi adoperati nella parte prossima alla riva i *jack up* mentre nella parte più esposta alle azioni marine è stata ideata e realizzata una piattaforma mobile fondata su pali.

La soluzione adottata, oggetto dell'articolo, consiste quindi in una struttura reticolare spaziale inferiore formata da tre moduli uguali mutuamente vincolati da collegamenti a perno di facile rimozione,

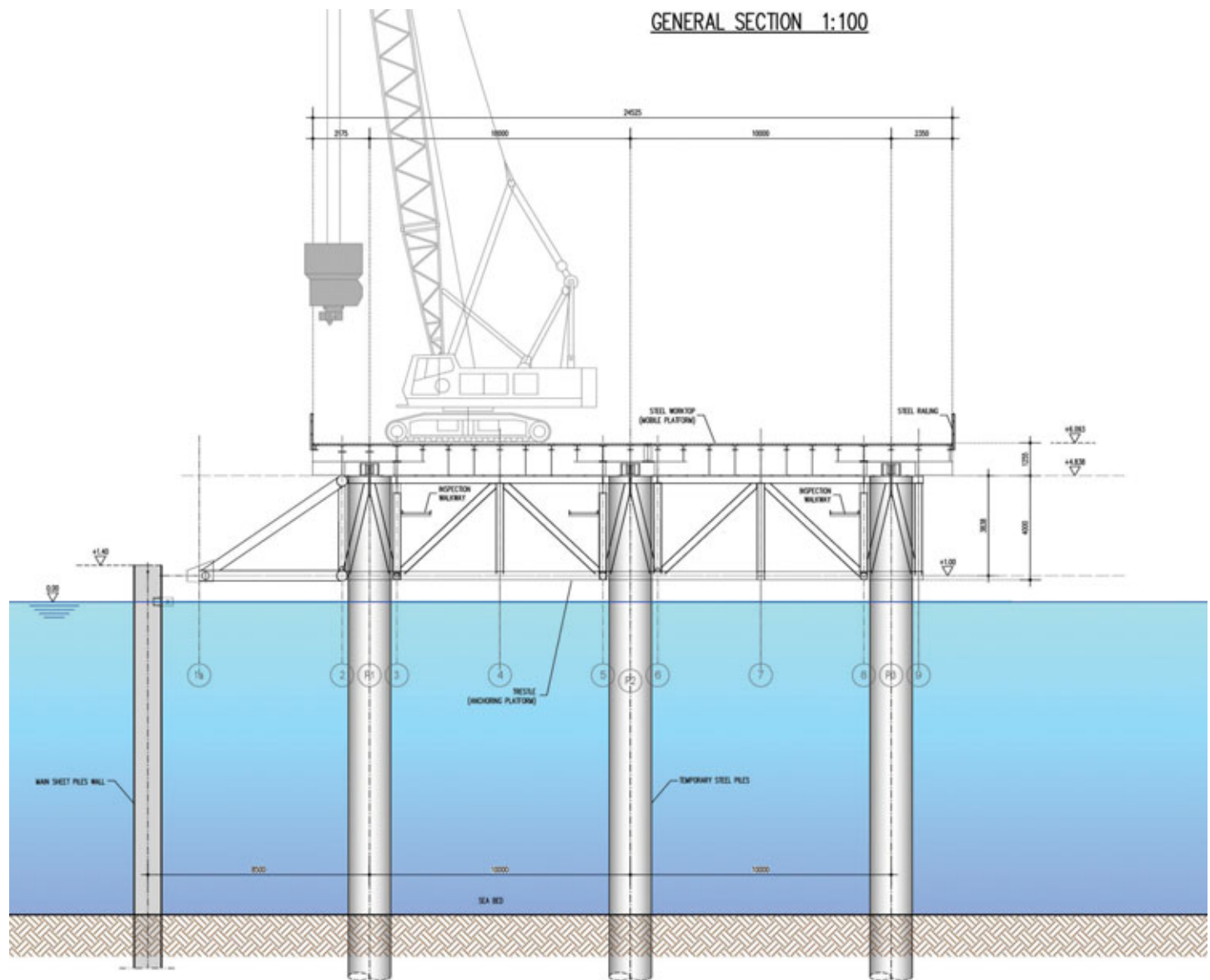


Fig. 2 - Sezione longitudinale generale della piattaforma mobile

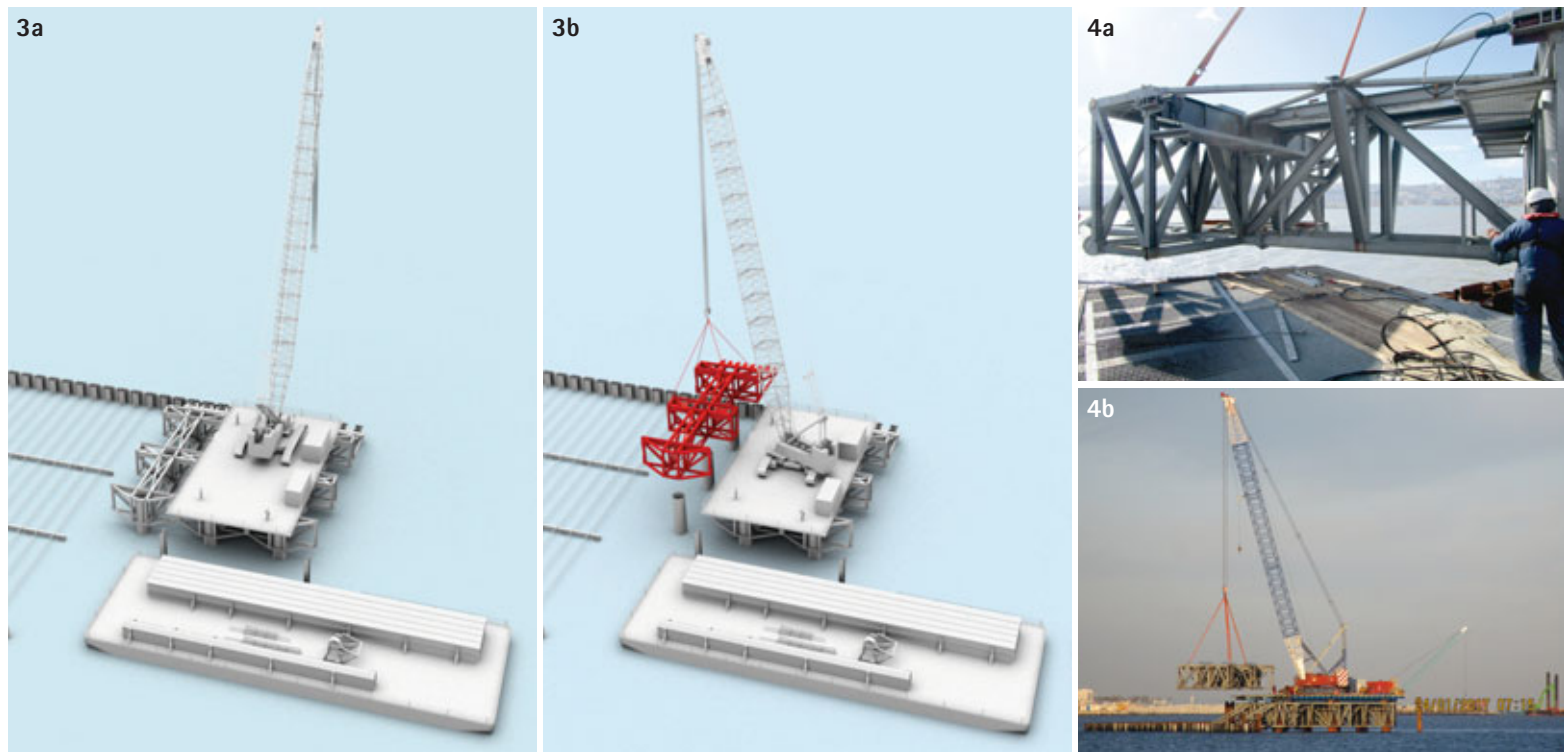


Fig. 3a, 3b - Fasi 1 e 2 della procedura di avanzamento - Fig. 4a, 4b - Sganciamento modulo più arretrato e riposizionamento in avanzamento

che sostiene una piattaforma mobile superiore azionata da un sistema idraulico di martinetti di sollevamento e di pistoni di spinta. Il sistema reticolare più piattaforma è fondato su nove pali metallici vibroinfissi di grande diametro (figure 1 e 2).

Viene qui di seguito descritta la modalità di avanzamento della struttura.

In esercizio ordinario, una volta terminata la posa della parete combinata principale e della parete di ancoraggio posteriore, la stessa gru utilizzata per la vibroinfissione delle palancole solleva il modulo più arretrato (libero dalla piattaforma superiore mobile)

e lo posiziona in avanzamento ancorandolo ai due moduli ancora in opera (fasi 1, 2, 3 e 4, figure 3 - 6).

Una volta agganciato il modulo nella nuova posizione avanzata, ricolloca anche i tre pali di fondazione che vengono riposizionati grazie a guide apposite che fanno parte dello stesso modulo reticolare e a dispositivi mobili a ribalta che ripristinano, a procedura di avanzamento completata, il vincolo verticale tra palo e reticolare (fasi 5, 6, 7, 8, 9 e 10, figure 7 - 9).

