IL PROGETTO DI MASSIMA
Le soluzioni esaminate
Valutazioni generali

In un sistema mare-laguna, con connessioni di tipo essenzialmente resistivo, l'attenuazione di onde di lungo periodo, come le maree, dipende dalle caratteristiche dell'onda (in particolare dalla sua più o meno accentuata periodicità) ed è funzione di vari fattori che caratterizzano il sistema in esame: in particolare la superficie del bacino, l'area delle sezioni dei canali di comunicazione mare-laguna e la resistenza offerta dagli stessi canali.
A parte l'influenza della superficie lagunare trattata a parte gli altri elementi sui quali si potrebbe agire per ottenere un'attenuazione in laguna delle onde quasi periodiche di marea sono soltanto i canali che costituiscono le **bocche di Lido, Malamocco e Chioggia**. È possibile progettare interventi per:
– ridurre l'area della sezione dei canali per tutta o quasi tutta la loro lunghezza;
– aumentare le perdite distribuite lungo tutta la loro lunghezza incrementandone artificialmente la scabrezza;
– introdurre perdite localizzate con parziali sbarramenti dei canali.
L'intervento complessivo può anche essere frutto di una combinazione delle operazioni predette.

Restringimento di sezione per tutta la lunghezza dei porti-canali

Per raggiungere questo scopo occorrerebbe costruire, in ogni bocca, un nuovo molo parallelo ad uno dei moli guardiani esistenti: in modo da formare un canale di larghezza ridotta dal 70% all'80% rispetto a quella attuale. In corrispondenza della laguna il nuovo canale deve essere chiudibile con sbarramenti mobili, mentre la parte restante dell'attuale porto-canale potrebbe essere chiusa a mare con sbarramenti fissi in modo da costituire un bacino interno.
La chiusura con barriere mobili anche di quest'ultima parte aggraverebbe eccessivamente l'onere dell'impianto, sia in costruzione, sia in esercizio, senza una congrua giustificazione di utilità.
Il vantaggio dell'intervento riduttivo della sezione dei porti-canali è quello di mantenere, a parità di condizioni, velocità moderate. In sostanza si potrebbero ottenere con questo intervento attenuazioni apprezzabili in laguna, fino al 25% delle escursioni in mare di livello max + 1.30 m, senza superare velocità di 2.20-2.30 m/s.
Gli inconvenienti del sistema sono tuttavia:
– riduzione degli scambi d'acqua mare-laguna con le maree medio-basse;
– rischio di erosione e di lisciamento dei fondali con le maree medio-alte, data l'onerosità e la difficoltà di stabilizzare artificialmente l'intera superficie di fondo dei tre porti-canali;
– canalizzazione del moto ondoso, in caso di mareggiate, lungo i nuovi canali di forma cilindrica; l'attenuazione delle onde è modesta e per evitarne l'impatto contro la barriera mobile in posizione di chiusura occorrerebbe una notevole protezione sull'imbocco a mare con la costruzione di dighe frangiflutti opportunamente orientate.
Anche per quanto si riferisce al primo inconveniente il rimedio, che potrebbe consistere nel prevedere l'apertura con paratoie mobili anche della restante parte del canale, risulta eccessivamente oneroso sia per il costo di impianto, sia per quello di manutenzione.

Incremento delle resistenze distribuite

Con l'immersione di grossi ostacoli sul fondo dei canali di collegamento mare-laguna si può produrre un aumento delle perdite di carico distribuite utile per attenuare le escursioni di marea in laguna. Il provvedimento potrebbe essere adottato anche in concomitanza con la riduzione della sezione dei canali.
L'intervento si ritiene tuttavia di dubbia efficacia nel tempo se l'affondamento dei blocchi viene eseguito sul fondo naturale. Infatti, a causa della mobilità del materiale incoerente che costituisce il fondo stesso, appare improbabile che i massi artificiali conservino a lungo l'effetto di scabrezze sporgenti ed irregolari. D'altra parte il rivestimento artificiale completo di tutto il fondo dei canali sarebbe un'operazione troppo onerosa, considerato anche che fenomeni di trasporto solido e di deposito di sabbie e limi potrebbero continuare a verificarsi sul fondo artificiale attenuandone notevolmente la scabrezza iniziale.

Sbarramenti trasversali dei porti-canali

La costruzione di uno sbarramento fisso in ogni bocca con un varco di navigazione controllato da una barriera mobile è il sistema di intervento tecnico di difesa contro le maree che presenta, rispetto ai precedenti, i vantaggi:
- di una maggiore semplicità, flessibilità ed affidabilità;
- di richiedere opere fisse e mobili di minore sviluppo;
- di consentire la localizzazione delle protezioni antierosive del fondo in zone di estensione limitata dove è prevedibile la formazione di grandi vortici.

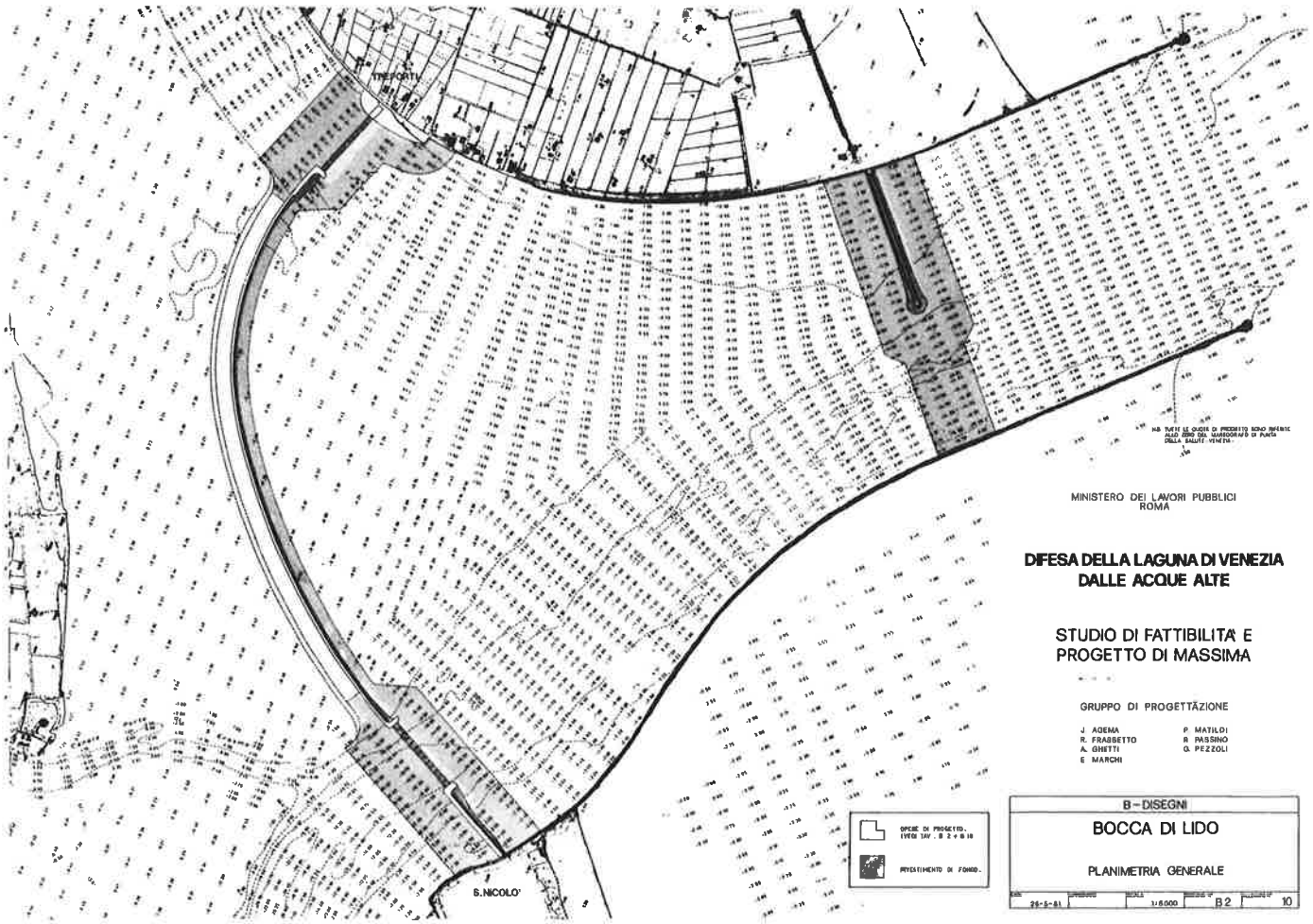
L'inconveniente di questa soluzione sta nel fatto che i restringimenti necessari per una attenuazione della marea in laguna ridurrebbero eccessivamente gli scambi volumetrici imponendo per contro velocità troppo alte sia per la navigazione, sia per gli effetti erosivi sul fondo.
Per attenuare gli inconvenienti si può ricorrere a più sbarramenti in serie. Sovrapponendo gli effetti di resistenze localizzate si limitano le velocità massime entro i varchi, ma le riduzioni di marea conseguibili in laguna restano generalmente modeste.

