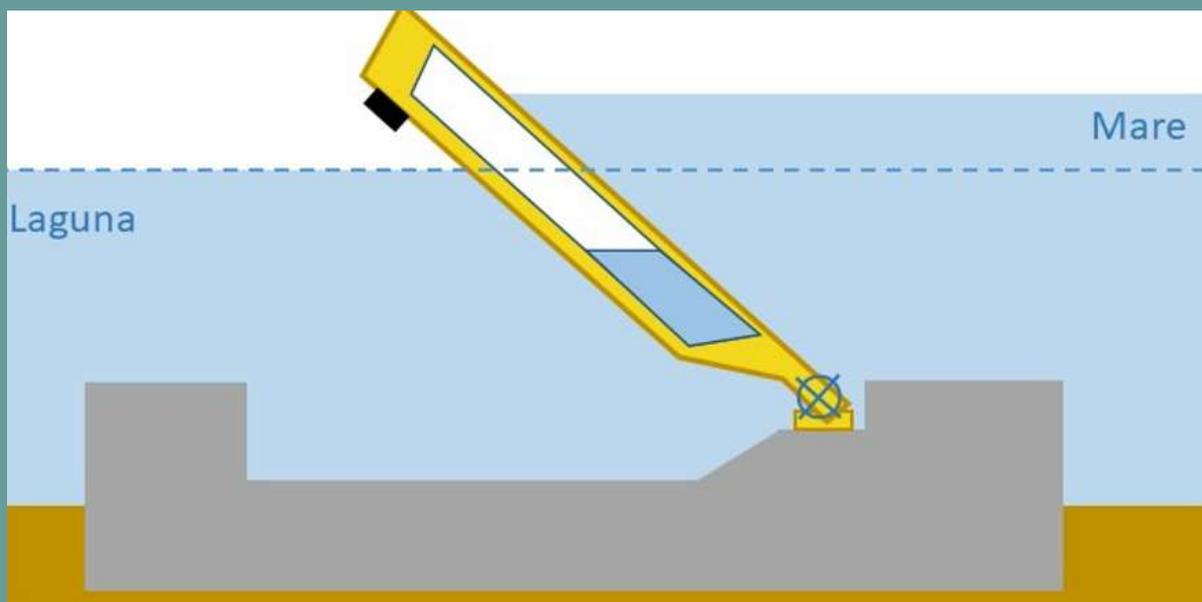
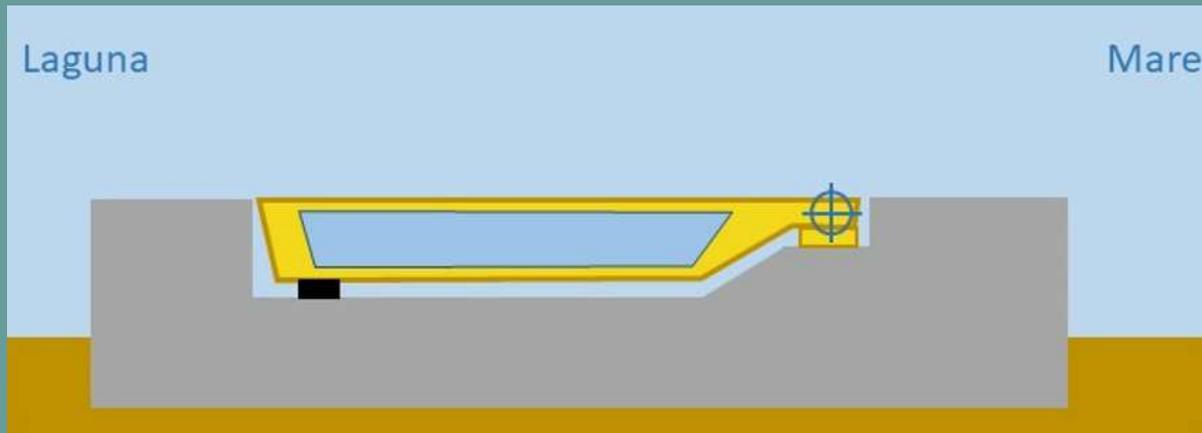


IL RUOLO DEI MODELLI FISICI NELLO STUDIO DELLE PARATOIE DEL MOSE

LA PROTOSTORIA DEL MOSE

Prof. Attilio
Adami

Università di Padova,
Facoltà di Ingegneria,
Dipartimento ICEA



LE PARATOIE DEL MOSE

Attilio Adami

Il futuro della laguna di Venezia
Oltre trent'anni di studi, ricerche, esperimenti e opere



Bononia
University Press

GLI STUDI SU VENEZIA

Molti sono stati negli anni gli studi su Venezia e sulla sua laguna.

Se ne parla nel mio libro "Il futuro della laguna di Venezia – Oltre trent'anni di studi, ricerche, esperimenti e opere"

Nel libro si parla anche di RISONANZA, che è un fenomeno in cui nella vita siamo immersi di frequente, che nella stragrande maggioranza dei casi non è pericolosa e che addirittura può esserci utile.

COM'È NATA L'IDEA DELLE PARATOIE DEL MOSE

Tutto è cominciato con la storica
acqua alta di Venezia nel 1966.

