

1

**LA PARATOIA A GRAVITÀ**  
una soluzione vantaggiosa e  
flessibile per la realizzazione delle  
opere mobili a scomparsa di  
difesa di venezia dalle acque alte

**VINCENZO DI TELLA**

PROGETTO DI MASSIMA - SINTESI ■

Ing. Vincenzo Di Tella ■

Ing. Paolo Vielmo ■

Ing. Gaetano Sebastiani ■

padova, marzo 2005 ■



## 1. Premessa

Scopo della presente relazione è la presentazione di un sistema di dighe mobili per la protezione e difesa della Laguna Veneta dalle acque alte.

La relazione si articola in tre punti: la descrizione del sistema **brevettato** chiamato "Paratoia a Gravità", il progetto di massima effettuato per il sistema di protezione della Laguna Veneta, e le conclusioni basate sul confronto col progetto detto MOSE effettuato dal Consorzio Venezia Nuova (CVN).

Il sistema proposto si basa sulle conclusioni del progetto di fattibilità fatto dai sette Saggi nel 1981 e rispetta tutti i requisiti di progetto posti dal "Comitatone" nel corso degli anni; ma si differenzia dal MOSE nel principio di azionamento, ovvero, nella configurazione delle paratoie, nel loro verso di apertura e nel sistema di vincolo alla base di fondazione, consentendo notevoli vantaggi per la realizzazione, per la gestione dell'esercizio e la manutenzione degli impianti e delle opere di difesa e permettendo, tra l'altro, una realizzazione progressiva delle opere ed un loro flessibile esercizio operativo.

Sono state analizzate, per completezza, due soluzioni che, partendo dal concetto di Paratoia a Gravità, realizzano entrambe il sistema di chiusura delle bocche di porto.

La prima prevede l'utilizzo, come per il Mose, di strutture in c.a. per le basi, e in acciaio per le paratoie, con le stesse geometrie per gli sbarramenti delle bocche di porto, ed include anche le conche di navigazione, la realizzazione dell'isola artificiale di fronte alla secca del "Bacan", grandi volumi di dragaggio, e consente un confronto, a parità di condizioni, con l'attuale progetto del CVN.

La seconda, che utilizza in modo ottimale le caratteristiche del concetto di Paratoia a Gravità, prevede l'impiego dell'acciaio anche per i moduli di base e le opere di spalla, e viene realizzata quasi completamente in cantieri navali attrezzati. Questa è la soluzione che viene proposta e che permette di eliminare le conche di navigazione e la conseguente rottura delle dighe foranee, l'isola artificiale di fronte al "Bacan" e i cantieri per la costruzione in opera dei moduli di base in c.a., e consente di ridurre sostanzialmente i milioni di metri cubi di scavo.

Il concetto di Paratoia a Gravità è stato verificato con prove su modello, scala 1/20, eseguite nella vasca navale del Dipartimento di Architettura Navale dell'Università di Trieste.

### *Il Progetto MOSE*

Per consentire un confronto tra la soluzione proposta ed il progetto del CVN, si ricorda brevemente, che il progetto MOSE si basa su un sistema di paratoie mobili costituite da strutture scatolari incernierate su strutture di base, interrate sul fondo dei canali delle bocche di porto; le paratoie, completamente zavorrate in condizioni di riposo sono, all'occorrenza, svuotate dell'acqua di zavorra ed emergono a formare una o più barriere per ogni bocca di porto, costituendo così una chiusura del bacino lagunare; l'equilibrio al battente idrostatico dovuto al dislivello di marea è assicurato dalla spinta dell'aria immessa: l'energia necessaria per equilibrare l'azione idrodinamica della marea entrante deve essere interamente fornita dall'impianto di azionamento ad aria compressa (sistema intrinsecamente instabile). Quando attivate, quindi, le paratoie inducono un'inversione di carico (verso l'alto) sulle cerniere di collegamento con la struttura di base. Le cerniere devono essere vincolate alla struttura di base per mezzo di connettori meccanici, che ne consentono lo sblocco e il recupero per le normali operazioni di manutenzione. Il sistema di azionamento del blocco dei connettori, vitale per la manutenzione ordinaria e straordinaria delle paratoie e il sistema di comando e controllo delle operazioni di azionamento, deve essere mantenuto in perfetta efficienza per tutta la vita delle opere. Per consentire ed agevolare le operazioni di bloccaggio e sbloccaggio dei connettori e consentire la funzionalità, e le operazioni di ispezione e manutenzione degli impianti installati sulla base di fondazione, è stato previsto nella struttura di base un tunnel a pressione atmosferica, accessibile attraverso le strutture laterali sulle sponde delle bocche di porto.

La presenza del tunnel di servizio e delle strutture laterali di accesso rende lo sbarramento un'opera monolitica, costruttivamente e funzionalmente integrata in tutte le sue parti, ed ha un pesante impatto sui relativi costi e tempi di realizzazione.

Il principio di funzionamento delle paratoie richiede un controllo attivo, in tempo reale, della quantità d'aria immessa in funzione della posizione della paratoia, del dislivello di marea e della corrente in fase di manovra. I tempi di azionamento sono quindi necessariamente condizionati dalle ingenti quantità di aria necessaria e dal corrispondente dimensionamento degli impianti.

Il principio di funzionamento della paratoia e la sua conseguente configurazione porta ad un comportamento dinamico della stessa avente periodi naturali di oscillazione che sono nel campo dei periodi delle onde di progetto, con conseguenti problemi di risonanza che richiedono il sovradimensionamento delle strutture e dei componenti meccanici.

La figura 1 rappresenta lo schema statico delle forze agenti sulla paratoia e mostra la configurazione generale della Paratoia con la struttura di base; si evidenzia la struttura a collasso determinato, prevista per evitare danni irreparabili in caso di ribaltamento della paratoia. La figura 2 mostra lo schema logico di sviluppo del progetto che ha portato all'attuale sistema MOSE.

## **2. Descrizione del sistema "PARATOIA a GRAVITA'"**

Il sistema di protezione proposto è basato sul concetto di Paratoia pesante, detta a Gravità, e si basa fondamentalmente su un sistema modulare di paratoie mobili ed indipendenti, appoggiate ad una struttura di fondazione, anch'essa modulare e indipendente, ovvero che non richiede collegamenti strutturali tra i moduli e che può contenere una o più paratoie fino a raggiungere la larghezza della bocca del bacino da proteggere. Le figure 3 e 4 mostrano rispettivamente la paratoia e lo schema statico delle forze agenti, e una schiera di paratoie in posizione operativa con dislivello mare/laguna di 2 m (marea di progetto = 3 m).

La Paratoia a Gravità si caratterizza per i seguenti aspetti principali:

- Il principio di funzionamento si basa sull'equilibrio del battente idrostatico, dovuto al dislivello di marea, mediante il peso proprio della paratoia e dell'acqua di zavorra emersa posta nella parte superiore della Paratoia stessa. L'energia necessaria per equilibrare l'azione idrodinamica della marea è fornita dalla marea stessa, la cui spinta fa emergere la paratoia e con essa la cassa di zavorra, ottenendo automaticamente la variazione di energia potenziale necessaria per l'equilibrio. Il sistema è intrinsecamente stabile poiché, una volta attivato e quindi in emersione, si adatta alle condizioni di marea senza la necessità di variarne alcun parametro funzionale.
- Il verso di azionamento è nel senso della marea (opposto a quello del progetto CVN).

Elemento essenziale del sistema è la paratoia, (vedi figure 5 e 6), costituita da una struttura a parete semplice rinforzata o scatolare, realizzata in acciaio, pesante in acqua; essa porta all'estremità superiore due camere, delle quali: la prima, parzialmente vuota, ha la funzione di camera di manovra, nella quale avviene lo spiazzamento della zavorra d'acqua con aria compressa, la seconda è permanentemente zavorrata con acqua, e serve a bilanciare, quando sollevata fuor d'acqua, la spinta idrostatica dovuta al battente di marea.

All'estremità inferiore la paratoia è permanentemente incernierata ad una struttura detta Trave Ausiliaria (vedi figura 7) che è appoggiata in una sella di riferimento ottenuta nella struttura di base (vedi figura 8). Le paratoie hanno strutture di rinforzo laterali a parete piena per garantire, col moto ondoso, la necessaria sovrapposizione e tenuta tra due paratoie adiacenti. La configurazione e le dimensioni delle paratoie ed il peso e il volume delle camere di zavorra sono tali che, quando la cassa di manovra è completamente vuota, la paratoia emerge restando sempre appoggiata mediante la trave ausiliaria alla struttura di fondazione, consentendo l'adozione di un vincolo unilaterale con carichi agenti (spinte) solo orizzontalmente e verso il basso come si evidenzia nella figura 3.

La struttura di fondazione (vedi figura 8) in cemento armato o, preferibilmente, in acciaio è anch'essa modulare, ogni modulo supporta una o più paratoie, ed è sagomato nella parte superiore in modo da alloggiare completamente le paratoie con le travi ausiliarie, le cerniere e le tubazioni dell'impianto di azionamento.

La struttura di base è completamente (o parzialmente) installata in trincea in modo da non perturbare il regime idrodinamico delle bocche di porto, ovvero in modo da creare la voluta restrizione della sezione di flusso relativa.

Il funzionamento della singola paratoia è mostrato con riferimento alla figura 5 e l'operazione di azionamento si può così sintetizzare:

- In condizioni di riposo la paratoia giace sulla struttura di base con la camera di manovra parzialmente allagata.
- Al raggiungimento del livello limite di marea di progetto, immettendo aria compressa nella camera di manovra ne viene espulsa completamente l'acqua.
- Al superamento dell'equilibrio alla rotazione, la paratoia si solleva, favorita dall'azione dinamica della corrente di marea entrante (sistema intrinsecamente stabile).
- Al completo svuotamento della camera di manovra la paratoia raggiunge un livello di bordo libero che realizza la chiusura delle bocche.
- L'incremento del dislivello di marea produce un successivo incremento del bordo libero con sovra-emersione di acqua di zavorra che, insieme al peso della paratoia, equilibra staticamente e dinamicamente il battente idrostatico (quindi senza altri interventi attivi sulle paratoie).

Nella manovra di chiusura, si opera in maniera inversa: al raggiungimento del dislivello opportuno tra laguna e mare, viene allagata la camera di manovra che provoca l'abbassamento della paratoia, agevolato dall'azione idrodinamica della marea uscente.

Il volume della camera di manovra e la posizione della tubazione dell'aria compressa sono tali da limitare gli effetti dinamici nell'atterraggio della paratoia sulla struttura di base.

L'entità modesta dei volumi delle camere di manovra, unitamente alla "stabilità intrinseca" delle manovre, data dall'effetto favorevole dell'azione idrodinamica della corrente di marea, consentono di realizzare, con potenza estremamente ridotta, tempi di azionamento completo di pochi minuti, caratteristica che comunque si ritiene rappresenti un vantaggio nella definizione delle procedure operative di esercizio e un beneficio ai fini dell'impatto ambientale delle chiusure sull'equilibrio del sistema lagunare. E' da notare in ogni caso che, per limitare l'effetto dell'onda di sessa (aumento del livello del mare nella bocca di porto a monte delle paratoie) che si produce nel bloccaggio del flusso entrante, la chiusura può essere ottimizzata, modulando, in successione, i tempi di azionamento delle paratoie dello stesso sbarramento.

Il principio di funzionamento della Paratoia a Gravità le conferisce un comportamento dinamico (periodo naturale di oscillazione) che, per i dimensionamenti relativi alle bocche di porto di Venezia, escludono fenomeni di risonanza sia con le onde di maggiore contenuto energetico, che con i periodi di oscillazione di massa dei bacini contigui: le prove su modello effettuate confermano i valori calcolati teoricamente (circa 16 secondi di periodo naturale raffrontato a periodi di picco degli spettri di progetto di 8-10 secondi).

Il principio di funzionamento della Paratoia a Gravità inoltre presenta l'importante vantaggio di un dimensionamento poco condizionato dal dislivello di marea massimo di progetto, che ha impatto soltanto sull'altezza delle paratoie (struttura irrigidita a parete semplice) e sul volume delle casse di zavorra d'acqua. Questo fatto consente di realizzare dimensionamenti tecnicamente ed economicamente accettabili anche per valori di dislivello di marea superiori a quello di progetto attuale, fornendo una risposta al problema del "global warming": è stata verificata la possibilità di realizzare, senza eccessivi aumenti di costo, in ogni caso notevolmente inferiori a quelli del MOSE, paratoie per un livello di marea massimo di 4 metri. La configurazione della Paratoia a Gravità, ed

il suo comportamento dinamico consentono di realizzare qualsiasi margine di sicurezza al ribaltamento imposto dalle specifiche di progetto, sia in fase di chiusura delle bocche che in condizioni operative.

Il sistema di sbarramento proposto è dimensionato in modo che possa operare con totale sicurezza rispetto al rischio di ribaltamento per le condizioni meteo-marine di progetto (onde, corrente e vento) e per qualsiasi livello medio lato mare, che comunque non potrà essere superiore alle quote di estradosso delle dighe delle bocche di porto.

Le paratoie sono state progettate con una configurazione, un rapporto peso/spinta ed una posizione del baricentro tali che, anche sotto l'effetto dei carichi idrodinamici di corrente ed onde in fase di sollevamento, o delle onde e marea in esercizio, l'azione (spinta) esercitata sulla struttura di fondazione risulti sempre rivolta verso il basso, e tale da consentire l'impiego di un vincolo unilaterale tra la trave ausiliaria e la struttura di base. Questa condizione, che è stata verificata nelle prove su modello in condizioni dinamiche anche superiori a quelle di progetto, consente di semplificare in modo sostanziale l'interfaccia tra la paratoia e le strutture di base e di eliminare i sistemi di bloccaggio meccanico delle cerniere eliminando conseguentemente la necessità del tunnel di servizio nelle basi, con le strutture laterali di accesso relative, come previsto dall'attuale progetto del CVN.

La figura 9 mostra, in modo schematico, le tubazioni di adduzione e scarico dell'aria e dell'acqua, e la figura 10 mostra il sistema di vincolo realizzato con trave ausiliaria che collega tra loro le due cerniere della paratoia ed è a sua volta appoggiata/incastata nell'apposita sella realizzata sulla struttura di base. Il piccolo tra-ferro (distanza) tra due paratoie adiacenti e tra la singola paratoia e la sua trave ausiliaria garantisce una chiusura pressoché stagna della bocca di porto.

La figura 10 mostra inoltre il sistema di connessione meccanica tra i tubi sulla trave ausiliaria e i corrispondenti nella canaletta del modulo di base.

Per la tipologia di vincolo, l'impiego di tubazioni in ambiente bagnato (l'approccio "wet" è standard nel campo dell'ingegneria offshore) e la possibilità di controllare i flussi d'aria direttamente dalle opere di spalla in cui vengono alloggiati gli impianti, non sono necessari collegamenti strutturali funzionali tra i moduli di base che rimangono strutturalmente integri e indipendenti tra loro, e quindi il tunnel di servizio è inutile. Si fa notare che per il MOSE la presenza del tunnel atmosferico, richiede che i singoli moduli abbiano alle loro estremità, in corrispondenza dei tunnel, dei diaframmi temporanei, necessari per il galleggiamento dei moduli per le fasi di trasporto e di installazione. Una volta posizionati i moduli sul fondo, i diaframmi devono essere rimossi per realizzare il collegamento funzionale e strutturale dei tunnel a pressione atmosferica, rendendo la struttura di base, in tal modo, monolitica, e praticamente irrecuperabile.

I moduli della struttura di base, per la paratoia a gravità, restano invece strutturalmente indipendenti e possono essere recuperati in qualsiasi momento, consentendo l'effettiva reversibilità dell'installazione dell'intero sistema, che oltre a rispettare un requisito essenziale di progetto, rappresenta una garanzia per l'affidabilità e sicurezza di esercizio del sistema di protezione nel tempo.

E' possibile riposizionare tutto lo sbarramento di una bocca di porto su un fondale minore, parallelo a quello di progetto, se ve ne fosse bisogno in futuro.

Lo schema logico di sviluppo del progetto con la paratoia a gravità è sintetizzato nel diagramma di figura 11 che fornisce un rapido confronto con quello del progetto MOSE riportato nella figura 2.

Si tralascia per brevità l'installazione in trincea dei moduli della struttura di base, trattandosi della stessa procedura impiegata per i tunnel immersi, con la semplificazione che in questo caso non bisogna intervenire, come per il MOSE, per la rottura dei diaframmi tra moduli adiacenti, e col vantaggio, come già detto, che i moduli restano strutturalmente integri e indipendenti.

Passando quindi all'installazione delle Paratoie, si evidenzia che la presenza della trave ausiliaria permette una procedura d'installazione delle paratoie semplice sicura ed affidabile; la figura 12, mostra in modo schematico la fase di centraggio della paratoia con trave ausiliaria sul modulo di base, una procedura basata su tecniche ampiamente sperimentate in campo petrolifero; per l'installazione si può utilizzare una piattaforma autosollevante del tipo "jack-up", appositamente attrezzata che servirà per la rimozione e installazione delle paratoie durante la vita delle opere per la normale manutenzione.

Il collegamento della tubazione d'aria compressa e dell'ombelicale sulla trave ausiliaria, con le tubazioni e l'ombelicale installati sulla base, sono le uniche operazioni sottomarine da fare che, data la bassa profondità d'acqua, possono essere effettuate, in tutta sicurezza ed affidabilità con sommozzatori, oppure, come imposto dai requisiti di progetto, e come illustrato nella figura 13, possono essere completamente automatizzate, come avviene normalmente per l'installazione di sistemi di produzione sottomarina di idrocarburi in alti fondali. Tutti gli impianti per l'azionamento e il monitoraggio delle paratoie sono in superficie, alloggiati nelle strutture di interfaccia alle estremità dello sbarramento delle singole bocche di porto.

### 3. Progetto di massima

#### 3.1 Soluzione in acciaio e c.a.

Il progetto di massima degli sbarramenti delle bocche di porto è stato eseguito sulla falsariga del progetto definitivo fatto dal CVN, e si sono analizzate le configurazioni strutturali delle paratoie, dei moduli delle strutture di base, e le strutture laterali di interfaccia per le quattro bocche di Porto: Lido-Treporti, Lido-S.Nicolò, Malamocco e Chioggia, al fine di consentire un confronto immediato col progetto MOSE.

La fig. 14 rappresenta le lunghezze ed i fondali delle quattro bocche secondo il progetto MOSE che prevede anche la realizzazione dell'isola artificiale di fronte al "Bacan".

Il predimensionamento delle paratoie è stato eseguito anche avvalendosi di un programma di calcolo sviluppato "ad hoc". I risultati del predimensionamento delle paratoie e delle strutture di base delle bocche di porto portano ad una sostanziale riduzione delle dimensioni e delle quantità di acciaio e cemento armato. La figura 15 mostra, per un confronto visivo, nella stessa scala, la sezione dello sbarramento per la bocca di Malamocco, sia per la Paratoia a Gravità sia per il MOSE, ed in particolare, per quest'ultima, sono indicati la struttura a collasso determinato e i tunnel a pressione atmosferica (vedi anche fig. 1).

In aggiunta si fa notare che:

La semplicità delle operazioni d'installazione, riduce notevolmente i tempi ed i costi di manutenzione di tutto il sistema.

- L'assenza, per la paratoia a gravità, del sistema di controllo, che per il Mose è un componente essenziale per il funzionamento del sistema di chiusura: un suo guasto renderebbe inefficace il sistema di protezione e potrebbe provocare seri danni al sistema. Si fa notare che i progettisti del MOSE hanno previsto sui moduli di base, strutture a collasso predeterminato, (struttura che si rompe al contatto con la paratoia) per evitare danni catastrofici ed irreversibili ai connettori ed ai moduli di base in caso di guasti, malfunzionamenti e/o errori umani.
- L'effettiva modularità delle strutture di base rende il sistema particolarmente flessibile nella scelta del tracciato dello sbarramento e permette di seguire in modo quasi perfetto l'attuale profilo dei fondali delle bocche di porto, vedi figure 16 e 17, che mostrano una possibile realizzazione della chiusura della bocca di Lido con l'eliminazione dell'isola artificiale di fronte al "Bacan". Questo permette una riduzione drastica dei volumi di dragaggio previsti dal MOSE per lo sbancamento a fondale costante e alle quote massime di progetto, dovuto sia alla minore sezione della base di fondazione, sia alla variabilità del fondale di scavo.

- Il progetto rispetta tutti i requisiti imposti dalla legge speciale ed in particolare la gradualità, la sperimentabilità e la reversibilità che il MOSE, per l'utilizzo della paratoia spingente e la sua concezione monolitica (può essere operativo solo se costruito interamente), non rispetta né potrà mai rispettare. La figura 18 mostra uno sbarramento parziale della bocca di porto, in fase di realizzazione delle opere (progressività e sperimentabilità), e la figura 19 mostra la rimozione di un modulo di base (reversibilità). Si fa inoltre presente che, lo sbarramento parziale delle bocche durante la vita operativa delle opere porterebbe ad una riduzione consistente del numero di acque alte nel centro storico, riducendo in modo drastico il numero di chiusure totali delle bocche e le interruzioni della navigazione, e pertanto renderebbe non più necessarie le conche di navigazione.
- La notevole riduzione dei volumi di dragaggio, che per il Mose ammontano complessivamente a circa 7 milioni di metri cubi e che, oltre alla riduzione dei tempi e dei costi di realizzazione, comporta una drastica riduzione dell'impatto ambientale durante la costruzione.
- E' stata effettuata una verifica sperimentale con prove su modello scala 1/20 in Vasca Navale della Paratoia della Bocca di Malamocco

La figura 20 mostra il modello della paratoia usato nelle prove, e la tabella di figura 21 mostra sinteticamente le condizioni di prova esplorate.

I risultati sperimentali hanno confermato i dati di progetto assunti per lo Studio di Fattibilità, ed in particolare l'ottimo comportamento dinamico della Paratoia a Gravità, che ha un periodo proprio di oscillazione ben sopra il periodo delle formazioni ondose nelle Bocche di Porto, eliminando i problemi connessi alla risonanza del sistema di paratoie, che quando sono presenti, come nel caso del MOSE, pongono seri problemi per la progettazione e portano, comunque, ad un sovradimensionamento dell'intero sistema.

Sulla base di quanto descritto, si ritiene che un progetto basato sulla paratoia a gravità, che ne utilizzi tutte le caratteristiche ed i vantaggi, porti ad ulteriori sostanziali risparmi nei costi di realizzazione ed esercizio del sistema di protezione. Inoltre la semplicità della soluzione proposta, che utilizza sistemi, procedure, e componenti, ampiamente sperimentati dai proponenti, consente una riduzione dei tempi di progettazione esecutiva ed una drastica accelerazione della realizzazione delle opere che potranno compensare i tempi necessari per il completamento della fase di progettazione e portare in ogni modo, nel quadro complessivo del progetto, ad una riduzione considerevole dei tempi di realizzazione delle opere. A conferma di quanto detto è stato effettuato il progetto di massima del sistema di sbarramento con opere completamente in acciaio.

### **3.2 Soluzione tutta in acciaio**

Per questa soluzione si sono fatte ipotesi per il posizionamento degli sbarramenti su fondali diversi. In particolare per la bocca di Malamocco è stata assunta una larghezza di 390 m ed un fondale di (12+1) m come indicato negli indirizzi Governativi del 1975, e per la bocca di Chioggia è stata assunta una larghezza di 390 m con un fondale di (7+1) m, come indicato nel piano regolatore del Porto (vedi figura 22). Per la bocca di Lido, in particolare, si è presa in esame una soluzione che prevede l'eliminazione dell'isola artificiale di fronte al "Bacan", spostando verso mare lo sbarramento e si sono esaminate due alternative. La prima prevede un cassone centrale che divide il canale in due: il primo tratto più profondo con fondale (9+1) m, compatibile col traffico navale attuale, e il secondo, su fondale variabile da 6 a 4 m, entrambi di 390 m; la larghezza totale della bocca nella sezione è di 980 m, considerando le strutture di spalla ed un cassone centrale di lunghezza 80 m che divide le due aperture e ne rappresenta l'interfaccia, passando dal fondale di 9 m a quello di 6 m, vedi le figure 16 e 17.

La seconda alternativa prevede l'eliminazione del cassone centrale, realizzando una barriera unica a scomparsa totale che segue perfettamente l'attuale profilo della bocca, vedi figura 23 che mostra la sezione della bocca di 990 metri e la barriera completa da due prospettive, con i moduli di base in trincea prima della stabilizzazione del fondale.

Per le bocche di Chioggia e Malamocco si è scelto di realizzare la base di fondazione con moduli di lunghezza pari a 130 m ed ogni modulo supporta una schiera di 5 paratoie di lunghezza 26 m.

Per la Bocca di Lido le due alternative prevedono rispettivamente:

- La realizzazione della base di fondazione con moduli di lunghezza pari a 130 m ed ogni modulo supporta una schiera di 5 paratoie di lunghezza 26 m. Tre moduli con fondale (9+1) metri per la parte alta e tre moduli con fondali da (3+1) a (4+1) metri per la parte bassa.
- La realizzazione della base di fondazione con quattro moduli di lunghezza pari a 120 m ed ogni modulo supporta una schiera di 4 paratoie di lunghezza 30 m. per il canale alla profondità di (9+1) m, e moduli di 90 m da profondità (8+1) a (3+1) per poter meglio seguire il fondale variabile della bocca.

Per quanto riguarda le profondità assunte, si tratta di ipotesi che dovranno essere confermate dagli organi competenti, ma si fa presente che la variazione positiva o negativa dei fondali di qualche metro, influisce solo marginalmente sui risultati del dimensionamento effettuato.

La soluzione tutta in acciaio prevede un impiego di materiali di costruzione molto ridotto, e i moduli con le rispettive paratoie, possono essere costruiti completamente in cantieri navali esistenti, riducendo drasticamente i tempi e i costi di realizzazione. Per inciso si fa notare che possono utilizzare tutti i cantieri dell'area veneziana e più in generale del Nord- Est, con l'impiego di tecniche consolidate e manodopera specializzata che assicurano tempi di costruzione certi, che abbiamo stimato in circa 2 anni.

La costruzione fuori opera e in cantieri attrezzati e qualificati, elimina completamente tutti i problemi posti dalla realizzazione dei cantieri di costruzione delle strutture in c. a. temporanei e che devono essere demoliti a fine costruzione e riduce al minimo i cantieri per la posa in opera del MOSE. I vantaggi dal punto di vista dell'impatto ambientale sono enormi ed evidenti.

Il trasporto viene fatto in galleggiamento, con pescaggi estremamente ridotti (vedi figura 24/1) e con normali rimorchiatori portuali.

I lavori di installazione riportati in modo schematico nelle figure 24/2, 24/3 e 25/4, 25/5, e 25/6 sono ridotti al minimo e comprendono:

- Preparazione delle trincee, il cui dragaggio è drasticamente inferiore a quello del MOSE perché le sezioni sono minime, e sono a quota di interro sensibilmente inferiori e seguono in modo quasi perfetto la batimetria dei canali. Inoltre la leggerezza delle strutture in acqua e i modesti carichi dinamici trasmessi dalle paratoie alle strutture di base, permettono fondazioni a gravità per i moduli di base, eliminando i 12000 pali di fondazione del MOSE.
- Installazione delle strutture di interfaccia, completi di tutti gli impianti, e dei tre moduli di base per ogni apertura, con tecniche ampiamente sperimentate ed utilizzate dai proponenti in numerosi progetti offshore. Anche i lavori di collegamento delle tubazioni di aria compressa sono minimizzati perché le paratoie sono installate completamente con le loro tubazioni nei cantieri di costruzione. Ovviamente l'installazione è completamente reversibile, ed i proponenti hanno esperienza operativa in questo campo, avendo progettato strutture a gravità rimovibili, e tra queste, una è già stata rimossa al completamento del suo ciclo di vita operativo.

La figura 26 mostra un modulo perfettamente interrato dopo la stabilizzazione del fondale.

### **3.3 Confronto Costi**

È stato effettuato un calcolo dei costi del progetto con la Paratoia a Gravità per un confronto con gli attuali costi del MOSE, come risulta dai documenti ufficiali di progetto. I risultati sono riportati nella tabella di figura 27, sia per la soluzione Paratoie in acciaio e Basi in cemento armato, sia per la soluzione tutta in acciaio.

Nella prima colonna sono riportati i costi del progetto MOSE, mentre la seconda colonna indica i costi di realizzazione del progetto con paratoie a gravità nelle stesse condizioni del MOSE.

Dal confronto si può evidenziare quanto segue:

- Una sostanziale riduzione dei costi dovuti alla riduzione dei pesi e dei volumi delle opere civili: basi e strutture laterali di interfaccia in c.a. con evidente impatto sui costi e i tempi di realizzazione (con una sostanziale riduzione delle operazioni di costruzione in opera).
- Una consistente riduzione dei costi dovuti alla riduzione dei pesi delle paratoie e delle cerniere.
- La riduzione drastica del costo degli impianti e delle parti meccaniche dovuta alla riduzione (almeno di un ordine di grandezza) della potenzialità degli impianti di azionamento con aria compressa in relazione ai minori volumi delle camere di manovra e delle relative pressioni di lavoro, e all'assenza dei connettori meccanici di bloccaggio alla struttura di base e del sistema di controllo, che tra l'altro sono elementi critici per l'affidabilità del sistema.

Riduzione proporzionale dell'incidenza dei costi dei corrispettivi per la progettazione ed oneri aggiuntivi, che incidono per il 50% del costo delle opere. In questa stima per le paratoie a gravità, si è assunta la stessa percentuale del Concessionario unico, anche se, a nostro avviso, tale percentuale non trova alcun riscontro nella prassi delle grandi opere offshore.

Per la soluzione tutta in acciaio, si è fatta una stima dei costi certi di costruzione ed installazione, utilizzando sia i costi unitari esposti dal CVN sia i costi di mercato ottenibili con gare d'appalto, evidenziando anche gli oneri aggiuntivi, usati dal CVN e quelli normalmente usati nella realizzazione delle grandi opere offshore.

I risultati sono presentati nella terza e quarta colonna della tabella in figura 27.

Per la soluzione tutta in acciaio, nella stima mancano i costi delle operazioni di dragaggio ed apporto materiali, della stabilizzazione dei fondali. Per quanto riguarda le conche di navigazione riteniamo che siano inutili in quanto, l'utilizzo della Paratoia a Gravità in acciaio, minimizza i periodi di occupazione delle bocche di porto durante la fase di installazione in opera; infatti le operazioni di dragaggio ed apporto materiali, la posa in opera dei moduli prefabbricati ed allestimento delle tubazioni e la stabilizzazione dei fondali, impegnano parzialmente le bocche di porto e per periodi limitati di tempo, ed inoltre, in fase di esercizio, un utilizzo ottimizzato delle chiusure parziali, rende veramente poche le chiusure totali e le conseguenti interruzioni del traffico navale.

Le stime per lo scavo e la stabilizzazione dei fondali si potranno effettuare facilmente se le nostre proposte saranno accettate e confermate, e qualora siano resi disponibili i dati geotecnici dei fondali delle bocche di porto.

I dati della tabella confermano la notevole riduzione delle risorse necessarie per la realizzazione delle opere, e anche la differenza dei costi che si hanno in un regime di Concessionario unico e quelli ottenibili con normali gare di appalto.

In buona sostanza con la Paratoia a Gravità, utilizzando al massimo le sue peculiarità, si possono realizzare le opere di chiusura delle bocche di porto con costi che sono di un ordine di grandezza inferiori, con tempi che sono un quarto di quelli dichiarati dal CVN, e nel rispetto di tutti i requisiti di progetto compresi la gradualità, la sperimentabilità e la reversibilità.

#### 4. Stato della Proposta

---

Il concetto di Paratoia a Gravità è stato identificato nel settembre 2000 e n'è stata depositata domanda di brevetto nell'aprile 2001. Il concetto è stato sviluppato, in una prima fase, a livello di studio di fattibilità ed è stato verificato anche con prove in vasca su modello nel giugno 2002. Lo studio di fattibilità è stato presentato prima al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, nel giugno 2002, e successivamente, nel settembre 2002, al CVN che ha incaricato il suo progettista Technital di fare un'analisi dello studio di fattibilità. La relazione tecnica di valutazione, emessa dalla Technital nel febbraio del 2003, non ha evidenziato elementi di non-fattibilità e di non-congruenza con i criteri di progetto imposti, eccettuati due aspetti marginali (uso di sommozzatori in fase di installazione e manutenzione) che sono stati in seguito chiariti positivamente; si fa notare che tra i requisiti di progetto esaminati dalla Technital, mancano i tre requisiti: gradualità, sperimentabilità e reversibilità, che come già detto la Paratoia a Gravità rispetta e il MOSE non rispetta.

Lo studio di fattibilità della Paratoia a Gravità e la relazione di valutazione Technital sono stati presentati dal CVN al Presidente del Magistrato alle Acque.

Nella lettera di trasmissione all'ing. Di Tella della relazione Technital, il CVN ha comunicato che la Commissione Tecnica del Magistrato alle Acque avrebbe valutato questa soluzione, insieme alle altre proposte ricevute, di soluzioni alternative al MOSE.

Nel luglio e nel dicembre del 2003 sono state inviate due lettere al Magistrato alle Acque, con richiesta di poter presentare ed illustrare le caratteristiche ed i vantaggi della soluzione proposta, ma ad oggi non abbiamo ricevuto risposta.

Nel febbraio 2004 è stata inviata al Magistrato alle Acque la nostra relazione dal titolo "*Commento sulla valutazione effettuata da Technital sulla Paratoia a Gravità e confronto con il MOSE*", di nuovo senza riscontro.

Il progetto è stato successivamente inviato anche all'Assessorato alla legge speciale del Comune di Venezia e alla Commissione Consiliare Comunale per la legge speciale.

Nel novembre 2004 è stato concesso il brevetto di invenzione industriale al sistema di Paratoie a Gravità.

Nel gennaio 2005 il progetto di massima è stato presentato alla Commissione Consiliare per la legge speciale del Comune di Venezia.

La prima stesura della relazione di sintesi sul progetto di massima è stata inviata al Magistrato alle Acque il 14 febbraio 2005.

## 5. Conclusioni

La configurazione delle Paratoie a Gravità e le procedure d'installazione ed operative descritte, presentano, a parità di condizioni di progetto rispetto alle paratoie proposte dal CVN, una serie di vantaggi di cui si elencano i principali:

- La minimizzazione dei carichi di pressione differenziale sulla paratoia e sulle pareti delle camere di zavorra e manovra, consente di ridurre al minimo il peso strutturale.
- La possibilità di ridurre al minimo il volume della camera di manovra, implica una riduzione di peso della paratoia nel suo complesso e degli impianti di azionamento, con riduzione dei tempi delle manovre e sui costi di realizzazione e d'esercizio degli stessi.
- I minimi volumi di aria compressa in gioco consentono di ridurre di un ordine di grandezza la potenza elettrica necessaria per la compressione.
- La riduzione dei tempi di manovra permette la chiusura delle bocche in tempo quasi reale compatibile con l'incremento di livello di sessa causato dalla chiusura stessa. Questo consente di operare su tempi di previsione ridotti rispetto a quelli del Mose per il quale l'operazione deve essere iniziata con notevole anticipo, e quindi di ridurre sia il numero che la durata delle chiuse, con conseguente minor impatto sia sul regime idrodinamico della laguna che sulle attività portuali.
- Il principio di funzionamento ed il volume minimo della camere di spinta e di zavorra incidono favorevolmente sul comportamento dinamico in moto ondoso della paratoia, eliminando il possibile insorgere di fenomeni di risonanza e ne garantisce un comportamento "quasi statico".
- La realizzazione dell'appoggio/incastro della trave ausiliaria sulla base, consente una facile e sicura procedura d'installazione, ed elimina la necessità di installare sott'acqua elementi meccanici di forza come quelli adottati nel Progetto del CVN.
- L'assenza del tunnel nella base di fondazione consente la riduzione dei volumi delle strutture di base, l'eliminazione delle strutture laterali per l'accesso al tunnel, l'eliminazione delle operazioni di rottura dei diaframmi tra i moduli di base e di installazione di impianti sottomarini.
- L'effettiva modularità delle strutture di base consente di rispettare i requisiti di gradualità e sperimentabilità nella realizzazione delle opere e una reversibilità delle operazioni di installazione dei moduli di base, che oltre

a rispettare un requisito fondamentale di progetto, rappresenta una garanzia di sicurezza ed affidabilità delle opere nel tempo, consentendo interventi di riparazione in caso di eventi eccezionali, imprevedibili e/o imprevisti in fase di progetto.

- La verifica sperimentale, effettuata con prove in moto ondoso su modello in scala 1/20 presso la Vasca Navale dell'Università di Trieste, ha confermato la validità delle assunzioni di progetto utilizzate per lo Studio di Fattibilità e successivamente per il Progetto di Massima, e l'ottimo comportamento dinamico della paratoia.
- Il Progetto di Massima della soluzione tutta in acciaio, conferma la flessibilità e la versatilità della Paratoia a Gravità per la realizzazione del sistema di dighe mobili per la protezione della laguna veneta dalle acque alte, e presenta vantaggi straordinari rispetto alla soluzione MOSE, progettata dal CVN.

**Gli aspetti più importanti e qualificanti sono:**

- Rispetto di tutte le condizioni di progetto imposte dalla legge speciale ed in particolare dei tre requisiti: gradualità, sperimentabilità e reversibilità.
- La soluzione proposta, innovativa nella concezione, utilizza componenti, sistemi, procedure e metodologia di progettazione che sono standard nell'ingegneria marina ed offshore e fanno parte del bagaglio professionale dei proponenti.
- Riduzione di un ordine di grandezza dei costi di realizzazione con tempi che sono un quarto di quelli previsti per il MOSE.
- Eliminazione dei cantieri di costruzione in opera dei cassoni di base, e delle opere di interfaccia.
- Procedura d'installazione semplice, sicura ed affidabile e relativa riduzione dei tempi e dei costi di installazione e manutenzione.
- Assenza di elementi meccanici sulle basi e concentrazione sulle paratoie di tutti i componenti che necessitano di manutenzione, con notevole vantaggio sull'affidabilità del sistema, oltre alla eliminazione dei relativi costi.
- Riduzione dei costi di realizzazione e d'esercizio degli impianti.
- Flessibilità di posizionamento delle barriere con possibilità di seguire il profilo batimetrico delle bocche di porto, che per la bocca di Lido porta all'eliminazione dell'isola artificiale del Bacan prevista dal MOSE.
- Riduzione dell'impatto ambientale in fase di costruzione:
- Eliminazione dei 12000 pali di fondazione, eliminazione dei cantieri di prefabbricazione in opera dei moduli di base, eliminazione dei cantieri in opera per la costruzione delle strutture di interfaccia, drastica riduzione dei circa 7 milioni di metri cubi di scavo, tempi di costruzione drasticamente ridotti, con impatto minimo sulle attività portuali.
- Riduzione dell'impatto ambientale in fase d'esercizio:
- Eliminazione dell'isola artificiale del Bacan, e delle conche di navigazione, che richiedono la demolizione parziale delle dighe foranee, permettono il rispetto totale del paesaggio. Il rispetto degli attuali fondali delle bocche di porto, ovvero una loro rimodellazione e un utilizzo adeguato delle chiusure parziali delle bocche, portano ad una riduzione drastica del numero e della durata delle chiuse, riducendo al minimo l'effetto delle opere e delle operazioni di chiusura sullo scambio mare/laguna, e sull'attività portuale.
- Il modesto impatto sui costi del sistema di più onerose condizioni di progetto, consente di assumere margini più ampi per i valori previsionali limiti del dislivello di marea, che possono verificarsi per incremento del livello medio mare, dovuto al riscaldamento per l'effetto serra: è stata verificata la possibilità di dimensionamento del sistema di protezione per una marea di progetto massima di 4 m (dislivello = 3 m).
- Possibilità, se in futuro ce ne fosse la necessità, di riposizionare le barriere a quote più elevate rispetto a quelle di progetto, per conservare o modificare, a seconda dei casi, il raggio idraulico delle sezioni delle bocche di porto, con costi relativamente modesti.