Al termine del riposizionamento dei pali di fondazione e dopo aver ripristinato il collegamento verticale con il modulo reticolare, la

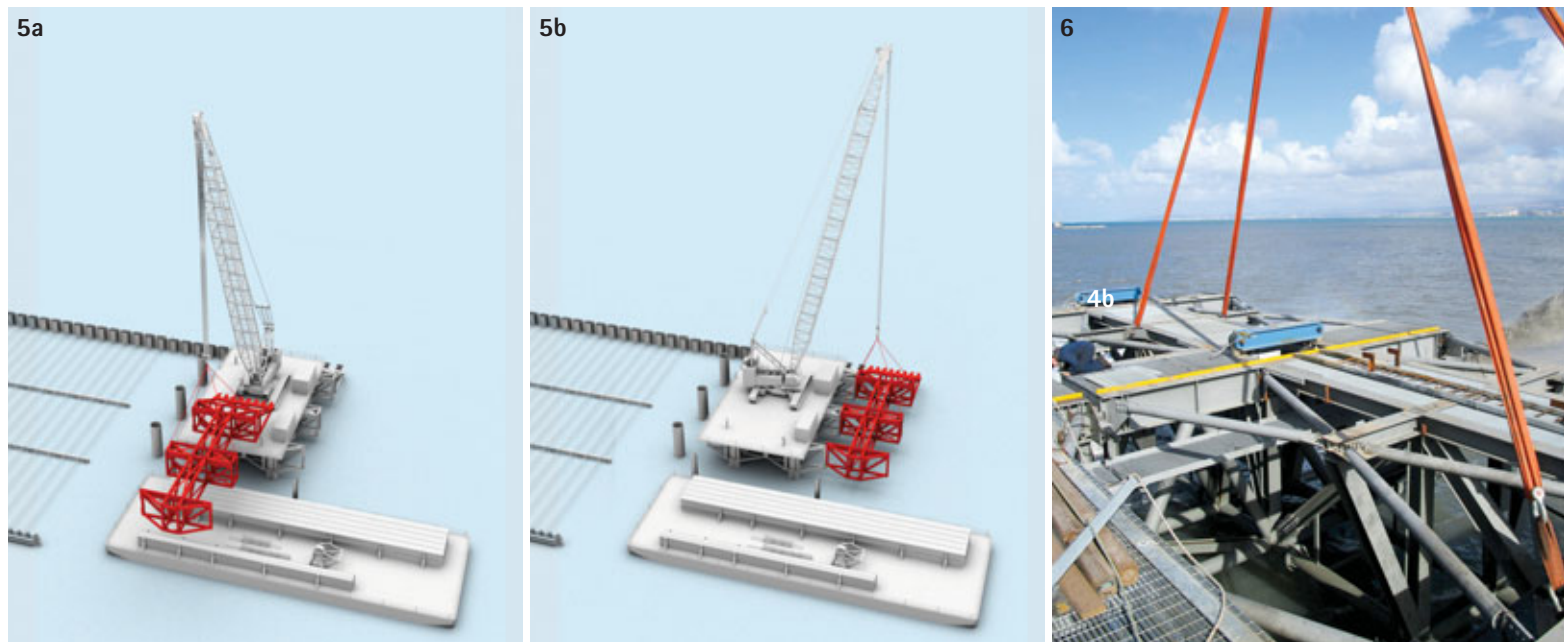


Fig. 5a, 5b - Fasi 3 e 4 della procedura di avanzamento - Fig. 6 - Agganciamento del modulo nella nuova posizione in avanzamento

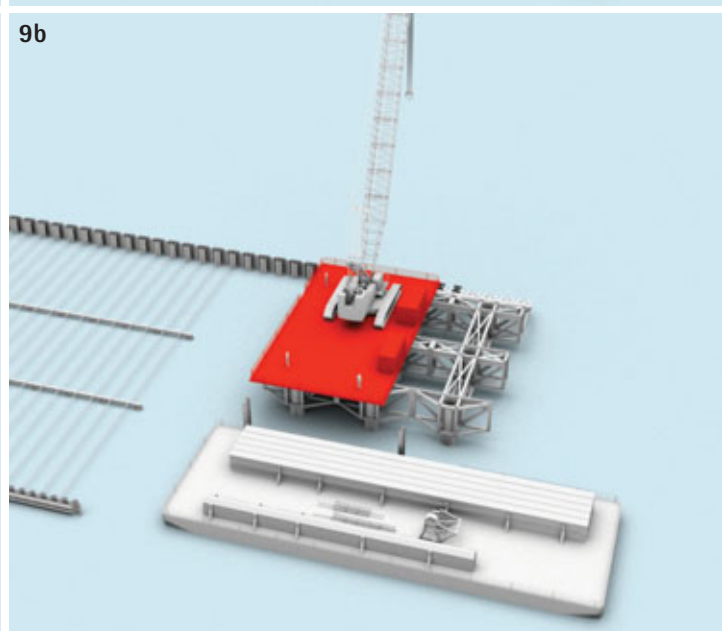
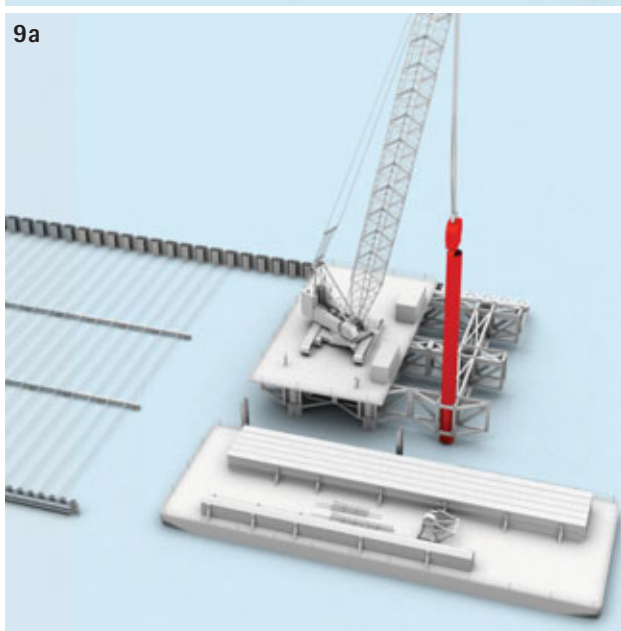
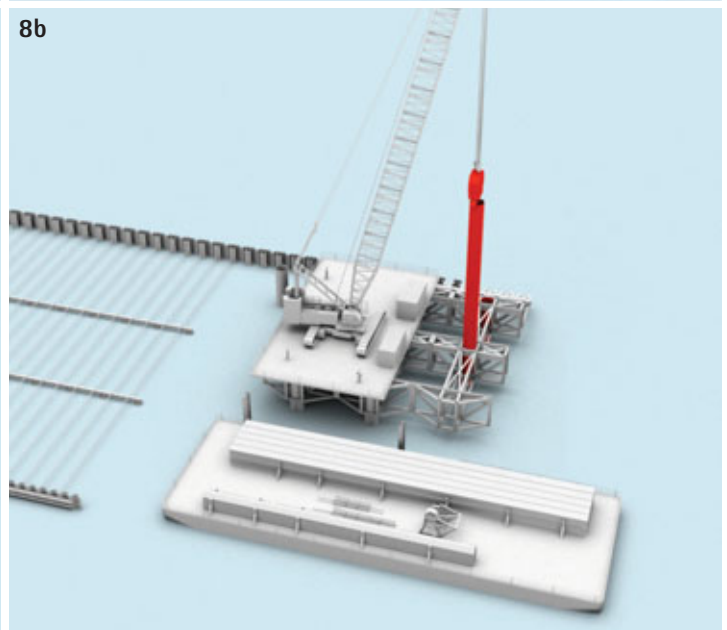
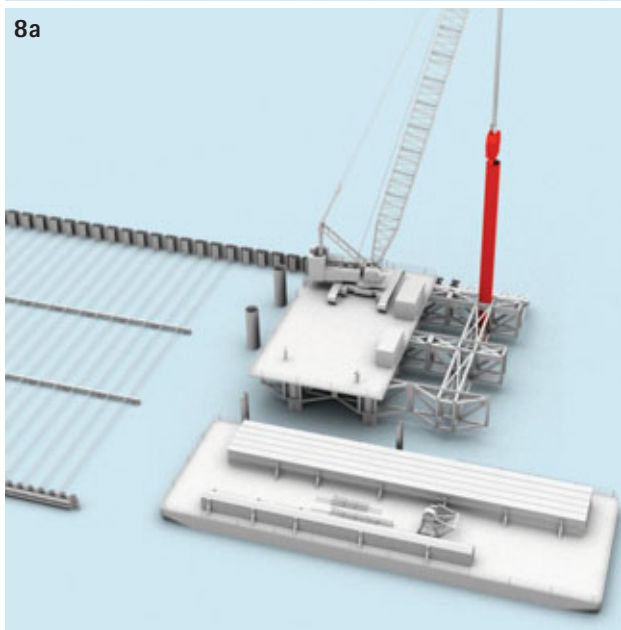
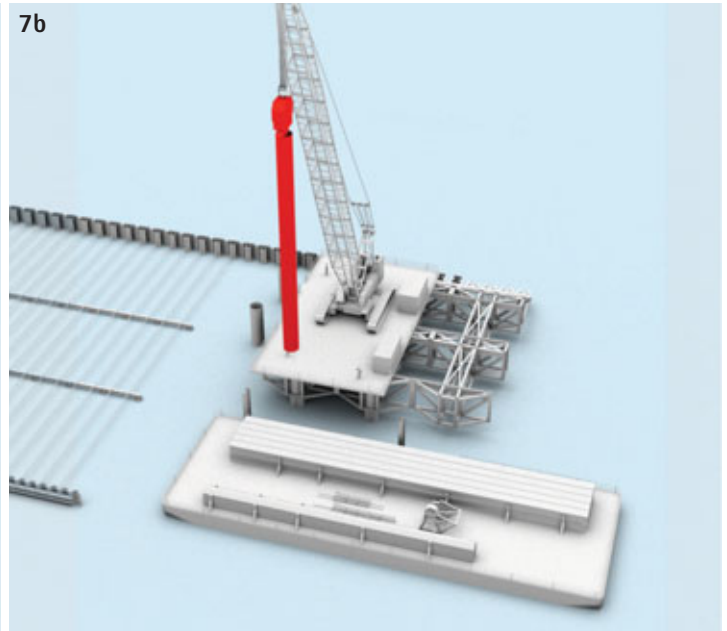
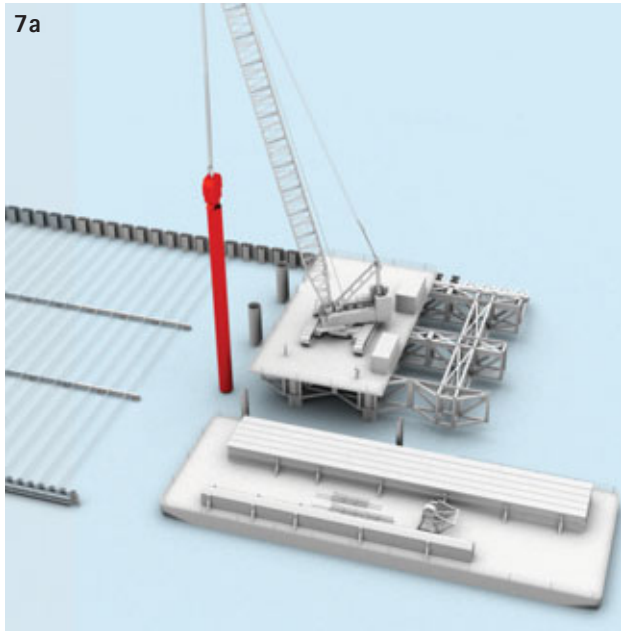
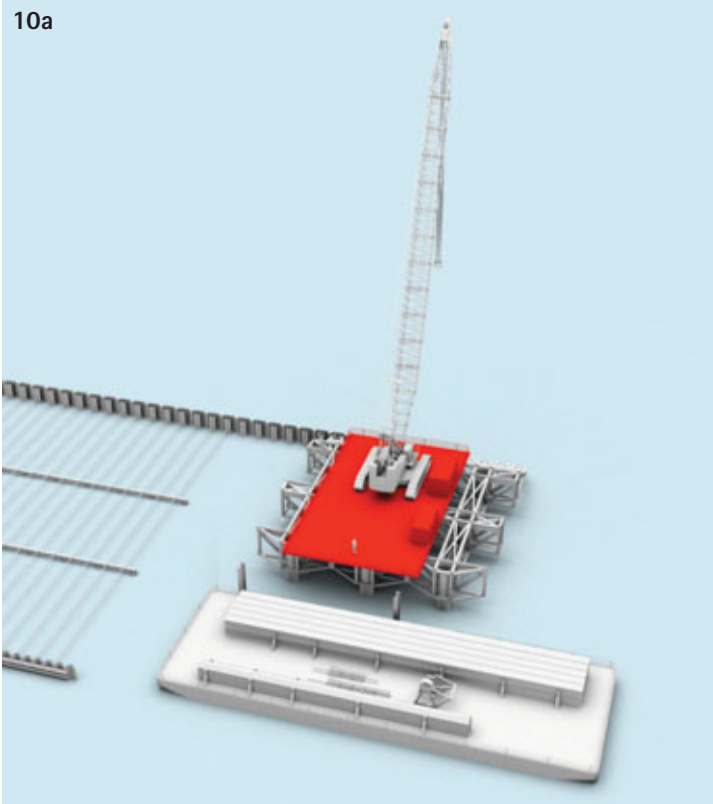