La laguna venne aggredita dalle
onde, subendo enormi danni

Se non vi furono vittime fu solo
per una casuale fortuna



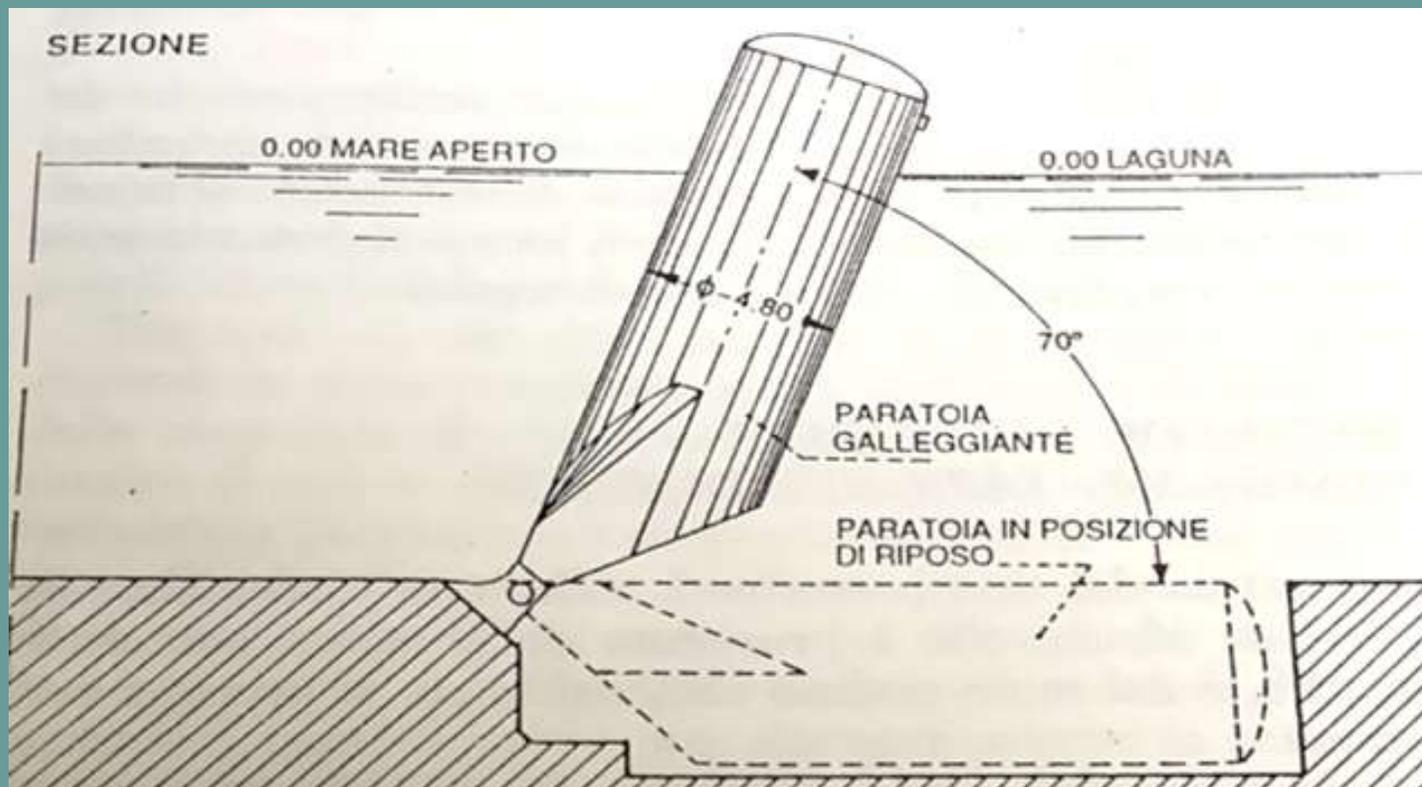
1976: IL PRIMO BANDO PER IL MOSE

Il Ministero dei Lavori Pubblici emana un bando per un appalto concorso per la presentazione di una proposta per proteggere Venezia dalle acque alte

Si presentano cinque gruppi d'impresе, con quasi tutte le maggiori in Italia: A.G.I.L.T.E.C . (con due soluzioni); C.I.A , C.I.V.E ; VE-LA e SAIPEM

La commissione di aggiudicazione decide di non proclamare un vincitore e nel 1980 il Ministero affida a sette professionisti l'incarico di preparare il progetto di massima delle opere, attingendo liberamente dalle proposte dell'appalto concorso

Tra le proposte dell'appalto concorso i sette progettisti convengono di adottare la soluzione presentata dal gruppo che comprende la ditta Calzoni di Bologna che propone una soluzione affatto originale per la formazione degli sbarramenti mobili.

