

# AVAMPORTO GALLEGGGIANTE BOCCA DI LIDO TERMINAL PASSEGGERI



2013 - 2015

ALLEGATO 1



# L'AVAMPORTO GALLEGGIANTE : LA STRUTTURA ALLEGATO 1

Il pontile ha una configurazione modulare costituita da 4 pontoni, ancorati al fondo e collegati con cerniere in modo da interrompere la continuità strutturale del manufatto nella sua lunghezza e non ci sia trasmissione del momento flettente tra i moduli, come dimostrato nell'assonometria generale della struttura portante del terminale di fig. 1.

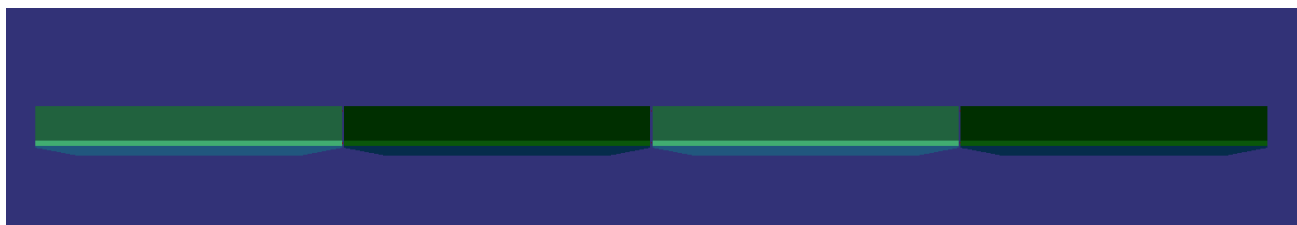


fig.1

I moduli hanno una lunghezza di 155,2 m, altezza di costruzione 8,7 m e immersione di esercizio 6 m.

Nella fig.2 è mostrata la sezione maestra e la paratia stagna trasversale, nella fig. 3 una sezione longitudinale.

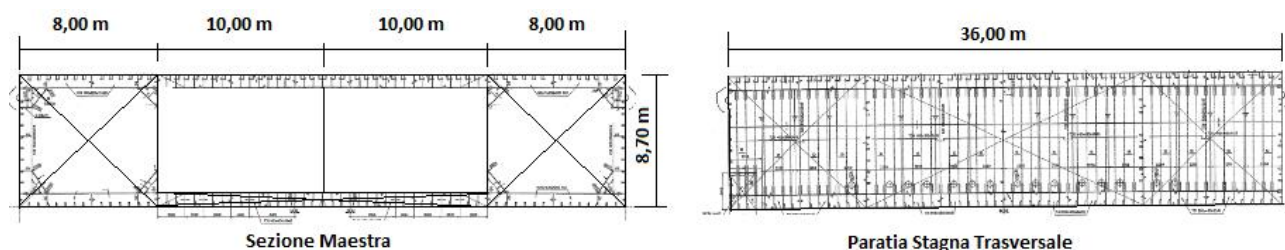


fig. 2

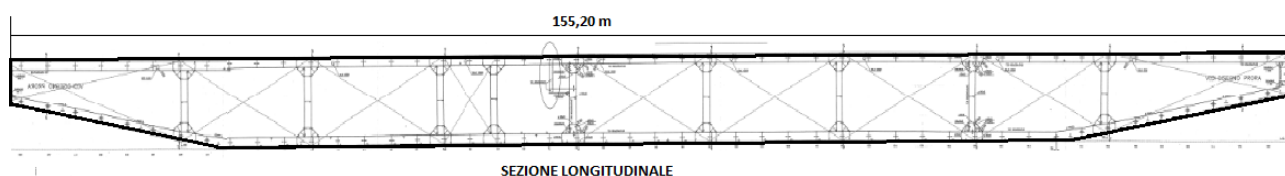


fig.3.

Nella fig. 4 sono rappresentate la paratia stagna longitudinale e il piano dei ferri del ponte di coperta del singolo pontone: trattasi di una struttura di tipologia navale classica compartimentata a doppio fondo con 8 paratie trasversali, due paratie longitudinali esterne stagne e un doppio fondo nella parte centrale, la paratia centrale, dove necessario, è aperta per consentire un facile utilizzo dei volumi sottocoperta per la installazione degli impianti di zavorra del pontone e per i servizi (illuminazione, condizionamento, antincendio, mobilità, ....) del Terminale. Tutte le casse esterne, il doppio fondo e i gavoni di estremità sono zavorrati con acqua, nelle condizioni operative, in modo da realizzare una struttura inaffondabile in caso di falla o di collisione accidentale con altri natanti.

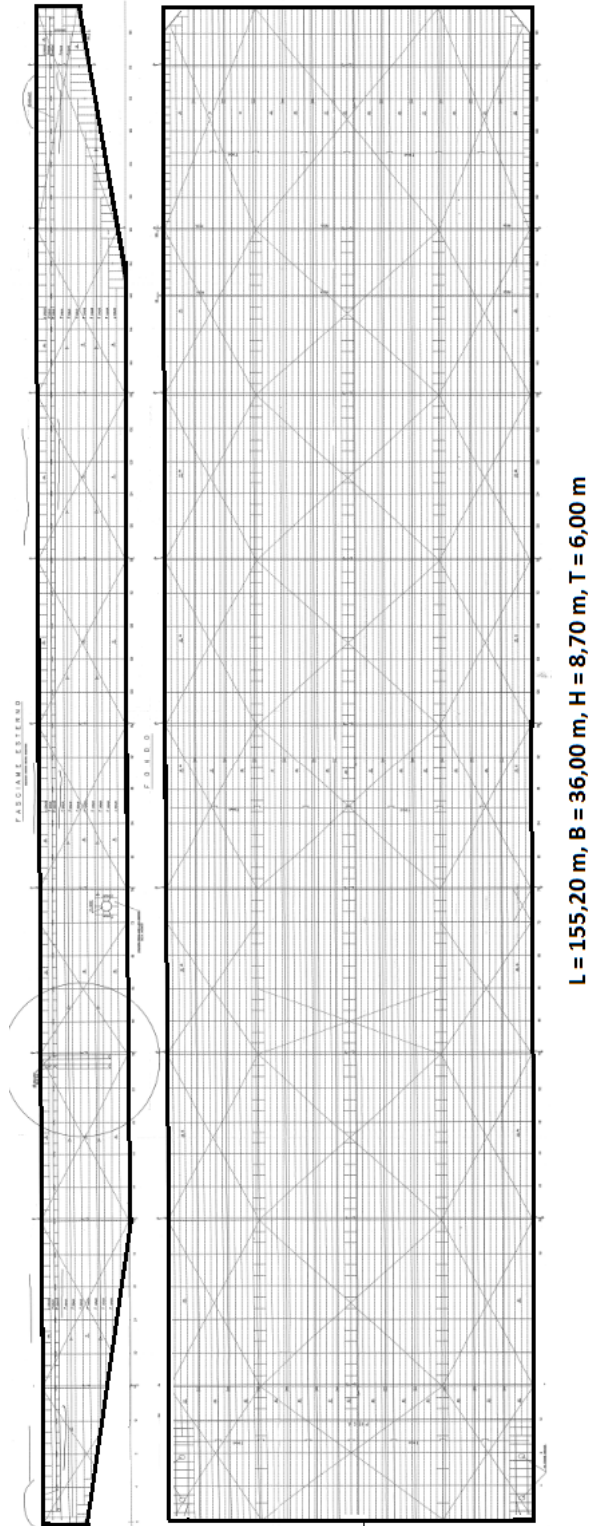


fig.4

La Fig.5 mostra il piano di capacità ovvero il numero delle casse con le quantità di acqua di zavorra come descritto nella relazione Tr-14-1 dell'ing. R. Nicolosi.