Fig. 7a, 7b - Fasi 5 e 6 della procedura di avanzamento - Fig. 8a, 8b - Fasi 7 e 8 della procedura di avanzamento - Fig. 9a, 9b - Fasi 9 e 10 della procedura di avanzamento

10a



10b

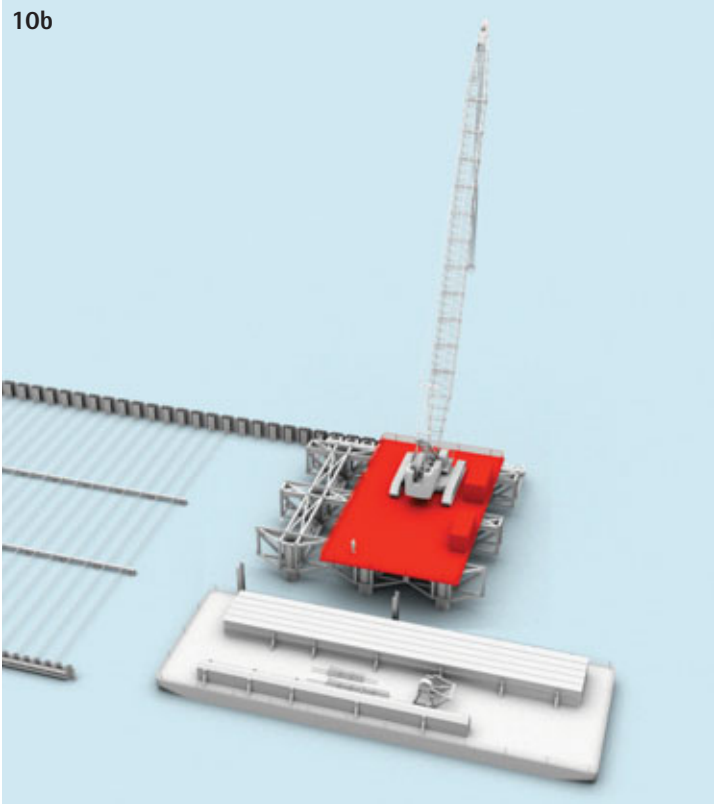


Fig. 10a, 10b - Fasi 11 e 12 della procedura di avanzamento

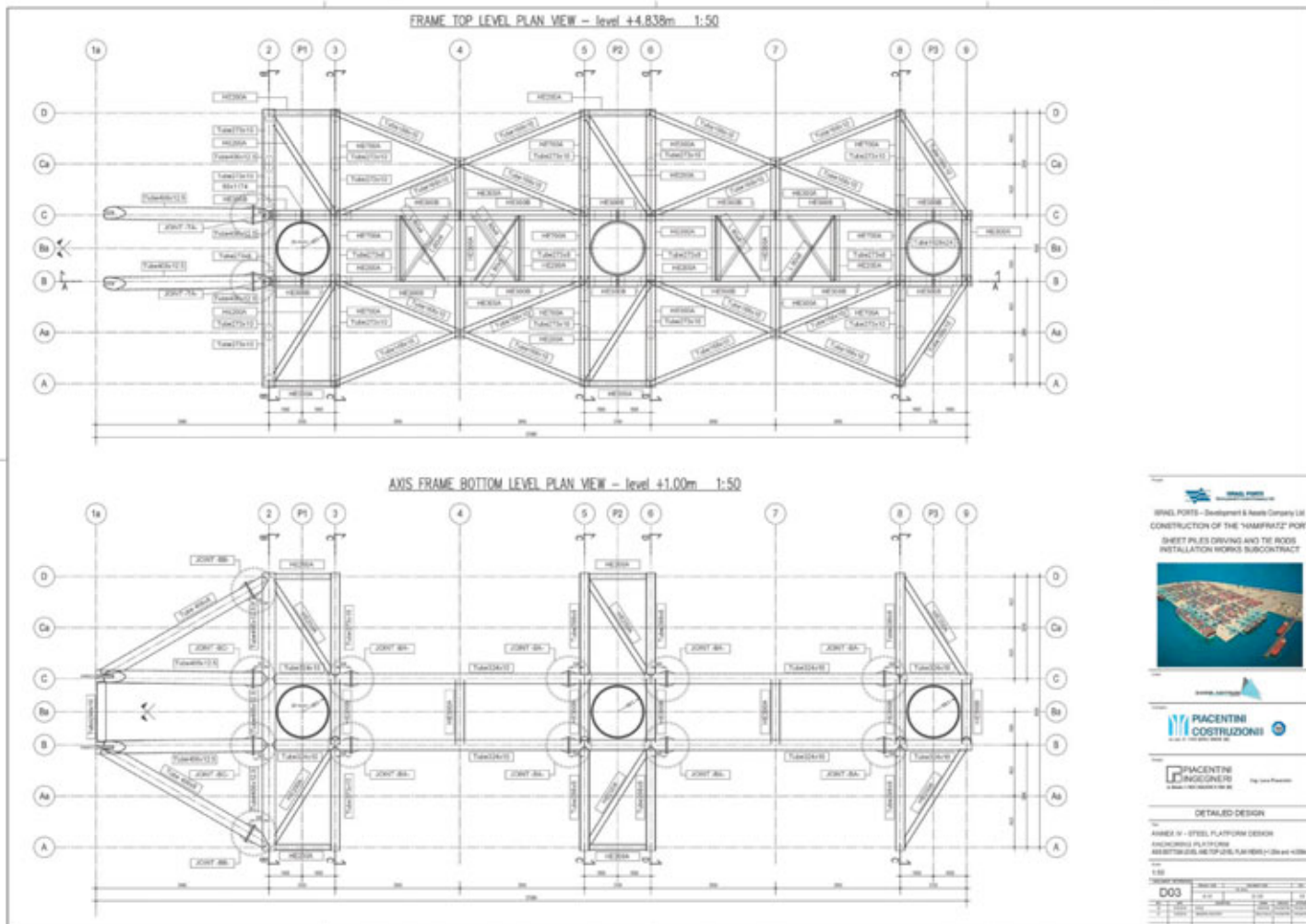


Fig. 11 - Piante del modulo reticolare

piattaforma superiore che ospita la gru attrezzata con vibroinfissore, viene tralata in avanti muovendosi su guide longitudinali, spinta da un sistema di azionamento idraulico (fasi 11 e 12, figura 10).

Nella nuova posizione si procede alla messa in opera del settore successivo di parete frontale e parete posteriore di ancoraggio.