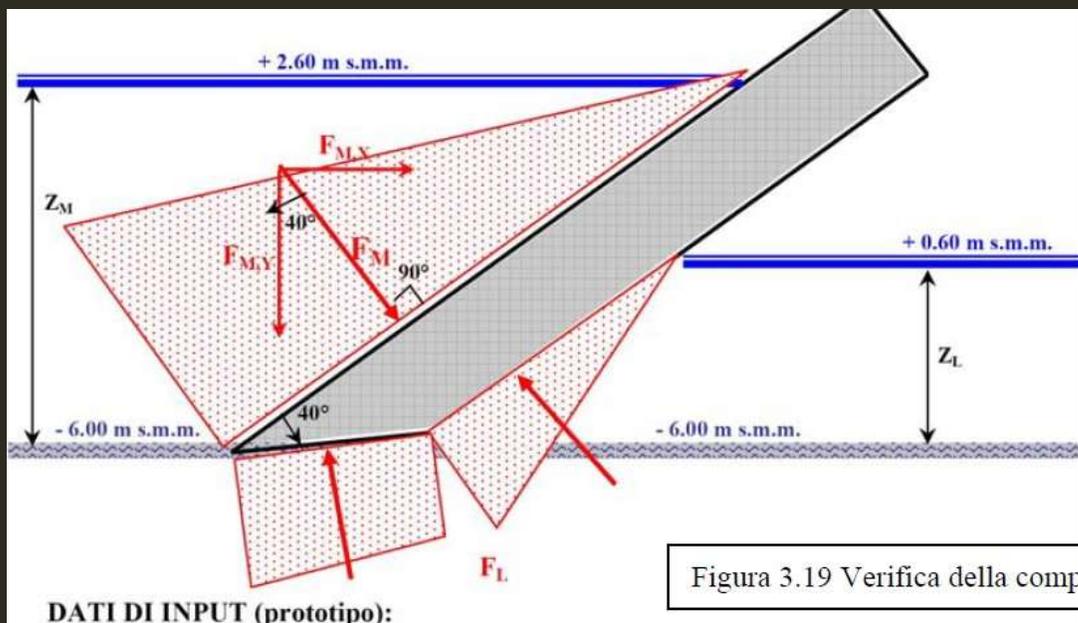


LA PRIMA SOLUZIONE DELLA PARATOIA DEL MOSE

LA PRIMA SOLUZIONE DELLA PARATOIA DEL MOSE

Si tratta di una serie di “birilli” metallici vincolati alla fondazione da una cerniera attraverso la quale passano le condotte per regolare a piacere il volume di aria e di acqua all’interno di ogni birillo. Il birillo è previsto lavorare inclinato di 70° verso la laguna; in riposo si adagia sul fondo ed è “a impatto visivo zero” come richiesto dai veneziani, per lo meno nella frazione più chiassosa

Non è immediato capire come “lavori” il birillo; lo schema che segue mostra le forze agenti sul birillo e spiega la sua stabilità.



la risultante delle forze agenti sulla parete laterale del cilindro e all'interno dello stesso è diretta verso il basso e che la maggiore parte della spinta verso l'alto è data dalla pressione idraulica nell'area esterna al cilindro sul suo fondo.

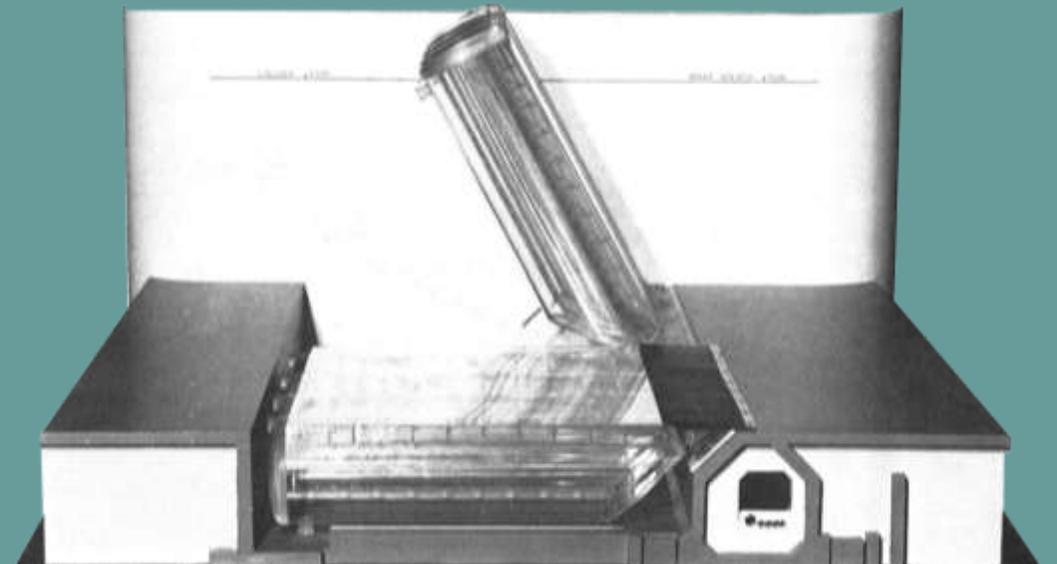
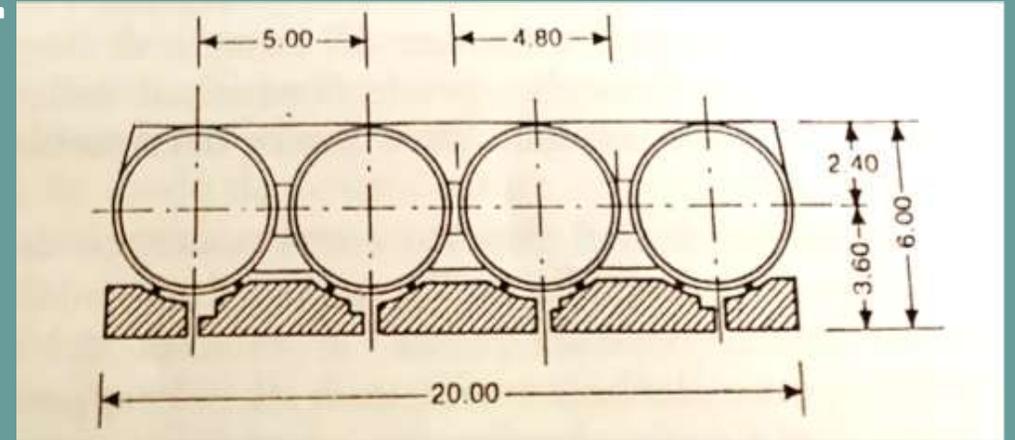
Insomma, la cerniera, che è l'unico collegamento con la fondazione è sollecitata verso l'alto!

L'idea non è stupida e ha un vantaggio considerevole nell'eliminare le pile intermedie, costose e impattanti. Ma la paratoia ha anche un altro vantaggio: se investita dal moto ondoso può oscillare, riducendo le spinte. Ha però l'aspetto negativo dato dal fatto che le paratoie costituenti una schiera non si toccano e perciò in ogni lato vi è un "traferro", una fessura nella quale l'acqua può passare, fenomeno di cui si deve tener conto nel progetto

LE FORZE AGENTI SUL "BIRILLO"

LA PRIMA SOLUZIONE DELLA PARATOIA DEL MOSE

L'idea piacque ai "progettonisti" che decisero di usarla. L'unica variante introdotta fu di diminuire il numero di paratoie indipendenti unendo quattro a quattro i birilli, così da formare un'unica paratoia larga 20 metri. La figura che segue mostra una sezione della paratoia.