Ogni pontone è attrezzato con un sistema autonomo di zavorramento per il riempimento e lo svuotamento delle casse.



fig.5

Nella parte centrale per tutta la lunghezza di ogni modulo è disponibile sotto il ponte principale un volume di circa 17.000 mc e utilizzabile per lo stoccaggio liquidi: olio, carburante, nafta, acqua ecc. sopra il ponte un volume di circa 13.000 mc per containers, congelatori, celle frigorifere per la conservazione di prodotti alimentari e quanto necessario per il bunkeraggio e rifornimento delle navi per un totale dei 4 pontoni di 160.000 mc.

Trattandosi di strutture tipiche dei pontoni usati nell'industria navale e marina offshore, utilizzati per impieghi ben più onerosi di quelli previsti per il pontile galleggiante, in questa fase le stime dei pesi strutturali sono basate, conservativamente sui dati storici esistenti: circa 5.850 t. per ogni modulo per un totale di 23.400 t. che realizzano circa 624 m di pontile, per l'attracco di 4 navi in contemporanea. Per evitare un inutile prolungamento del pontile, nella parte frontale verso il mare è stata prevista una boa per le linee di ormeggio, alla lunga, delle navi più esterne.

Questi dati dello studio di fattibilità sono stati utilizzati per la loro verifica e la progettazione di massima come descritto nel seguito. Analogamente si sono definiti i sistemi di ancoraggio (8 per ogni modulo) costituito da un sistema misto di catena-zavorre solide (*clump wights*) collegate al fondo con ancore di alta capacità di tenuta (*high holding capacity*) in fig.6, largamente usate in ancoraggi offshore e ai pontili con sistema classico di (*chain stopper*) necessari per il pretensionamento e il bloccaggio delle catene. La fig.7 mostra il sistema delle catene di ancoraggio del modulo e la fig. 8 mostra in sezione, schematicamente due linee di ancoraggio contrapposte, ovviamente su piani sfalsati, con la presenza di due navi ormeggiate.

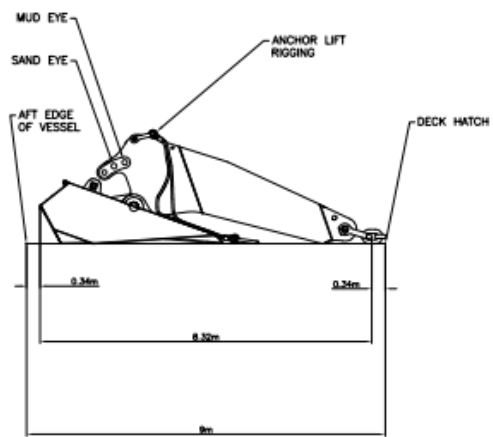


fig.6

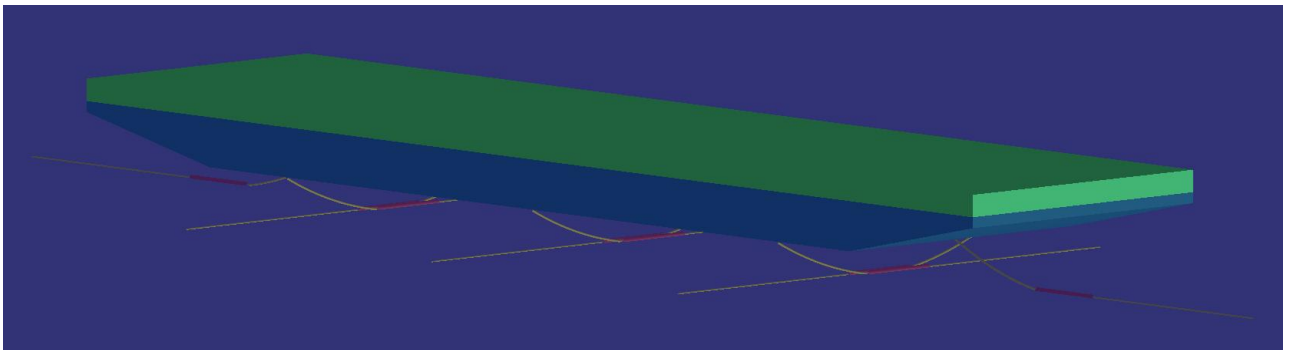


fig.7

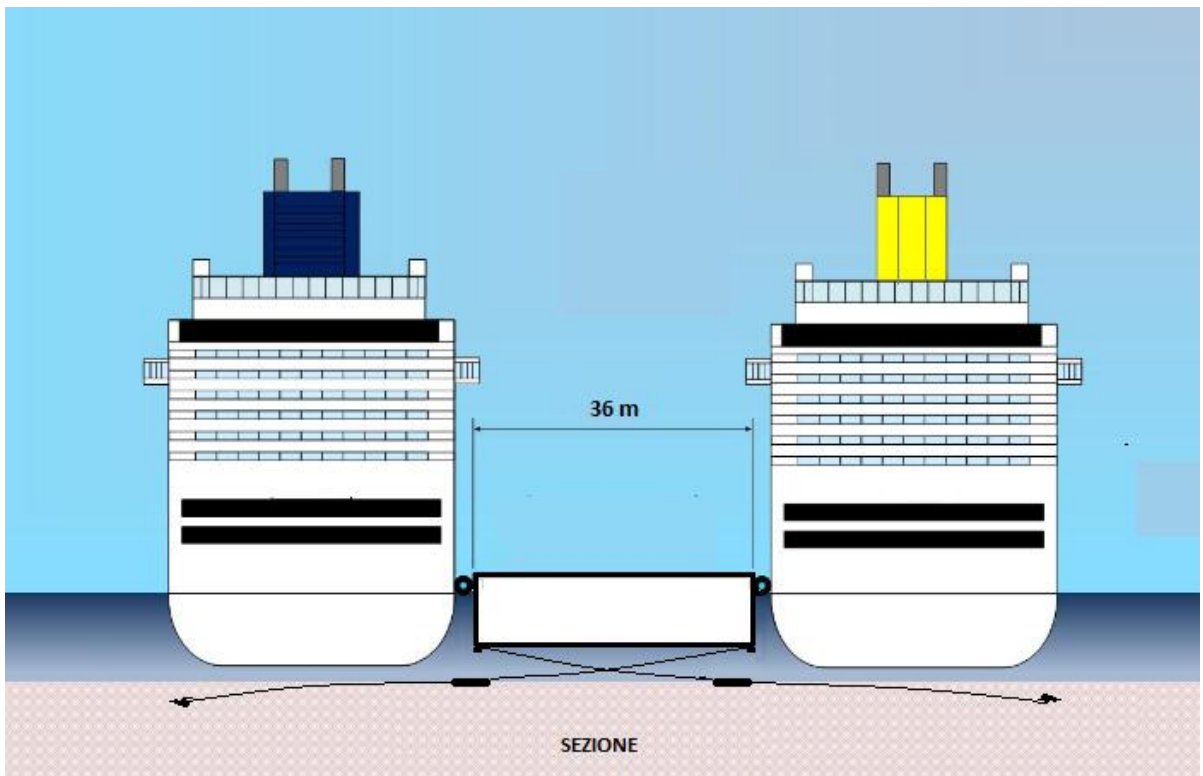


fig.8

La caratteristica di questa tipologia di ancoraggio è di essere flessibile, ovvero di adattarsi senza forti variazioni di tensione nelle catene di ancoraggio, agli spostamenti verticali per consentire la necessaria escursione di marea presente nelle bocche, ma molto rigido nel piano orizzontale per limitare al massimo le escursioni sia per il solo pontile nelle condizioni ambientali estreme (onde, vento e corrente) sia in condizioni operative con le navi ormeggiate, come si è verificato nei calcoli eseguiti per la progettazione di massima.

