



# Il Sindaco del Comune di Messina

Commissario Delegato ex O.P.C.M. n. 3721 del 19 Dicembre 2008

## ENTE APPALTANTE

Commissario Delegato per l'Emergenza Traffico a Messina ex OPCM 3633/07 e successive, con sede presso il Comune di Messina, Piazza Unione Europea, 98100 Messina

## A.T.I. IMPRESE



Nuova CO.ED.MAR Srl  
Via Banchina F - Val da Rio  
30015 Chioggia (VE)



CONSORZIO COOPERATIVE COSTRUZIONI

Consorzio Cooperative Costruzioni  
CCC Società Cooperativa  
Via Marco Emilio Lepido, 182/2  
40132 Bologna

## PROGETTAZIONE



favero&milan ingegneria

30035 Mirano (VE) Tel. +39 041 5785 711  
Viale Belvedere 8/10 Fax +39 041 4355 933  
www.favero-milan.com fm@favero-milan.com



20143 Milano Tel. +39 02 8942 2685  
Viale Cassala, 11 Fax +39 02 8942 5133  
mail@idrotec-ingegneria.it

Ing. Vincenzo Iacopino

Viale Regina Elena, 125 - Messina

Studio Tecnico Falzea

Via 1° Settembre, 37 - Messina

Arch. Claudio Lucchesi

Via Roma, 117 - Pace del Mela (ME)

Ing. Manlio Marino

Via Placida, 6 - Messina

Dott. Geol. Sergio Dolfin

Via Marina, 4 - Torre Faro (ME)

## PROGETTO

**COMUNE DI MESSINA  
LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA  
LOGISTICA INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO  
SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE**

## EMISSIONE

# PROGETTO DEFINITIVO

## TITOLO

**PARTE GENERALE  
RELAZIONE SPECIALISTICA  
PLANIMETRIA, RIFLESSIONE DELLE OPERE ED AGITAZIONE INTERNA**

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
a	-	-	-	-	-
b					
c					
d					
e					

ELABORATO N.

# G797FMAR015

DATA: 20/05/2010	SCALA: -	FILE: G797FMAR015.doc
J.N. G797/10	DISEGNATO F.F.	APPROVATO T.T.

## **Indice Generale**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE E CONTENUTI DELLA RELAZIONE .....</b>	<b>3</b>
1.1	IMPOSTAZIONE DELLE RELAZIONI RELATIVE AGLI ASPETTI IDRAULICO MARITTIMI .....	3
1.2	CONTENUTI DEL PRESENTE ELABORATO .....	3
<b>2</b>	<b>REQUISITI DEL BANDO E SUCCESSIVE PRECISAZIONI.....</b>	<b>5</b>
2.1	GENERALITÀ .....	5
2.2	COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE DELLE OPERE .....	5
2.3	TIPOLOGIA STRUTTURALE DELLE OPERE .....	5
2.4	REQUISITI PER IL CONTORNO DELLO SPECCHIO ACQUEO .....	5
<b>3</b>	<b>CRITERI ADOTTATI PER LA SCELTA DELLA TIPOLOGIA DELLE OPERE.....</b>	<b>8</b>
3.1	GENERALITÀ .....	8
3.2	CONSIDERAZIONI SULLA RIFLESSIONE DEL MOTO ONDOSO E LA TRACIMAZIONE.....	8
3.2.1	Riflessione ondosa .....	8
3.2.2	Tracimazione .....	10
<b>4</b>	<b>SCELTA DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE DELLE OPERE.....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>PROVE SU MODELLO FISICO PER L’OTTIMIZZAZIONE DELLE STRUTTURE DI BANCHINA ANTIRIFLETTENTI.....</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>CONTORNO PLANIMETRICO DELLE OPERE.....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>STUDIO DELL’AGITAZIONE INTERNA.....</b>	<b>21</b>
7.1	GENERALITÀ .....	21
7.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DIFFRAC.....	21
7.3	PLANIMETRIA E STRUTTURE AL CONTORNO .....	21
7.4	MODELLAZIONE DEL PORTO .....	22
7.5	CONDIZIONI DI MOTO ONDOSO.....	22
7.6	RISULTATI – AGITAZIONE AGLI ACCOSTI.....	22
<b>8</b>	<b>RIFERIMENTI.....</b>	<b>29</b>