In estrema sintesi la Paratoia a Gravità permette di realizzare le opere di difesa nel rispetto di tutti i requisiti di progetto presentando, rispetto al MOSE, notevoli e determinanti vantaggi in relazione a:

- Sicurezza ed efficacia di funzionamento e semplicità delle procedure di controllo
- Effettiva flessibilità di adattamento ai profili delle bocche e a condizioni operative variabili nel tempo
- Impiego di componenti e tecnologie costruttive tutte già disponibili e sperimentate
- Requisiti minimi per la potenza degli impianti di azionamento ed accessori
- Entità notevolmente ridotta dei volumi di dragaggio e disturbo minimo della stratigrafia dei fondali
- Estensione minima delle superfici di colmata
- Uso delle capacità costruttive qualificate già presenti nell'area regionale
- Eliminazione totale dei cantieri di prefabbricazione per i moduli in c.a. che hanno un impatto devastante sull'ambiente naturale e sociale dell'area lagunare
- Costi di realizzazione e manutenzione inferiori di un ordine di grandezza
- Tempi di realizzazione minimi e certi
- Riduzione drastica dell'impatto ambientale

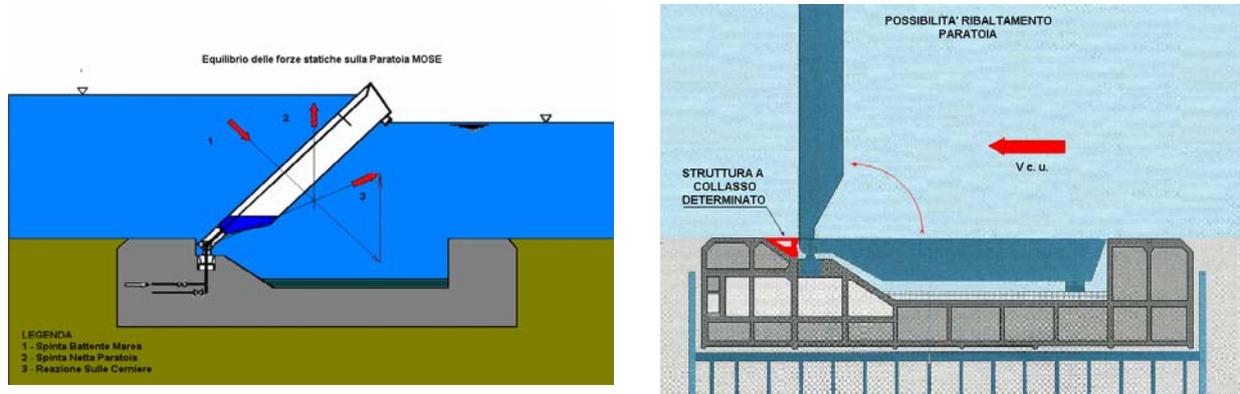


Fig1

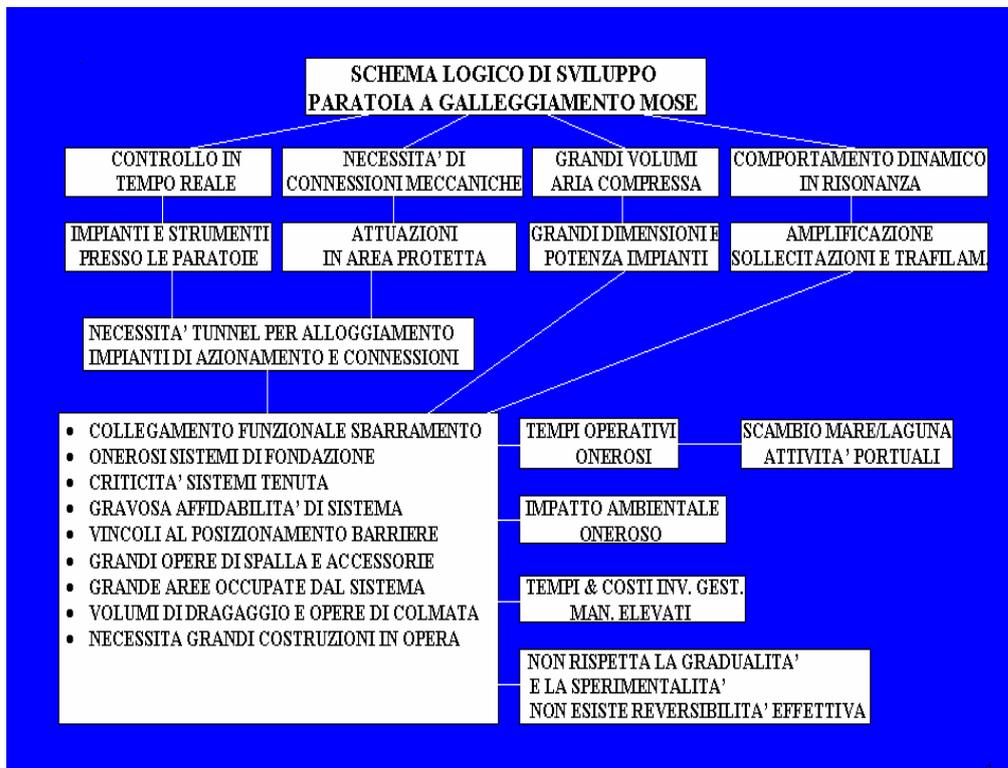


Fig2

Equilibrio delle Forze Statiche sulla Paratoia a GRAVITA'

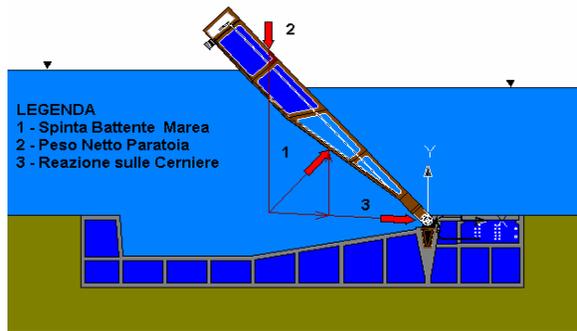


Fig3

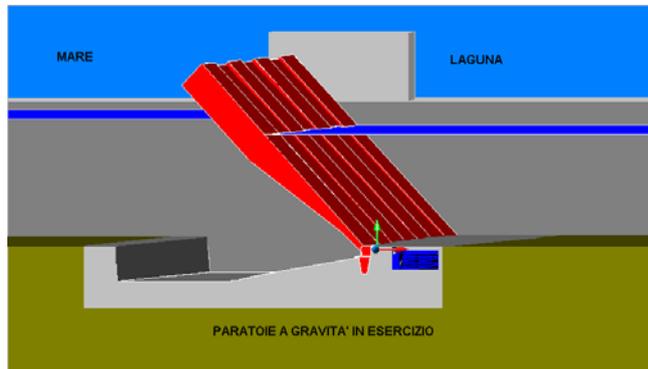


Fig4

PARATOIA IN CONDIZIONE DI RIPOSO, BOCCA DI PORTO APERTA



Fig5

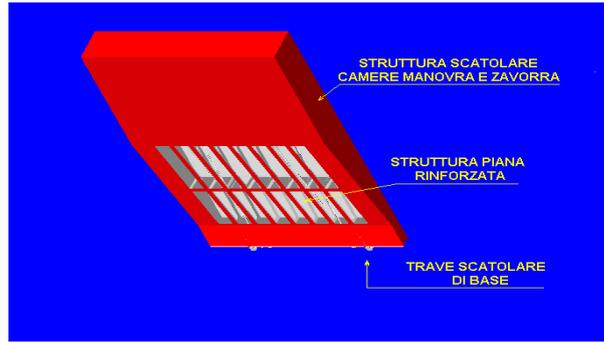


Fig6

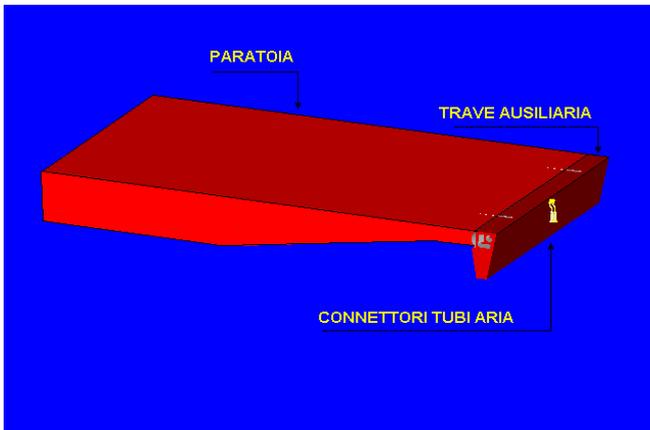


Fig7

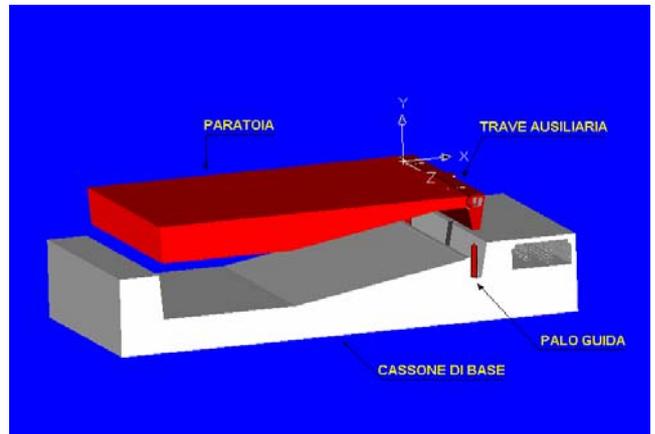


fig8

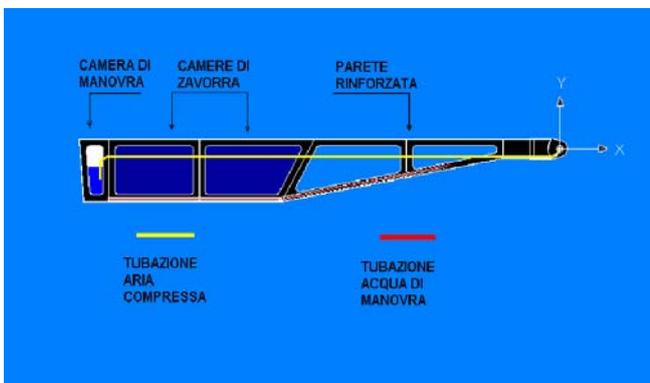


Fig9

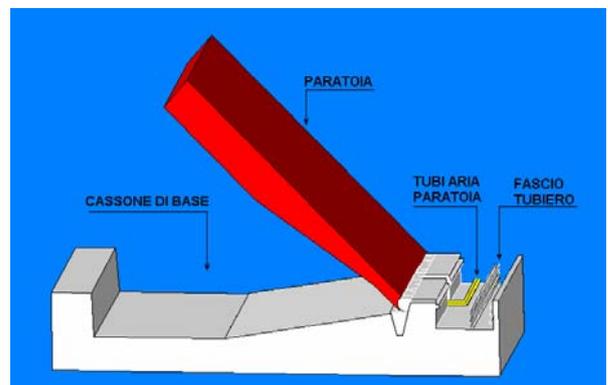


Fig10



Fig11

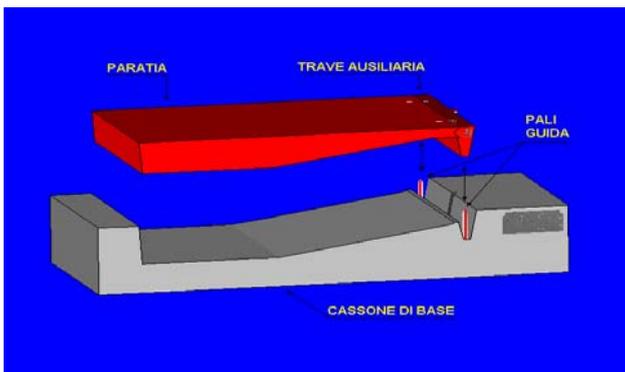


Fig12

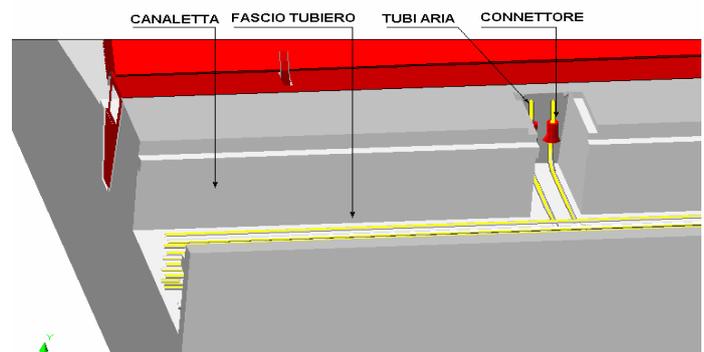
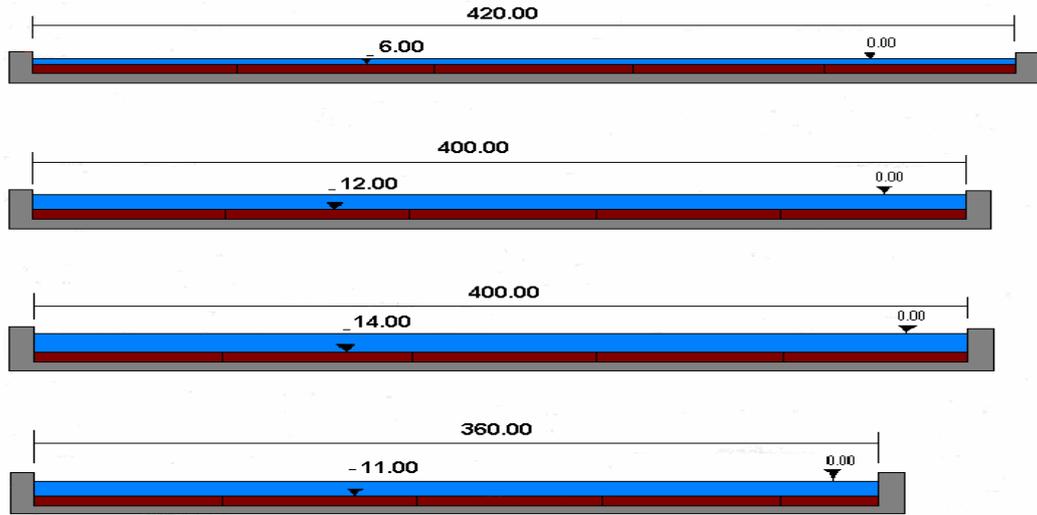


Fig13



BOCCHIE DI PORTO: TREPORTI, CHIOGGIA, MALAMOCCO e S. NICOLO'  
Fig14

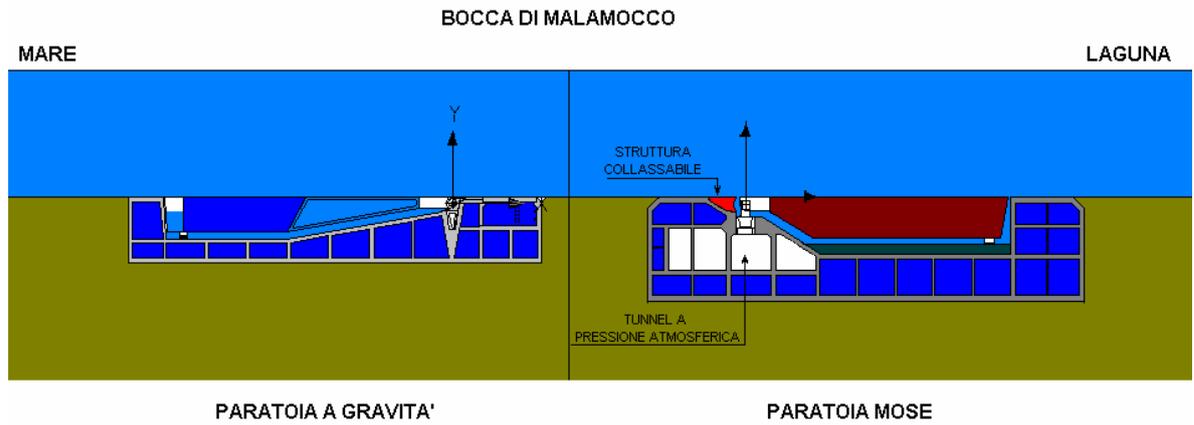


Fig15



Fig16

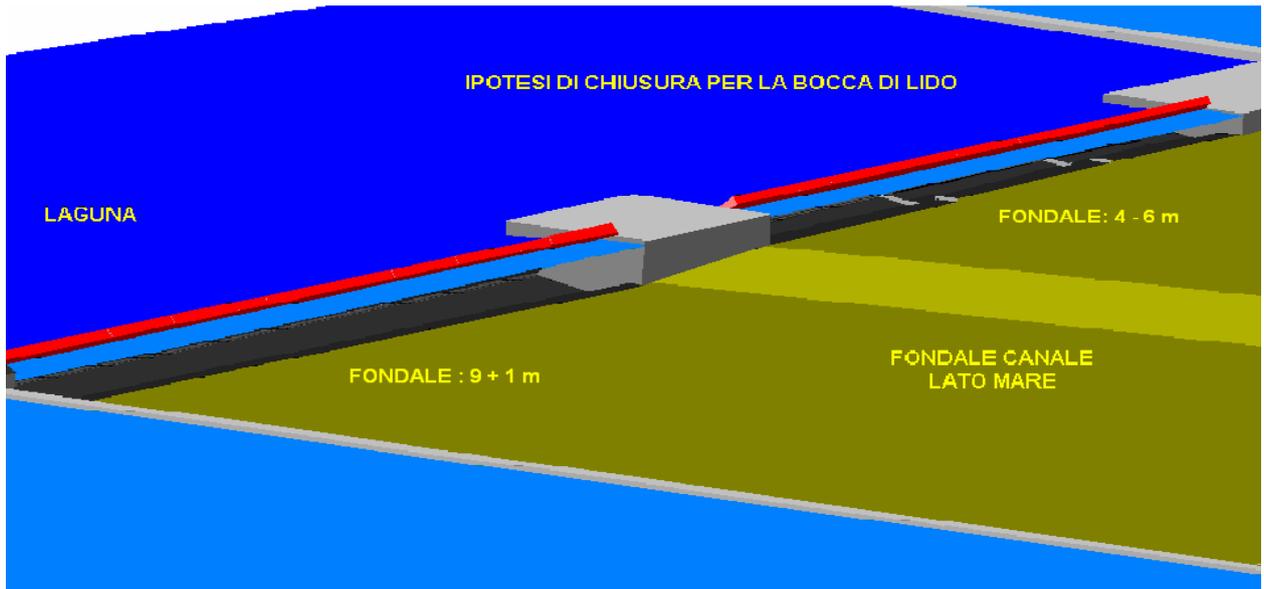


Fig17

GRADUALITA' E SPERIMENTALITA'  
CHIUSURA PARZIALE DELLA BOCCA DI PORTO

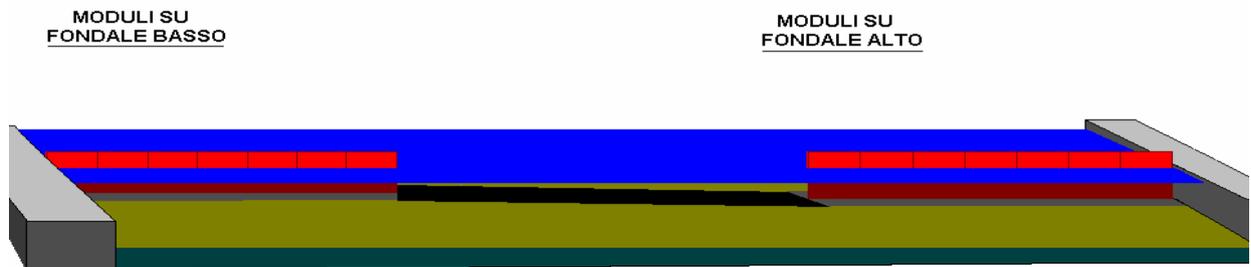


Fig18

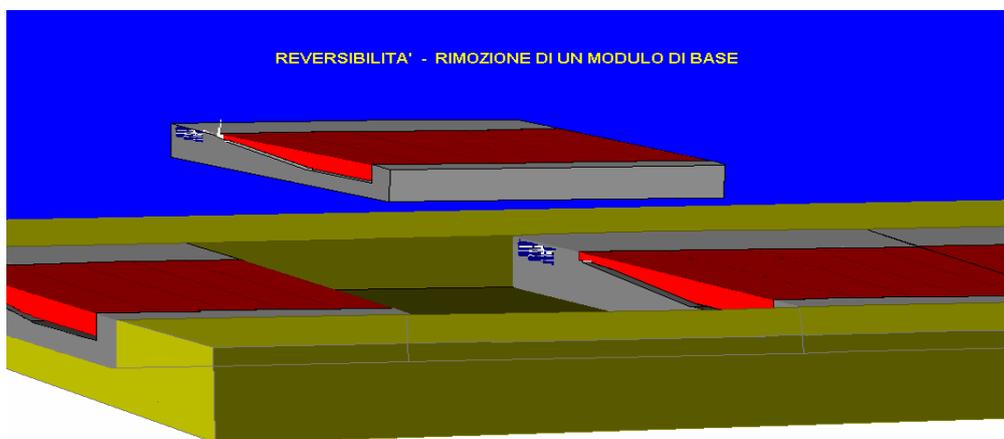


Fig19

SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

PROVE IN VASCA



ONDA: H=2m, T=4sec.



ONDA: H=4m, T=4sec.

Fig20

PROGRAMMA PROVE

- PROVA DI OSCILLAZIONE
- PROVE IN MOTO ONDOSO REGOLARE
- PROVE CON CORRENTE

PROVE IN MOTO ONDOSO - CONDIZIONI DI PROVA

T (sec)	4	5	6	8
H = 1m	x	x	x	x
H = 2m	x	x	x	x
H = 3m	x	x	x	x
H = 4m	x	x		

Fig21

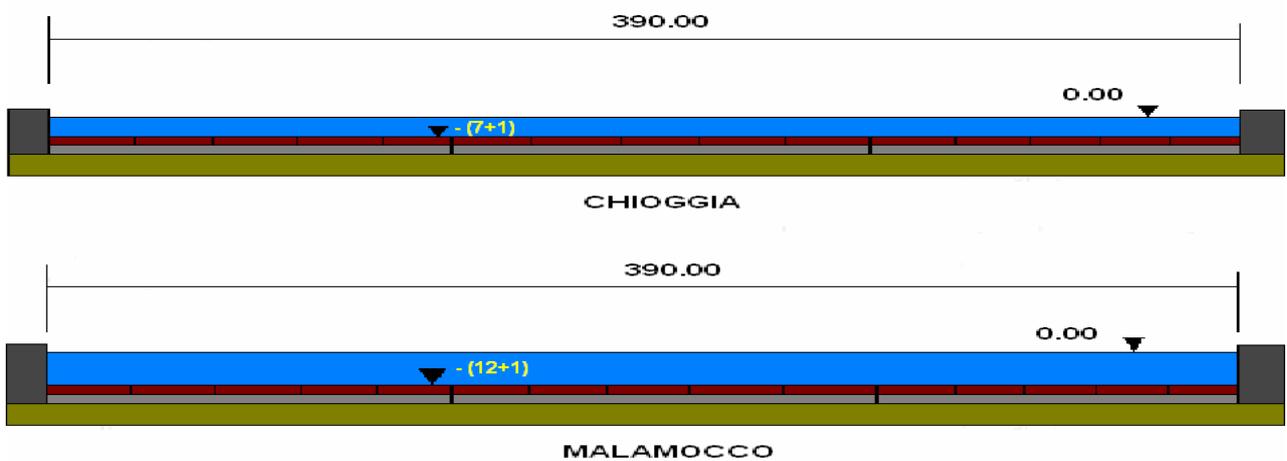


Fig22

### BOCCA DI LIDO

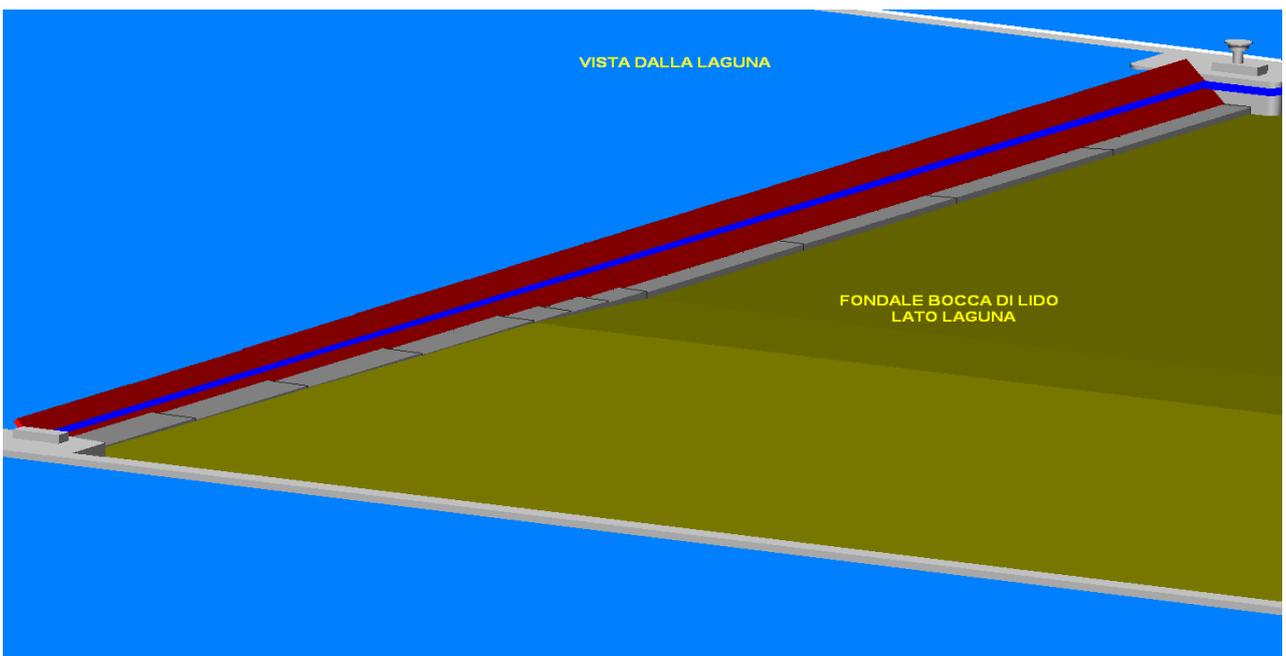
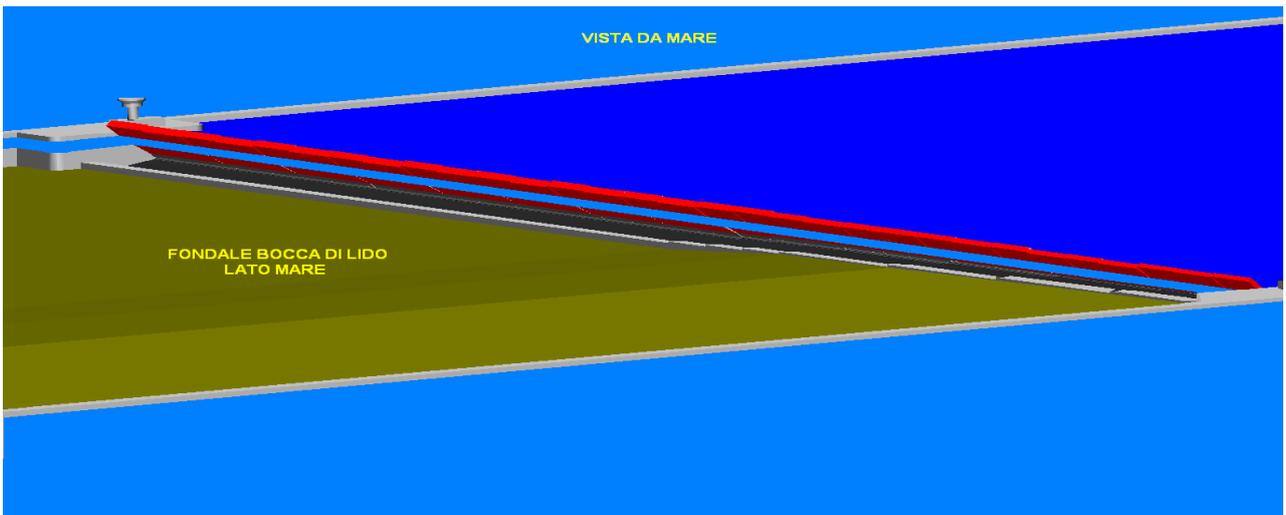
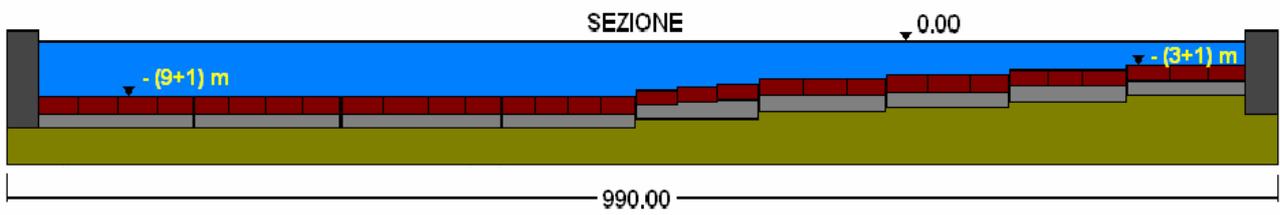


Fig23

PROCEDURE DI TRASPORTO E INSTALLAZIONE



Fig24

PROCEDURE D'INSTALLAZIONE

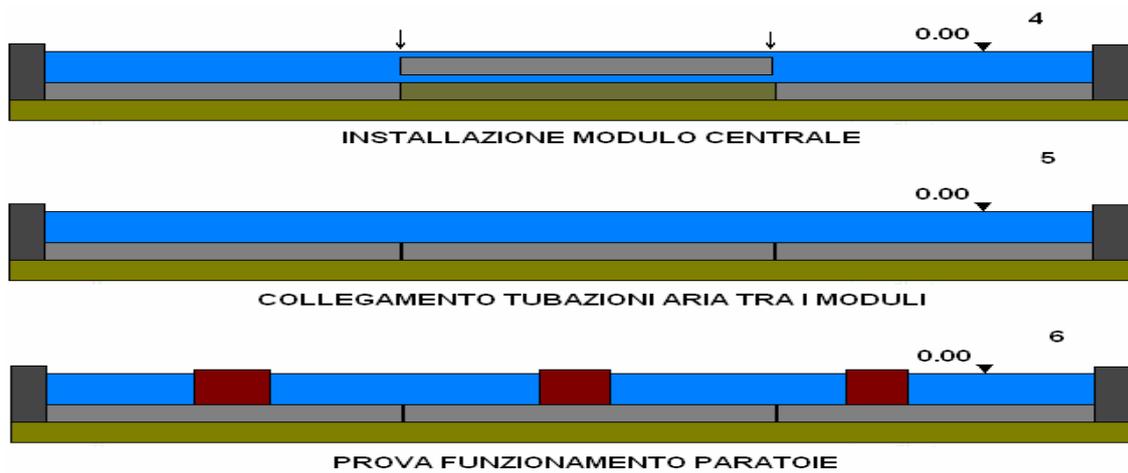


Fig25

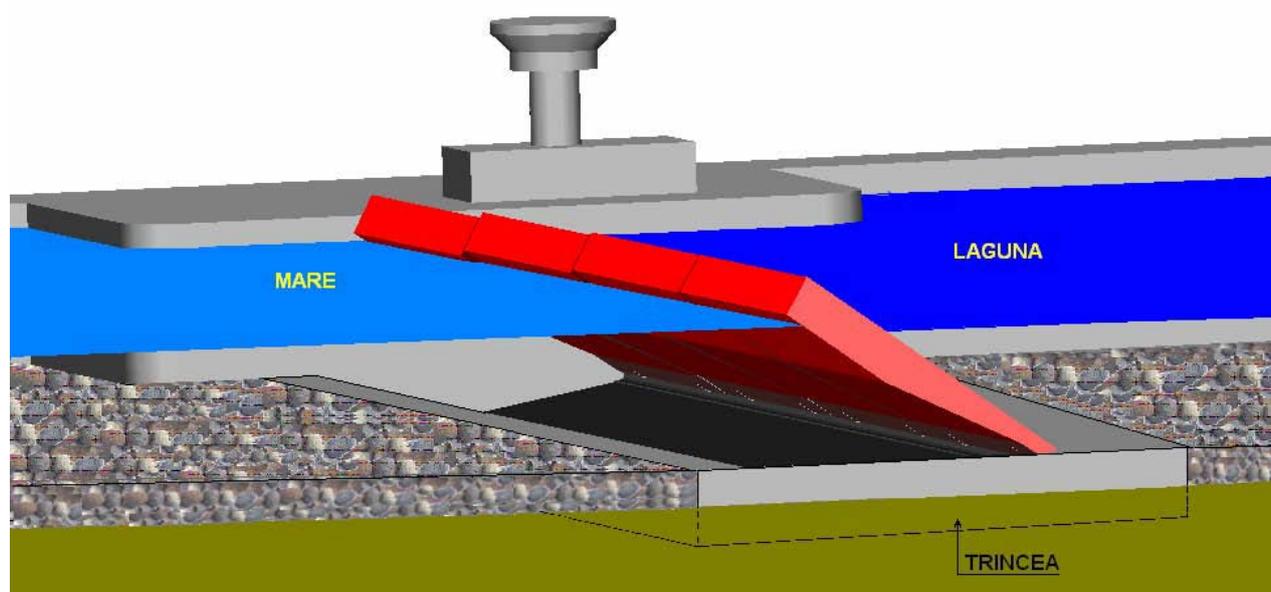


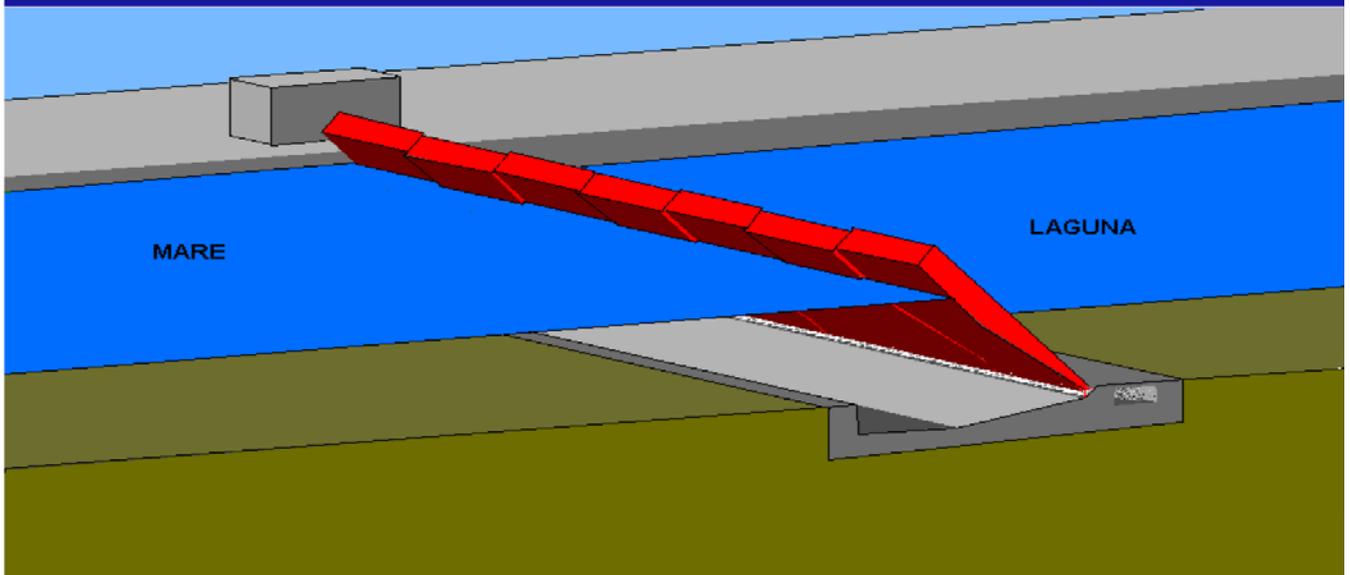
Fig26

<b>STIMA COSTI (10<sup>6</sup>)€</b>				
	<b>MOSE</b>	<b>GRAVITA' 1</b>	<b>GRAVITA' 2</b>	<b>GRAVITA' 3</b>
<b>Opere Civili Barriere</b>	<b>1428</b>	<b>848</b>	<b>392.4</b>	<b>240</b>
<b>Paratoie e Cerniere</b>	<b>290</b>	<b>208</b>		
<b>IMPIANTI (Inclusi Conn. Mecc.)</b>	<b>265</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Opere Compl. Conca Nav.</b>	<b>313</b>	<b>286</b>		
<b>Trasporto e Installazione</b>			<b>60</b>	<b>60</b>
<b>Costo Tot. Opere</b>	<b>2296</b>	<b>1382</b>	<b>502.4</b>	<b>350</b>
<b>Corrisp. e Op. Aggiuntive (%)</b>	<b>1144</b>	<b>688</b>	<b>251.2</b>	<b>52.5</b>
<b>TOTALE</b>	<b>3440</b>	<b>2070</b>	<b>753.6</b>	<b>402.5</b>

1- Paratoia equivalente al MOSE(costi Concessione)  
 2- Paratoia tutta in ACCIAIO (costi Concessione)  
 3- Paratoia tutta in ACCIAIO (costi Gara di Appalto)

Fig27

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'



**BREVETTO N° 0001324484 : Ing. V. Di Tella**  
**PROGETTO DI MASSIMA: Ingg. V. Di Tella, G. Sebastiani, P. Vielmo**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE

**IL MOSE**

**IL CONCETTO**

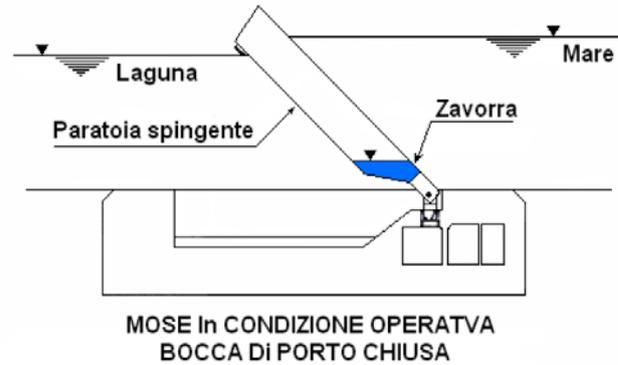
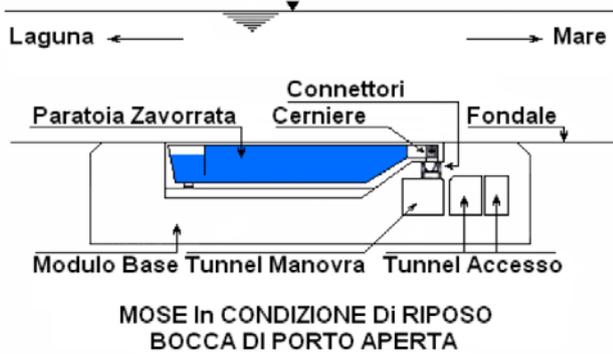
**LE SCELTE TECNOLOGICHE**

**IL "PROGETTO DEFINITIVO"**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

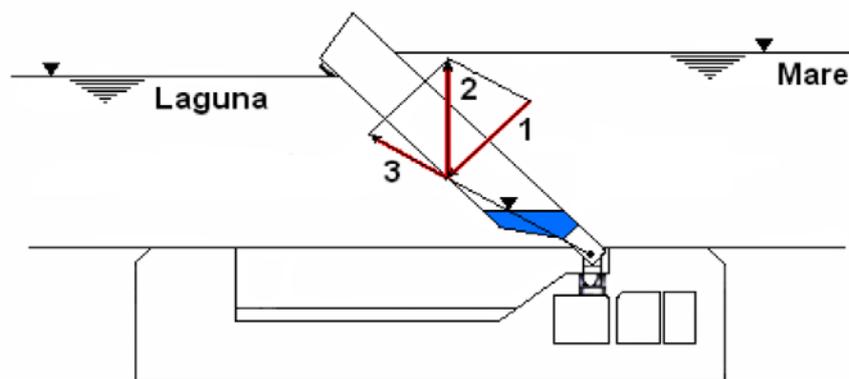
## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE IL MOSE CONFIGURAZIONE GENERALE