I pontoni saranno attrezzati per consentire un agevole e sicuro accosto delle navi da crociera nonché l'ormeggio durante tutto il periodo di sosta in banchina. Il sistema proposto è quello ampiamente sperimentato per gli allibi offshore (in condizioni molto più severe che alle bocche di porto del Lido) per i sistemi FPSO (*Floating Process Storage Offloading*) e FSRU (*Floating Storage Rigasification Units*).

In modo analogo è stato previsto un sistema di *fenders* (YOKOAMA) per ogni lato e per ogni nave come indicato schematicamente in fig. 7; La fig. 8 mostra questi *fenders* preparati in banchina.

## YOKOAMA FENDERS



fig.9

Per l'ormeggio delle Navi alla banchina per il collegamento dei cavi di ancoraggio delle navi, in aggiunta alle classiche bitte posizionate sui pontoni, si prevede anche l'utilizzo di ganci a sgancio rapido (quick release hook) con sistema di monitoraggio in tempo reale del carico sulle linee di prora che vanno alla boa in modo da poter scollegare automaticamente gli ormeggi in caso di necessità senza dover andare sulla boa. La fig.10 ne mostra un tipico esempio.

Ovviamente trattandosi di un sistema galleggiante, l'ormeggio delle navi non dovrà essere riaggiustato/ritensionato in funzione delle maree che come sappiamo nelle bocche di porto sono consistenti in certi periodi dell'anno, col conseguente vantaggio della sicurezza nelle operazioni.

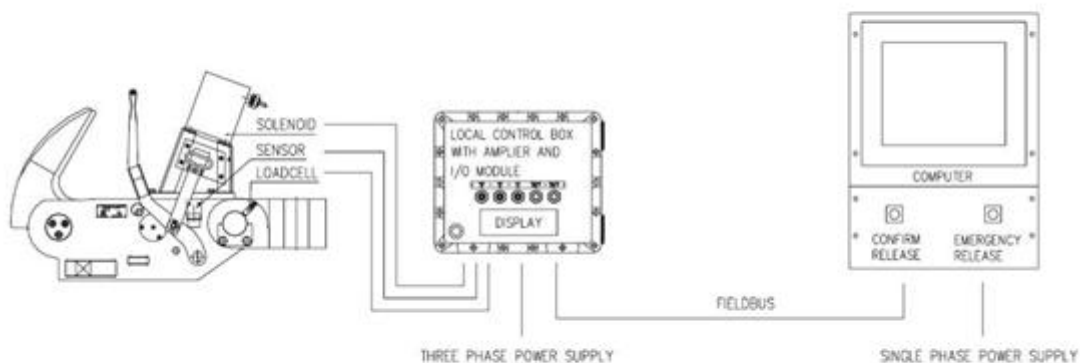
# QUICK RELEASE HOOK



HAZARDOUS AREA



NON HAZARDOUS AREA



fig,10

## 1) Il progetto di massima delle strutture e degli ancoraggi del terminale

Il progetto delle strutture di supporto del terminale galleggiante con i suoi ancoraggi, sviluppato a livello di progetto di massima, fa parte del progetto preliminare di tutto il complesso ed è basato su assunzioni che ovviamente devono essere confermate/definite dalle autorità e permette di fare una valutazione dei tempi e dei costi accurata e una prima comparazione delle diverse proposte che fanno riferimento a ipotesi diverse (si cita ad esempio la proposta del canale Contorta, l'uso di Marghera e quella che vede un sistema di pontile fisso nella bocca di lido e altre eventuali proposte).

Si fa presente che per poter fare un vero confronto tra le diverse alternative, oltre ad una VIA, occorre prima una definizione dei requisiti di progetto che riguardano sia le specifiche di progetto ovvero un vero disciplinare (numero e caratteristiche delle navi che si intende far ormeggiare contemporaneamente, requisiti funzionali, vita operativa delle opere), sia i dati ambientali e i dati geotecnici del fondale della bocca di porto in modo da poter confrontare, a parità di prestazioni, le diverse soluzioni.

In particolare, per quanto riguarda gli aspetti ambientali (onde, vento, correnti, maree ecc.) si necessita di un rapporto meteo che secondo le ultime raccomandazioni della normativa vigente che, per quanto riguarda le condizioni estreme, prevede la determinazione delle curve di isoprobabilità tra l'altezza massima e il periodo di picco degli spettri del moto ondoso oltre che le statistiche combinate



con vento e correnti, va inoltre considerato lo “scatter diagram” con la statistica delle onde per la durata delle opere per poter eseguire la verifica a fatica dei componenti principali delle strutture. Analogamente vanno definite le caratteristiche del suolo per la progettazione degli ancoraggi delle catene al fondo (in prima approssimazione si sono utilizzate ancore ad alta capacità di tenuta).

Sulla base di questi dati sarà possibile verificare i predimensionamenti e progettare le strutture e gli ancoraggi per il progetto definitivo. In questa fase, per questa proposta, in assenza di dati ufficiali di progetto, si sono fatte delle ipotesi molto conservative per quanto riguarda le strutture dei moduli e per i dati ambientali considerati sia per condizioni estreme di permanenza nel sito del terminale che per l’ormeggio delle navi attraccate in banchina.

In particolare si è fatto riferimento ai dati meteo-oceanografici indicati dal Consorzio Venezia Nuova per la progettazione delle opere del Mose nella bocca di porto del Lido, dati che non prevedevano la lunata successivamente realizzata a protezione delle onde generate dai venti di scirocco e pertanto già di per se stessi conservativi; in aggiunta si sono assunti per questi calcoli i valori delle condizioni meteo con periodo di ritorno di 1000 anni anche se le opere saranno verosimilmente progettate per una vita operativa di 25 – 30 anni e quindi richiederebbero un periodo di ritorno delle condizioni estreme molto minore. Per le condizioni operative con le navi passeggeri ormeggiate si dovranno fissare i limiti operativi compatibili con le attività dei rimorchiatori che saranno certamente inferiori a quelle usate nei calcoli che fanno riferimento ad un periodo di ritorno di 10 anni, anche in questo caso molto conservativi. Per l’esecuzione di questi calcoli abbiamo avuto la collaborazione della Società di consulenza francese *Principia*, qualificata a livello internazionale per questo tipo di analisi, che, oltre a farsi carico della determinazione dei coefficienti idrodinamici dei pontoni e delle navi da crociera (vedi rapporto “MEM.144.380.01”) ha messo a disposizione del gruppo di lavoro i propri programmi di calcolo per le analisi dinamiche del pontile galleggiante sia per le condizioni estreme dei soli pontoni che per le condizioni operative con le navi ormeggiate.

In particolare la procedura di calcolo si è articolata nelle seguenti fasi:

### 1.1 Progetto di massima dei pontoni

In base ai dimensionamenti preliminari delle strutture e degli ancoraggi fatti nello studio di fattibilità, è stata fatta una verifica a livello di progetto di massima del dimensionamento strutturale dei singoli pontoni. La relazione Tr-14-1 “*NuovoTerminal Crociere di Venezia- Soluzione Galleggiante-Analisi di Stabilità e Robustezza Longitudinale*” dell’ing. Raffaele Nicolosi comprende la definizione del piano di capacità ovvero della compartimentazione del singolo pontone e delle casse utilizzate per la zavorra liquida, le verifiche di stabilità statiche e dinamiche del pontone integro, le verifiche in caso di falla in caso di un compartimento allagato ed infine la verifica delle robustezza longitudinale della trave pontone necessarie per la fase di trasporto dei singoli pontoni dal cantiere di costruzione al sito di installazione. Il rapporto comprende anche l’indicazione della normativa eseguita e della letteratura tecnica di riferimento usata per queste analisi.