## Indice delle Figure

Figura 1.1 – Schema dell’articolazione delle relazioni relative agli aspetti idraulico-marittimi del presente Progetto Definitivo .....	4
Figura 2.1 – Contorni planimetrici del porto ed involucro delle manovre delle navi.....	7
Figura 3.1 – Riflessione di una parete verticale non tracimabile ed effetto dell’obliquità dell’onda (dal Rif. 1) .....	11
Figura 3.2 – Opere a scogliera non tracimabili. Coefficienti di riflessione ed effetto dell’obliquità (dai Rif. 2 e 3) .....	12
Figura 3.3 – Opera a parete verticale forata. Coefficienti di riflessione ed effetto dell’obliquità dell’onda (dal Rif. 1).....	13
Figura 3.4 – Strutture di banchina antiriflettenti (dal Rif. 4) .....	14
Figura 4.1 – Criteri di scelta e tipologie adottate per le opere .....	17
Figura 5.1 – Prove su modello fisico – coefficienti di riflessione caratteristici della Configurazione “A” e Configurazione “B” (adottata per il presente progetto) .....	19
Figura 7.1 – Rappresentazione schematica dello scalo portuale di Tremestieri .....	24
Figura 7.2 – Schematizzazione dell’area di studio con il modello DIFFRAC .....	25
Figura 7.3 – dir 150°N, Tp=7 s .....	26
Figura 7.4 – dir 50°N, Tp=5 s .....	27
Figura 7.5 – dir 140°N, Tp=9 s .....	28

## Allegati

Allegato 1	Studio con modello fisico sul potere di riflessione della banchina del porto di Tremestieri. Relazione Laboratorio IMAGE, Padova, Aprile 2010
------------	---

## **1 INTRODUZIONE E CONTENUTI DELLA RELAZIONE**

### **1.1 IMPOSTAZIONE DELLE RELAZIONI RELATIVE AGLI ASPETTI IDRAULICO MARITTIMI**

Il Progetto Definitivo delle opere marittime ha richiesto analisi in molteplici settori di studio ed indagine. Alcuni aspetti sono già stati oggetto di analisi approfondite in sede del progetto preliminare a base di gara, analisi che si considerano esaustive ed i cui risultati vengono quindi conformati ed assunti a base della progettazione definitiva.

Per altri aspetti progettuali, che si ritengono particolarmente qualificanti per il progetto definitivo proposto, si sono invece effettuate attività integrative od originali.

Per maggiore chiarezza e facilità di consultazione degli elaborati di progetto si ritiene opportuno premettere uno schema che individua:

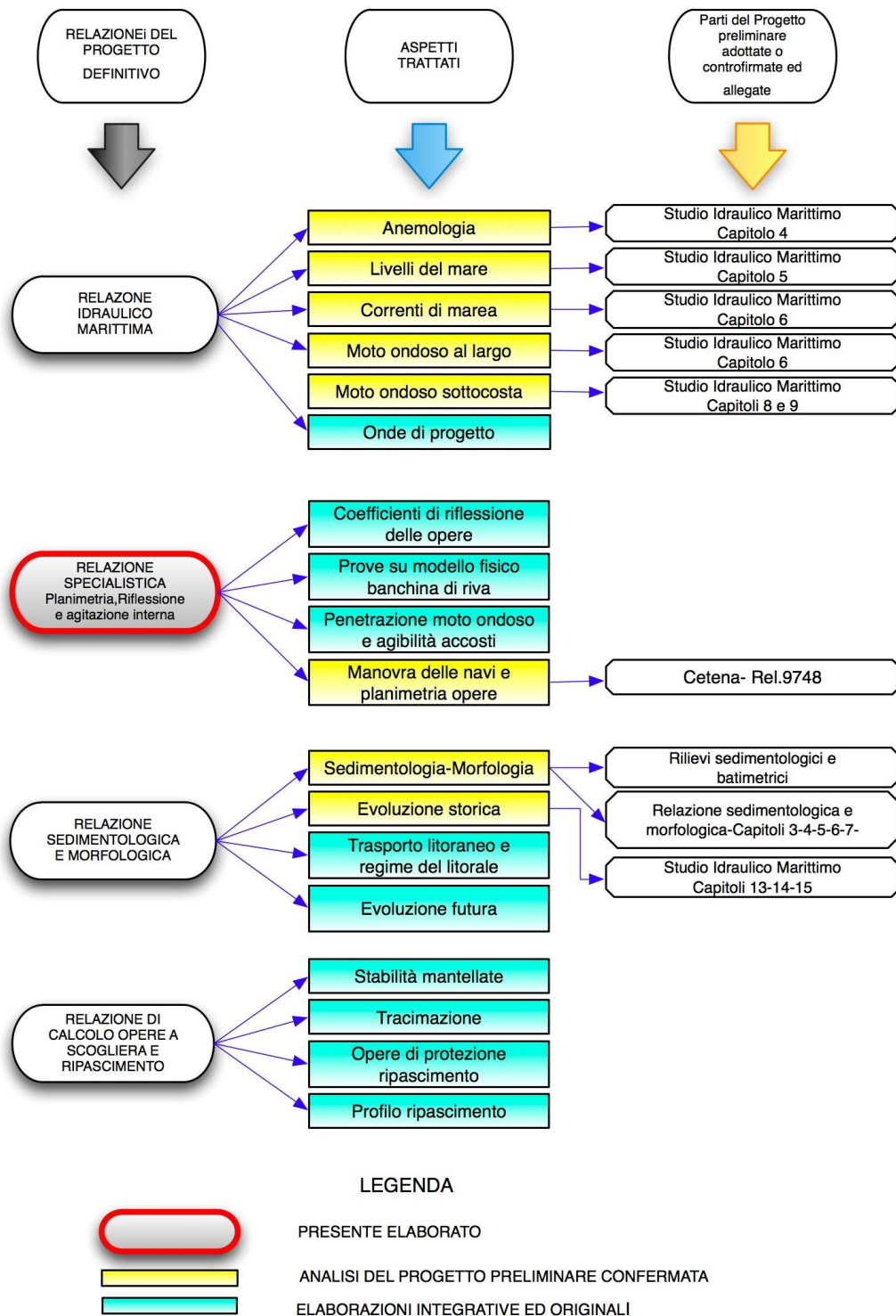
- le relazioni attinenti gli aspetti idraulico-marittimi che compongono il Progetto Definitivo
- i contenuti delle singole relazioni
- le parti delle relazioni del Progetto Preliminare che vengono confermate ed allegate in copia controfirmate
- le attività integrative ed originali sviluppate.

Lo schema è presentato nella Fig. 1.1.

### **1.2 CONTENUTI DEL PRESENTE ELABORATO**

La presente relazione specialistica sviluppa i seguenti aspetti del Progetto Definitivo:

- a) prove su modello fisico in canaletta eseguite per l'ottimizzazione delle strutture antiriflettenti di banchina presso il Laboratorio dell'Università di Padova;
- b) scelte della tipologia delle opere di difesa ed opere interne in relazione:
  - alle prescrizioni in merito alle caratteristiche di riflessione delle opere fornite nel bando di gara (Art. 7 e planimetria C.6) e con le successive risposte al quesito N° 33;
  - alla necessità di ridurre il più possibile la tracimazione del moto ondoso e quindi le conseguenti limitazioni per l'operatività e la sicurezza.
- c) definizione del contorno planimetrico dello specchio acqueo in relazione:
  - ai requisiti del bando di gara (Art. 7 e planimetria C.6) ed alle successive precisazioni fornite nella risposta al quesito N° 41;
  - ai requisiti navigazionali derivanti dalle simulazioni eseguite presso il CETENA nell'ambito degli studi per la redazione del Piano Regolatore del Porto di Messina.
- d) verifica del modello matematico dell'agitazione ondosa nel porto con la planimetria e le caratteristiche di riflessione delle opere sopra citate.



**Figura 1.1 – Schema dell’articolazione delle relazioni relative agli aspetti idraulico-marittimi del presente Progetto Definitivo**

## 2 REQUISITI DEL BANDO E SUCCESSIVE PRECISAZIONI

### 2.1 GENERALITÀ

Nel presente capitolo vengono riassunti i requisiti forniti nel Bando (Art. 7 e planimetria C.6) e nelle successive precisazioni fornite come risposta ai quesiti dei partecipanti alla gara, in merito ai seguenti aspetti:

- caratteristiche di riflessione delle opere portuali;
- tipologia strutturale delle opere stesse;
- andamento planimetrico.