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE

### MOSE - EQUILIBRIO DELLE FORZE STATICHE



**MOSE In CONDIZIONE OPERATIVA  
BOCCA DI PORTO CHIUSA**

**LEGENDA:**

- 1 - Azione Battente Idrostatico
- 2 - Spinta Netta Paratoia
- 3 - Azione sulle Cerniere



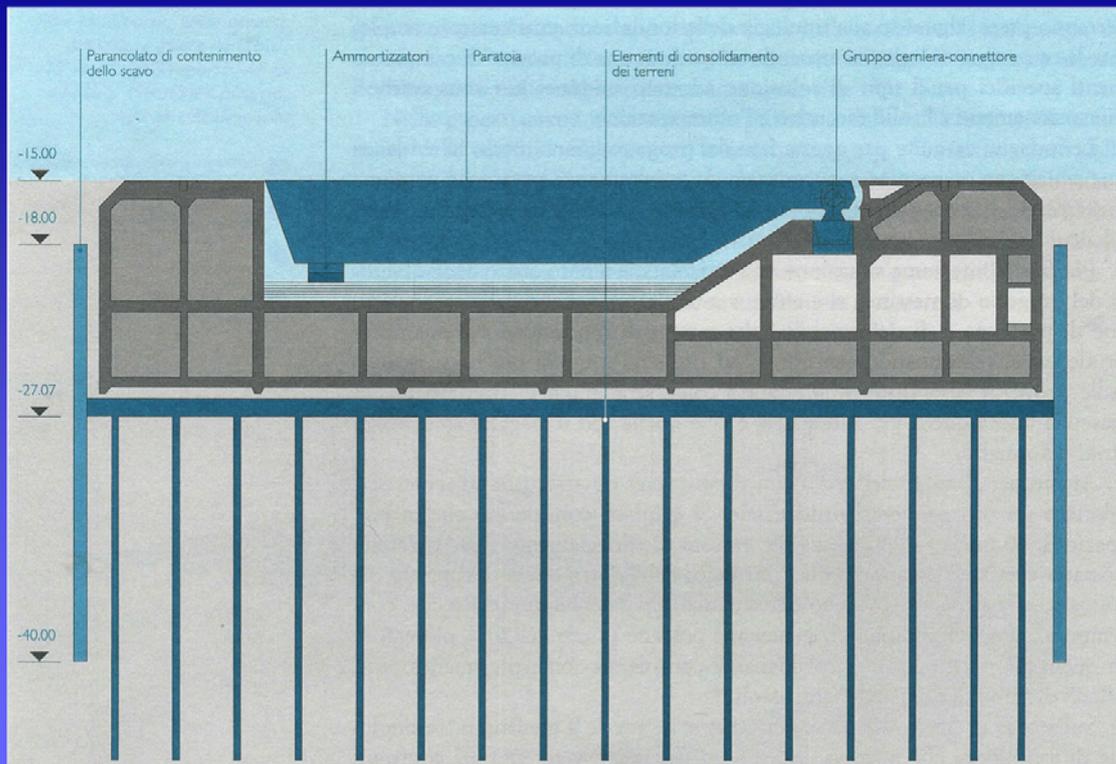
Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE

### SCHEMA LOGICO DI SVILUPPO PARATOIA A GALLEGGIAMENTO MOSE

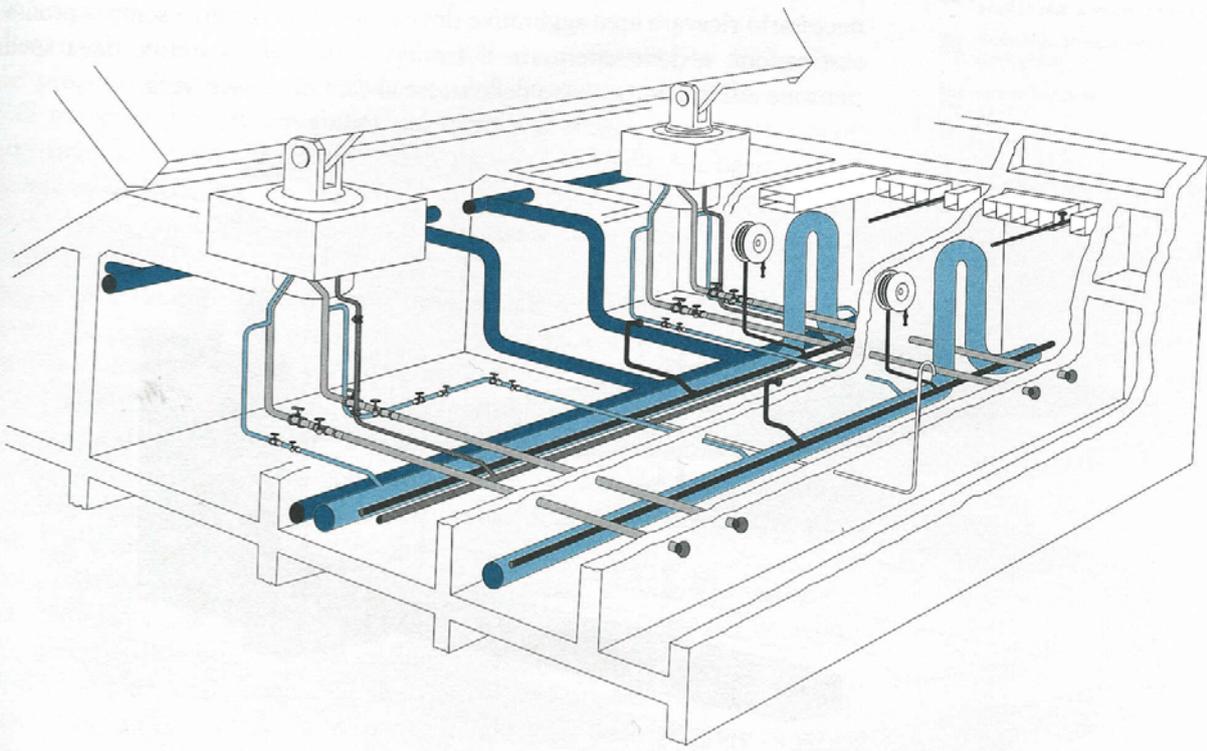


## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE



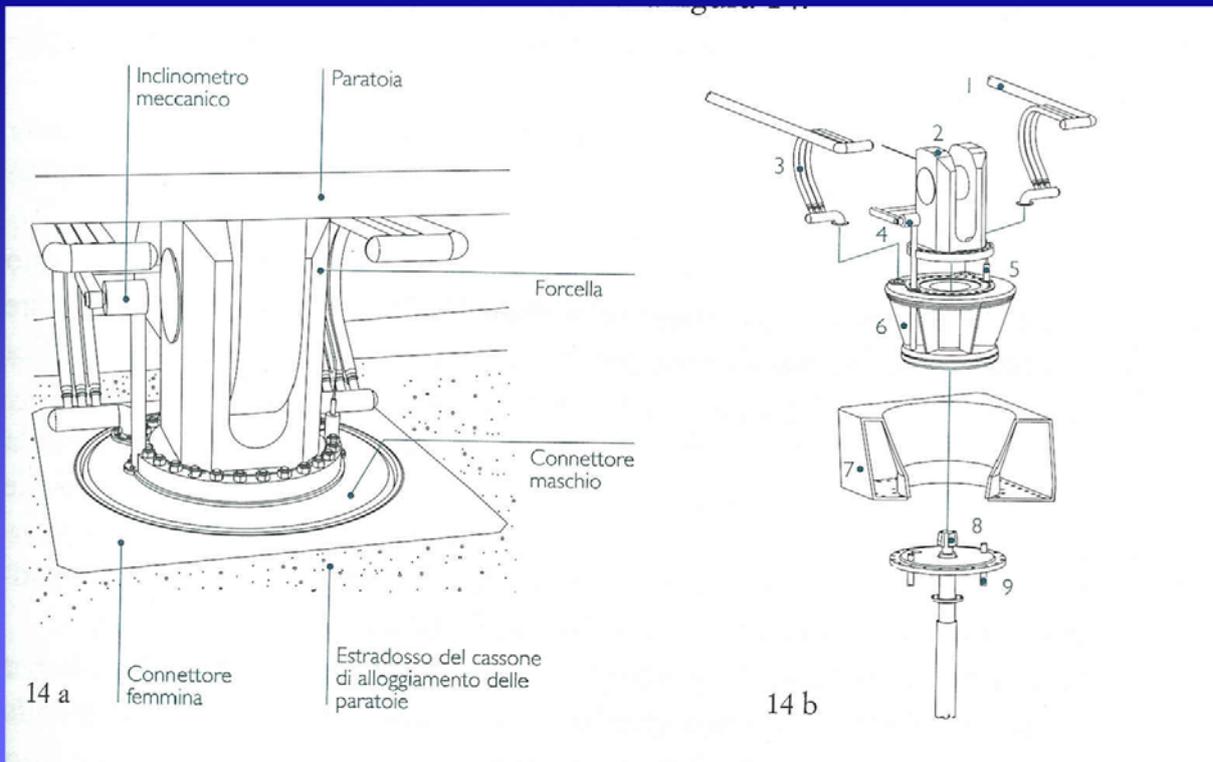
Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE



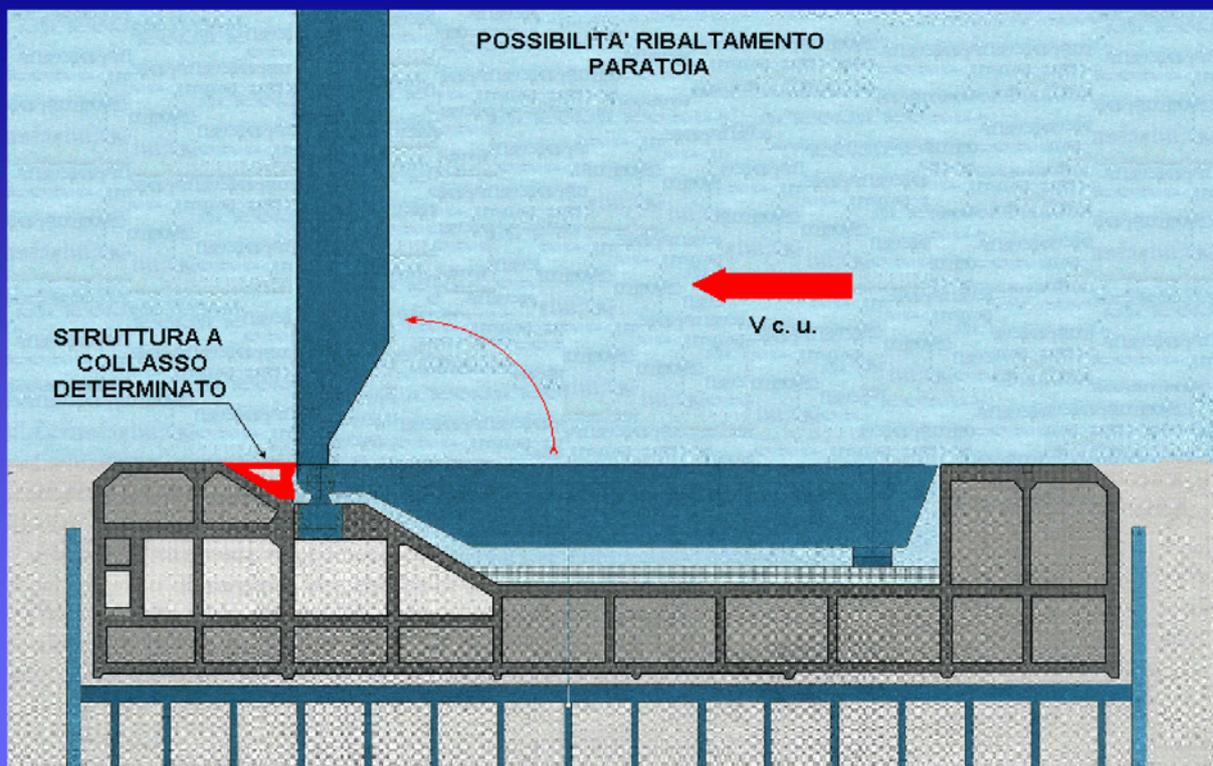
Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE IL MOSE, IL CONCETTO E LE SCELTE TECNOLOGICHE

### IL CONCETTO

**REAZIONE ALLE FORZE DI MAREA PER SPINTA DI GALLEGGIAMENTO  
E APERTURA IN SENSO OPPOSTO ALLA MAREA**

### LE CONSEGUENZE

- **Comportamento intrinsecamente instabile**
- ▶ **necessità di controllo dei volumi di spinta in tempo reale**
- **Grandi volumi di aria in gioco e necessità di variazioni rapide**
- ▶ **azionamenti (valvole) in prossimità delle cerniere delle paratoie**
- **Inversione dei carichi sulle cerniere**
- ▶ **necessità di vincoli meccanici sconnettibili (connettori, necessità di manutenzione continua, tunnel sottomarino a pressione atmosferica)**
- **La spinta di contrasto alla marea solo nella parte immersa della paratoia**
- ▶ **necessità di grandi volumi immersi con piccolo braccio di leva delle forze idrostatiche, ▶ impatto sul comportamento dinamico (risonanza: funzionamento e problemi di progettazione)**
- **L'energia per contrastare il carico idrostatico della marea è fornita dalla spinta della Paratoia e deve essere modulata in funzione delle condizioni ambientali, continuamente variabili**
- ▶ **impianti di grande potenza e complessa catena di controllo**
- ▶ **problemi di affidabilità**

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE

### IL "PROGETTO DEFINITIVO" DEL MOSE:

- **NON RISPETTA TRE REQUISITI IMPOSTI DALLA LEGGE SPECIALE GRADUALITA' SPERIMENTALITA' REVERSIBILITA'**
- **NON HA DEFINITO I PRINCIPI PER IL CALCOLO STRUTTURALE DEI COMPONENTI**
- **UTILIZZA COMPONENTI E PARTICOLARI STRUTTURALI MAI SPERIMENTATI (NON SE NE CONOSCE IL COMPORTAMENTO NEL TEMPO)**
- **ALCUNI COMPONENTI CRITICI DEL SISTEMA NON SONO DEFINITI NEPPURE A LIVELLO CONCETTUALE**
- **IL PERIODO DI OSCILLAZIONE DELLA PARATOIA E' IN RISONANZA CON LE ONDE DELLO SPETTRO DI PROGETTO**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE

### LA DIFESA DELLA LAGUNA VENETA

### LA PARATOIA A GRAVITA'

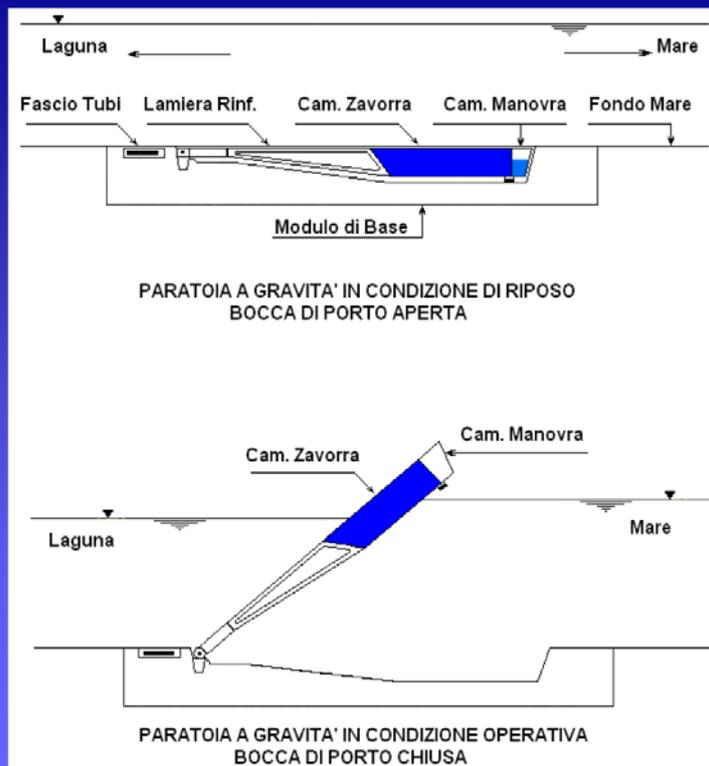
### IL CONCETTO, LE SCELTE TECNOLOGICHE

**Ingg. V. Di Tella, G. Sebastiani, P. Vielmo**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

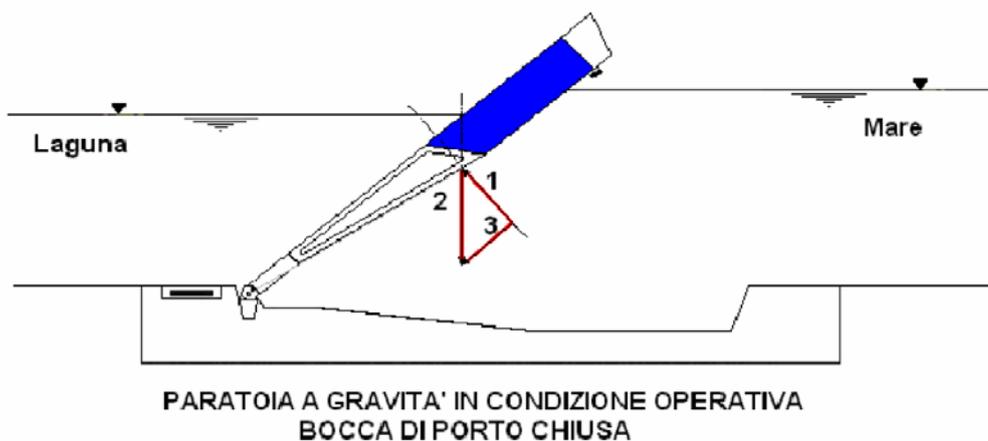
## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE

### PARATOIA A GRAVITA' - EQUILIBRIO FORZE SRATICHE



#### LEGENDA:

- 1 - Spinta battente Idrostatico
- 2 - Peso netto (P-S)
- 3 - Azione sulle Cerniere



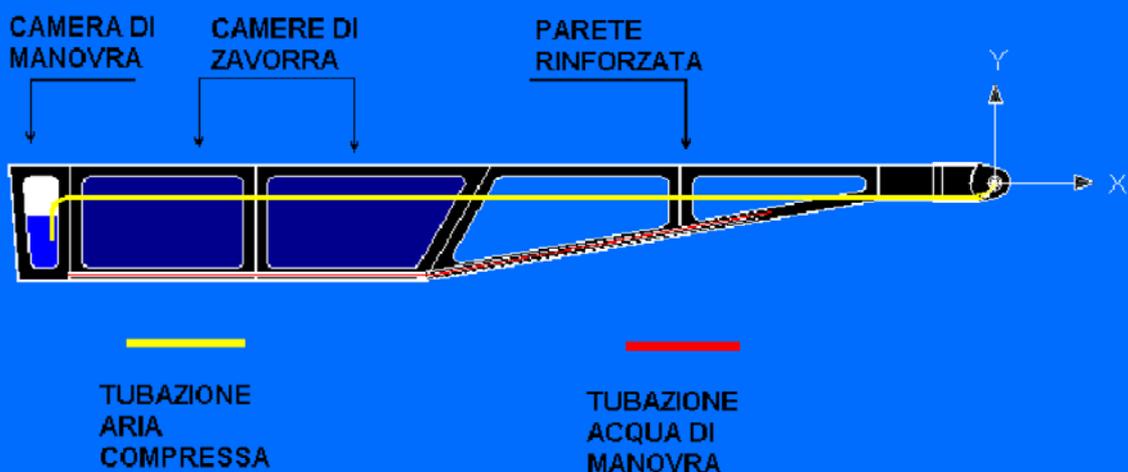
Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**

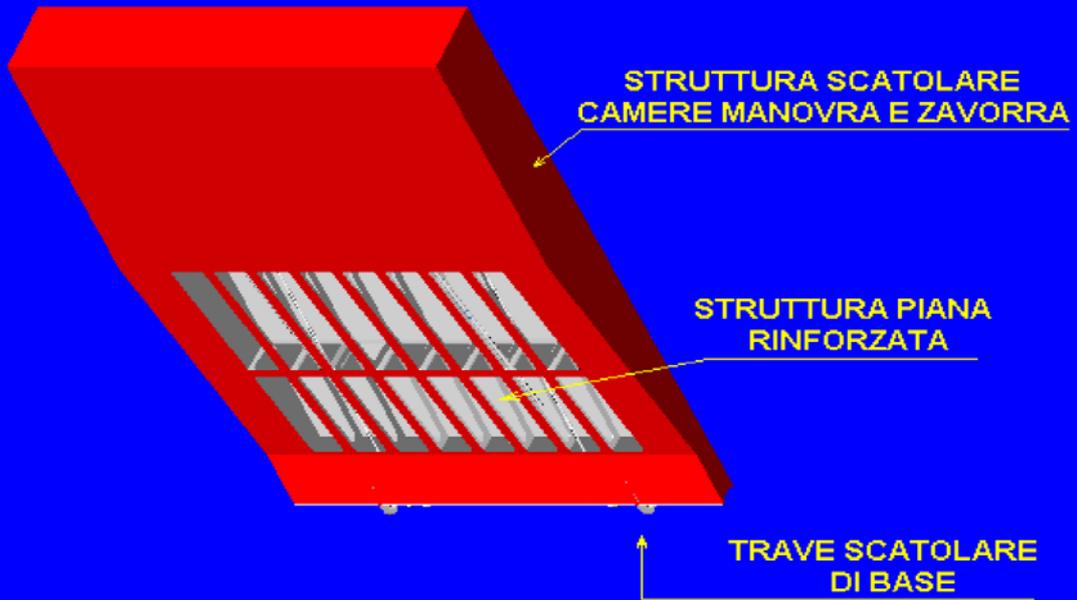
**SCHEMA LOGICO DI SVILUPPO  
PARATOIA A GRAVITA'**



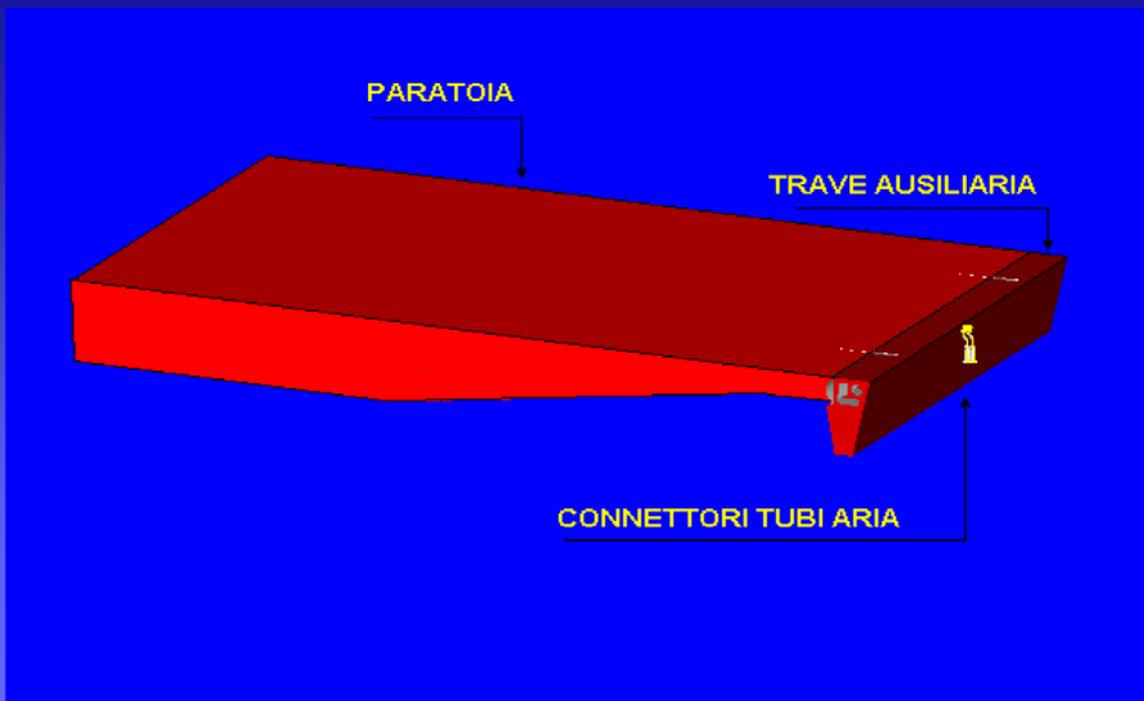
**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'**



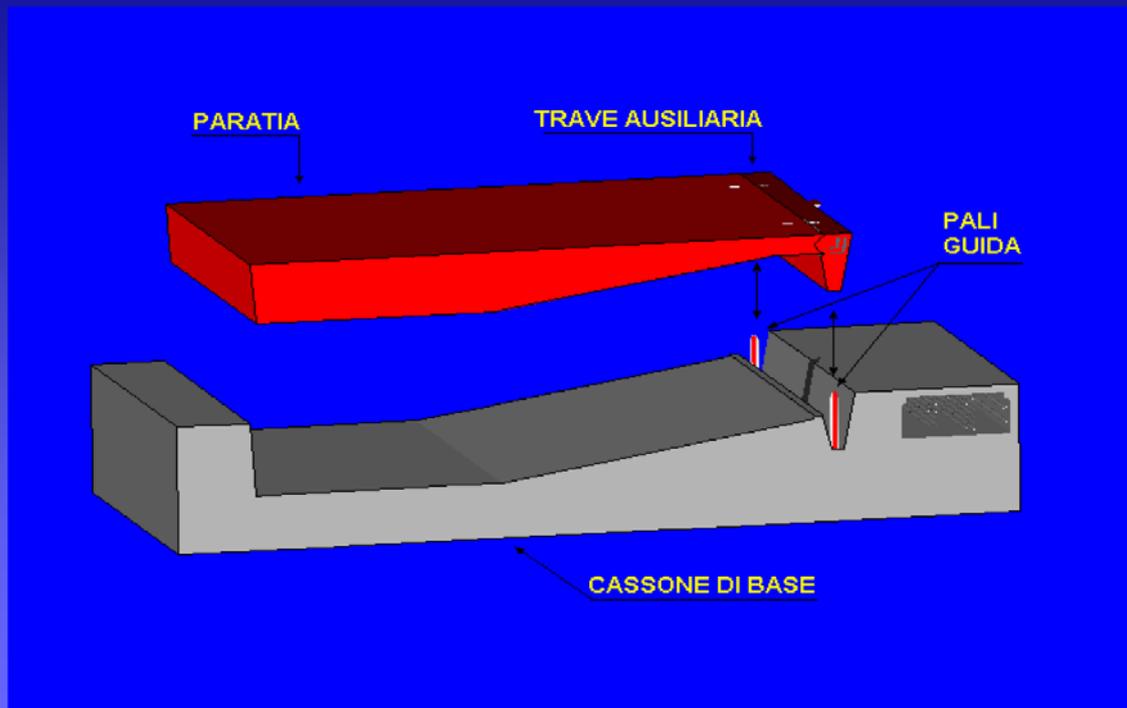
**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**  
**PARATOIA A GRAVITA'**  
**PARATOIA VISTA DAL BASSO**



**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**  
**PARATOIA A GRAVITA'**

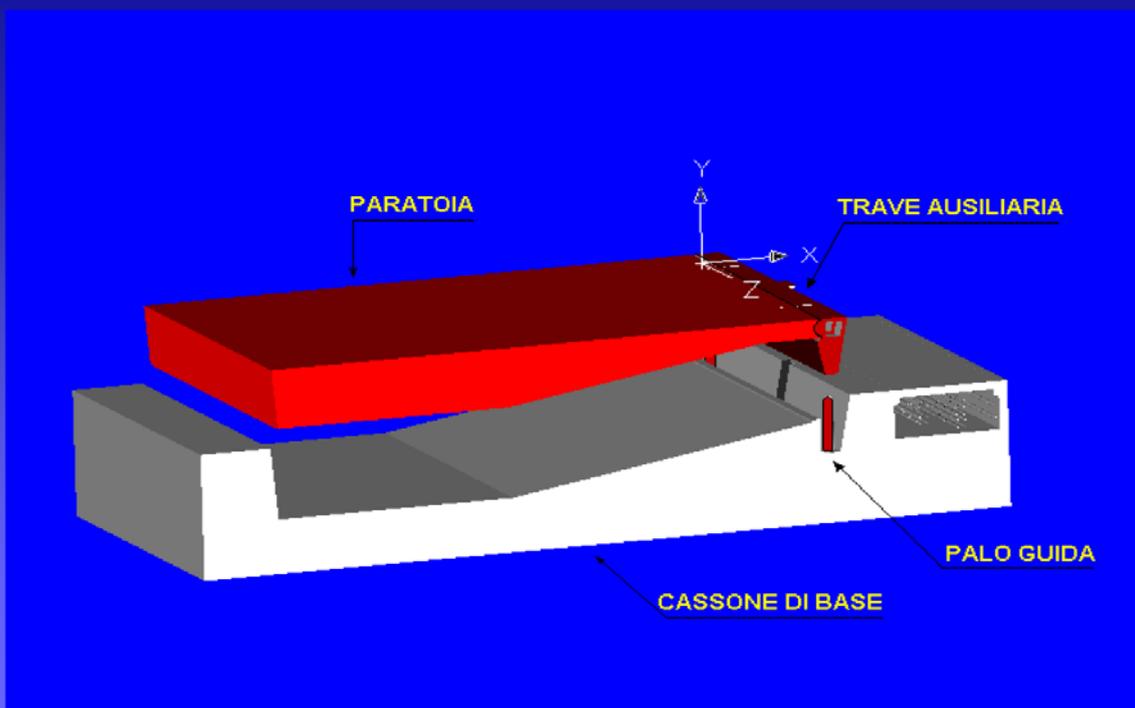


SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'



Ing. Vincenzo Di Tella

### SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

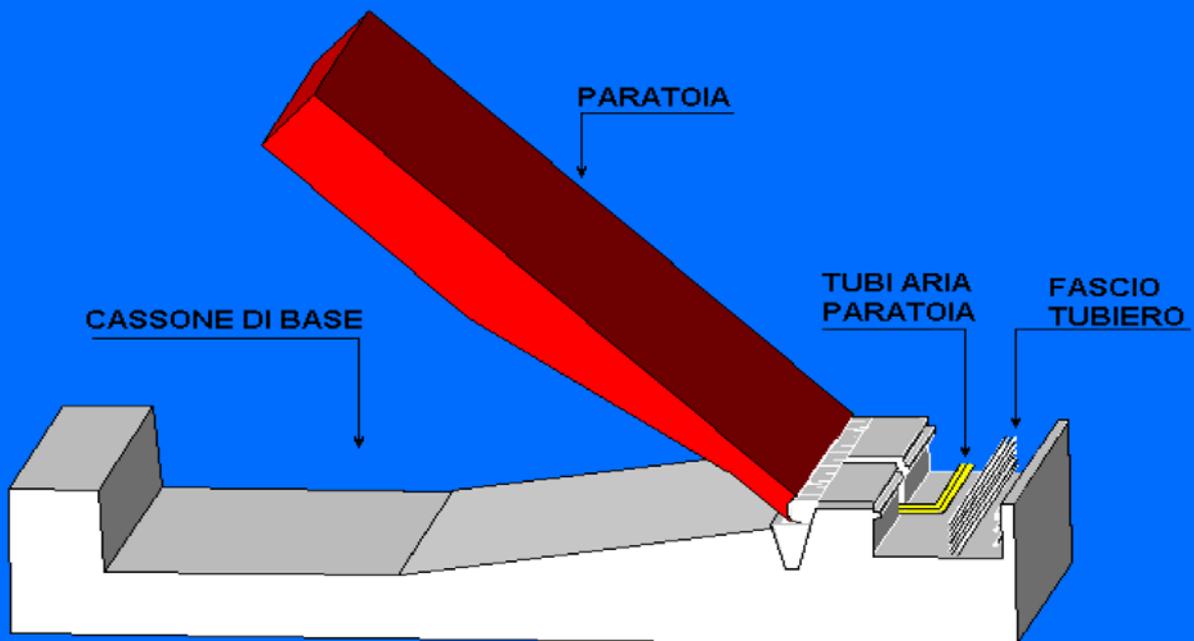


MODULO PARATOIA, TRAVE AUSILIARIA E CASSONE DI BASE



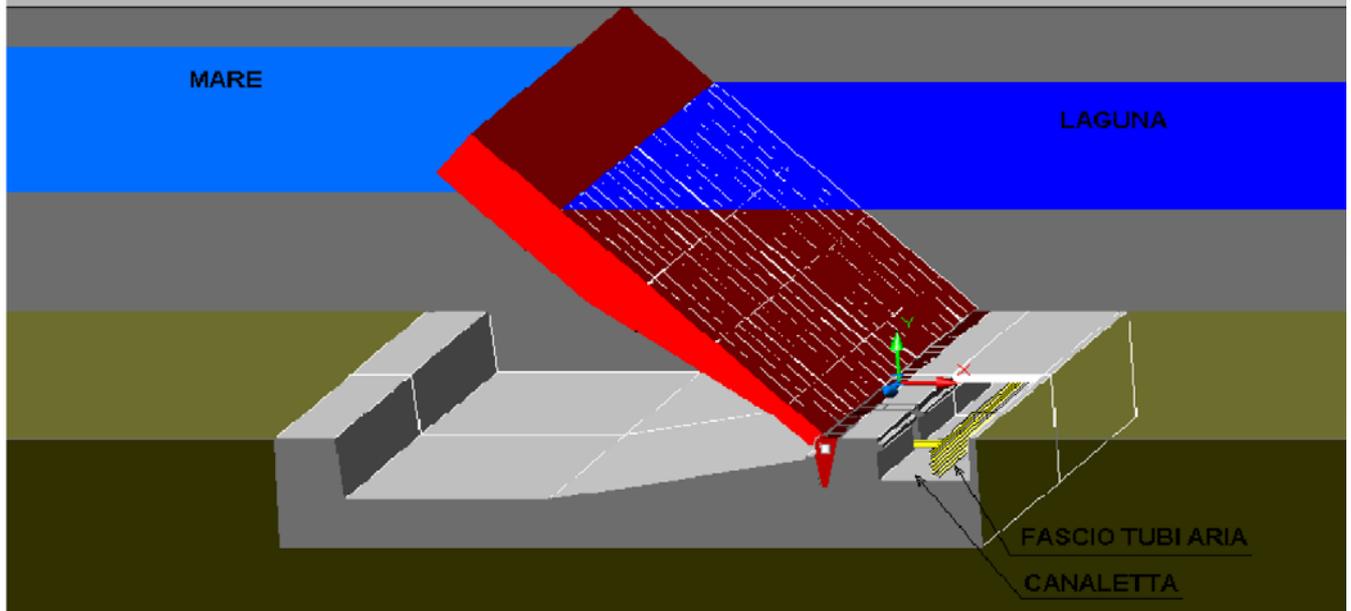
Ing. Vincenzo Di Tella

### SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'



Ing. Vincenzo Di Tella

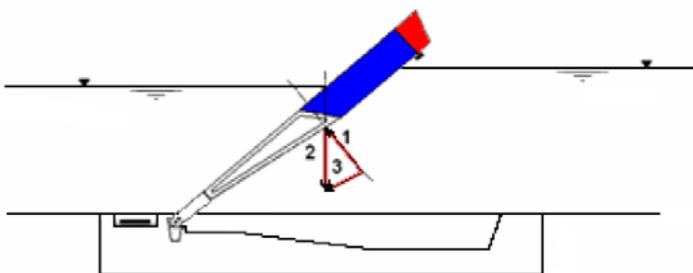
**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'**



Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
CONFRONTO PARATOIA A GRAVITA' Vs. MOSE**

**PARATOIA A GRAVITA'**

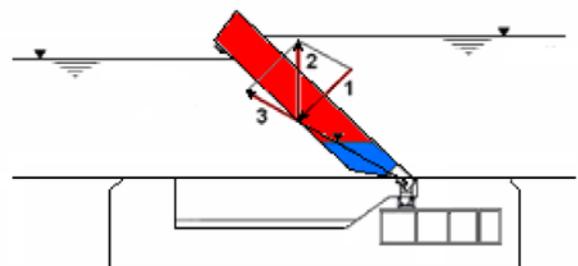


LEGENDA:

- 1 - Spinta battente Idrostatico
- 2 - Peso netto (P-S)
- 3 - Azione sulle Cerniere

- Acqua di Zavorra
- Aria Compressa

**MOSE**



LEGENDA:

- 1 - Azione Battente Idrostatico
- 2 - Spinta Netta Paratoia
- 3 - Azione sulle Cerniere

- Acqua di Zavorra
- Aria Compressa



Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
CONFRONTO**

**MOSE**

**PARATOIA a GRAVITA'**

**IL CONCETTO**

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| - STRUTTURA INCERNIERATA R.             | - STRUTTURA INCERNIERATA No R.  |
| - SPINTA DI GALLEGGIAMENTO              | - PESO PARATOIA / ACQUA ZAVORRA |
| - APERTURA CHIUSURA SENSO OPPOSTO MAREA | - APERTURA CHIUSURA SENSO MAREA |

**LE CONSEGUENZE**

- |                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| - COMPORTAMENTO INSTABILE     | - COMPORTAMENTO STABILE           |
| - GRANDI VOLUMI ARIA          | - PICCOLI VOLUMI ARIA (CAM. MAN.) |
| - INVERSIONE CARICHI CERNIERE | - NON INVERSIONE CARICHI CERNIERE |



1 di

Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
CONFRONTO**

**MOSE**

**PARATOIA a GRAVITA'**

**LE CONSEGUENZE**

- |   |   |
|---|---|
| - CENTRO SPINTA BASSO                               | - POSIZIONE PESI / SPINTE OTTIMALE                              |
| - GRANDE ENERGIA E CONTROLLO IN TEMPO REALE ZAVORRA | - BASSA ENERGIA E COMANDI "on-off" ASSENZA SISTEMA DI CONTROLLO |
| - TUNNEL SUBACQUEO                                  | - ASSENZA TUNNEL SUBACQUEO                                      |
| - GRANDI PALIFICAZIONI E DRAGAGGI                   | - FONDAZIONI A GRAVITA' DRAGAGGI MINIMI                         |
| - GRANDI COSTRUZIONI IN OPERA                       | - COSTRUZIONE IN CANTIERI NAVALI                                |
| - IMPATTO AMBIENTALE ENORME                         | - IMPATTO AMBIENTALE MINIMO                                     |