Le conclusioni di queste analisi si possono riassumere:

- Il modulo proposto è largamente idoneo per ciò che concerne la stabilità in stato di scafo integro.

- Eventuali falle non comportano una sostanziale variazione della configurazione di galleggiamento e delle caratteristiche di stabilità rispetto al caso di scafo integro.
- La robustezza longitudinale del modulo è sufficiente; gli stress massimi sul fondo e sul ponte di coperta della sezione maestra (105 MPa) sono abbondantemente al di sotto di valori critici accettabili dalle normative .
- I dati preliminari dimostrano una robustezza dei moduli tale che ogni singolo modulo può essere utilizzato per i convenzionali trasporti marini tipici del campo offshore in caso di dismissione del terminal, ma ne consente, con le opportune modifiche all'ancoraggio e ai sistemi di vincolo tra i moduli, l'impiego come terminal con la stessa configurazione anche in zone con fondale diverso e condizioni meteo più onerose.
- La verifica del pontone ai fini della stabilità e della robustezza strutturale, hanno consentito la determinazione delle caratteristiche idrostatiche (raggio metacentrico), il dislocamento e le caratteristiche di inerzia (raggi d'inerzia rispetto agli assi coordinati  $ixx$ ,  $iyy$ ,  $izz$ ) dei moduli che servono da input per l'analisi del comportamento dinamico del terminale.
- Il predimensionamento degli ancoraggi, lunghezza e peso in acqua delle catene insieme al peso della zavorra (*clump weight*) fornisce la matrice di rigidità che serve da input per l'analisi del comportamento dinamico del terminale.
- *1.2 Analisi dinamica del terminale.*

La procedura seguita prevede la simulazione completa dei pontoni collegati tra di loro per le condizioni limiti di progetto e dei pontoni con le navi ormeggiate per le condizioni operative. Per le simulazioni si sono utilizzati due programmi di calcolo di proprietà di Principia: Il modello completo viene simulato col software **DeepLines** che è un programma di simulazione nel tempo del comportamento dinamico di tutti gli elementi che costituiscono il sistema ovvero l'intero terminale che tiene conto dell'influenza reciproca tra i diversi corpi in movimento (tra i pontoni da soli, nelle condizioni estreme, e tra pontoni e Navi nelle fasi operative) e dei relativi sistemi di vincolo (cerniere) tra i vari corpi e ogni singolo pontone col suo sistema di ancoraggio e con il fondale della bocca di porto. Il programma le caratteristiche (matrici) di massa e idrostatiche dei galleggianti, le matrici di rigidità degli ancoraggi e le matrici dei coefficienti idrodinamici dovuti all'azione del moto ondoso agenti sui galleggianti, con la teoria della diffrazione, tenendo conto delle reciproche interazioni nella completa gamma di periodi delle onde, considerando i pontoni e le navi nelle condizioni delle bocche di porto: fondale, presenza delle dighe foranee e quant'altro necessario per la simulazione delle condizioni reali del pontile galleggiante; per la determinazione dei coefficienti (matrici) idrodinamiche con la teoria della diffrazione si usa il programma **Diodore**. Il rapporto Principia MEM 144.380.01 "Hydrodynamic Calculation – Methodology and Outputs" del 20/10/14 fornisce i dettagli delle caratteristiche e le capacità dei software utilizzati oltre ai risultati dei calcoli effettuati. Sulla base dei risultati di queste analisi combinate tra **Diodore** e **DeepLines** sono state dimensionate le cerniere di collegamento tra i pontoni e verificate le linee di ancoraggio degli stessi, nonché il sistema di attracco delle navi al pontile.

#### *1.2.1 Calcolo dei coefficienti idrodinamici.*

Questa parte del lavoro è stata svolta direttamente da Principia ed è riportata nel rapporto MEM 144.380.01 "Hydrodynamic Calculation – Methodology and Outputs" di cui si fa una breve sintesi.

Partendo dai dati geometrici e di massa del pontone è stata fatta la "mesh", ovvero la rappresentazione ad elementi finiti piani, della superficie esterna per la determinazione dei coefficienti idrodinamici dovuti al moto ondoso con la teoria della diffrazione, analogamente viene

descritta la superficie esterna della nave da crociera. In questa fase al posto di due tipologie di navi (due Grandi e due piccole) si sono considerate 4 navi di taglia media che corrisponde a 110.000 – 120.000 TDW che consentono di simulare praticamente sul terminale gli stessi effetti. L'analisi della diffrazione nel campo completo di frequenze nel campo 4-100 sec sui corpi galleggianti, rappresentati con le "mesh" indicate nel rapporto, è stata fatta col programma **Diodore**. Il software consente di tener conto dei vincoli dovuti dal sistema di ancoraggio dei pontoni e del sistema di ormeggio delle navi ai pontoni con le loro matrici di rigidezza. I risultati di questa analisi forniscono:

Le matrici di:

- Rigidezze idrostatiche
- Massa aggiunta per ogni frequenza
- Lo smorzamento di radiazione (l'energia che il corpo dissipa per effetto del proprio moto) per ogni frequenza
- Forze del primo ordine (forze dirette delle singole onde sui corpi) per ogni frequenza
- Forze del secondo ordine che dipendono da quelle del primo ordine e considerano il modello meccanico completo (include la massa, COG, inerzia, matrici di rigidezza e tutti gli smorzamenti addizionali dovuti alle forze viscosse).

I risultati sono rappresentati dai RAO (*Response Amplitude Operator*) ovvero la risposta ad un'onda di altezza unitaria per ogni frequenza e le forze di "drift" ovvero le forze medie agenti sui singoli galleggianti. Per il calcolo delle forze di *drift* il programma utilizza una speciale formulazione particolarmente adatta nei casi di basso fondale e la presenza di più corpi che interagiscono. I dettagli tecnici sono spiegati nel rapporto originale. Questi risultati sono raccolti in due "data base" che vengono passati al programma di simulazione temporale della dinamica del terminale completo.

### 1.2.2 Simulazione non lineare del terminale

La simulazione del terminale completo per la verifica dei sistemi di ancoraggio e per la determinazione delle forze sulle cerniere di collegamento tra i singoli pontoni è stata eseguita dall'ing. Raffaele Nicolosi che ha utilizzato il software proprietario di Principia **DeeLines** ed è riportato nella sua completezza nella relazione TR – 14 – 2 "Nuovo Terminal Crociere di Venezia – Soluzione Galleggiante. Il programma di calcolo tiene conto di tutte le forze agenti sul sistema e le interazioni tra i diversi corpi galleggianti nonché l'effetto basso fondale alla bocca di porto, considerando tutte le condizioni meteo per diverse combinazioni di direzioni tra onde vento e corrente, In particolare si sono considerati 3 scenari operativi ampiamente descritti nel rapporto:

- moduli senza navi ormeggiate in condizioni meteomarine estreme;
- moduli e navi ormeggiate in condizioni meteomarine operative;
- impatto della nave durante l'approccio in mare calmo.

Si vuole rimarcare che le formulazioni impiegate per il calcolo delle forze di vento e di corrente (per le onde vendono utilizzati database output del software **Diodore**) sono quanto di più avanzato oggi esistente su questi argomenti; per le normative si è fatto riferimento alle formulazioni più

conservative così come per le condizioni ambientali disponibili che danno una chiara evidenza della *robustezza della proposta di progetto anche in questa fase preliminare.*

**DeepLines™** può eseguire diverse tipologie di analisi: statica e quasi-statica, dinamica nel dominio della frequenza e del tempo, modale, accoppiamento completo tra galleggianti e flessibili, ma in questo caso, date le forti non linearità dei sistemi di ancoraggio/ormeggio rispettivamente per i pontoni e delle navi ai pontoni, si è utilizzata la procedura di analisi nel dominio del tempo che è la più completa e complessa.

