

3

D O G E

dighe omeodinamiche a gestione evoluta

A N T O N I O T A M B U R R I N O

GRUPPO DI PROGETTAZIONE ■

Ing. Valerio Giovannini - coordinamento ■

Ing. Giovanni cefalà - studi idraulici ■

s e t t e m b r e 2 0 0 4 ■

PREMESSE

Il Comune di Venezia, dopo un iter molto contrastato, ha dato il via al "MOSE" nella seduta dell'1.04.2003, ponendo la condizione indispensabile che "**contemporaneamente**" vengano realizzate altre opere integrative.

L'intervento più importante consiste nella riduzione della sezione delle bocche di porto.

In particolare al punto f) del citato deliberato comunale si stabilisce che:

"venga studiata la possibilità di moderare tutta una serie di eventi medi di acque alte mediante un adeguato incremento delle resistenze al moto che l'onda di marea subisce penetrando dal mare verso la laguna, anche prevedendo l'inserimento nelle bocche di porto di interventi opportunamente dimensionati".

Inoltre anche il Comune di Cavallino nella seduta del 1 aprile 2003 ha indicato la seguente condizione vincolante:

"ottenere effettive e significative dissipazioni alle bocche di porto in grado di abbattere le acque alte nella misura di circa 20 cm, con l'effetto combinato dell'apertura delle valli da pesca e con l'innalzamento dei fondali delle bocche tendendo a -7 al Lido, -12 a Malamocco e -8 a Chioggia, il restringimento dei varchi, la riprogettazione delle opere a mare contro l'onda da vento a cominciare da quella del Lido".

In seguito a queste delibere comunali, il "Comitatone" si riunisce in data 03.04.2003 per prendere le conseguenti decisioni.

Per prima cosa il "Comitatone" stabilisce una premessa fondamentale: che è formulata nel seguente "considerato":

"considerato che solo una volta recepite le indicazioni espresse nei riportati pareri, sarebbe possibile per l'Amministrazione Comunale di Venezia, di Chioggia e di Cavallino avviare la progettazione esecutiva e la realizzazione delle opere di regolazione delle maree alle 3 Bocche di Porto".

Inoltre il "Comitatone" stabilisce un altro punto decisivo che è formulato nel seguente "ritenuto":

"Ritenuto che le condizioni indicate nei punti e) seconda parte ed f) fanno riferimento alla volontà del Comune di aumentare le capacità dissipative per ottenere valori più elevati di quelli massimi stabiliti dal Consiglio dei Ministri con delibera del 15.03.2001. Questa indicazione merita grande attenzione per le implicazioni sulla gestione delle paratoie....."

Tutto ciò premesso e stabilito, infine il "Comitatone" prende la seguente "delibera":

di passare alla redazione del progetto esecutivo e alla realizzazione delle opere di regolazione delle maree... ..

di procedere, contemporaneamente a quanto previsto al punto 1), alla realizzazione delle strutture di accesso permanente alla bocca di Malamocco, nonché allo sviluppo progettuale di tutti gli altri interventi richiesti dall'Amministrazione del Comune di Venezia ai fini delle decisioni conseguenti ed anche al fine della loro inclusione nel "sistema Mose" di cui alle delibere CIPE del 21.12.2001 e 29.11.2002, per il conseguente finanziamento.

Per ottemperare alle decisioni prese dal "Comitatone", il Comune di Venezia ha messo a punto due soluzioni relative alla regolazione delle bocche di porto: il progetto ARCA ed il progetto DOGE.

Il primo consiste nell'uso stagionale di cassoni rigidi.

Il secondo consiste nell'uso di soglie sommerse gonfiabili, in modo da permettere una regolazione continua e totalmente controllata dei flussi di marea.

Il modello matematico ha dimostrato la totale superiorità del progetto DOGE.

In definitiva il progetto DOGE si dimostra estremamente efficace per tutti gli eventi di marea, escluse le situazioni estreme. La riduzione ottenuta è di almeno 20 cm.

Pertanto il MOSE, che resta indispensabile per garantire la salvaguardia di Venezia, trova un suo complemento nel progetto DOGE.

Tuttavia, pur non essendoci alcuna controindicazione tecnica nella realizzazione del progetto DOGE, alcuni pongono una resistenza psicologica, nel timore che questa opera integrativa possa rallentare la realizzazione del MOSE.

In realtà, non solo l'approvazione del DOGE contribuisce ad accelerare la realizzazione del MOSE, ma, al contrario, la sua mancata, o anche ritardata, approvazione rischia di rimettere in discussione tutti gli accordi col Comune di Venezia, con imprevedibili conseguenze per il destino finale del MOSE.

1. GENERALITÀ E SCOPI DEL PROGETTO

L'obiettivo del progetto DOGE è di contribuire alla difesa della laguna di Venezia tramite le "Dighe Omeodinamiche a Gestione Evolutiva".

Tali dighe sono del tipo flessibile e riempimento variabile, semplicemente poggiate sul fondo. L'altezza della parte mobile può essere regolata a piacimento tramite semplice riempimento dell'elemento flessibile con acqua sino al raggiungimento delle quote volute. In tale modo è possibile ottenere parzializzazioni delle tre bocche con diverse configurazioni atte a rispondere alle varie esigenze possibili. Ciò comporta nelle tre bocche un restringimento della sezione del canale con conseguente maggiore effetto dissipativo e minore portata d'acqua.

Dagli studi e dalle simulazioni idrauliche eseguite su alcune delle configurazioni possibili si è potuto verificare che la presenza delle dighe flessibili sommerse nelle bocche garantiscono effetti dissipativi, rispetto alla situazione attuale, molto accentuati. Tali effetti dissipativi raggiungono, nella configurazione a di dighe alzate ipotizzata e rappresentata nelle FIG. 9-10-11, riduzioni delle portate in ingresso sino all'85%. Ciò produce un effetto di laminazione delle onde di marea entrante tale da ottenere una riduzione della quota massima di marea raggiunta in laguna di oltre 20 cm rispetto alla situazione attuale.

Tali risultati trovano utile riscontro e verifica nello studio "Valutazione degli effetti idrodinamici prodotti dalle opere alle bocche di porto della Laguna di Venezia previste dal "Progetto Doge" redatta dalla IPROS Ingegneria Ambientale s.r.l., su incarico del Comune di Venezia, che testualmente conclude "si trae che gli effetti dissipativi ottenuti con la configurazione base esaminata (denominata doge_01 – soluzione di chiusura parziale per consentire la navigazione come illustrato nelle FIGG. 9-10-11) "sono dello stesso ordine di grandezza di quelle valutate per le configurazioni scelte come riferimento (Proposta del Comune di Venezia – Lido 5, Malamocco 4 a, e Chioggia 1). In base alle valutazioni condotte con il modello generale di tutta la laguna, tali configurazioni possano ottenere, mediamente, una riduzione dei colmi di marea in laguna di circa 10 cm. Il progetto Doge nella sua configurazione base porta ad abbattimenti di analoga entità.

Le ulteriori configurazioni esaminate, restringendo ulteriormente la sezione dei canali, producono effetti dissipativi nettamente maggiori. Per la bocca di Malamocco la diminuzione della conduttanza è valutata in oltre il 65% , per la Bocca di Chioggia tale diminuzione supera il 80%, mentre per la Bocca di Lido si arriva addirittura a oltre il 85% . Tali risultati indicano, in termini dissipativi, degli effetti relevantissimi. In base alle valutazioni condotte in passato su configurazione che producevano effetti a questi confrontabili, ci si può attendere riduzioni dei livelli massimi in laguna di 20 cm e superiori. Tuttavia essi devono essere considerati prudenziali. Infatti il grado di parzializzazione, in base alla proposta progettuale, potrebbe essere ancora più spinto sino ad ottenere la chiusura completa delle bocche."

2. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PROPOSTI

2.1 Restrizione delle bocche

Il tipo di intervento proposto con il progetto DOGE prevede che nelle tre bocche di porto di Lido, Chioggia e Malamocco, punti di comunicazione tra mare e laguna, si introduca una barriera sommersa flessibile (vedi FIG.1). Tale barriera è costituita da una serie di elementi modulari, di dimensioni 70 x 14 m ciascuno, accostati tra loro in modo da formare una diga continua sommersa che ostacoli il flusso di grandi masse di acqua dal mare alla laguna. La barriera così realizzata, la cui l'altezza, come si vedrà in seguito, può essere facilmente variata, crea uno sbarramento continuo su tutta la sezione della bocca ed aumenta fortemente i fenomeni dissipativi nel passaggio di masse d'acqua tra il mare e l'interno della laguna. L'entità delle dissipazioni, il cui valore è calcolato nell'allegato "Valutazione degli effetti idrodinamici prodotti dalle opere alle bocche di porto della Laguna di Venezia previste dal "Progetto Doge" redatta dall'ing. Matticchio, si traduce in un ritardo del passaggio di acqua all'interno della laguna e, quindi, in uno sfasamento dell'onda di marea ed in una diminuzione dell'altezza massima raggiunta dalla stessa all'interno della laguna.

Le tre dighe sommerse, posizionate ciascuna su una bocca, realizzate come detto disponendo in fila continua gli elementi modulari poggiati semplicemente sul fondo del canale opportunamente regolarizzato sono riportate nella Fig.2 per il canale di Lido, nella Fig. 3 per il canale di Chioggia e nella Fig. 4 per il canale di Malamocco. In tali figure sono riportate, tra le varie configurazioni che la diga può assumere, le più significative ovvero: diga abbassata, diga alzata parzialmente per lasciare dei varchi idonei alla navigazione, diga completamente alzata.

Nel singolo elemento costituente lo sbarramento sommerso descritto nel capitolo 2.2 nelle due soluzioni previste la prima con un basamento in calcestruzzo (FIG. 5) la seconda con un basamento in tralicci di acciaio (FIG 6), è un telo in gomma che, gonfiata con acqua, permette alla diga di assumere l'altezza desiderata.

Il funzionamento del sistema è molto semplice; quando, a seguito delle condizioni meteorologiche e di marea si ritiene esistere un pericolo di acqua alta, si invia acqua all'interno della zona flessibile del modulo gonfiandolo fino a fargli assumere le dimensioni in altezza necessaria e questo per tutti i moduli costituenti la diga sommersa in modo tale da ridurre progressivamente e secondo le esigenze la sezione libera dei canali per il passaggio dell'acqua all'interno della laguna ed in questo modo gestire il livello dell'acqua al suo interno.

Il frazionamento della diga in elementi modulari permette, tra l'altro, il sollevamento della diga parzialmente solo in alcuni elementi laterali in modo da mantenere la navigabilità dei canali nei tratti centrali che potranno essere gonfiati solo nel caso occorra diminuire ulteriormente gli afflussi di acqua in laguna e solo per il tempo strettamente necessario a superare la punta di marea.

Raggiunto il picco di marea, quando il verso del flusso dell'acqua mare-laguna si inverte (dall'interno della laguna all'esterno) l'abbassamento della parte gonfiabile favorisce l'evacuazione dell'acqua precedentemente introdotta in laguna agevolandone nel contempo il ricambio.

E' utile evidenziare, infine, come il sistema ideato per proteggere la laguna dagli effetti nocivi delle "acque alte" possa essere egualmente utile per il controllo delle "acque basse"

Il sistema di dighe flessibili sommerse modulari realizzato con il progetto DOGE e sopra descritto presenta, indubbi vantaggi quali:

- a) **Intervento completamente reversibile** il posizionamento degli elementi di diga flessibile sommersa nelle bocche della laguna avviene semplicemente appoggiando gli elementi di diga sul fondo senza necessità di opere definitive, a meno della semplice regolarizzazione del fondo, e ne permette in qualsiasi momento la loro rimozione così come per gli impianti necessari al loro funzionamento
- b) **Impatto ambientale nullo.** La diga risulta completamente sommersa e nelle condizioni di normalità, condizione di "riposo", la parte pneumatica sarà sgonfia ed adagiata sul suo basamento posto sul fondo per cui la sezione trasversale del canale sarà impegnata solo dal basamento. Nessun problema per lo scambio mare-laguna. In funzione le dighe risulteranno comunque a pelo dell'acqua senza nessun elemento emergente e visibile.
- c) **Non inquinano** l'assoluta mancanza di oli, grassi lubrificanti e/o vernici antiossidanti, l'assenza di parti in movimento e materiali inquinanti in genere, rende lo sbarramento non inquinante durante tutto l'esercizio
- d) **Navigabilità delle bocche.** L'inserimento delle dighe flessibili sommerse non rappresenteranno alcun impedimento sostanziale alla navigazione. Infatti esse saranno tenute in condizioni di normalità a riposo per tutto il periodo dell'anno (buona stagione) quando statisticamente non sono previsti fenomeni di acqua alta. Per il restante periodo dell'anno (cattiva stagione), in cui esiste il rischio di fenomeni di acqua alta, le dighe potranno essere alzate gradualmente, in funzione delle previsioni delle maree attese. Una possibile configurazione è quella descritta negli schemi esemplificativi indicati in Figg. 2-3-4 e denominata doge_1 dove sono alzate le dighe limitatamente ai tratti laterali dei canali e creando già in questa configurazione un restringimento delle bocche di accesso alla laguna, che pur mantenendo la navigabilità delle stesse, generano una laminazione della onda di piena tale da produrre una diminuzione del fenomeno acqua alta in laguna di circa 10 cm. In caso di peggioramento delle previsioni tali da attendere un'onda di marea maggiore, anche le parti centrali delle dighe saranno progressivamente alzate sino alla chiusura massima (configurazione doge 0_4) che permetterà una laminazione della onda di marea tale da dare una diminu-

- zione del fenomeno dell'acqua alta in laguna di almeno 20 cm. Solo in questa configurazione massima la navigazione dei canali sarà interdetta limitatamente al tempo necessario (poche ore), per il superamento del picco di marea, e ottenere l'inversione dei flussi mare-laguna
- e) **Semplicità costruttiva.** La leggerezza e la tipologia degli elementi ne permette la prefabbricazione in apposito bacino, il loro varo e trasporto in sito via mare e successivo affondamento tramite semplice riempimento con acqua dei vani vuoti posti nel basamento. Questo permetterà in qualsiasi momento di intervenire sui singoli elementi per interventi di manutenzione e/o riparazione con semplice rimozione e sostituzione dell'elemento stesso.
 - f) **Resistono all'ozono, raggi UV, temperature estreme e microrganismi** La natura dei polimeri impiegati per la protezione dei tessuti armati garantisce una eccellente resistenza per decine d'anni agli agenti atmosferici, alle vegetazioni ed ai microrganismi
 - g) **Sono strutturalmente sicure verso atti vandalici** l'acqua utilizzata come mezzo di gonfiamento grazie alla sua elevata densità fluisce lentamente dalle eventuali falle prodotte sull'involucro. Anche lesioni importanti non sono in grado di far collassare la diga e comunque potrà riguardare solo un elemento della stessa e mai la sua totalità
 - h) **Non prevedono manutenzione** Ad eccezione del controllo dell'impianto elettrico, delle stazioni di pompaggio e degli elementi tubolari le dighe in gomma sono virtualmente esenti da manutenzione a differenza di apparecchiature meccaniche non hanno bisogno di ingrassaggi, lubrificazioni, verniciature e non sono soggette a ruggine. Non sono soggette ad insabbiamento infatti la loro forma è tale che ad ogni gonfiaggio elimina automaticamente eventuali depositi di sabbia formati. Infine si sottolinea come non siano attaccabili da microrganismi o vegetazione di alcun genere grazie alla natura dei polimeri impiegati per la protezione dei tessuti armati costituenti il manto in gomma della diga
 - i) **Richiedono basse potenze installate** la semplicità dell'impianto di funzionamento della diga non solo minimizza gli oneri di manutenzione ma consente un sensibile risparmio di energia essendo la pompa l'unico organo di movimentazione.
 - j) **Rendono possibile un migliore equilibrio del trasporto solido** attraverso un uso appropriato dei singoli elementi della diga, in tutti quegli intervalli di tempo in cui non è previsto il suo uso per la laminazione delle maree.

2.2. Elemento di diga flessibile

L'elemento base di diga sommersa flessibile pneumatica ha dimensioni generali di 50-60-70 ml di lunghezza, 14 ml di larghezza ed un'altezza variabile dai 4ml agli 11 ml e risulta costituito da tre elementi fondamentali che sono la base rigida in calcestruzzo armato (vedi FIGG.5-6) o acciaio (vedi FIGG.7-8), la diga gonfiabile in gomma armata con rete di nailon, la stazione di pompaggio acqua per il riempimento e lo svuotamento dell'elemento mobile. Nel seguito viene data una rapida descrizione dei tre elementi.

BASAMENTO RIGIDO

La base dell'elemento rappresenta la struttura portante e deve pertanto permetterne il varo, il trasporto in sito e il successivo affondamento ed al tempo stesso costituirne l'elemento di appoggio e fondazione sul fondo dei canali (FIGG. 5-6). Per tale elemento sono state previste due soluzioni.

La prima ha dimensioni in pianta di 50 - 60 - 70 ml di lunghezza, 14 ml di larghezza e di 3 ml di altezza ed è realizzato in calcestruzzo armato. La faccia inferiore è prevista al momento piana per un migliore distribuzione a terra delle pressioni, è tuttavia possibile ipotizzare anche dei setti sporgenti verticali per una migliore attacco a terra in condizione di mare gravoso. La superficie superiore dell'elemento è sagomata con dei rilievi longitudinali in modo tale che lo sviluppo lineare sia perfettamente uguale alla lunghezza del telo in gomma, ciò al fine permettere allo stesso di adattarsi sulla base perfettamente disteso quando la diga è a riposo. Il corpo dell'elemento di base risulta alleggerito da cavità longitudinali in modo tale che l'insieme risulti avere un peso complessivo tale da galleggiare. Ciò ne permetterà trasporto dal cantiere di costruzione alla sua posizione definitiva agevolmente tramite un semplice varo ed una volta raggiunta tale posizione potrà essere affondato riempiendo adeguatamente i cassoni interni. Tale operazione potrà essere ripetuta in maniera molto semplice anche in occasione di eventuali rimozioni dell'elemento per riparazioni e/o manutenzioni.

La seconda soluzione con le stesse dimensioni della prima prevede la struttura portante realizzata da tubi di acciaio posti lungo il perimetro e collegati tra loro con una struttura interna a graticcio sempre in acciaio (FIGG. 7-8). Anche in tale soluzione si prevede il varo e trasporto dell'elemento via mare ed il successivo affondamento dello stesso tramite riempimento del tubolare perimetrale

ELEMENTO MOBILE

L'elemento mobile è realizzato utilizzando un telo in gomma armato con fibre di nailon di idoneo spessore che viene fissato alla base con elementi di collegamento tali da garantire la perfetta tenuta idraulica dell'insieme telo-basamento.

In posizione di riposo il telo si distende sulla base che come innanzi detto ha una superficie conformata in modo tale da accogliere il telo perfettamente disteso nella configurazione a riposo.

Per il gonfiaggio della diga è necessario semplicemente riempire l'involucro di acqua, tramite delle pompe, sino al raggiungimento della quota prevista. Analoga operazione vale per il suo sgonfiaggio e messa a riposo

STAZIONE DI POMPAGGIO

Ogni elemento di diga flessibile sommersa e dotato di stazione di pompaggio acqua necessaria per il suo gonfiaggio prima e svuotamento poi. In questo modo ogni elemento di diga risulta essere autonomo dagli altri ed abbisogna per il suo funzionamento solo di essere alimentato elettricamente. Le stazioni di pompaggio trovano collocazione in idonei vani ricavati nel basamento dell'elemento stesso e sono costituite da una coppia di pompe, una di riserva all'altra in modo da garantire sempre il corretto funzionamento dell'elemento della diga anche in emergenza. E' prevista poi la possibilità, in occasioni eccezionali di ottenere il riempimento delle dighe rapido, facendo funzionare le due pompe non più alternativamente ma contemporaneamente.

IMPIANTI

Gli impianti necessari al funzionamento del sistema diga sono estremamente semplici in quanto sono costituiti solo da un cavo sottomarino (semplicemente poggiato sul fondo) necessario per l'alimentazione elettrica delle singole stazioni di pompaggio degli elementi di diga. Accanto a tale cavo di potenza ci sarà un secondo cavidotto necessario per il passaggio dei cavi segnale necessari per il monitoraggio in continuo del sistema diga.

Gli impianti innanzi detti faranno capo ad una sala controllo dove sarà possibile ubicare le strumentazioni per la gestione e controllo del sistema. Sarà sviluppato infine idoneo software di funzionamento in modo tale da rendere "esperto" il sistema in altre parole di memorizzare tutte le situazioni che si sono verificate, svilupparle ed in funzione di queste modificare la gestione delle dighe.

3. SPERIMENTAZIONI E MODELLI

Nella realizzazione del progetto è prevista una prima fase che è costituita dalla progettazione definitiva che verrà effettuata direttamente con il prototipo sperimentale.

Tale fase si compone dei seguenti elementi:

1. Realizzazione di un elemento in scala reale di dimensioni 70 x 14 m da posare in un punto delle bocche in modo da poter verificare tutte le problematiche connesse alla posa e movimentazione dell'elemento, alla resistenza dei materiali che lo compongono alla capacità e rapidità di funzionamento a cui si può arrivare nella fase di gonfiaggio e sgonfiaggio.
2. Realizzazione di un modello fisico in scala ridotta 1:50 dell'elemento da inserire all'interno di un canale che simuli in comportamento delle bocche durante la fase di marea. Sarà così possibile determinare con la massima esattezza

za i coefficienti da inserire negli algoritmi matematici utilizzati per la definizione delle dissipazioni.

3. Approfondimento su modello matematico del comportamento idraulico delle tre bocche. Saranno prese in esame le configurazioni delle opere previste dal progetto relativamente alle bocche di Lido, Malamocco e Chioggia. Per ciascuna configurazione, il modello bidimensionale ad elementi finiti, che schematizza la bocca attuale, realizzato nell'ambito degli studi precedenti, sarà modificato localmente in modo da descrivere con accuratezza lo scenario ad opere realizzate, incrementando opportunamente, rispetto a tali indagini, il dettaglio della schematizzazione a ridosso delle opere. Il modello sarà calibrato sulla base dei risultati delle previste indagini sperimentali effettuate in laboratorio su canaletta, in dimensioni tali da riprodurre il funzionamento idraulico dell'ostacolo e simulare le perdite di carico localizzate, nelle diverse situazioni idrauliche prevedibili. A tale scopo le procedure numeriche (elementi unidimensionali) che schematizzano il deflusso sulla soglia saranno modificate per riprodurre le leggi di efflusso dedotte sperimentalmente. Con il modello così modificato saranno effettuate delle simulazioni che consentiranno di valutare la "capacità dissipativa" di ciascuna configurazione, calcolando, in condizioni stazionarie, le perdite di carico che si stabiliscono tra mare e laguna per diverse portate fluenti, sia entranti che uscenti. Inoltre, in base ai calcoli, sarà possibile evidenziare le modifiche indotte dagli interventi all'attuale assetto del campo di moto nel canale di bocca, in ragione sia dei possibili processi di erosione/deposito innescati dalla corrente che possono costituire elemento di criticità per le opere, sia della funzionalità del canale di bocca ai fini della navigazione e portuali, valutando le velocità massime prevedibili. I risultati ottenuti, saranno utilizzati per calcolare, con il modello generale di tutta la laguna del CNR-ISMAR di Venezia, e con riferimento ad una serie di maree reali significative, gli effetti degli interventi sulla riduzione delle punte di marea all'interno della laguna, considerando anche l'effetto combinato degli interventi previsti. Con il modello generale della laguna saranno valutati, inoltre, gli effetti delle opere previste sugli scambi-mare laguna, quantificando in termini percentuali la riduzione di tali scambi rispetto alla situazione attuale. Infine, il modello generale della laguna consentirà di precisare in forma definitiva, per ciascuna bocca e per le diverse configurazioni, le velocità massime prevedibili nei canali di bocca a seguito dell'inserimento delle opere, calcolando i tempi di permanenza, nell'arco dell'anno, di velocità massime superiori a valori di soglia prefissati.
4. Trasporto solido. Lo studio su modello permetterà di definire i protocolli di gestione operativa del DOGE, finalizzati ad un migliore equilibrio del trasporto solido.