2 di 2

Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'**

**PROGETTO DI MASSIMA**

**CONFRONTO COL MOSE**

**GEOMETRIA DELLE BOCCHE DI PORTO UGUALE**

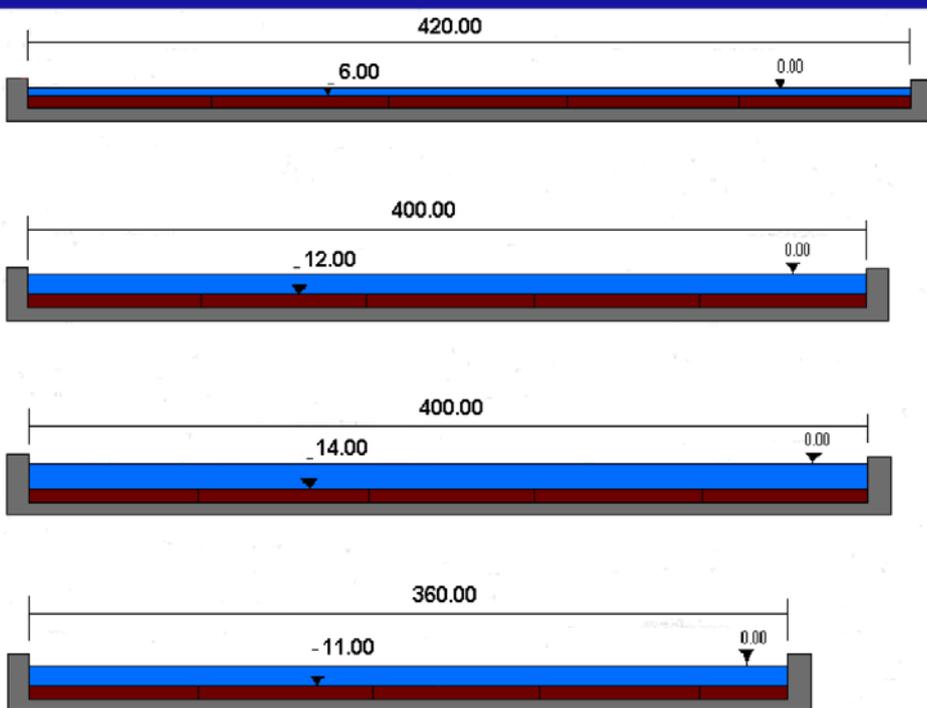
**MATERIALI:  
PARATOIE IN ACCIAIO  
MODULI DI BASE IN c. a.**

**COSTI UNITARI: UGUALI**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

**SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE**



**BOCCH**

**TREPORTI**

**S. NICOLO'**

**MALAMOCCO**

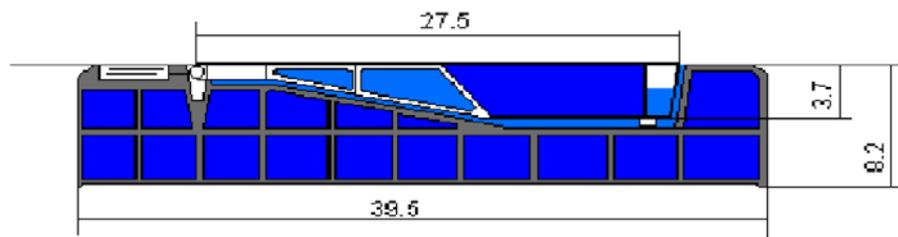
**CHIOGGIA**



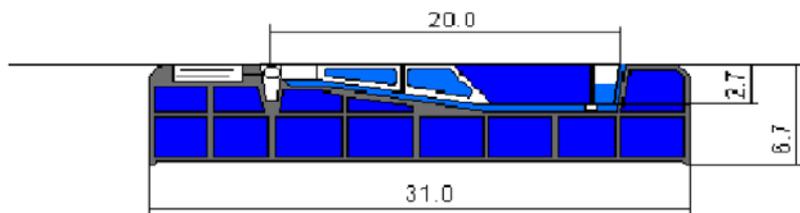
*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

### SEZIONI DI MODULI DI BASE E PARATOIE



CHIOGGIA



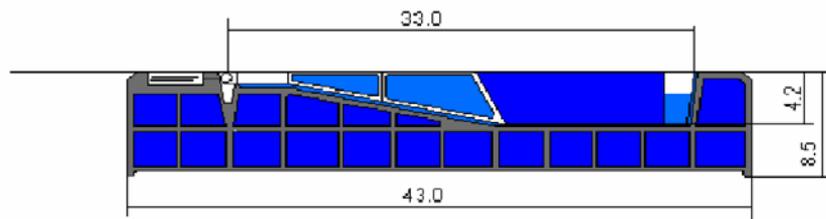
TREPORTI



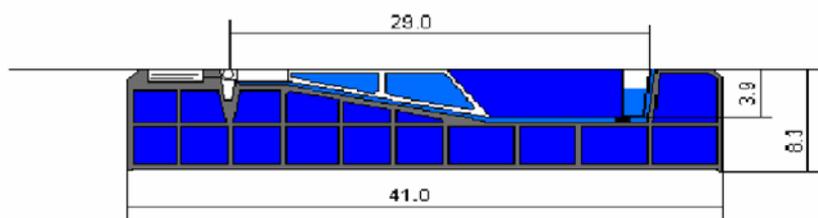
Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

### SEZIONI DI MODULI DI BASE E PARATOIE



MALAMOCCO



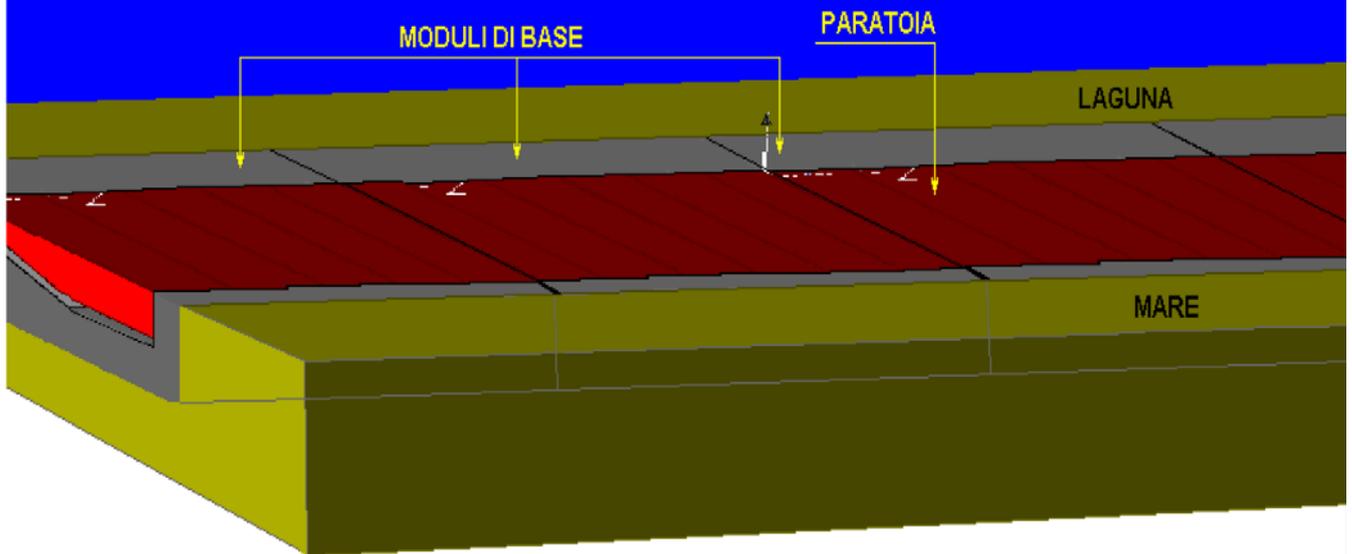
S. NICOLO'



Ing. Vincenzo Di Tella

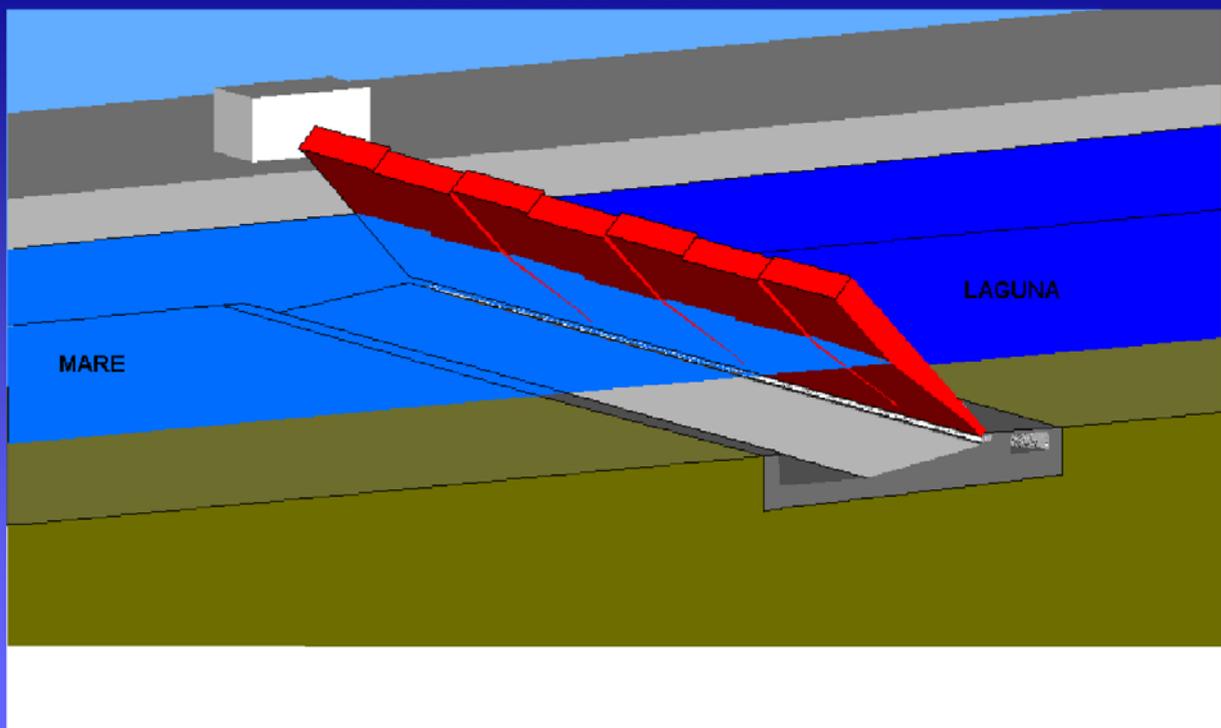
### SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

VISTA COMPLESSIVA BARRIERA DI SBARRAMENTO IN CONDIZIONE DI RIPOSO



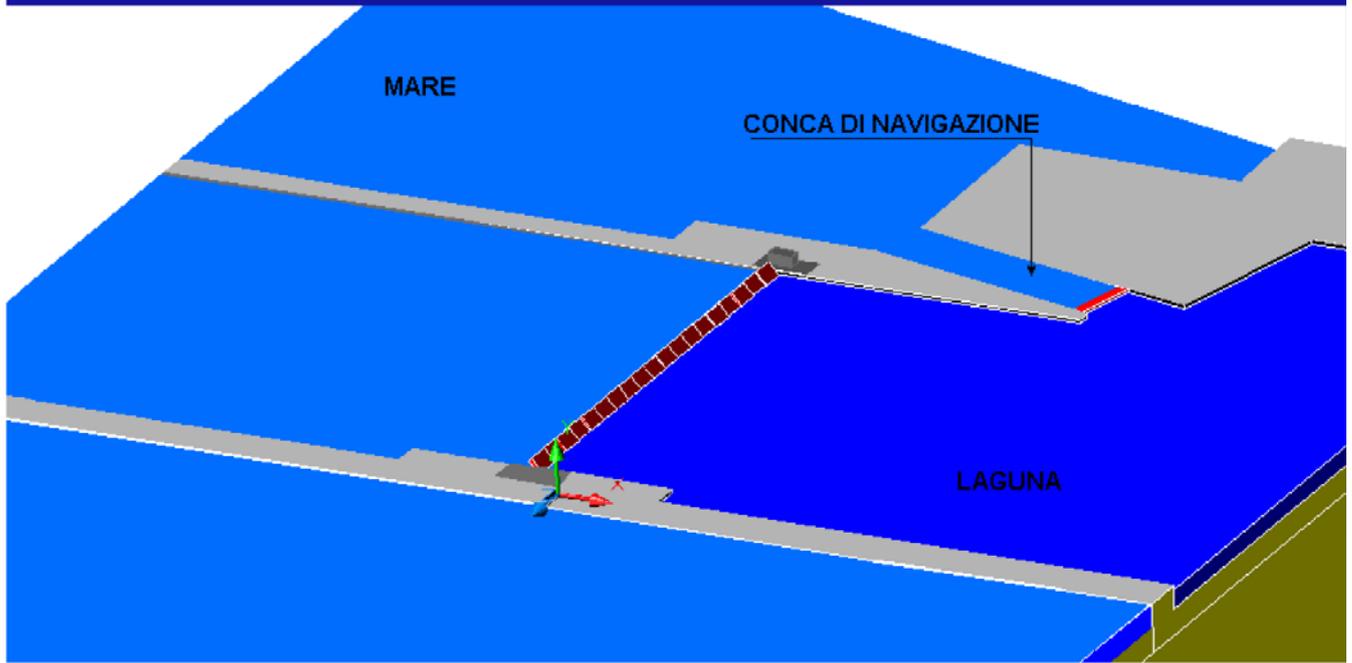
Ing. Vincenzo Di Tella

### SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'



Ing. Vincenzo Di Tella

### SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

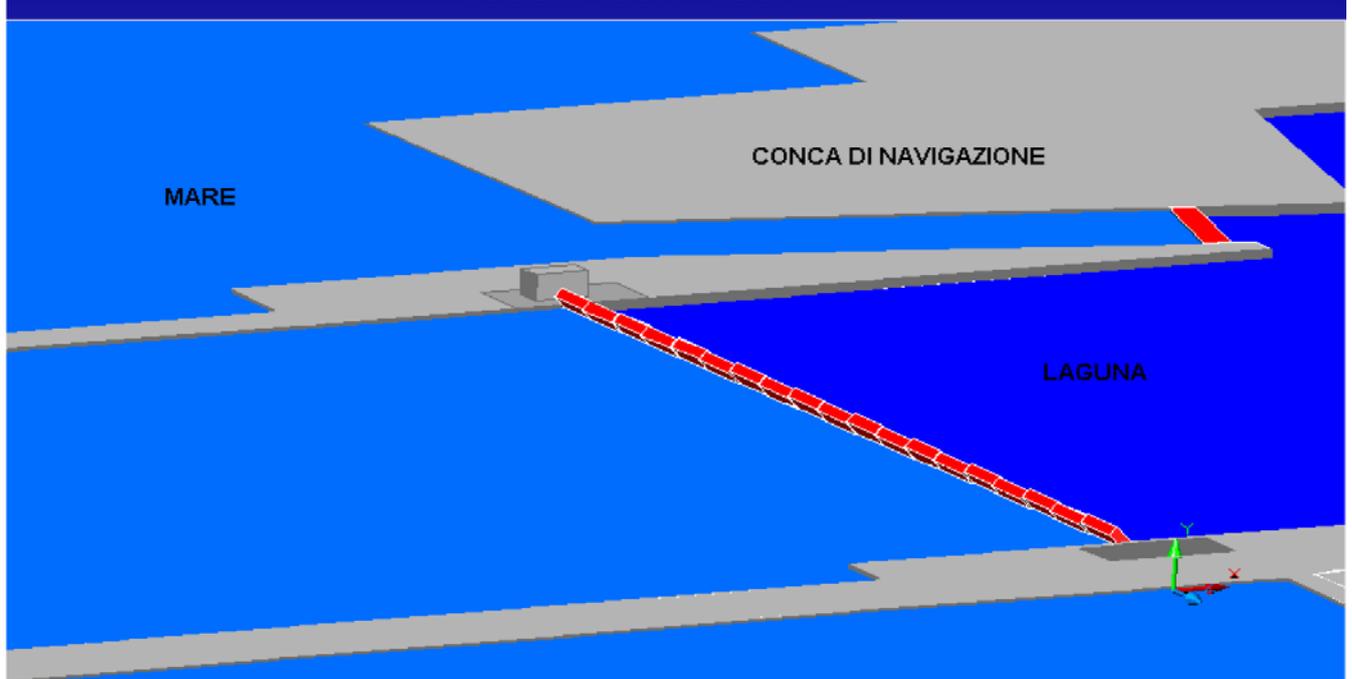


VISTA BOCCA DI PORTO IN CONDIZIONE DI ACQUA ALTA



Ing. Vincenzo Di Tella

### SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'



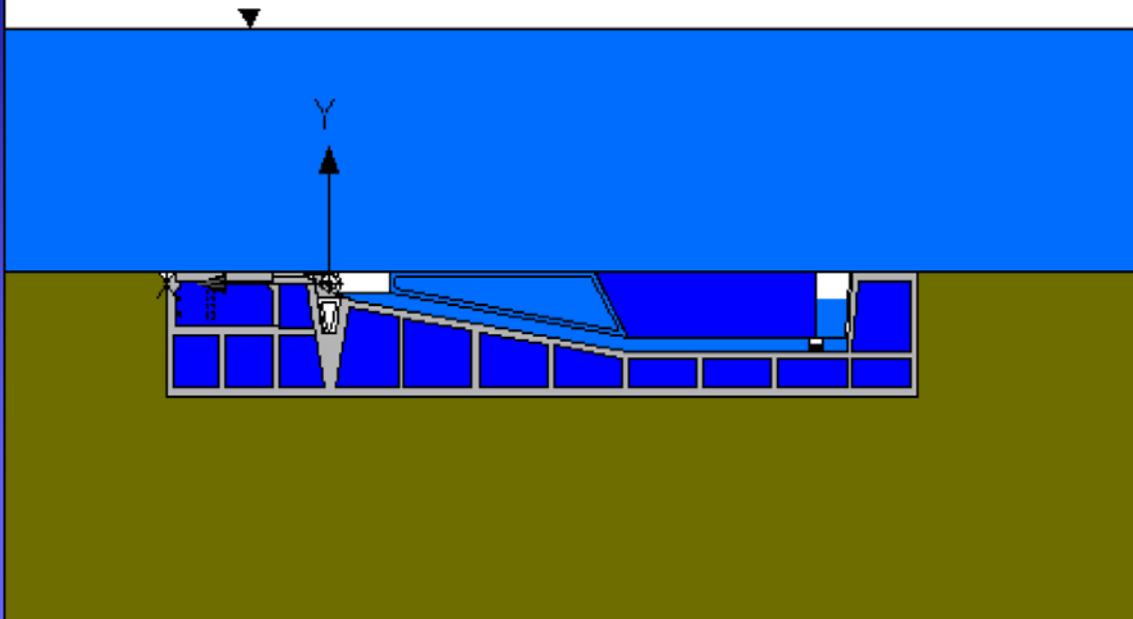
VISTA BOCCA DI PORTO IN CONDIZIONE DI ACQUA ALTA



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE

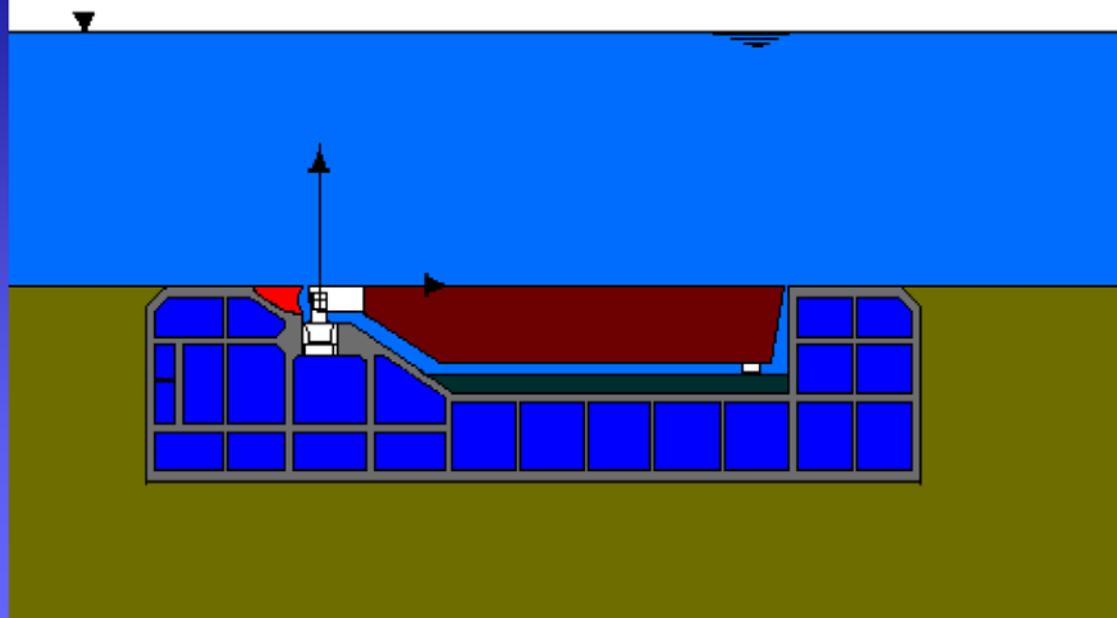
PARATOIA A GRAVITA'  
BOCCA DI MALAMOCCO



*Ing. Vincenzo Di Tella*

SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE

PARATOIA MOSE  
BOCCA DI MALAMOCCO



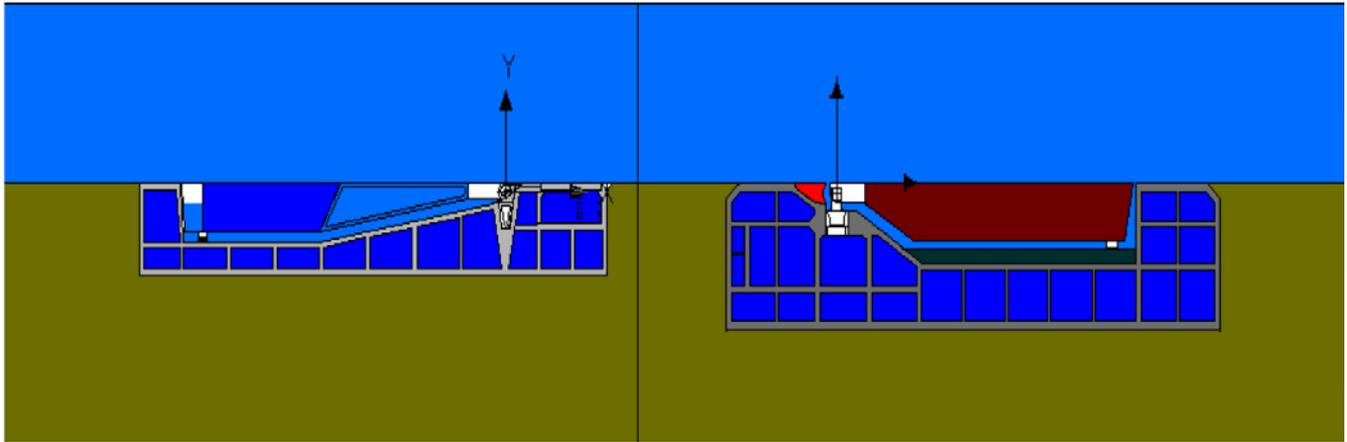
*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

BOCCA DI MALAMOCCO

MARE

LAGUNA



PARATOIA A GRAVITÀ'

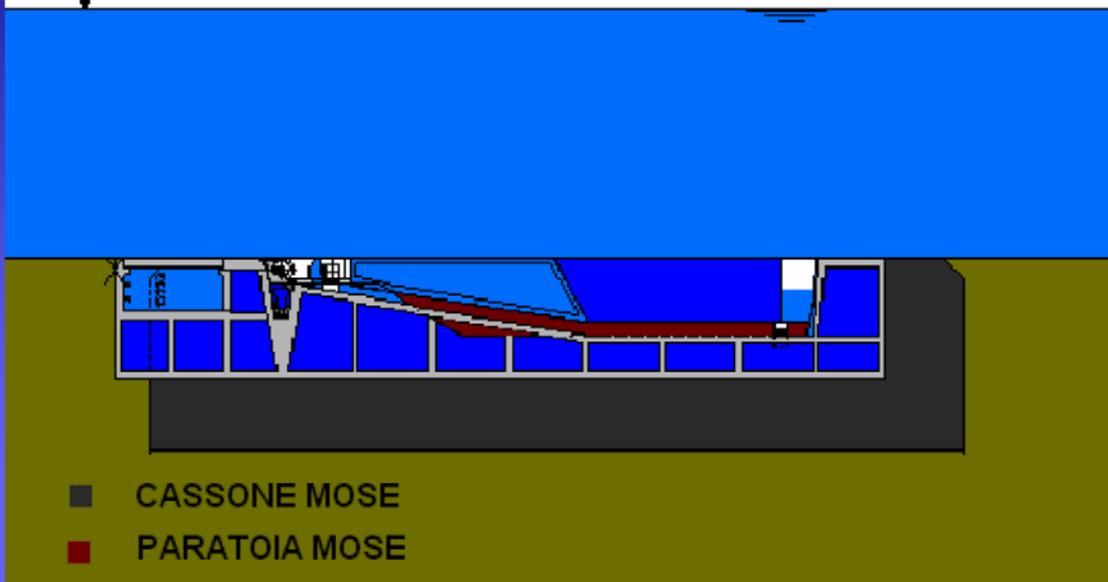
PARATOIA MOSE



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

SOVRAPPOSIZIONE PARATOIE  
GRAVITÀ' Vs. MOSE  
BOCCA DI MALAMOCCO



- CASSONE MOSE
- PARATOIA MOSE



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE VALUTAZIONE della TECHNITAL: GRAVITA' vs. MOSE e ns. COMMENTI

Indirizzi di progetto	Giudizio Technital	Nostra valutazione
1. Le paratoie non devono avere fondazioni ciclopiche	Il criterio può essere rispettato	NC per sistema con Paratoie a Gravità <i>Non sembra che il criterio sia rispettato per il MOSE.</i>
2. Non devono avere sovrastrutture aeree	Il criterio può essere rispettato	NC
3. Non devono avere pile intermedie	Il criterio può essere rispettato	NC
4. All'interno delle paratoie non devono essere installati impianti	Il criterio viene rispettato solo in parte in quanto nella paratoia deve essere installato un inclinometro	Lo strumento può anche essere installato all'esterno.
5. Lo scarico dell'aria deve avvenire attraverso un circuito interno	Il criterio può essere rispettato	Infatti ogni paratoia è individualmente collegata con due tubi fino alle spalle.
6. La sostituzione delle paratoie (4 per anno per ciascuno dei 4 sbarramenti) deve essere eseguita senza l'aiuto dei sommozzatori	Il criterio non è rispettato in quanto è necessario effettuare la connessione subacquea dei tubi di mandata dell'aria (4 per paratoia) e dei tubi di scarico dell'aria (2 per paratoia)	Il criterio è rispettato in quanto, in alternativa ai sommozzatori possono essere usati sistemi automatici o teleoperati. Inoltre i tubi sono due, uno per la mandata e lo scarico e l'altro di back-up.
7. La sostituzione periodica delle paratoie deve essere eseguita in 12 ore	Il criterio potrà difficilmente essere rispettato in quanto connessione di 6 tubi mediante subacqueo che opera sotto la paratoia tenuta in posizione alzata dal mezzo di installazione.	Il criterio è rispettato, i tubi non devono essere connessi e sconnessi in acqua. <i>Nella soluzione proposta sono stati eliminati.</i>

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE VALUTAZIONE della TECHNITAL: GRAVITA' vs. MOSE e ns. COMMENTI

Indirizzi di progetto	Giudizio Technital	Nostra valutazione
8. Tutti gli impianti e tutte le componenti degli stessi devono avere una ridondanza al 100% e l'eventuale guasto deve interessare una sola paratoia	I due criteri possono essere rispettati ma con un importante adeguamento della proposta. Ciascuna camera di zavorra deve essere attrezzata con un minimo di 3 o meglio 6 tubi (2 di alimentazione e uno di scarico)	La camera di zavorra ha solo valvole che sono azionate da un ROV, o mediante attrezzature poste sul dispositivo di varo. Gli impianti sono molto semplici e ridondati. <i>Ma il MOSE non può ridondare un componente critico, il connettore meccanico delle paratoie! Certamente il MOSE è meno affidabile, perché più complesso e perché contiene alcuni componenti mai utilizzati prima, per i quali non è noto il dato di MTBF</i>
9. La probabilità di un mancato sollevamento di una paratoia deve essere superiore a E-5 a richiesta		
10. I controlli periodici di tutti gli impianti e delle singole componenti degli impianti (componenti lineari, flange, valvole, motori, ecc.) devono essere fatti senza sommozzatori	I due criteri non sono rispettati Perché (in sintesi): - Tutti i condotti per la manovra, 6 per ciascuna paratoia, rimangono a contatto con l'acqua. - La loro sostituzione richiede l'impiego dei sommozzatori	I criteri sono rispettati, I tubi per la manovra sono 2 per ogni paratoia e per la sostituzione si possono impiegare sistemi automatici o teleoperati. Questi tubi rimangono a contatto con l'acqua, come migliaia di chilometri di tubi subacquei presenti in tutto il mondo, nell'offshore petrolifero.
11. La manutenzione degli impianti e di tutte le parti metalliche deve essere effettuata all'asciutto, localmente o mediante sostituzione		

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE VALUTAZIONE della TECHNITAL: GRAVITA' vs. MOSE e ns. COMMENTI

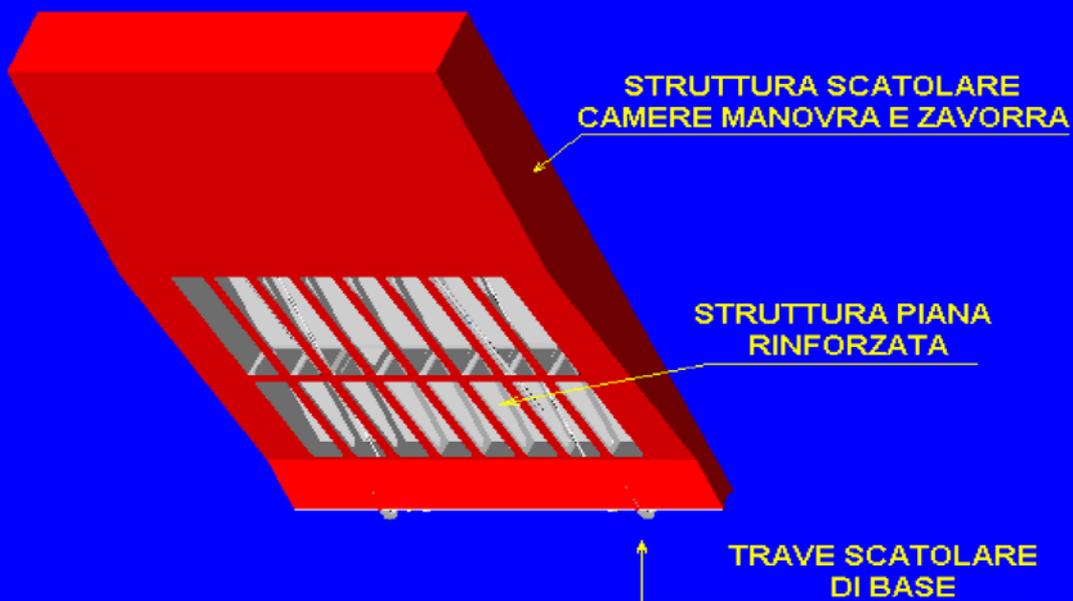
Indirizzi di progetto	Giudizio Technital	Nostra valutazione
12. Tutte le parti metalliche a contatto con l'acqua devono essere sostituibili senza mettere fuori servizio l'impianto	Il criterio è rispettato, ma con le difficoltà espresse al punto precedente.	Per il nostro sistema il criterio è rispettato. Invece il MOSE presenta alcune situazioni molto critiche. Ad es. l'eventuale rottura del supporto metallico della parte femmina dei connettori meccanici, incastrato sulla parete del modulo di base, comporta la messa fuori servizio del sistema per tempi molto lunghi
13. Deve essere previsto un sistema per la rimozione dei sedimenti nel recesso compreso tra paratoie e cassone di alloggiamento	Il criterio può essere rispettato con un adeguamento della proposta e con l'intervento di mezzi navali	Trattandosi di uso saltuario si è optato per un flusso di lavaggio nell'intercapedine sotto la paratoia, realizzato per aspirazione (sorbonatura).
14. Le paratoie devono essere dimensionate per un dislivello mare – laguna di 140 cm, concomitante a: - onde di 4,5 metri - onde di lungo periodo di 1,4 metri - aumento del livello del mare di 60 cm	Si ritiene che, anche se con profonde modifiche, le paratoie proposte possano reggere le condizioni di progetto. Deve comunque essere affrontato il problema del possibile ribaltamento.	Le onde di lungo periodo (sessa) si generano nella fase di chiusura delle bocche, quindi il loro valore massimo, di 1,4 metri, può essere concomitante solo con le condizioni di progetto di moto ondoso. La Paratoia a Gravità viene dimensionata per le peggiori condizioni possibili, ed escludendo, in ogni caso, il ribaltamento.
15. Il sistema delle paratoie non deve "cedere" per dislivelli e per un aumento del livello del mare superiori a quelli oggi prevedibili.	Il criterio può essere rispettato, ma con profonde modifiche al sistema nel suo complesso. Si tratta di rendere stabile la paratoia anche dopo il possibile ribaltamento.	Il criterio viene rispettato con un dimensionamento che evita in ogni caso il ribaltamento. Infatti la schiera di paratoie è stata anche dimensionata per un dislivello complessivo di marea di 3 metri ( 4 metri di altezza di marea).

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE VALUTAZIONE della TECHNITAL: GRAVITA' vs. MOSE e ns. COMMENTI

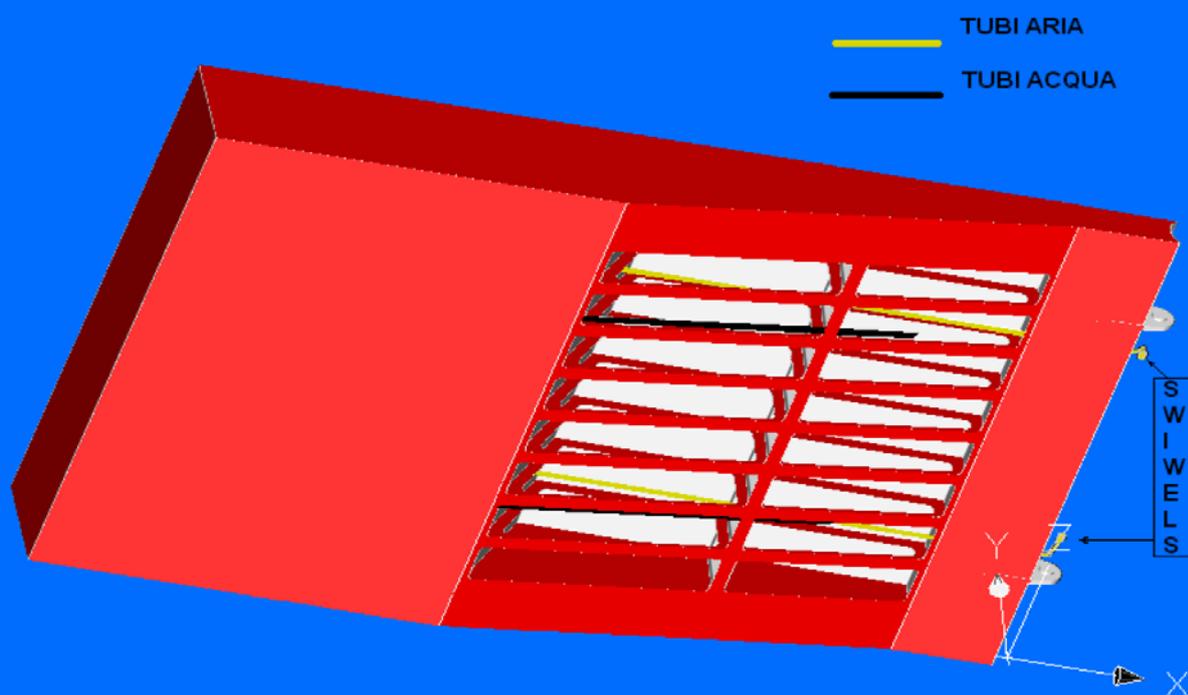
Indirizzi di progetto	Giudizio Technital	Nostra valutazione
16. Il tempo di sollevamento delle paratoie non deve essere inferiore ai 30 minuti	Il criterio può essere rispettato con una drastica modifica del sistema di alimentazione dell'aria compressa e aumentando il numero delle condotte d'aria sottomarine.	Non serve alcuna modifica. Il sistema così com'è, è in grado di chiudere tutte le paratoie nel tempo che si vuole, da pochi minuti a 30 minuti o più.
17. Deve essere possibile effettuare una gestione differenziata delle paratoie per prevenire situazioni ambientali critiche	Il criterio può essere rispettato con le complicazioni espresse al punto precedente.	Il rispetto del criterio è implicito nell'impostazione concettuale e non serve alcuna complicazione. Ogni paratoia è indipendente dalle altre ed è azionata da tubi ad essa dedicati.
18. Il sistema deve sopportare un dislivello negativo (la laguna più alta del mare) di 50 cm.	Il criterio può essere rispettato, anche se non sembra che la paratoia indicata negli elaborati presentati possa sopportare questo dislivello insieme alle altre condizioni.	Nel nostro caso il criterio può essere rispettato con un modesto aumento del volume della camera di spinta. <i>La paratoia MOSE, invece, ha serie difficoltà a rispettarlo, in quanto in tale condizione può essere soggetta a ribaltamento.</i>
19. Il sistema di difesa deve riprodurre le capacità dissipative esistenti nei canali della bocca prima della costruzione dei moli.	Il criterio può essere rispettato	<i>Il MOSE è molto più invasivo per quanto riguarda sbancamenti, palificate e consolidamenti dei fondali e presenta maggiori difficoltà a rispettare questo criterio.</i>

Mancano nella tabella i tre requisiti imposti dalla Legge speciale: Gradualità, Sperimentalità, Reversibilità che la PARATOIA a GRAVITA' rispetta e che il MOSE non rispetta e non potrà mai rispettare.