Nella modellazione sono state simulate:

*le forze Idrostatiche* dei galleggianti

*le forze idrodinamiche* dovute al moto ondoso provenienti dal data base **Diodore** che rappresentano l'aspetto fondamentale della simulazione di cui si è già evidenziata la peculiarità sia per quanto riguarda l'interazione dei moduli tra loro che per l'effetto del basso fondale particolarmente importante per le navi

*le forze del vento e della corrente*, usando dove possibile (per il vento) i dati più recenti e più conservativi, e dove (per la corrente) non esistono dati specifici in letteratura si è fatto riferimento a forme di carena simili anche in questo caso utilizzando i valori di resistenza più conservativi. È superfluo sottolineare che per il progetto definitivo si faranno delle prove specifiche su modello per la loro determinazione, sempre facendo riferimento alle normative internazionali applicabili.

*lo smorzamento del rollio e dei moti in bassa frequenza*, questi ultimi calcolati automaticamente da **DeepLines™** utilizzando le velocità relative corpo-flusso.

*le linee di ormeggio dei pontoni* modellate con linee ad elementi finiti con nodi a passi di 1 metro; questo tipo di modellazione consente di includere nel calcolo la dinamica delle linee, comprendendo effetti inerziali, spinta idrostatica, attrito sul fondale marino e forze idrodinamiche utilizzando le velocità relative corpo-flusso.

*le cerniere* di vincolo tra pontoni adiacenti per poter calcolare le forze di scambio.

*i parabordi* sono modellati con molle direzionali (solo compressione) multilineari, con legge compressione-forza in accordo con quanto specificato.

*i cavi di ormeggio* delle navi da crociera sono modellati usando molle direzionali (solo tensione) con rigidità in accordo con quanto suggerito dalla normativa OCIMF per cavi sintetici ad alta resistenza.

#### *Condizioni Meteo*

Le **onde** sono modellate come irregolari in accordo con lo spettro secondo la formulazione di JONSWAP con parametro di picco  $\gamma=3.3$ , tipico delle condizioni del mediterraneo, con suddivisione dell'energia in frequenza: lo spettro è rappresentato in 200 frequenze.

Il **vento** è modellato con velocità variabile nel tempo in accordo con lo spettro NPD, suggerito dal DNV per il Mare del Nord e quindi sicuramente conservativo per l'alto Adriatico. Lo spettro è

rappresentato in 100 frequenze e la direzione del vento è assunta costante per la durata della simulazione.

La **corrente** è modellata come costante nel tempo sia in direzione sia in intensità. In assenza di dati più precisi, il profilo verticale di velocità è preso in accordo con quanto suggerito dal DNV.

Il terminale è progettato per l'ormeggio contemporaneo di quattro navi due grandi da 140.000 GT e due piccole da 94.000 GT, in questa fase per la simulazione si è scelto di utilizzare, in modo conservativo 4 navi 120.000 GT per limitare l'impegno di calcolo, inoltre per lo stesso motivo lo studio è condotto in due passi:

- due navi ormeggiate considerando tutte le condizioni meteo "operative"; le due navi analizzate sono "Nave sinistra 1" e "Nave dritta 1" per la individuazione delle condizioni operative più onerose in termini di tensioni sulle catene di ormeggio e carichi sulle cerniere.
- quattro navi ormeggiate considerando le due condizioni meteo "operative" più gravose, risultate dal primo passo.

*Impatto della nave durante l'approccio*

L'ultima condizione analizzata è l'impatto della nave durante l'approccio. In questo caso si è assunto, come da prassi, che non agiscano forzanti meteo e che la manovra sia tale per cui la nave impatta il parabordo più prodiero dell'ultimo modulo comprimendolo del 60% (compressione massima) in 1 secondo.

È stata poi fatta un'analisi di sensitività sul peso unitario (per la lunghezza di 1 m) del "*clump weight*".

I risultati più significativi sono in forma tabellare nel rapporto citato.

In base ai risultati ottenuti nell'analisi delle strutture e degli ancoraggi, condotta a livello di progetto di massima, si può concludere che il sistema proposto è idoneo per l'impiego ipotizzato e in conformità con le normative internazionali applicabili; in particolare per ciò che concerne i carichi agenti sul sistema di ormeggio del terminale e i dimensionamenti preliminari le verifiche hanno evidenziato ampi margini di sicurezza indice di una progettazione molto robusta.

È possibile, inoltre, concludere che i moti e le accelerazioni dei moduli sono assai ridotti e quindi non vi sono criticità legate all'operatività del terminale e alla sicurezza delle persone.

Le tensioni nelle catene di ormeggio dei moduli sono sempre ben al di sotto di quelle ammissibili e la condizione più gravosa risulta essere quella nello scenario estremo e pertanto in fase di progetto definitivo si potrà considerare anche una riduzione del calibro della catena prevista in questa fase.

I massimi carichi radiali sulle cerniere si verificano nei casi di condizioni meteo estreme (senza navi ormeggiate) in cui sono maggiori i moti dei moduli e quindi gli sforzi trasmessi tra di loro e sono ampiamente realizzabili con componenti esistenti a catalogo. Si fa presente che queste simulazioni sono state fatte con cerniere che consentono solo la rotazione, data l'esiguità delle rotazioni per il progetto si è fatto riferimento a cerniere realizzate con inserti di polimeri che hanno una relativa cedevolezza che si traduce in una riduzione dei carichi agenti, il software utilizzato potrà simulare esattamente anche il comportamento di questi collegamenti come indicati al successivo punto 1.3.

I parabordi selezionati sono idonei a mantenere le navi ormeggiate nelle condizioni meteo anche con periodo di ritorno di 10 anni. Le tensioni delle linee di ormeggio delle navi risultano superiori a quelle ammissibili ma inferiori a quella di rottura, tuttavia va sottolineato che: 1) l'ottimizzazione del *layout* di

ormeggio delle navi sarà fatto nel progetto definitivo e 2) le condizioni meteo operative selezionate sono sicuramente molto gravose con periodo di ritorno decennale e quindi di scarso impatto sull'operatività del terminale; in ogni caso i calcoli hanno evidenziato che, nelle condizioni ambientali estremamente onerose considerate, i limiti operativi dipendono dalle linee di ormeggio delle navi e non dal pontile galleggiante né dal suo sistema di ancoraggio.

Il paragone tra i risultati ottenuti in condizioni operative con 2 e 4 navi mostra che l'impatto di due navi aggiuntive sul comportamento dinamico del terminale non è sostanziale. Le tensioni massime sul sistema di ormeggio dei moduli aumentano del 16% mentre le forze sulle cerniere rimangono pressoché invariate, confermando il fatto che esse sono determinate essenzialmente dai moti dei moduli (scarsamente influenzati dall'azione delle navi).

I dati ricavati dall'analisi dinamica del terminale nella sua estensione hanno permesso di confermare i predimensionamenti delle linee di ancoraggio dei moduli e quindi fare un dimensionamento di massima dei sistemi di attacco delle catene allo scafo, compreso i sistemi di blocco delle catene dopo il tensionamento (*chain stoppers*), e di dimensionare a livello di progetto di massima le cerniere di collegamento tra due moduli adiacenti.