4. COSTI INTERVENTO

La valutazione dei costi di investimento deriva direttamente dai dati riportati nei progetti sinora redatti per tre bocche di porto della laguna. Per opportunità i costi sono stati aggregati nelle macro categorie:

- 1) Opere Civili
- 2) Regolarizzazione dei fondali ed attacco argini
- 3) Opere Speciali (parte pneumatica)
- 4) Impianti tecnici e tecnologici
- 5) Progettazione e Coordinamento

I costi risultanti sono riportati di seguito:

Lavori	
1) Opere civili	45.000.000,00
2) Regolarizzazione Fondali ed attacco argini	45.000.000,00
3) Materiali speciali	100.000.000,00

4) Impianti tecnologici	30.000.000,00
5) Progettazione e Coordinamento	
a) Sistema monitoraggio ecosistema	10.000.000,00
b) apparecchiature e personale	
c) per monitoraggio ecosistema	35.000.000,00
d) Modello digitale ecosistema	8.000.000,00
e) Modello digitale dighe	6.000.000,00
f) Modello analogico dighe	4.000.000,00
g) Redazione esecutivi e coordinamento	20.000.000,00
TOTALE INTERVENTO	303.000.000,00

5. TEMPISTICA

I tempi necessari alla realizzazione delle opere oggetto della presente relazione, sono stati riepilogati per macro-fasi di progetto rinviando in sede esecutiva una più spinta e dettagliata programmazione delle singole attività di cantiere il programma dei tempi risultante è quello raffigurato in FIG.12.

Le macro-fasi considerate in detto programma sono le seguenti :

- Acquisizione delle aree e cantieramento
- Progettazione prototipi sperimentali – Modelli matematici ed analogici - Varo e posa in opera elementi diga sperimentali
- Sistemazione e livellamento dei fondali delle tre bocche della laguna ed opere complementari per la sistemazione di attacco diga-argine
- Verifica e messa a punto modello – Modelli Matematici ed analogici – Sperimentazioni e misure
- Prototipo elemento definitivo – Produzione e messa in opera elementi diga definitivi
- Messa in esercizio diga – Collaudi e Prove funzionali – Acquisizione dati e sviluppo software

Il Tempo complessivo richiesto, come illustrato nel diagramma di FIG. 12, per dare completati gli interventi, collaudati e funzionanti è di **30 mesi**

LISTA DELLE FIGURE

- Fig. 1 Planimetria generale della laguna
- Fig. 2 Interventi Bocca di Lido – Pianta e sezioni
- Fig. 3 Interventi Bocca di Ghioggia – Pianta e sezioni
- Fig. 4 Interventi Bocca di Malomocco – Pianta e sezioni
- Fig. 5 Elemento diga – basamento in cls – Pianta, Prospetto e Sezioni
- Fig. 6 Elemento diga – basamento in cls – Vista assonometrica
- Fig. 7 Elemento diga – basamento in acciaio – Pianta, Prospetto e Sezioni
- Fig. 8 Elemento diga – basamento in acciaio – Vista assonometrica
- Fig. 9 Interventi Bocca di Lido – Profilo diga
- Fig. 10 Interventi Bocca di Ghioggia – Profilo diga
- Fig. 11 Interventi Bocca di Malomocco – Profilo diga
- Fig. 12 Programma Lavori per macro-fasi

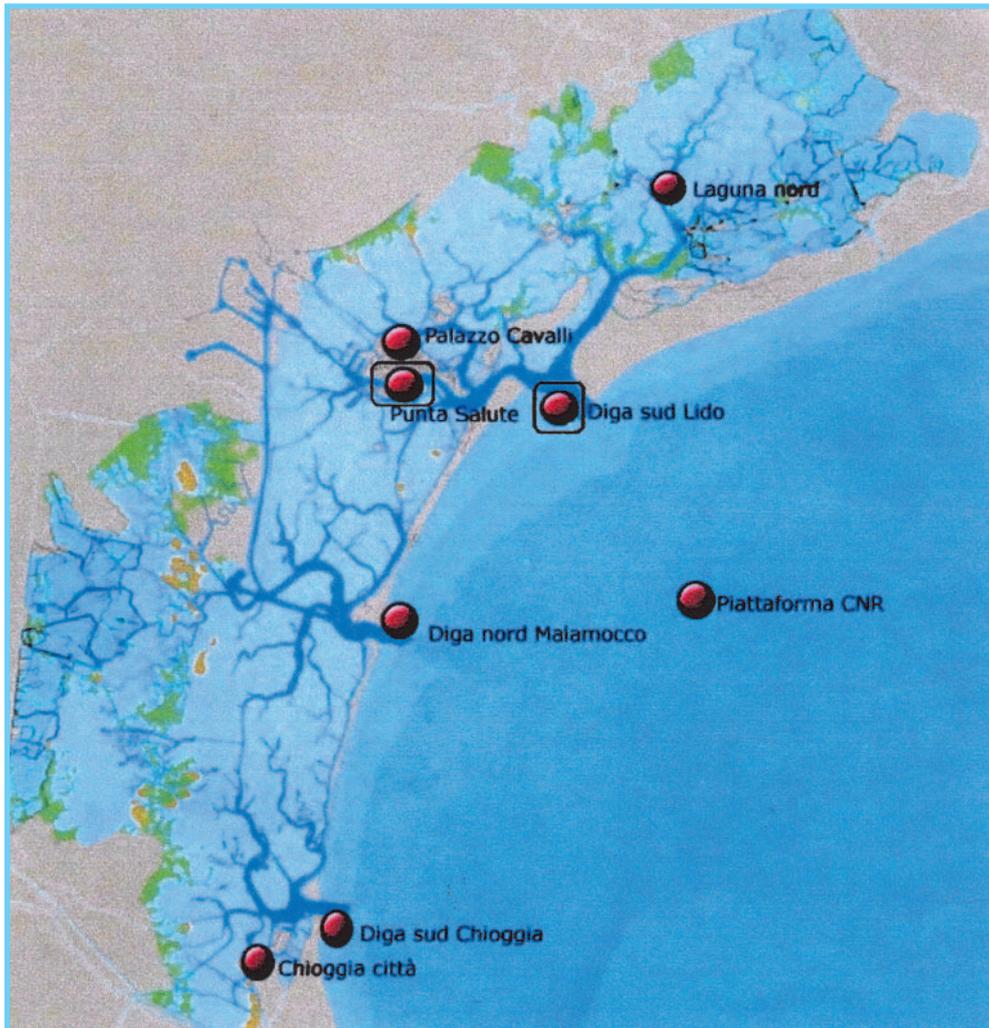


Fig. 1 - Planimetria generale della laguna

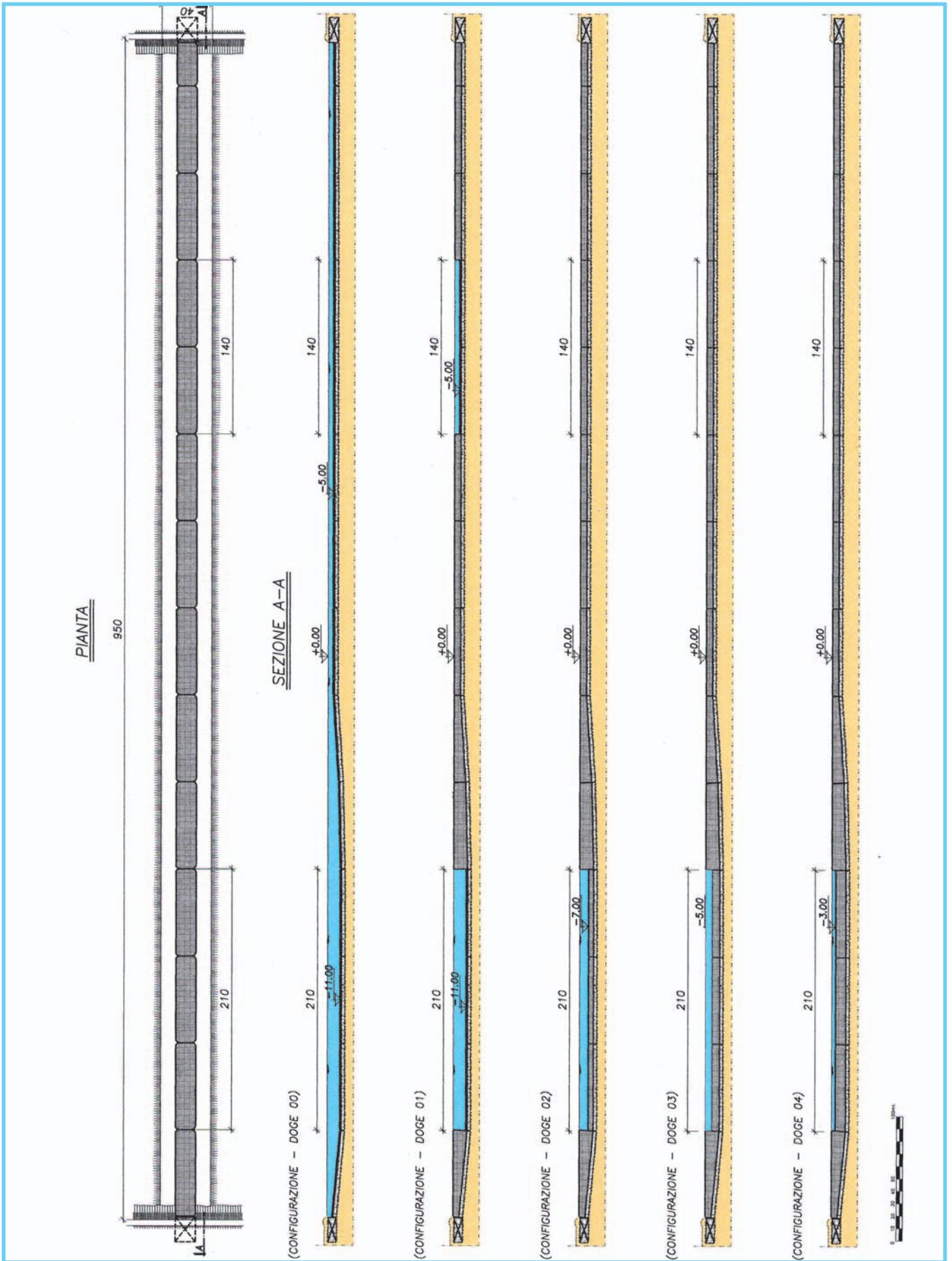


Fig. 2 - Interventi Bocca di Lido – Pianta e sezioni

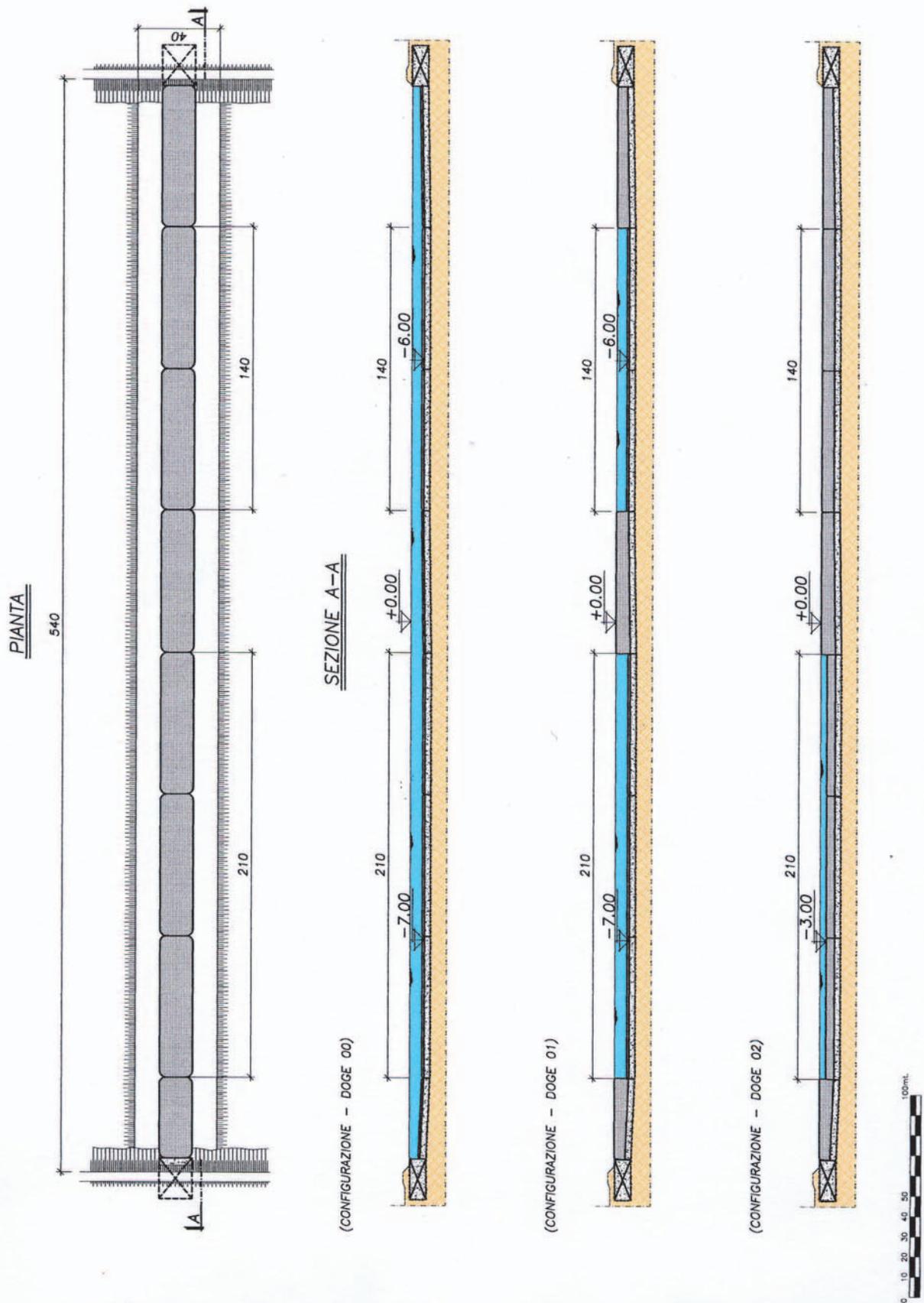


Fig. 3 - Interventi Bocca di Ghioggia – Pianta e sezioni

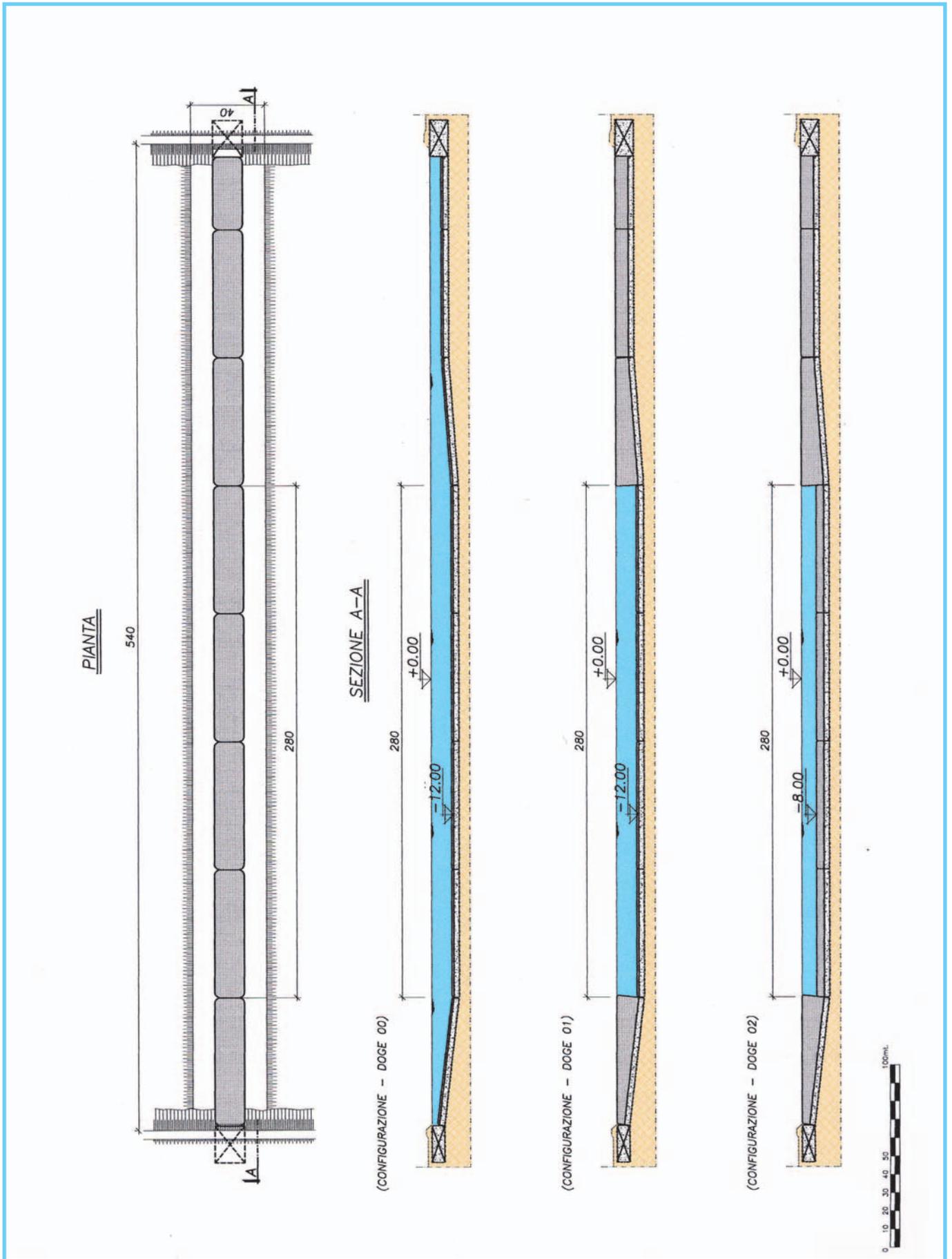


Fig. 4 - Interventi Bocca di Malomocco – Pianta e sezioni

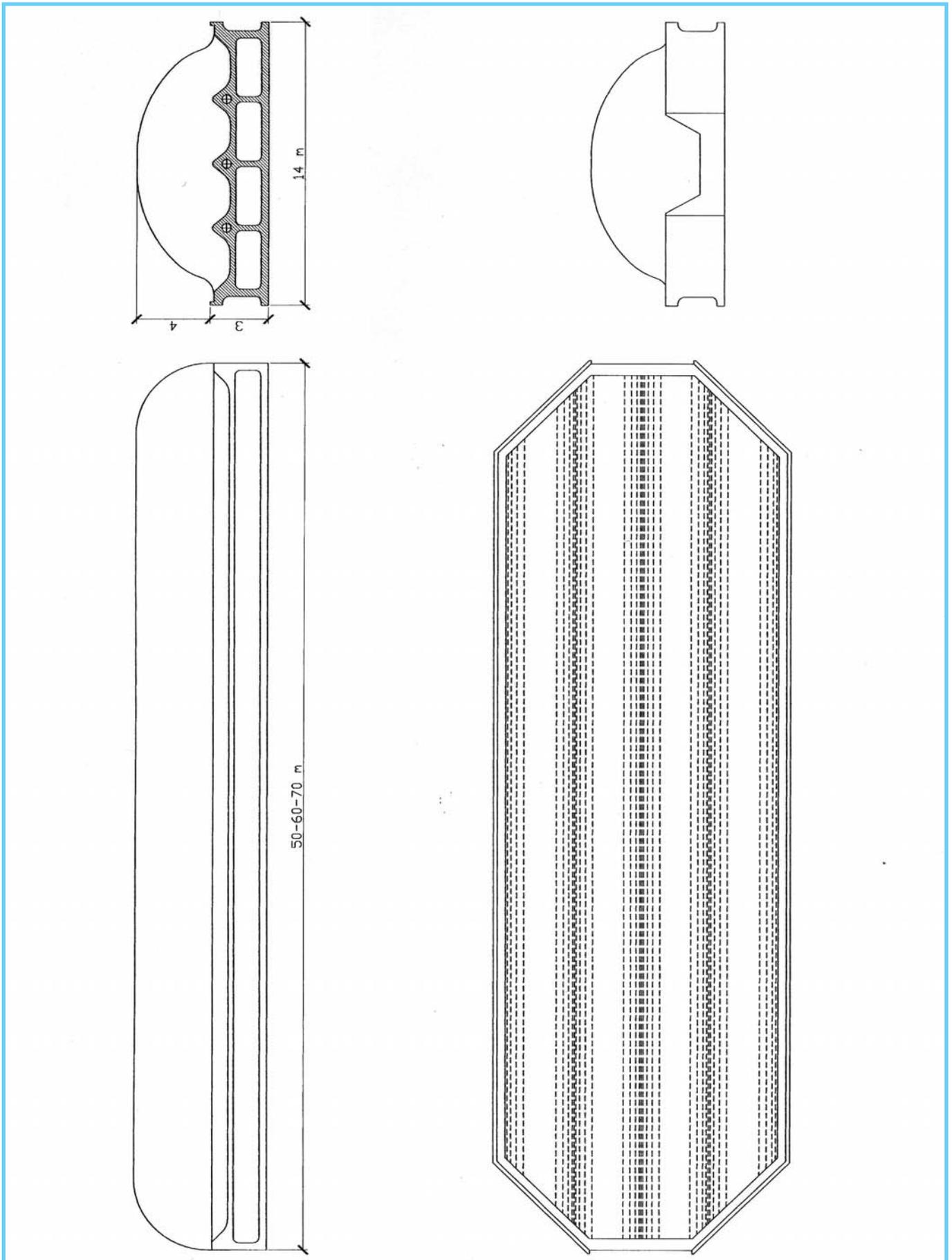
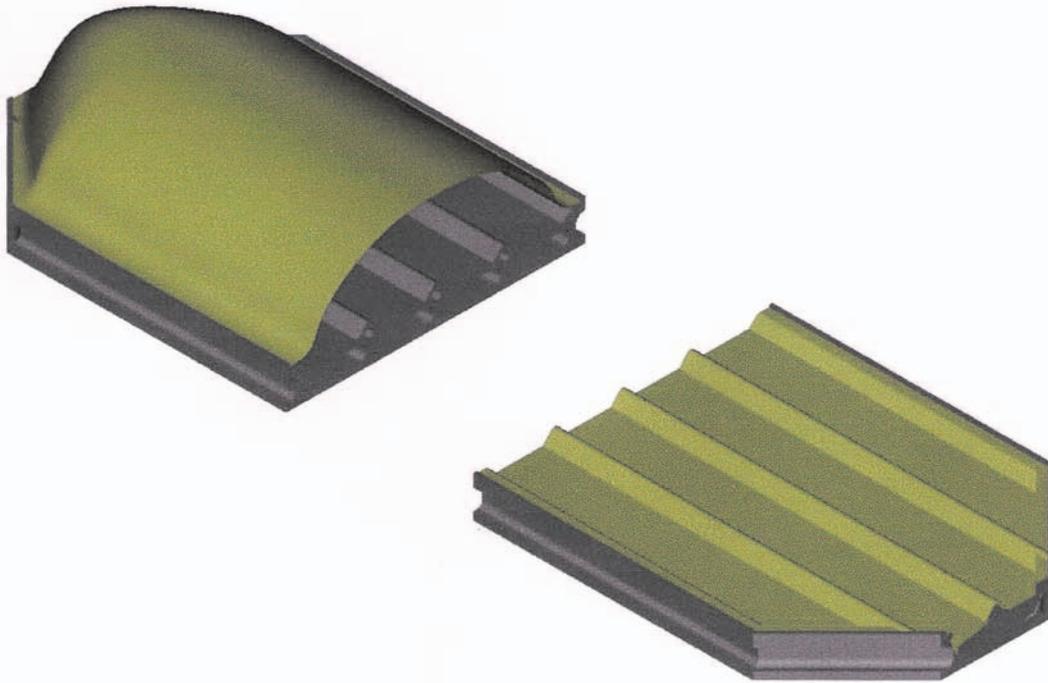
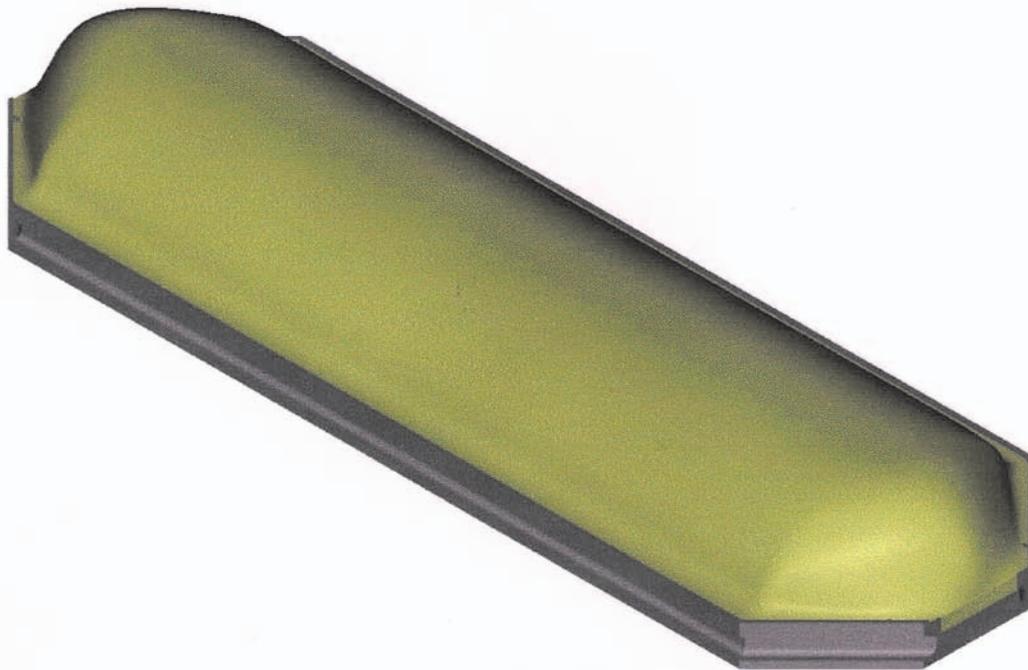