Come anticipato, è inoltre prevista la possibilità di montare una trave di collegamento dei becchi anteriori della struttura reticolare alla paratia principale formata da pali e palancole per rispondere alla necessità di rinforzare la parete durante le fasi di costruzione quando non è ancora realizzato l'impalcato della banchina e il riempimento a tergo che ne determinano la resistenza in fase di esercizio nei riguardi dell'azione marina.

Il collegamento della parete principale alla struttura reticolare è previsto solo in caso di mareggiate con periodo di ritorno superiore ad 1 anno.

STRUTTURA RETICOLARE FONDATA SU PALI

La parte inferiore della struttura è costituita da tre moduli reticolari spaziali realizzati in parte con aste tubolari ed in parte con profili laminati con sezione a doppio T.

I tre moduli reticolari sono lunghi 27,58 m, larghi 8,59 m e presentano una altezza di 4,00 m. In fase operativa, quando sono

mutuamente collegati, formano una struttura di dimensioni planimetriche 27,58 x 26,65 m.

I moduli reticolari sono realizzati in acciaio S355 protetto dalla forte corrosione dovuta all'ambiente marino mediante un opportuno ciclo di verniciatura.

I tre moduli uguali, fondati su 9 pali metallici vibroinfissi, sono collegati mediante giunti a perno provvisti di pistoni idraulici di azionamento del perno stesso controllati da centralina.

I pali di fondazione di diametro 1626 mm e spessore 24 mm sono disposti su una maglia rettangolare 3 x 3 con distanza reciproca di circa 9 m in direzione parallela alla parete combinata e di circa 10 m in direzione ortogonale.

Nelle figure 11 - 14 si vedono la maglia del livello superiore ed inferiore del singolo modulo reticolare, la sezione longitudinale e alcune sezione trasversali, alcuni dettagli dei collegamenti del becco anteriore da collegare alla parete in caso di forte mareggiata ed infine alcuni dettagli del vincolo removibile a ribalta tra il palo di fondazione ed il modulo reticolare.

PIATTAFORMA SUPERIORE MOBILE

La parte superiore della struttura consiste nella piattaforma mobile che ospita la gru cingolata, appoggiata ai moduli reticolari descritti

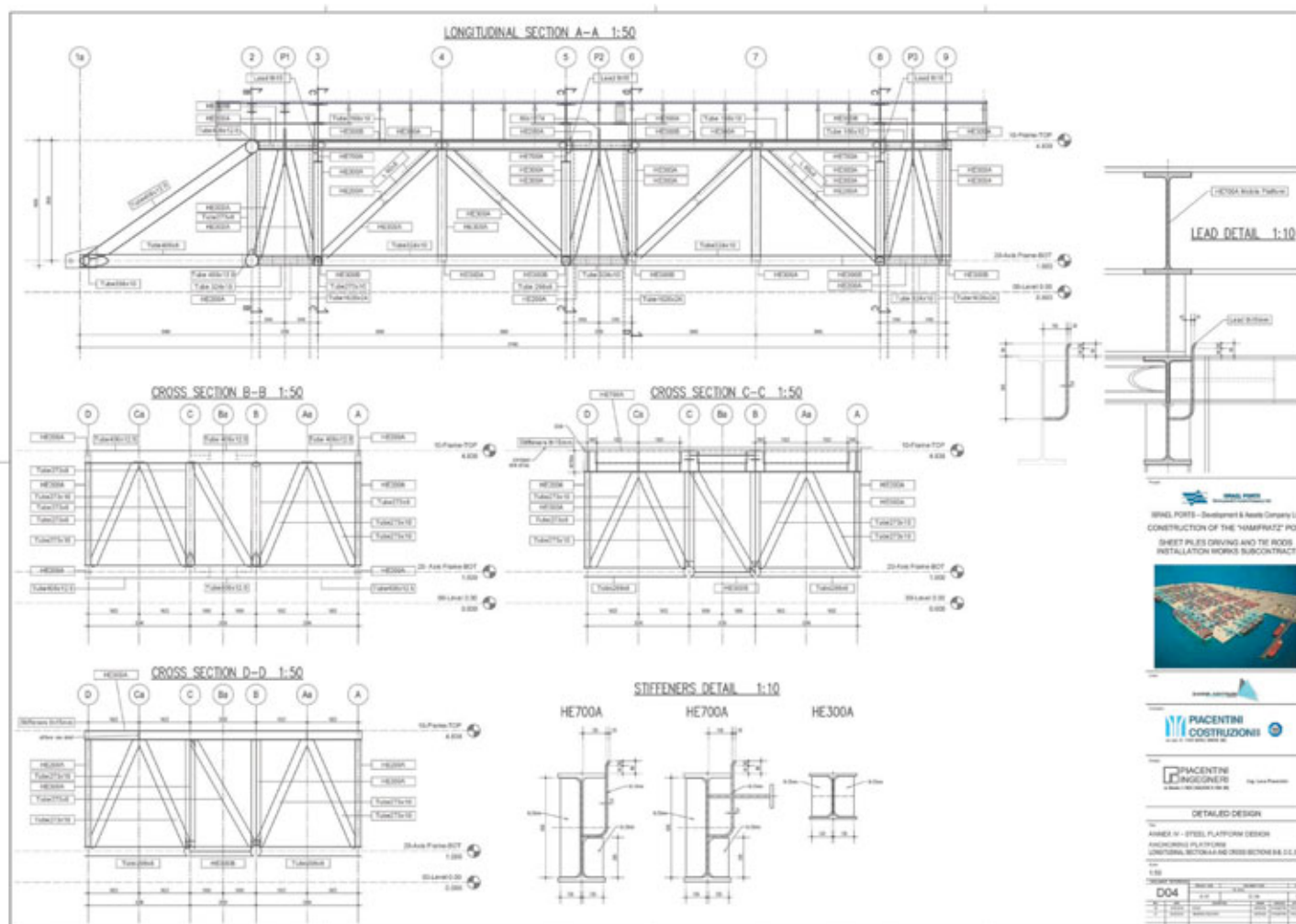


Fig. 12 - Sezioni longitudinale e trasversali del modulo reticolare

nel paragrafo precedente.

La piattaforma mobile, di dimensioni 24,52 x 15,80 m, è composta da quattro elementi principali:

- 1 due travi principali a cassone alte 1205 mm in corrispondenza del carro cingolato della gru, parallele all'asse longitudinale dei moduli reticolari; le travi presentano la piattabanda superiore di sezione 1350x30 protetta con tavolato in legno dallo sfregamento con i cingoli della gru, piattabanda inferiore di sezione 800x30 e le due anime di 15 mm di spessore;
- 2 tre profili HE650B paralleli al senso di avanzamento;
- 3 il sistema idraulico responsabile del sollevamento e della traslazione della piattaforma alloggiato in appositi recessi realizzati sui profili HE650B (il sistema idraulico è composto da 9 martinetti che eseguono il sollevamento della piattaforma e da 3 pistoni che imprimono il movimento di traslazione orizzontale; tutto il sistema idraulico è governato da una centralina elettronica che garantisce il funzionamento sincrono dei singoli elementi e che controlla in tempo reale il carico trasmesso ad ogni pistone per evitare sovrasollecitazioni sulla struttura metallica);
- 4 una serie di profili HE200A su cui viene appoggiato un grigliato metallico che assolve alla funzione di piano di calpestio per gli operatori che assistono al funzionamento della gru.

Analogamente ai moduli reticolari, anche la piattaforma mobile è realizzata in acciaio S355 e protetta dalla corrosione mediante opportuno ciclo di verniciatura, ad eccezione del grigliato realizzato in acciaio S235 e zincato a caldo.

In figura 15 si riporta una immagine della pianta della piattaforma mobile.

CRITERI DI CALCOLO

Il dimensionamento della struttura è stato condotto operando parallelamente su due scenari di carico differenti:

- Condizioni di operatività - carichi accidentali dovuti alla normale operatività della struttura in assenza di tempesta costiera; si considerano quindi le azioni del moto ondoso ordinario sulla parete combinata e sulla struttura mobile, i carichi permanenti, l'azione del vento e il carico accidentale dovuto alla presenza della gru sulla piattaforma in condizioni operative (figura 16). Le condizioni operative sono state considerate in due possibili configurazioni: la prima con piattaforma fissa e gru al massimo carico comprensivo di elemento HZ da infiggere in fase di completo sollevamento con braccio tralicciato in movimento; la seconda con gru scarica, ferma in una posizione prestabilita e piattaforma in fase di traslazione sui moduli reticolari inferiori