La soluzione proposta
Considerazioni generali

La soluzione più conveniente per la salvaguardia della laguna di Venezia risulta quella rappresentata da una serie di **almeno due sbarramenti fissi trasversali,** in ogni bocca, **interrotti da varchi di navigazione,** il più interno dei quali dotato di una **barriera mobile e sommergibile.**
Questo tipo di intervento presenta i seguenti vantaggi generali:
a) gli sbarramenti fissi possono essere sperimentati prima del montaggio delle barriere mobili, confrontando gli effetti con le previsioni di progetto, e avendo la possibilità di modificare eventualmente l'ampiezza delle aperture senza sostanziali variazioni di spesa;
b) la posizione degli sbarramenti può essere localizzata in posizione favorevole per l'accesso ed il collegamento a terra delle stazioni di comando e di controllo delle barriere mobili;
c) il modesto sviluppo longitudinale dei varchi e degli sbarramenti consente di proteggere il fondo nelle posizioni di prevedibile formazione di vortici e intorno alle stesse opere in modo da assicurarne la stabilità;
d) i varchi di navigazione a chiusura controllata si possono situare in posizione tale da essere raggiunti dalle mareggiate soltanto in misura molto attenuata anche senza dover ricorrere a grosse difese a mare; ciò facilita la manovra ed aumenta l'affidabilità degli organi mobili.

Bocca di Lido

Il primo restringimento del porto-canale è previsto ad una distanza di circa 1100 m dall'estremità del molo nord. La larghezza dell'apertura, di 430 m, lascia libera una sezione di circa 5000 m^2, maggiore dell'area complessiva dei successivi varchi dotati di barriere mobili. Lo sbarramento è costituito da un pennello trasversale radicato al molo nord, che lascia aperto il varco tra la sua estremità ed il molo sud. In questo modo l'apertura risulta centrata rispetto all'asse di navigazione, la contrazione della vena e la formazione di vortici è temibile solo all'estremità del pennello e la posizione del pennello stesso è tale da esercitare la protezione più efficace nei confronti delle onde di scirocco.
All'interno del bacino di Lido è previsto lo sbarramento principale.
La sua posizione, nella direzione verso S. Nicolò e S. Erasmo, è imposta dalla necessità di essere sufficientemente lontano dalla curva che porta al forte di S. Andrea, accessibile da terra e con uno specchio acqueo abbastanza ampio davanti al varco e all'eventuale conca di navigazione. La posizione verso Treporti è stata scelta in modo da creare, dal lato mare, un ampio bacino di espansione per le onde.
Per effetto dei fenomeni dissipativi e di diffrazione all'imboccatura a mare e nell'attraversamento del primo sbarramento si può ritenere che l'altezza del moto ondoso che raggiungerà lo sbarramento principale sarà ridotta a meno del 35%.
Nello sbarramento principale sono progettati **due varchi di navigazione con barriere mobili:** uno verso **S. Nicolò** (ed eventualmente verso S. Erasmo) **di sezione 260x12 m^2** ed uno verso **Treporti di sezione 230x8 m^2.**
Le profondità dei varchi sono state scelte in modo tale da lasciare un ampio cuscino d'acqua fra la chiglia dei natanti e la soglia fissa, onde evitare rischi di collisione anche in condizioni di marea molto bassa.
In vicinanza dei varchi si prevede la protezione del fondo.
Il fondo del canale di S. Nicolò, in corrispondenza del Forte di S. Andrea, presenta un affossamento che raggiunge quasi i 30 m di profondità. Per la stabilità del Forte è consigliabile procedere, con adeguata preparazione, ad un'opera di ripristino e di protezione del fondo davanti al Forte. Fin d'ora sembra opportuno comunque ridurre il flusso attraverso S. Nicolò deviando una parte della corrente di marea attraverso il canale di S. Erasmo, oggi quasi inattivo. Per questo occorre aprire un canale di comunicazione tra S. Erasmo ed il canale dei Marani che favorisca il deflusso delle acque verso Murano e la riva nord di Venezia a scapito delle portate defluenti attraverso la strettoia del Forte di S. Andrea.
A ridosso della diga di sbarramento è prevista l'escavazione di un canale con fondo a quota -4 m. per consentire la navigazione interna anche durante la chiusura dei varchi di navigazione con le barriere mobili.



MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI
ROMA

DIFESA DELLA LAGUNA DI VENEZIA DALLE ACQUE ALTE

STUDIO DI FATTIBILITA' E PROGETTO DI MASSIMA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

J. AGEMA
R. FRABBETTO
A. GHETTI
E. MARCHI
P. MATILDI
R. PASSINO
G. PEZZOLI

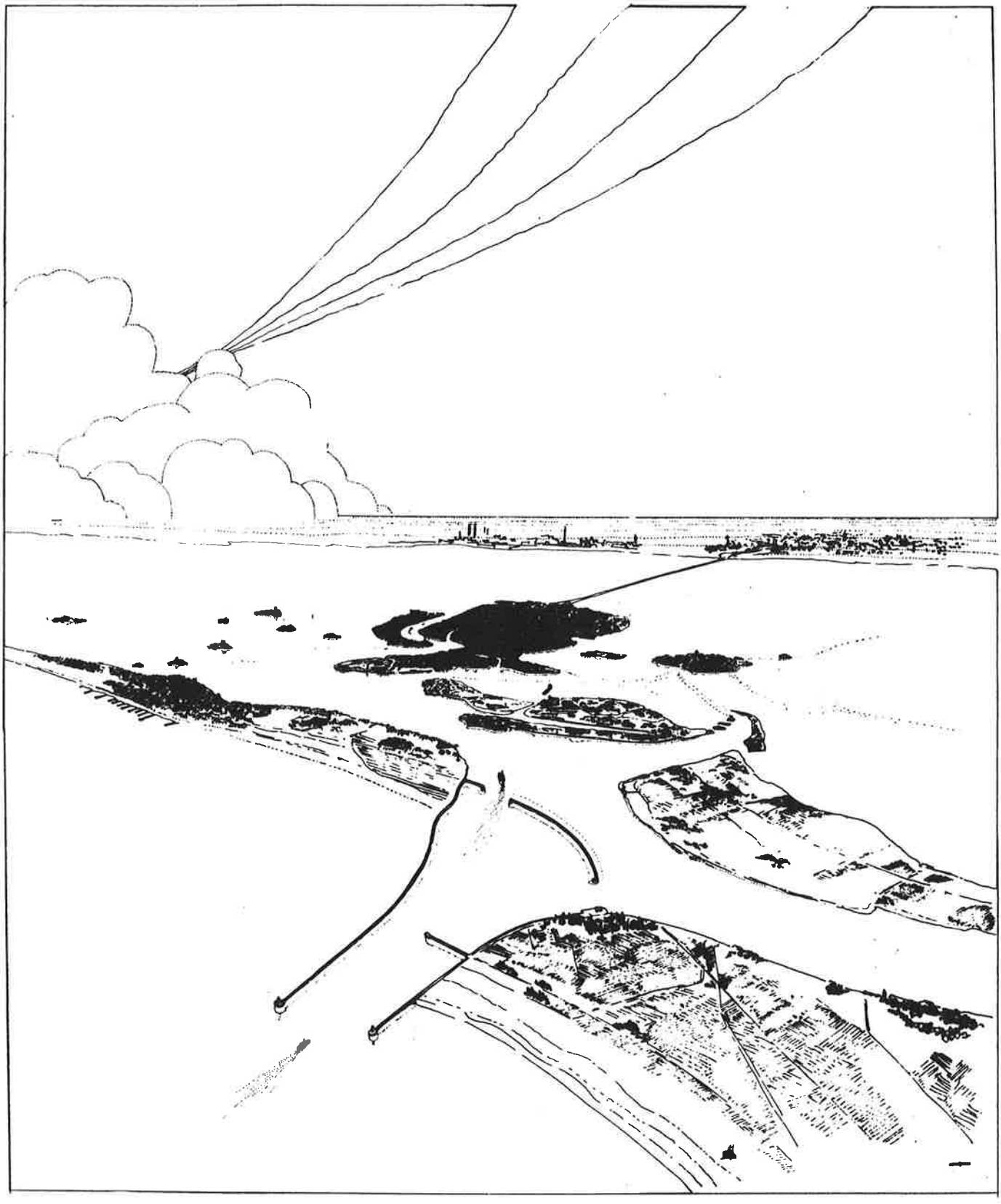
B - DISEGNI

BOCCA DI LIDO

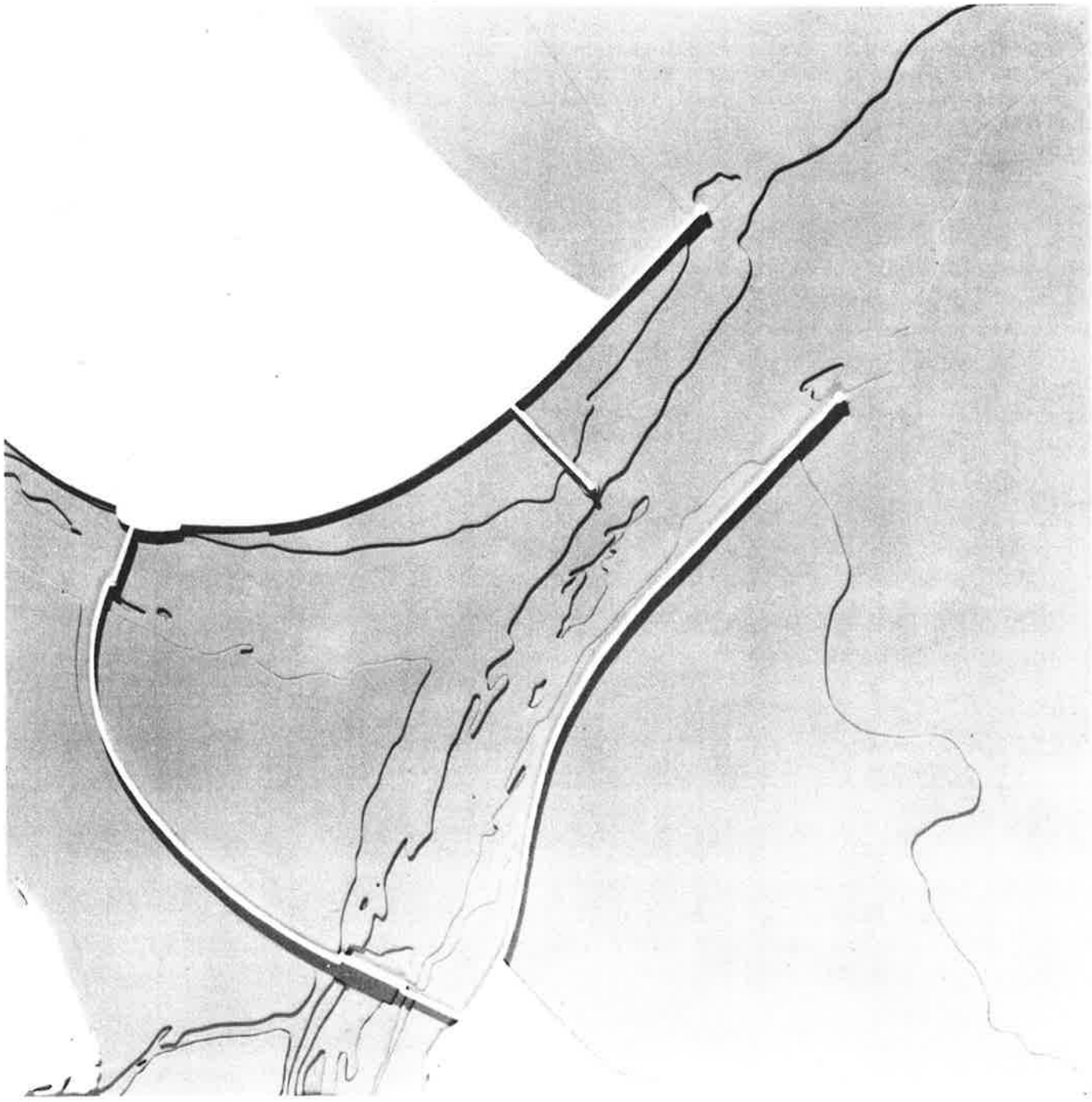
PLANIMETRIA GENERALE

26-5-81	1:5000	B2	10

bocca di Lido

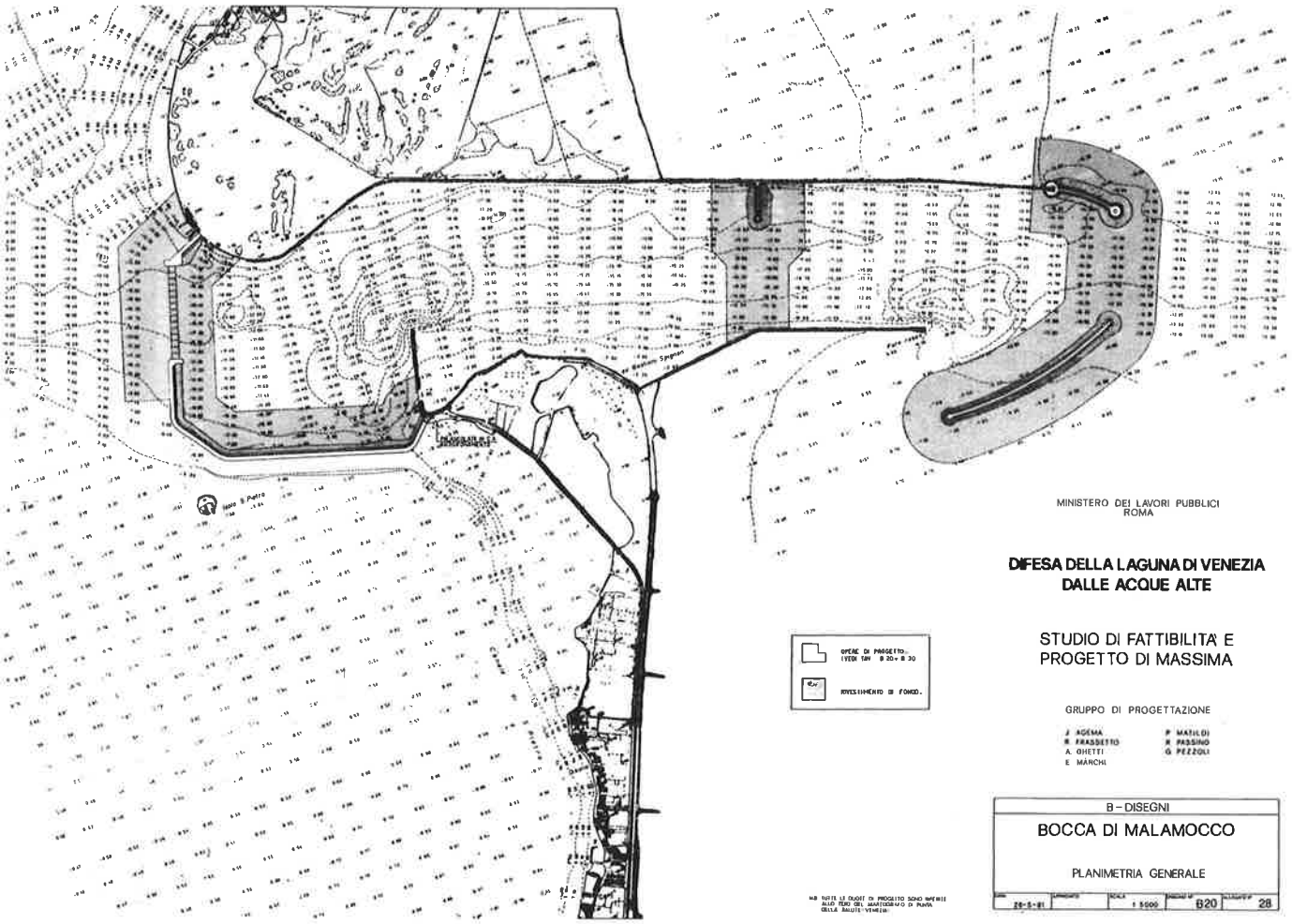


plastico bocca di Lido



Bocca di Malamocco

L'attuale canale ha una lunghezza insufficiente per un'efficace protezione dalle mareggiate di uno sbarramento lagunare. Si prevede perciò una soluzione che, arretrando lo sbarramento principale all'interno della laguna, lo fa precedere da un bacino di espansione delle onde di larghezza maggiore del canale, senza tuttavia allungare troppo il collegamento interno tra i lidi a nord e a sud della bocca.
Il varco di navigazione, aperto intorno all'attuale asse di navigazione, **ha dimensioni 300x15 m^2.**
L'imboccatura a mare viene ristretta fino a 300 m di larghezza e spostata verso l'esterno con un allungamento di circa 200 m del molo nord e la costruzione di una diga frangiflutto a sud, diga che resta separata dal corrispondente molo guardiano attraverso una larga apertura atta a convogliare una parte del flusso di marea.
Per raggiungere un valore di attenuazione fino al 50% dell'altezza del moto ondoso ed anche per ridurre, a parità di condizioni, la velocità di flusso attraverso il varco di navigazione, si prevede anche in questo caso uno sbarramento intermedio, trasversale, radicato al molo nord - e quindi orientato prevalentemente contro le mareggiate da scirocco - e che lascia un varco largo 315 m all'incirca della stessa area di quello previsto nello sbarramento principale.
È prevista l'escavazione di un canale con fondo a quota -5 m. a ridosso della diga di sbarramento per consentire la navigazione interna anche durante la chiusura dei varchi di navigazione con le barriere mobili.



MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI
ROMA

DIFESA DELLA LAGUNA DI VENEZIA
DALLE ACQUE ALTE

STUDIO DI FATTIBILITA' E
PROGETTO DI MASSIMA

OPERE DI PROGETTO
(VEDI TAV B 30 e B 31)

RIVESTIMENTO DI FONDO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

J. AGEMA
R. FRASSETTO
A. GHETTI
E. MARCHI
P. MATILDI
R. PASSINO
G. PEZZOLI

B - DISEGNI

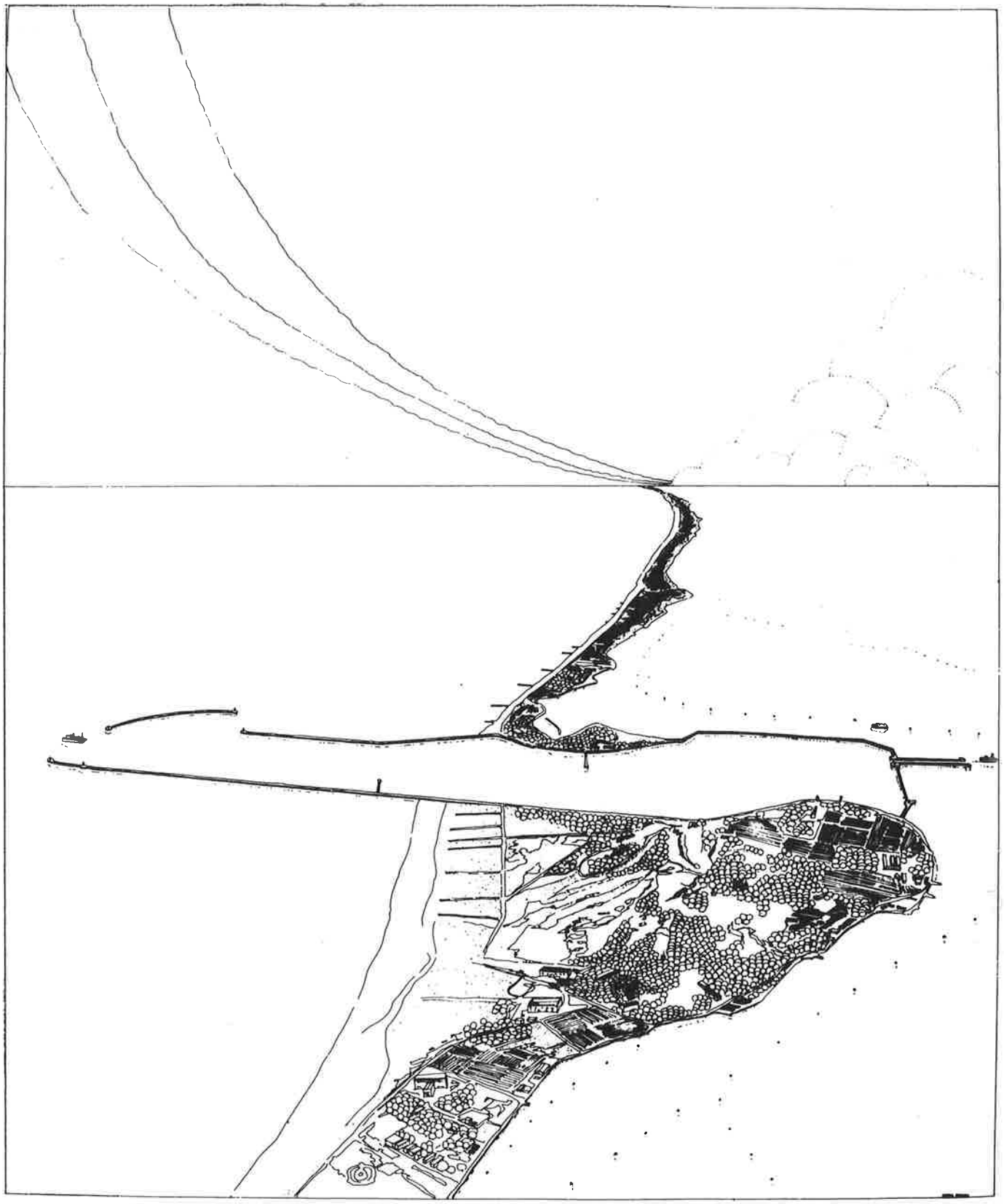
BOCCA DI MALAMOCCO

PLANIMETRIA GENERALE

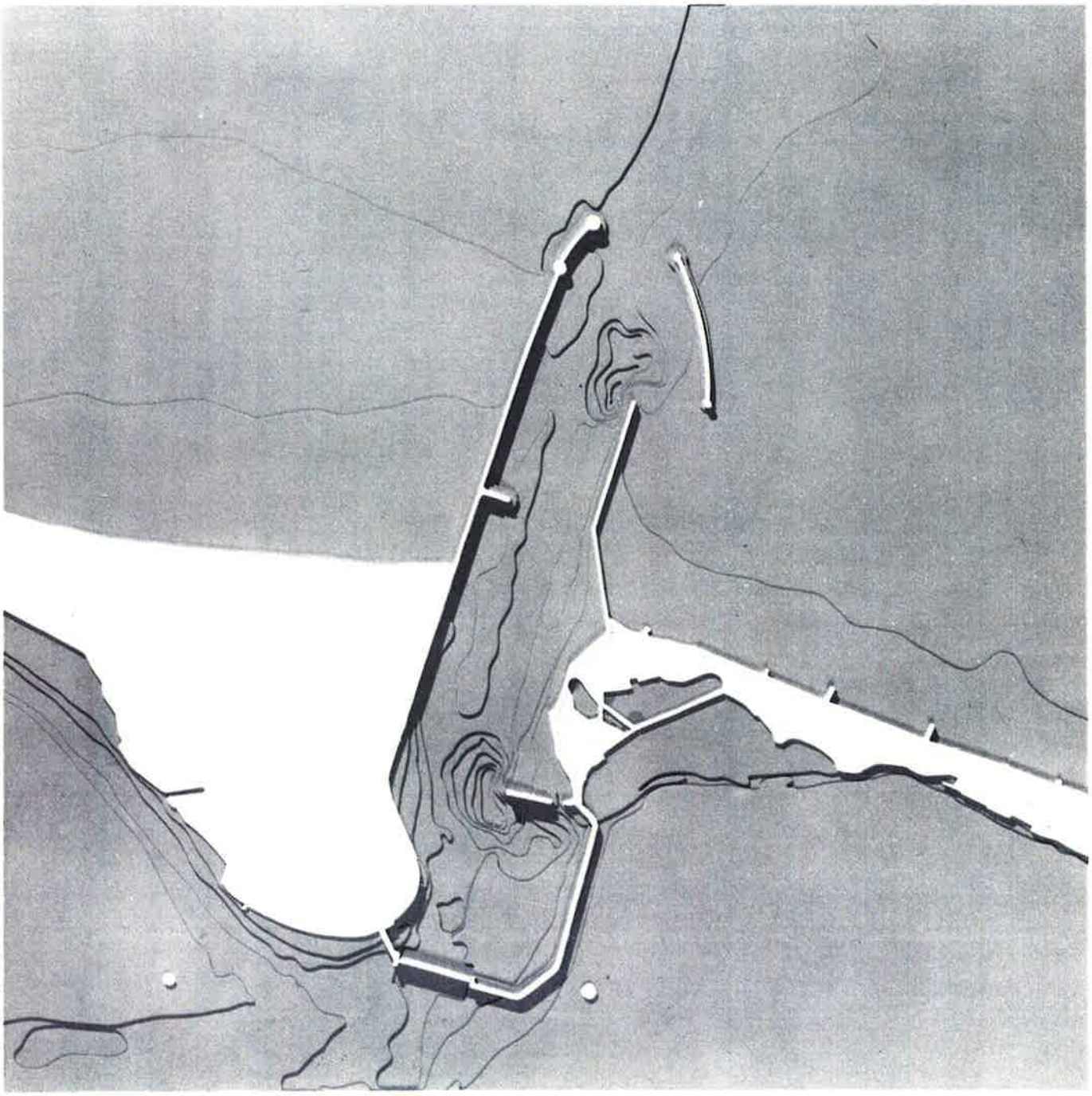
DATA	AGGIORNATO	SCALA	TAVOLA N°	ELABORATO N°
28-5-81		1:5000	B20	28

NB TUTTE LE QUOTE DI PROGETTO SONO RIFERITE
ALLO ZERO DEL MAREOGRAFO DI PUNTA
DELLA SALUTE (VENEZIA)