### 2.2 COEFFICIENTI DI RIFLESSIONE DELLE OPERE

I coefficienti di riflessione richiesti nel bando e successivamente precisati nella risposta al quesito N° 33 sono:

- opere a scogliera dei piazzali sud: non soggette ad alcuna prescrizione
- opere interne del bacino: coefficiente di riflessione massimo 0.4.

Non vengono fornite indicazioni specifiche sulle caratteristiche dei moti ondosi per cui tali coefficienti di riflessione debbano essere verificati.

### 2.3 TIPOLOGIA STRUTTURALE DELLE OPERE

Il bando non vincola la tipologia strutturale delle opere di difesa e banchinamento. I requisiti da osservare riguardano, oltre alla riflessione:

- il contorno planimetrico dello specchio acqueo;
- la salvaguardia dei requisiti di navigazione derivanti dallo studio CETENA per la redazione del PRP di Messina;
- l'ottimizzazione delle aree dei piazzali;
- la quota in elevazione

### 2.4 REQUISITI PER IL CONTORNO DELLO SPECCHIO ACQUEO

Nella Fig. 2.1 è rappresentato il contorno dello specchio acqueo specificato dal bando.

Tale confine rappresenta la linea 0.0 livello medio mare ed è da considerare un'invariante, tranne che per i seguenti tratti:

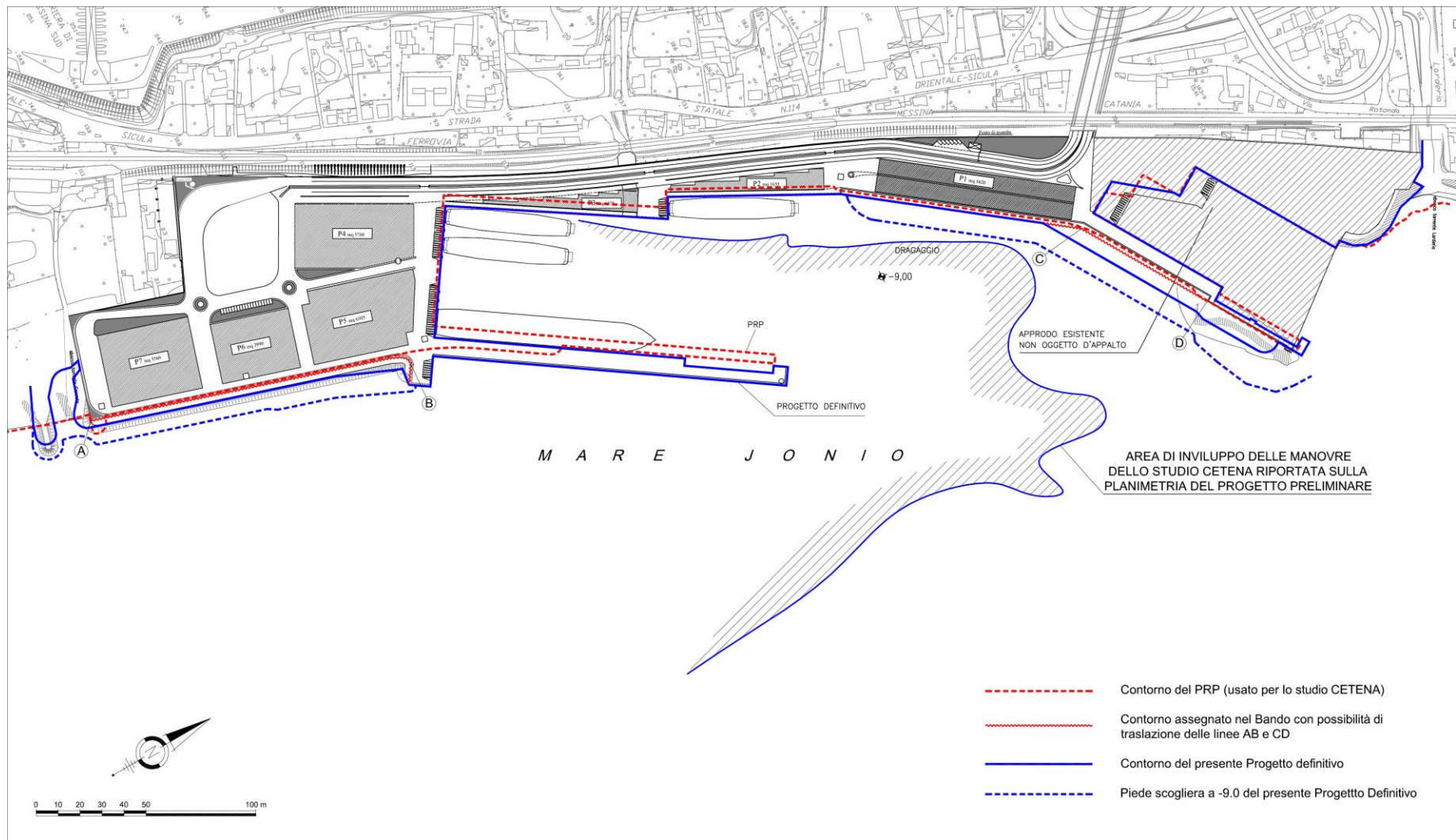
- **Zona della scogliera di protezione dei piazzali sud;** nella Tav. C.6 viene riportata una linea, denominata A-B, che corrisponde all'allineamento del filo esterno del muro paraonde. Tale linea può essere arretrata rispetto alla posizione indicata nel disegno C.6 (Disciplinare Art. 7