LE FASI SUCCESSIVE

Ci furono numerose riunioni presso il CVN nelle quali emersero i seguenti concetti:

- la paratoia era una novità assoluta,
- doveva funzionare investita dal moto ondoso del mare, sia regolare, sia irregolare,
- fare un approccio teorico con mezzi matematici non risultava realistico,
- l'unico mezzo d'indagine era il modello fisico,
- l'indagine era urgente per evitare cattive sorprese.

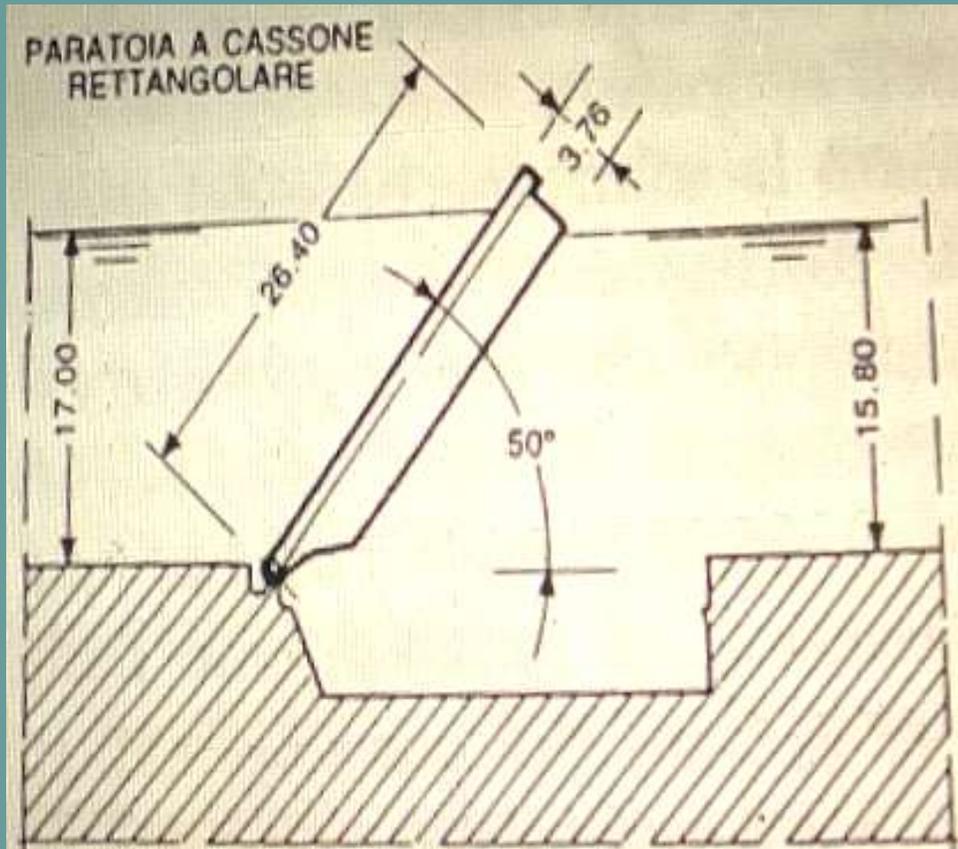


Il centro sperimentale per modelli idraulici di Voltabarozzo

In quell'occasione intervenni dicendo il Magistrato di Venezia disponeva già di una vasta area demaniale in località Voltabarozzo, in periferia di Padova, che l'area già da tempo era stata usata per diversi modelli idraulici usando la similitudine di Froude, con la consulenza dell'Istituto di Idraulica dell'Università di Padova, che in previsione dei lavori a Venezia era già stato costruito il modello della bocca di Lido in scala 1:60, che era disponibile anche l'area sufficiente per ospitare i modello delle altre due bocche, sempre in scala 1.60. Terminai dicendo che l'esperienza indica la bocca di Chioggia come quella maggiormente esposta alle onde e che forse era quella da studiare per prima

LA NASCITA DEI MODELLI DEL MOSE

IL PRIMO MODELLO DI ESTRAMED



Il primo modello fu costruito nel laboratorio di Estramed a Pomezia, su proposta di una delle grandi imprese.

Fu un modello in scala 1:40 di una paratoia semplificata rispetto a quella del progettone

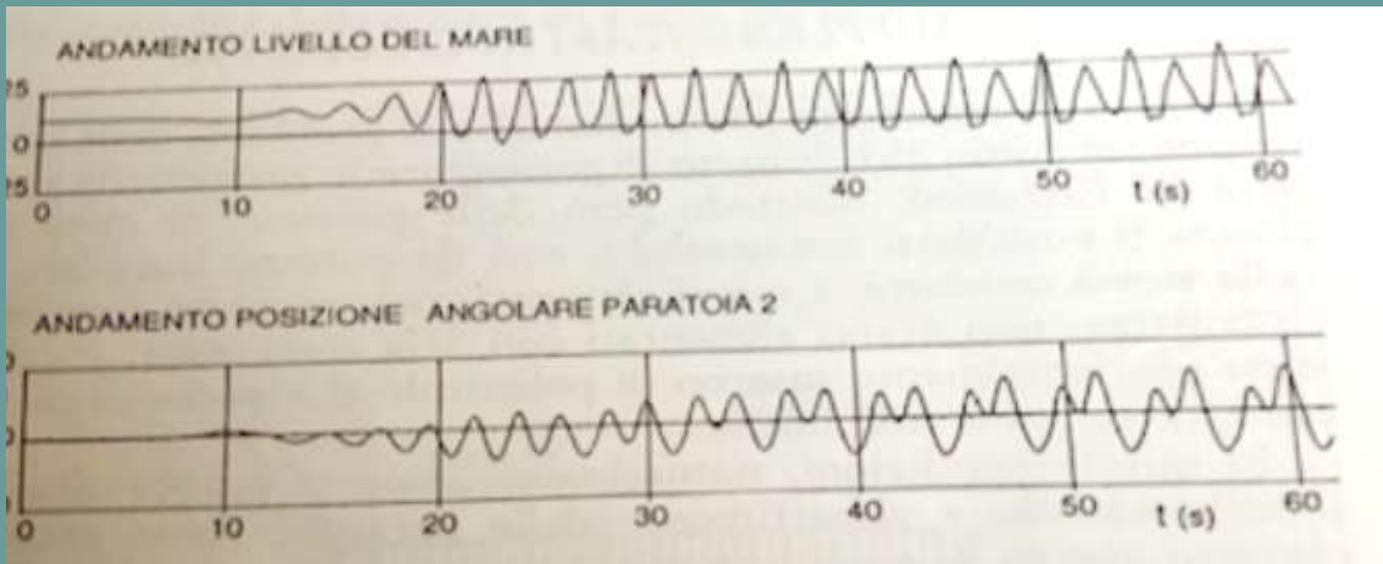
Si può vedere che l'angolo di inclinazione è passato da 70° iniziali a 50° per evitare il ribaltamento della paratoia verso il mare in presenza di un cavo d'onda troppo basso