### 1.3 Le cerniere

Le cerniere devono realizzare un vincolo agli spostamenti sui tre assi e rotazioni secondo gli assi principali, ad eccezione dell'asse y, trasversale alla schiera di pontoni, che deve consentire rotazioni relative tra due moduli contigui. *La progettazione di massima è stata eseguita dall'ing. Paolo Vielmo.* L'entità delle rotazioni relative massime valutate nella simulazione dinamica, inferiori a mezzo grado, e l'entità delle sollecitazioni indicano la opportunità di realizzare il vincolo mediante elementi di appoggio in gomma armata, utilizzati per il supporto cedevole di grandi strutture. Tali elementi sono realizzati mediante una stratificazione di pannelli gomma alternati e vulcanizzati a lastre di acciaio. La distribuzione delle sollecitazioni di compressione e taglio nella gomma dell'elemento consente di realizzare una elevata rigidità agli spostamenti nella direzione trasversale alla stratificazione, a fronte di una consistente deformabilità al taglio (dell'ordine di grandezza dello spessore complessivo della gomma), che consente quindi lo spostamento relativo tra le facce dell'elemento di supporto; questo può quindi essere utilizzato per realizzare la cedevolezza alle rotazioni delle strutture collegate ad esse. Il dispositivo di vincolo a cerniera che collega i pontoni contigui è realizzato preliminarmente come descritto nelle figure 11 e 12 ed è composto da due parti realizzate in carpenteria di acciaio che vanno fissate con viti e bulloni a piastre rinforzate dei dritti di prua e poppa dei pontoni contigui affacciati; una è costituita da un anello scomponibile (per esigenze di montaggio) e l'altra da un tubo a sezione rettangolare (o "perno") collegato a forcina con due flange rinforzate di fissaggio; gli elementi in gomma armata di supporto elastico sono interposti tra l'anello componibile del primo elemento ed il "perno" rettangolare del secondo, potendo così realizzare, con la resistenza a compressione, le condizioni di vincolo volute e permettere, con la deformabilità al taglio, la rotazione relativa dei mezzi collegati. A titolo preliminare si fa riferimento a componenti prodotti dalla Società ALGA (MI) codice NB4-400x800x76 per i carichi longitudinali (asse x) ed a componenti codice NB2 250x300x72 per i carichi verticali (asse z) montati in coppie.

Peculiarità vantaggiosa di tale soluzione è l'assenza di elementi metallici in contatto strisciante e quindi della necessità di lubrificazione e di manutenzione periodica, nonché la resistenza alla corrosione essendo l'elemento elastico di supporto completamente inglobato nella gomma e quindi non esposto

all'aggressione chimica dell'ambiente marino. In aggiunta la relativa cedevolezza del collegamento consente in fase di verifica del progetto in fase esecutiva di ottenere carichi inferiori a quelli calcolati.

La fig. 11 rappresenta il particolare di collegamento tra due moduli.

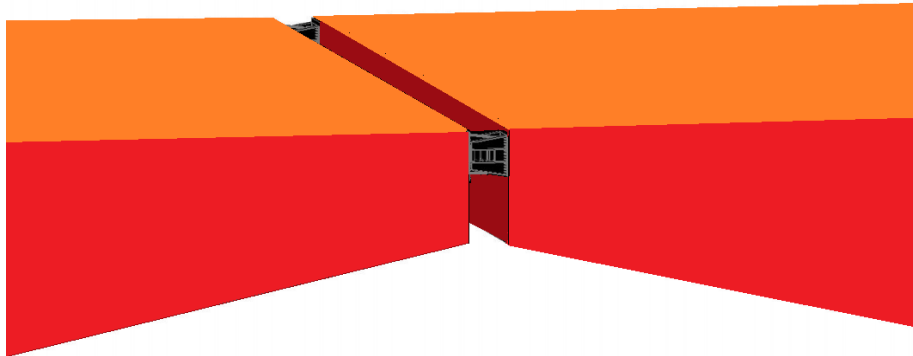


fig.11

La fig12 rappresenta la vista frontale, la vista in pianta e un'assonometria della sezione della cerniera.

La fig.13 rappresenta la vista assonometrica esplosa della cerniera.

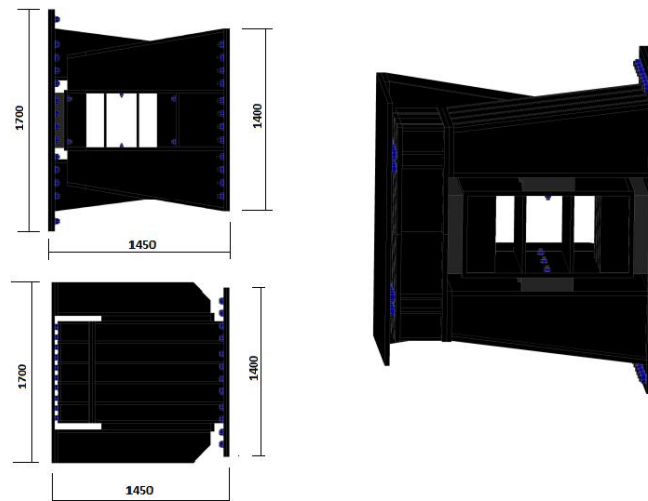


Fig.12

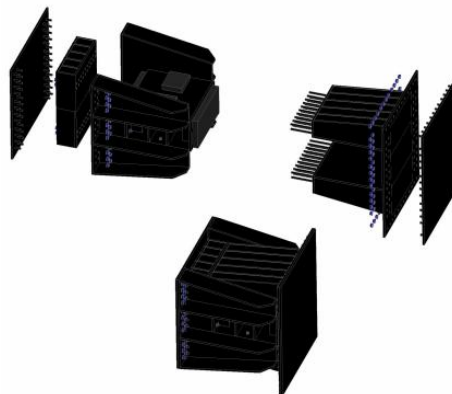


fig.13

## 1.4 Chain Stopper

Le catene di ancoraggio (Fig.14) sono costituite da tre sezioni: una parte sospesa, la parte appesantita "clump weight" e la parte appoggiata al suolo di cui una parte interrata e collegata all'ancora. Le fig. 15 e 16 rappresentano schematicamente una vista trasversale e la vista longitudinale delle linee contrapposte.