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**  
**PARATOIA A GRAVITA'**  
**PARATOIA VISTA DAL BASSO**



**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**  
**PARATOIA A GRAVITA'**  
**PARATOIA VISTA DAL BASSO**



# SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

PROGETTO DI MASSIMA

CONFRONTO COL MOSE

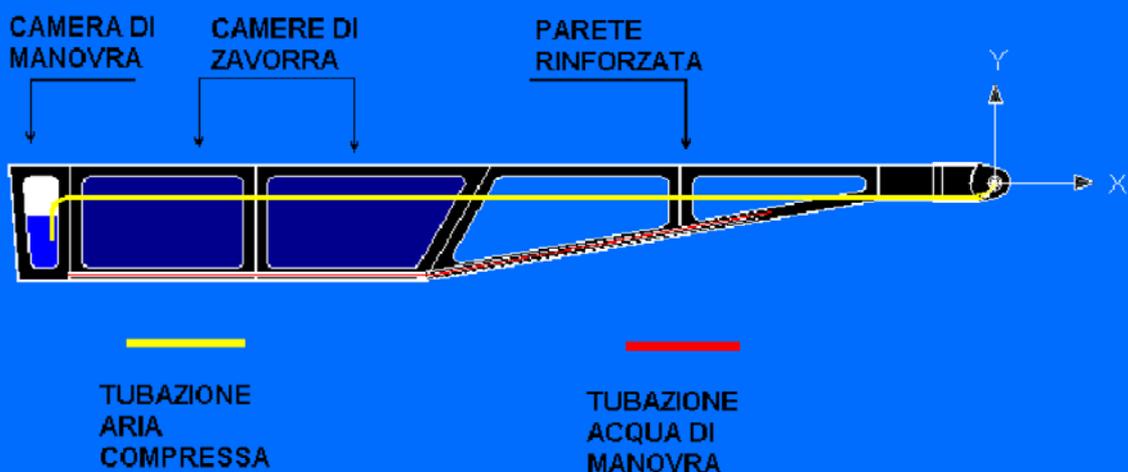
IMPIANTI

COSTI UNITARI: UGUALI



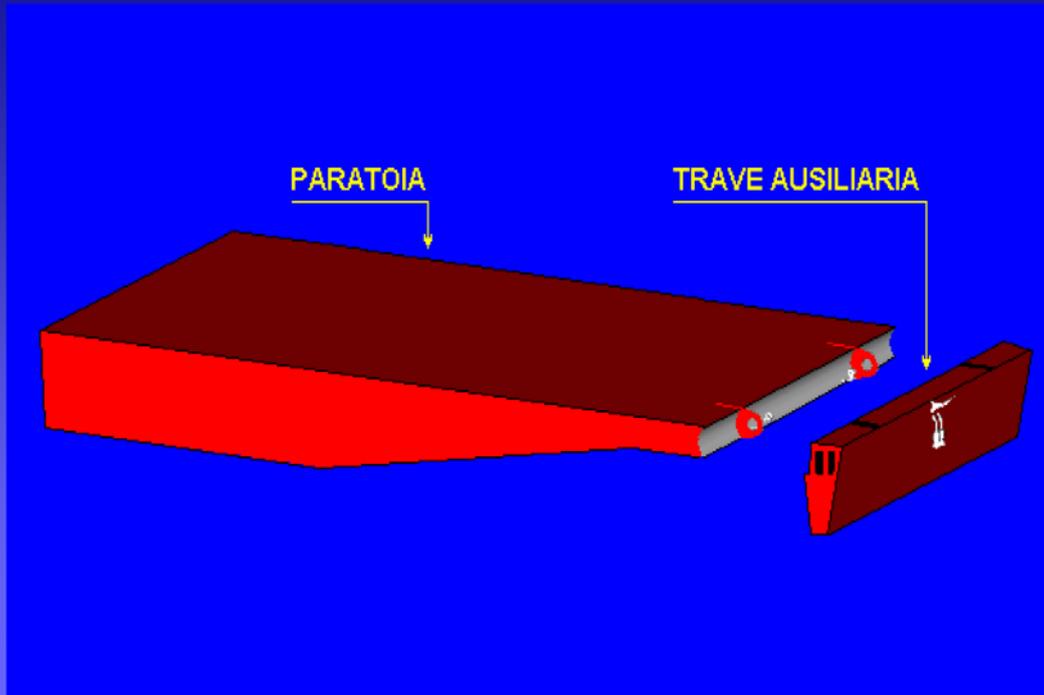
Ing. Vincenzo Di Tella

# SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'



Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'**

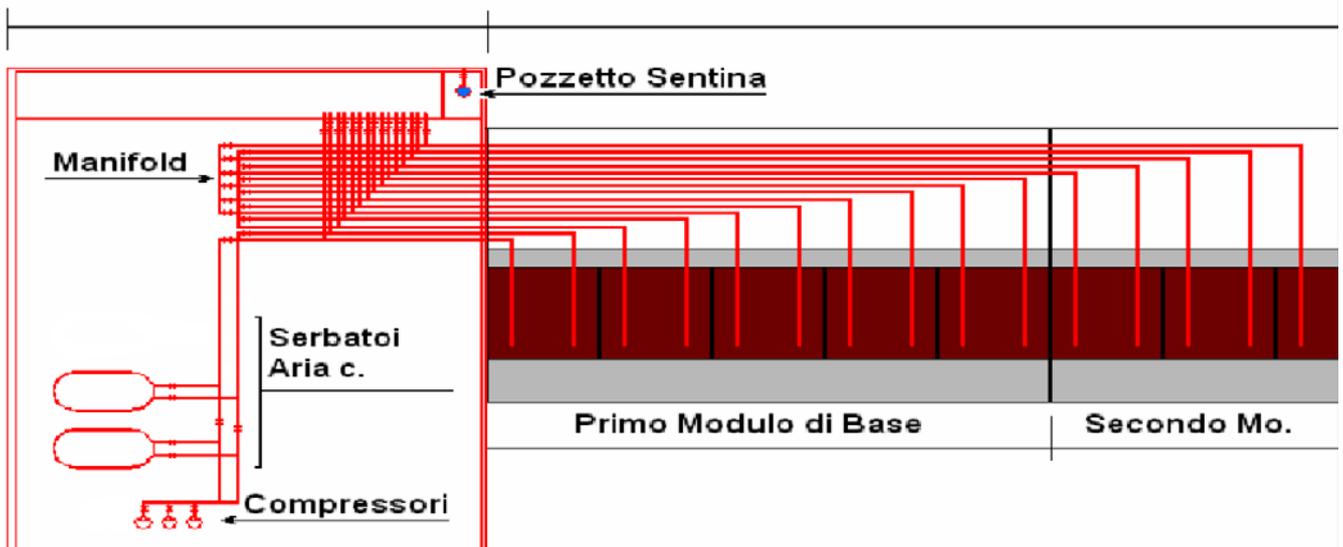


Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'  
SCHEMA PIANO D'IMPIANTO**

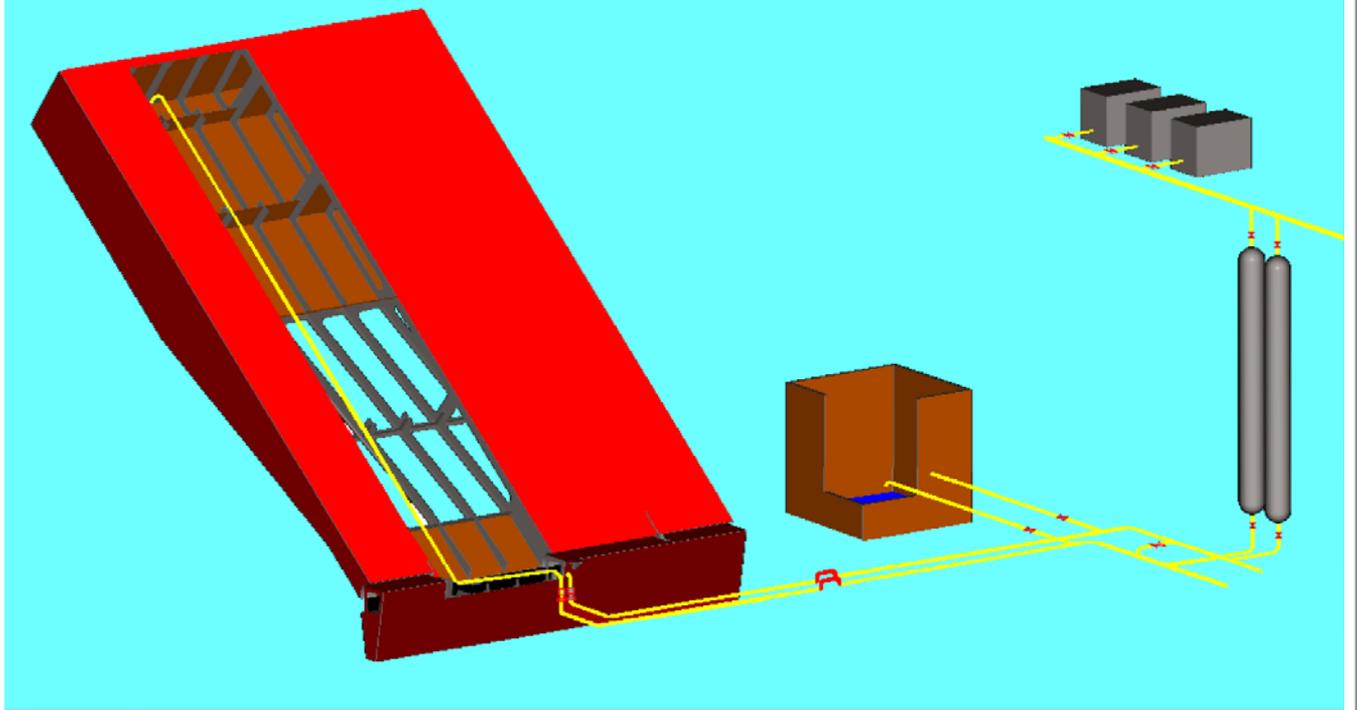
PARTE IN SUPERFICIE

PARTE SOTTOMARINA

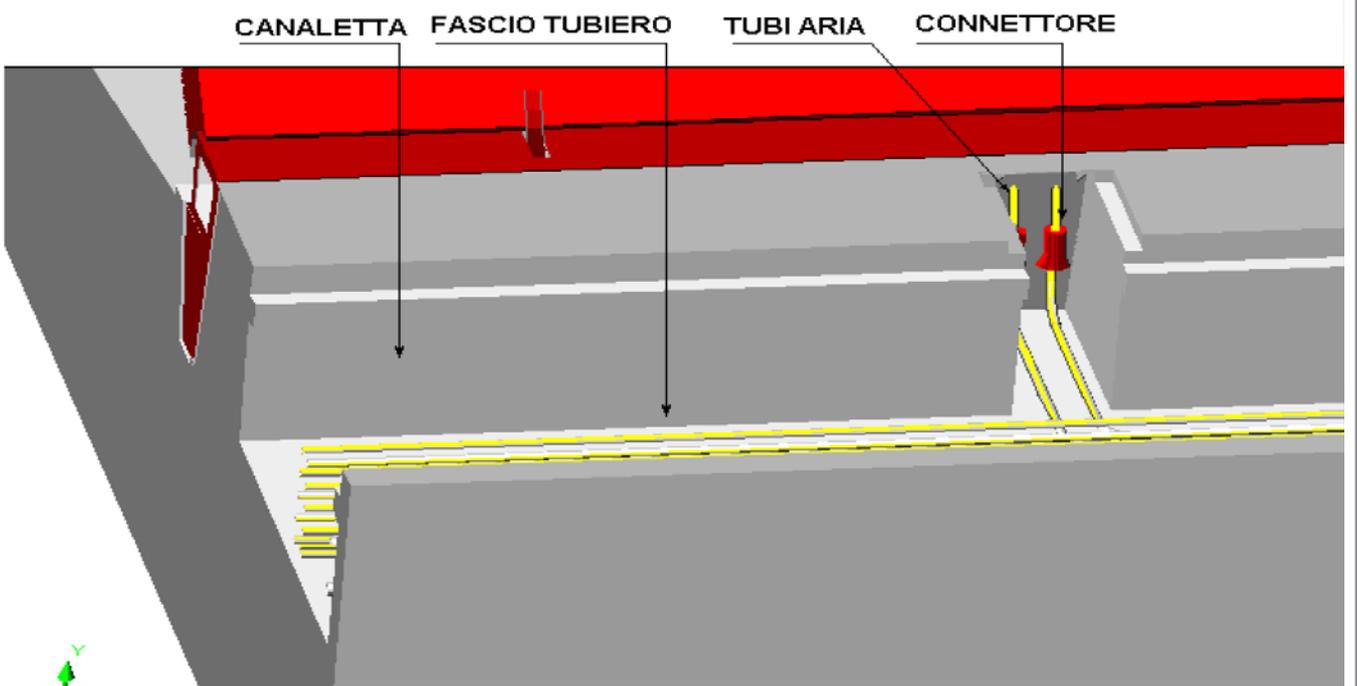


Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'  
SCHEMA ASSONOMETRICO IMPIANTO DI COMPRESSIONE  
E TUBAZIONI DI UNA PARATOIA**

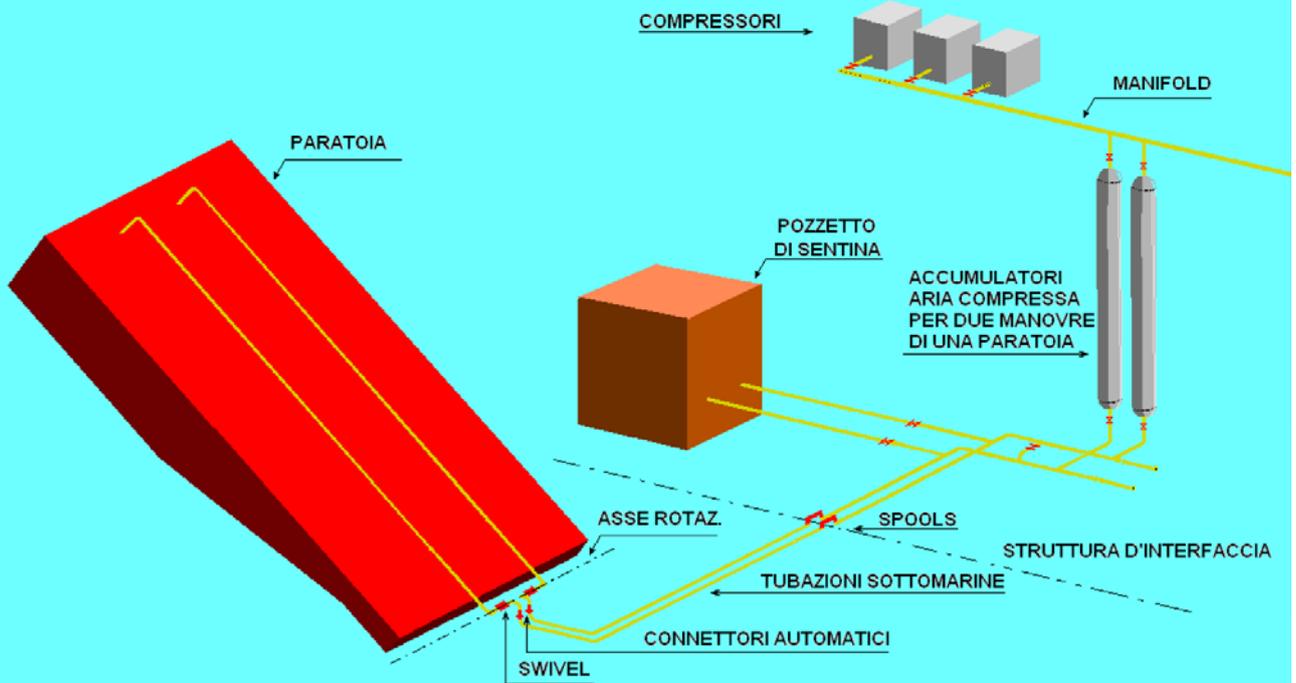


**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'**

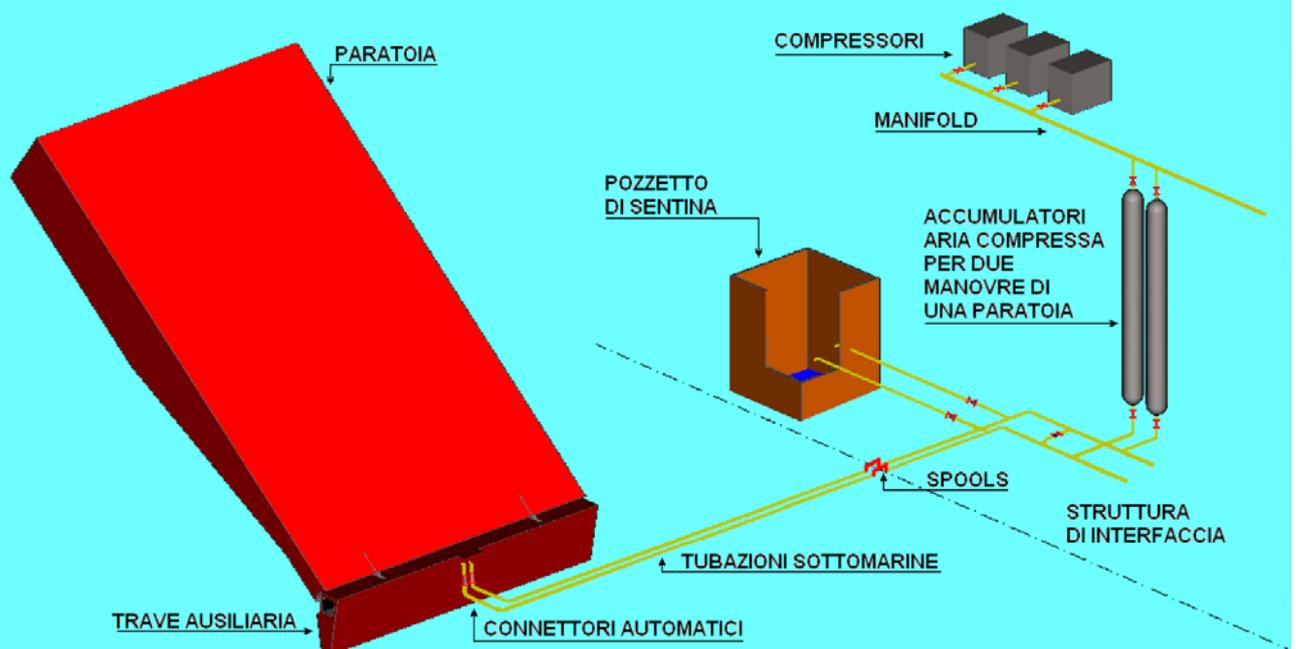


Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'  
SCHEMA ISOMETRICO DELLE TUBAZIONI DI UNA PARATOIA**



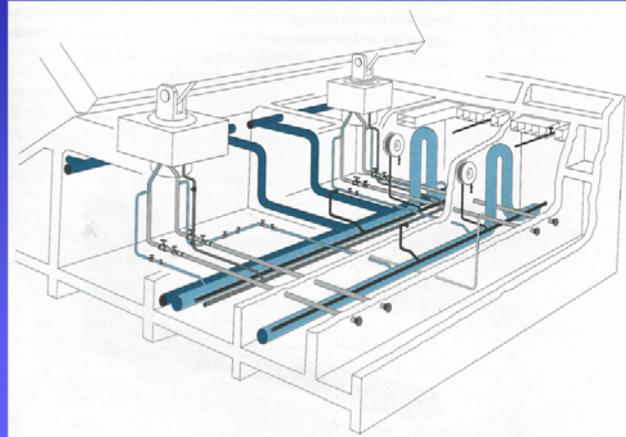
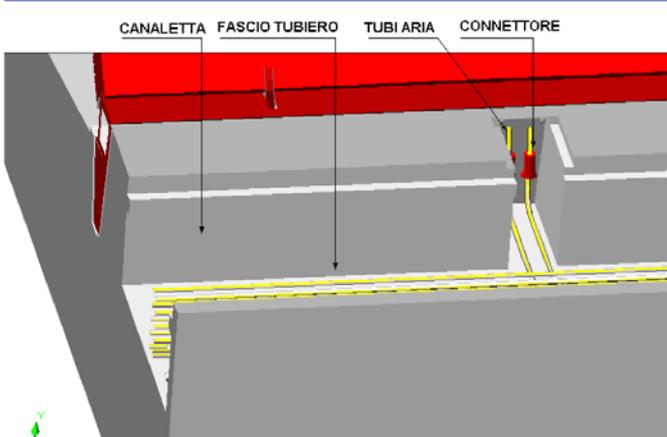
**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'  
SCHEMA ASSONOMETRICO IMPIANTO DI COMPRESSIONE  
E TUBAZIONI DI UNA PARATOIA**



## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

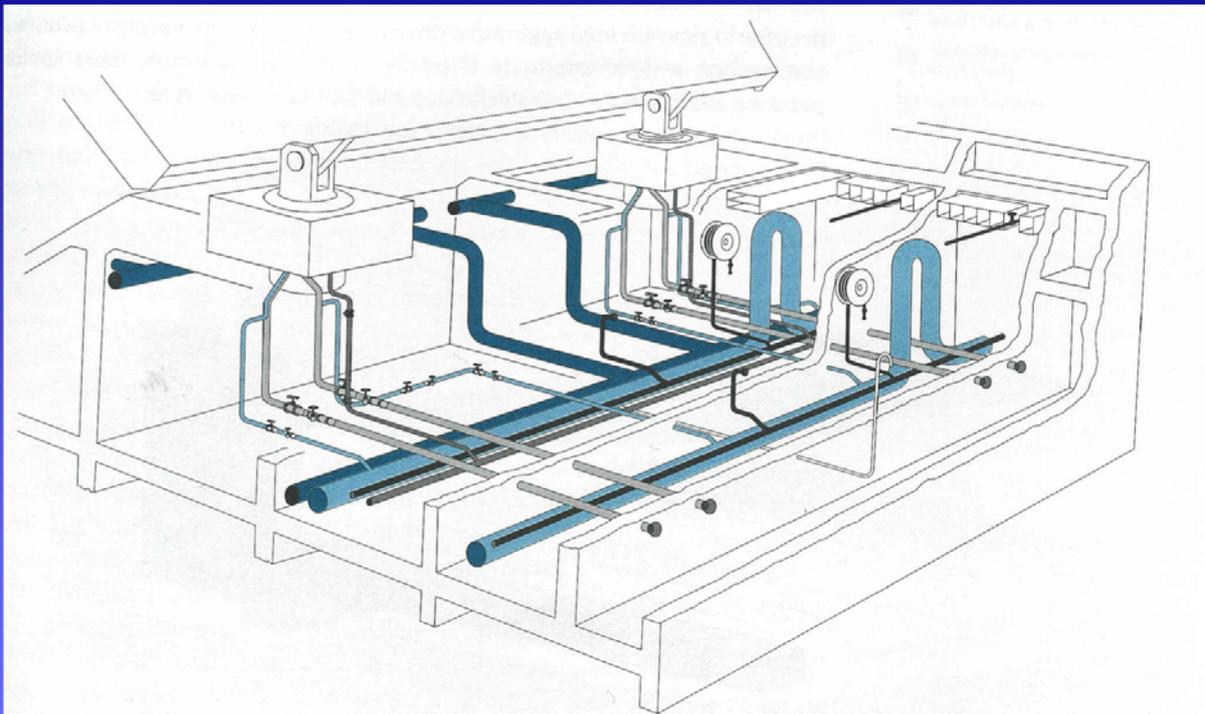
**PARATOIA A GRAVITA'**

**MOSE**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARTICOLARE TUNNEL A PRESSIONE ATMOSFERICA DEL MOSE



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

Sottosistemi/elementi	MOSE	PARATOIA A GRAVITA'
Paratoie	78 Paratoie a cassone	78 Paratoie a lamiera rinforzata
Cerniere	156	156
Sistemi di vincolo alla base	156 connettori meccanici sconnettibili	78 travi ausiliarie che realizzano vincoli unilaterali
Volume d'aria compressa x paratoia	Da 1000 a 2600 metri cubi	Da 30 a 50 metri cubi
Centrali di compressione aria	3 centrali, potenza totale di 10 Mw	Potenza totale inferiore ad 1 MW
Linee per distribuzione aria compressa	8 grandi condotte 2 x 4 sbarramenti. Da queste si diramano 8 tubazioni in corrispondenza di ciascuna paratoia x tot 624 tubi	Tubi individuali ridonati di circa 8", che portano l'aria ad ogni singola paratoia. In totale 156 tubi.
Percorso dei tubi	Dentro tunnel sottomarini ricavati nei moduli di base.	In acqua, in apposite cabalette sui moduli di base
Tunnel sottomarini a pressione atmosferica, accessibile all'uomo	Uno per ogni sbarramento, raddoppiati per ridondanza	Nessuno
Locali con doppia porta stagna all'interno del tunnel	156 in corrispondenza ai connettori meccanici	Nessuno
Sistemi di servizio ai connettori meccanici delle paratoie	. 156 sistemi di martinetti, per bloccaggio e sbloccaggio dei connettori, posti dentro i locali stagni . 78 centraline oleodinamiche, poste dentro i tunnel	Nessuno

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

Sottosistemi/elementi	MOSE	PARATOIA A GRAVITA'
Quadri elettrici ed elettronici (posti dentro i tunnel)	156 quadri elettrici di alimentazione e controllo locale (ridonati)	Nessuno
Valvole pneumatiche a comando elettrico	624 valvole, poste dentro i tunnel, in prossimità delle paratoie	312 valvole, poste in superficie, nelle opere di spalla
Ventilazione e condizionamento	24 circuiti distinti per i tratti di tunnel separati da pareti tagliafuoco.	Nessuno
Altri impianti e servizi nei tunnel	Illuminazione, vie di accesso e vie di fuga per il personale, sistemi di sicurezza, allarme, drenaggio ecc.	Nessuno
Passaggi a scafo	340 passaggi di tubi e cavi attraverso le pareti del tunnel ed il mare	Nessuno
Strumenti e sensori	Più di 2000 sensori e strumenti di misura di posizione, pressione ecc.	156 sensori per monitorare la posizione delle paratoie
Sistema di controllo	Sistema di controllo che deve assicurare, istante per istante, il giusto assetto di ogni singola paratoia	Non esiste. Acquisizione dei dati relativi alla inclinazione delle paratoie
Potenza elettrica in caso di black-out	Elettrogeneratori per una potenza complessiva di 16 MW	Elettrogeneratori per un totale di 1,5 MW

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE

CONFRONTO COSTI (10<sup>6</sup>)€

	MOSE	PARATOIA A GRAVITA'
<i>Opere Civili Barriera</i>	<b>1428</b>	<b>848</b>
<i>Paratoie e Cerniere</i>	<b>290</b>	<b>208</b>
<i>Impianti (inclusi connettori)</i>	<b>265</b>	<b>40</b>
<i>Opere Complementari Conca Navig.</i>	<b>313</b>	<b>268</b>
<i>Costo Totale Opere</i>	<b>2296</b>	<b>1382</b>
<i>Corrispettivi e Opere Aggiuntive (%)</i>	<b>1144</b>	<b>688</b>
<b>TOTALE</b>	<b>3440</b>	<b>2070</b>



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'

Sottosistemi/elementi	MOSE	PARATOIA A GRAVITA'
Quadri elettrici ed elettronici (posti dentro i tunnel)	156 quadri elettrici di alimentazione e controllo locale (ridondati)	Nessuno
Valvole pneumatiche a comando elettrico	624 valvole, poste dentro i tunnel, in prossimità delle paratoie	312 valvole, poste in superficie, nelle opere di spalla
Ventilazione e condizionamento	24 circuiti distinti per i tratti di tunnel separati da pareti tagliafuoco.	Nessuno
Altri impianti e servizi nei tunnel	Illuminazione, vie di accesso e vie di fuga per il personale, sistemi di sicurezza, allarme, drenaggio ecc.	Nessuno
Passaggi a scafo	340 passaggi di tubi e cavi attraverso le pareti del tunnel ed il mare	Nessuno
Strumenti e sensori	Più di 2000 sensori e strumenti di misura di posizione, pressione ecc.	156 sensori per monitorare la posizione delle paratoie
Sistema di controllo	Sistema di controllo che deve assicurare, istante per istante, il giusto assetto di ogni singola paratoia	Non esiste. Acquisizione dei dati relativi alla inclinazione delle paratoie
Potenza elettrica in caso di black-out	Elettrogeneratori per una potenza complessiva di 16 MW	Elettrogeneratori per un totale di 1,5 MW

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

GRADUALITA' E SPERIMENTALITA'  
CHIUSURA PARZIALE DELLA BOCCA DI PORTO

MODULI SU  
FONDALE BASSO

MODULI SU  
FONDALE ALTO



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

**REVERSIBILITA' EFFETTIVA DELLA INSTALLAZIONE**

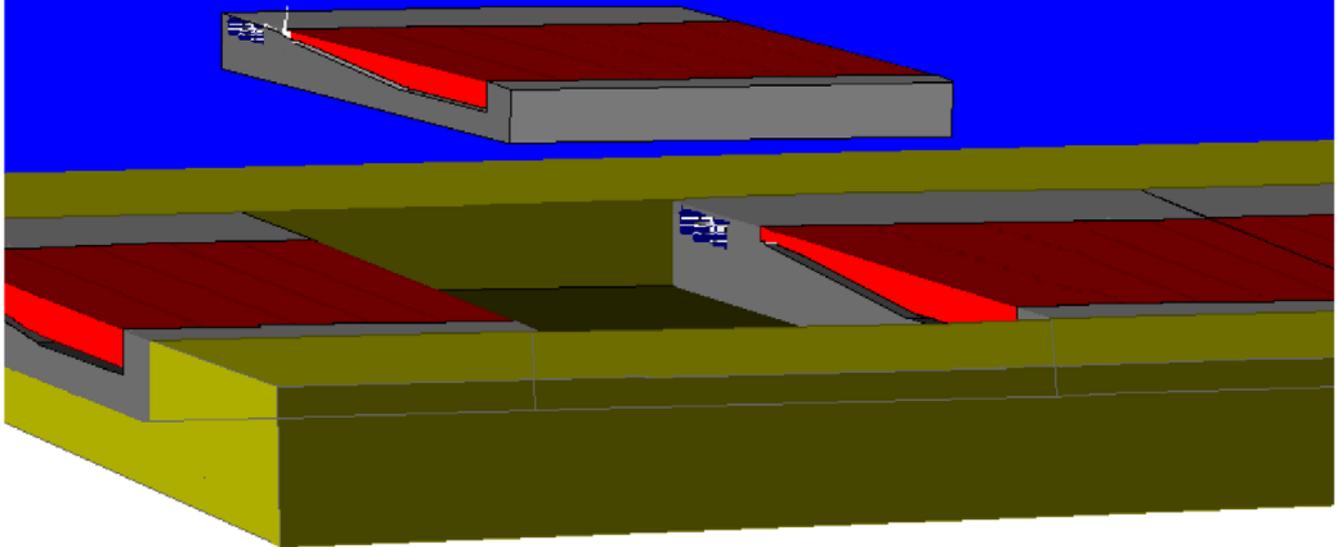
**RIMOZIONE DI UN MODULO DI BASE**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**

REVERSIBILITA' - RIMOZIONE DI UN MODULO DI BASE



*Ing. Vincenzo Di Tella*

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**

FLESSIBILITA' D'IMPIEGO

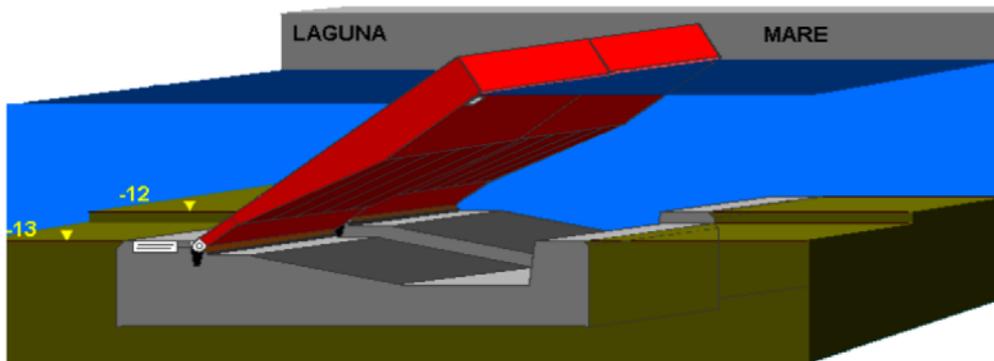
SBARRAMENTO CON FONDALE VARIABILE



*Ing. Vincenzo Di Tella*

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**

POSIZIONAMENTO PARATOIE SU FONDALE VARIABILE



*Ing. Vincenzo Di Tella*

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**

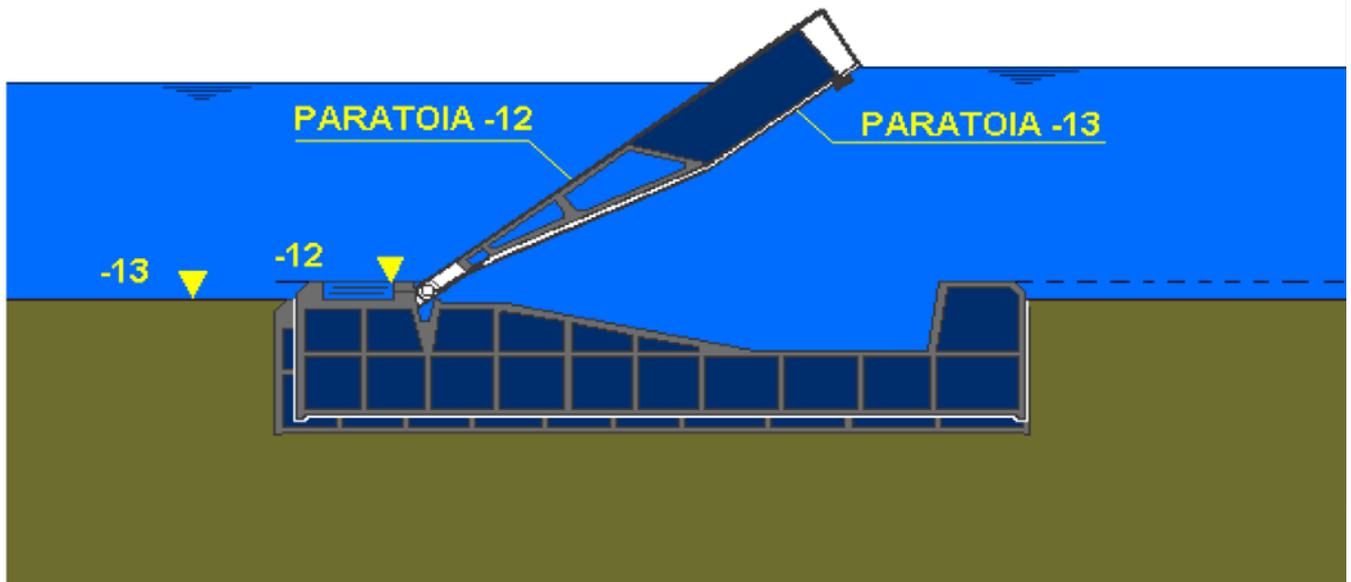
DISLIVELLO MAREA: 0 m



*Ing. Vincenzo Di Tella*

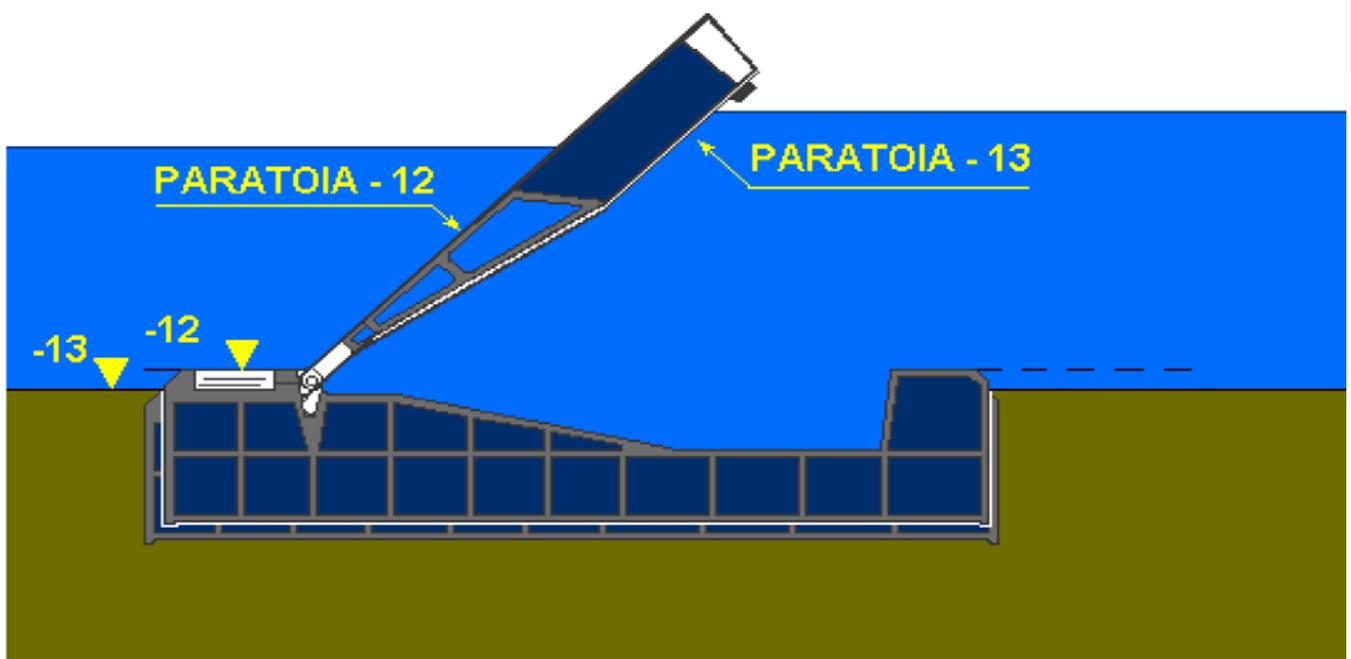
**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**

DISLIVELLO MAREA: 1 m



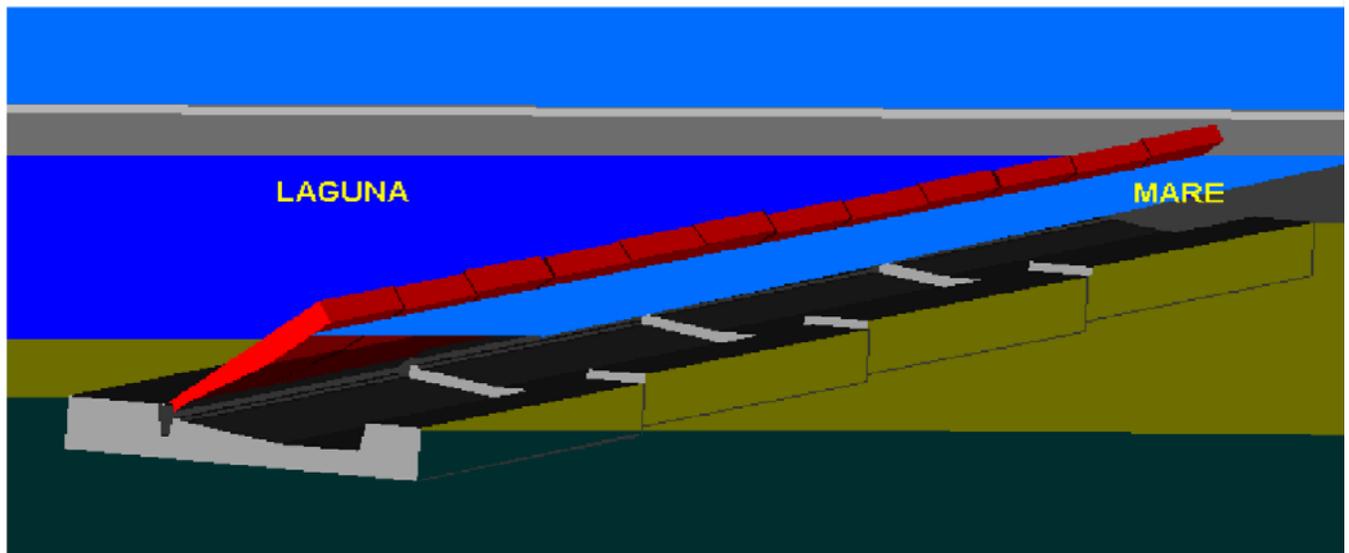
**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**

