



Enrico Rossi*

Bocca di porto di Malamocco. Il cantiere per i cassoni delle paratoie

Premessa

Dal punto di vista strutturale, gli elementi fondamentali del Mose sono costituiti da una serie di grandi manufatti in calcestruzzo armato chiamati *cassoni di alloggiamento* e *cassoni di spalla*. I cassoni di alloggiamento costituiscono la sede delle paratoie e contengono anche tutti gli impianti e le condotte per il loro funzionamento. Normalmente ognuno di questi cassoni ospita tre paratoie, ma in relazione al numero complessivo di elementi per ciascuna schiera sono previsti anche cassoni da due paratoie.

I cassoni di spalla, invece, sono collocati alle estremità delle barriere e, oltre a raccordare le paratoie con le opere di sponda, garantiscono la connessione funzionale degli impianti tra gli edifici tecnici in superficie e i cassoni di alloggiamento.

Il sito di prefabbricazione di Malamocco

Per quanto riguarda, in particolare, le barriere di Lido - San Nicolò e di Malamocco, i cassoni di alloggiamento e di spalla vengono realizzati in un ampio terrapieno preparato in corrispondenza del tratto di mare immediatamente antistante l'estremità settentrionale del litorale di Pellestrina e attrezzato per consentire la prefabbricazione, lo stoccaggio, la movimentazione e il varo dei singoli elementi.

Il terrapieno, che sarà rimosso al termine delle lavorazioni ripristinando lo stato dei luoghi, ha una superficie di 140.000 m², più di dieci volte l'area di Piazza San Marco¹.

Di questi, 30.000 m² sono destinati alle strutture e agli impianti necessari alle attività e alla logistica del cantiere (centrale di betonaggio, uffici, laboratorio, infermeria, magazzini, officine, ecc.). Gli altri 110.000 m² costituiscono la vera e propria area di prefabbricazione dove saranno realizzati complessivamente 18 cassoni, la maggior parte dei quali (11 elementi) rappresentata da cassoni da tre paratoie.

I cassoni da tre paratoie per la schiera di Malamocco hanno una larghezza di 60 m; una lunghezza di 48,3 m e un'altezza massima di 11,55 m, per un peso di 22.500 tonnellate. Nel caso della schiera di Lido - San Nicolò essi hanno una larghezza di 60 m; una lunghezza di 45,45 m e un'altezza massima di 10,95 m, per un peso di 21.000 tonnellate.

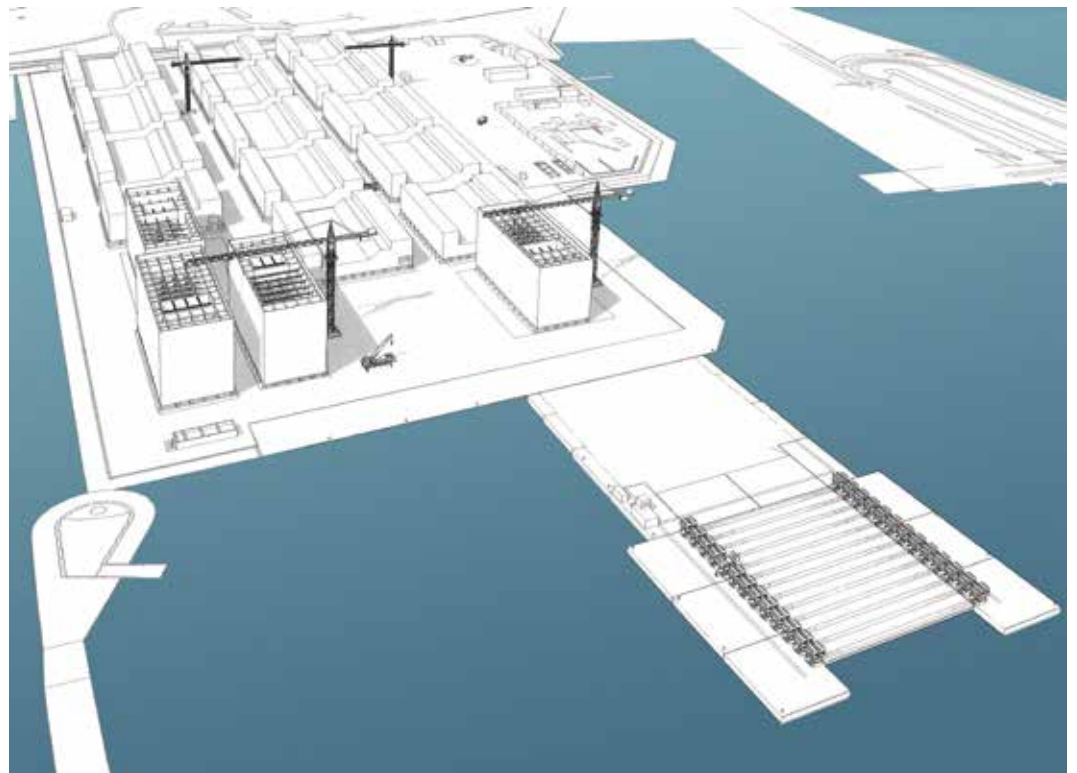
Una volta ultimati, i cassoni saranno movimentati fino alla piattaforma mobile situata all'estremità lato mare del rilevato per essere varati nei tempi richiesti dall'installazione. Queste operazioni, complesse e delicate date anche le dimensioni in gioco, sono rese possibili da una serie di infrastrutture e impianti di seguito descritti.