bocca di Malamocco



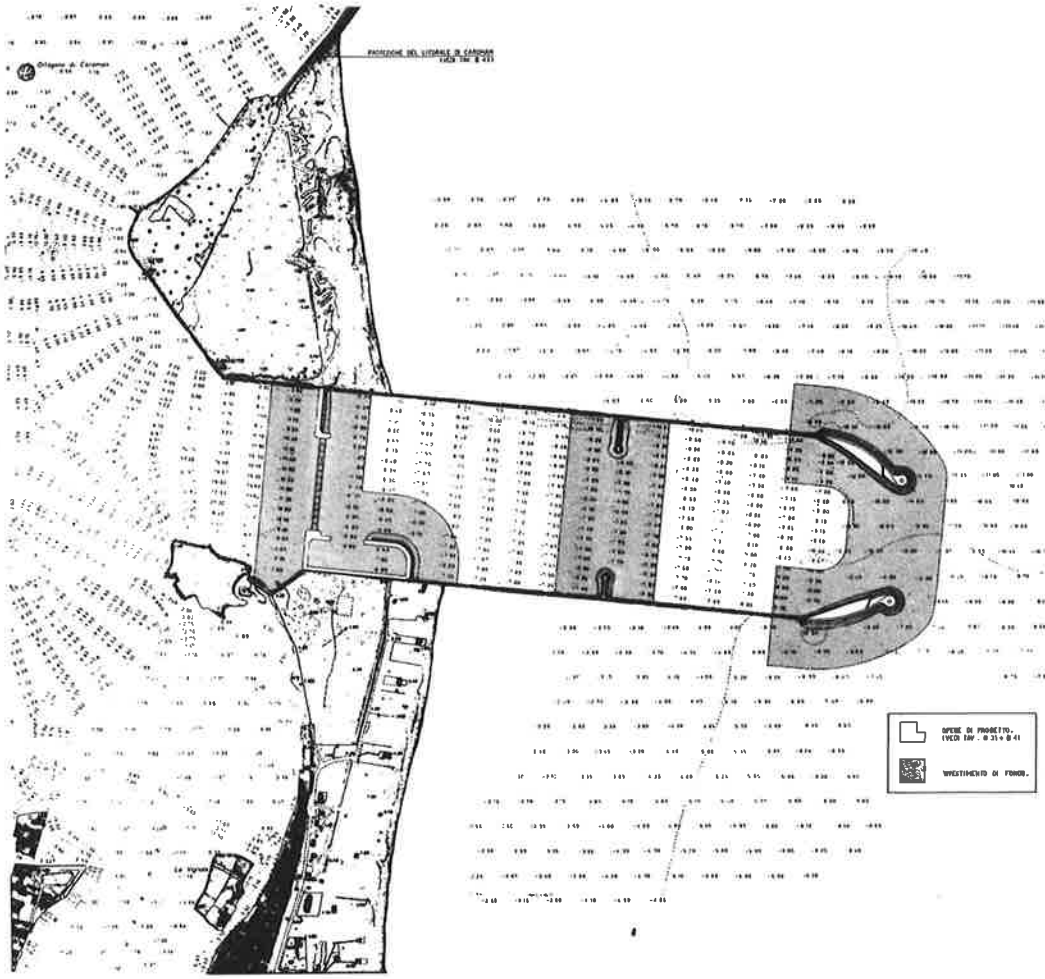
plastico bocca di Malamocco



Bocca di Chioggia

Le opere previste dal progetto sono costituite da:
- un prolungamento di entrambi i moli guardiani con dighe convergenti in modo da ridurre la larghezza della imboccatura a 300 m per difesa contro le mareggiate, conservando all'interno una sagomatura idrodinamicamente conveniente per ridurre i distacchi di vena e la formazione di vortici durante il flusso di marea;
- due pennelli contrapposti, radicati ai moli guardiani con apertura fra loro di 360 m, con il compito di ridurre le velocità delle correnti di marea e di parziale difesa delle mareggiate (attenuazione complessiva, unitamente ai moli guardiani, del 60% circa);
- uno sbarramento principale che delimita il **varco di navigazione munito di barriera mobile** e che ha le **dimensioni 280x9 m²**; esso è adiacente, verso nord, ad un porticciolo rifugio atto al ricovero dei natanti.

Il lato verso mare dello stesso porticciolo, rivestito con scogliera a dolce pendenza, costituisce anche una parziale difesa del varco di navigazione dalle mareggiate da bora.