DISLIVELLO MAREA: 2 m



## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

BOCCA DI LIDO BARRIERA L = 240 m, PARATOIE FONDALE DA 3 - 6 m



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

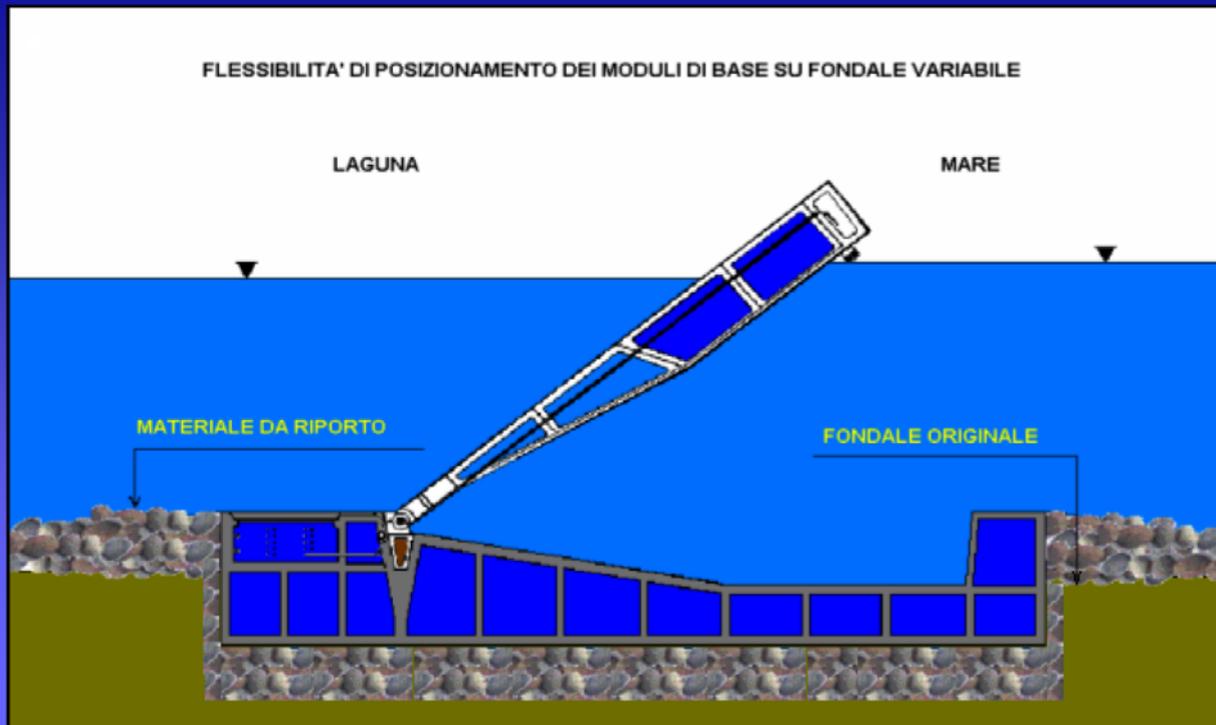
**REVERSIBILITA' EFFETTIVA DELLA INSTALLAZIONE**

**POSSIBILITA' DI REINSTALLAZIONE SU FONDALE DIVERSO**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

STUDIO DI FATTIBILITA' – PROGETTO DI MASSIMA

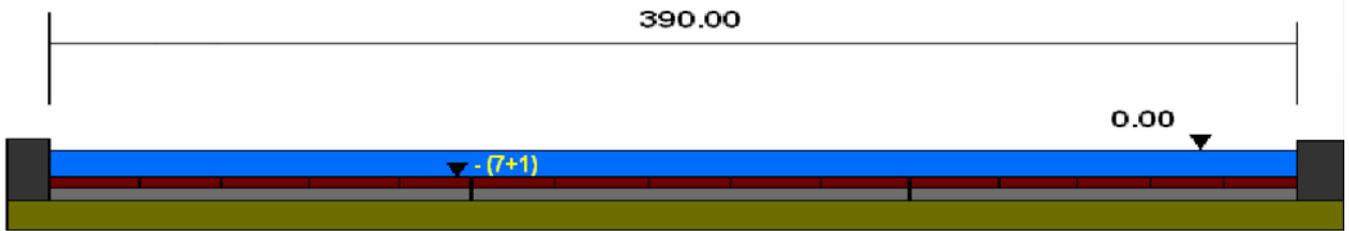
SOLUZIONE TUTTA IN ACCIAIO

LA PROPOSTA ALTERNATIVA AL MOSE

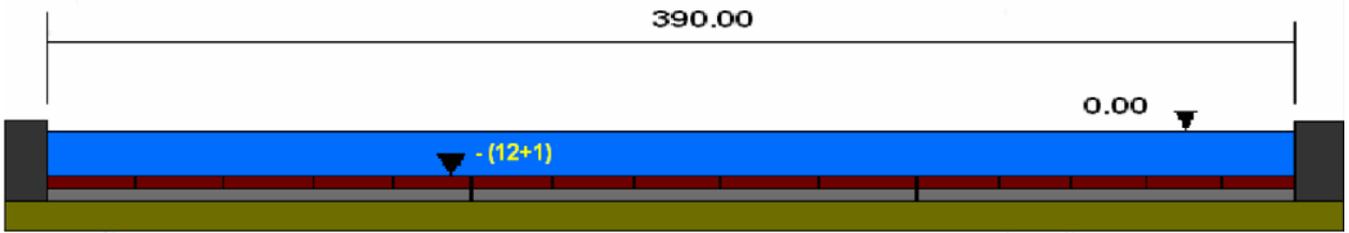


Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**



CHIOGGIA



MALAMOCCO

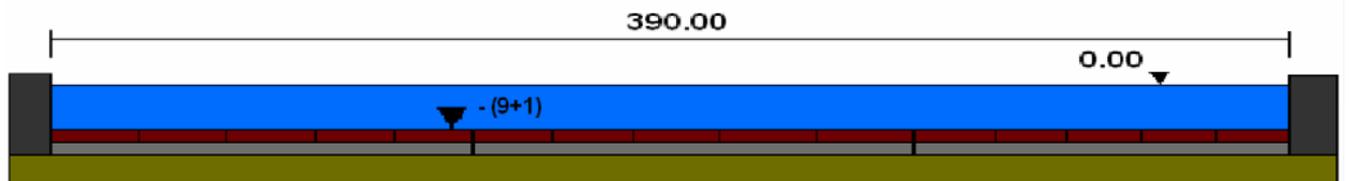


Ing. Vincenzo Di Tella

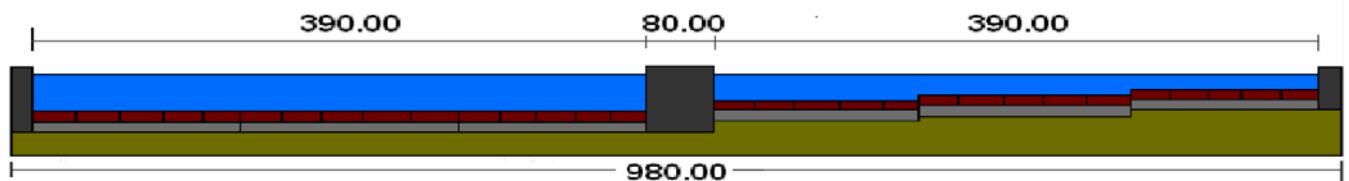
**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**



LIDO BASSO



LIDO ALTO

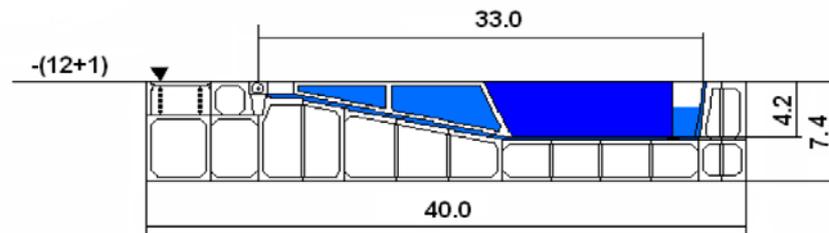


BOCCA DI LIDO

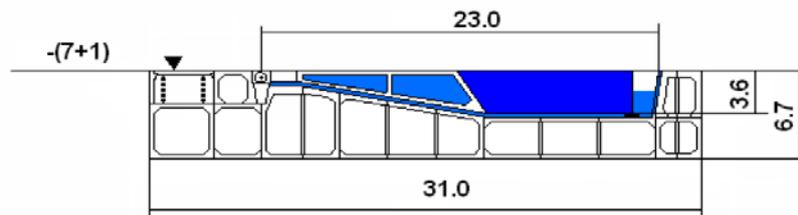


Ing. Vincenzo Di Tella

### SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'



MALAMOCCO

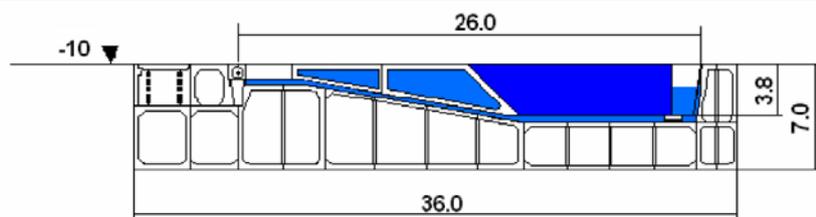


CHIOGGIA

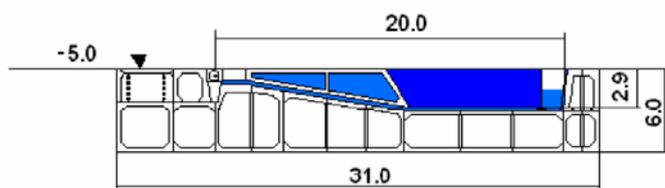


Ing. Vincenzo Di Tella

### SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'



LIDO ALTO FONDALE



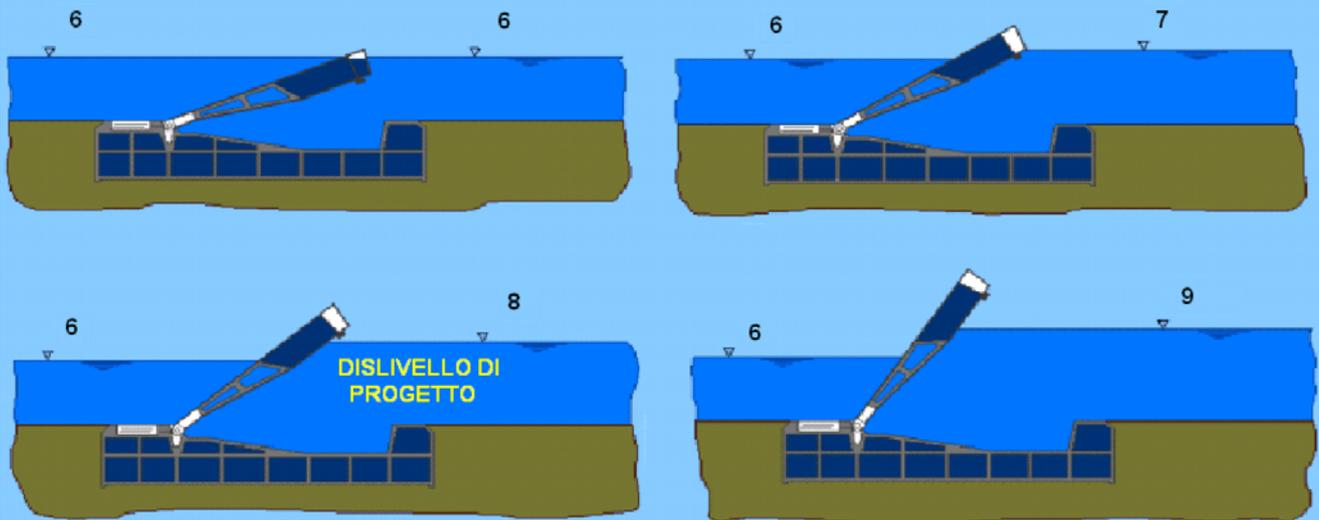
LIDO BASSO FONDALE: da -4 a -6m



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

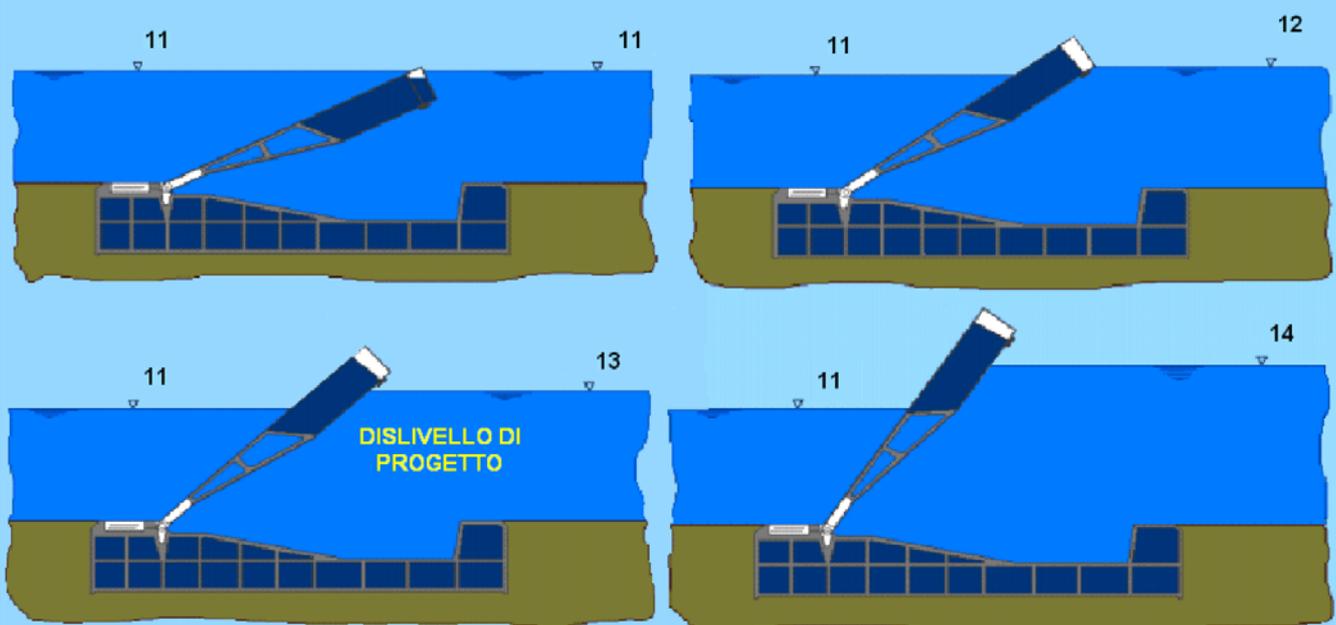
LIDO BASSO FONDALE: 5 m (medio)



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

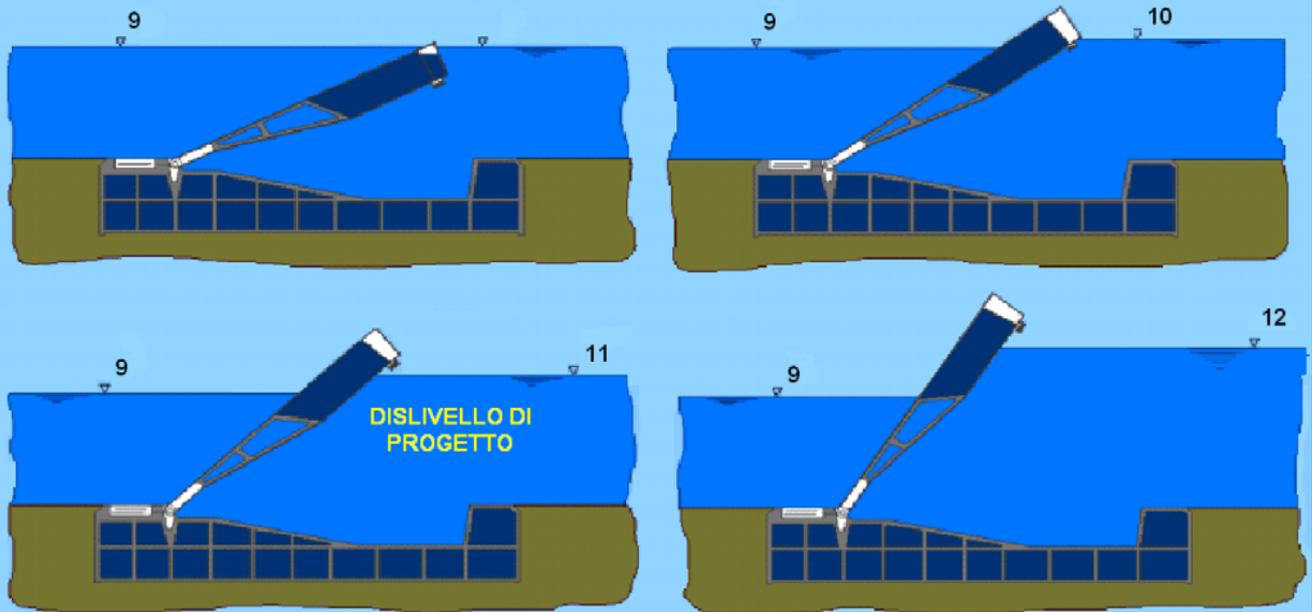
LIDO ALTO FONDALE: 10 m



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

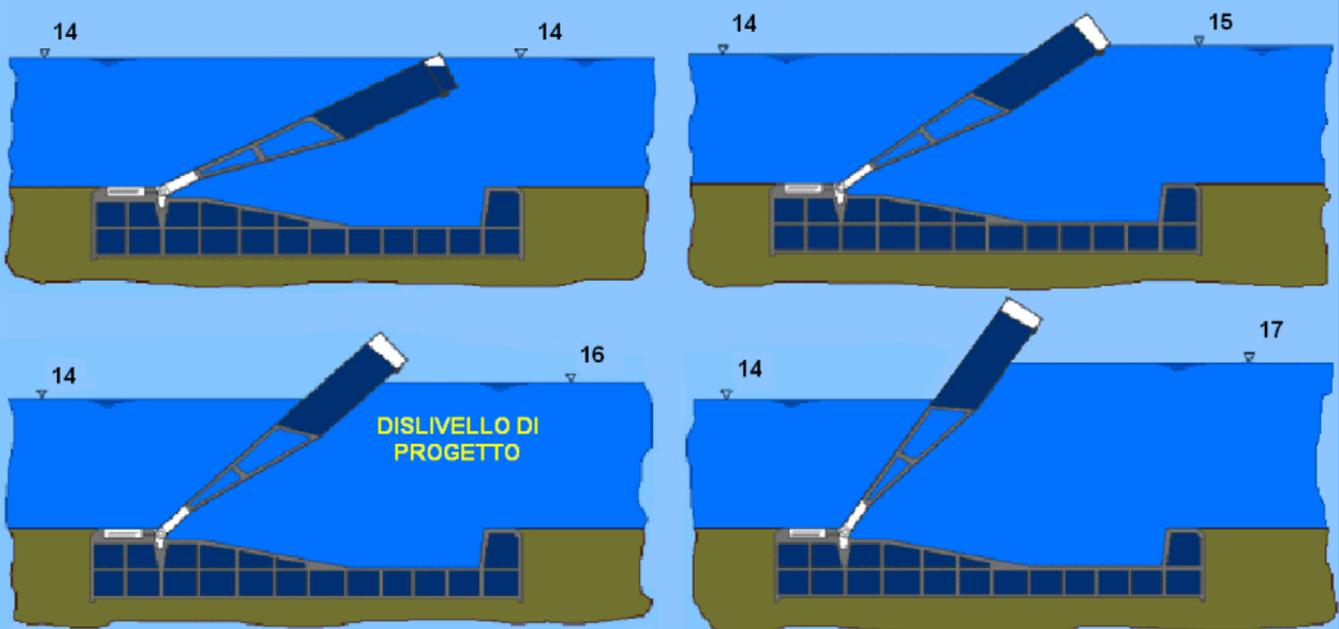
BOCCA DI CHIOGGIA FONFALE: 8 m



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

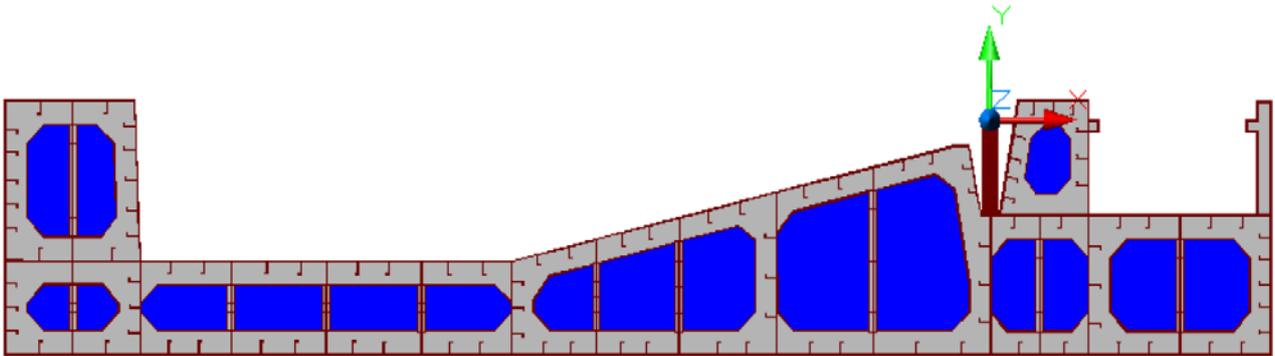
BOCCA DI MALAMOCCO FONDALE: 13 m



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

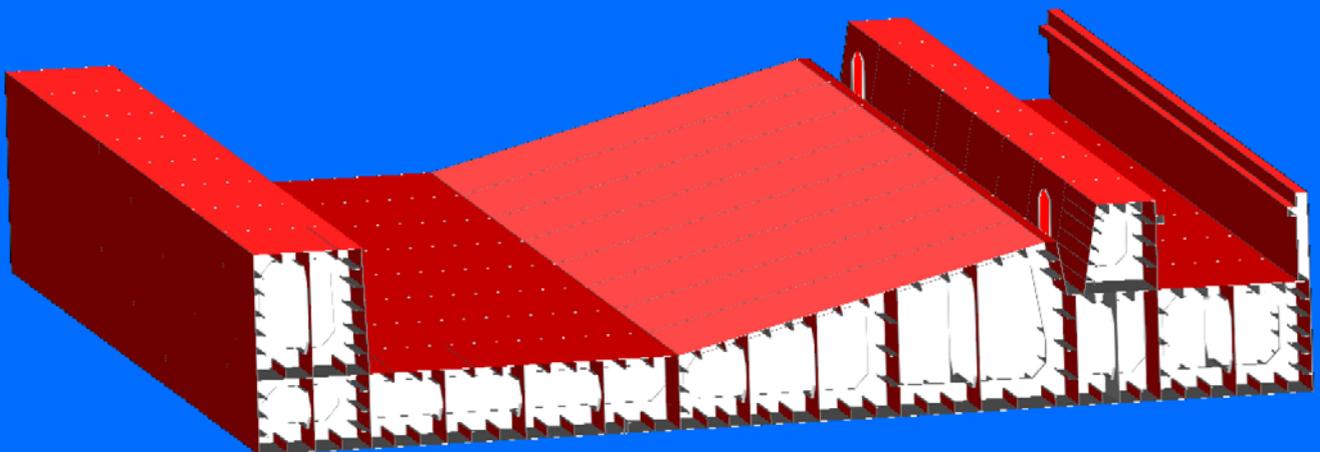
SEZIONE CORRENTE DEL MODULO DI BASE TIPICA  
COSTOLA RINFORZATA



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

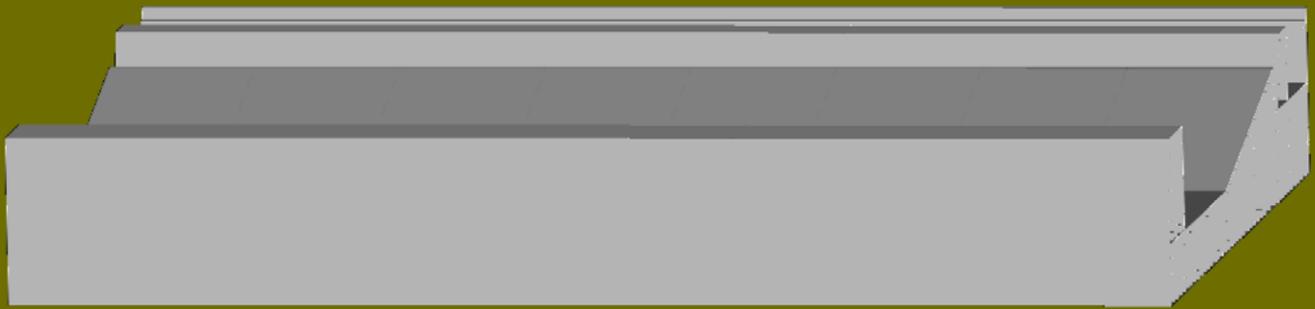
TIPOLOGIA STRUTTURALE DEL MODULO DI BASE IN ACCIAIO  
TRANCHE DI 26 m IN CORRISPONDENZA DI UN APARATOIA



*Ing. Vincenzo Di Tella*

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**

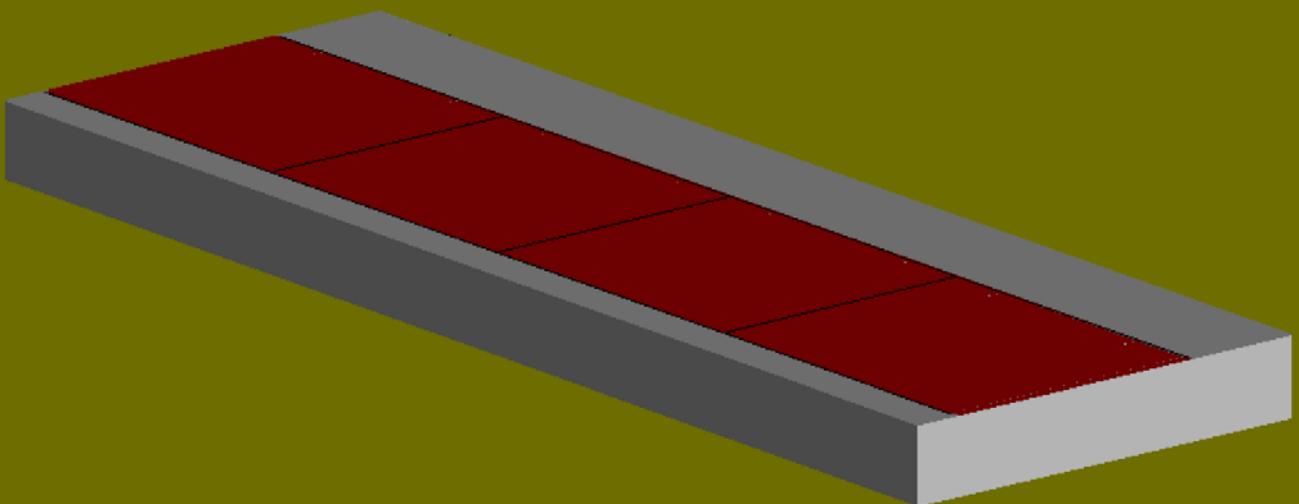
**MODULO di BASE L=120 m in CANTIERE**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITÀ'**

**MODULO di BASE COMPLETO L=120 m in CANTIERE  
4 PARATOIE DA 30 m  
CHIUSURA FIANCATA PROVVISORIA**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

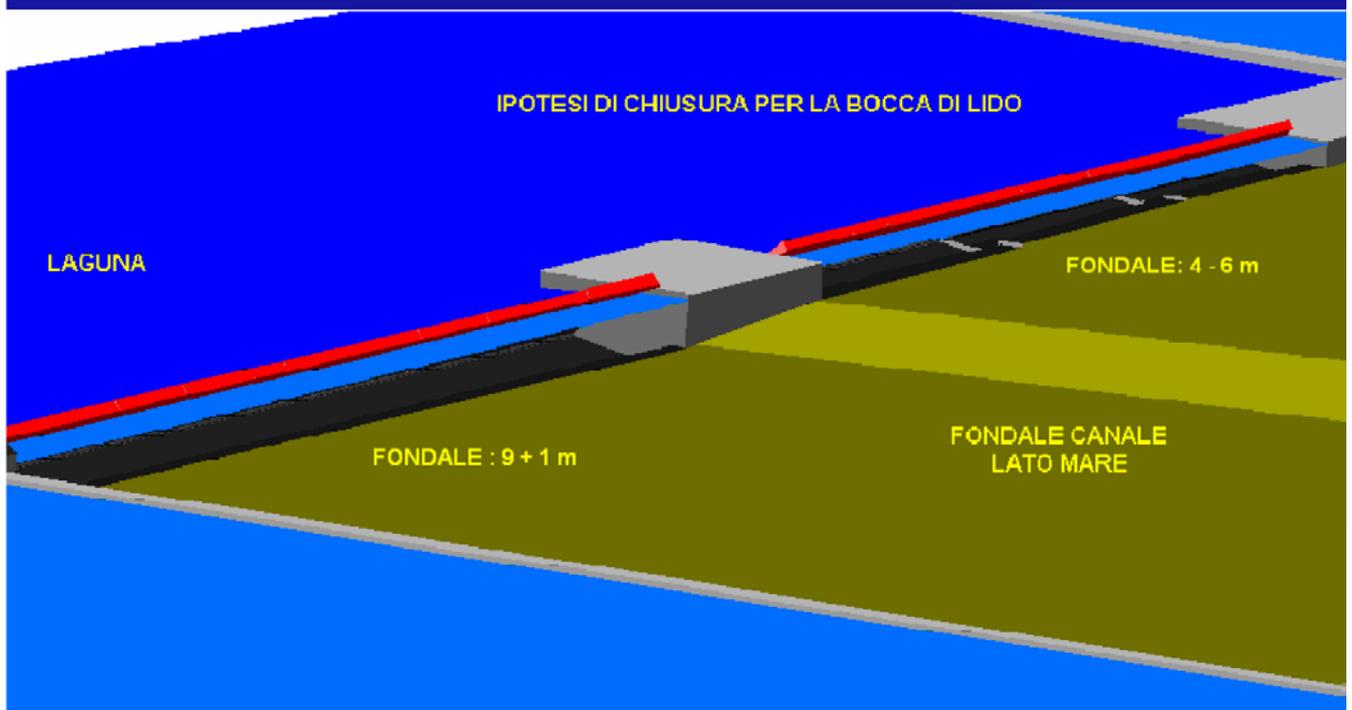
BOCCA DI LIDO - IPOTESI DI CHIUSURA CON  
CASSONE CENTRALE e SPALLA BASSA ALLUNGATA



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA'

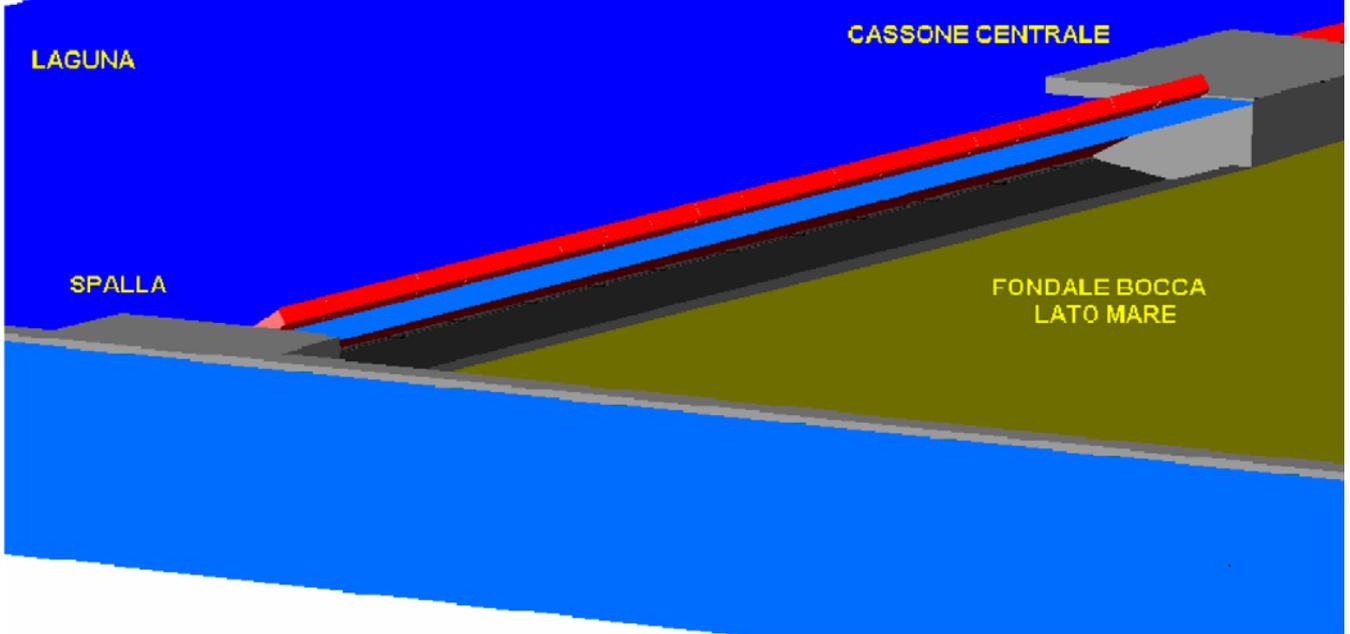
IPOTESI DI CHIUSURA PER LA BOCCA DI LIDO



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

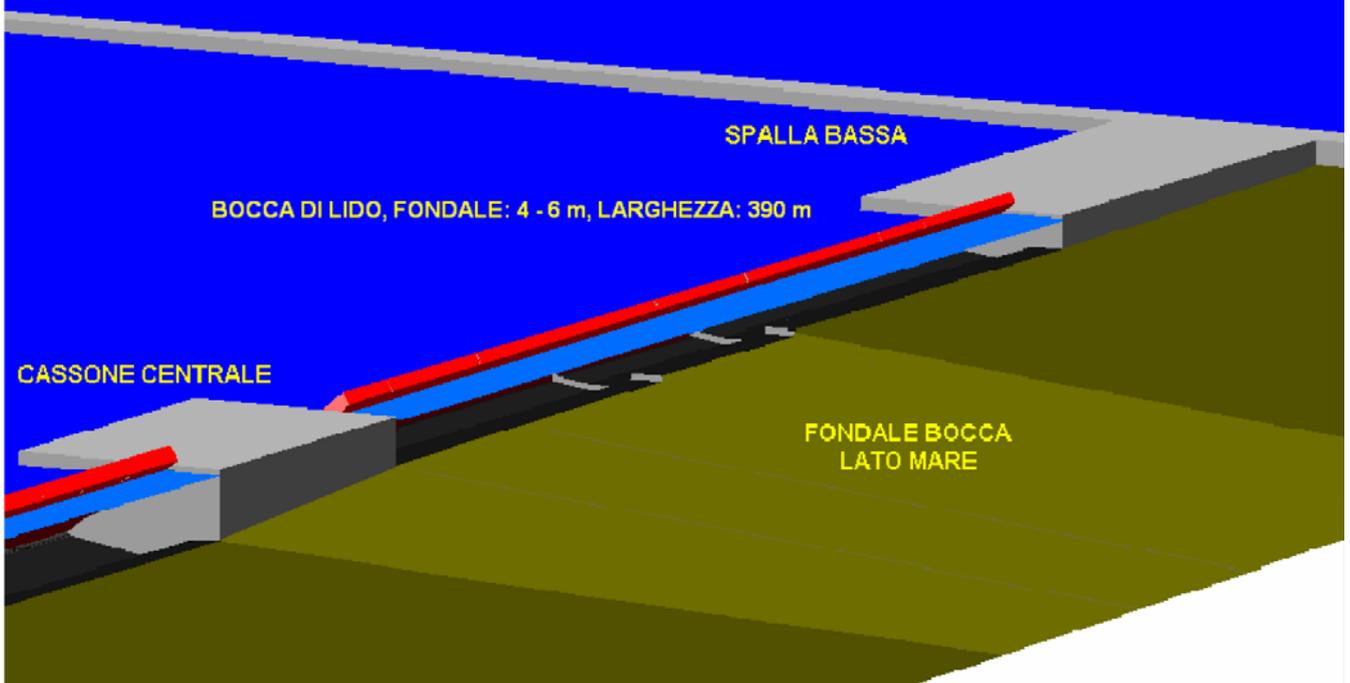
BOCCA DI LIDO, FONDALE ALTO: 9 m, LARGHEZZA: 400 m



Ing. Vincenzo Di Tella

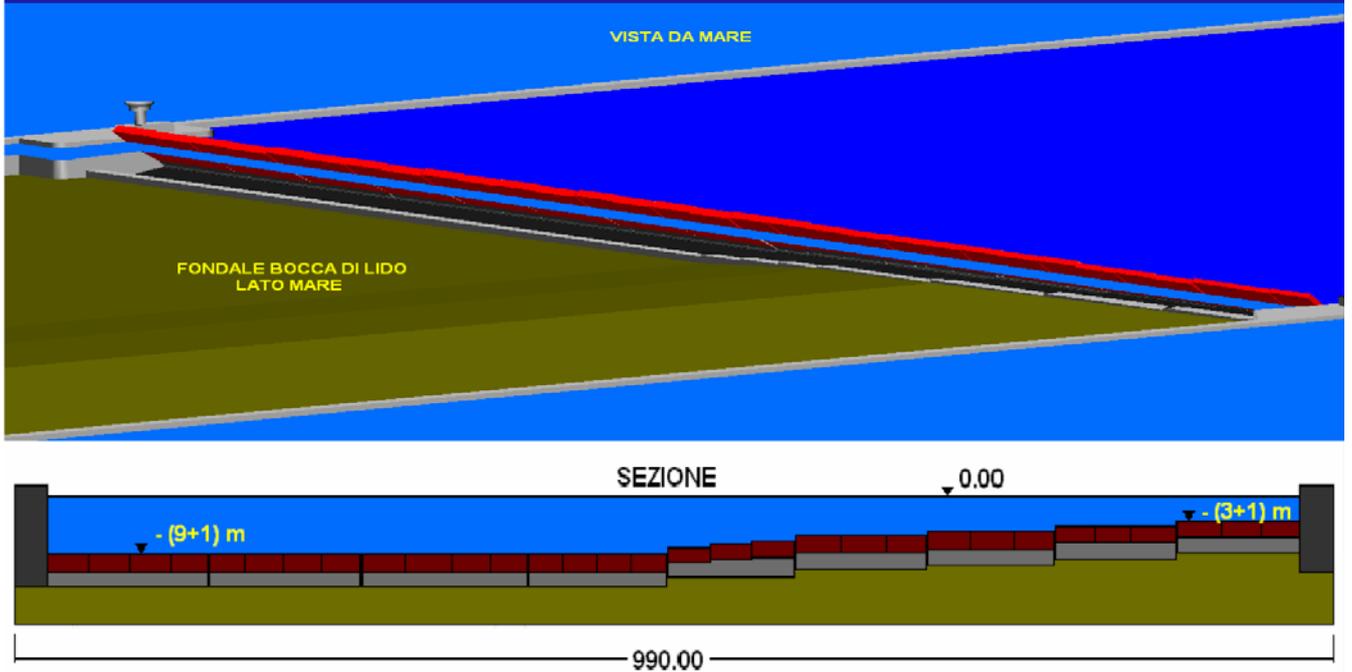
## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ'

BOCCA DI LIDO, FONDALE: 4 - 6 m, LARGHEZZA: 390 m



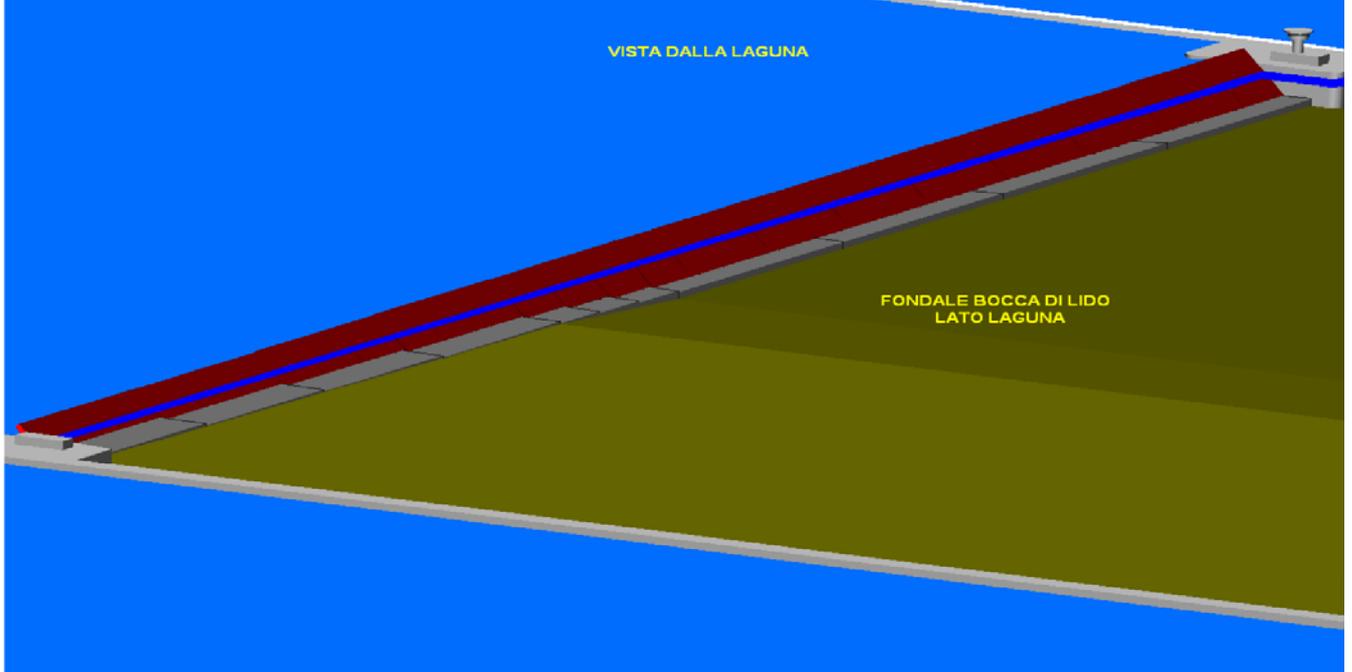
Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'  
BOCCA DI LIDO - IPOTESI FONDALE VARIABILE**