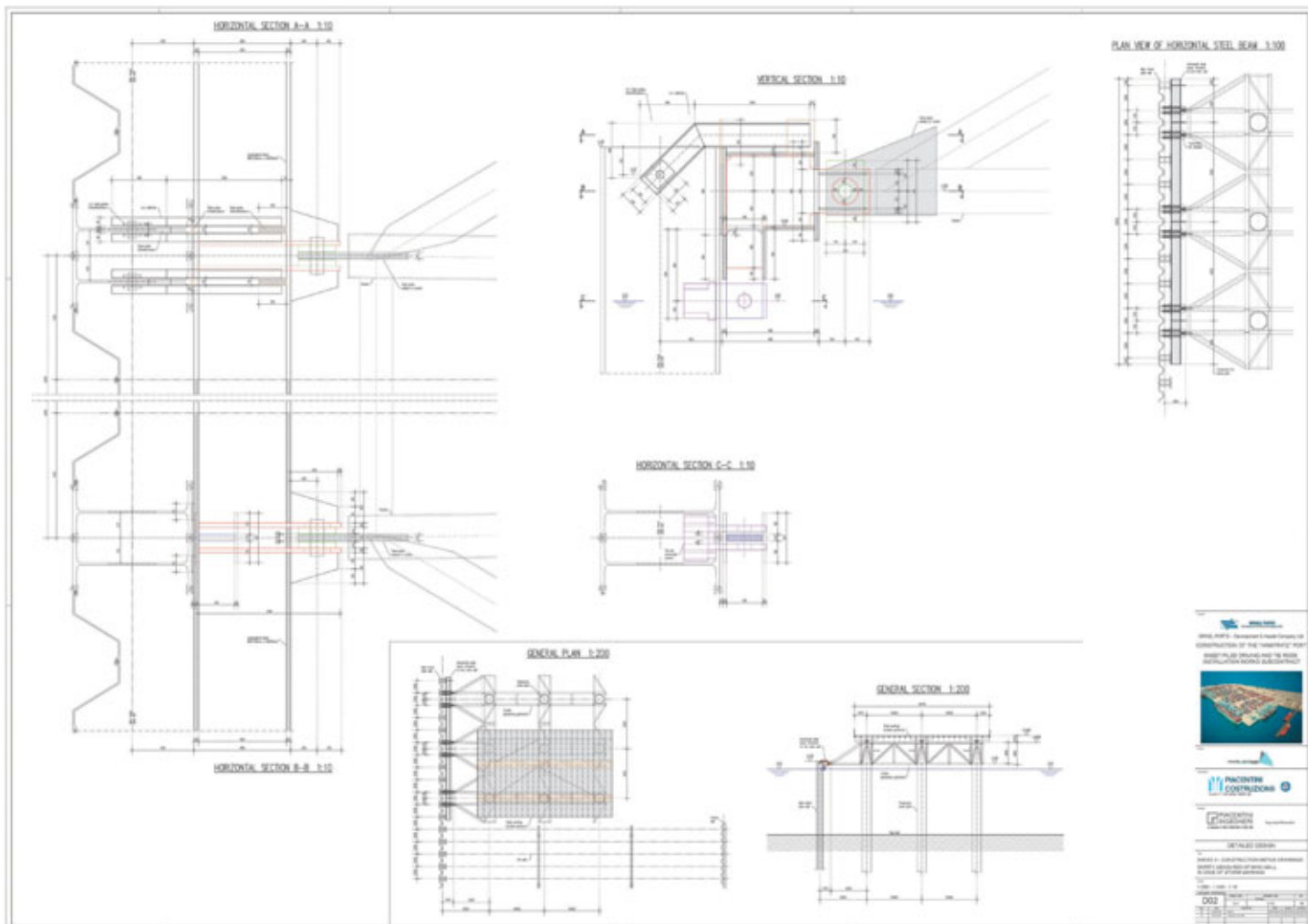


Fig. 13 - Dettagli del collegamento becco anteriore/parete combinata

Incipient Damage	Risk to Human Life	
Economic Repercussion	Limited	High
Low	0.50	0.30
Medium	0.30	0.20
High	0.25	0.15

Total Damage	Risk to Human Life	
Economic Repercussion	Limited	High
Low	0.20	0.15
Medium	0.15	0.10
High	0.10	0.05

Tabella 1 - Individuazione della probabilità di danneggiamento

tramite l'azionamento del sistema di pistoni idraulici di spinta. Come accennato precedentemente, la struttura viene spostata dalla stessa gru utilizzata per la posa delle pareti combinate mentre procede la costruzione. Una volta posizionati tutti gli elementi della parete nella porzione prospiciente la piattaforma, la gru solleva e sposta il modulo reticolare più arretrato ricollocandolo all'estremità opposta della struttura, sposta i tre pali di

fondazione, infine si dispone in una posizione prestabilita sulla piattaforma mobile e il sistema di pistoni idraulici spinge il piano mobile verso la nuova configurazione di lavoro.

Questa procedura, che genera condizioni di carico diverse da quelle dovute alle operazioni di vibroinfissione delle palancole, deve essere quindi tenuta in opportuna considerazione.

Si evidenzia come le condizioni di operatività determinino sulla struttura stati di sollecitazione modesti rispetto alle condizioni eccezionali di tempesta costiera, corrispondenti ad elevati coefficienti di sicurezza.

- Condizioni eccezionali - carichi accidentali da evento atmosferico straordinario, quindi con vento e moto ondoso straordinari e gru in posizione di riposo senza carichi sospesi; le verifiche in condizioni eccezionali prevedono anche il fronte di avanzamento della parete combinata stabilizzato dalla stessa struttura reticolare. Durante la fase di installazione, quando la parete combinata frontale non è ancora collegata alla palancole posteriore di ancoraggio, la parete combinata stessa si trova in condizioni particolarmente vulnerabili. Un modo per ridurre le sollecitazioni del fronte di avanzamento della parete consiste quindi nel realizzare un collegamento provvisorio alla struttura mobile. Inoltre, per ridurre la forza dovuta al moto ondoso in caso di

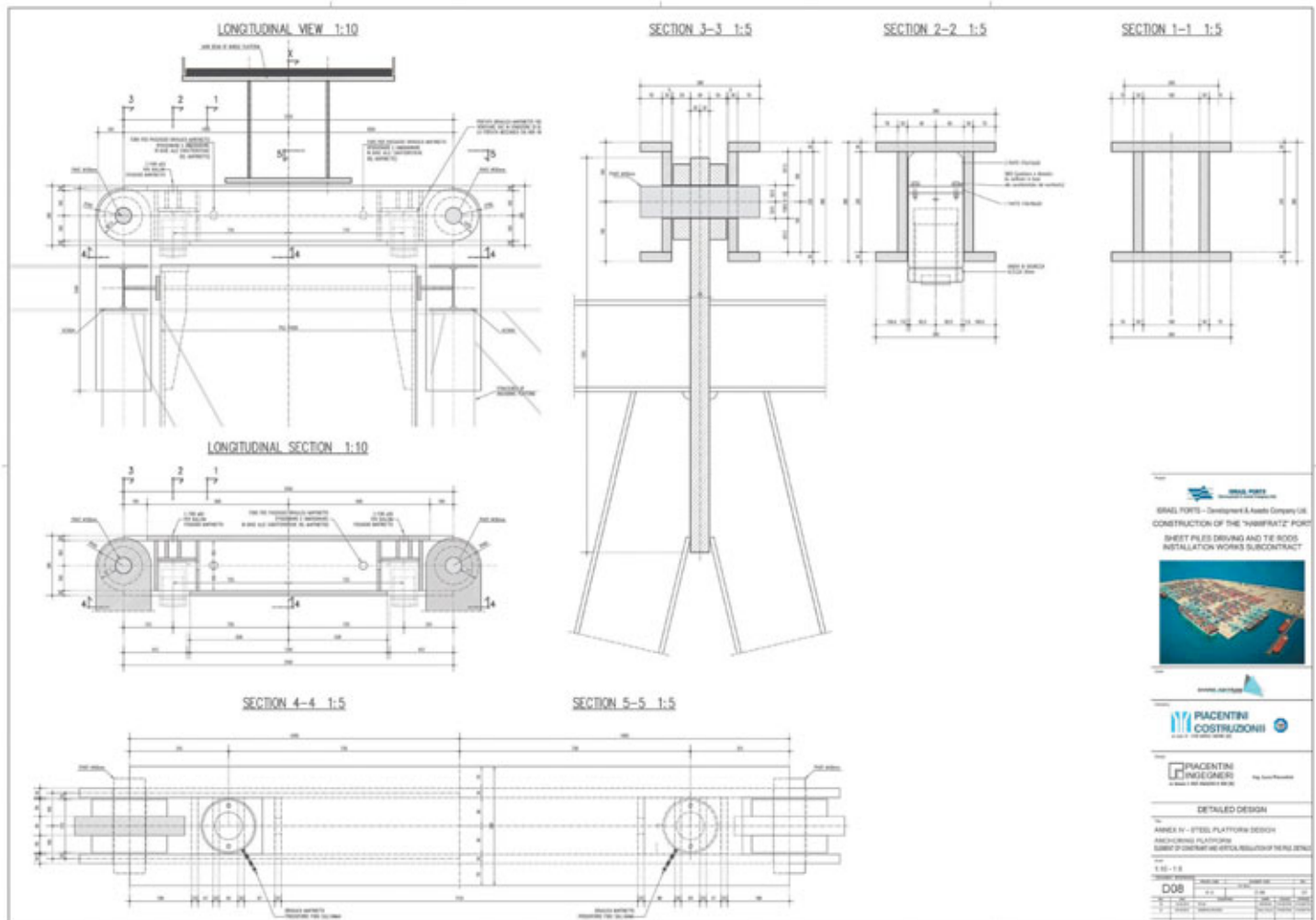


Fig. 14 - Dettaglio del vincolo mobile (a ribalta) palo di fondazione/modulo reticolare

evento meteo marino particolarmente avverso, si tiene in conto la possibilità di approfondire la quota di sommità del fronte di avanzamento della parete per ridurre la superficie esposta alla pressione del moto ondoso.

Si è quindi considerata come quota di sommità della parete sia la configurazione finale di progetto a +1.40 m s.l.m. che una configurazione con quota di sommità ridotta a -1.50 m s.l.m. (parete infissa più di quanto previsto in progetto), per limitare sulla zona di testata del fronte di avanzamento il carico da moto ondoso (figura 17).

Nella valutazione dell'intensità dell'azione dell'onda, come per ogni altro carico di natura ambientale, risulta fondamentale l'individuazione del periodo di ritorno dell'evento che deve essere tenuto in conto.

Il periodo di ritorno dell'evento di tempesta T_{rp} viene correlato al

periodo di vita dell'opera T_v ed alla probabilità di danneggiamento P_f secondo la formula che segue:

$$T_{rp} = \frac{T_v}{-\ln(1-P_f)}$$

in accordo con il documento tecnico nazionale del CNR "Istruzioni tecniche per la progettazione di dighe marittime" e con le indicazioni contenute in British Standards Institution BS 6349 "Maritime Structures".

L'individuazione della probabilità di danneggiamento avviene mediante la tabella 1, sulla base del rischio per la vita umana e della ripercussione economica.