** TUTTE LE QUOTE DI PROGETTO SONO RIFERITE ALLO ZERO DEL MAREOGRAFO DI PUNTA DELLA SALUTE - VENEZIA -

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI
ROMA

DIFESA DELLA LAGUNA DI VENEZIA DALLE ACQUE ALTE

STUDIO DI FATTIBILITA' E PROGETTO DI MASSIMA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

A. AGEMA
L. FRASSETTO
A. ghetti
E. MARCHI
P. MATILDI
R. PASSINO
G. PEZZOLI

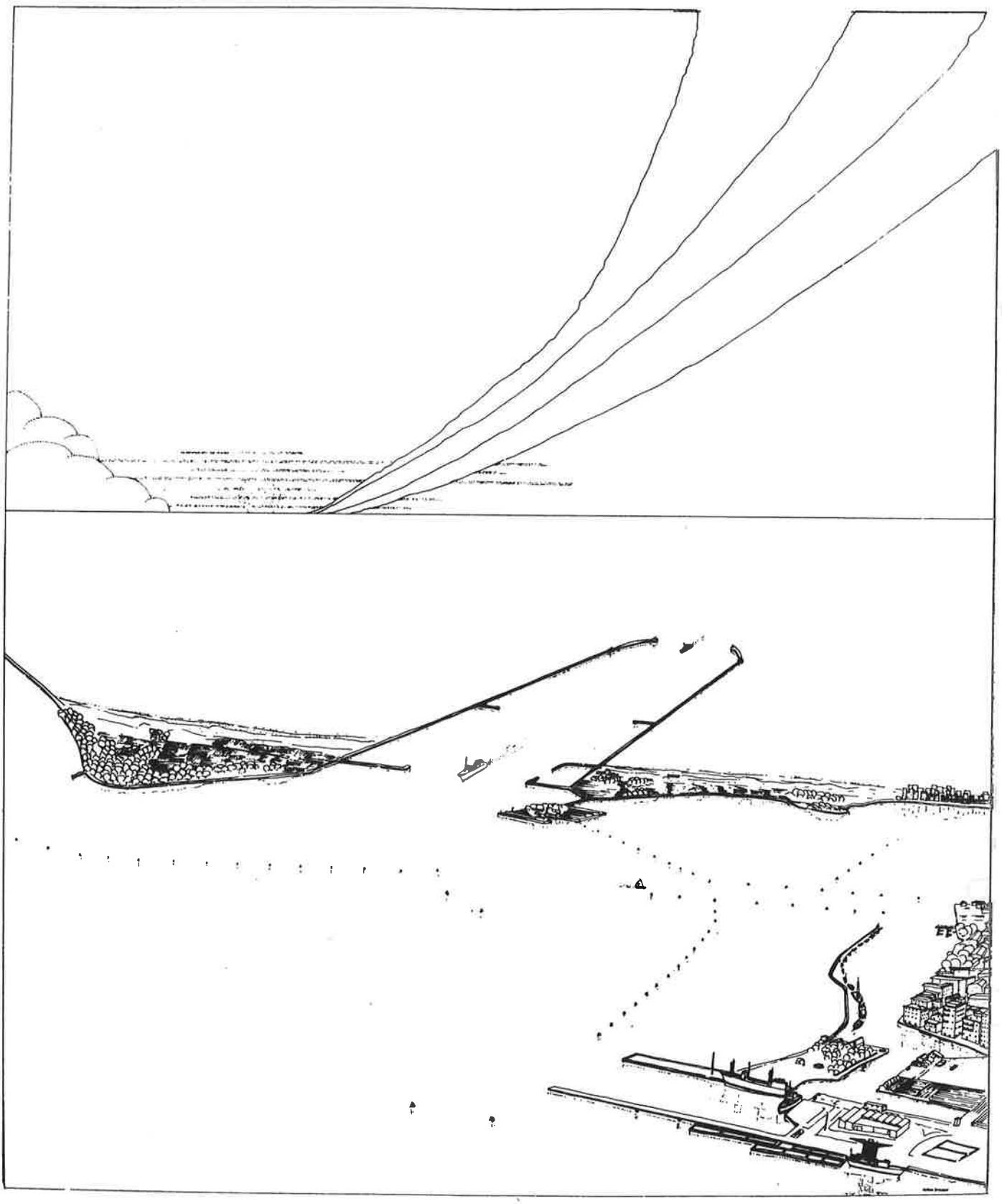
B - DISEGNI

BOCCA DI CHIOGGIA

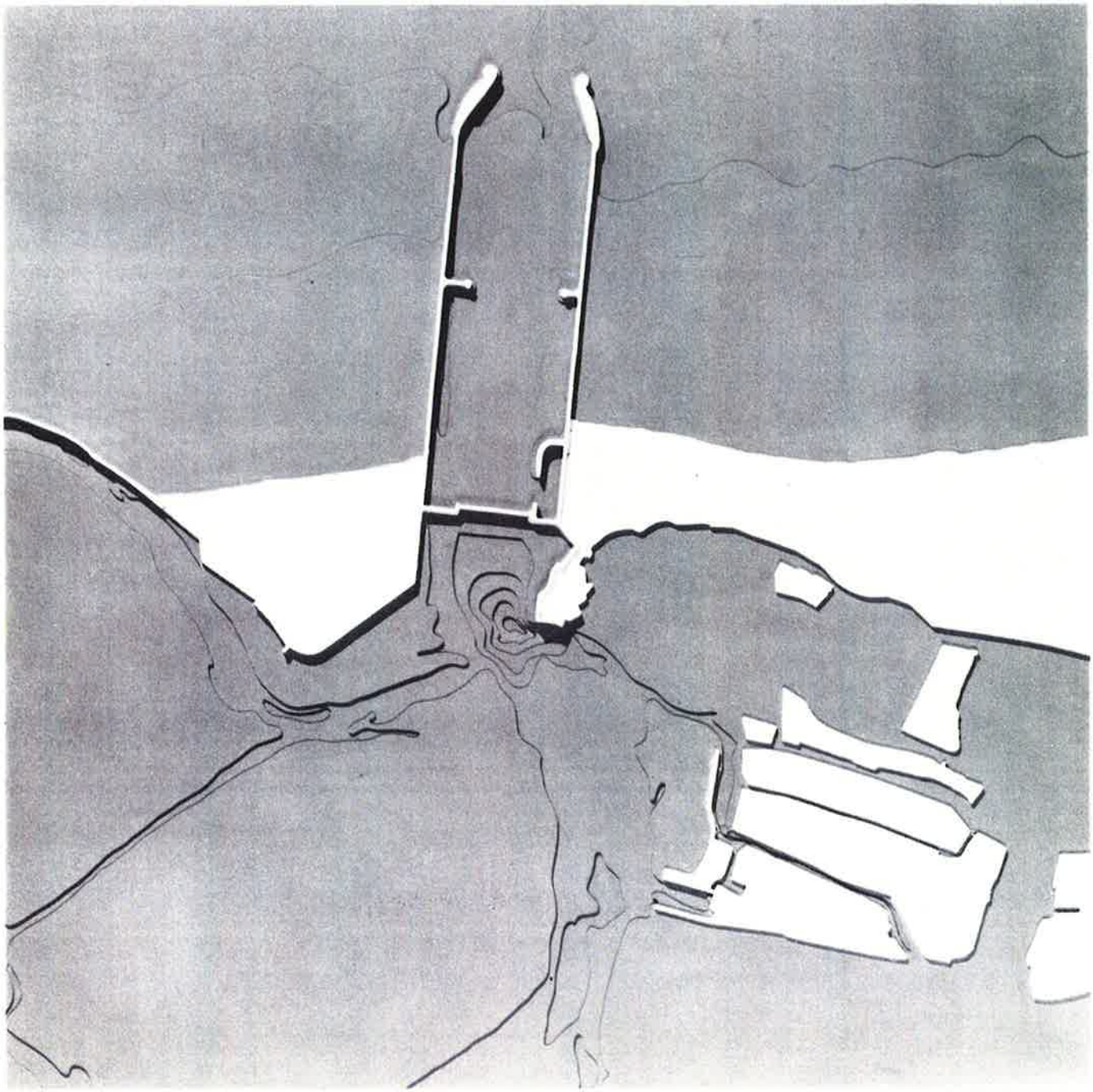
PLANIMETRIA GENERALE

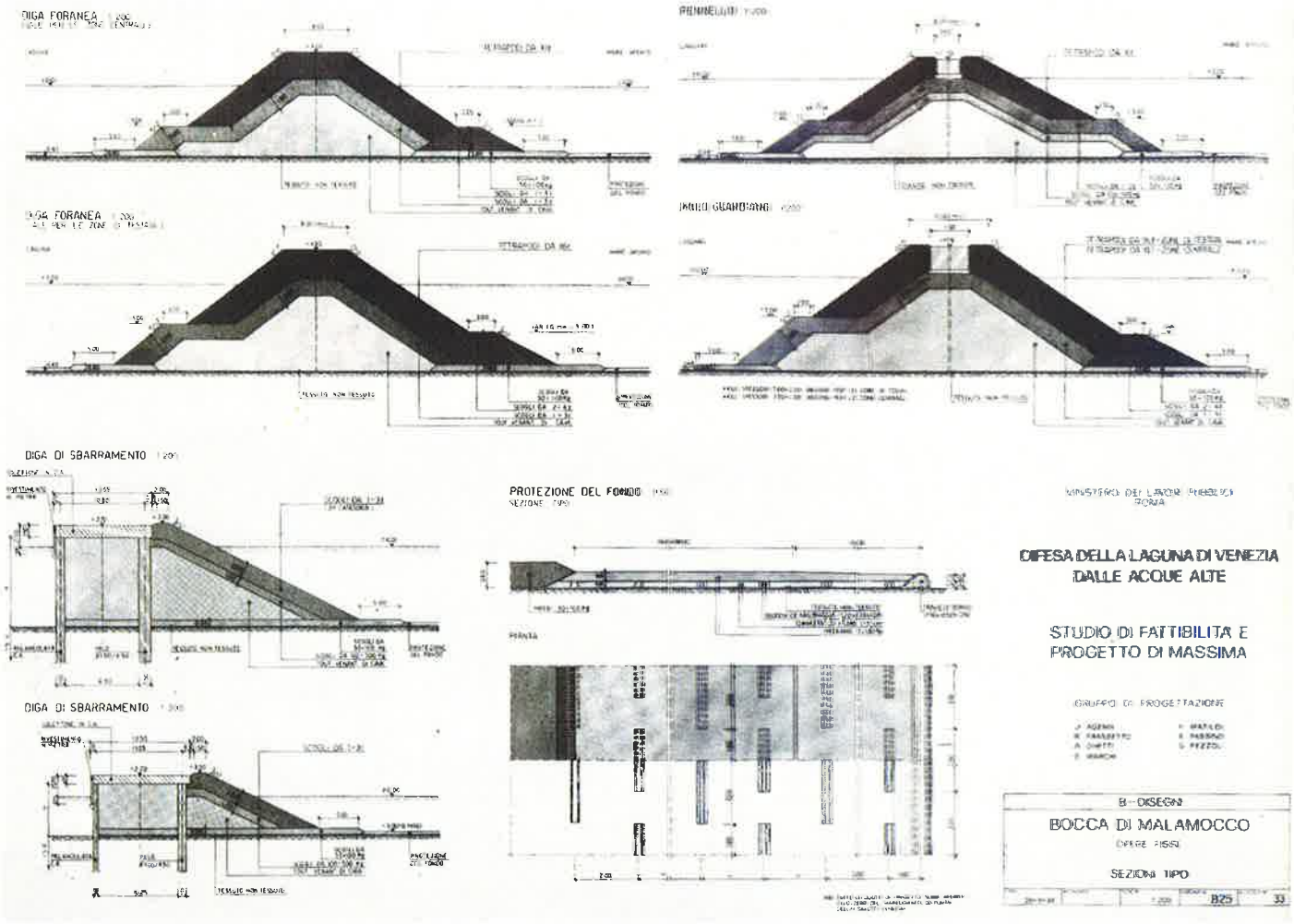
DATA	CONTENUTO	SCALA	DISEGNO N°	SUCCESSIVO N°
28-8-81		1:5000	B31	39

bocca di Chioggia



plastico bocca di Chioggia





Sbarramenti fissi

Le strutture fisse del progetto, esclusi i supporti delle barriere mobili, sono i prolungamenti dei moli guardiani della Bocca di Chioggia e del molo nord della Bocca di Malamocco, i pennelli trasversali interni ai canali delle tre bocche ed infine gli sbarramenti a sostegno delle barriere mobili.
Si tratta di opere di tipo marittimo, previste nella forma di dighe «a gettata» (o a scogliera) costituite da un nucleo in tout-venant di cava con sovrapposti due o tre strati di blocchi di pezzatura crescente, adeguati al peso della mantellata. Per quest'ultima sono stati impiegati scogli fino alla terza categoria, finché possibile; dove era richiesto un maggior peso si è ricorsi all'impiego dei tetrapodi, già utilizzati in alcuni tratti dei moli guardiani esistenti.
Le quote di sommità delle dighe e dei pannelli sono state assunte più alte delle quote delle opere esistenti ad essi collegate, ma comunque tali da non superarle in altezza mai più di un metro.

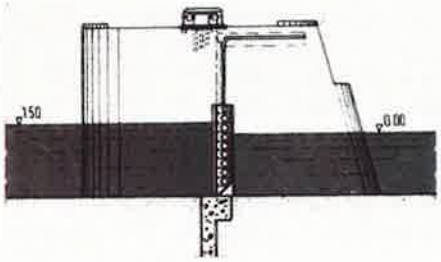
Le barriere mobili
Le soluzioni analizzate

Per la scelta del tipo di barriera mobile sono state analizzate le seguenti tipologie.

Le tipologie 1, 2, 3, 4, 5, 6 sono state escluse perché contravvengono ad almeno uno dei seguenti requisiti
- non richiedano **pile intermedie**, per modo che con lo sbarramento abbattuto la sezione dei varchi resti integra, aperta al deflusso delle acque nei due sensi e senza ostacoli o pericoli di sorta, in caso di nebbia o tempesta, per eventuali natanti in difficoltà;
- non richiedano **sovrastrutture aeree** le quali, oltre a porre limiti all'altezza delle navi che debbono transitare sotto di esse, sarebbero costantemente presenti, a varchi aperti, a costituire una vera e propria barriera opprimente e tutt'altro che esteticamente accettabile all'accesso in laguna;