¹ Il terrapieno di prefabbricazione è stato realizzato in modo tale da assicurare un piano di lavoro stabile e uniforme con sommità a +2,5 m. La parte inferiore del terrapieno è formata con materiale di dragaggio; mentre la parte superiore, che si configura come un "pacchetto di fondazione", è ottenuta con strati di materiale granulare compattato (per uno spessore di 2,5 m) in grado di sopportare i carichi previsti. In

corrispondenza di ciascun cassone, gli ultimi 70/90 cm di questo "pacchetto" sono costituiti da apposite piastre di conglomerato cementizio armato che contribuiscono a irrigidire il piano di costruzione

A destra
Elaborazione grafica del sito di prefabbricazione di Malamocco, con i cassoni di alloggiamento delle paratoie e di spalla delle barriere

In basso
La bocca di porto di Malamocco vista dal mare. In primo piano la lunga scogliera curvilinea che si raccorda al sito di prefabbricazione visibile sulla sponda sinistra



La movimentazione e il varo dei cassoni

Il sistema "TTS" di trasferimento

I sistemi per la movimentazione e il varo dei cassoni costituiscono elementi del tutto particolari che devono consentire di svolgere le funzioni previste in modo integrato, con la massima precisione, in assoluta sicurezza e secondo rigorose fasi operative prestabilite. Per la realizzazione di tali sistemi sono state individuate due società, leader mondiali nel settore, con ampia e provata esperienza in materia, che hanno sviluppato l'adattamento di componenti di loro produzione all'utilizzo per il progetto Mose. Si tratta della TTS Handling Systems AS (Drøbak, Norvegia) per il sistema di trasferimento dei cassoni e della Rolls-Royce Naval Marine Inc. (Annapolis, USA) per il sistema di varo.

Il trasferimento dei cassoni dal luogo di prefabbricazione sul terrapieno fino alla piattaforma di varo avverrà mediante carrelli idraulici a controllo oleodinamico, interconnessi tra loro, che scorrono su apposite rotaie. Questo sistema è diffusamente impiegato in cantieri per la costruzione sia di navi sia, appunto, di cassoni di cemento armato usualmente utilizzati anche per la costruzione di banchine portuali. Esso, infatti viene preferito per la sua funzionalità, l'efficienza delle manovre e l'affidabilità nel preservare l'integrità strutturale dei manufatti.

I carrelli vengono posizionati sotto ai cassoni da trasportare, in corrispondenza dei setti interni dei cassoni stessi in modo da ripartire opportunamente il carico. Il numero di carrelli è variabile in base alle dimensioni e al peso del carico movimentato². Ogni carrello può supportare un carico massimo, in condizioni dinamiche, di circa 335 tonnellate.

I carrelli funzionano in una modalità che viene definita di "letto fluido". Ciascuno di essi, infatti, mantiene costante la pressione esercitata sul fondo del cassone in ogni situazione. Ciò sia durante il trasporto verso la piattaforma di varo sia nelle condizioni di caricamento sulla piattaforma stessa, indipendentemente dall'irregolarità di livello delle rotaie sul terreno o dalle sollecitazioni della struttura della piattaforma sotto carico.

Per consentire l'inserimento dei carrelli, i cassoni vengono realizzati sopra una serie di pilastri di appoggio³ che hanno un'altezza di 2,3 m e dimensioni in pianta indicativamente pari a 1 m x 1 m. Sulla sommità di ognuno di essi è previsto un appoggio elastomerico armato per assorbire, durante la costruzione e lo stazionamento del cassone in area di prefabbricazione, le dilatazioni termiche del manufatto.