Per il caso in esame, in accordo con l'ente appaltante, sono stati stabiliti i seguenti valori di progetto:

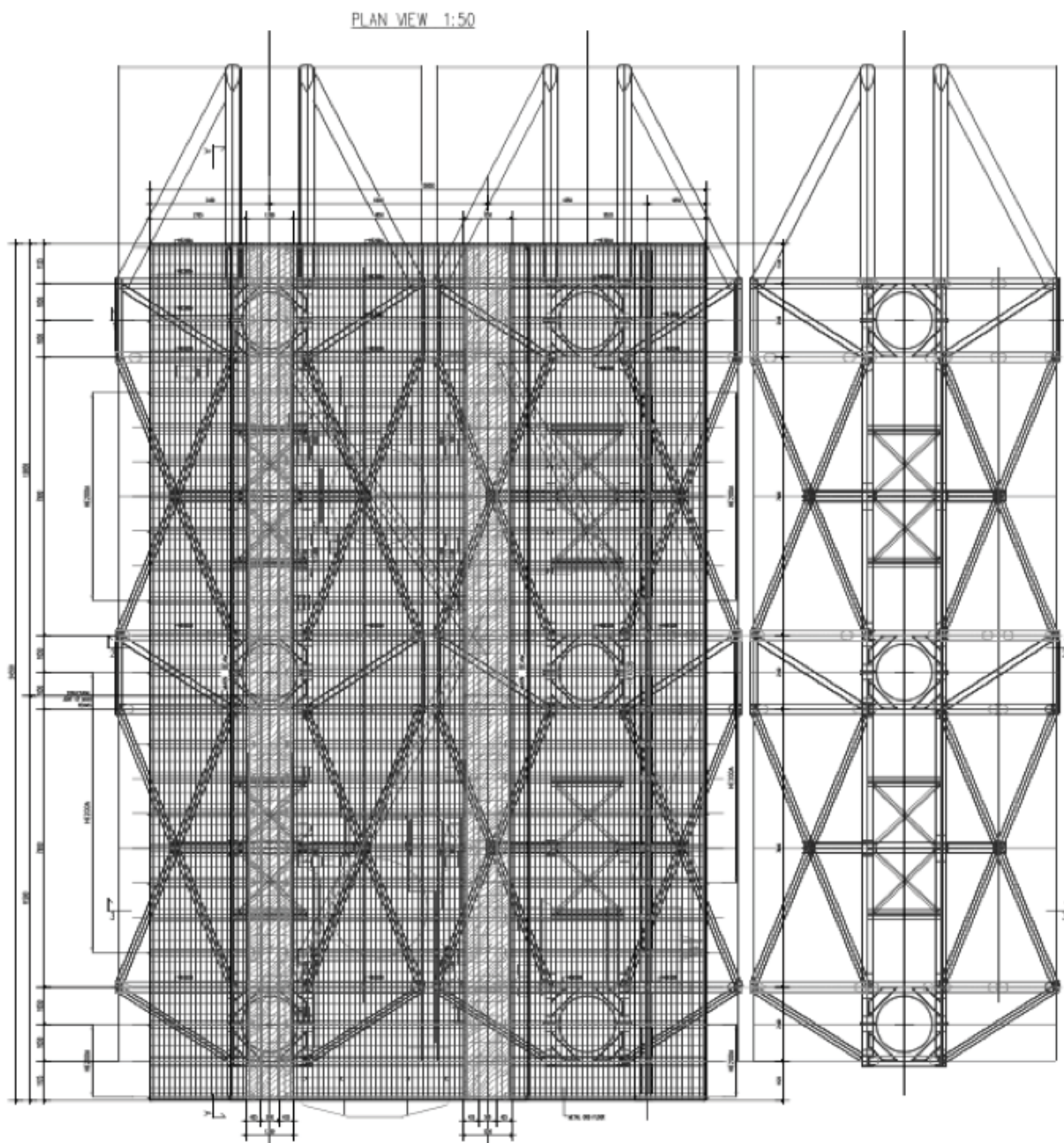


Fig. 15 - Pianta della piattaforma mobile



Fig. 16 - Struttura in fase di operatività - Fig. 17 - Piattaforma durante la mareggiata

- Vita dell'opera 2 anni (la struttura ha funzione temporanea)
- Rischio per la vita umana limitato (nessun affollamento, facile evacuazione)
- Ripercussione economica bassa (il rapporto tra i costi diretti del danno sommato a quelli indiretti a causa della perdita di funzionalità dell'opera in questione e il costo totale per la realizzazione della struttura è contenuto al di sotto del valore di soglia indicato dalla norma)

Sotto le ipotesi appena citate risulta un periodo di ritorno di 7 anni, che è stato utilizzato per la stima delle azioni dovute al moto ondoso da applicare, oltre che alla struttura reticolare, alla parete combinata ancorata provvisoriamente alla piattaforma.

Riassumendo, le verifiche sono state condotte nei seguenti scenari possibili:

- Condizioni ordinarie - piattaforma fissa e gru in movimento con elemento HZ sospeso;
piattaforma in traslazione e gru ferma, scarica;
- Condizioni eccezionali: evento straordinario di tempesta costiera con $T_{rp} = 7$ anni;

DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Normativa

- [1] British Standards Institution BS 6349 "Maritime Structures"
- [2] UNI EN 1991-1-1 "Eurocode 1: Action on structure - Part

- 1-1: General actions"
- [3] UNI EN 1991-1-4 "Eurocode 1: Basis of design and actions on structures - Part 1-4: Action on structures - Wind actions"
- [4] UNI EN 1993-1-1 "Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings"
- [5] UNI EN 1993-1-6 "Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-6: Strength and stability of shell structures"
- [6] UNI EN 1993-1-8 "Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints"
- [7] UNI EN 1993-5 "Eurocode 3: Design of steel structures - Part 5: Piling"

Documenti tecnici

- [8] "Istruzioni tecniche per la progettazione di dighe marittime" CNR, Gruppo nazionale difesa catastrofi idrogeologiche
- [9] "Design of vertical breakwaters" by Shigeo Takahashi
- [10] "Technical report with analysis of wave loads"

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Acciaio per parete combinata principale

Steel Grade	S460
Minimum tensile strength, f_t	610 [MPa]
Minimum yield Stress, f_y	460 [MPa]
Young's modulus, E_s	210 000 [MPa]

Acciaio per struttura reticolare, piattaforma mobile e pali

Steel Grade	S355
Minimum tensile strength, f_t	510 [MPa]
Minimum yield Stress, f_y	355 [MPa]
Young's modulus, E_s	210 000 [MPa]

Terrain category		Z_0 m	Z_{min} m
0	Sea or coastal area exposed	0,003	1
I	Lakes or flat and horizontal area with negligible vegetation and without obstacles	0,01	1
II	Area with low vegetation such as grass and isolated obstacles (trees, buildings) with separations of at least 20 obstacle heights	0,05	2
III	Area with regular cover of vegetation or buildings or with isolated obstacles with separations of maximum 20 obstacle heights (such as villages, suburban terrain, permanent forest)	0,3	5
IV	Area in which at least 15% of the surface is covered with buildings and their average heights exceeds 15 m	1,0	10

NOTE: The terrain categories are illustrated in A. 1.

Tabella 2 – Parametri del terreno secondo Eurocodice

CARICHI

Pesi propri

I pesi propri della struttura sono calcolati automaticamente dal modello di calcolo agli elementi finiti facendo riferimento al peso specifico dell'acciaio di 78,50 kN/m³.

L'attrezzatura presente sulla piattaforma in fase di esercizio prevede i seguenti carichi contemporanei:

Vibratore A	200 kN
Vibratore B	150 kN
Centralina elettroidraulica di controllo del vibratore A	200 kN
Centralina elettroidraulica di controllo del vibratore B	170 kN

CARICHI DA VENTO

Si riporta sinteticamente la valutazione dell'azione del vento sugli elementi della struttura reticolare.

In accordo con quanto indicato in UNI EN 1991-1-4, la pressione media di riferimento del vento viene definita secondo l'espressione:

$$q_b = \frac{\rho}{2} v_m^2$$

Dove i simboli v_m e ρ hanno il consueto significato, rispettivamente di velocità del vento di riferimento e densità dell'aria.

La velocità di riferimento del vento viene quindi definita come segue:

$$v_m = C_r(z) C_0(z) v_b \quad \text{con} \quad v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0}$$

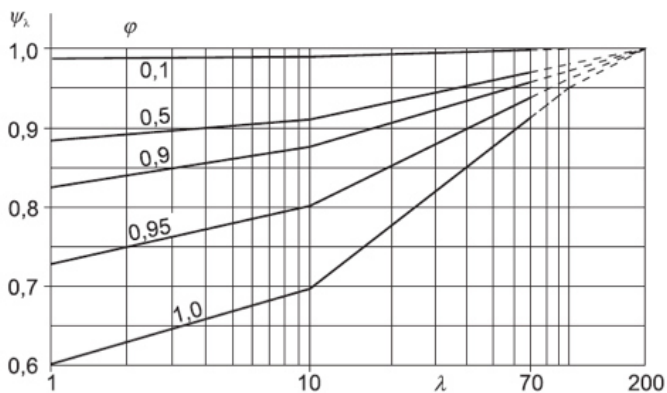


Fig. 19 – Definizione del parametro ψ_λ in funzione del rapporto ϕ e della snellezza λ secondo Eurocodice

dove $v_{b,0}$ è il valore della velocità base di riferimento come indicato nell'allegato A dell'Eurocodice 1;

c_{dir} corrisponde al fattore di direzione, assunto pari a 1,0;

c_{season} rappresenta il fattore stagionale, assunto pari a 1,0;

I parametri da cui dipende la definizione dell'azione del vento assumono, come noto, valori differenti in base alla posizione geografica.