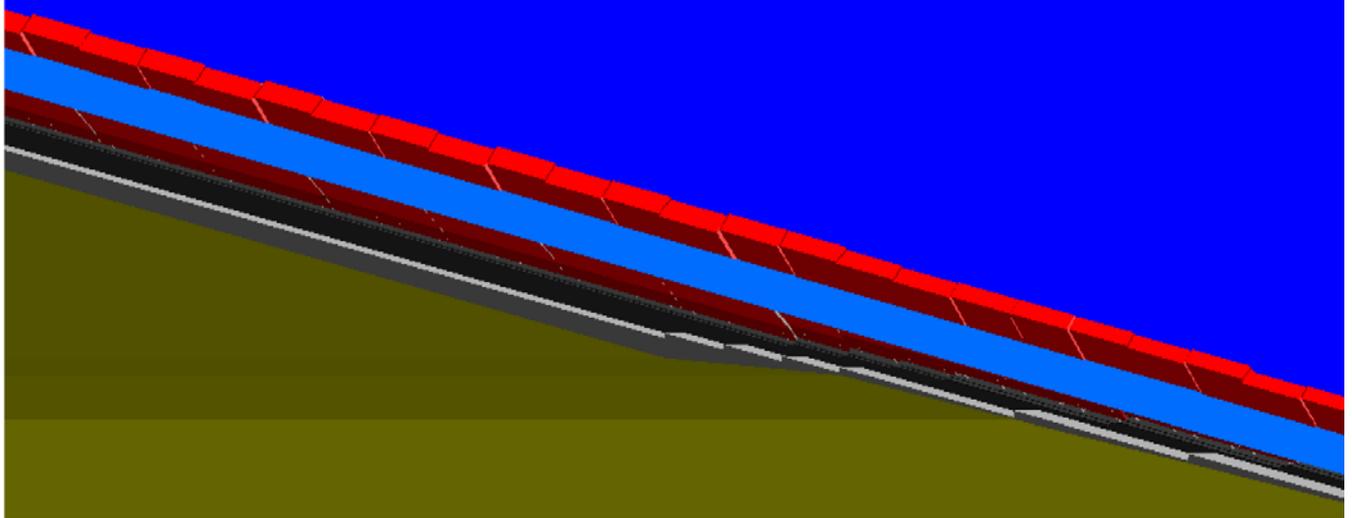
Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
PARATOIA A GRAVITA'  
BOCCA DI LIDO - IPOTESI FONDALE VARIABILE**



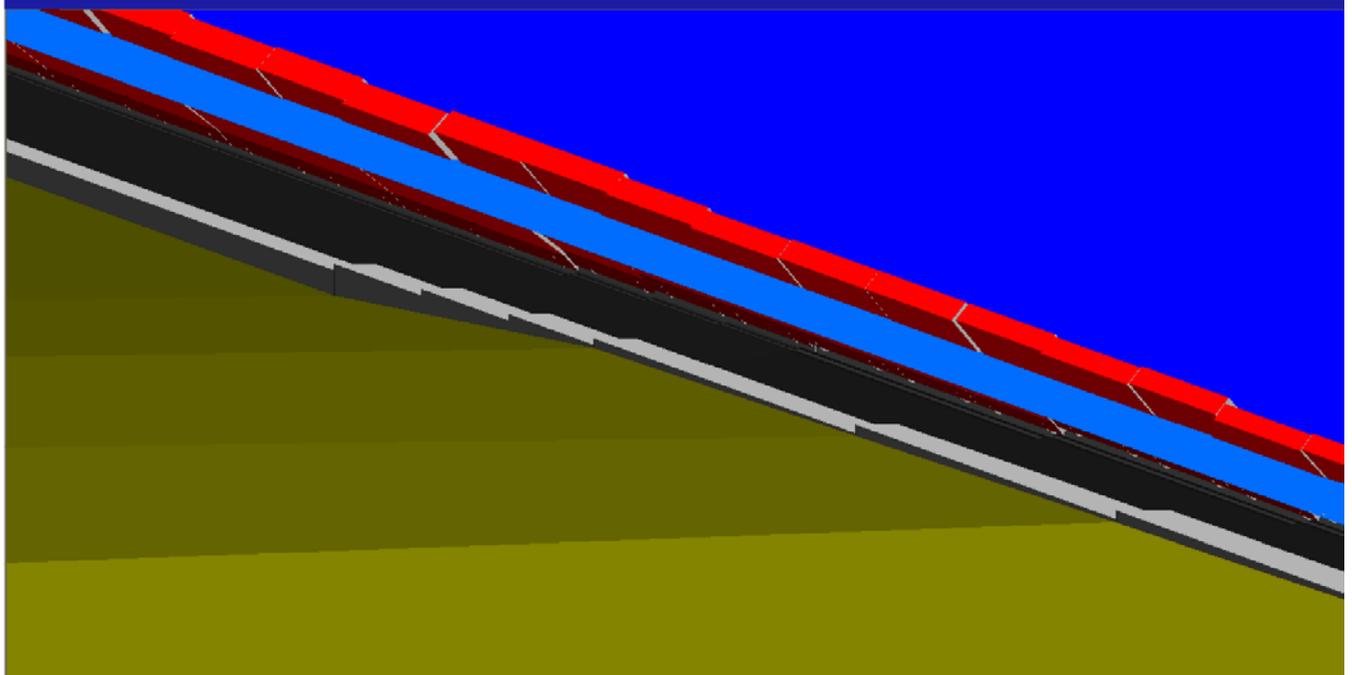
Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**  
**PARATOIA A GRAVITA'**  
**BOCCA DI LIDO – IPOTESI FONDALE VARIABILE**



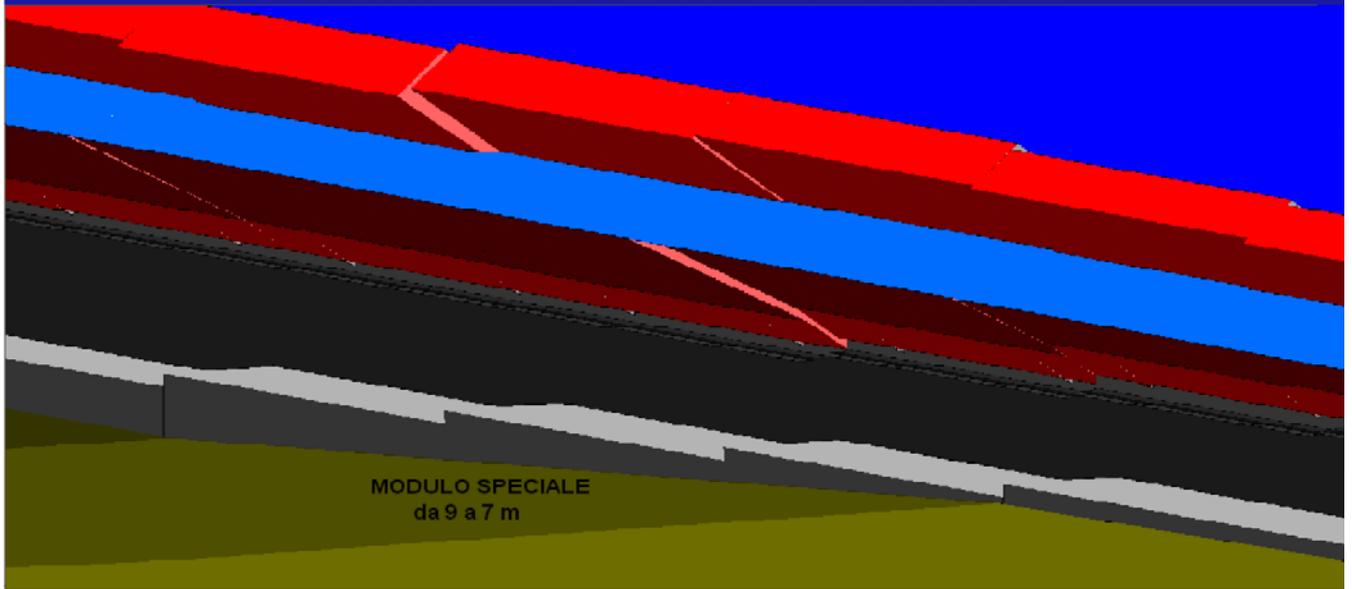
*Ing. Vincenzo Di Tella*

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**  
**PARATOIA A GRAVITA'**  
**BOCCA DI LIDO – IPOTESI FONDALE VARIABILE**



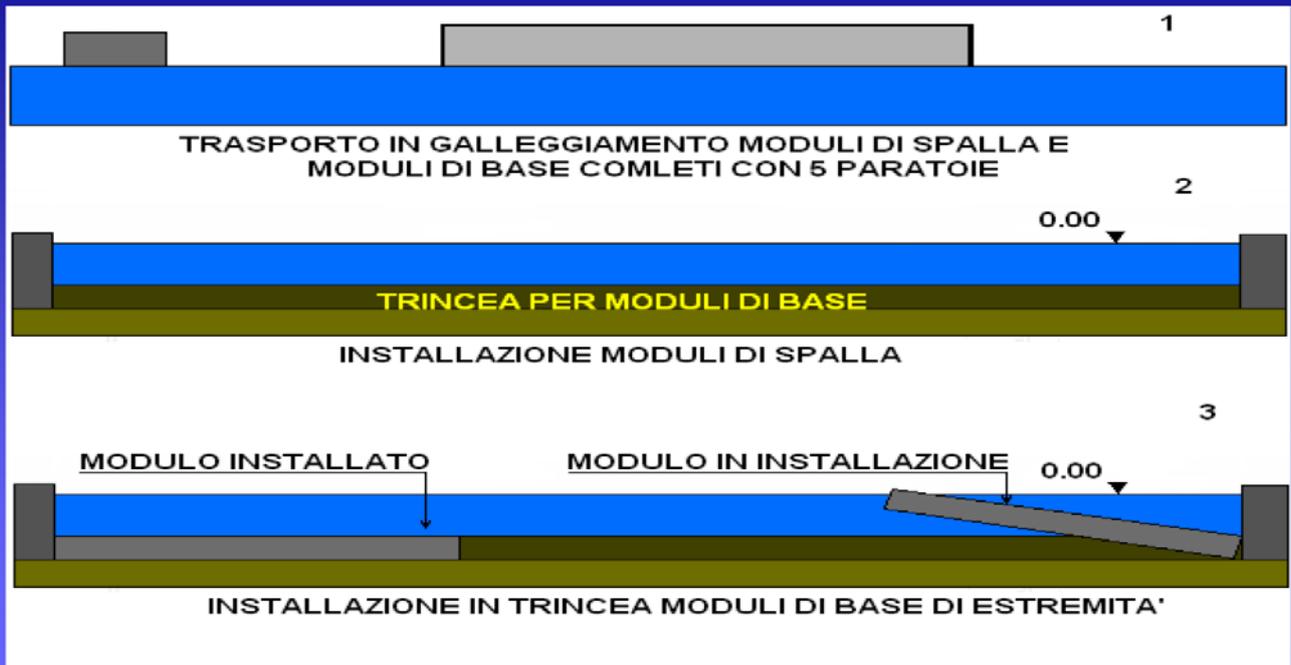
*Ing. Vincenzo Di Tella*

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**  
**PARATOIA A GRAVITÀ'**  
**BOCCA DI LIDO – IPOTESI FONDALE VARIABILE**



Ing. Vincenzo Di Tella

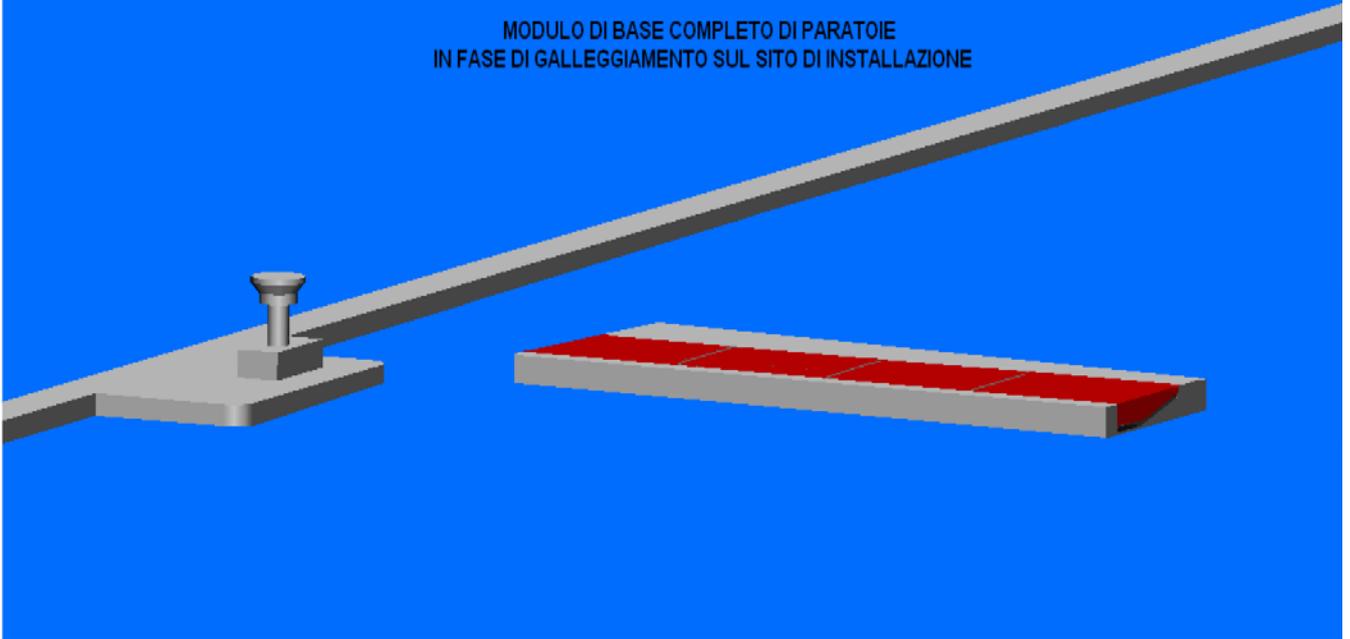
**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**  
**PARATOIA A GRAVITÀ'**  
**PROCEDURA D'INSTALLAZIONE**



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ' PROCEDURA D'INSTALLAZIONE

MODULO DI BASE COMPLETO DI PARATOIE  
IN FASE DI GALLEGGIAMENTO SUL SITO DI INSTALLAZIONE



Ing. Vincenzo Di Tella

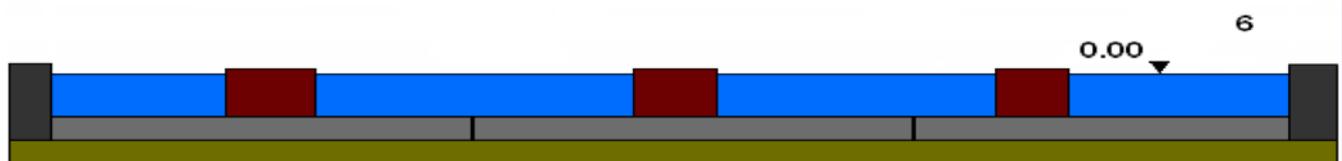
## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITÀ' PROCEDURA D'INSTALLAZIONE



INSTALLAZIONE MODULO CENTRALE



COLLEGAMENTO TUBAZIONI ARIA TRA I MODULI

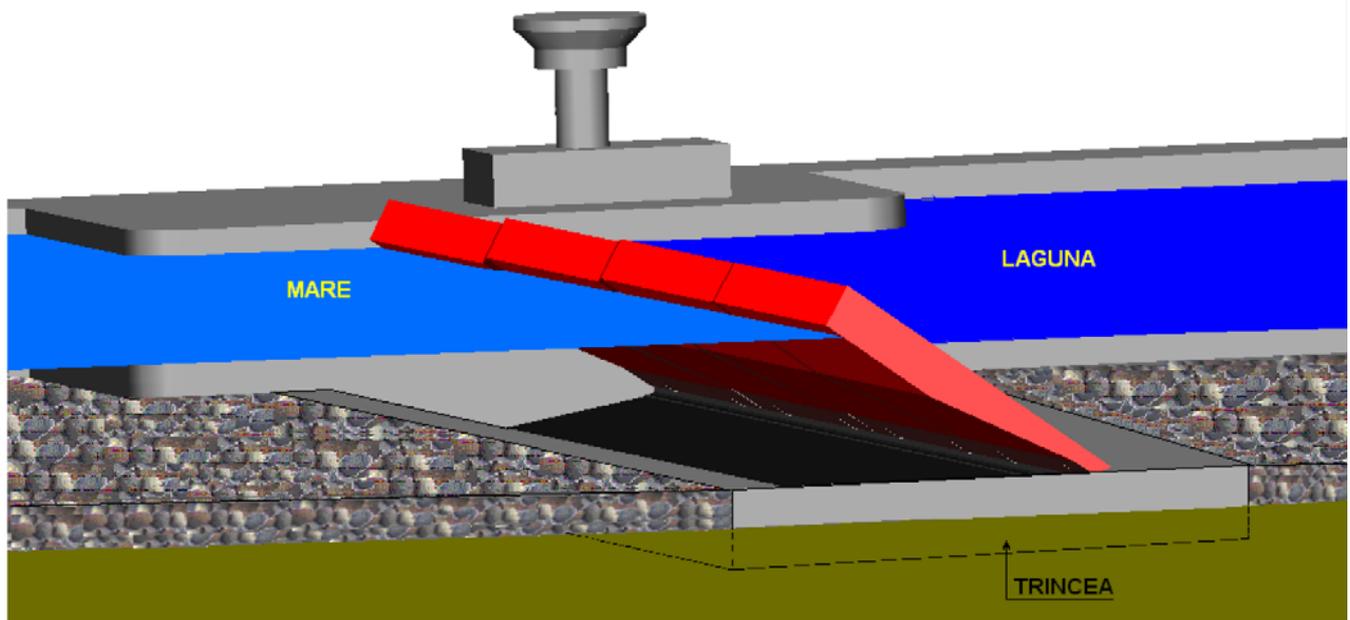


PROVA FUNZIONAMENTO PARATOIE



Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**  
**PARATOIA A GRAVITA'**  
**BOCCA DI LIDO - IPOTESI FONDALE VARIABILE**



Ing. Vincenzo Di Tella

**SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE**

**STIMA COSTI (10<sup>6</sup>)€**

	MOSE	GRAVITA' 1	GRAVITA' 2	GRAVITA' 3
<b>Opere Civili</b>				
<b>Barriere</b>	1428	848	392.4	240
<b>Paratoie e Cerniere</b>	290	208		
<b>IMPIANTI (Inclusi Conn. Mecc.)</b>	265	40	50	50
<b>Opere Compl. Conca Nav.</b>	313	286		
<b>Trasporto e Installazione</b>			60	60
<b>Costo Tot. Opere</b>	<b>2296</b>	<b>1382</b>	<b>502.4</b>	<b>350</b>
<b>Corrisp. e Op. Aggiuntive (%)</b>	1144	688	251.2	52.5
<b>TOTALE</b>	<b>3440</b>	<b>2070</b>	<b>753.6</b>	<b>402.5</b>

- 1- Paratoia equivalente al MOSE (costi Concessione)
- 2- Paratoia tutta in ACCIAIO (costi Concessione)
- 3- Paratoia tutta in ACCIAIO (costi Gara di Appalto)

SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

CONCLUSIONI DEL PROGETTO DI MASSIMA DELLE PARATOIE A GRAVITÀ

- **Riduzione tempi e costi di realizzazione.**
- **Procedura di installazione e recupero delle paratoie semplice, sicura ed affidabile.**
- **Assenza di elementi meccanici sulle basi e concentrazione sulle paratoie di tutti i componenti che necessitano di manutenzione.**
- **Facilità di adattamento all'innalzamento del livello del livello medio mare per effetto del "Global Warming".**
- **Riduzione dei volumi di zavorra, degli impianti e dei tempi di azionamento della chiusura delle bocche di porto che consentono di operare in condizioni di acqua alta certa e di ridurre al minimo sia il numero che la durata delle chiusure**

1 di 3



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

CONCLUSIONI DEL PROGETTO DI MASSIMA DELLE PARATOIE A GRAVITÀ

- **Riduzione dei costi di gestione.**
- **Riduzione dei tempi e costi di manutenzione.**
- **Flessibilità di utilizzo: possibile realizzare sbarramenti seguendo la conformazione delle bocche esistenti (eliminazione Bacan).**
- **E' possibile installare i moduli parzialmente emersi modulando la sezione delle bocche.**
- **Il sistema può essere utilizzato parzializzato sia durante la fase di costruzione (progressività e sperimentalità) che durante la fase operativa in un ottica di riduzione acque alte.**

2 di 3



➤ **Reversibilità effettiva dello sbarramento.**

Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

## CONCLUSIONI DEL PROGETTO DI MASSIMA DELLE PARATOIE A GRAVITÀ'

- Elimina: l'isola artificiale del BACAN, la demolizione delle dighe, le conche di Navigazione, i 12 000 pali di fondazione, i cantieri in opera per i moduli di base e di spalla.
- Riduce drasticamente i  $7 \times 10^6$  m<sup>3</sup> di dragaggi.
- L'impiego di strutture in acciaio, anche per le basi e le opere di spalla, permette l'utilizzo di cantieri navali esistenti per la costruzione, ed una realizzazione delle opere in tempi certi, rende il sistema di sbarramento estremamente economico.
- Riduzione drastica dell'impatto ambientale sia durante l'esercizio che durante le fasi di costruzione e installazione, e sulle attività portuali.

3 di 3



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE  
 PARATOIA A GRAVITÀ'  
 STATO DELLA PROPOSTA

- |  |                |
|--|----------------|
| ➤ DOMANDA di BREVETTO  | Aprile 2001    |
| ➤ PROVE in VASCA   | Giugno 2002    |
| ➤ PRESENTAZIONE MINISTERO INFR. & TRASP.   | Luglio 2002    |
| ➤ PRESENTAZIONE al CVN   | Settembre 2002 |
| ➤ VALUTAZIONE TECHNICAL (VERIFICA FATTIBILITÀ' e RISPETTO DEI REQUISITI DI PROGETTO) | Marzo 2003     |
| ➤ CVN INVIA al MAV RELAZIONE DI PROGETTO e RELAZIONE DI VALUTAZIONE TECHNICAL        | Marzo 2003     |
| ➤ RICH. di PRESENTAZIONE al COMUNE VENEZIA   | Giugno 2003    |

1 di



Ing. Vincenzo Di Tella

## SISTEMA DI PARATOIE MOBILI PER LA PROTEZIONE DALLE ACQUE ALTE PARATOIA A GRAVITA' STATO DELLA PROPOSTA

- **PRESENTAZIONE al CONVEGNO IUAV** **Giugno 2003**
- **RICHIESTE DI PRESENTAZIONE AL MAV (NESSUNA RISPOSTA)** **Lu. e Dic. 2003**  
**Gennaio 2004**
- **INFORMATIVA ai MINISTERI Finanza e Infrastrutture & Tr.** **Febbraio 2004**
- **CONCESSIONE BREVETTO** **Novembre 2004**
- **PROGETTO DI MASSIMA** **2003 - 2004**
- **PRESENTAZIONE alla COMM. COM. Legge Speciale VE NEZIA** **Gennaio 2005**
- **PRESENTAZIONE al MAV e INFORMATIVA a ORGANI ISTITUZ.** **Marzo 2005**
- **PRESENTAZIONE alle COMM. X e IV COMUNE VENEZIA** **Luglio 2005**

2 di 2



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

### STUDIO DI FATTIBILITA' – PROGETTO DI MASSIMA

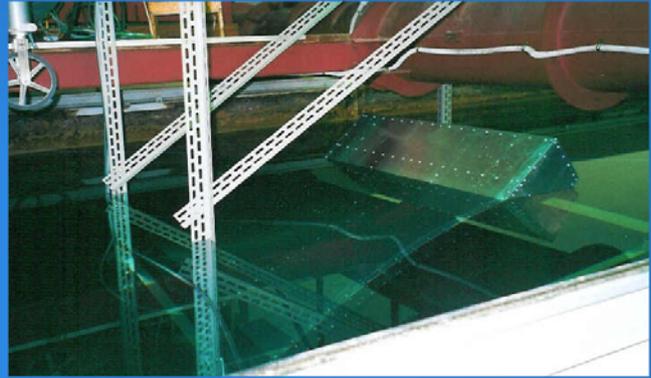
### PROVE IN VASCA



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

### PROVE IN VASCA PARATOIA ISOLATA



MODELLO PARATOIA BOCCA DI MALAMOCCO - SCALA 1/20



*Ing. Vincenzo Di Tella*

## SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

### PROVE IN VASCA

#### **PROGRAMMA PROVE**

- **PROVA DI OSCILLAZIONE**
- **PROVE IN MOTO ONDOSI REGOLARE**
- **PROVE CON CORRENTE**



*Ing. Vincenzo Di Tella*

SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

PROVE IN VASCA

**PROVA DI OSCILLAZIONE LIBERA**

$$T_s = T_m \times 4,47 = 16,5 \text{ sec}$$

$$T_c \text{ (sec)} = 16,36 - 16,49 - 16,97$$



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

PROVE IN VASCA

**PROVE IN MOTO ONDOSO - CONDIZIONI DI PROVA**

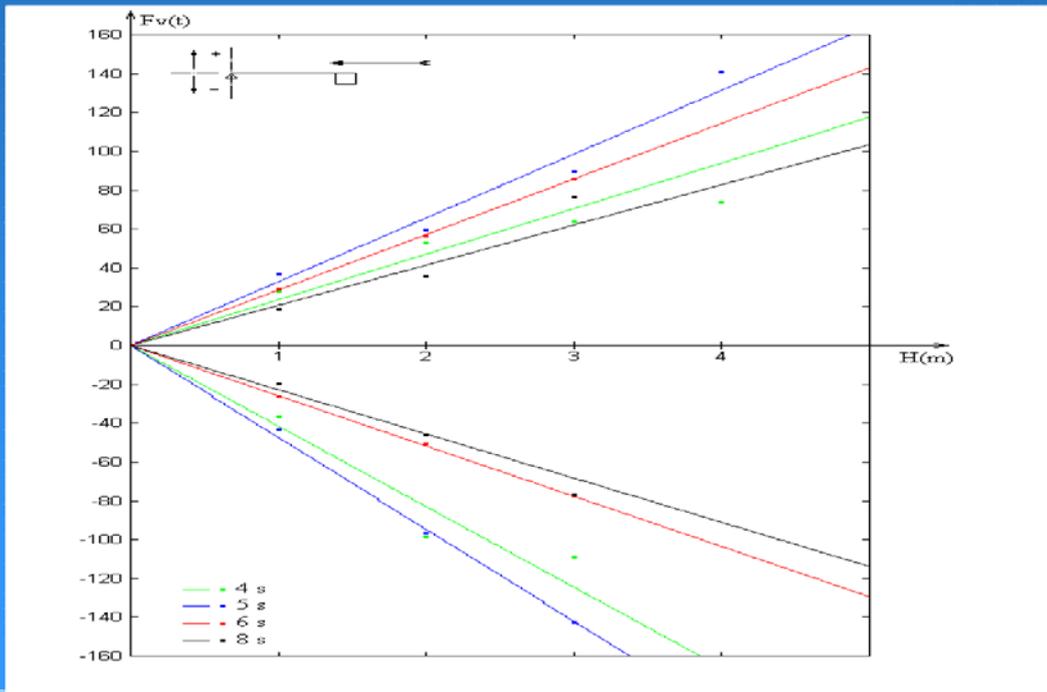
T (sec)	4	5	6	8
H = 1m	X	X	X	X
H = 2m	X	X	X	X
H = 3m	X	X	X	X
H = 4m	X	X		



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

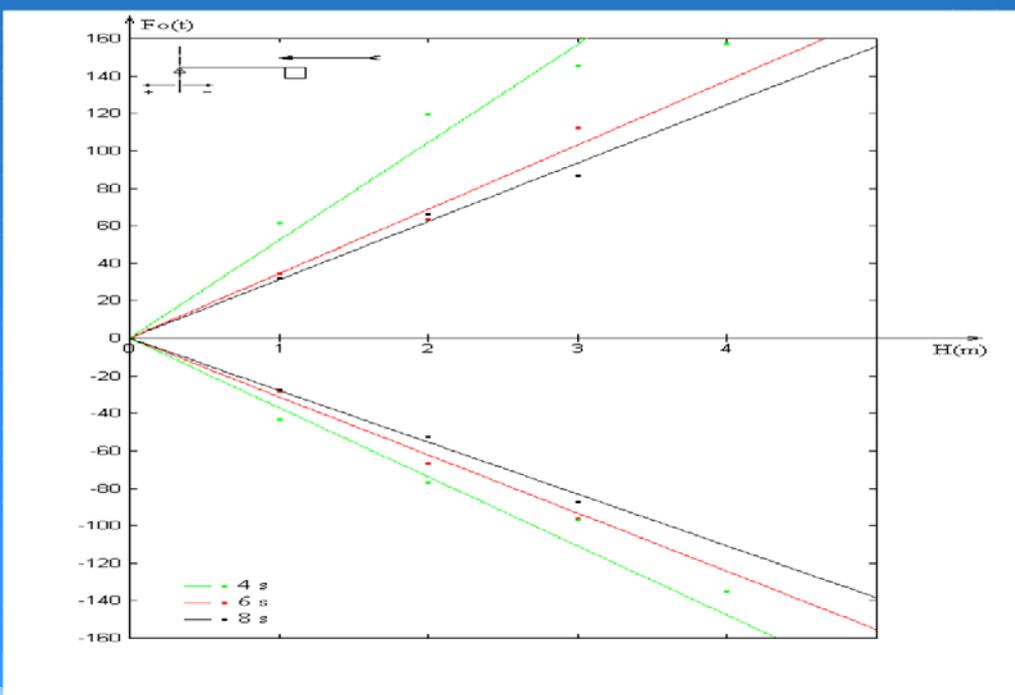
PROVE IN VASCA - FORZE VERTICALI



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

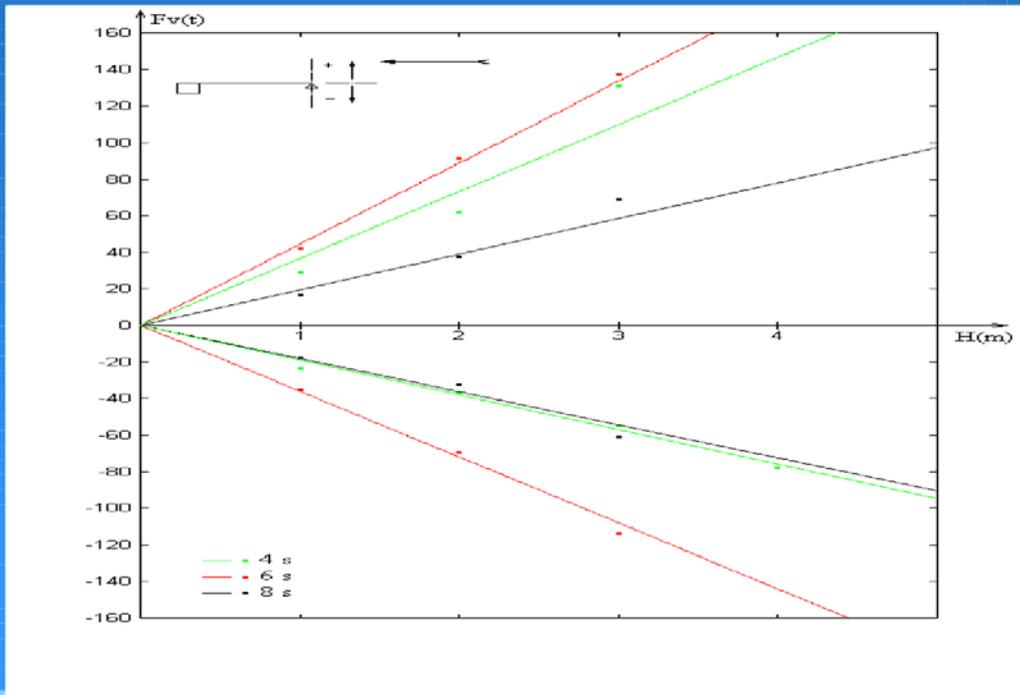
PROVE IN VASCA - FORZE ORIZZONTALI



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA VENETA DALLE ACQUE ALTE

PROVE IN VASCA ORIENTAMENTO OPPOSTO – FORZE VERTICALI



Ing. Vincenzo Di Tella

SISTEMA DI PARATOIE MOBILI

PER LA PROTEZIONE DELLA LAGUNA DI VENEZIA

STUDIO DI FATTIBILITA'

A cura dell' Ing. Vincenzo DI TELLA

# UNA SOLUZIONE VANTAGGIOSA E FLESSIBILE PER LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE MOBILI A SCOMPARSA DI DIFESA DI VENEZIA DALLE ACQUE ALTE

## UTILIZZO DELLA TECNOLOGIA DEI PONTONI SOMMERGIBILI

### 1. Premessa

**La presente relazione va letta insieme alla relazione: "LA PARATOIA A GRAVITÀ, UNA SOLUZIONE VANTAGGIOSA E FLESSIBILE PER LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE MOBILI A SCOMPARSA DI DIFESA DI VENEZIA DALLE ACQUE ALTE", Progetto di Massima (sintesi), re. 4, marzo 2005.**

Scopo di questa relazione è la presentazione del progetto di massima del sistema di protezione della laguna veneta dalle acque alte, basata sul concetto della Paratoia a Gravità, che utilizza la tecnologia delle "submersible barges" ossia dei pontoni sommergibili per il supporto delle Paratoie che consente un'applicazione estremamente flessibile delle chiusure mobili delle bocche di porto.

Il progetto prende lo spunto dai criteri di valutazione dei progetti alternativi al MoSE, fatta dalla Commissione di Esperti del Comune di Venezia, riportato nella relazione: "Confronto Interventi Alternativi alle Bocche di Porto" del 15 novembre 2005.

La Commissione ha raggruppato le varie proposte in linee progettuali che sono state esaminate comparativamente con un sistema multicriteriale che prevede 5 scenari valutativi, ad ognuno dei quali è stato attribuito un certo peso percentuale.

Ogni scenario è articolato in indicatori, qualificanti, a ciascuno dei quali è stato attribuito un peso espresso in numeri da 5 a  $10^3$ .

Normalmente questo criterio viene seguito nella valutazione di progetti preliminari presentati a concorsi d'idee; in questo caso il criterio è stato scelto perché gli Esperti si sono trovati ad esaminare progetti con notevole differenza di sviluppo tra loro. In questi casi, generalmente, gli scenari e gli indicatori, con il loro peso percentuale e ponderale sono noti "a priori" e ciò consente ai proponenti di adeguare le proposte, e a chi valuta di lavorare in assoluta trasparenza.

Il Progetto di Massima della Paratoia a Gravità, esaminato dalla Commissione, si basa sulle conclusioni del progetto di fattibilità fatto dai sette Saggi nel 1981 e soddisfa tutti i requisiti di progetto posti dal "Comitatone" nel corso degli anni e recepiti dalla Legge Speciale, e la sua concezione risente in maniera determinante di questi vincoli, che prevedono opere permanenti a scomparsa che permettano di fronteggiare le acque alte eccezionali, rispettando tutte le condizioni di progetto indicate, comprese quelle che il MoSE non rispetta e non potrà mai rispettare per la sua concezione monolitica fortemente integrata, come già dimostrato nella relazione sul Progetto di Massima precedentemente indicata.

Dalla valutazione del Gruppo di Lavoro nominato dal Comune, si evince che senza entrare nel merito tecnico delle proposte esaminate, e quindi del loro grado di sviluppo, è stato dato un elevato valore ad opere, che nel rispetto dei requisiti di *gradualità*, *sperimentalità* e *reversibilità*, siano stagionali e consentano una loro manutenzione fuori opera.

Peraltro nel documento di valutazione non pare che sia stata sufficientemente investigata la fattibilità delle soluzioni, in particolare non è stata fatta una distinzione netta tra proposte che prevedono una chiusura parziale delle bocche e quelle che dichiarano di poter effettuare anche la chiusura totale delle bocche, che è cosa totalmente diversa. Infatti l'operazione di chiusura totale, quando necessaria, avviene normalmente in condizioni meteo imprevedibili, caratterizzate da onde e corrente di marea che possono essere molto onerose, mentre la chiusura parziale può essere fatta quando si vuole, su previsione e quindi in condizione di mare quasi calmo e correnti modeste.

Sulla base di questi criteri, data l'enorme flessibilità di progettazione consentita dal concetto di Paratoia a Gravità, è stato parzialmente modificato il progetto del sistema di barriere mobili, utilizzando, per le strutture di supporto delle paratoie, la tecnologia delle "submersible barges" che, grazie alla loro procedura di immersione ed emersione, semplice, sicura ed affidabile, si presta in modo ottimale ad un impiego stagionale, del sistema di protezione.

Anche in questo caso i componenti, le tecniche e le procedure utilizzate per la progettazione e la realizzazione delle opere, sono ampiamente sperimentate ed acquisite nelle tecnologie navali, marine ed offshore, e pertanto si tratta solo di progettare le opere per i requisiti di progetto richiesti e senza i rischi che si corrono quando in un progetto si introducono elementi innovativi, mai sperimentati che necessitano di un notevole lavoro di sperimentazione per verificare la fattibilità e la qualifica di questi componenti, e il cui risultato non può essere garantito "a priori" (è questo il caso di alcuni componenti critici del MoSE).

### **Cenni sulle "Submersible barges"**

---

Lo sviluppo delle tecnologie marine per lo sfruttamento di giacimenti di idrocarburi offshore, e la necessità di costruire le opere in cantieri attrezzati lontani dai luoghi di installazione, da sempre ha richiesto pontoni per il trasporto di questi enormi manufatti dai cantieri di costruzione al luogo di installazione: le "transportation barges" o pontoni di trasporto, su cui questi manufatti vengono trasferiti o meglio "skiddati", e da cui, una volta giunti sul posto vengono varati, o sollevati per mezzo di grossi "crane vessel" o navi gru, ed installati. Negli ultimi 15-20 anni, la necessità di trasporti oceanici di oggetti di grandi dimensioni e pesi ha portato alla concezione e realizzazione delle "submersible barges", che in aggiunta alla capacità di "skiddaggio" di strutture ed impianti, sono anche capaci di immergere ed emergere il piano di carico (ponte della barge), sia per prendere, nei cantieri di costruzione, che per posare in galleggiamento, sul sito d'installazione questi enormi manufatti; il comando e il controllo delle operazioni vengono eseguiti dalla tuga prodiera che resta sempre in emersione, e che ne assicura la stabilità e il controllo della spinta di galleggiamento. La figura 1 mostra una barge tipica in condizione completamente scarica e due barges in fase di "skiddaggio in tandem" dello scafo di una piattaforma "tension leg" (a gambe pensionate) per altissimi fondali (?1000 m), le barges, raggiunto il luogo d'installazione, si immergono fino a consentire allo scafo della "tension leg" di galleggiare.

Le capacità di trasporto di strutture oltre le 20 000 t di peso, la capacità di immersione oltre i 20 m del fondo della barge, l'impianto di riempimento/svuotamento delle casse di zavorra e la resistenza strutturale che ne consentono l'impiego per trasporti oceanici, rendono questa tipologia strutturale particolarmente adatta ad alloggiare nella parte alta un certo numero di Paratoie a Gravità per realizzare le opere di sbarramento. Le barges, portate in opera ed installate, vengono ulteriormente zavorrate, riempiendo completamente tutti i loro compartimenti, per aggiungere la necessaria stabilità sul fondo con procedura analoga a quelle delle piattaforme a gravità (le piattaforme a gravità sono piattaforme senza pali di fondazione che stanno sul fondo col peso proprio e della zavorra in esse contenuta), e quindi consentono immediatamente, appena installate, l'azionamento delle paratoie. L'installazione di tutte le barges avviene all'inizio della stagione di possibili acque alte, in condizioni di mare calmo, mentre la chiusura parziale o totale delle bocche di porto sarà fatta, se necessario, azionando le paratoie in qualsiasi condizione meteo. La procedura di immersione è assolutamente reversibile e quindi, in qualsiasi momento, è possibile, svuotando le camere di zavorra, riportare la barge con le rispettive paratoie in galleggiamento, permettendo un uso stagionale delle opere di chiusura e tutte le operazioni di manutenzione in galleggiamento o in cantieri attrezzati.