Fig. 5 - Elemento diga – basamento in cls – Pianta, Prospetto e Sezioni



SPACCATO ASSONOMETRICO



VISTA ASSONOMETRICA

Fig. 6 - Elemento diga – basamento in cls – Vista assonometrica

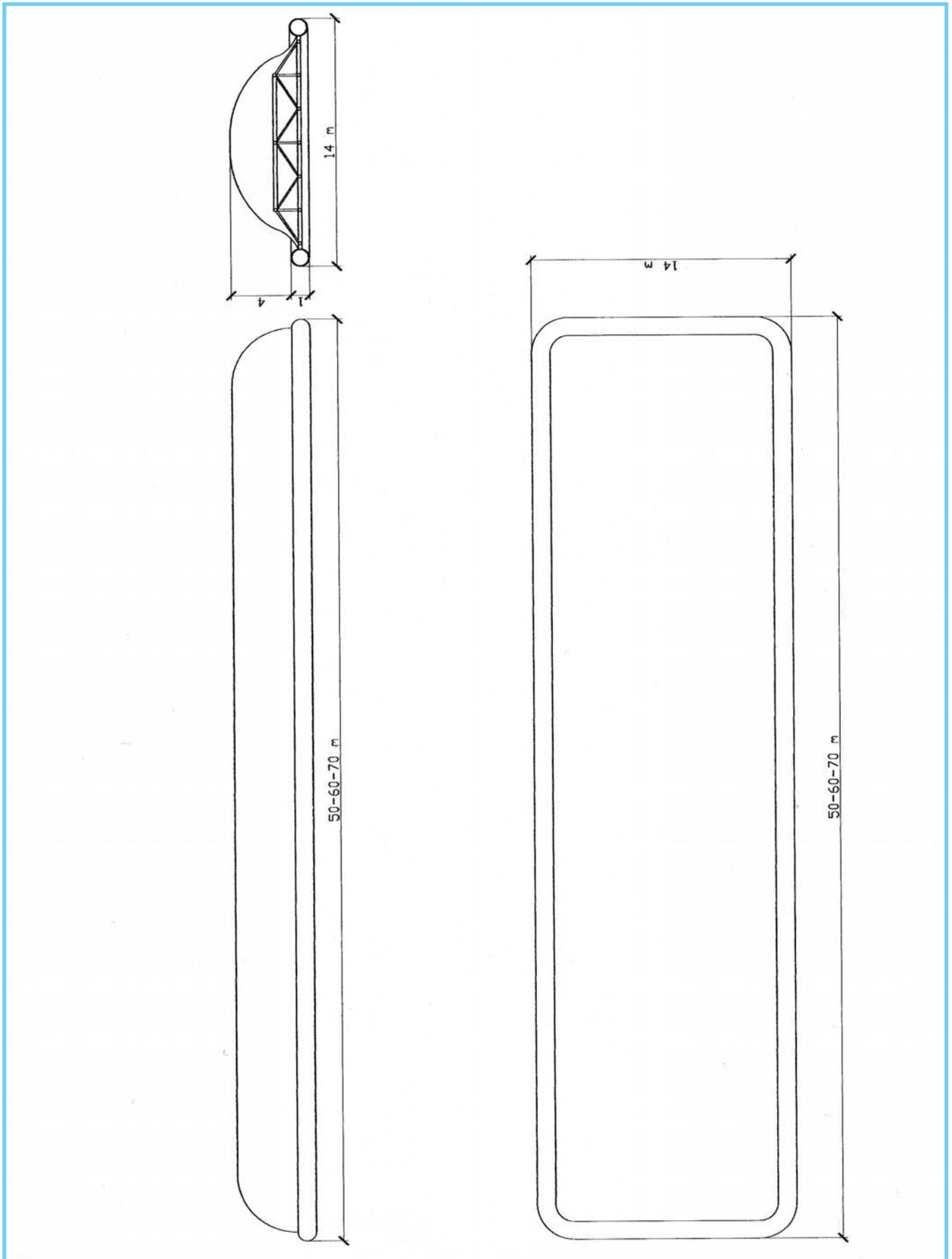
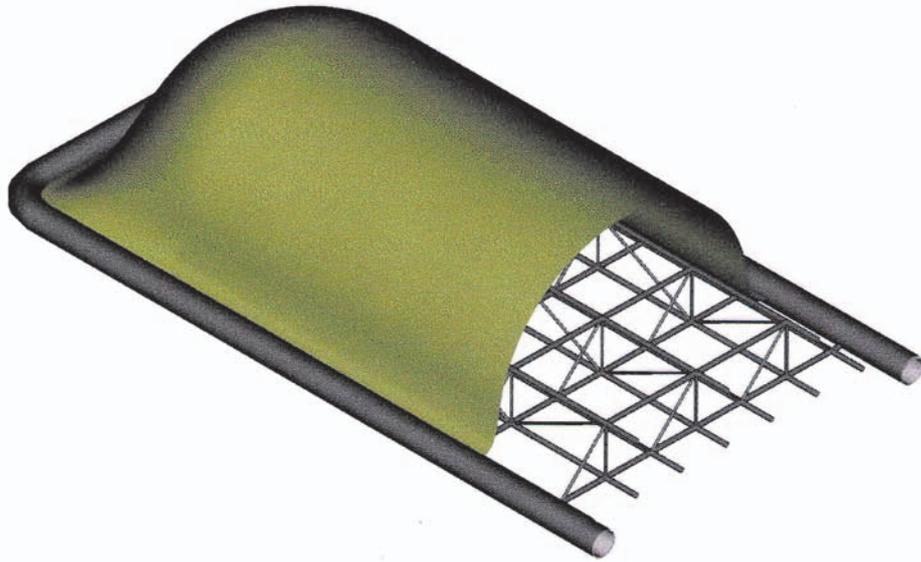
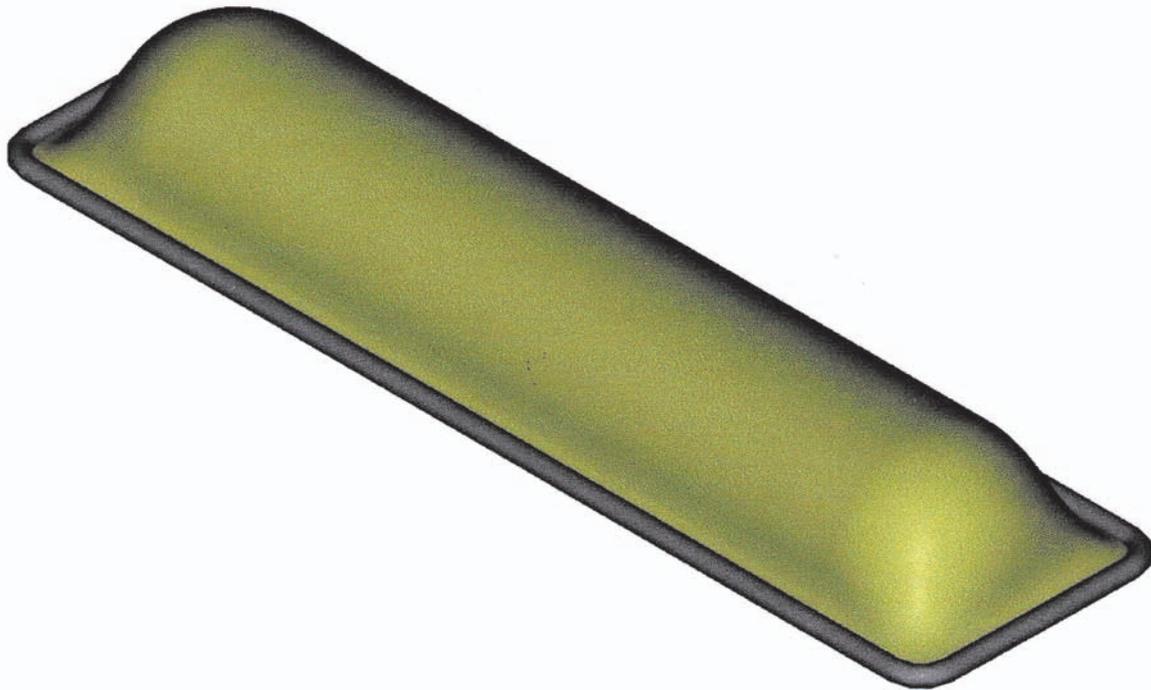


Fig. 7 - Elemento diga – basamento in acciaio – Pianta, Prospetto e Sezioni



SPACCATO ASSONOMETRICO



VISTA ASSONOMETRICA

Fig. 8 - Elemento diga – basamento in acciaio – Vista assonometrica

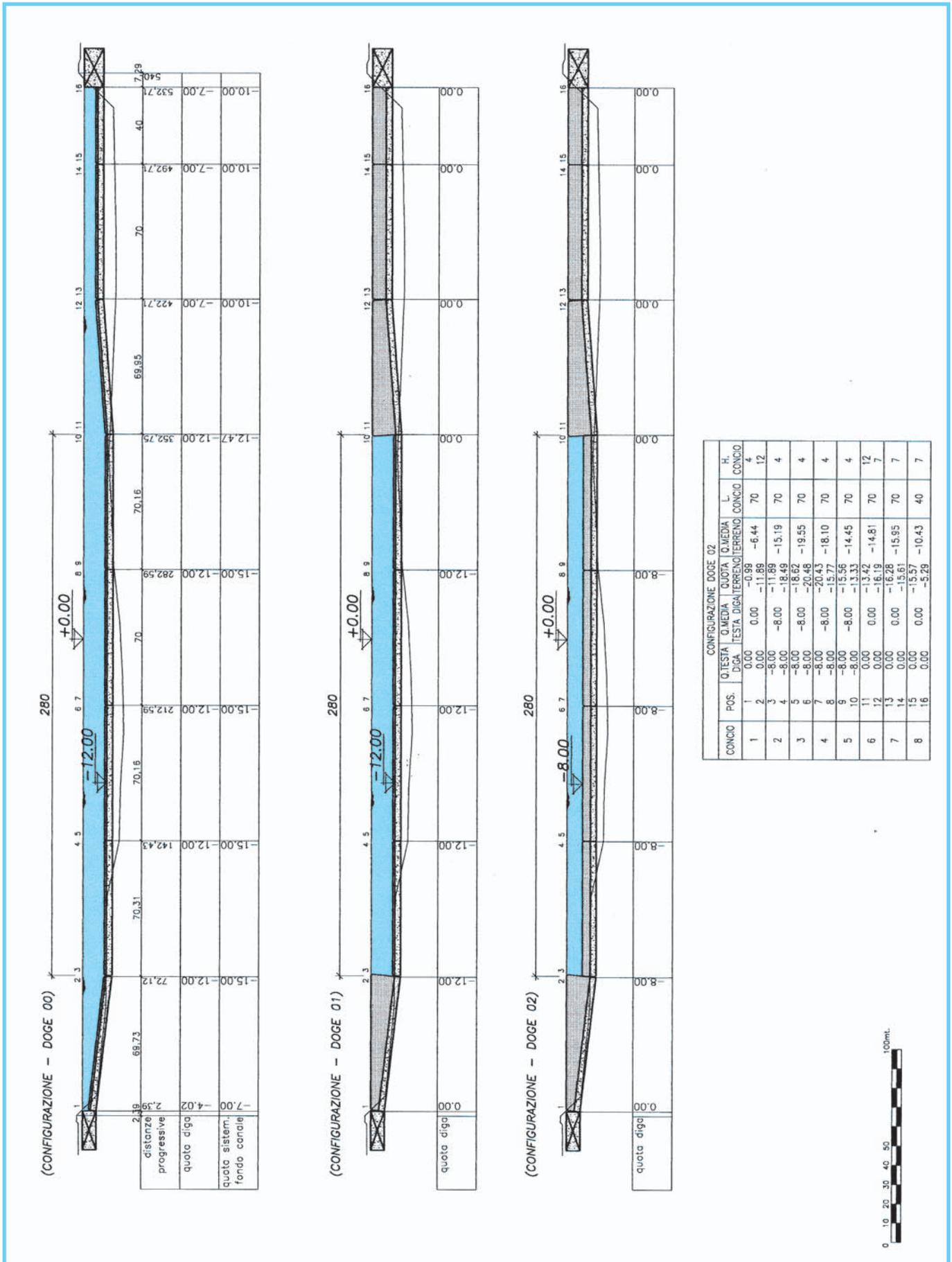


Fig. 11 - Interventi Bocca di Malomocco – Profilo diga

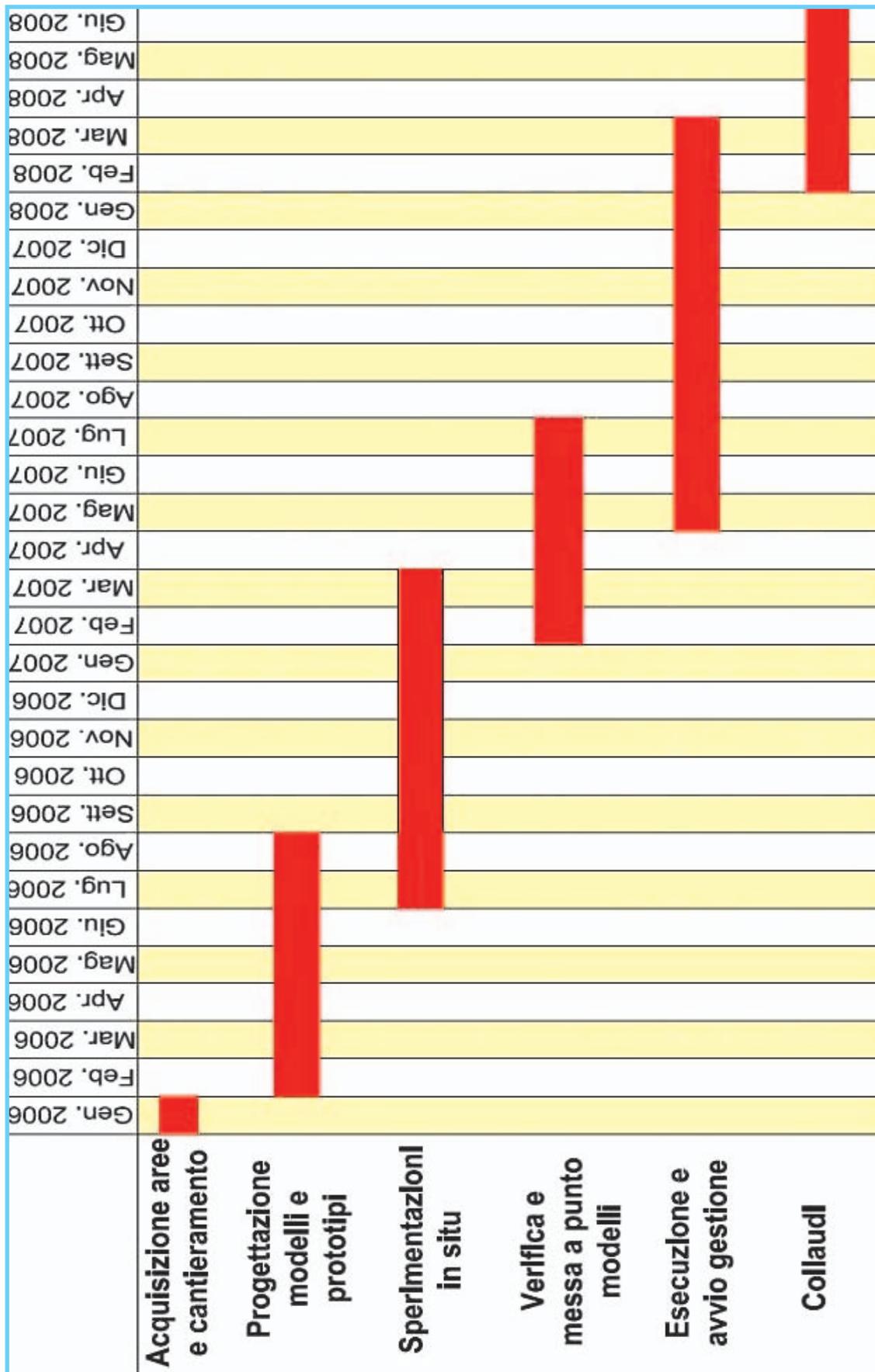


Fig. 12 - Programma Lavori per macro-fasi

PROGETTO DOGE

-Dighe

-Omeodinamiche per una

-Gestione

-Evolutiva

PROGETTO DOGE

A) L'OBBIETTIVO

B) LE TECNOLOGIE AVANZATE

C) IL PROGETTO

D) I RISULTATI

E) COLLABORAZIONI E REFERENZE

PROGETTO DOGE

A) L'OBIETTIVO

la gestione separata ed
adattativa degli eventi di:

- Marea
- Moto ondoso

PROGETTO DOGE

A) *L'OBIETTIVO*

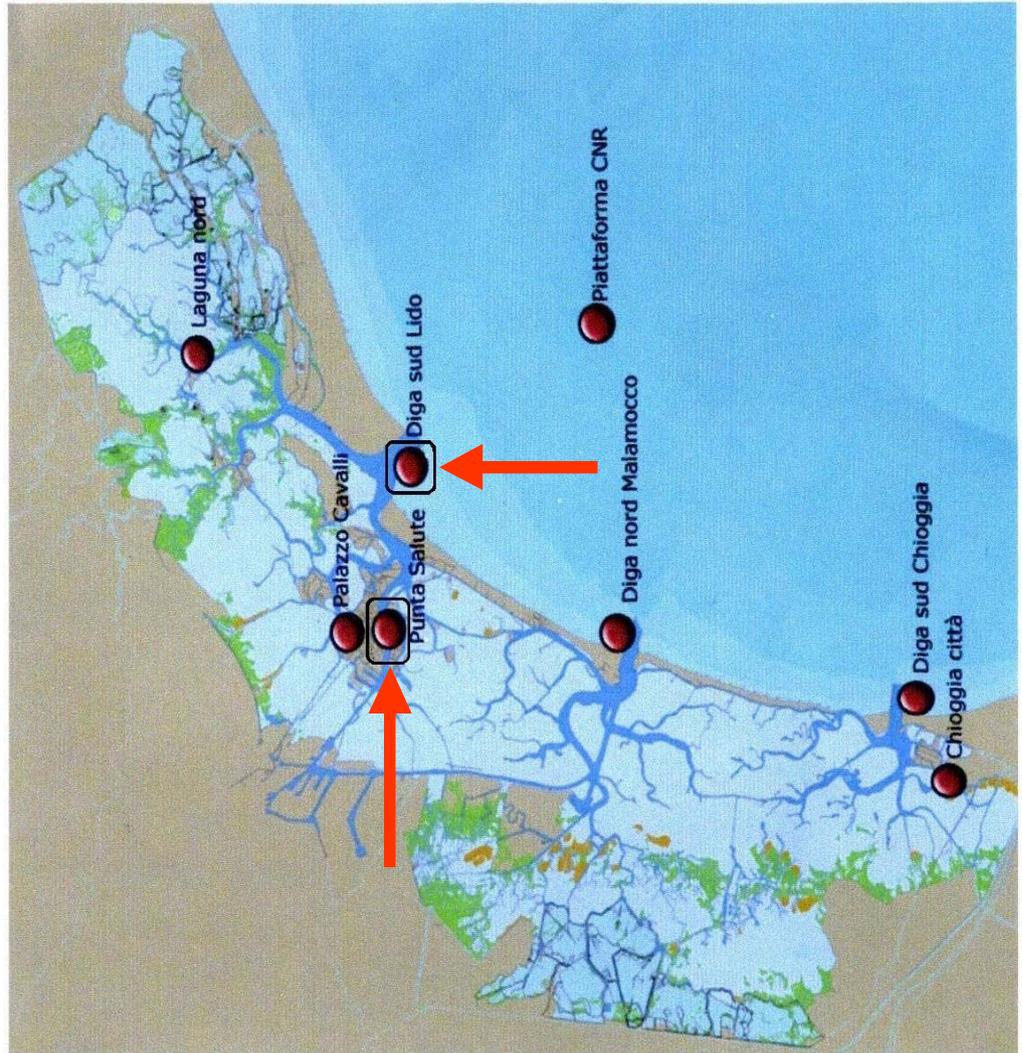
al fine di ottenere:

- **Controllo delle acque alte**
- **Controllo delle acque basse**
- **Gestione del trasporto solido**
- **Integrazione con la navigazione**