In accordo con l'ente appaltante il calcolo dell'azione del vento è stato sviluppato sulla base dell'Eurocodice, benchè Israele non rientri nell'area geografica coperta dalle EN. Si è quindi fatto riferimento ad un paese europeo (la Grecia) con condizioni meteorologiche analoghe a quelle di Israele dove per isole e zone costiere entro 10 km dal mare si ha $v_{b,0} = 36$ m/s.

I parametri funzione del terreno vengono definiti sulla base della tabella 2.

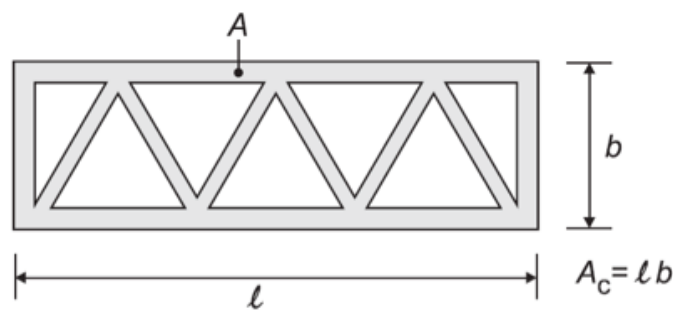


Fig. 18 – Definizione del rapporto ϕ secondo Eurocodice

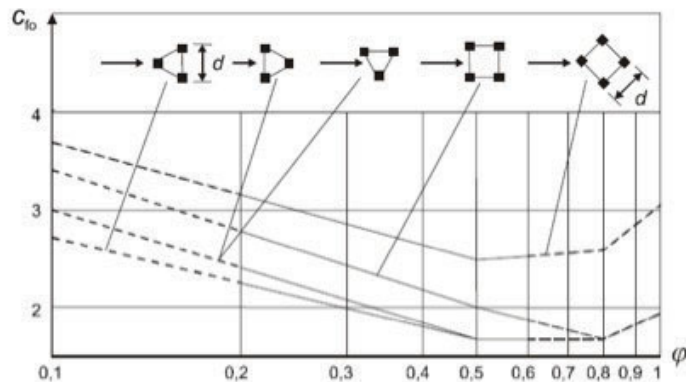


Fig. 20 – Coefficiente di forza $c_{f,0}$ per strutture reticolari spaziali in funzione del rapporto ϕ secondo Eurocodice

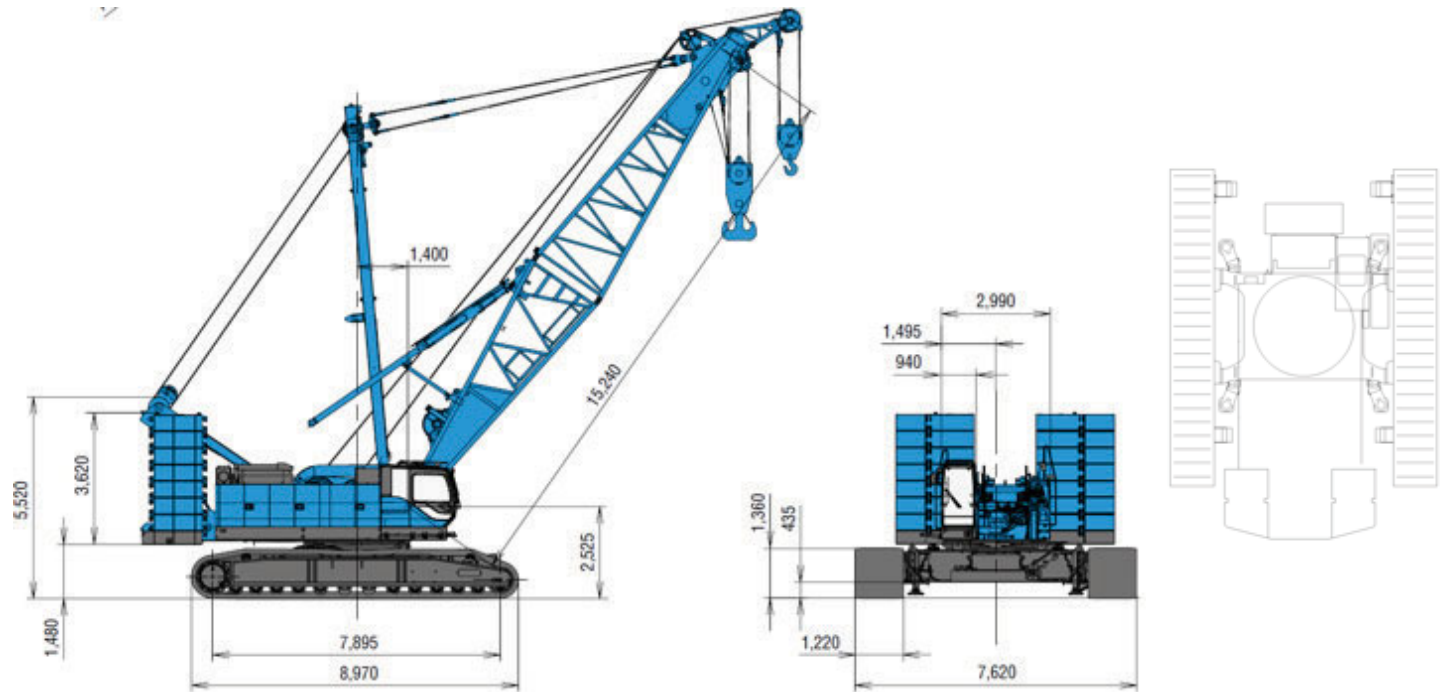


Fig. 21 - Gru cingolata tralicciata, peso proprio 220 t

Si assume come altezza di riferimento per la struttura in esame $z = 5,00$ m; si ha quindi:

$$v_m(z) = C_r(z)C_0(z)v_b = 41,76 \text{ "m/s"}$$

$$q_p = 1250 \text{ N/m}^2$$

Per la struttura a traliccio in esame è possibile definire il valore del coefficiente di forza C_f in funzione delle dimensioni complessive $l = 28$ m e $b = 4$ m della struttura secondo il criterio illustrato nelle figure 18 - 20.

Si ha quindi:

$$C_f = C_{f,0} \psi_\lambda = 1,8$$

$$C_{f,0} = 2,0$$

$$\psi_\lambda = 0,9$$

$$\varphi = 0,5$$

$$\lambda = \frac{l}{b} = 4,5$$

La pressione risulta:

$$Q = q_p C_f = 1250 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} = 2,25 \text{ kN/m}^2$$

Carico accidentale sulla piattaforma mobile in assenza di gru

È stato considerato un sovraccarico accidentale sulla piattaforma mobile pari a 2 kN/m^2 .

Gru tralicciata da 220 t

Per l'infissione delle pareti combinate e delle palancolate di ancoraggio viene utilizzata una gru cingolata tralicciata caratterizzata da un peso proprio, comprensivo della zavorra di bilanciamento, di 220 t, di cui si illustrano le caratteristiche geometriche principali nella figura 21.

Sono state considerate 3 configurazioni limite di carico per quanto riguarda le azioni trasmesse dal carro della gru alla piattaforma mobile brevemente descritte in tabella 3 illustrando graficamente le pressioni di contatto cingoli/piattaforma.

Carichi da moto ondoso

La valutazione delle forze dovute al moto ondoso agenti sui diversi elementi che costituiscono la struttura è uno degli aspetti complessi del processo di dimensionamento.

In particolare la diversa geometria delle parti e la differente collocazione altimetrica nei riguardi del moto ondoso richiede approcci diversificati per parete combinata, pali di fondazione e aste dei moduli reticolari. Si determinano quindi i quattro parametri fondamentali che fanno riferimento a diverse teorie di calcolo:

- 1 Distribuzione della pressione su parete verticale in condizioni di cresta di onda;
- 2 Distribuzione della pressione su parete verticale in condizioni di gola di onda;
- 3 Distribuzione della pressione su travi isolate con onda frangente;
- 4 Distribuzione della pressione su pali verticali isolati immersi.

In accordo con quanto riportato nel capitolo relativo ai criteri di calcolo si considera un periodo di ritorno della tempesta costiera di progetto pari a 7 anni.

Si può quindi caratterizzare l'onda di progetto per il calcolo delle

azioni sulla base di registrazioni storiche delle mareggiate. Le condizioni più severe si hanno per mareggiata proveniente da 320° con le caratteristiche riassunte nella tabella 4.

Distribuzione della pressione da moto ondoso su parete verticale in condizioni di cresta di onda

Per quanto riguarda la distribuzione delle pressioni sulla parete combinata pali-palancole (parete principale della banchina in costruzione) in condizioni di cresta di onda si può fare riferimento alla formula di Goda.

L'approccio proposto da Goda per la progettazione di pareti verticali presuppone l'esistenza di una distribuzione di pressioni trapezoidale sull'altezza come riportato nella figura 22.

I parametri caratterizzanti la distribuzione di pressioni nel caso in esame sono riassunti nella tabella 5.

Distribuzione della pressione da moto ondoso su parete verticale in condizioni di gola di onda

In analogia a quanto descritto per le condizioni di cresta, per quanto riguarda la distribuzione delle pressioni sulla parete combinata pali-palancole in condizioni di gola di onda viene applicata la formula di Sainflou (figura 23 e tabella 6).

Distribuzione delle pressioni da moto ondoso su travi isolate

La pressione del moto ondoso generata su travi isolate viene calcolata con la formula di Hiroi.

La formula di Hiroi è pensata per il calcolo della pressione causata da onde frangenti, pertanto risulta il metodo più adatto per stimare l'azione dovuta all'onda frangente sulle travi che si trovano al di sopra del livello del mare. Questo approccio viene quindi utilizzato per calcolare la pressione sulle aste che compongono i tre moduli reticolari e sulle travi della piattaforma mobile di supporto della gru.