## Descrizione del Progetto

Considerando la tipologia di queste barges, la parte adibita al carico e contenente le camere di zavorra per le operazioni di immersione/emersione è stata considerata particolarmente adatta ad essere trasformata come la base a gravità del sistema di paratoie, mentre la tuga prodiera emergente è stata utilizzata per l'alloggiamento di tutti gli impianti necessari sia allo zavorramento e svuotamento delle casse di zavorra sia alle operazioni di apertura e chiusura delle paratoie.

Considerando le stesse geometrie delle Paratoie a Gravità determinate nel progetto di massima di riferimento, si è costruito intorno ad esse lo scafo della barge sommergibile. Nelle figure 2, 3, 4 e 5 sono riportate schematicamente, nell'ordine, le barges per le bocche di Malamocco, Chioggia, Lido alto fondale e Lido basso fondale.

Per ogni bocca di porto si utilizzano due barges delle stesse dimensioni, affiancate nella parte immersa, in modo che le strutture emergenti delimitino la luce navigabile della bocca di porto.

La struttura funzionalmente integrata della singola barge porta ad un'ulteriore semplificazione del sistema di vincolo delle cerniere e delle tubazioni per l'azionamento delle paratoie, non essendo più necessario lo smontaggio della singola paratoia per la loro manutenzione; vengono pure eliminati, rispetto alla soluzione precedente, l'utilizzo degli "spool pieces" operati dai ROV (Remotely Operated Vehicle) per il collegamento delle tubazioni sottomarine. La costruzione dei barges con le rispettive paratoie avviene completamente in cantieri navali attrezzati, con tempi e costi certi e notevolmente ridotti.

La Fig 6 mostra due barges in galleggiamento nelle condizioni di trasporto dal cantiere di costruzione al sito d'installazione. In questa fase lo zavorramento è minimo per garantire l'assetto orizzontale per le condizioni di rimorchio e le migliori condizioni di trasporto.

La Fig 7 mostra le fasi d'installazione delle due barges nella bocca di porto, le operazioni possono essere svolte in assoluta sicurezza con precisione di posizionamento dell'ordine della decina di centimetri. L'installazione è stata prevista in trincea in modo da variare il meno possibile la sezione della bocca nelle condizioni normali con i vantaggi, nello scambio mare/laguna, facilmente comprensibili e per maggiore sicurezza dei manufatti vedi Fig. 8.

La Fig. 9 mostra il sistema di paratoie in fase operativa; il comportamento intrinsecamente stabile della Paratoia a Gravità che non ha bisogno del sistema di controllo per il funzionamento delle paratoie, consente una gestione ottimale delle chiusure parziali, in modo da ridurre la sezione delle bocche in funzione dei livelli di maree previsti e quindi poter abbattere il più possibile il dislivello mare/laguna, limitando al minimo le chiuse totali, con i vantaggi facilmente comprensibili sulla portualità e sullo scambio mare laguna. Si ricorda che le paratoie, una volta attivate (svuotando completamente la camera di manovra) seguono automaticamente il livello della marea, senza il bisogno di alcun controllo che è indispensabile per il funzionamento delle paratoie del MoSE.

La possibilità di attivare nel giro di qualche minuto le ultime paratoie, consente infine di chiudere completamente le bocche di porto quando è veramente necessario, eliminando le chiusure non necessarie basate su previsione così come avviene per il MoSE.

La Fig 10 mostra, in sezione, il sistema di sbarramento per la bocca di Lido, in questo caso si prevede l'utilizzo di 4 barges affiancate a due a due in modo da creare due passaggi navigabili: uno per le navi di grande pescaggio e l'altro per i natanti da diporto. Un pontone appoggiato al fondo, emergente, della lunghezza di 190 m completa la barriera.

Alternativamente, dato lo stato di avanzamento lavori per l'isola artificiale di fronte al Bacan, se si accetta questa violazione del paesaggio, le quattro barges possono essere posizionate nella stessa posizione prevista per le barriere del MoSE.

La Fig 11 mostra la bocca di Lido completamente chiusa.

La larghezza e i fondali delle aperture delle bocche sono indicativi, in particolare per l'apertura è stata indicata la dimensione destinata alla navigazione massima possibile, è evidente che in fase di progettazione definitiva, si potrà ridurre, se richiesto, la parte con paratoie mobili incrementando di conseguenza la parte fissa a cassone. A titolo esemplificativo si riporta nella Fig12 la sezione con la bocca di Lido alternativa "A" in cui la parte nav-

igabile su basso fondale è ulteriormente ridotta con un cassone affondato lungo 200 m al posto di una barge sommergibile, si fa notare che la soluzione con cassoni è preferibile su fondali bassi dove le forze d'onda sono minori. Per le paratoie si è scelta la larghezza di 20 metri uguale per tutte, ma in fase di progetto definitivo si potrà senz'altro ottimizzarne le dimensioni per le quattro tipologie di bocche, non essendo più necessario rimuovere la singola paratoia (tra l'altro si elimina il "jack up" per l'installazione e la manutenzione delle paratoie previsto per il MoSE).

Anche per le barge sommergibili si è utilizzata la tipologia standard esistente, è facile prevedere che in fase di progettazione di dettaglio, sulla base dei requisiti meno onerosi imposti dalle paratoie e dalle condizioni di impiego in zone protette, si potrà senz'altro ottimizzare la configurazione delle barge e dei loro costi.

Gli impianti sono quelli standard per questa tipologia di natante, che sono integrati con gli impianti necessari al funzionamento delle barriere: la generazione di potenza è la stessa e viene utilizzata alternativamente per il sistema di zavorramento e per l'accumulo di aria compressa nelle bombole (due per ogni paratoia) di volume sufficiente per due azionamenti: sia il sistema di stoccaggio aria compressa che i moto-generatori di potenza e le pompe di zavorra, sono ridondati per assicurare la massima affidabilità del sistema.

L'installazione di tutte le barge avviene all'inizio della stagione di possibili acque alte, in condizioni di mare calmo, restano sul posto per tutto il periodo necessario e permettono di graduare, su previsione, la chiusura parziale per ridurre le acque alte medie e limitare al minimo indispensabile le chiusure totali delle bocche. L'azionamento delle paratoie, progettate per le condizioni estreme, avviene con qualsiasi condizione meteo presente nelle bocche di porto.

Le barge sono installate in trincee, e ad una profondità tale che l'estradosso della loro parte immersa sia sempre al di sotto di circa un metro dalla profondità della bocca di porto, vedi Fig8.

Durante la fase estiva, le barge vengono rimosse e portate in cantieri attrezzati per la loro manutenzione ordinaria e straordinaria.

Con l'arrivo della stagione delle acque alte, le trincee vengono ispezionate per eliminare eventuali depositi di sabbia e/o detriti e preparare il fondo per la successiva installazione, operazioni che vengono effettuate dalla superficie con controllo di ROV.

Per le profondità delle bocche di porto, in mancanza di requisiti specifici, sono stati assunti quelli del precedente progetto, ma è evidente che, una volta stabilite le condizioni ottimali per lo scambio mare/laguna, anche in considerazione dell'erosione in atto dell'ambiente lagunare, il progetto potrà adattarsi a queste nuove geometrie, praticamente senza limitazioni.

Il sistema è pertanto compatibile con qualsiasi ipotesi di portualità si voglia assumere come requisito di progetto, compreso lo spostamento del traffico passeggeri di crociera e delle grandinavi petroliere fuori della laguna. In relazione all'impatto sulla navigazione e sulla attività portuale, rispetto ad altri concetti di tipo "stagionale" ci pare evidente il vantaggio di questa soluzione che, oltre a consentire una installazione veloce e sicura delle barge e a garantire la chiusura totale delle bocche per maree eccezionali, lascia totalmente aperti i canali di bocca non solo per tutto il periodo estivo, ma anche per grandissima parte del periodo invernale, rendendo inutile la conca di navigazione.

## **Vantaggi del sistema**

---

A tutti i vantaggi del sistema basato sulla Paratoia a Gravità già indicati nella relazione di riferimento, si aggiunge una facilitazione nella gestione e manutenzione delle opere per la mancanza di lavori di manutenzione in sito, il tutto a beneficio della sicurezza ed affidabilità oltre che dei costi.

L'impatto sul paesaggio e sulla portualità è nullo nel periodo estivo e veramente minimo nella fase invernale.

L'utilizzo delle paratoie incernierate cedevoli dette "compliant", a scomparsa quando non operative, se comparate con i cassoni affondati per una chiusura parziale delle bocche, (per inciso diciamo che la fattibilità della chiusura totale delle bocche di porto con strutture così massive è tutta da dimostrare) oltre ad un effetto positi-

vo sul paesaggio e sullo scambio mare/laguna, consente una riduzione considerevole delle forze agenti sul sistema di sbarramento, che rende il sistema di fondazione a gravità certamente meno gravoso.

Questo argomento è stato trattato anche dalla Commissione dei cosiddetti Esperti Internazionali, che a suo tempo hanno analizzato il MoSE, e fornito indicazioni sulle forze al riguardo.

La sua flessibilità progettuale, di impiego ed operativa è una garanzia per il futuro, potendosi adattare facilmente a nuovi scenari operativi, oggi impreveduti ed imprevedibili.

## Costi

---

La tipologia strutturale delle opere proposte è assolutamente analoga a quella delle costruzioni navali e pertanto sia i costi delle strutture che degli impianti sono direttamente trasferibili a questo progetto, inoltre la facilità di immersione direttamente controllata dalla barge stessa rende l'operazione semplice, rapida ed affidabile con notevole impatto sui costi di installazione ed esercizio.

In Fig13 si riporta la tabella revisionata completa dei costi, nella quale le ultime due colonne indicano, per la soluzione con barge sommergibili, rispettivamente i costi stimati per la realizzazione in regime di concessionario unico e quelli stimati ottenibili con gare di appalto.

Si fa notare che la stima dei costi di 3440 Milioni di euro del progetto MoSe è quella riportata nel cosiddetto "progetto definitivo", e che essa attualmente è già lievitata del 25%.

Per la presente soluzione, come per la soluzione precedente tutta in acciaio, nella stima mancano i costi delle operazioni di dragaggio ed apporto materiali della stabilizzazione dei fondali. Le stime per lo scavo e la stabilizzazione dei fondali si potranno effettuare facilmente se le nostre proposte saranno accettate e confermate, e qualora siano resi disponibili i dati geotecnici dei fondali delle bocche di porto, in ogni caso si prevede un'incidenza marginale sui costi.

## Conclusioni

---

I risultati di questo progetto confermano la versatilità della Paratoia a Gravità, e la sua adattabilità a scenari operativi e requisiti di progetto diversi.

Vengono confermati tutti i risultati e le conclusioni del progetto precedente, e quindi la sua validità rispetto al "progetto definitivo" del MoSE, in aggiunta può essere impiegato stagionalmente, se questo diventa un requisito di progetto.

Ragionevolmente riteniamo che si possa anche considerare l'opportunità di un impiego permanente delle opere, e prevedere la rimozione delle barge ad intervalli programmati (ad esempio ogni 3 - 5 anni) per la manutenzione ordinaria delle strutture e degli impianti.

La sperimentazione del comportamento del sistema dopo i primi anni di esercizio permette di valutare e definire in corso d'opera la strategia migliore.

Un altro aspetto importante di questa soluzione progettuale è rappresentato dal fatto che, una volta accertati i carichi di progetto sulle cerniere con una prova in vasca della schiera completa di paratoie (carichi che sono certamente minori di quelli del MoSE per il comportamento della paratoia non in risonanza con le onde, come già dimostrato da prove in vasca su modello di paratoia), la progettazione è una classica ingegneria navale - marina e quindi non è richiesta un'esperienza di ingegneria sottomarina, necessaria per la soluzione precedente, che pure è nota e garantisce altissimi requisiti di affidabilità e sicurezza richiesti per questo tipo di opere. Questo aspetto è di particolare importanza in quanto permette sia la *certificazione* del progetto e della costruzione, sia la *classificazione* delle opere da parte di Registri Navali, che implica non solo il controllo del progetto e della costruzione, ma anche il controllo della manutenzione delle opere, che è una garanzia di sicurezza ed affidabilità nel tempo.

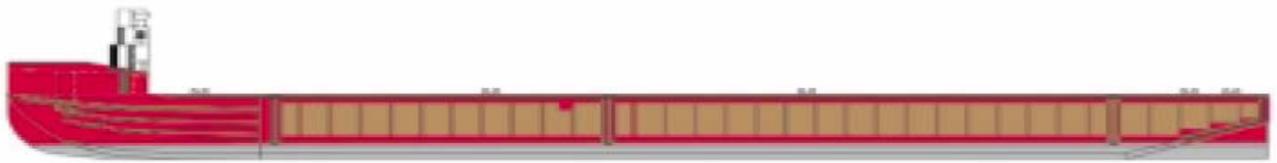


Fig1

PONTONE SOMMERSIBILE X MALAMOCCO

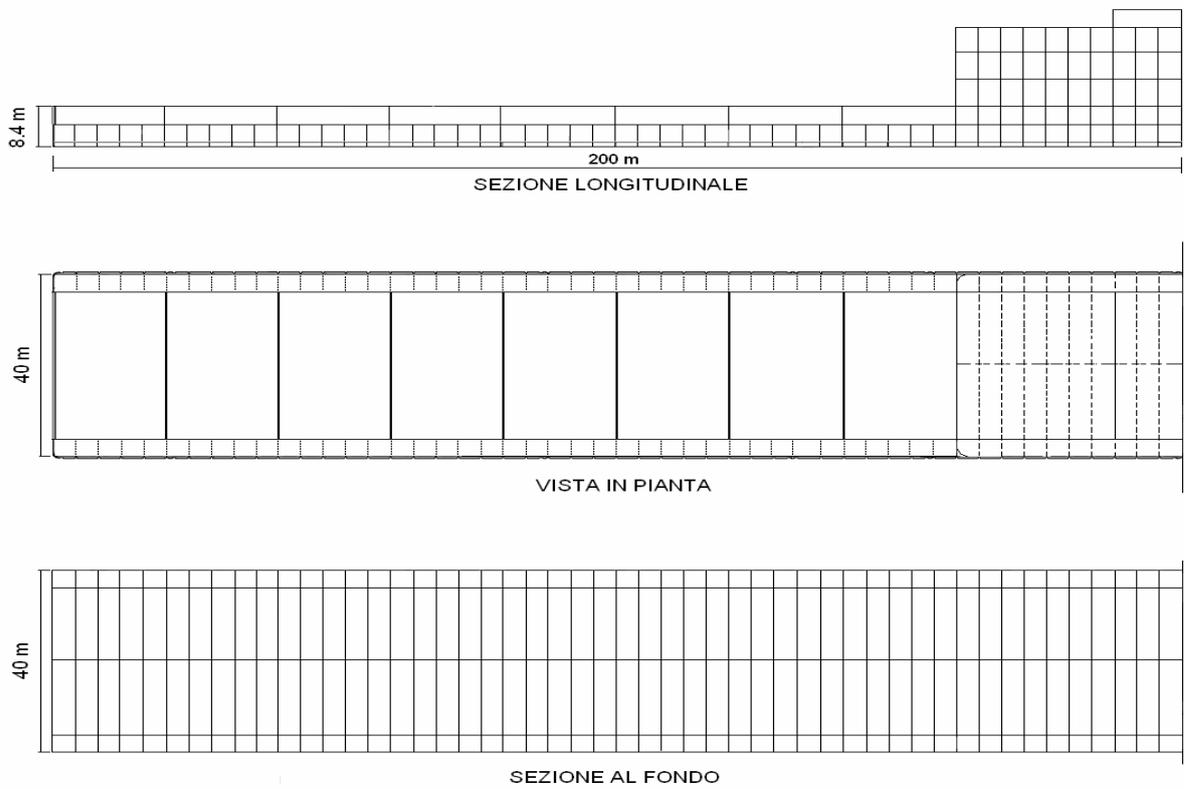
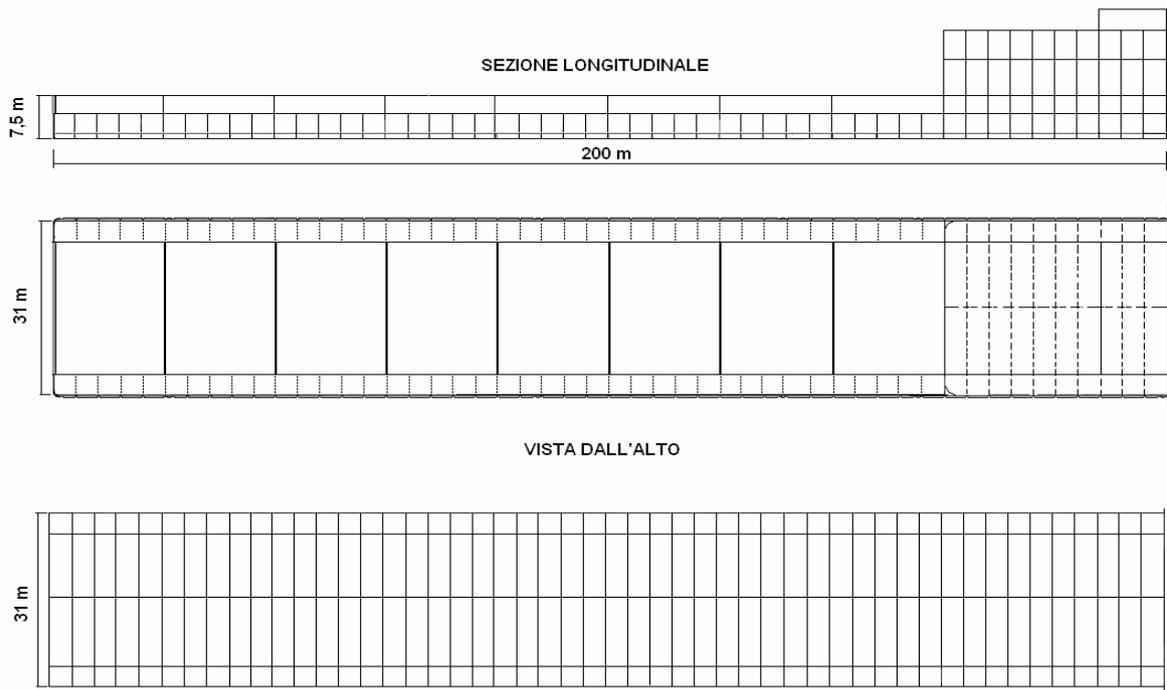


Fig2

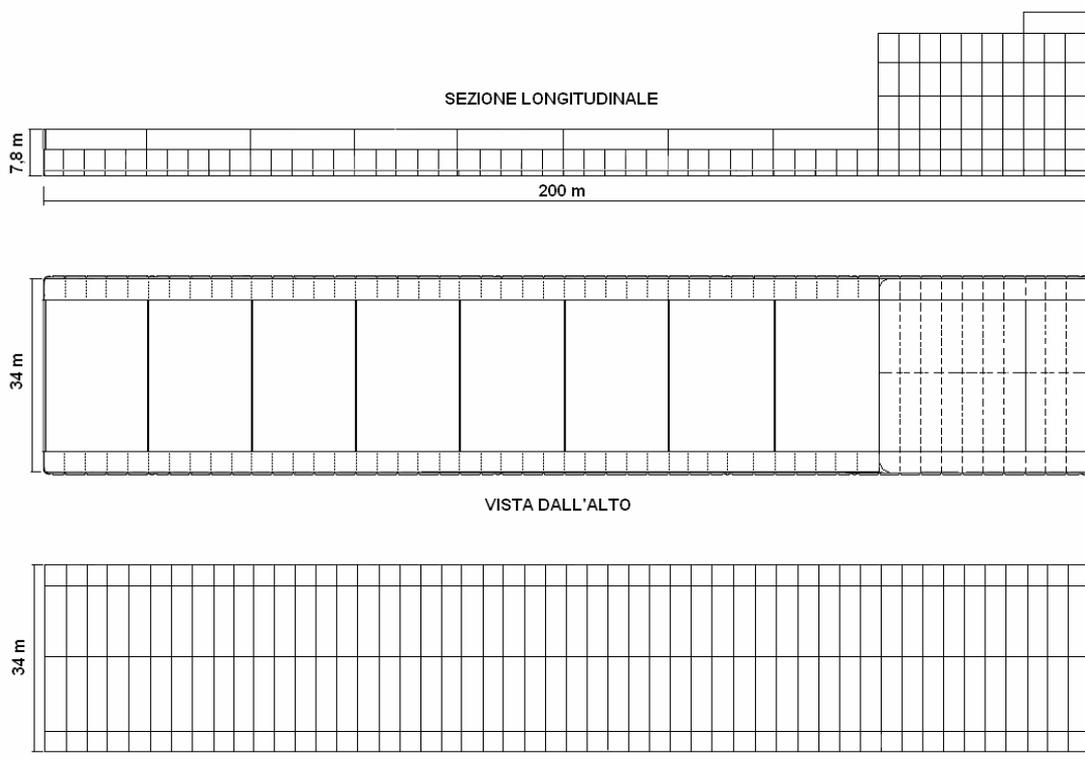
PONTONE SOMMERSIBILE X CHIOGGIA



SEZIONE SUL FONDO

Fig3

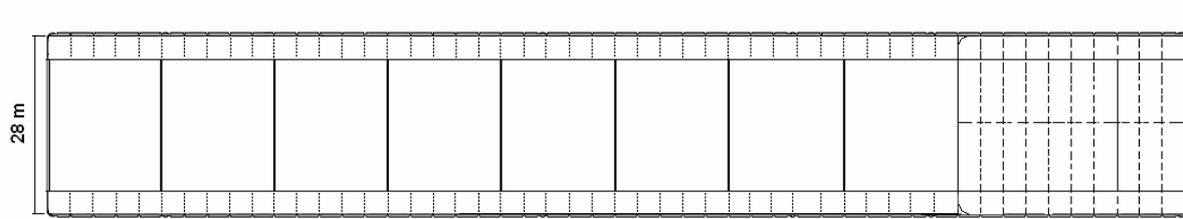
PONTONE SOMMERSIBILE X LIDO ALTO FONDALE



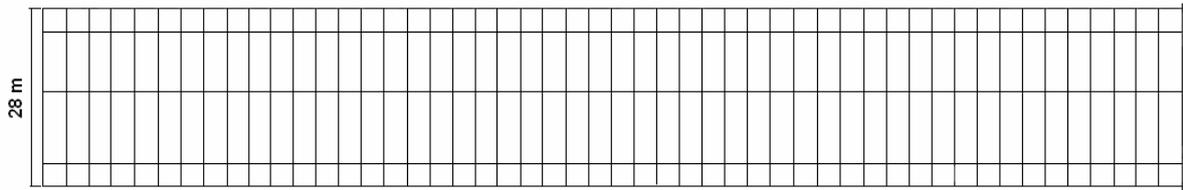
SEZIONE SUL FONDO

Fig4

PONTONE SOMMERSIBILE X LIDO BASSO FONDALE



VISTA DALL'ALTO



SEZIONE SUL FONDO

Fig5

PONTONI CON PARATOIE IN FASE DI TRASPORTO

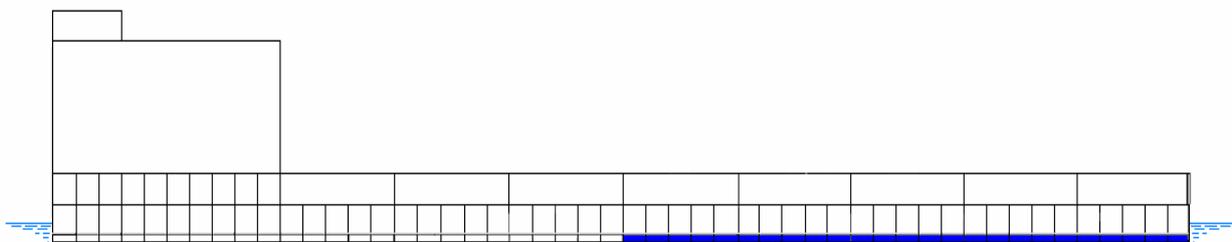
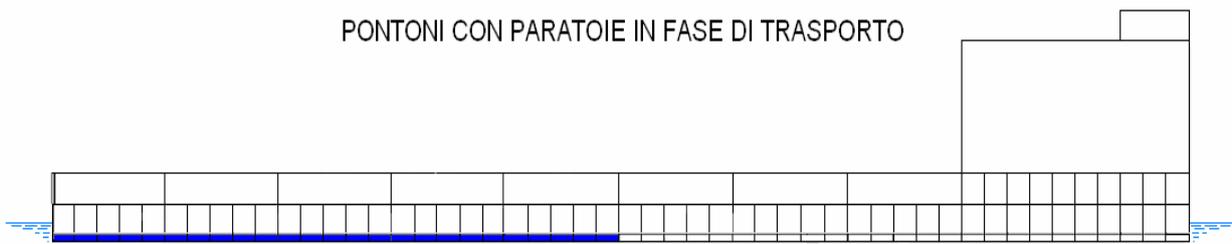


Fig6

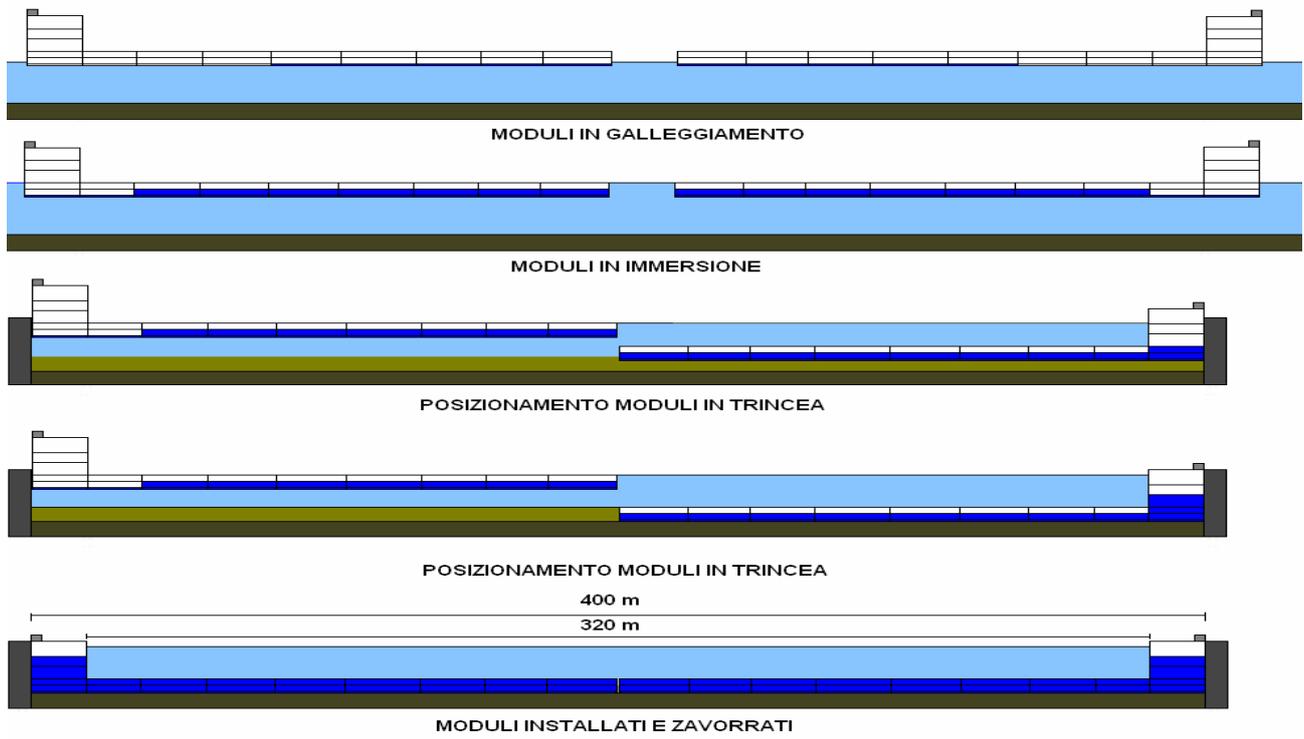


Fig7

BOCCA DI MALAMOCCO - SEZIONE TRINCEA

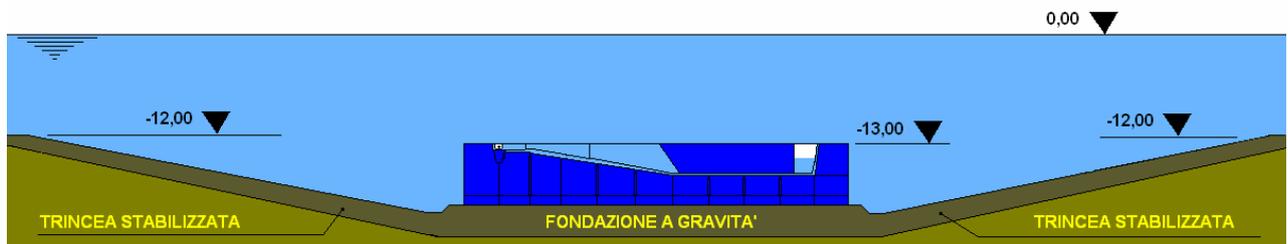
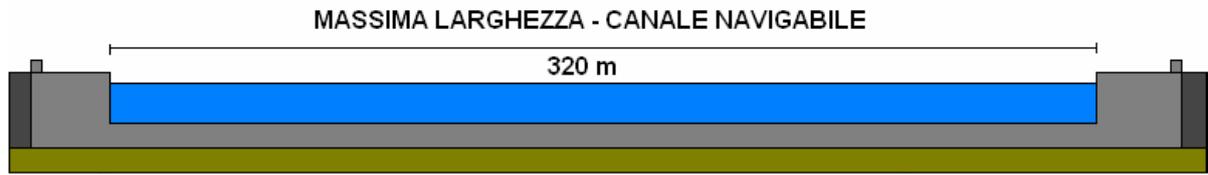


Fig8



BARGES INSTALLATE - BOCHE DI PORTO APERTE



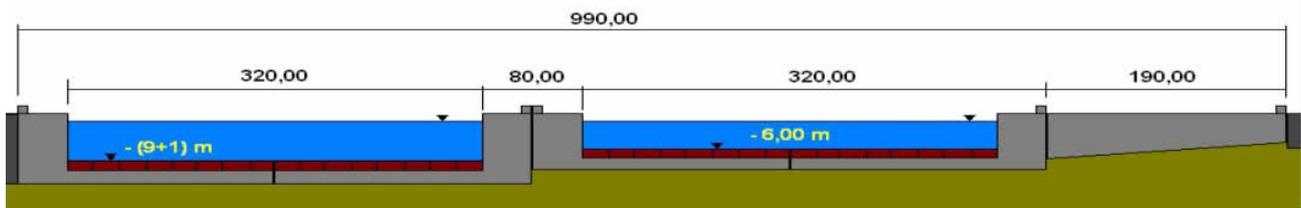
BOCCHIE DI PORTO PARZIALMENTE CHIUSE

Fig9

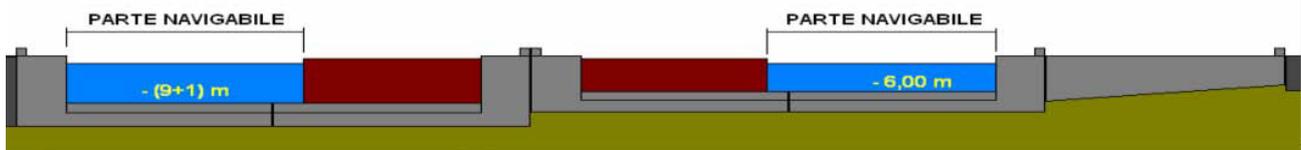
BOCCA DI LIDO - SEZIONE



PERIODO ESTIVO



PERIODO INVERNALE - BOCHE APERTE



PERIODO INVERNALE - BOCHE PARZIALIZZATE

Fig10

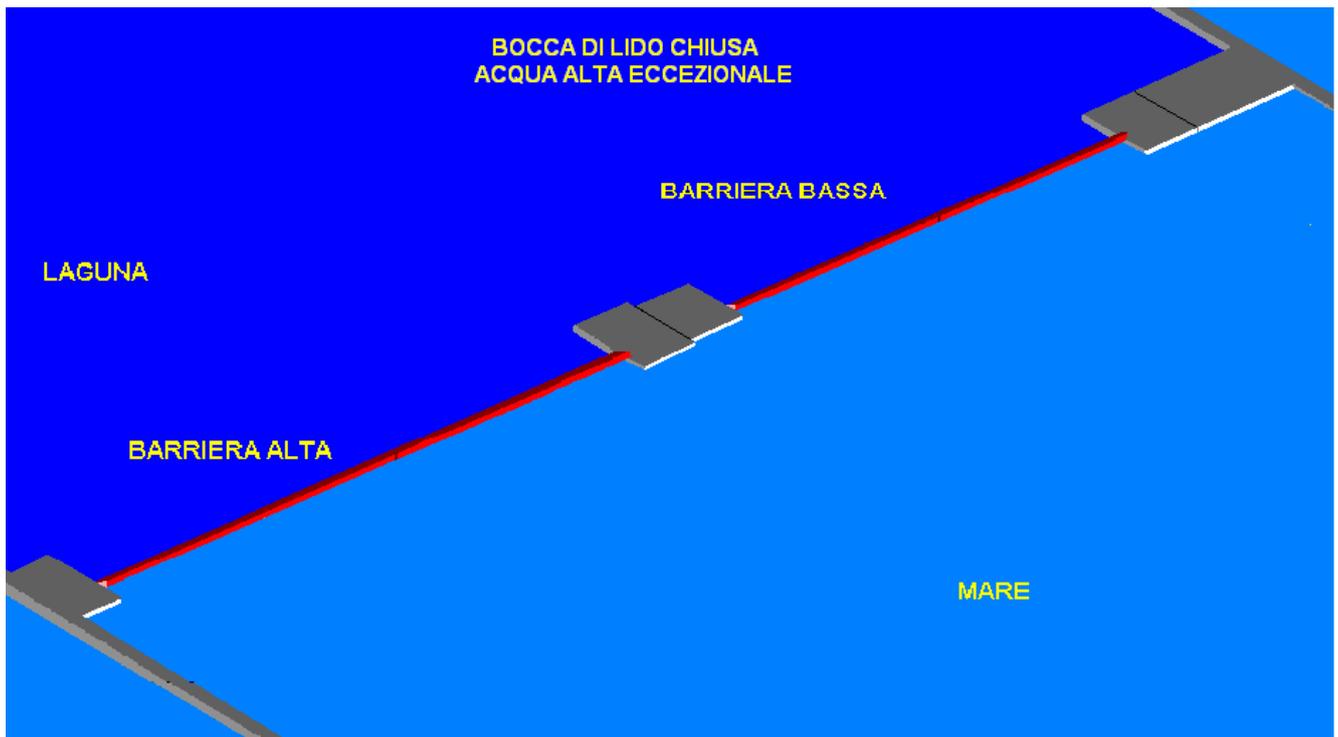


Fig11

BOCCA DI LIDO ALTERNATIVA "A" - SEZIONE

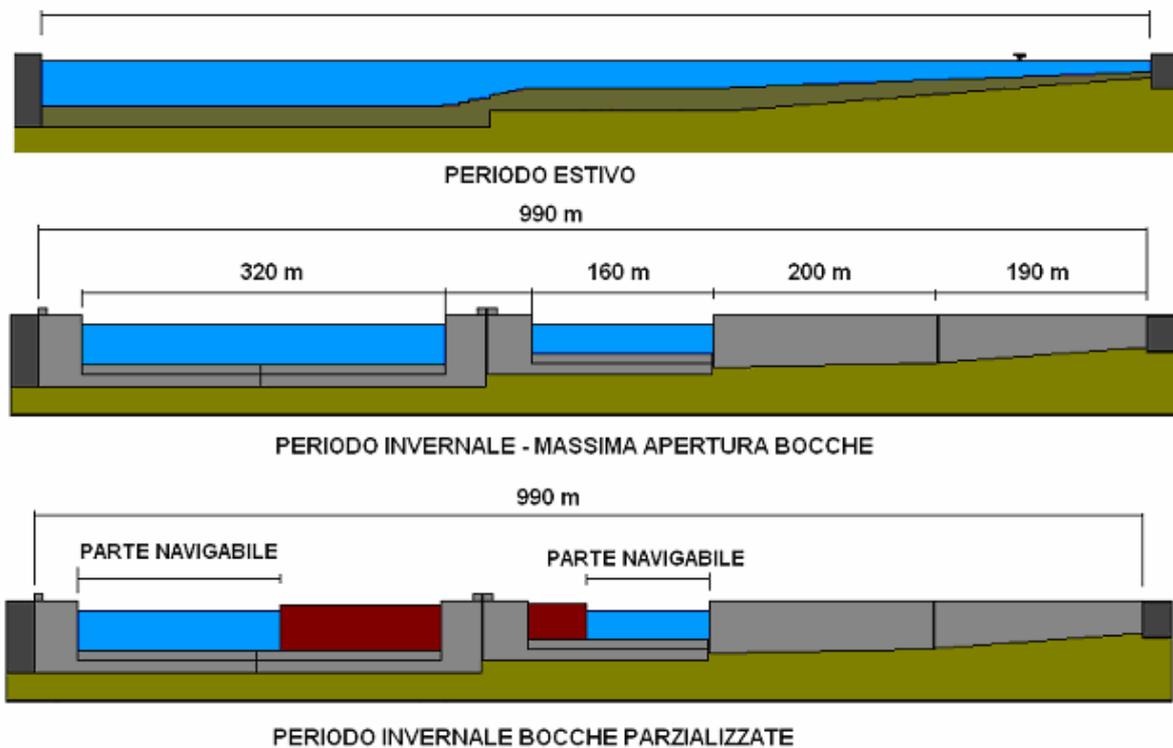


Fig12

<b>STIMA COSTI x (10<sup>6</sup>) €</b>						
	<b>MoSE</b>	<b>GRAV. 1</b>	<b>GRAV. 2/C</b>	<b>GRAV. 2/A</b>	<b>GRAV. 3/C</b>	<b>GRAV. 3/A</b>
<b>Opere Civili</b>	<b>1428</b>	<b>848</b>				
<b>Paratoie e Cerniere</b>	<b>290</b>	<b>208</b>	<b>392,4</b>	<b>240</b>	<b>428,4</b>	<b>262</b>
<b>Impianti e Connett. Mecc.</b>	<b>265</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Opere Compl. Conca Nav.</b>	<b>313</b>	<b>286</b>				
<b>Trasporto e Installazione</b>			<b>60</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>Costo Totale Opere</b>	<b>2296</b>	<b>1382</b>	<b>502,4</b>	<b>350</b>	<b>498,4</b>	<b>332,1</b>
<b>Corrispett. e Opere Agg. (%)</b>	<b>1144</b>	<b>688</b>	<b>251,2</b>	<b>52,5</b>	<b>249,2</b>	<b>49,8</b>
<b>TOTALE</b>	<b>3440 (*)</b>	<b>2070</b>	<b>753,6 (**)</b>	<b>402,5 (**)</b>	<b>747,6 (**)</b>	<b>381,9 (**)</b>

1- Costi MoSE  
 2- Costi GRAV. 1 – Paratoia equivalente al MoSE (Costi Concessione)  
 3- Costi GRAV. 2/C – Paratoia tutta in Acciaio (Costi Concessione)  
 4- Costi GRAV. 2/A – Paratoia tutta in Acciaio (Costi Gara di Appalto)  
 5- Costi GRAV. 3/C – Barges Sommergibili (Costi Concessione)  
 6- Costi GRAV. 3/A – Barges Sommergibili (Costi Gara di Appalto)  
 (\*) **Stima Costi “Progetto Definitivo” -- Il costo Attuale è 4300 x 10<sup>6</sup> €**  
 (\*\*) **Mancano i costi di dragaggio e stabilizzazione dei fondali**

Fig13