A) L'OBIETTIVO

Esame di maree e moto ondoso

Stazioni di monitoraggio



A) L'OBBIETTIVO

Esame di marea

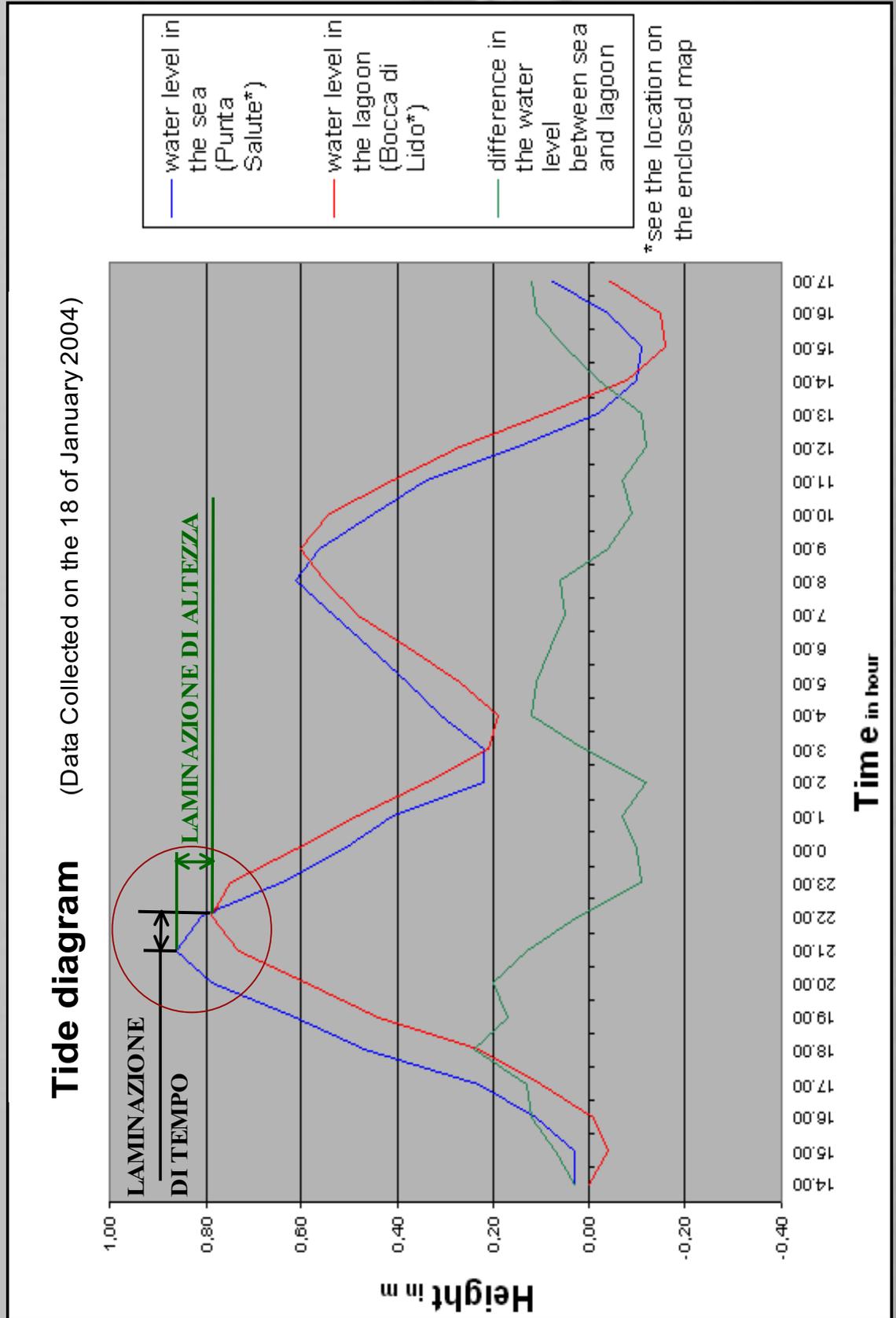
Tabella dati 18-01.04

Typical Tide Diagram Event Occurred the 18th of January 2004						
Date	hour	water level in m			difference in m (lagoon - sea)	
		lagoon (Punta Salute)	sea (Bocca di Lido)	difference in m (lagoon - sea)		
18 jan 04	14.00	0.03	0.00	0.03		
18 jan 04	15.00	0.03	-0.04	0.07		
18 jan 04	16.00	0.11	-0.01	0.12		
18 jan 04	17.00	0.23	0.10	0.13		
18 jan 04	18.00	0.47	0.23	0.24		
18 jan 04	19.00	0.61	0.44	0.17		
18 jan 04	20.00	0.79	0.59	0.20		
18 jan 04	21.00	0.86	0.73	0.13		
18 jan 04	22.00	0.81	0.79	0.02		
18 jan 04	23.00	0.64	0.75	-0.11		
19 jan 04	0.00	0.51	0.61	-0.10		
19 jan 04	1.00	0.41	0.48	-0.07		
19 jan 04	2.00	0.22	0.34	-0.12		
19 jan 04	3.00	0.22	0.21	0.01		
19 jan 04	4.00	0.31	0.19	0.12		
19 jan 04	5.00	0.38	0.27	0.11		
19 jan 04	6.00	0.46	0.38	0.08		
19 jan 04	7.00	0.53	0.48	0.05		
19 jan 04	8.00	0.61	0.55	0.06		
19 jan 04	9.00	0.56	0.60	-0.04		
19 jan 04	10.00	0.45	0.54	-0.09		
19 jan 04	11.00	0.34	0.41	-0.07		
19 jan 04	12.00	0.15	0.27	-0.12		
19 jan 04	13.00	-0.02	0.09	-0.11		
19 jan 04	14.00	-0.10	-0.08	-0.02		
19 jan 04	15.00	-0.11	-0.16	0.05		
19 jan 04	16.00	-0.04	-0.15	0.11		
19 jan 04	17.00	0.08	-0.04	0.12		

A) L'OBBIETTIVO

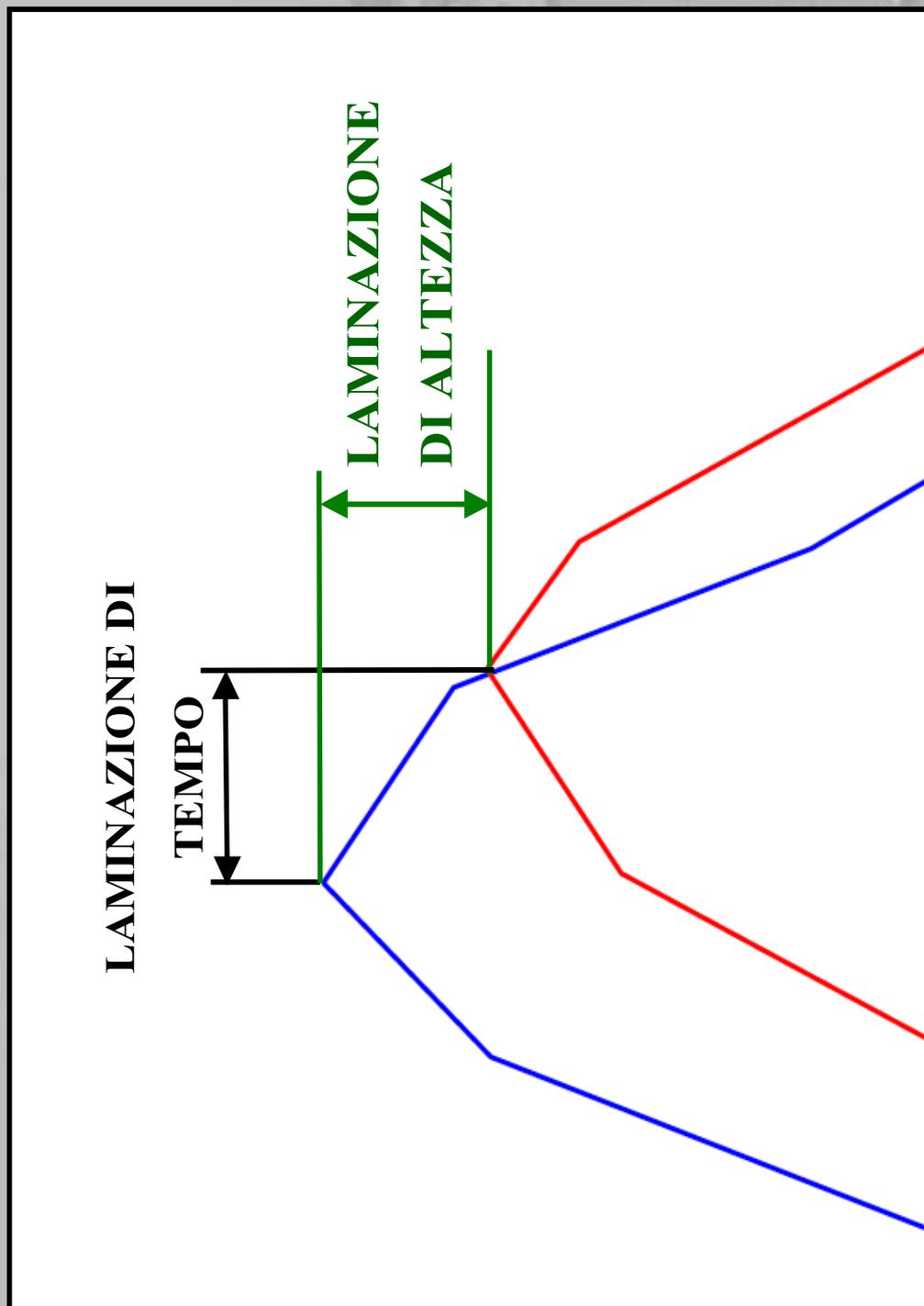
Esame di marea

Grafico laminazione 18-01-04



A) L'OBBIETTIVO

Esame di marea
Dettaglio laminazione



PROGETTO DOGE

Intervento di marea

La laminazione di tempo e di altezza richiede la regolazione della chiusura delle bocche:

- nel tempo
- nell'ampiezza

Pertanto l'opera di chiusura deve essere a regolazione continua ed adattativa:

- nel tempo
- nella forma

A) L'OBIETTIVO

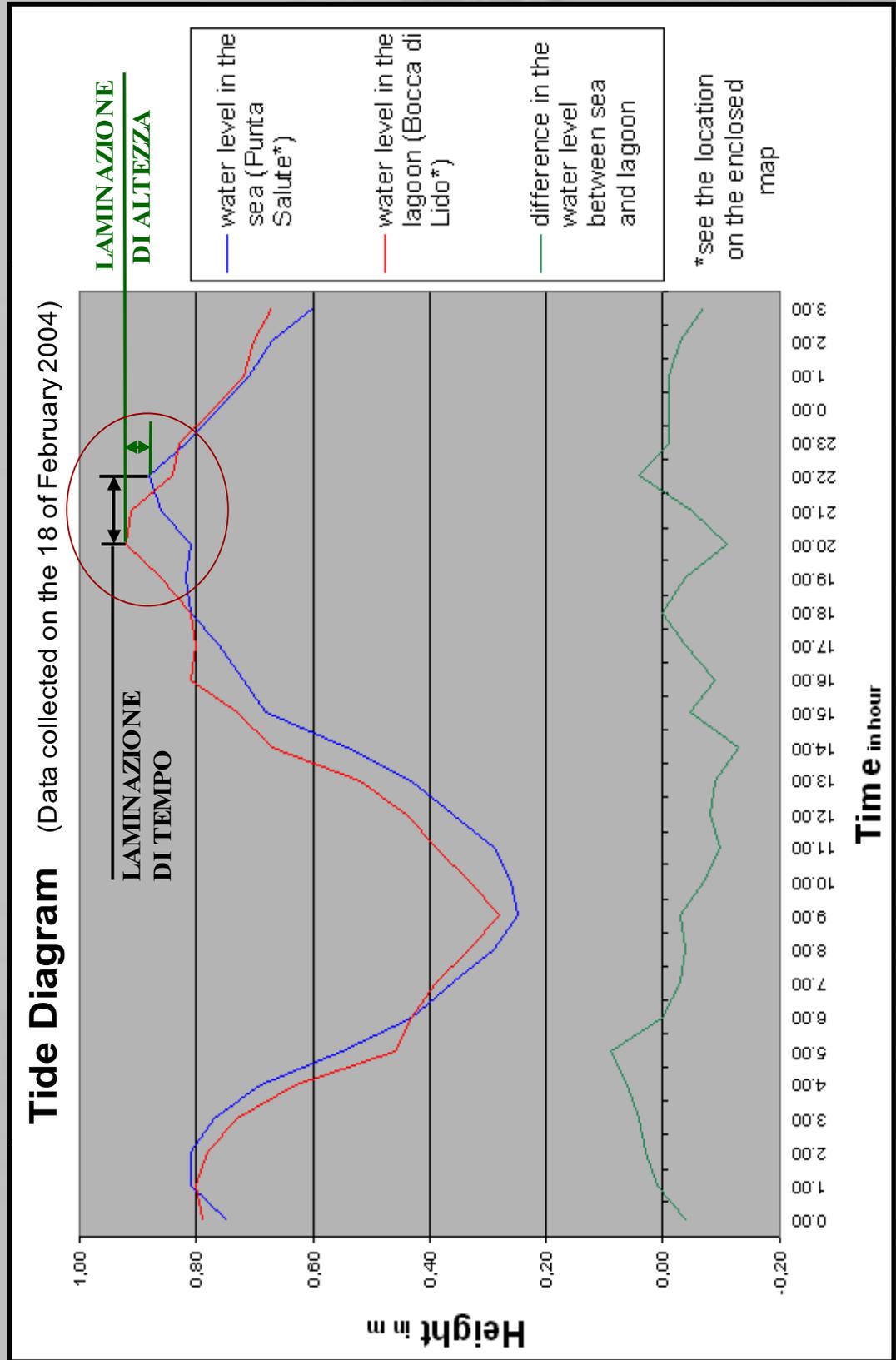
Esame moto ondoso Tabella dati 28-02-04

Typical Tide Diagram Event Occurred the 28th of February 2004					
Date	hour	water level in m		difference in m ((lagoon - sea)	
		lagoon (Punta Salute)	sea (Bocca di Lido)		
28-feb-04	0.00	0.75	0.79	-0.04	
28-feb-04	1.00	0.81	0.80	0.01	
28-feb-04	2.00	0.81	0.78	0.03	
28-feb-04	3.00	0.77	0.73	0.04	
28-feb-04	4.00	0.69	0.63	0.06	
28-feb-04	5.00	0.55	0.46	0.09	
28-feb-04	6.00	0.43	0.43	0.00	
28-feb-04	7.00	0.36	0.39	-0.03	
28-feb-04	8.00	0.29	0.33	-0.04	
28-feb-04	9.00	0.25	0.28	-0.03	
28-feb-04	10.00	0.26	0.33	-0.07	
28-feb-04	11.00	0.29	0.39	-0.10	
28-feb-04	12.00	0.36	0.44	-0.08	
28-feb-04	13.00	0.43	0.52	-0.09	
28-feb-04	14.00	0.54	0.67	-0.13	
28-feb-04	15.00	0.68	0.73	-0.05	
28-feb-04	16.00	0.72	0.81	-0.09	
28-feb-04	17.00	0.76	0.80	-0.04	
28-feb-04	18.00	0.81	0.81	0.00	
28-feb-04	19.00	0.82	0.86	-0.04	
28-feb-04	20.00	0.81	0.92	-0.11	
28-feb-04	21.00	0.86	0.91	-0.05	
28-feb-04	22.00	0.88	0.84	0.04	
28-feb-04	23.00	0.82	0.83	-0.01	
28-feb-04	0.00	0.76	0.77	-0.01	
29-feb-04	1.00	0.71	0.72	-0.01	
29-feb-04	2.00	0.67	0.70	-0.03	
29-feb-04	3.00	0.60	0.67	-0.07	

A) L'OBIETTIVO

Esame moto ondoso

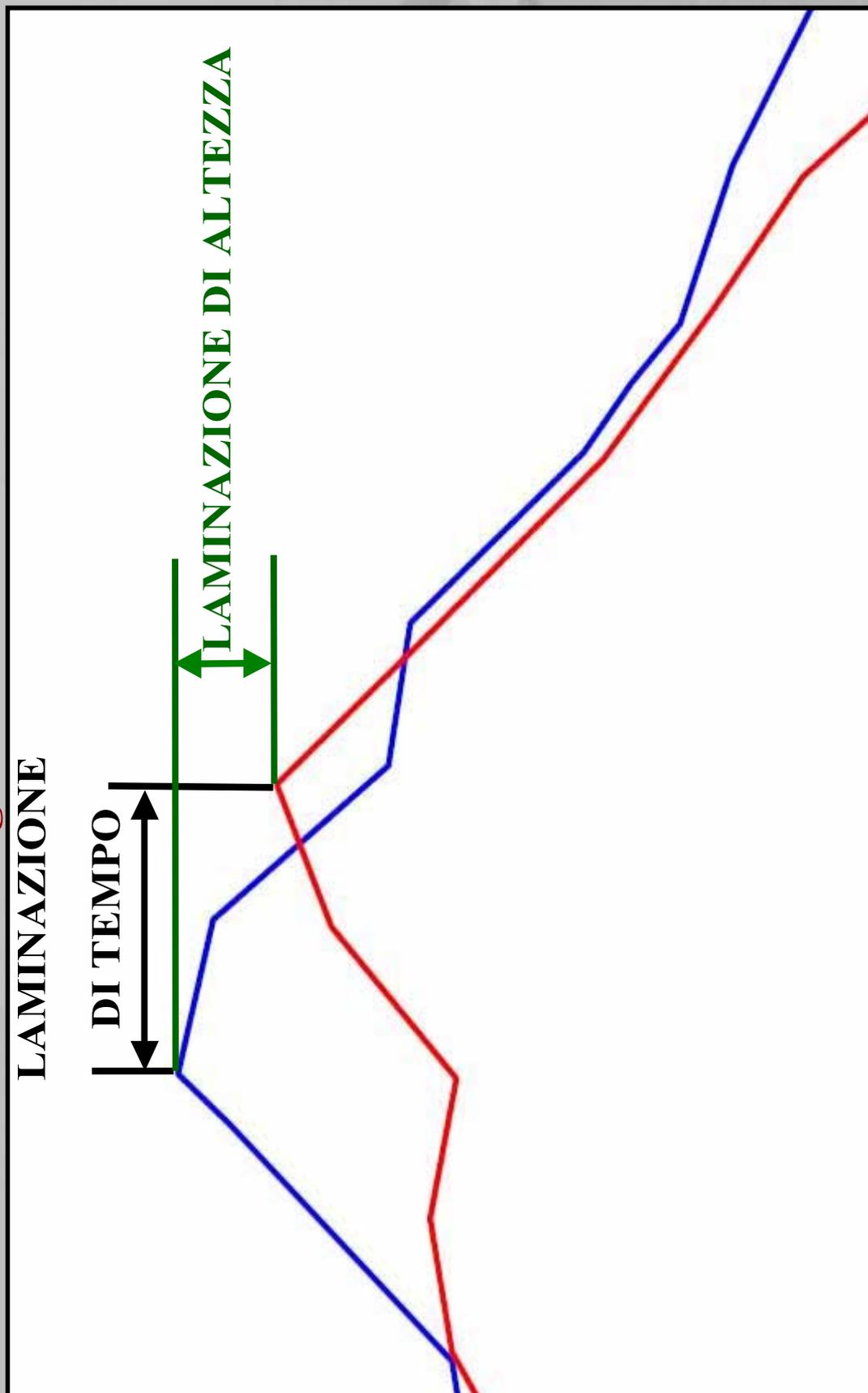
Grafico 28-02-04



A) L'OBIETTIVO

Esame moto ondoso

Dettaglio laminazione



PROGETTO DOGE

Moto ondoso

La laminazione di tempo e di altezza
richiede anche:

- **l'assorbimento dell'energia.**

Pertanto l'opera deve essere anche:

- **elastica.**

PROGETTO DOGE

Conclusione

L'opera di chiusura deve essere:

- a regolazione continua
- adattativa
- elastica

Cioè il **DOGE**

B) LE ESPERIENZE AVANZATE

1. Diga di Ramspol - Olanda



B) LE ESPERIENZE AVANZATE

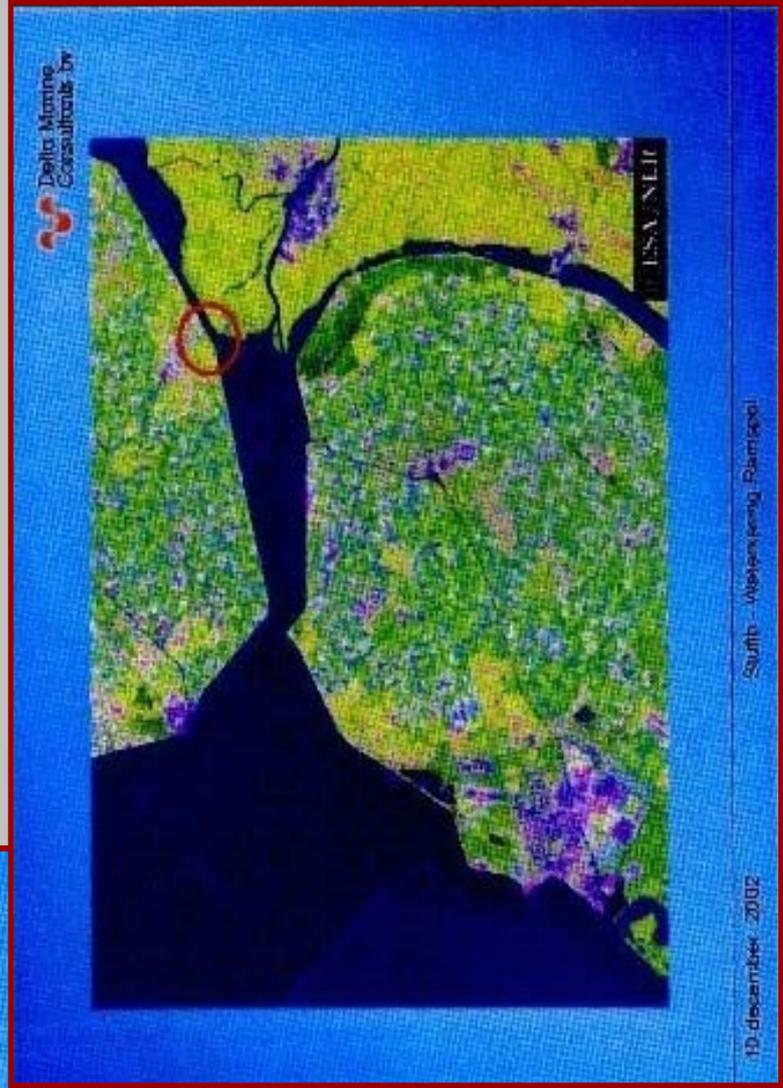
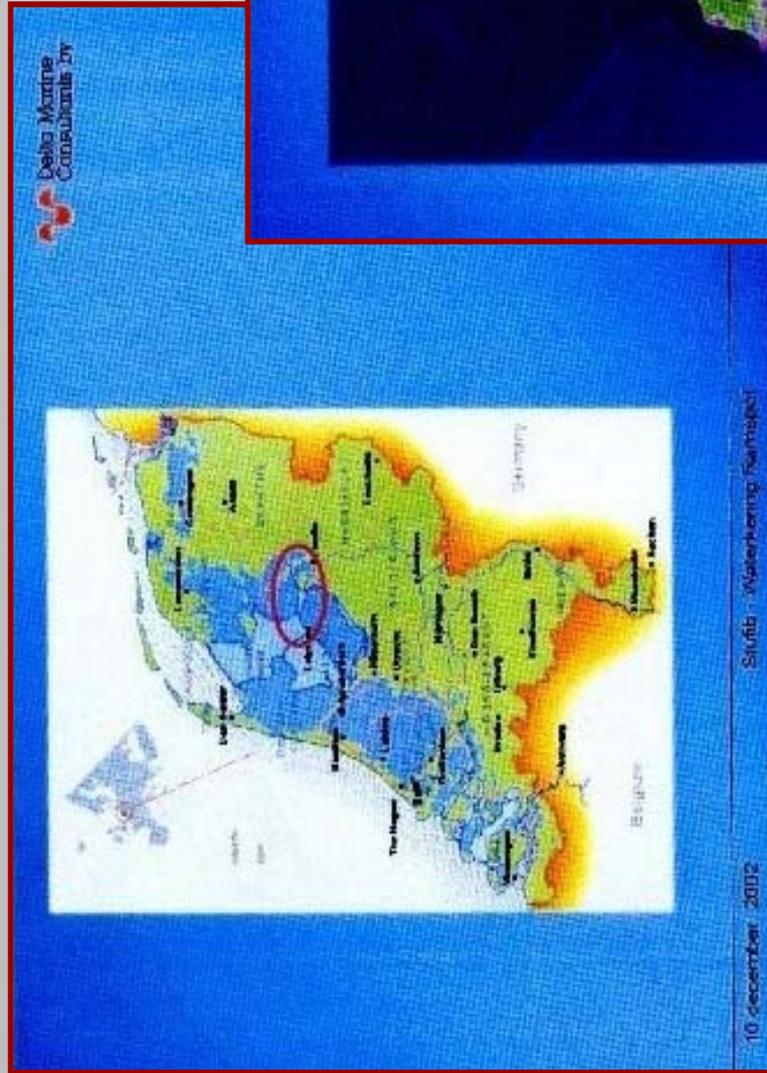
1. Ramspol

MINISTERIE VAN VERKEER EN WATERSTAAT
DIRECTORAAT - GENERAAL RIJKSWATERSTAAT
BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT
NETHERLAND