Le rotaie su cui scorrono i carrelli sono modulari e configurabili in funzione delle diverse traiettorie di trasferimento di ciascun cassone. L'elemento standard ha una lunghezza di 10 m, per un peso di 11 tonnellate, ed è realizzato con due profili principali di acciaio ai quali sono fissati i binari, anch'essi di acciaio.

² Il maggior numero di carrelli (84) è previsto per il cassone standard da tre paratoie della schiera di Malamocco che costituisce l'elemento più pesante. Per il cassone da due paratoie di questa schiera saranno utilizzati 56 carrelli, mentre 65 carrelli saranno impiegati sia per il cassone di spalla principale che per quello secondario. Nel caso della schiera di Lido San Nicolò saranno necessari, rispettivamente, 72 e 48

carrelli per il cassone standard da tre paratoie e per il cassone da due paratoie, 65 carrelli per il cassone di spalla principale e 52 carrelli per quello secondario.

³ Per ogni cassone di alloggiamento da tre paratoie sono previsti oltre cento pilastri. Essi sono disposti in file parallele, collocate in corrispondenza dei setti interni dei cassoni

Lavori per la realizzazione dei cassoni sul terrapieno di Malamocco. I cassoni, in calcestruzzo armato, sono costruiti sopra una serie di pilastri anch'essi di calcestruzzo armato. Attorno ai pilastri viene allestito il cassero di fondo in pannelli di legno per il getto del solettone





Un enorme ascensore.
Il Sistema "Syncrolift"
di varo

Gli elementi standard sono connessi tra loro mediante giunzioni a cerniera che assicurano la necessaria flessibilità al sistema e consentono alle rotaie di adattarsi al terreno assecondando anche eventuali cedimenti del fondo.

Le rotaie formano percorsi rettilinei e prevedono anche deviazioni di 90° per lo spostamento laterale dei cassoni. Ciò è reso possibile da appositi incroci ottenuti con l'intersezione di elementi, dotati di particolari attacchi, posti ortogonalmente l'uno rispetto all'altro.

Per mettere in acqua i cassoni è stata predisposta un'apposita "darsena di varo", raccordata al sito di prefabbricazione mediante un ampio terrapieno. La darsena è delimitata da cassoni cellulari di calcestruzzo armato sui lati nord e sud (che configurano due ampie banchine) e sul lato ovest. Il lato est è, invece, aperto verso lo specchio acqueo antistante⁴.

Le operazioni di varo vere e proprie saranno eseguite attraverso una speciale piattaforma (Syncrolift) che funziona come un enorme ascensore. Inizialmente la piattaforma è emersa e posta allo stesso livello del terrapieno retrostante. Una volta caricato il cassone, la piattaforma viene abbassata in modo da mettere in galleggiamento il manufatto. I movimenti verticali della piattaforma sono controllati da una serie di 26 argani elettrici, metà montati sulla banchina nord e metà sulla banchina sud della darsena. Ogni argano è costituito da una coppia di verricelli che movimentano le pulegge poste sulla piattaforma.

La piattaforma Syncrolift, che ha una lunghezza di 63 m e una larghezza di 52,5 m, consiste in un impalcato composto da 13 travi principali in acciaio, di grandi dimensioni (ciascuna è lunga 57,4 m e alta circa 5 m) e da una serie di travi secondarie che supportano le rotaie sulle quali scorrono i carrelli. L'estradosso dell'impalcato è rivestito con tavole di legno Azobè.

La struttura della piattaforma, alternativamente rigida e articolata, consente di ripartire in modo corretto il carico dovuto al peso del cassone e dello stesso sistema di trasporto. Una volta posti in galleggiamento, i cassoni verranno presi in carico da uno speciale natante, attraverso un sistema di funi e argani, per essere poi rimorchiati sul sito di posa e qui affondati e zavorrati nella posizione prestabilita.

⁴ La darsena ha una lunghezza di quasi 75 m e una larghezza di oltre 95 m, cassoni strutturali compresi. Escludendo i cassoni ne risulta un bacino interno con una superficie di circa 3.500 m² e una profondità di -19 m

Il cantiere per i cassoni

*In alto*

La darsena per il varo dei cassoni. La darsena sarà provvista di una speciale piattaforma mobile (Syncrolift) che consentirà di mettere in galleggiamento i cassoni

In basso

Travi metalliche della piattaforma del Syncrolift