comm. ii). La sagoma esterna dell'opera a scogliera può inoltre sconfinare dai limiti dell'area del progetto.

- **Zona delle opere antistanti il molo del Porto esistente;** con risposta al quesito 41 è stato consentito di traslare parallelamente verso mare la linea indicata con C-D nella Fig. 2.1, per consentire l'ottimizzazione del raccordo con le sagome del progetto esecutivo del ripristino del tratto terminale approvato dal CTA.

Il contorno del piede delle opere interne alla quota -9.0 l.m.m. deve inoltre salvaguardare la navigabilità dello specchio acqueo con riferimento al grafico dell'inviluppo delle manovre ottenuto con le simulazioni eseguite presso il CETENA nell'ambito degli studi di supporto al PRP di Messina.

Il Sindaco del Comune di Messina - Commissario Delegato ex O.P.C.M. n. 3721 del 19 Dicembre 2008  
**LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA INTERMODALE TREMESTIERI  
 CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
 PROGETTO DEFINITIVO**



**Figura 2.1 – Contorni planimetrici del porto ed inviluppo delle manovre delle navi**



### **3 CRITERI ADOTTATI PER LA SCELTA DELLA TIPOLOGIA DELLE OPERE**

#### **3.1 GENERALITÀ**

La scelta della tipologia strutturale delle opere di protezione e banchinamento è stata effettuata ricercando il miglior compromesso tra:

- a) requisiti di bassa riflessione ondosa, con l'osservanza dei limiti in precedenza descritti;
- b) limitato ingombro in pianta, in modo da osservare i requisiti per i contorni dello specchio acqueo sopra discussi ed ottimizzare le caratteristiche dei piazzali;
- c) tracimazione ridotta, per evitare limitazioni operative e per la sicurezza degli utenti e del personale;
- d) stabilità adeguata in rapporto alla configurazione dei fondali, alle caratteristiche dei terreni e dei fenomeni sismici.

Questi requisiti hanno peso diverso nei diversi tratti ed hanno quindi portato a differenziare le tipologie strutturali.

Nel seguito si discutono i criteri adottati e le scelte effettuate.

#### **3.2 CONSIDERAZIONI SULLA RIFLESSIONE DEL MOTO ONDOSO E LA TRACIMAZIONE**

##### **3.2.1 Riflessione ondosa**

Ogni struttura costiera riflette una parte dell'energia del moto ondoso cui è sottoposta. L'interazione tra onda incidente e riflessa può determinare situazioni di mare confuso in prossimità dell'opera stessa, con onde ripide e fastidiose per la navigazione e la manovra. Le onde riflesse possono interessare parti interne delle darsene portuali, limitando l'operatività della banchine.

Una riflessione accentuata può comportare erosioni al piede delle opere o essere causa di erosione delle spiagge adiacenti.