DIGA DI RAMSPOL

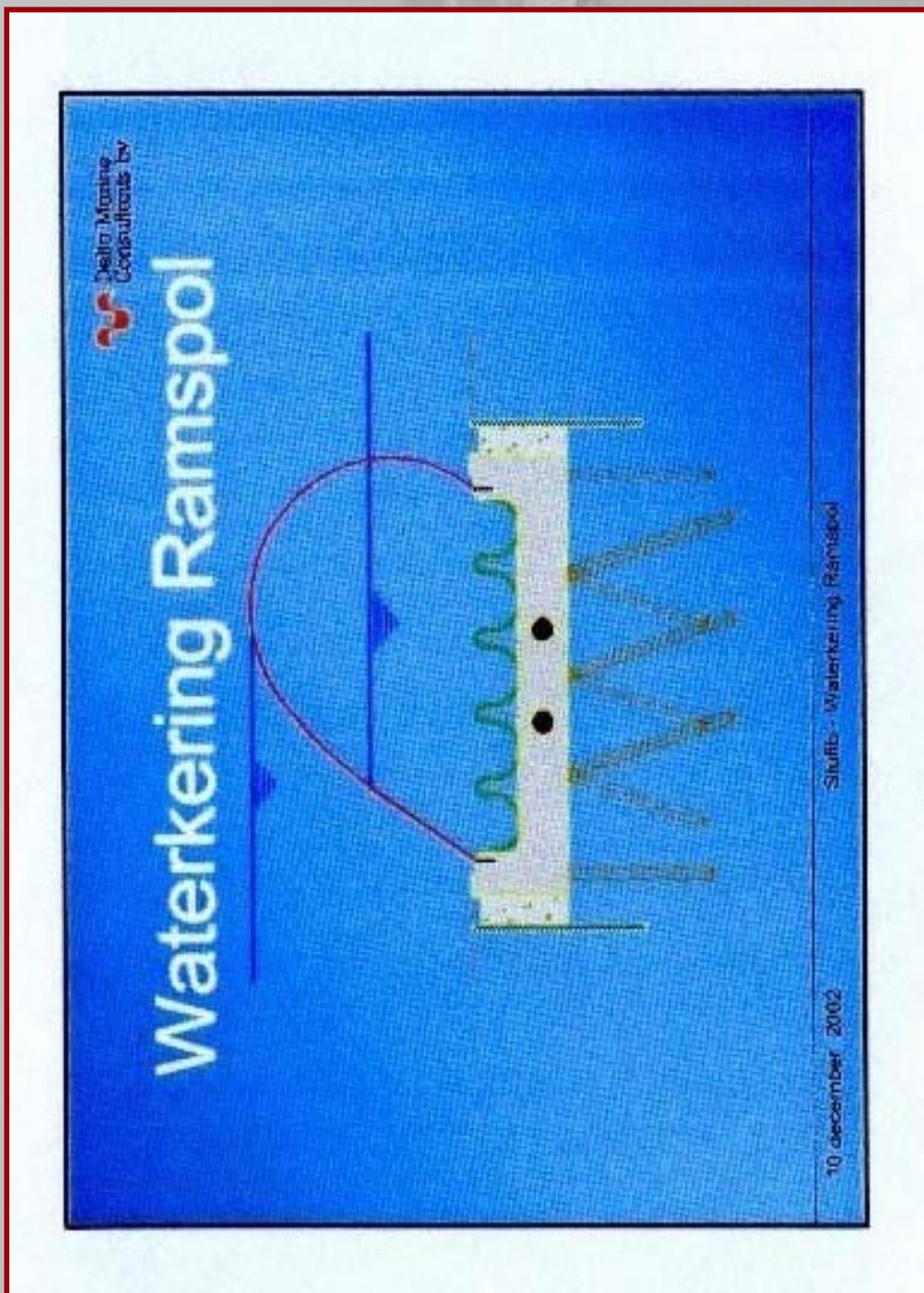
B) LE ESPERIENZE AVANZATE

1. *Ramspol* – Planimetrie ubicazione intervento



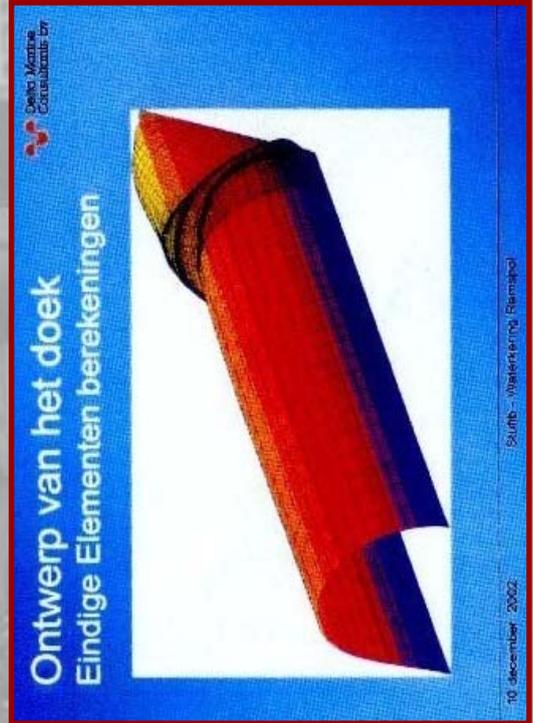
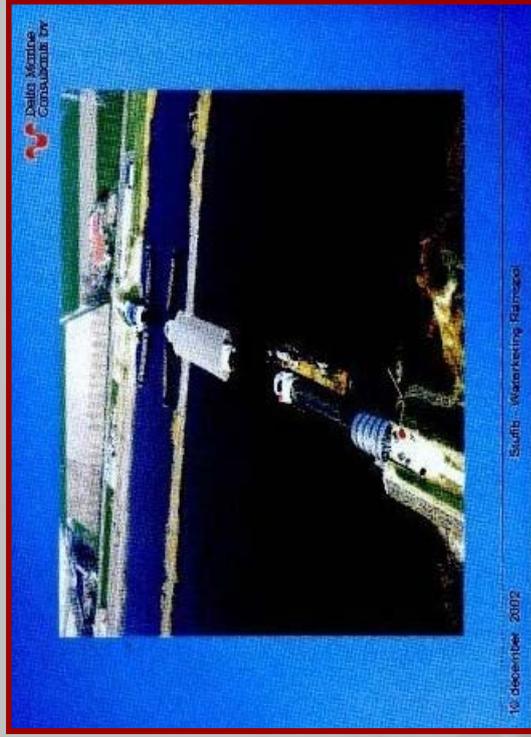
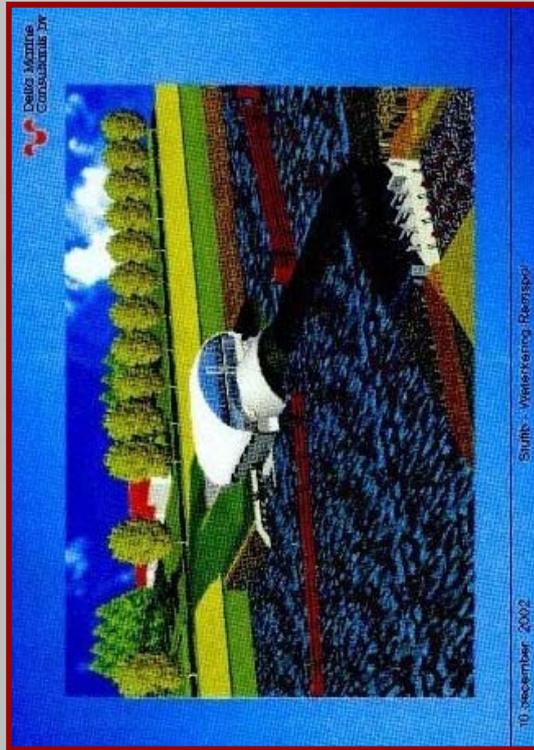
B) LE ESPERIENZE AVANZATE

1. Ramspol – Sezione diga



B) LE ESPERIENZE AVANZATE

1. *Ramspol* – Modelli digitali diga



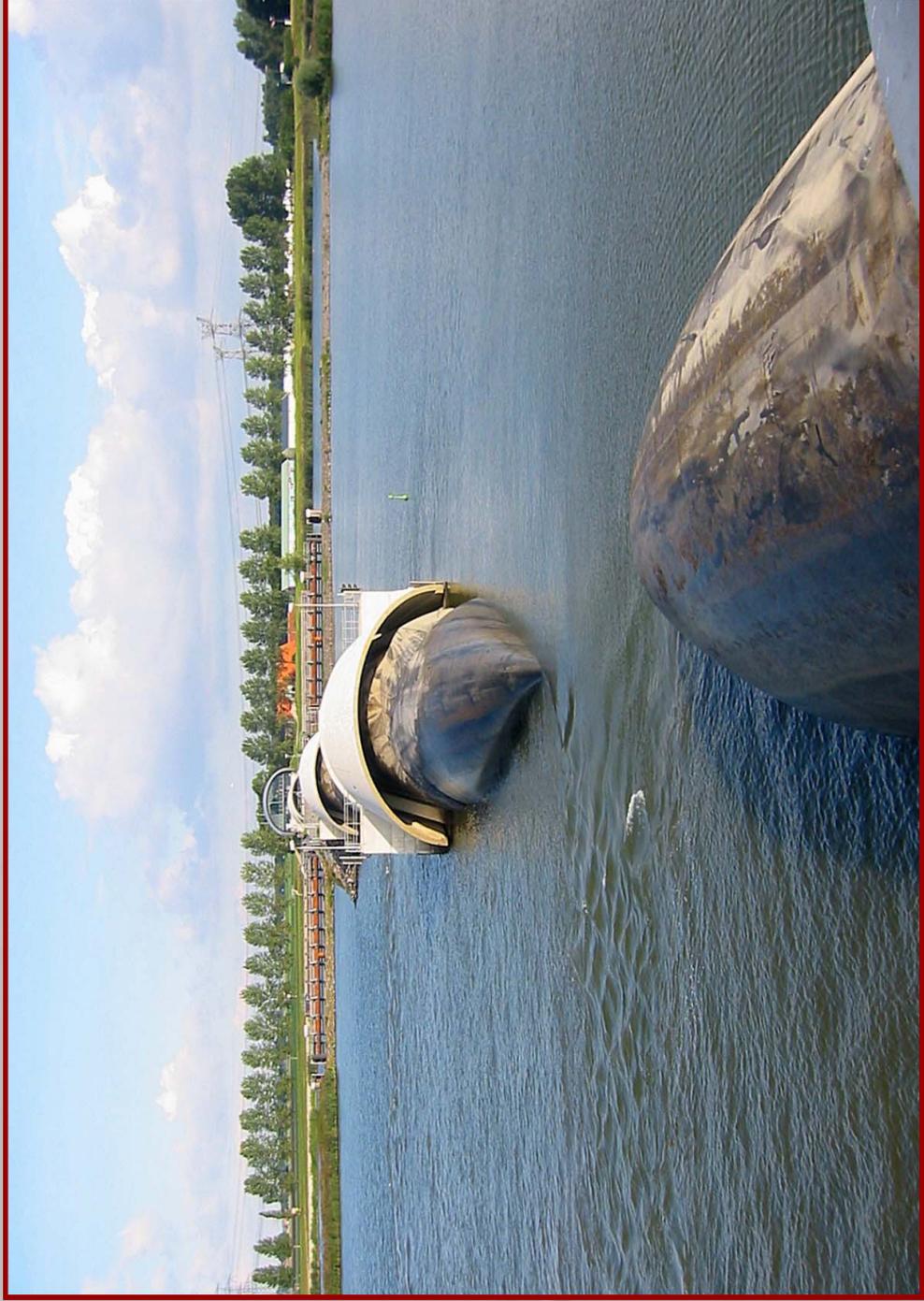
B) LE ESPERIENZE AVANZATE

1. Ramspol – Diga in posizione di riposo (diga abbassata)



B) LE ESPERIENZE AVANZATE

1. *Ramspol* –Diga in funzione durante il gonfiaggio



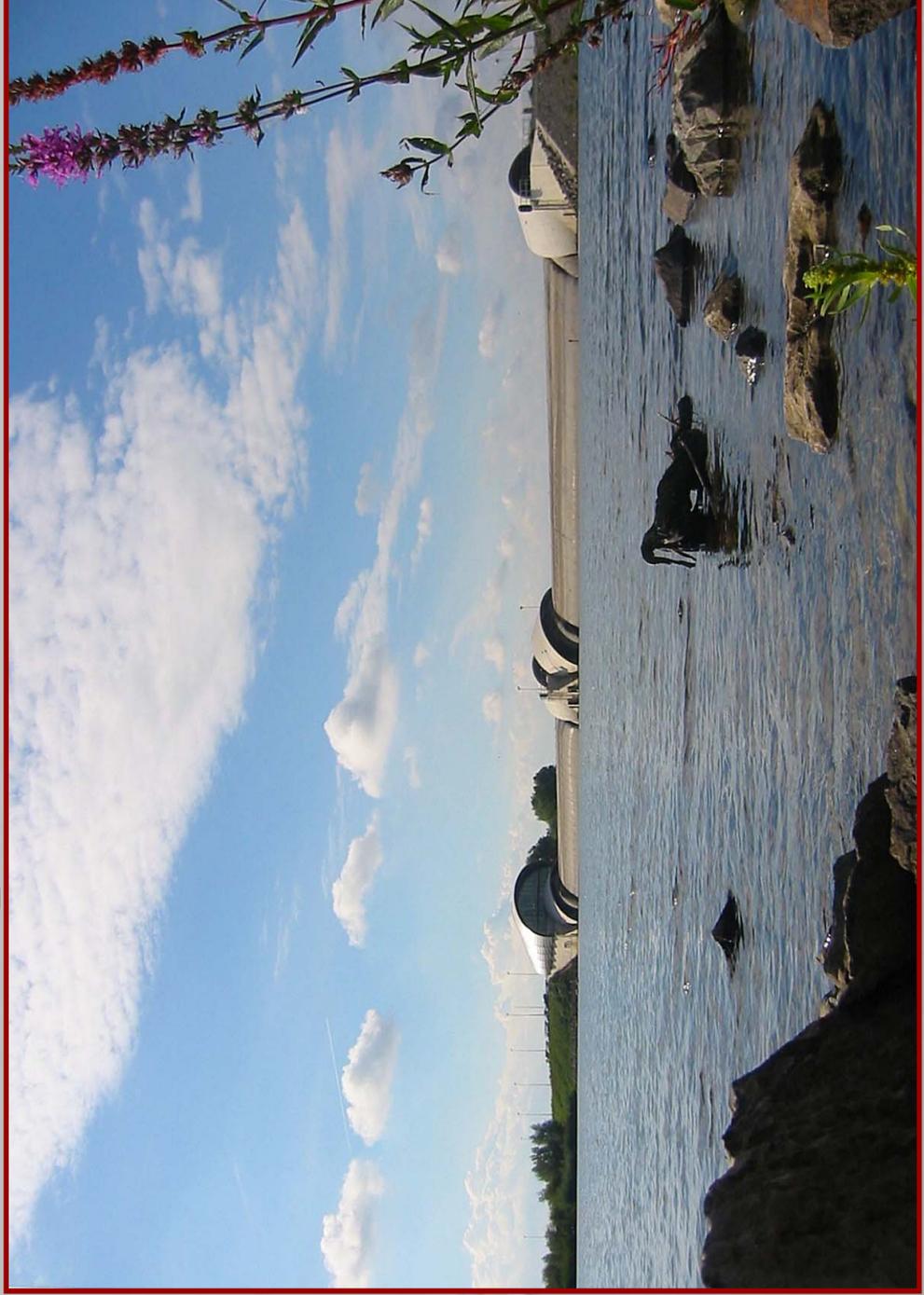
B) LE ESPERIENZE AVANZATE

1. *Ramspol* – Diga in funzione a fine gonfiaggio



B) LE ESPERIENZE AVANZATE

***1. Ramspol* – Panoramica della diga in funzione completamente emersa**



B) LE ESPERIENZE AVANZATE

2. Porto di Nagasaki - Giappone



B) LE ESPERIENZE AVANZATE

2. Nagasaki

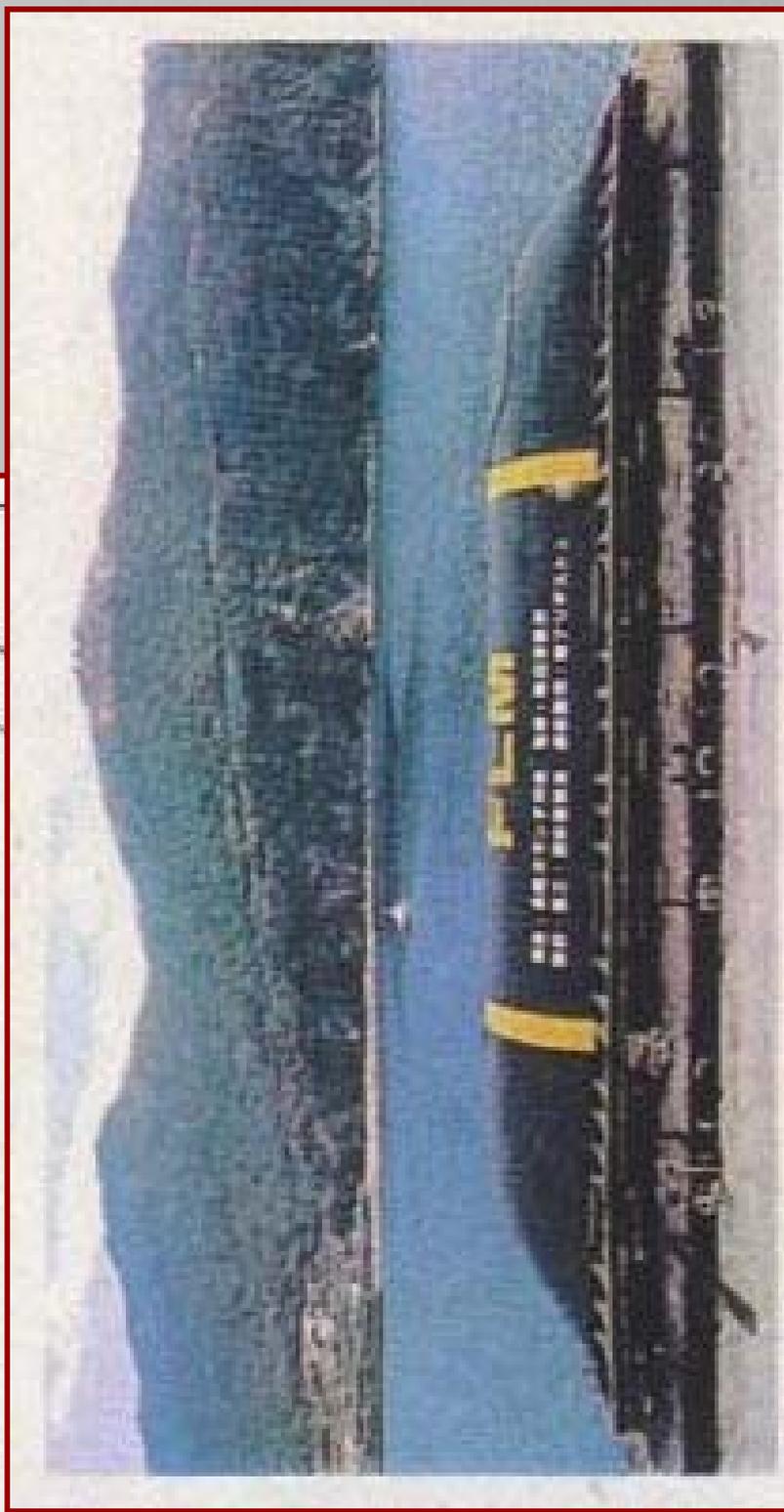
MINISTRY OF COSTRUCTION

JAPAN

PORTO DI NAGASAKI

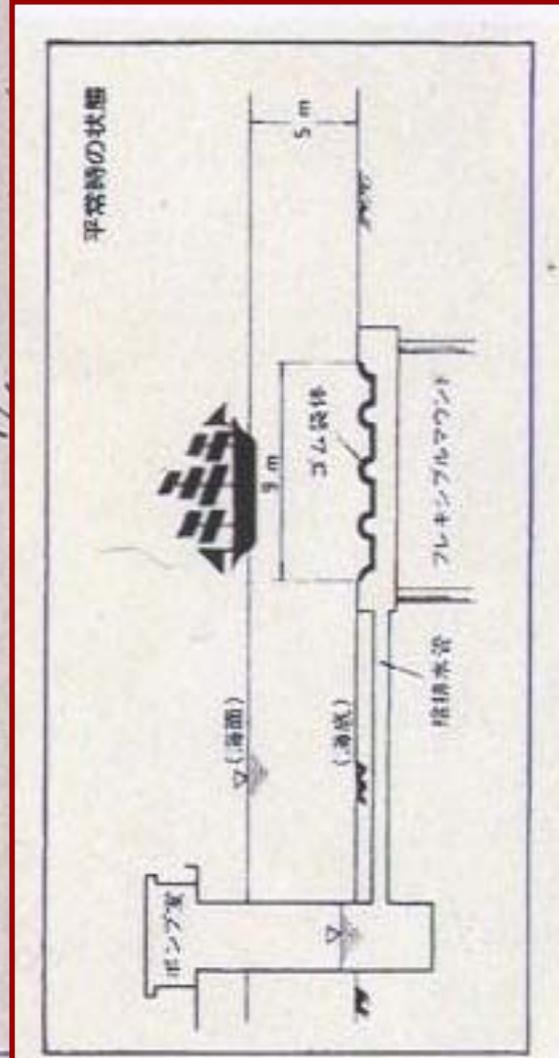
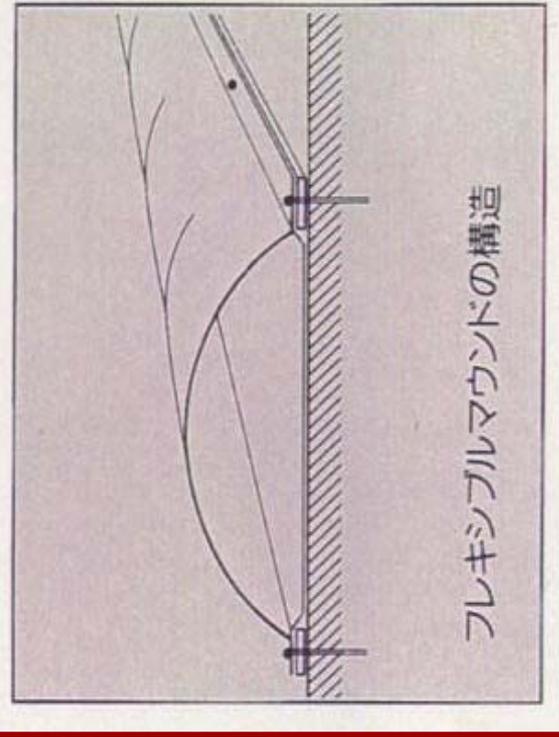
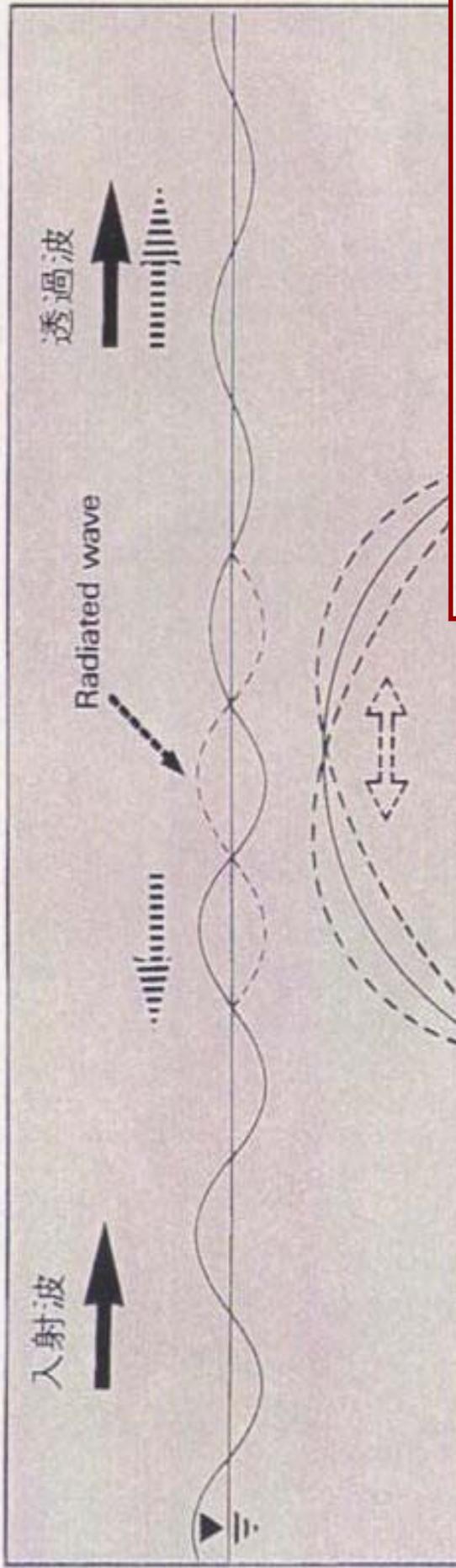
B) LE ESPERIENZE AVANZATE

2. *Nagasaki* – Planimetria prospettica con individuazione intervento



B) LE ESPERIENZE AVANZATE

2. Nagasaki – Schemi funzionali di calcolo e verifica



B) LE ESPERIENZE AVANZATE

3. Altre applicazioni



Difesa del litorale



Difesa di allevamenti ittici



Difesa imbocco porti



Difesa infrastrutture a mare

C) IL PROGETTO

Il progetto consiste in strutture:

- **sommerse**
- **gonfiabili**
- **elastiche**
- **a gestione evolutiva**

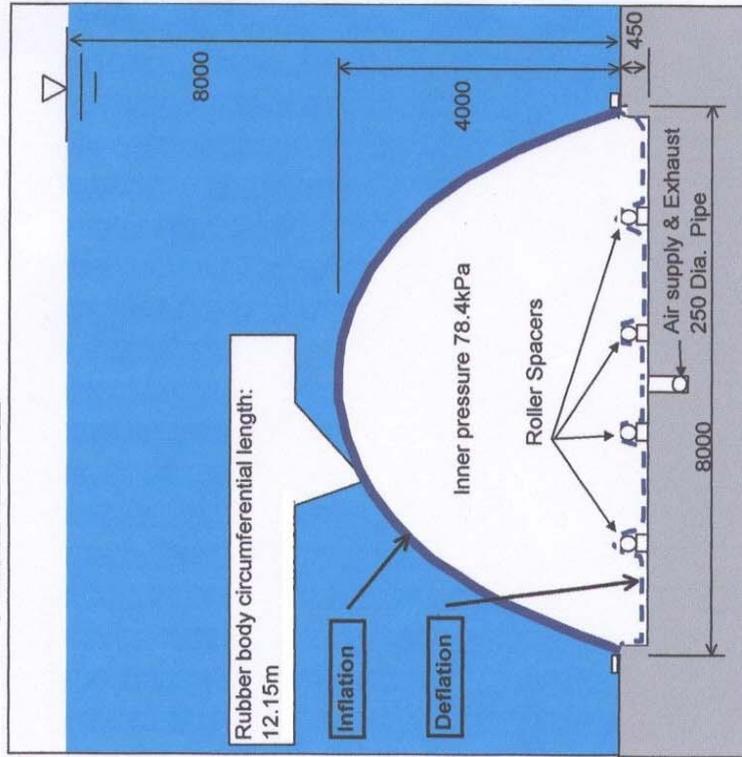
C) IL PROGETTO

**Studio modulare
teorico e
sperimentale**

C – IL PROGETTO

Lo studio – Dimensionamento – Schema gonfiaggio ad aria

AIR filled type draft design



(Note)

Any wave and current condition has not been considered.