Fui presente "in diretta" di una prova che si svolse in una canaletta a sezione rettangolare larga 1,50 m, che ospitava tre paratoie larghe 50cm, riproducenti la paratoia reale larga 20 m

IL PRIMO MODELLO DI ESTRAMED

Il modello era costituito da una canaletta riempita con acqua ferma, al cui capo era installato un generatore d'onda e davanti ad esso una sonda elettronica registrava il livello istantaneo del pelo libero.

Il moto delle paratoie era rivelato da un sensore elettronico posto su una cerniera di una paratoia che indicava il suo angolo d'inclinazione istantaneo.



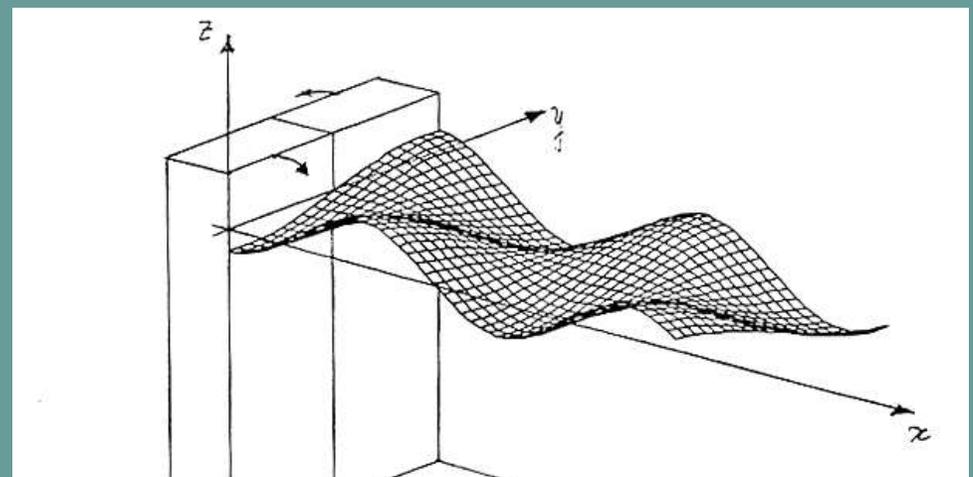
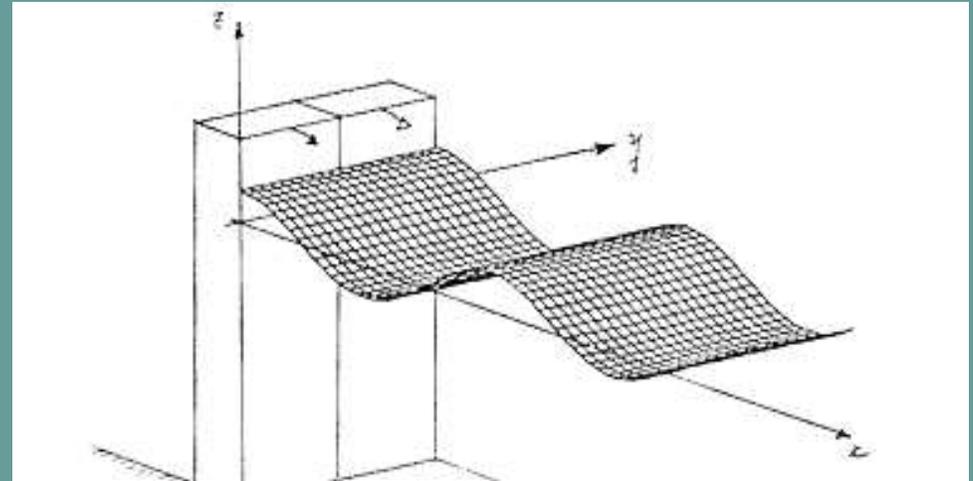
Mentre la traccia superiore rappresenta con buona approssimazione una funzione sinusoidale con un periodo costante, il grafico inferiore indica chiaramente una funzione con due sinusoidi, di cui uno con periodo doppio dell'altro

COMPORTAMENTO NON LINEARE DELLA PARATOIA

La complicazione dello spettro rendeva evidente un comportamento non lineare della schiera di paratoie!

Insomma, ci si aspettava una superficie ondulata (figura sopra) e se ne ottenne una (figura sotto) che è composta da due oscillazioni, una longitudinale e una trasversale, con periodo una doppio dell'altra

La cosa che non si capiva era perché ad una certa distanza dalla paratoia non ci fosse traccia di questa seconda



I risultati che derivarono dallo studio furono:

- il comportamento della schiera era stato più che accettabile
- restava la curiosità del perché ad una certa distanza dalla paratoia non ci fosse traccia della seconda oscillazione
- si convenne la necessità di eseguire delle prove su un modello tridimensionale dell'intera bocca, invece del modello 2D costituito dalla canaletta.