- non richiedano **rotaie** fissate sul fondo, che impongono problemi di manutenzione e di protezione di non agevole soluzione in presenza di acque di mare.

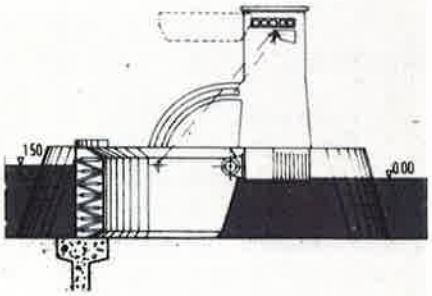
La tipologia 7 è stata esclusa perché richiede manovre lunghe ed eccessivamente laboriose

1) paratoia piana

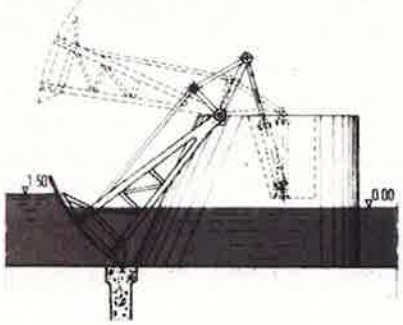


2) paratoia a tartaglia

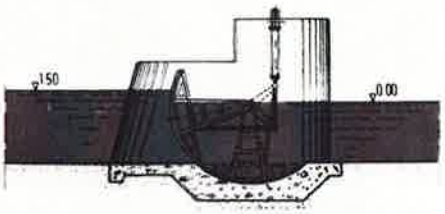
3) paratoia a celata



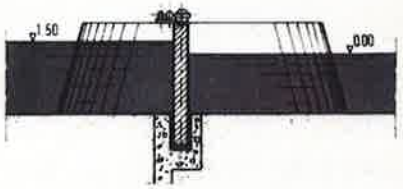
4) paratoia a settore



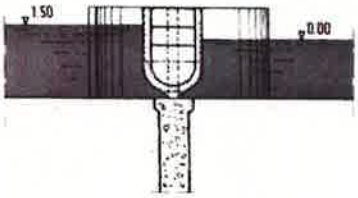
5) paratoia a settore a scomparsa



6) paratoia a telescopio



7) paratoia a barca-porta

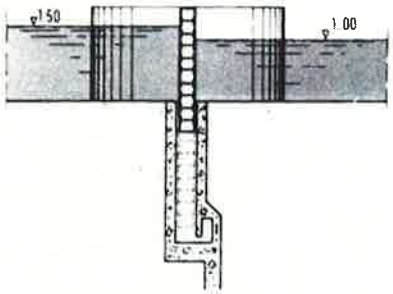


Le tipologie 8, 9, 10 sono state escluse perché richiedono imponenti opere di fondazione sottomarina.

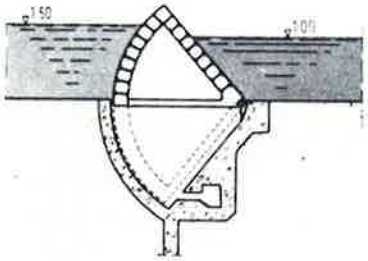
Le tipologie 11, 12, 13 sono state escluse perché contravvengono ad almeno uno dei seguenti requisiti
- durata nel tempo
- funzionamento ad alto grado di affidabilità
- manutenzione non disagevole e tale da potersi eseguire per tronchi separati
- capacità di sopportare l'azione del moto ondoso attenuandone i fenomeni d'urto sul fronte delle barriere ed i conseguenti effetti sulle strutture di fondazione
- capacità di non mandare in crisi l'intero sbarramento in caso di urto di natante o relitto contro di esse e conseguente cedimento di qualche sua parte
- semplicità ed efficacia dei giunti di collegamento tra due elementi

La soluzione adottata è stata ricercata tra le tipologie 14, 15, 16 verso le quali si indirizzarono ben **tre dei quattro** gruppi di imprese che parteciparono al Concorso di idee bandito dal C N R nel 1970 per la soluzione del problema delle «acque alte» e **due dei cinque** gruppi di imprese che nel 1976 hanno preso parte all'Appalto Concorso internazionale indetto, allo stesso scopo, dal Ministero dei LL PP.
È stata scartata tra queste la 14 che, in quanto «rovescia» non può che essere «lissa» e con posizione di esercizio tale da non attenuare in alcun modo gli effetti del moto ondoso.
Per lo stesso motivo è stata scartata la tipologia 15 anche perché, per essere resa «lissa» richiederebbe palesemente la presenza di pile ravvicinate.
La scelta si è pertanto ristretta a paratoie del tipo a **ventola galleggiante diritta oscillante** schematicamente rappresentata in figura 16.