Inflation

Inner air volume: $V_2 = 3316 \text{ m}^3$

$$V_2 = ((10330 + P_0) / 10330) \times V_1$$

$$V_1 = A \times L_0$$

A: Cross section area (26.7 m²)

L₀: Rubber dam length (70m)

The blower capacity (/span) : 45min. Inflation

Discharge: 73.7 m³/min or more

Pressure: 87.1 kPa or more

(EX) BSW250DS x 196kw moter (ANLEET CO., LTD)

77.2 m³/min x 90kPa

Deflation

Deflation time depends on the water level and pressure loss of pipeline. It can be estimated by the formula below.

$$W = \sqrt{\frac{2 \times Pa \times g}{\rho_1 \left[1 + \lambda(L_2/d) + \Sigma\zeta \right]}} = 24.7 \text{ m/sec}$$

W: Average velocity of exhausting air (m/sec)

d: Diameter of pipe (0.25m)

ρ₁: Unit weight of exhaust air (1.3 kg/m³)

Pa: Average inner pressure (1600 kgf/m²)
(20% of design inner pressure assumed)

P₀: Design inner pressure (8000 kgf/m²)

g: Gravity acceleration (9.8 m/sec²)

λ: Pipe friction coefficient (0.02)

L₂: Length of pipe (420m assumed)

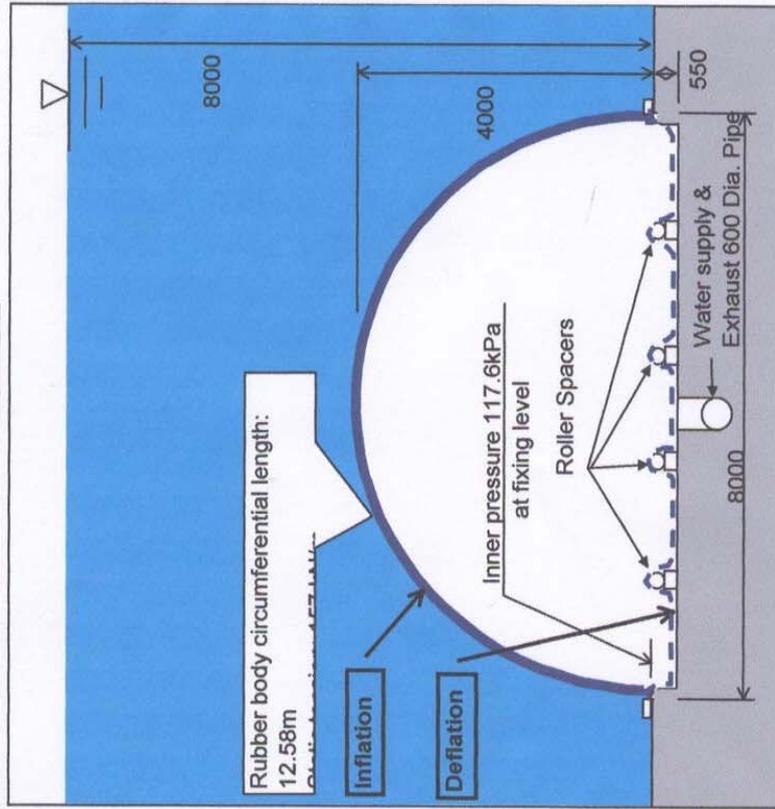
Σζ: Pipe resistance loss (4.8 assumed)

$$\text{(Deflation time)} = \frac{V_2}{W \times \pi/4 \times d^2} \times 60 = 11.4 \text{ min}$$

C - IL PROGETTO

Lo studio - Dimensionamento - Schema gonfiaggio ad acqua

WATER filled type draft design



(Note)

Any wave and current condition has not been considered.

Inflation

Inneral water volume:

$$V = 2065,0 \text{ m}^3$$

The pump capacity: 45min. Inflation

Discharge: 45.9m³/min or more

Pressure: 117.6kPa or more

(EX) 700X600CENM □ □ 150kW Motor □ □ E
50.0m³/min x 13m (solt water hee

Deflation time calculation

Deflation time depends on the water level and pressure loss of pipeline. It can be estimated by the formula below.

$$W = \sqrt{\frac{2 \times g \times \Delta H}{1 + \lambda(L_2/d) + \Sigma\zeta}} = 2,3 \text{ m/sec}$$

W: Average velocity of exhausting air (m/sec)

d: Diameter of pipe (0.5m)

ΔH: Water head difference (8m)

g: Gravity acceleration (9.8m/sec²)

λ: Pipe friction coefficient

$$\lambda = \frac{124,6 \times n^2}{d^{1/3}} \text{ (Manning's formula)} = 0,027$$

n: coefficient of roughness (=0.013 assumed)

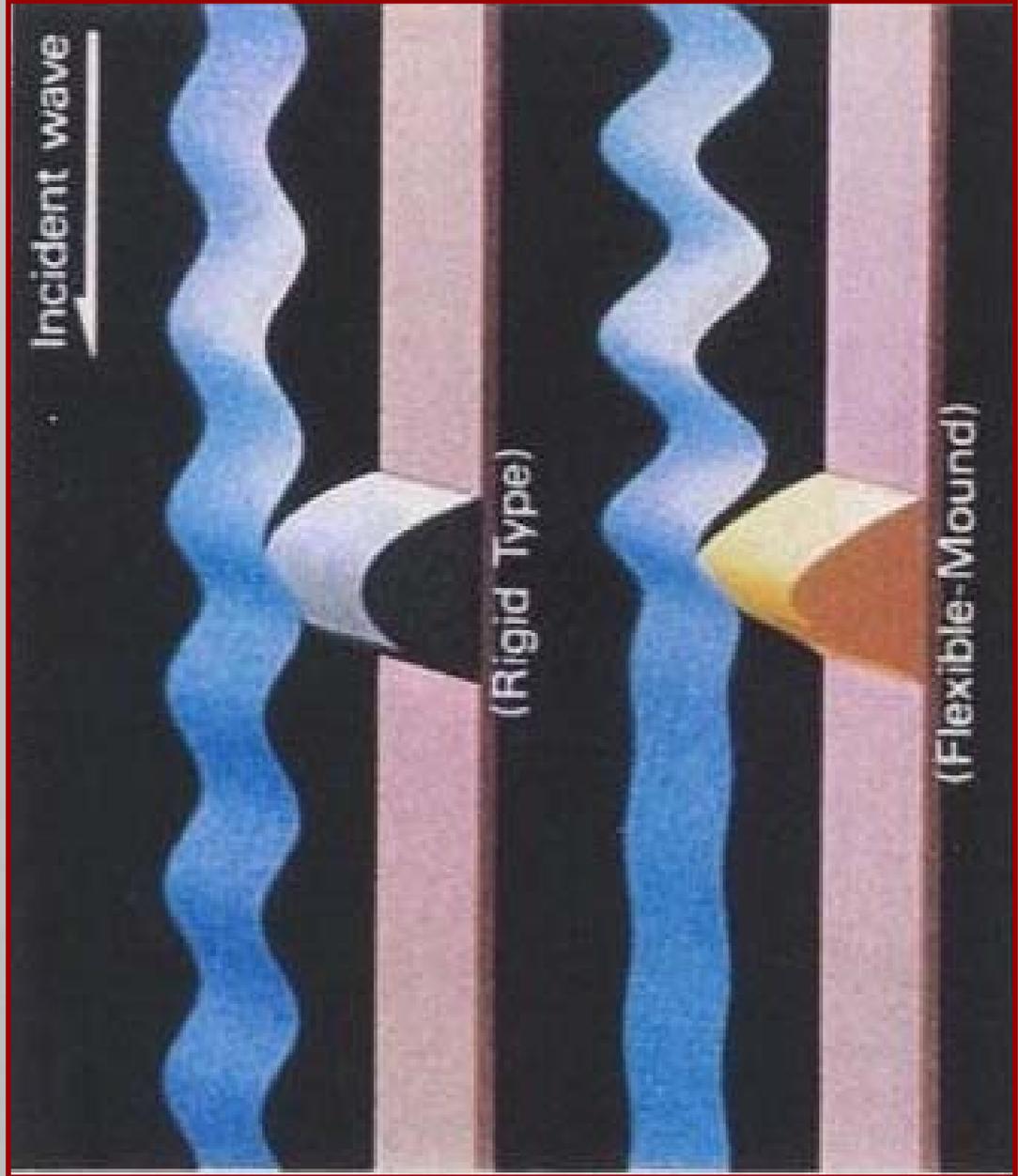
L₂: Length of pipe (420m assumed)

Σζ: Pipe resistance loss (4.8 assumed)

$$\text{(Deflation time)} = \frac{V}{W \times \pi/4 \times d^2 \times 60} = 75 \text{ min}$$

C – IL PROGETTO

Lo studio – *Elasticità* – *Modello digitale*



C - IL PROGETTO

Lo studio - *Elasticità* - Calcolo agli elementi finiti

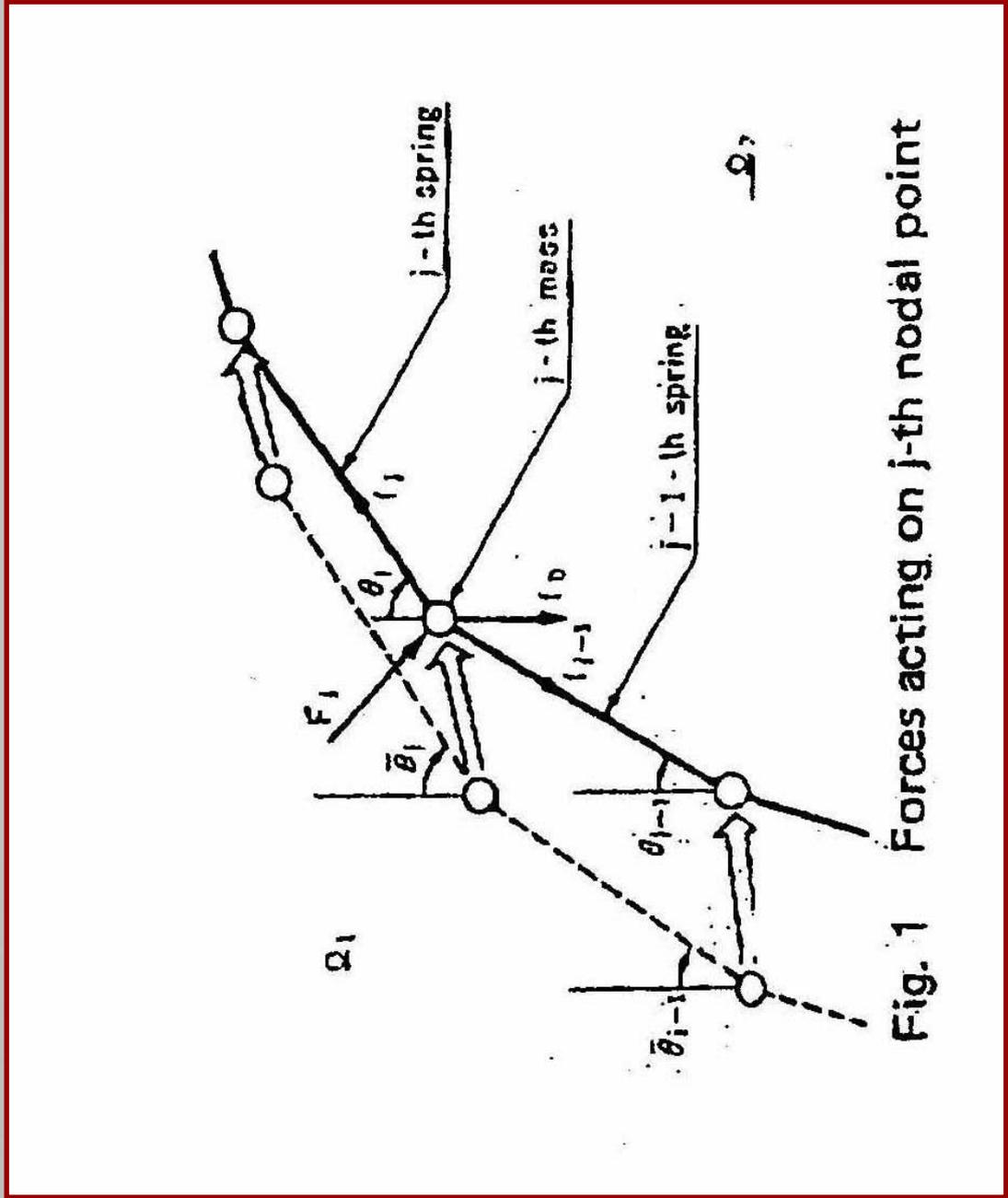
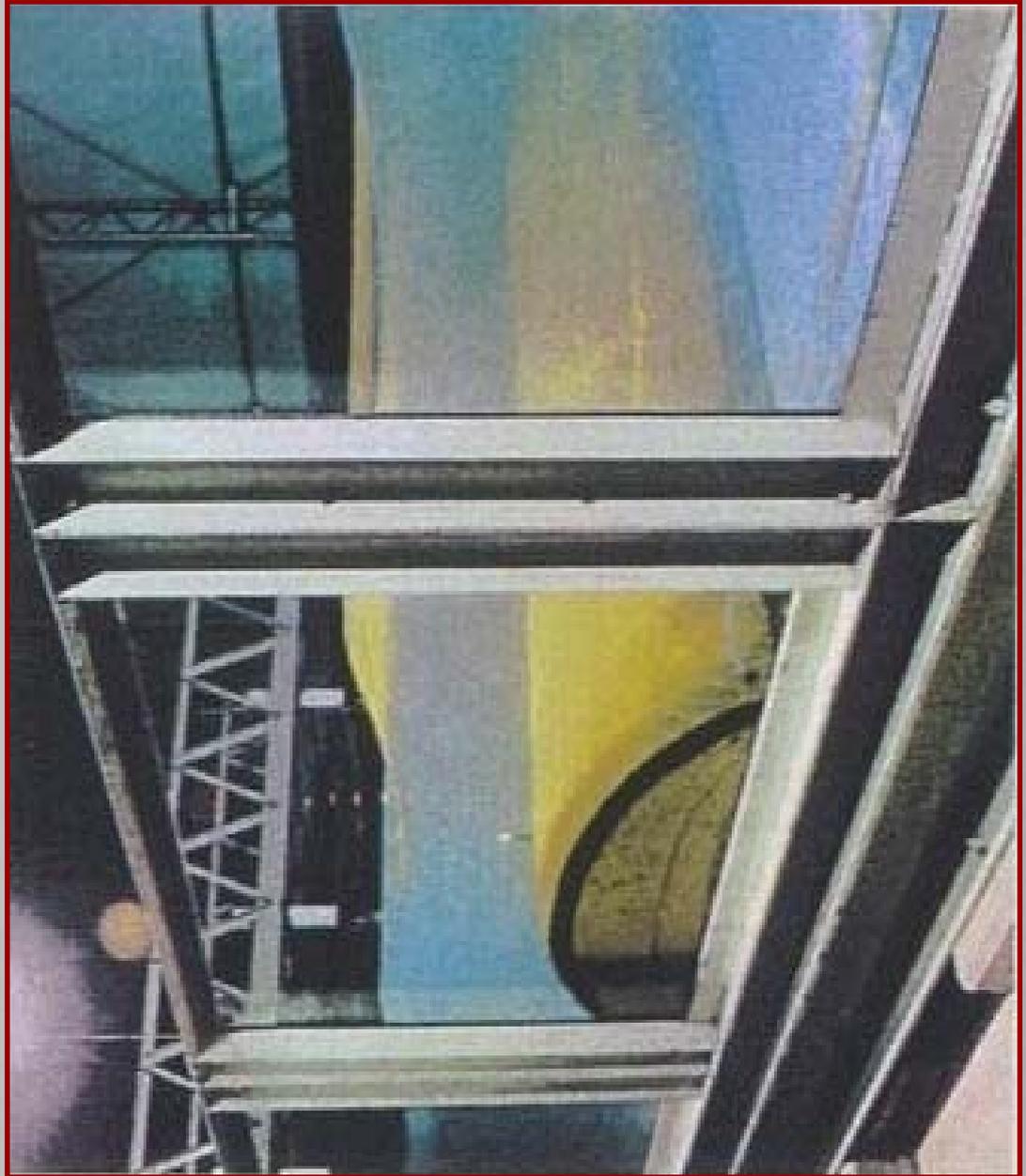