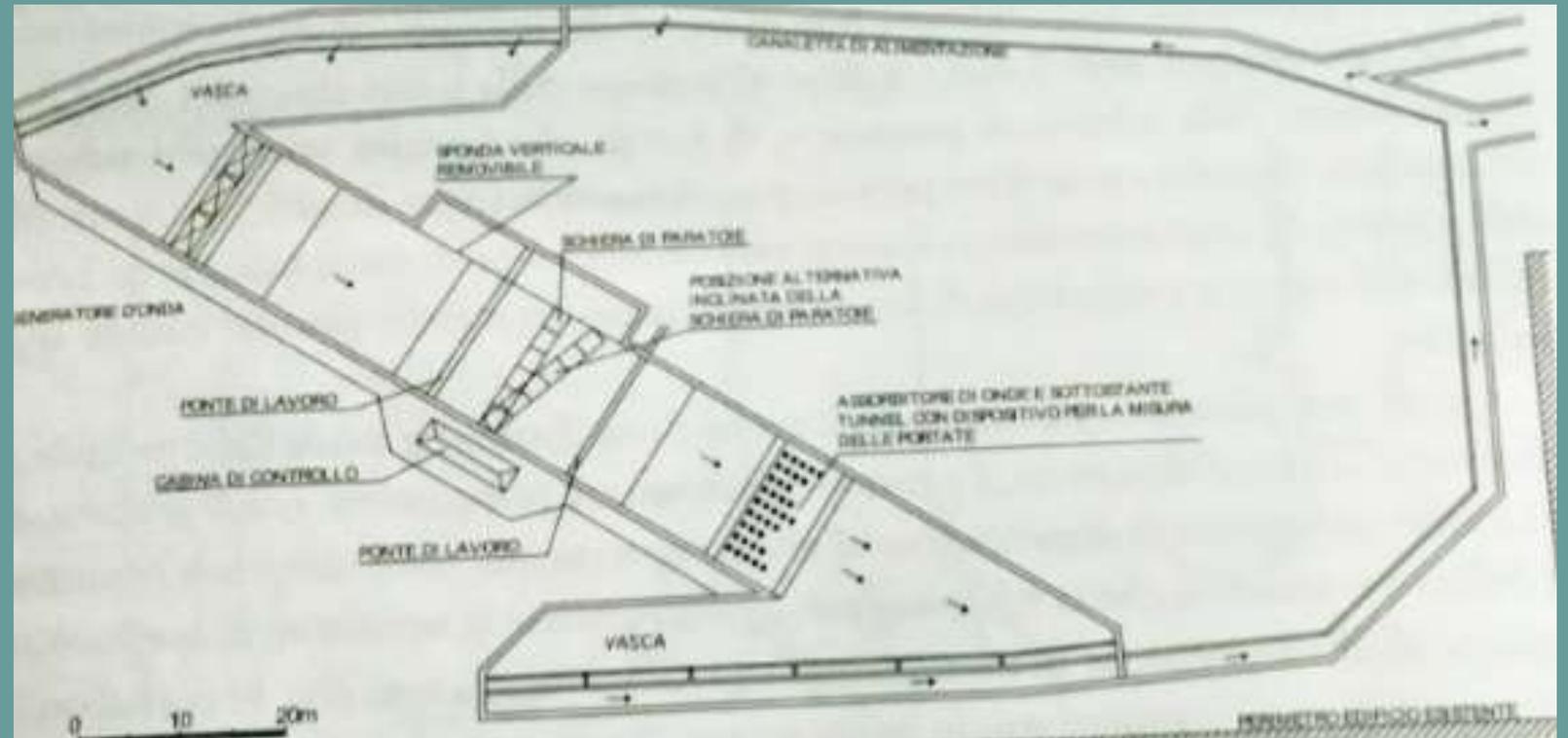
Fu approvata perciò la proposta di coinvolgere “i primi della classe in materia di onde” per avere un loro parere: si coinvolse perciò il laboratorio De Voorst, a Delft, in Olanda.

I RISULTATI DEL PRIMO MODELLO E LA FASE SUCCESSIV A

IL MODELLO OLANDESE

Su proposta degli olandesi si ripeterono le prove in scala 1:40, ma in una canaletta rettangolare lunga fino allo sbocco in mare, riproducendo l'intera schiera.

Ne risultò una canaletta larga 10 metri con venti paratoie



I risultati che derivarono dallo studio olandese confermarono quanto trovato all'Estramed:

- l'oscillazione composta dalle due frequenze si presentava su tutte le paratoie poco dopo l'inizio della prova
- il moto era stabile
- la differenza d'inclinazione tra due paratoie adiacenti era sempre limitata in modo tale da non creare discontinuità della barriera stessa

Quest'ultimo punto era molto importante.

I RISULTATI DEL MODELLO OLANDESE

I MODELLI DI VOLTABAROZZO

Il primo modello studiato fu quello di Chioggia in scala 1:60, completo di tutte le strutture



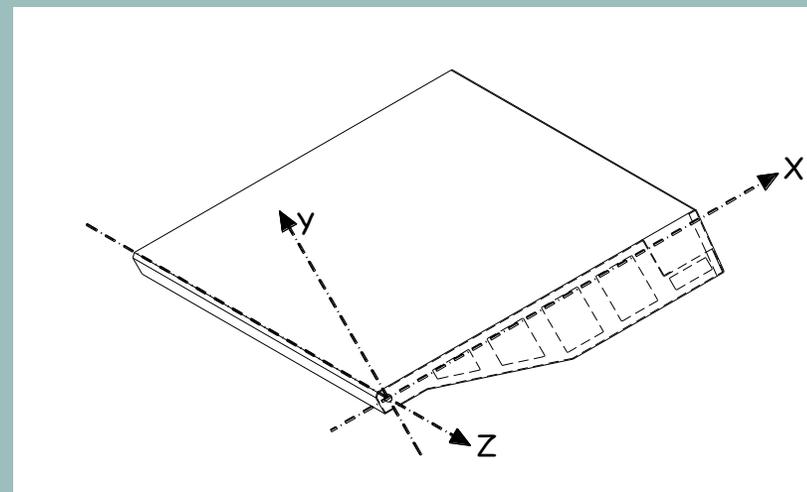
In questo modello per la prima volta si manifestò il fenomeno della risonanza

La paratoia del MOSE è vincolata alla fondazione solo da due cerniere sulle quali è libera di ruotare, trovando da sola l'inclinazione per equilibrare le spinte dell'acqua sui due lati. Senza dubbio la soluzione è ingegnosa perché elimina la necessità di pile intermedie.