La pressione dell'onda frangente secondo Hiroi, p^H , assunta uniforme sull'intera lunghezza delle aste, risulta quindi:

$$p^H = 1,5 \cdot \rho \cdot g \cdot H_{max} = 1,5 \cdot 1020 \cdot 9,81 \cdot 5 = 75 \text{ kPa}$$

Distribuzione delle forze orizzontali da moto ondoso su sui pali verticali isolati

Per calcolare l'azione orizzontale che agisce sui pali di fondazione immersi è stato applicato il metodo di Morrison che restituisce una forza concentrata e la quota di applicazione sulla base delle caratteristiche del moto ondoso e della quota del fondale, come

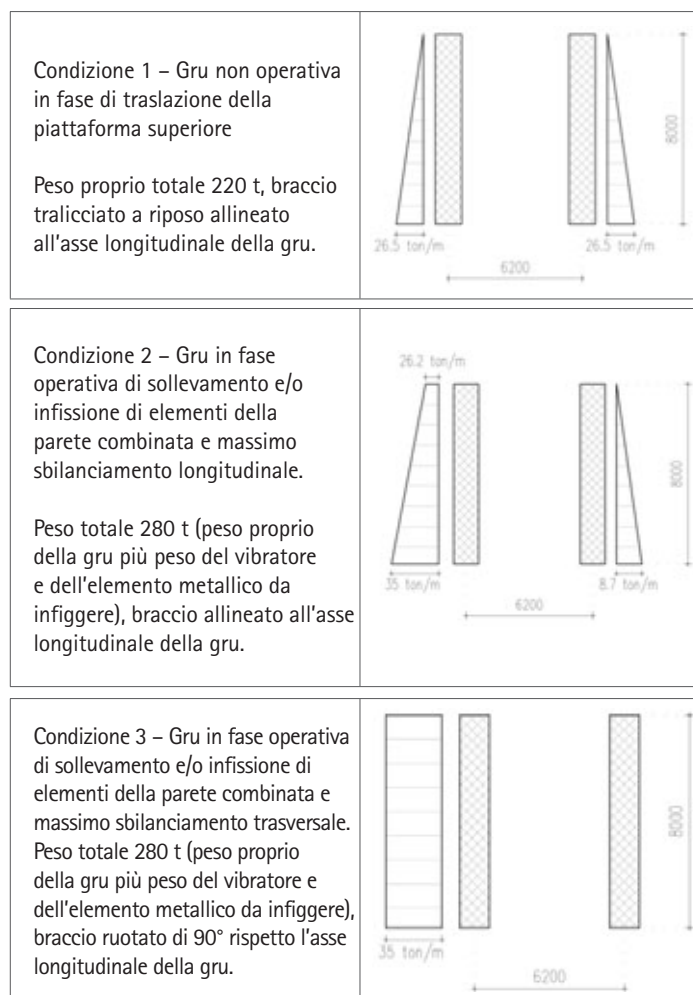


Tabella 3 – Condizioni di carico per azioni gru

illustrato nella figura 24.

Carichi sismici

Le azioni da sisma sono calcolate in accordo con le indicazioni di progetto di appalto che prescrivono gli spettri di progetto da utilizzare. Si osserva tuttavia come per la struttura in oggetto le azioni inerziali da evento sismico non risultino dimensionanti.

CONCLUSIONI

Per la messa in opera delle pareti combinate pali-palancole che costituiscono gli elementi verticali delle nuove banchine nell'ambito della realizzazione del nuovo terminal container del porto di Haifa in Israele, l'impresa Piacentini Costruzioni, con il supporto della società di ingegneria Piacentini Ingegneri, ha utilizzato una struttura metallica provvisoria mobile fondata su pali metallici vibroinfissi oltre a due *jack up*. L'adozione della piattaforma mo-

Tempo di ritorno T_r anni	Profondità del fondale m	Livello di alta marea m s.l.m.	Livello di bassa marea m	H_s m	T_s (s)	H_{max} m	Dir ° N
7	14,0	+ 0,7	-0,38	3,1	11,3	5,0	320

H_s : altezza dell'onda di progetto; T_s : periodo dell'onda di progetto; H_{max} : altezza massima dell'onda

Tabella 4 – Caratteristiche dell'onda di progetto

$H_s=3,1 \text{ m} - H_{max}=5,0 \text{ m} - T_p=12,1 \text{ s}$
$\beta=57^\circ$ angle between wave direction and sheet-pile $h_b=15,10 \text{ m} - \rho=1020 \text{ kg/m}^3$ $R_c=1,50 \text{ m}$ referred to normal sea water level
$\eta^*=0,75 \text{ m}$
$\alpha_1=0,8537$
$\alpha_2=0,00079$
$\alpha_3=0,7786$
$p_1=33,00 \text{ kN/m}^2$
$p_2=25,50 \text{ kN/m}^2$
$p_{Rc}=28,50 \text{ kN/m}^2$

Tabella 5 - Valore dei parametri usati nella procedura di Goda in condizioni di cresta di onda

$H \text{ max}=5,0 \text{ m} - T_p=12,1 \text{ s}$
$R_c=1,0 \text{ m}$ riferito al livello del mare medio
$p_1^s=39,5 \text{ kN/m}^2$
$p_1^s=40,0 \text{ kN/m}^2$
$h_0=1,06 \text{ m}$

Tab. 6 - Valore dei parametri usati nella procedura di Sainflou in condizioni di gola di onda

bile ha consentito di ultimare la messa in opera dei palancolati in anticipo sui tempi previsti dal cronoprogramma. La piattaforma, poco sensibile alle condizioni meteomarine, ha consentito di lavorare con continuità anche in periodi con ventosità sostenuta e ha consentito di mettere in sicurezza il fronte di avanzamento delle pareti (non ancora stabilizzato dalla presenza dei tiranti sulla parete di ancoraggio, del riempimento a tergo e dell'impalcato della banchina) durante gli eventi eccezionali occorsi durante i lavori senza necessità di intervenire nuovamente su parti di opera già costruite. La soluzione, benchè atipica rispetto le attrezzature normalmente in uso nei cantieri di ingegneria marittima, ha consentito di ottimizzare costi e durata dei lavori di realizzazione delle nuove banchine del porto.

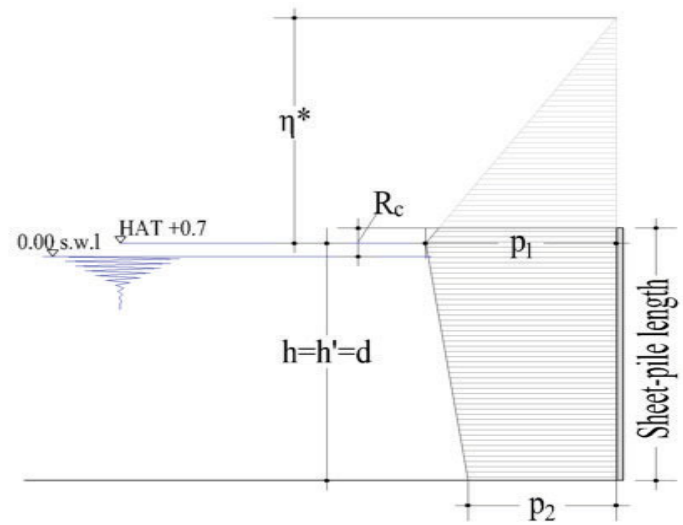


Fig. 22 - Distribuzione della pressione da moto ondoso in presenza di cresta di onda

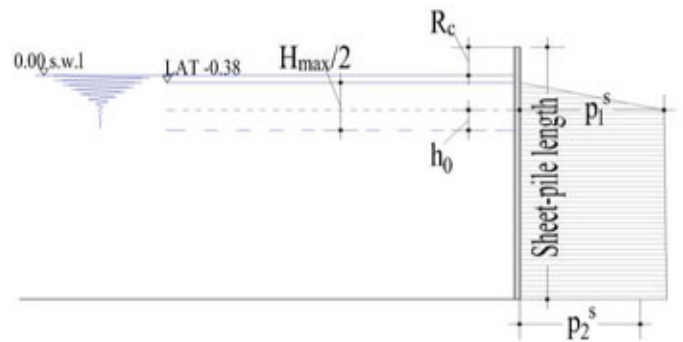


Fig. 23 - Distribuzione della pressione da moto ondoso con gola dell'onda

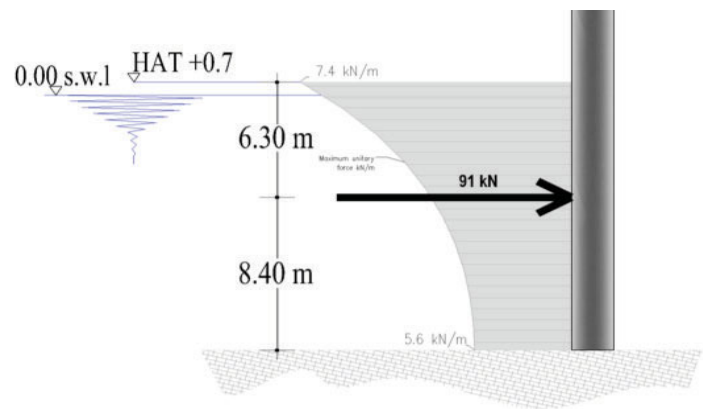


Fig. 24 - Distribuzione della forza orizzontale unitaria, risultante e quota di applicazione della risultante

CREDITS

Impresa appaltatrice per la realizzazione delle pareti di palancole: Piacentini Costruzioni s.p.a., Modena

Progettazione esecutiva della struttura mobile: Piacentini Ingegneri s.r.l., Bologna

Costruzione della struttura mobile: Pradelli s.r.l., Modena

Montaggio e movimentazione della struttura mobile: Piacentini Costruzioni s.p.a., Modena