Fig. 1 Forces acting on j -th nodal point

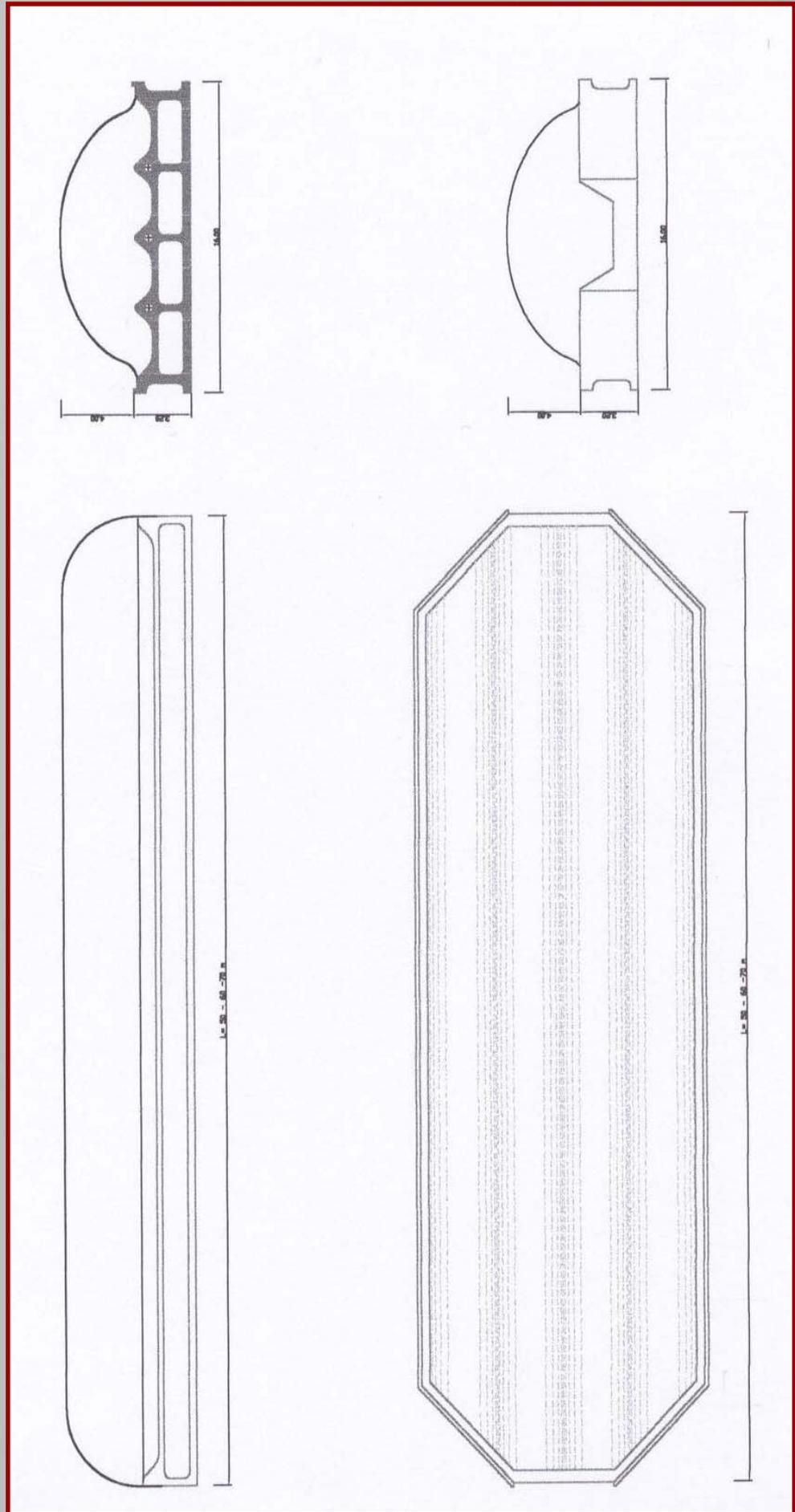
C – IL PROGETTO

Lo studio – Prova in vasca



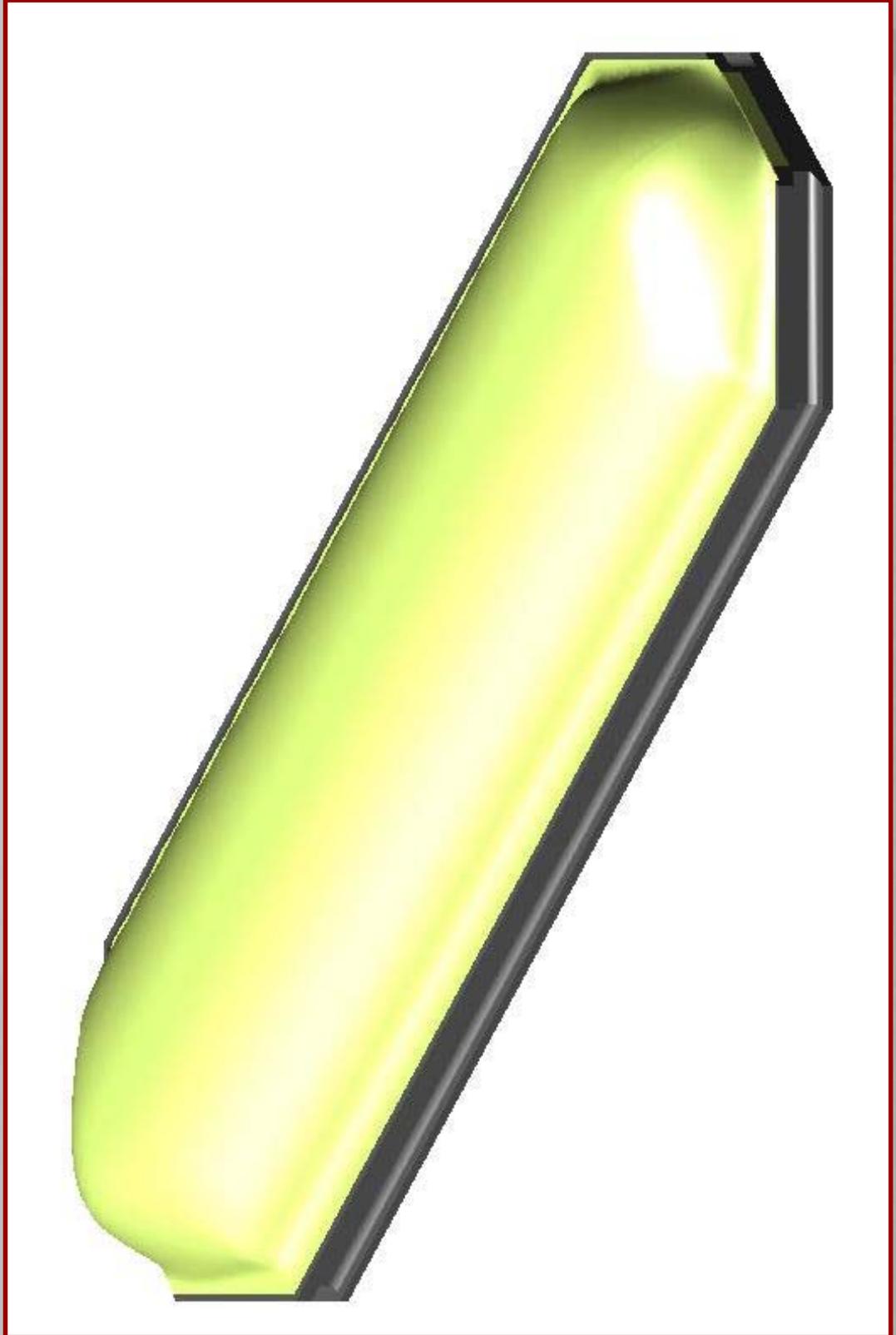
C - IL PROGETTO

La realizzazione - Il modulo



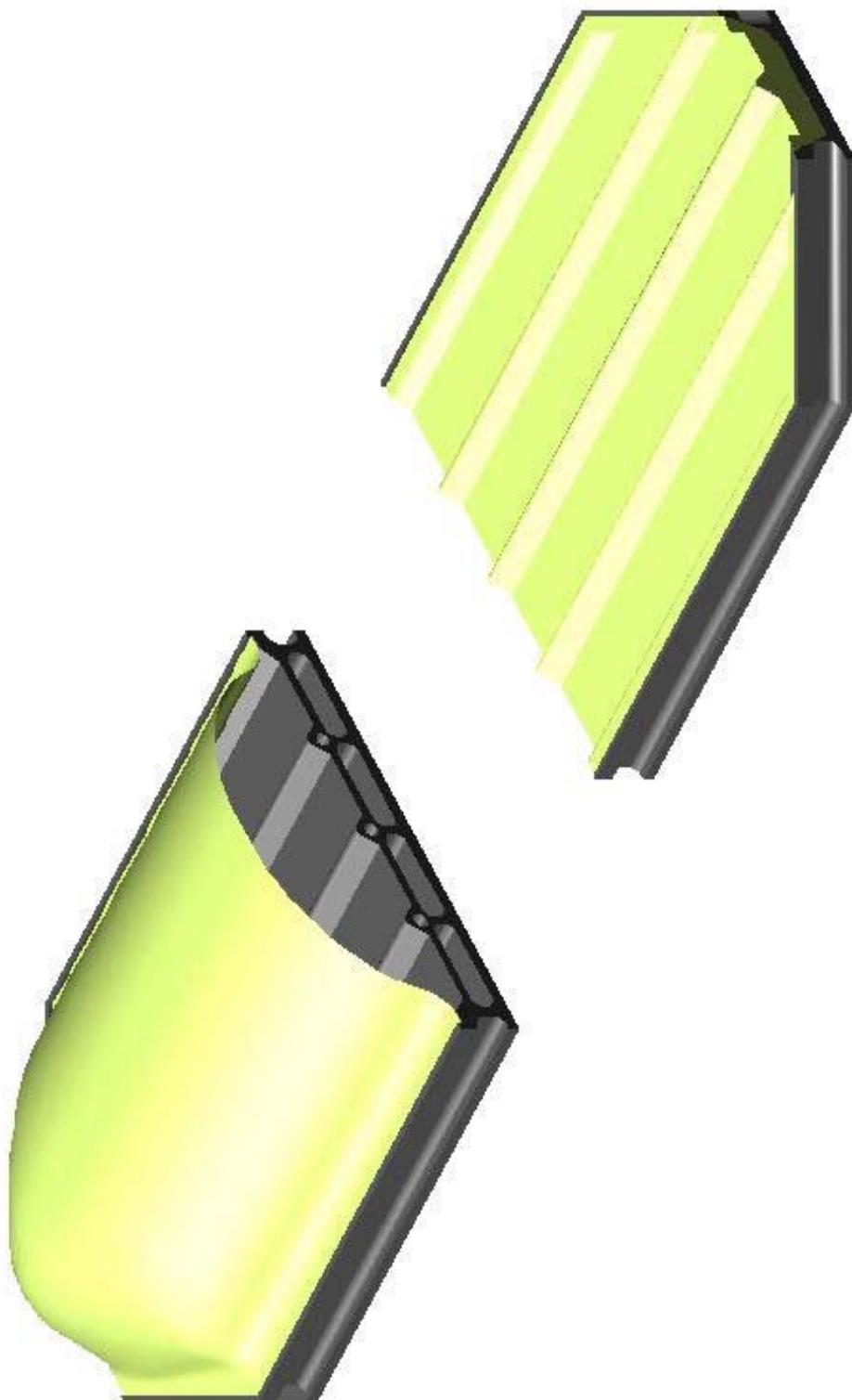
C – IL PROGETTO

La realizzazione – Il modulo – Vista assonometrica



C – IL PROGETTO

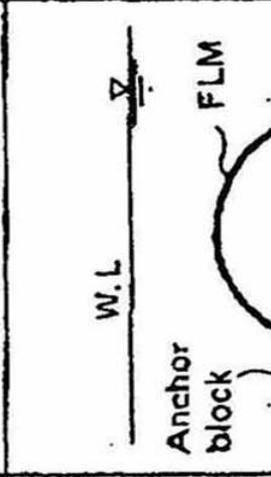
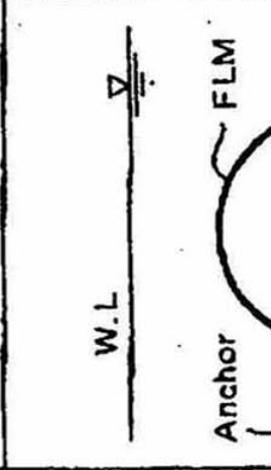
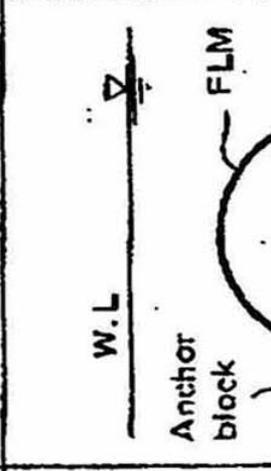
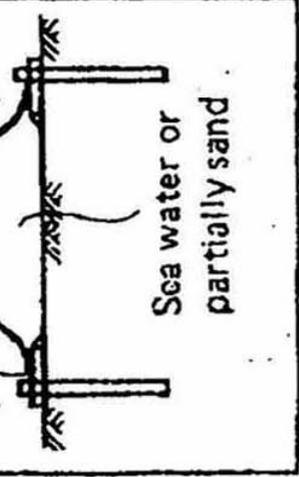
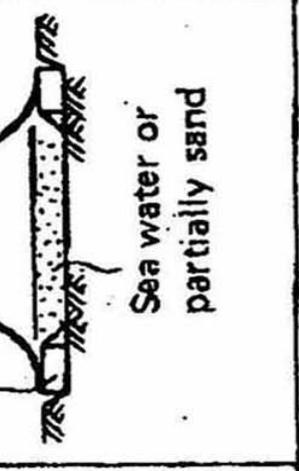
La realizzazione – Il modulo - Spaccato



C – IL PROGETTO

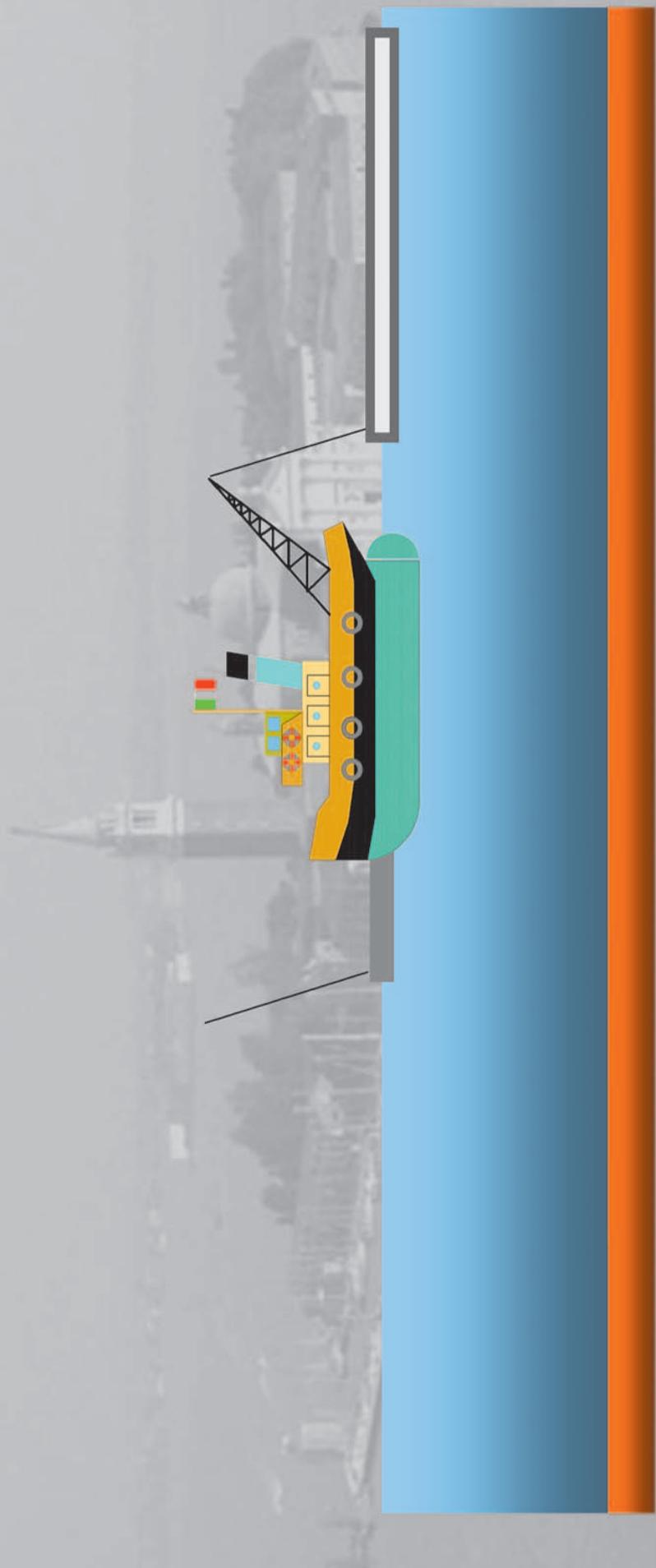
La realizzazione – L'ancoraggio

Fig. 10 Examples of FLM structure types

Case of severe wave conditions	Case of relatively mild wave conditions	Cases of mild wave conditions or temporary structure
<p>① Pile foundation type</p> 	<p>② Anchor type</p> 	<p>③ Gravity type (I)</p> 
<p>④ Gravity type (II)</p> 	<p>④ Gravity type (II)</p> 	<p>④ Gravity type (II)</p> 

C – IL PROGETTO

La realizzazione – Posa in opera

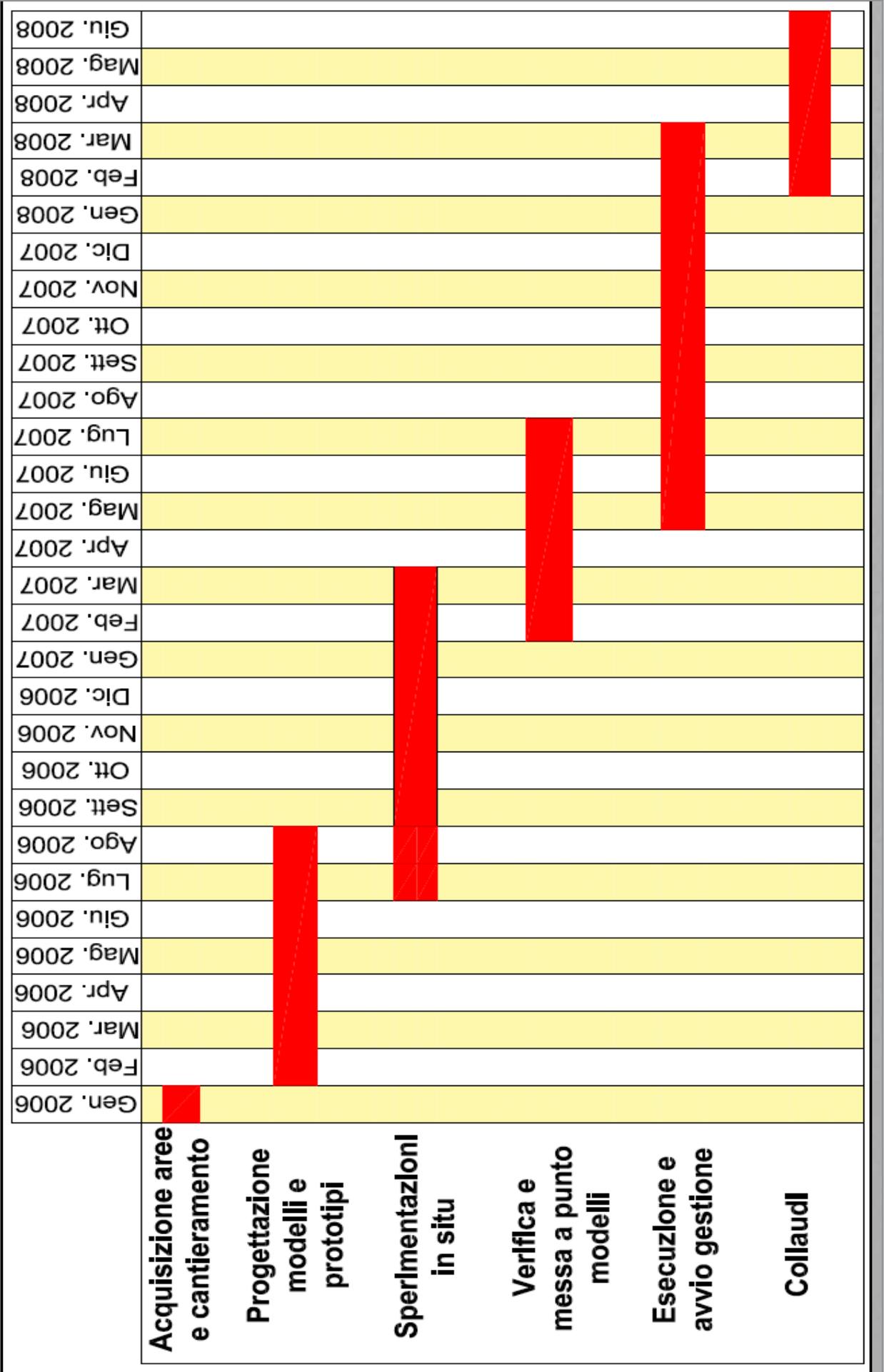


C – IL PROGETTO

La gestione – Regolazione continua

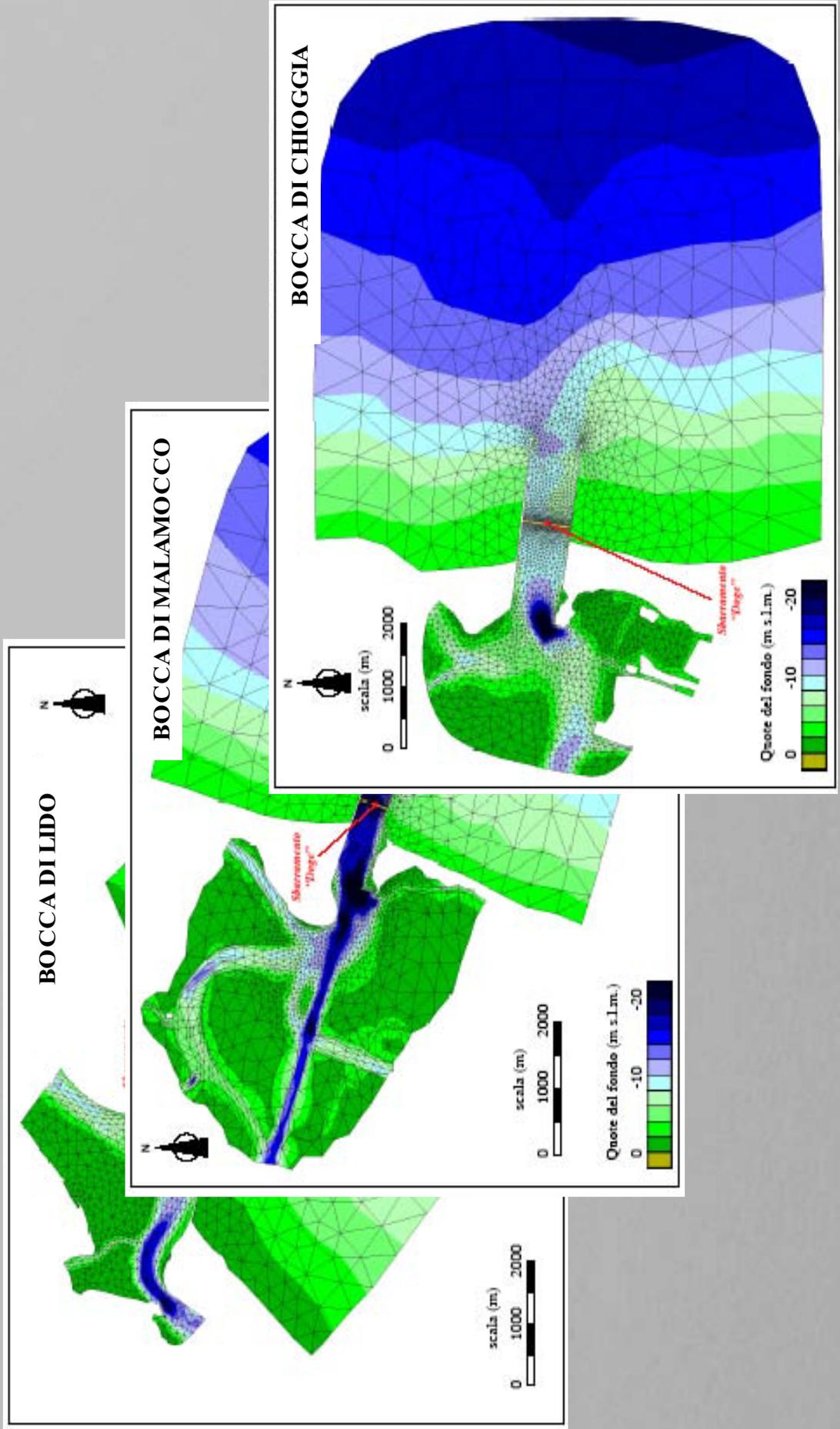


C – IL PROGETTO - Tempistica



D - I RISULTATI

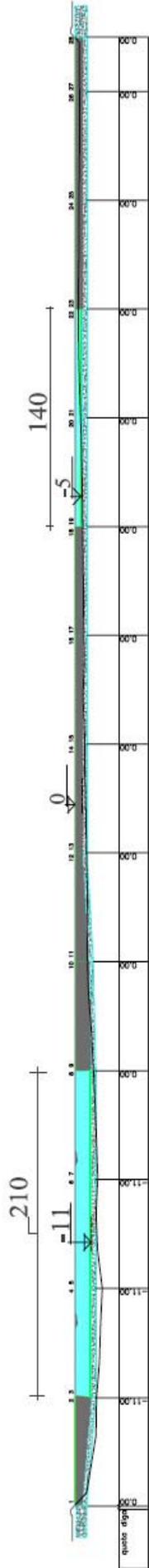
Reticolo di calcolo del modello bidimensionale ad elementi finiti