Se investita da un'onda proveniente dal mare, quando arriva la cresta, la paratoia s'inclina verso laguna e si raddrizza quando ne arriva il cavo. In teoria è possibile che l'onda in arrivo sia molto forte, la cresta possa superare la sommità della paratoia, che si è abbassata, scaricando acqua in laguna, senza grave danno date la sua enorme superficie

All'inverso, in corrispondenza dell'arrivo del cavo, la paratoia si raddrizza e, se la quota dell'acqua è troppo bassa, la paratoia si può ribaltare verso il mare. Il fenomeno è da evitare perché il ritorno della paratoia nella condizione corretta richiede un'onda molto alta e tale da chiedere anche molto tempo per presentarsi. Si tenga presente che il ribaltamento non comporta alcun pericolo per la sicurezza della struttura, data la presenza di un cuscino d'acqua nei lati, che ammortizza l'urto

INTRODUZIONE ALLA PARATOIA



IL MODELLO DI CHIOGGIA IN SCALA 1:60

Nelle prove eseguite a Chioggia, in qualche raro caso, si è dovuto registrare il rovesciamento della paratoia, dovuto risonanza delle onde del mare che percorrono il canale, subendo una trasformazione con formazione di onde molto lunghe con il cavo molto basso. Tale evento deve essere escluso assolutamente: il fenomeno fu comunicato a Technital che provvide ad aumentare lo spessore della paratoia e aumentare la sua inclinazione sulla verticale, per evitare il ripetersi del fenomeno indesiderato. Tale fenomeno di risonanza non è mai stato osservato nelle altre due bocche e le paratoie di Chioggia sono le più grosse delle quattro schiere

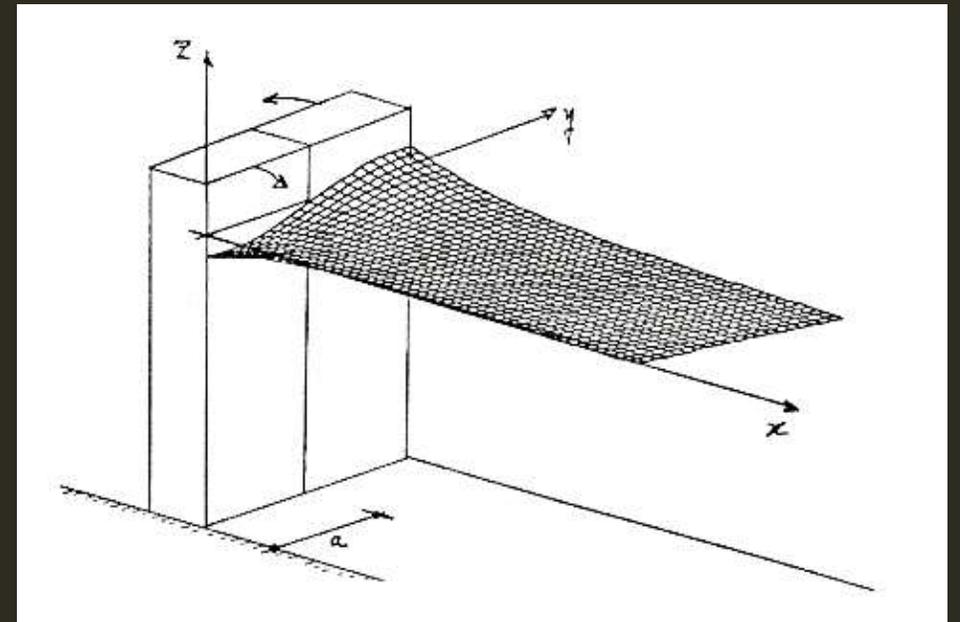


L'ONDA INTRAPPOLATA – LA RISONZA

Durante lo studio sul modello Chioggia, il CVN entrò in contatto con il prof. Chang Mei del MIT di Boston, noto specialista di meccanica dei moti ondosi. Mei, studiando la propagazione dei moti ondosi negli oceani in prossimità delle coste, aveva trovato per via teorica che in vicinanza dei litorali la propagazione delle onde era perturbata dalla presenza delle sinuosità della costa. Il moto perdeva la sua caratteristica unidirezionale e si generava un'oscillazione normale alla principale che aveva un periodo doppio.

Egli dimostrò la presenza di una seconda oscillazione che aveva la particolarità di estinguersi rapidamente allontanandosi dall'ostacolo, tanto che le chiamò “*trapped waves*”.

Non fu difficile dimostrare che le nostre “oscillazioni parassite” avevano la stessa origine



GLI EFFETTI SCALA

Il Prof. Mei aprì un'altra discussione, relativa “all’effetto scala” nel modello.

I modelli fisici si basano su dei criteri dedotti dalla teoria della similitudine, criteri che indicano quali siano i rapporti tra le varie grandezze dei fenomeni in gioco tra il reale e il modello.

La teoria mostra che la similitudine in modo completo, cioè per tutte le grandezze fisiche, spesso non è possibile per cui spesso si accetta di avere delle distorsioni in alcuni rapporti, errori chiamati col nome di “effetti scala”.