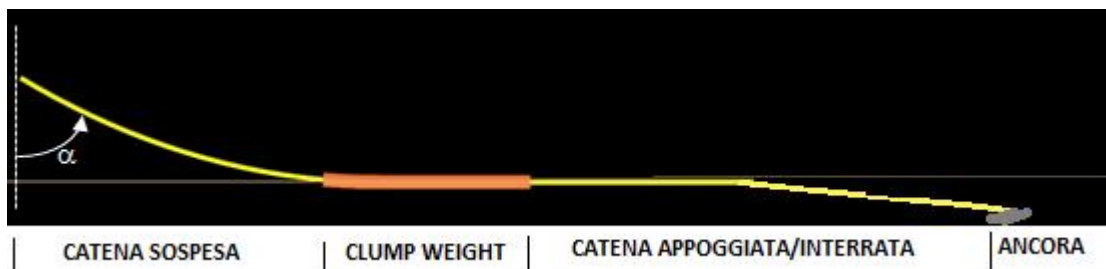


fig. 14

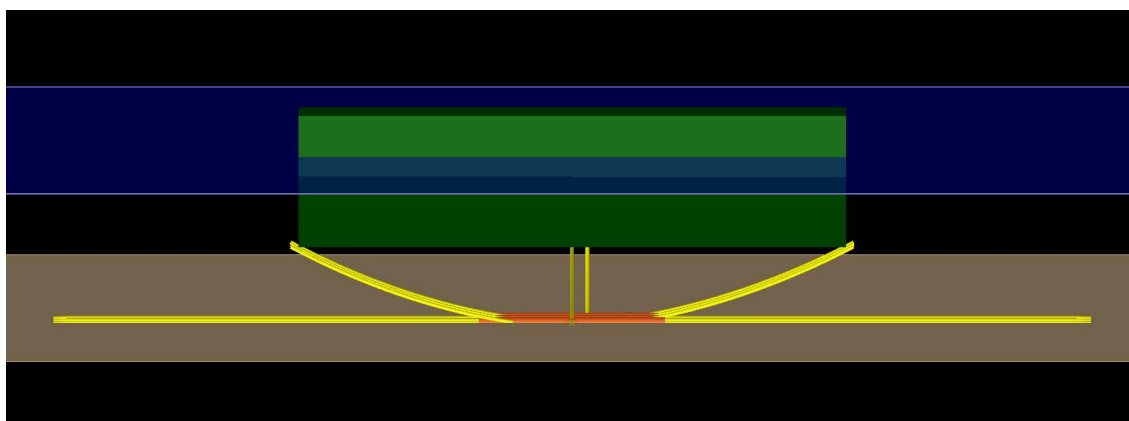


fig.15

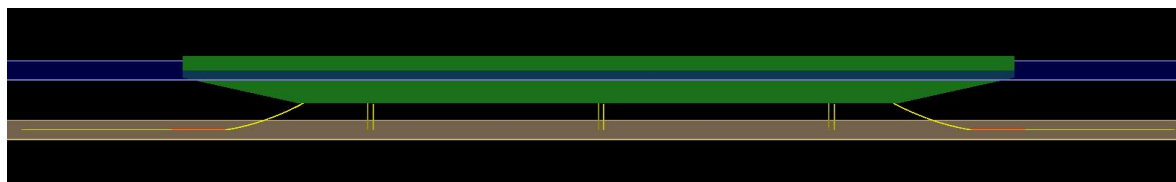


fig.16

La progettazione di massima del collegamento delle catene allo scafo dei pontoni è stata eseguita dall'ing. Paolo Vielmo. Le catene sono collegate allo scafo e sono bloccate alla lunghezza che realizza le corrette caratteristiche elastiche da dispositivi di blocco della catena "chain stoppers" costituiti da una guida cilindrica nella quale è inserita la parte terminale della catena che è bloccata ad essa mediante elementi di contrasto che fanno riscontro sulla ultima maglia utile della catena e sulla faccia della guida stessa; questa è munita di due staffe di appoggio ad una sella di collegamento al pontone saldata al fondo dello stesso in prossimità del bordo esterno del fondo: quelle trasversali in corrispondenza di una costola rinforzata



(Fig.17) e quelle longitudinali in corrispondenza della paratie all'attacco del dritto di prua e poppa (Fig.18). Nelle figure sono accennati i cavi (linee tratteggiate) per il tensionamento delle catene.

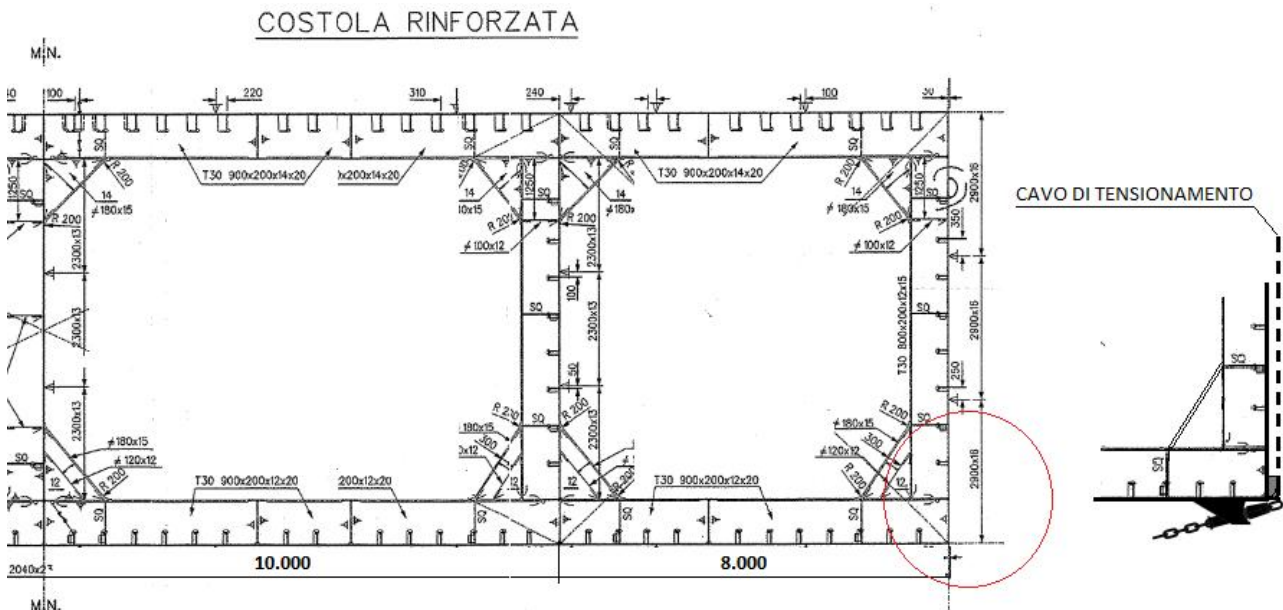


fig.17

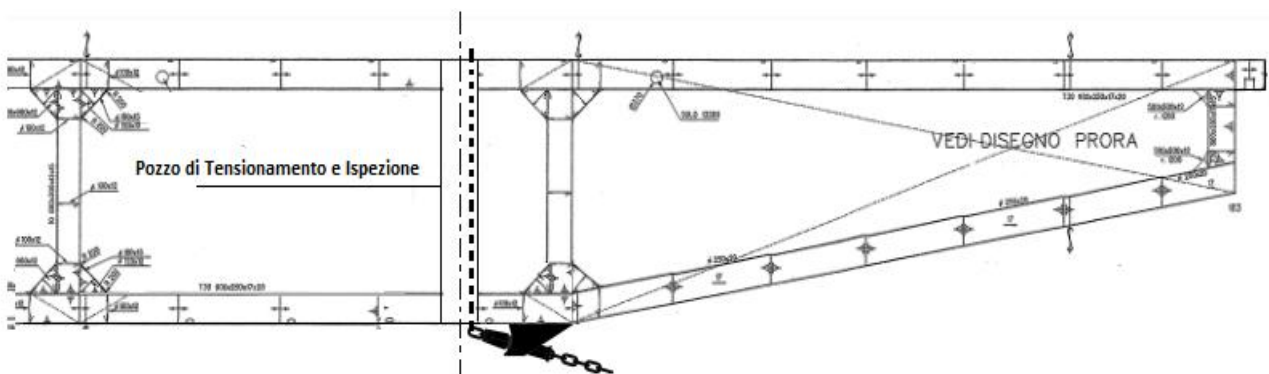
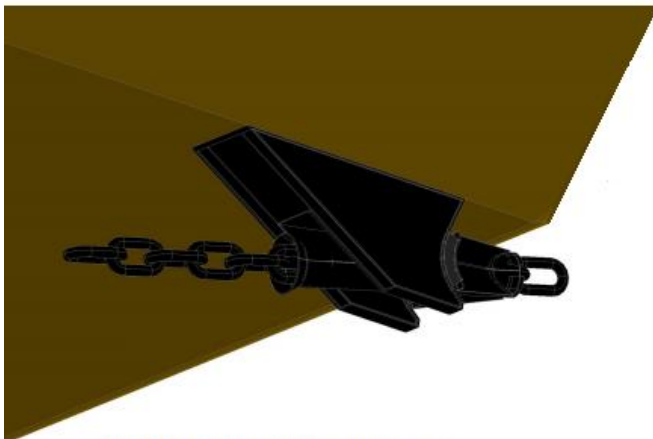
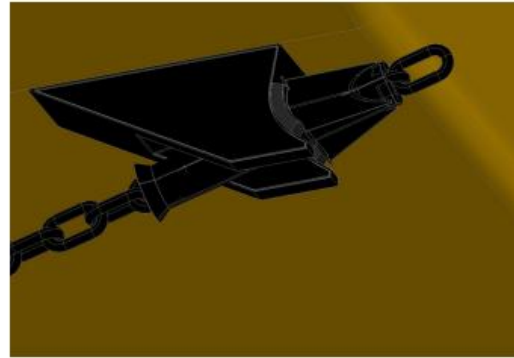


fig.18

Tra le staffe di appoggio della guida di bloccaggio della catena e la sella di collegamento al pontone sono interposti due supporti in gomma armata che consentono la trasmissione del tiro della catena al pontone e l'orientamento della guida catena secondo la direzione di quest'ultima. I supporti in gomma armata consentono di evitare l'usura delle maglie di catena che potrebbe aver luogo in un esercizio continuato, impedendo fenomeni di strisciamento per effetto della rotazione relativa del terminale della catena rispetto al punto di bloccaggio, se questo fosse collegato rigidamente alla carena del pontone. In considerazione degli angoli di rotazione della guida catena rispetto alla sella di appoggio i supporti di appoggio elastico sono progettati di forma cilindrica e dimensioni in proiezione di 300 x500 mm e spessore 140 mm. Per tali componenti valgono le stesse considerazioni fatte per gli analoghi componenti delle cerniere. La Fig. 19 mostra un'assonometria dei "chain stoppers".