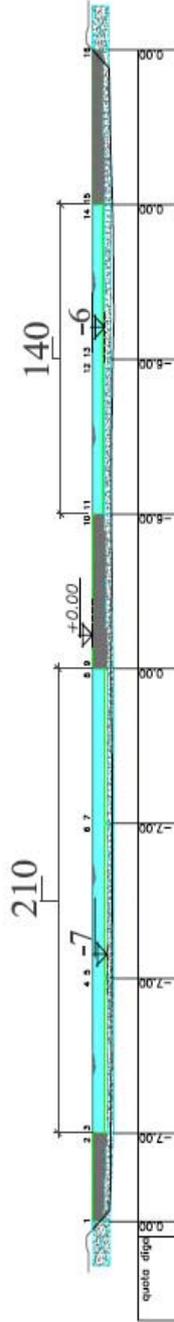
D - I RISULTATI

Configurazione DOGE 01

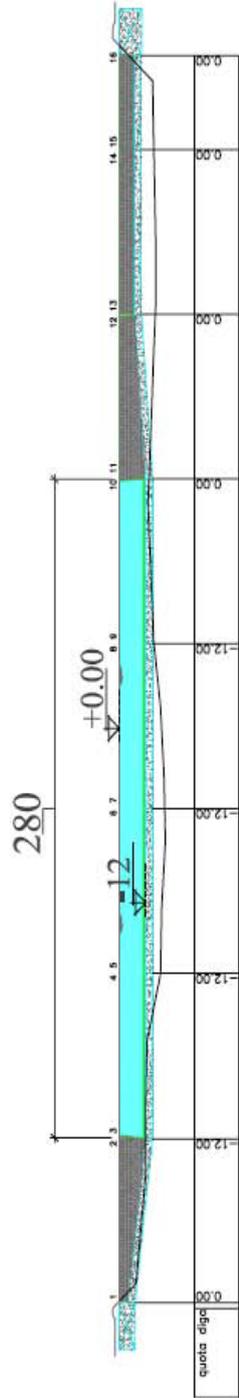
INTERVENTI BOCCA DI LIDO - PROFILO DIGA



INTERVENTI BOCCA DI CHIOGGIA - PROFILO DIGA



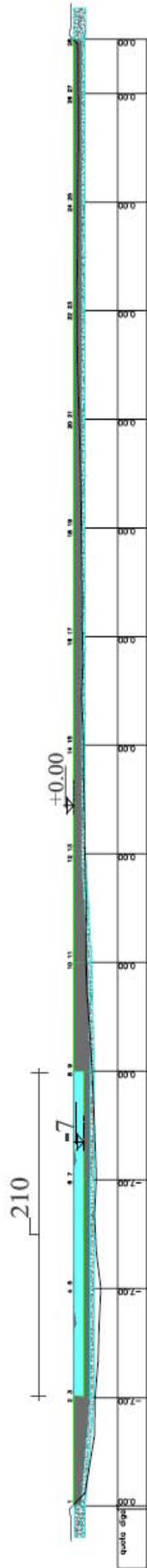
INTERVENTI BOCCA DI MALAMOCCO - PROFILO DIGA



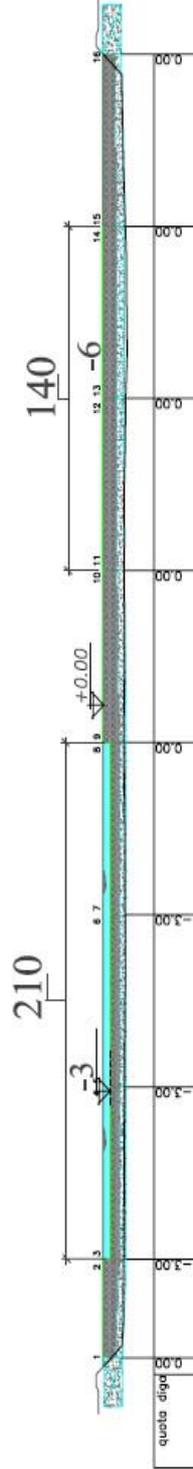
D - I RISULTATI

Configurazione DOGE 02

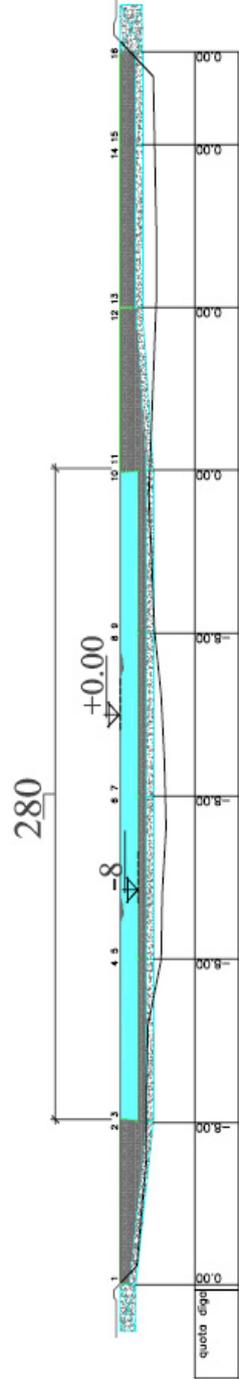
INTERVENTI BOCCA DI LIDO - PROFILO DIGA



INTERVENTI BOCCA DI CHIOGGIA - PROFILO DIGA



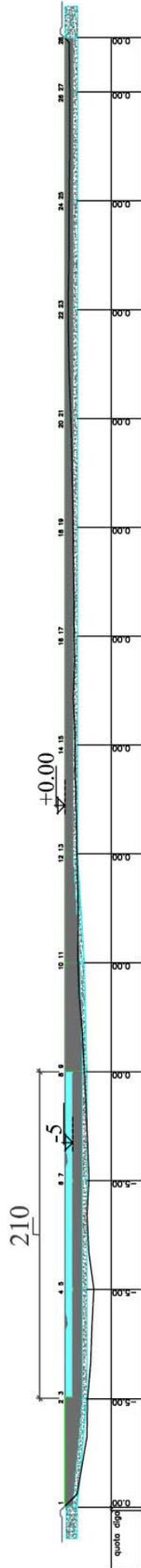
INTERVENTI BOCCA DI MALAMOCCO - PROFILO DIGA



D - I RISULTATI

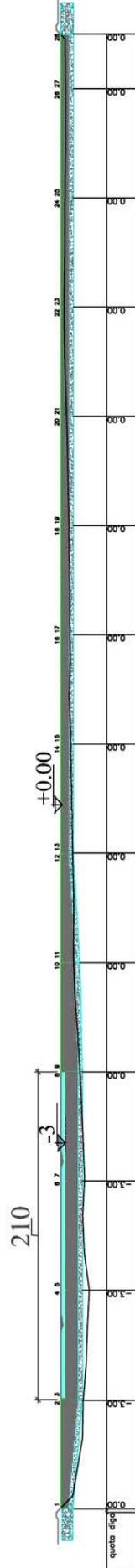
Configurazione DOGE 03

INTERVENTI BOCCA DI LIDO - PROFILO DIGA



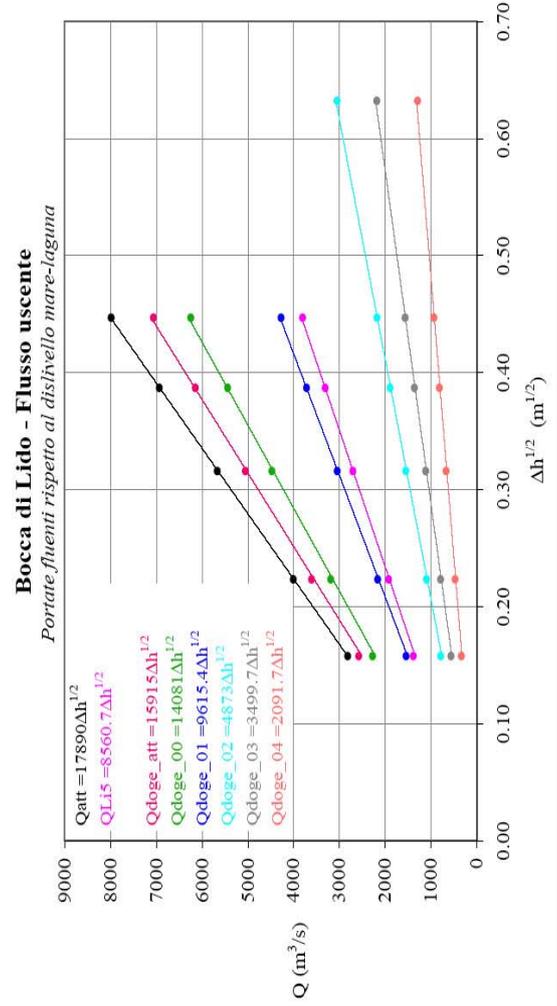
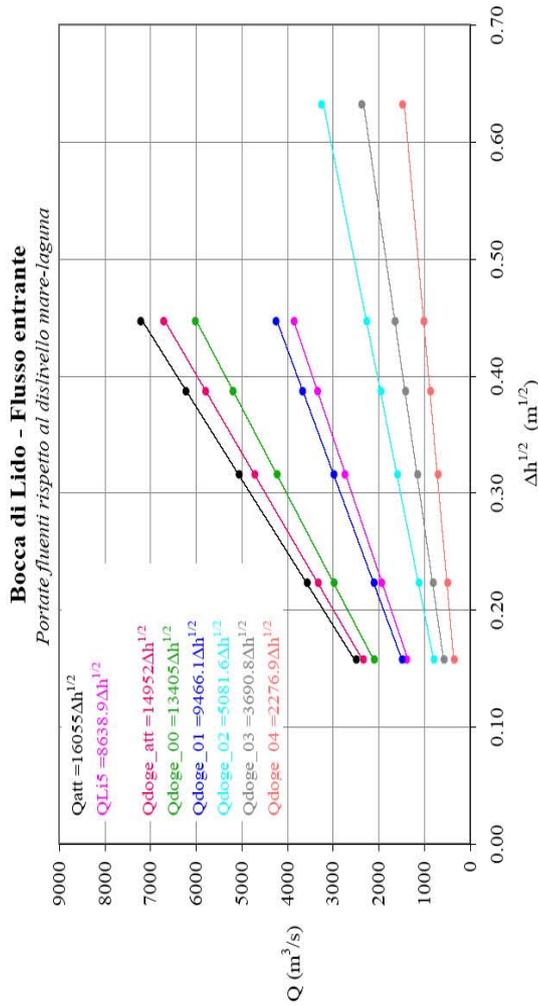
Configurazione DOGE 04

INTERVENTI BOCCA DI LIDO - PROFILO DIGA



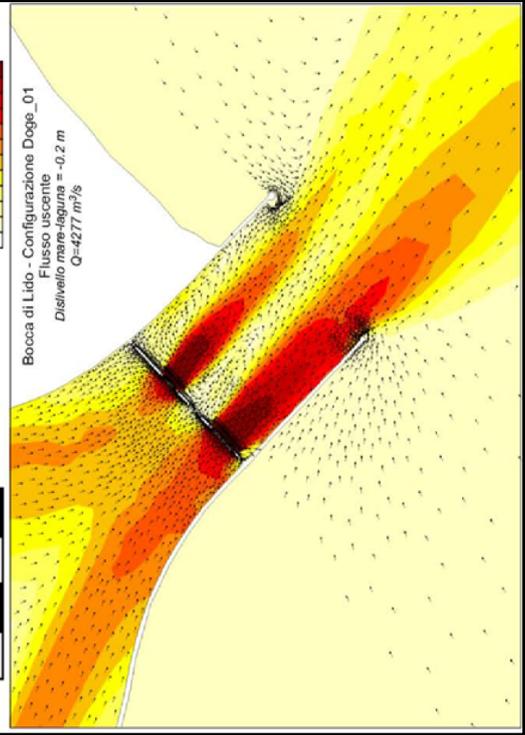
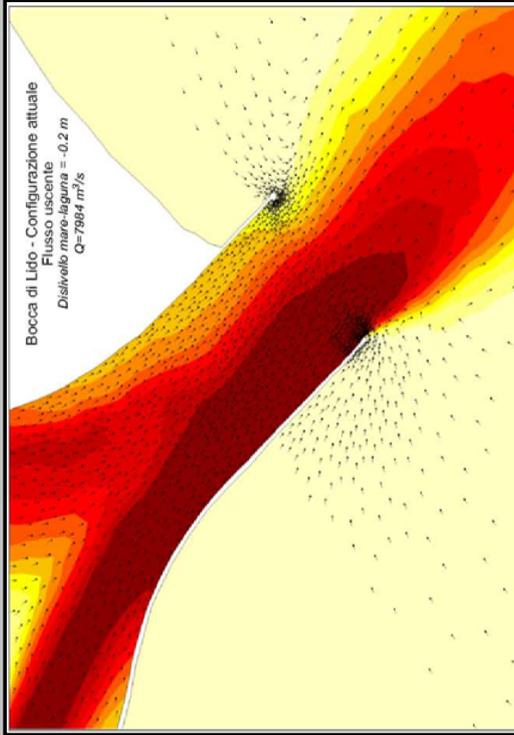
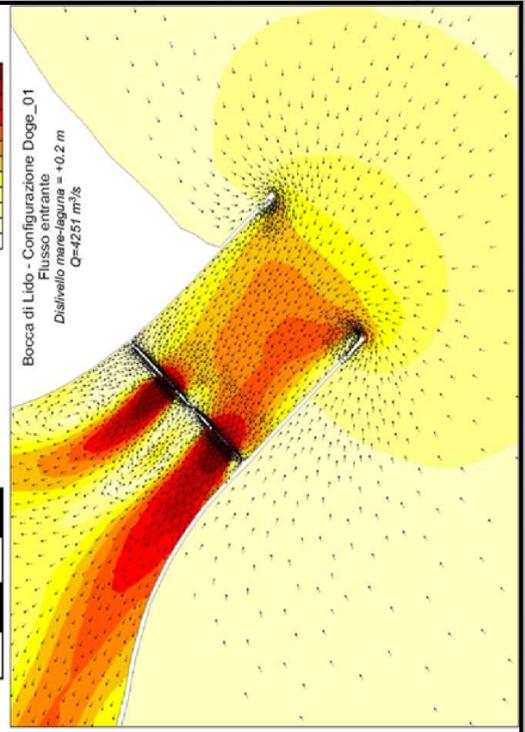
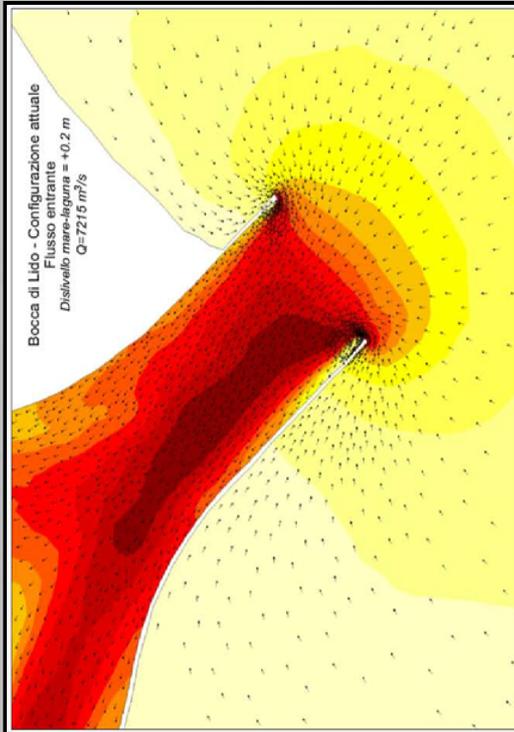
D - I RISULTATI

Regolazione progressiva dei flussi di bocca



D - I RISULTATI

Campo delle velocità



D – I RISULTATI

Riduzione dei colmi di marea:

- Configurazione DOGE 01 = 10 cm
- Configurazione DOGE 02 = 20 cm
- Configurazione DOGE 03 > 20 cm
- Configurazione DOGE 04 >> 20 cm

E – COLLABORAZIONI E REFERENZE

Collaborazioni disponibili

- Ipros Ingegneria Ambiente s.r.l. – Italia
(Società di Ingegneria)
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat – Netherland
(Ministero)
- Delta Marine Consultants bv – Netherland
(Società di Ingegneria)
- CTS of America, Inc – USA
(Società di Informatica)
- Bridgestone Corporation – Japan
(Fabbrica di teli)
- Shimizu Corporation – Japan
(Società di Ingegneria)

E - COLLABORAZIONI E REFERENZE

Referenze Calcolo agli elementi finiti

2. Numerical Analysis

In this analysis, the membrane was equally discretized into small elements and modeled as a lumped-mass system. Figure 1 shows the force acting on the j -th nodal point, where, F is the hydrodynamic force caused by the pressure difference between the interior and exterior of the membrane, f_j , f_{j-1} are the tensions occurring at spring elements, and f_0 is the net weight of the mass in water, respectively.

The equations of motion for the nodal point in the x and z directions may be expressed by these forces and the complex motion amplitudes (a_x) and (a_z) in the x and z directions, and by θ_j , where F_j may be expressed using the velocity potentials ϕ_1 and ϕ_2 of the exterior and interior of the membrane, while f_j and f_{j-1} may be expressed using the motion amplitudes a_x and a_z of the nodal point. On the other hand, giving kinematical conditions on the surface of the membrane and applying a two-dimensional Green's formula to the fluid regions at the exterior and interior of the membrane, simultaneous equations concerning ϕ_1 , ϕ_2 , a_x , and a_z at the membrane surface are obtained. Therefore, if made simultaneous with the previously-mentioned equations of motion, all unknowns (fluid motions and membrane deformations) may be determined. The reflection coefficient K_R and transmission coefficient K_T of waves can be obtained from potentials at the water surface sufficiently distant from the FLM. The definitions of the notations used in this study are given in Fig. 2.

3. Experiments

A two-dimensional water tank of total length 40 m, width 0.6 m, and depth 1.3 m was used in the experiments with a model and wave gauge arranged as shown in Fig. 3. The FLM model was a sac of cloth-lined rubber membrane of thickness approximately 1.5 mm, the cross-sectional shape and dimensions at the time of installation being as shown in Fig. 3. A rigid model of identical shape and dimensions as the FLM was also fabricated and comparisons were made with the wave-dissipating characteristics of FLM. The model conditions and wave conditions studied in these experiments are given in Tables 1 and 2.

4. Results of Examinations

(1) Calculation-Result

Figure 4 shows comparisons between experimental and theoretical values for the relationship of transmission coefficient K_T and reflection coefficient K_R with breaker width-wave length ratio B/L . Experimental results are larger than analytical values near the minimum of K_T and are smaller near the maximum of K_R , and in any case, it may be considered that the wave-dissipating characteristics of FLM can be estimated by this analysis method. That the analytical results become $K_T = 0.0$ and $K_R = 1.0$ at a number of periods (B/L) is because at these periods waves produced accompanying deformation of FLM (radiation waves) and waves transmitted when FLM is not deformed (the structure is rigid) are theoretically of identical amplitude and of inverse phases so that the transmitted waves are offset.

(2) Comparison of Rigid Submerged Breakwater and FLM

Figure 5 and Photo. 1 show the transmission characteristics for FLM and the rigid model. In the case of a conventional rigid submerged breakwater, waves are dissipated by breaking over the structure, so that R/H , the ratio of water depth to wave height above the crest, or R/h , the submergence ratio, which is the index of occurrence of wave breaking, or B/L which is the index of energy loss after wave breaking are important parameters governing wave-dissipating performance. Therefore, as can be seen in the figure, a better wave-dissipating effect is obtained for a rigid submerged breakwater the smaller that R/H , or R/h is and the larger that B/L is. Generally speaking, in case of a rigid submerged breakwater, hardly any wave-dissipating effect can be obtained with $R/h \geq 0.3$. On the other hand, FLM can dissipate waves without breaking so that an excellent wave-dissipating effect can be obtained even in case of high R/h and low B/L . Consequently, with FLM, a wave-dissipating effect can be obtained with a structure of small cross section compared with a conventional submerged breakwater.

E - COLLABORAZIONI E REFERENZE

Referenze

Definizione parametri idrodinamici

Table-1 Model Cases

Model	Model Height z (cm)	Case No.	Internal Pressure P_a (g/cm ²)	Crown Depth R (cm)	Water Depth h (cm)	Submergence Ratio R/h
Flexible Model A	34	1	3.3	33	67	0.5
Flexible Model B	40	2	3.3	27	67	0.4
Flexible Model C	47	3	6.7	27	67	0.4
Flexible Model D	47	4	3.3	40	80	0.5
Rigid Model E	36	5	3.3	30	67	0.3
Rigid Model F	36	6	8.0	31	80	0.4
Rigid Model G	36	7	-	6	40	0.1
Rigid Model H	36	8	-	9	45	0.2

Table-2 Wave Conditions

No.	Water Depth h (cm)	Wave Height H_s (cm)	Wave Period T (sec)	Wavelength Ratio H/L
1	40	5	2.79-1.03	0.3-1.05
2	45	4	2.65-1.01	0.3-1.05
3	45	8	2.65-1.01	0.3-1.05
4	67	4	3.26-0.93	0.2-1.2
5	80	4	3.03-0.93	0.2-1.2

E - COLLABORAZIONI E REFERENZE

Determinazione coefficiente di assorbimento energia

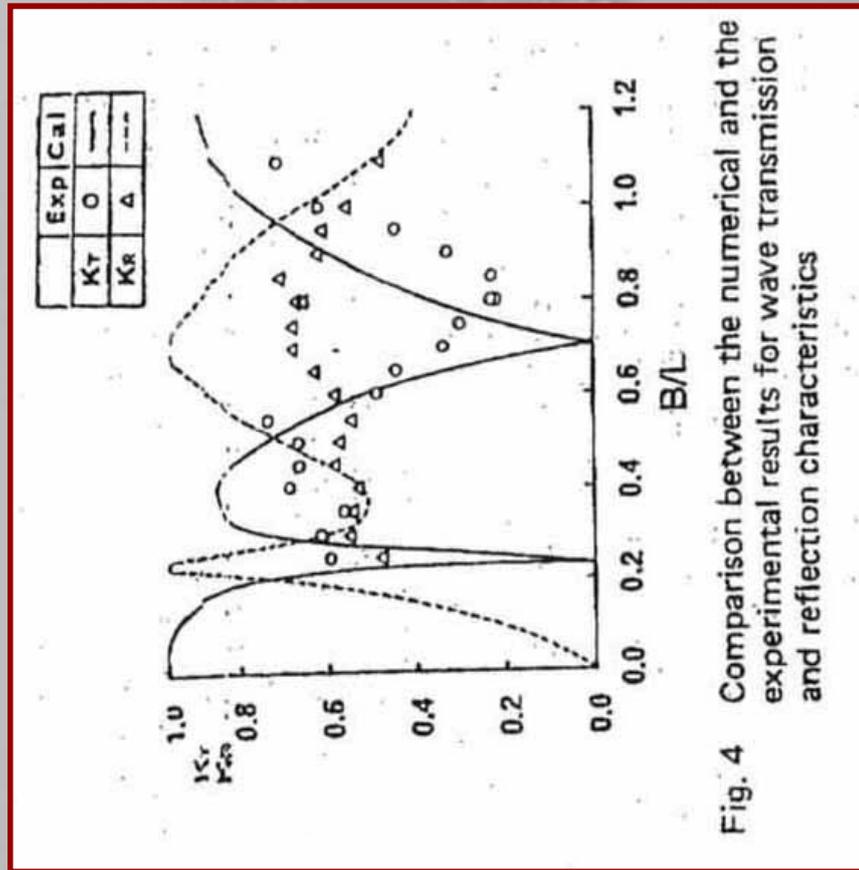


Fig. 4 Comparison between the numerical and the experimental results for wave transmission and reflection characteristics

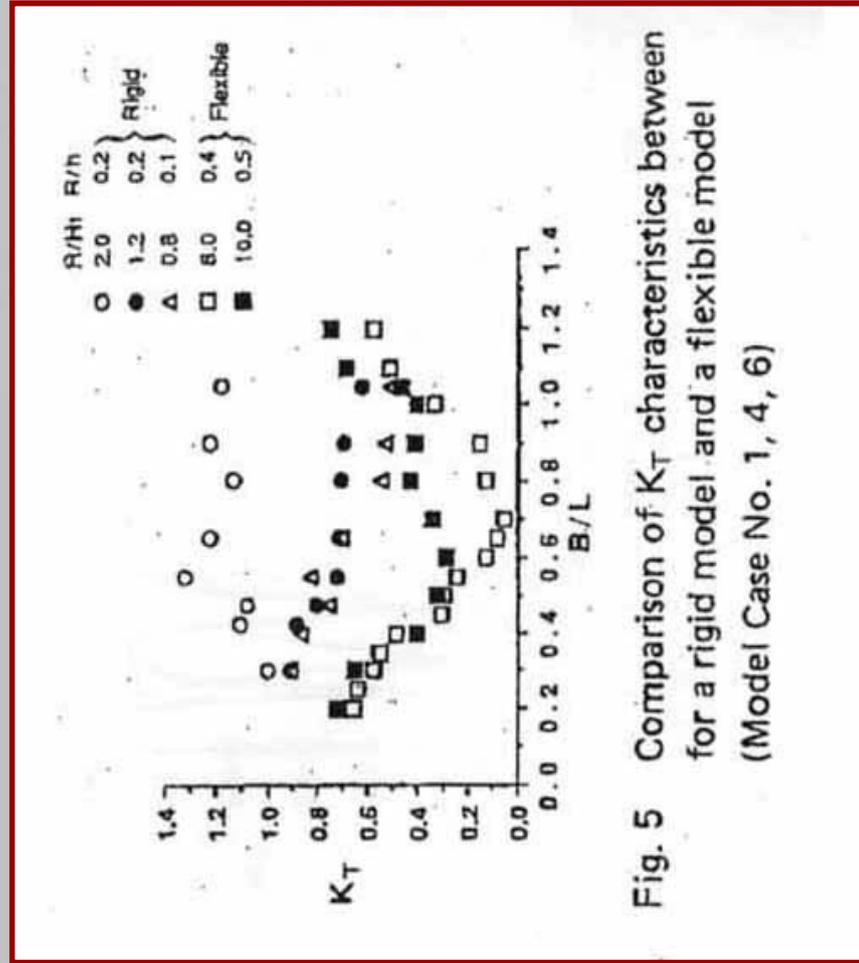


Fig. 5 Comparison of K_T characteristics between for a rigid model and a flexible model (Model Case No. 1, 4, 6)