È abbastanza intuitivo che essi aumentano quanto maggiore è la riduzione geometrica tra reale e modello, mentre è importante che essi siano limitati ai fini della validità dei risultati

LO STUDIO SUGLI EFFETTI SCALA

I MODELLI IN SCALA 1:60 – 1:30 – 1:10

Il programma fu deciso assieme a Mei e risultò il seguente:

1- Utilizzare l'attuale modello della bocca di Chioggia in scala 1:60, con la riproduzione di una serie di ondate sintetiche e reali.

2- Costruire nuove paratoie di Chioggia in scala 1:30 e loro inserimento in una nuova canaletta, nella quale riprodurre le stesse prove già usate nel modello 1:60.

3- Costruzione di alcune paratoie di Chioggia in scala 1:10. Dato che era impossibile riprodurre tutta la schiera che sarebbe stata larga 40 metri, si decise di limitare la riproduzione "solo" di sei paratoie, ospitate in una vasca larga 12 m, costruita appositamente.. Naturalmente si riprodusse anche in questa scala le stesse mareggiate



I MODELLI IN SCALA 1:60 – 1:30 – 1:10



IL MODELLO IN SCALA 1:30



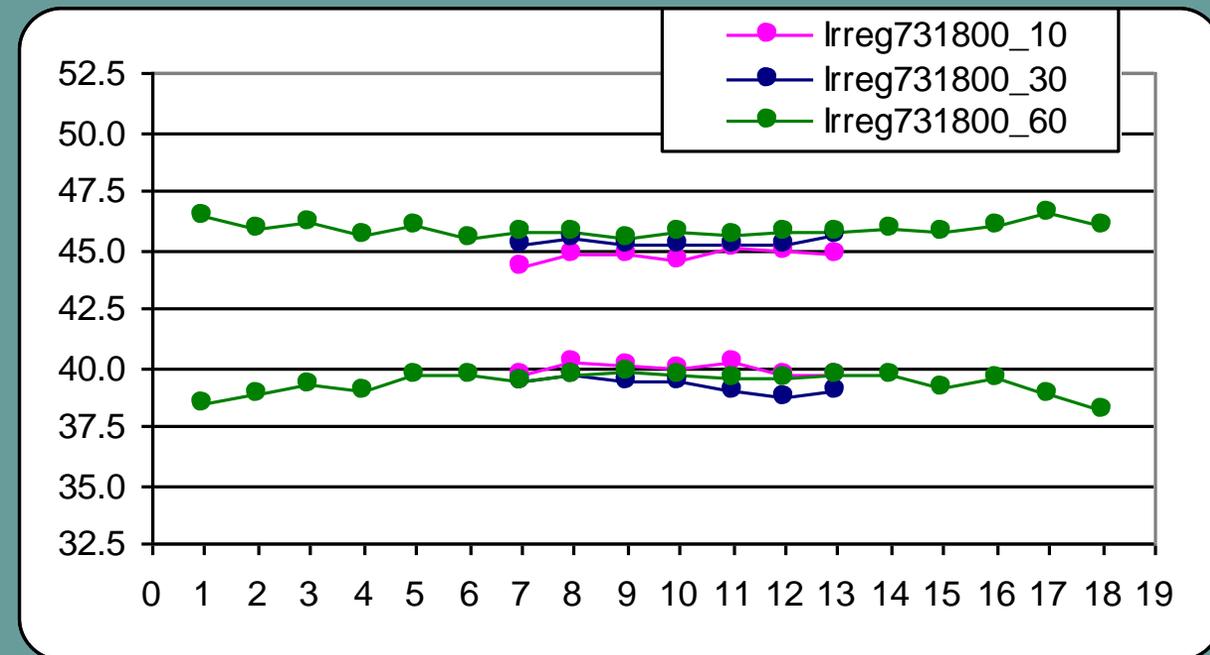
IL MODELLO IN SCALA 1:10



IL CONFRONTO TRA I TRE MODELLI

La figura è ricavata dalla registrazione di un'ondazione storica con spettro reale; nel grafico i punti indicano lo spostamento massimo raggiunto dalla testa di ogni paratoia in tutto il periodo di prova. I punti neri rappresentano le paratoie in scala 1:60; i punti verdi le paratoie in scala 1:30, i punti rossi le paratoie in scala 1:10. I punti neri e verdi sono 20, perché c'era la schiera intera, i punti rossi sono 6 perché rappresentano le paratoie in scala 1:10 che erano cinque più due metà, come detto.

Non occorre essere specialisti per essere convinti che i tre modelli danno dei punti che quasi si sovrappongono indicando che l'effetto scala è davvero contenuto in





**ALCUNE FOTO INTERESSANTI – MOD
1:30**



**ALCUNE FOTO INTERESSANTI – MOD
1:10**

CONCLUSIONI

La soluzione del MOSE era ed è molto innovativa; gli esami su modello mostrano che la soluzione presenta un ampio margine di sicurezza nel suo funzionamento: i profondi cuscini d'acqua a monte e a valle della schiera di paratoie sono in grado di evitare danni meccanici anche in casi straordinari di cui però non si vede la causa.

Gli unici elementi meccanici sollecitati sono le due cerniere di ogni paratoia, per le quali esiste un'esperienza consolidata: per loro è prevista un'attività di manutenzione adottata negli impianti meccanici in genere

CONCLUSIONI

Oggi la maggiore preoccupazione per il MOSE non deriva dal comportamento delle sue paratoie, quanto dalle temute variazioni di livello del medio mare.

Pare proprio che la durata del MOSE, inizialmente valutata perlomeno in alcuni secoli, debba essere ridotta anche in modo severo.

In ogni caso, a mio parere c'è ancora il tempo per trovare dei rimedi, che forse non sono neanche terribilmente costosi.

GRAZIE