CHAIN STOPPER CATENA TRASVERSALE



CHAIN STOPPER CATENA LONGITUDINALE

fig.19

## 2) La costruzione

Trattandosi di strutture tipiche navali e sistemi di ancoraggio ampiamente sperimentati in campo marino offshore, in fase di progetto preliminare sarà facile determinare costi e tempi di realizzazione contenuti e certi. La configurazione prevista consente una navigazione dei singoli moduli illimitata e quindi di poter eseguirne la costruzione facendo gare internazionali. In fase di progetto preliminare si potranno svolgere indagini con cantieri presenti nell'alto adriatico per poter affinare il dimensionamento strutturale e i costi di trasporto dal luogo di costruzione alle bocche di porto. In questa fase, non avendo avuto il tempo e l'opportunità di fare le dovute verifiche e indagini con i cantieri navali, si evita di fornire costi che sarebbero non verificati e ponderati alla situazione specifica.

E' stato verificato che con opportuna programmazione dei lavori è possibile costruire due moduli in un anno e quindi avere il primo modulo pronto dopo solo un anno dalla fine della progettazione definitiva; e quindi col coinvolgimento di più cantieri di può realizzare l'intero pontile in un anno.

Per la progettazione è previsto seguire le norme di un registro di classificazione (ad esempio il RINA Registro Italiano Navale) che eventualmente può essere incaricato anche della classificazione del galleggiante (soluzione suggerita) che consente non solo la verifica della progettazione esecutiva e di dettaglio delle opere ma anche la verifica e il controllo delle operazioni di manutenzione programmate, a garanzia della sicurezza di tutto il sistema.

## 3) Installazione

L'installazione di ogni singolo modulo avviene in due fasi:

- Installazione delle ancore e loro tensionamento, la fig.6 mostra la tipologia delle ancore prescelte. Le ancore, opportunamente posizionate col primo tratto di catena, vengono messe in tensione con un carico che è funzione del carico di esercizio calcolato (Per la progettazione e l'installazione dell'ancoraggio si seguirà l'ultima revisione delle norme API RP 2SK). Per effetto del carico l'ancora penetra nel terreno di una quantità dipendente dalla caratteristica del terreno che evidentemente deve essere caratterizzato e qualificato con opportuna campagna geotecnica. Posizionata l'ancora (fig.16) si determina la lunghezza effettiva dell'ancoraggio tra il suo maniglione e il *chain stopper* sul

pontone per garantire il pretensionamento della linea di ancoraggio (le catene si ordinano di lunghezza superiore per poter passare attraverso il chain stopper e pretensionate in modo da realizzare la rigidità calcolata dell'intero ancoraggio. Le ancore con parte della rispettiva catena (fino al *clump weight*) vengono lasciate sul fondo per consentire l'adesione delle ancore al suolo "embedment" in attesa dell'installazione dei rispettivi pontoni. In fase di progetto preliminare la procedura delle operazioni e i mezzi necessari saranno descritti con i dovuti dettagli, anche per la stima accurata dei costi.

- Installazione dei moduli: i singoli pontoni completati in cantiere, con i relativi sistemi di zavorra, vengono rimorchiati sul posto e posizionati con rimorchiatori. A questo punto vengono recuperate le parti di catena sul fondo e completate le linee di ancoraggio col *clump weight*; la catena in eccesso viene fatta passare attraverso il *chain stopper* e, una volta tensionata alla pretensione di progetto, viene fissata al *chain stopper* e la parte eccedente viene tagliata. Installati i singoli moduli questi vengono resi solidali per mezzo delle cerniere realizzando la continuità funzionale del terminale. In fase di progetto preliminare la procedura delle operazioni sarà descritta con i dovuti dettagli.

### **Considerazioni finali sulla soluzione proposta**

La soluzione modulare galleggiante si caratterizza per tre aspetti che a Venezia sono considerati, da sempre, essenziali: la gradualità, la sperimentabilità e la reversibilità.

- La gradualità

La configurazione modulare e la prevista fase iniziale di gestione autonoma indipendente dall'isola artificiale del MoSE, ne consente l'impiego immediato. Successivamente, appena sarà possibile, il collegamento funzionale con l'isola del MoSE rende il sistema particolarmente interessante e diverso da qualsiasi altra soluzione perché la sua operatività viene svincolata completamente dalle chiuse del MoSE che in futuro con le previsioni di aumento del livello medio mare diventeranno sempre più numerose. Inoltre si può partire subito con due navi e nel giro di 6 mesi-1 anno installare altri due moduli. Se ritenuto necessario, per mutate esigenze, si possono installare in seguito ulteriori due moduli per altre due navi, aggiornati tenendo conto delle ultime costruzioni di navi passeggeri che sappiamo sono in continua evoluzione, per un totale complessivo di 6 navi contemporanee.

- La sperimentabilità

Connesso alla gradualità c'è anche la sperimentabilità delle operazioni e quindi sarà possibile apportare quelle modifiche che l'esercizio pratico potrà suggerire.

- La reversibilità

La struttura galleggiante è per definizione reversibile e perfettamente utilizzabile in siti diversi, eventualmente anche fuori delle bocche di porto se questo dovesse emergere dall'esperienza operativa. La sola modifica del sistema di ancoraggio ne permette l'utilizzo.

In fase di progetto definitivo si potrà, se richiesto dal disciplinare di progetto, esaminare anche l'utilizzo dei moduli in un contesto più esterno fuori dalla bocca di Lido o in altra localizzazione.

Vi è infine l'ultimo punto che riguarda gli effetti dell'innalzamento del livello medio mare previsto nei prossimi anni. Questa soluzione è praticamente insensibile a questi eventi naturali: l'ancoraggio dei pontoni è progettato per le soluzioni estreme oggi prevedibili ma se in futuro si dovessero verificare situazioni oggi imprevedibili, sarebbe molto semplice modificarlo per adattarlo alle nuove esigenze.

Sono del tutto evidenti i vantaggi rispetto alle soluzioni proposte, sia all'interno alla laguna, che quelle fisse all'esterno delle chiuse del Mose: per le prime l'aumento del livello medio mare comporterà un aumento delle chiuse del MoSE che non potrà non influire sulla regolarità del traffico crocieristico; per quanto riguarda soluzioni fisse alla bocca di Lido e in qualsiasi altro posto in alto Adriatico è evidente che il progetto dovrà essere dimensionato per le massime escursioni di marea e per il massimo aumento del livello medio mare oggi prevedibile nella vita del terminale, ed è evidente che una soluzione fissa non potrà tener conto di variazioni climatiche già in atto e ad oggi imprevedibili.

Ing. Vincenzo Di Tella

Padova, 5 Novembre 2014