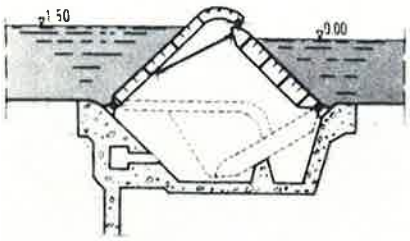
8) paratoia a cassone emergente



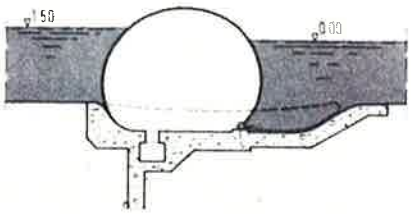
9) paratoia a tamburo



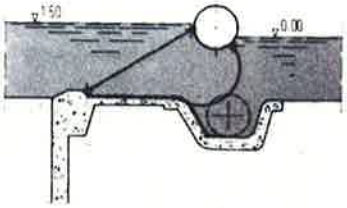
10) paratoia a trappola d'orso



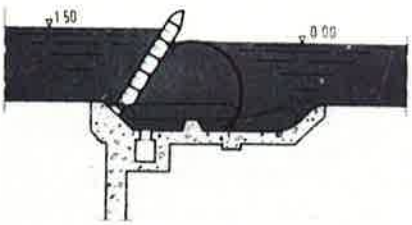
11) paratoia a cuscino



12) paratoia a galleggiante o vela

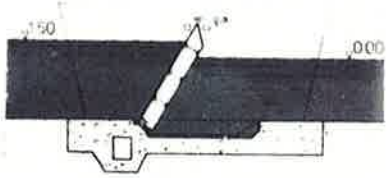


13) paratoia a soffietto

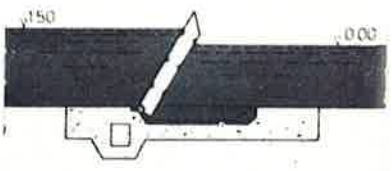


14) paratoia a ventola galleggiante rovescia

15) paratoia a ventola galleggiante diritta fissa



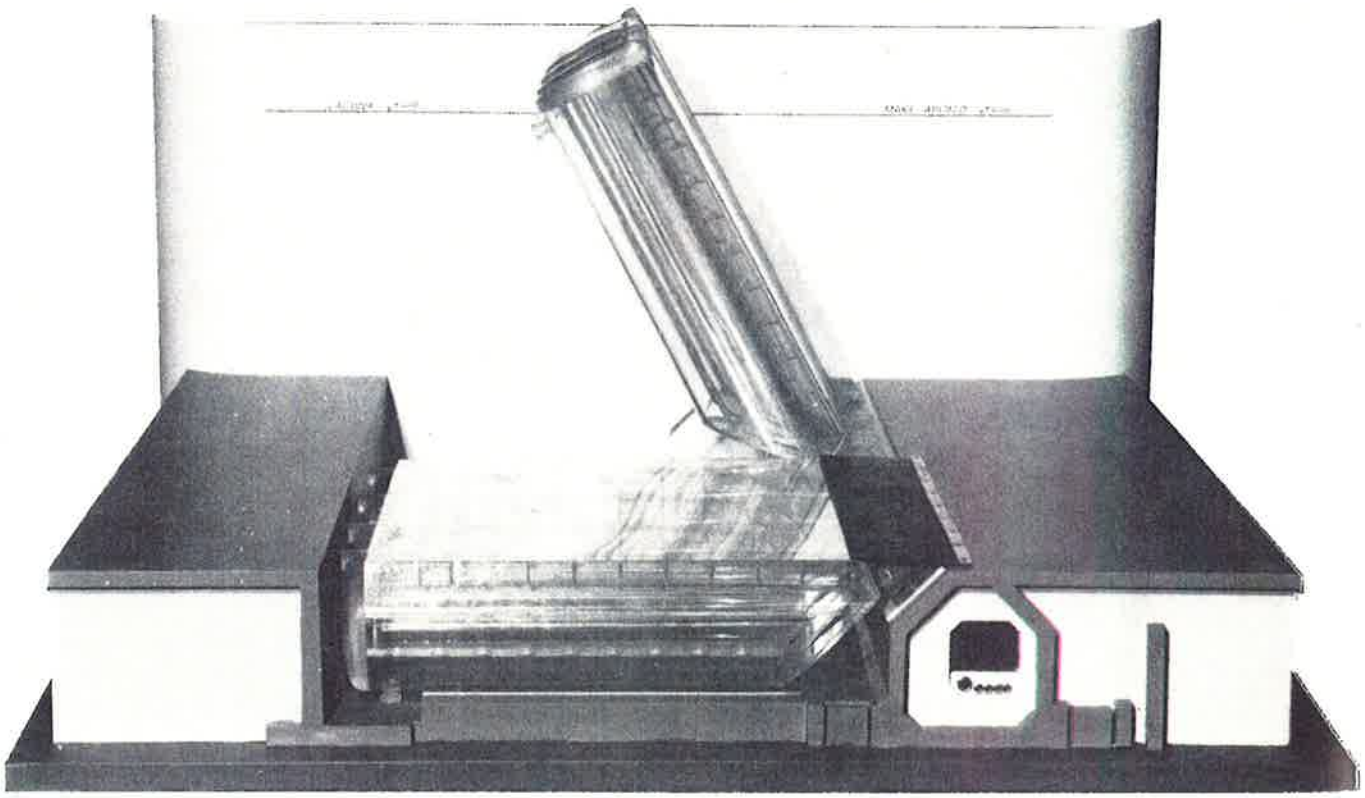
16) paratoia a ventola galleggiante diritta oscillante



La soluzione adottata

Il tipo di paratoia adottata è quella a **ventola galleggiante diretta oscillante.**
Gli elementi di paratoia sono costituiti da 4 (in un solo caso da 5) moduli cilindrici circolari (Ø 4,80 m in acciaio) affiancati all'interasse di 5 m e resi solidali tra loro in modo da formare delle ventole.
Il numero di ventole previsto per la chiusura delle singole bocche risulta dal seguente prospetto:

Bocca di	Ventole	Lunghezza totale	Altezza ventole
Lido S. Nicolò	13x20 m	260 m	18.0 m
Lido Treporti	9x20 m		13.5 m
	2x25 m	230 m	13.5 m
Malamocco	15x20 m	300 m	21.5 m
Chioggia	14x20 m	280 m	15.0 m

Le ventole sono incernierate soltanto alla base, libere di oscillare, assecondando il mare; con oscillazioni che peraltro sono ammortizzate dall'inerzia del sistema costituito dalla struttura metallica e dalla massa aggiunta dell'acqua interna ed esterna.
In condizioni normali la paratoia è adagiata sul fondo, appoggiata su culle in gomma disposte all'interno di apposite fosse di alloggio.
In caso di necessità (marea oltre il limite di guardia prefissato) i vari moduli componenti vengono riempiti di aria mediante un collettore che si dirama in tanti tubi, uno per modulo, alimentati da una stazione di pompaggio, situata in una delle spalle laterali di collegamento con la diga di sbarramento.
L'aria perviene così all'interno dei vari moduli, e poiché è in pressione, espelle l'acqua che esce dalla apertura inferiore fino a che, quando vi è abbastanza aria nei moduli, la paratoia ruota e sale pervenendo ad una configurazione di equilibrio lievemente inclinata rispetto alla verticale verso laguna.
Viceversa, allorché cessa la necessità di sbarrare il flusso della marea, viene aperta mediante telecomando pneumatico una valvola a membrana cilindrica disposta sul coperchio bombato dei vari moduli e l'aria esce da questi, essendo all'uopo l'altra estremità dei vari moduli aperta, riportando la paratoia nel suo alloggiamento.
Giova appena rilevare che qualora per una qualsiasi ragione non arrivasse aria di pressione ad uno o due dei quattro o cinque moduli costituenti il singolo elemento di paratoia, questo si alzerebbe ugualmente mercè la riserva di spinta di galleggiamento fornita dai moduli restanti. Unica variante: la maggiore inclinazione di detto elemento rispetto alla verticale.
Quando la paratia è sollevata essa è capace di oscillare, sottraendosi così al prospettato pericolo di urto brusco da natante o relitto che si avrebbe ove fosse fissa.
Tra una paratoia e l'altra esiste un meato, che garantisce le paratoie dal pericolo di un urto reciproco. La portata attraverso detti meati è irrisoria.
Grazie alla spinta di galleggiamento lo sbarramento formato dalle paratoie sollevate è capace di mantenere un dislivello statico di 1.50 m fra il mare e la laguna. Lo sbarramento è inoltre in grado di resistere senza tracimare, con un margine di sicurezza di 50 cm circa, ad un moto ondoso sovrapposto con il dislivello statico di cui sopra, caratterizzato da onde di 3 metri di ampiezza.
Sotto l'azione dinamica del moto ondoso le paratoie oscillano attorno ad una posizione di equilibrio, inclinata rispetto alla verticale lato laguna.
Lo sbarramento sollevato può peraltro trattenere il dislivello nei due sensi; pertanto è anche possibile creare un battente in laguna superiore al livello del mare allo scopo di provocare energiche correnti di lavaggio.

plastico della soluzione adottata