In generale la riflessione può essere quantificata mediante il coefficiente di riflessione.

$$C_r = \frac{H_{sr}}{H_{si}} = \left( \frac{E_r}{E_i} \right)^{1/2}$$

Dove  $H_{si}$  ed  $E_i$  sono l'altezza d'onda significativa incidente e l'energia incidente e  $H_{sr}$  e  $E_r$  sono i parametri corrispondenti del moto ondoso riflesso.

L'energia riflessa può essere espressa dalla relazione

$$E_r = E_i - E_d - E_t$$

La relazione esprime il concetto generale che l'energia incidente  $E_i$  viene in parte dissipata dalla struttura, in parte trasmessa attraverso di essa e che la porzione rimanente viene riflessa.

La dissipazione di energia che la struttura può creare è legata ai diversi fenomeni:

- frangimento delle onde;
- attrito e flusso poroso;
- trasmissione per tracimazione e penetrazione attraverso la struttura.

Nel caso in esame l'ultimo fattore deve essere eliminato e risulta quindi fondamentale l'aspetto dissipativo, legato sia alla tipologia strutturale che alle dimensioni dell'opera in rapporto alle caratteristiche del moto ondoso.

Strutture a parete verticale piena non tracimabili determinano condizioni di riflessione che risentono molto dell'obliquità delle onde incidenti (Fig. 3.1).

Per direzioni di propagazione dell'onda incidente vicine alla normale alla parete la riflessione è quasi totale. Davanti alla parete si instaura un'oscillazione di ampiezza doppia rispetto all'ampiezza dell'onda incidente.

Se però l'incidenza del moto ondoso è molto obliqua ( $>45^\circ$ ) l'onda riflessa e l'altezza d'onda di fronte alla parete tendono a ridursi.

All'estremo opposto delle opere a parete verticale si pongono le opere a scogliera, che, a prezzo di un elevato ingombro in pianta, realizzano un'efficace dissipazione per frangimento.

La Fig. 3.2 mostra i risultati di un'estesa ricerca sulle caratteristiche di riflessione (Rif. 2).

Le caratteristiche di riflessione di queste opere dipendono oltre che dalle caratteristiche della mantellata, dal numero di Iribarren e cioè dalla pendenza della scarpata, dall'altezza e periodo delle onde incidenti.

L'effetto dell'obliquità per elevati valori del rapporto tra profondità e lunghezza d'onda è mostrato nella Fig. 3.2 tratta dal Rif. 3.

Per raggiungere un compromesso tra dimensioni delle opere e capacità di dissipazione dell'energia sono state sviluppate tipologie intermedie quali:

- strutture verticali a parete forata;
- strutture a parete verticale con camere assorbenti in sommità;

Le strutture verticali con parete forata possono essere realizzate con diversi accorgimenti strutturali (fori circolari, finestre rettangolari). Il comportamento dal punto di vista della riflessione dipende da un punto di vista sostanziale dalla porosità della parete forate e dal rapporto tra lunghezza  $B$  della camera a lunghezza d'onda  $L_p$ .

La Fig. 3.3, tratta dal Rif. 1, mostra i risultati tipici ottenuti da Allsop (1988).

Come si può notare per ottenere i coefficienti di riflessione più ridotti è necessario adottare camere di lunghezza pari a  $1/4 - 1/5$  della lunghezza d'onda incidente.

L'effetto dell'obliquità è quello di ridurre l'altezza d'onda riflessa (Fig. 3.3).

Per ridurre la riflessione di opere interne dei porti sono da tempo state sperimentate strutture di banchina con camere contenenti elementi dissipatori di diversa tipologia (scogliere, elementi generatori di turbolenza).

La Fig. 3.4, tratta dal Rif. 4, esemplifica alcuni risultati di prove su modello per diverse tipologie.

Come si può notare questo tipo di struttura permette di ridurre sensibilmente la riflessione.

Tuttavia il comportamento dell'opera dipende in maniera critica dal periodo e dall'altezza delle onde incidenti e dalle dimensioni e quote della camera.

### **3.2.2 Tracimazione**

La tracimazione si verifica quando l'altezza di risalita delle onde supera la quota di cresta dell'opera. Il fenomeno, essendo le onde irregolari, ha andamento molto variabile nel tempo.

In generale la tracimazione viene quindi caratterizzata con un parametro  $q$  (l/s/m), che rappresenta la portata media tracimata nell'unità di tempo e per unità di lunghezza dell'opera.

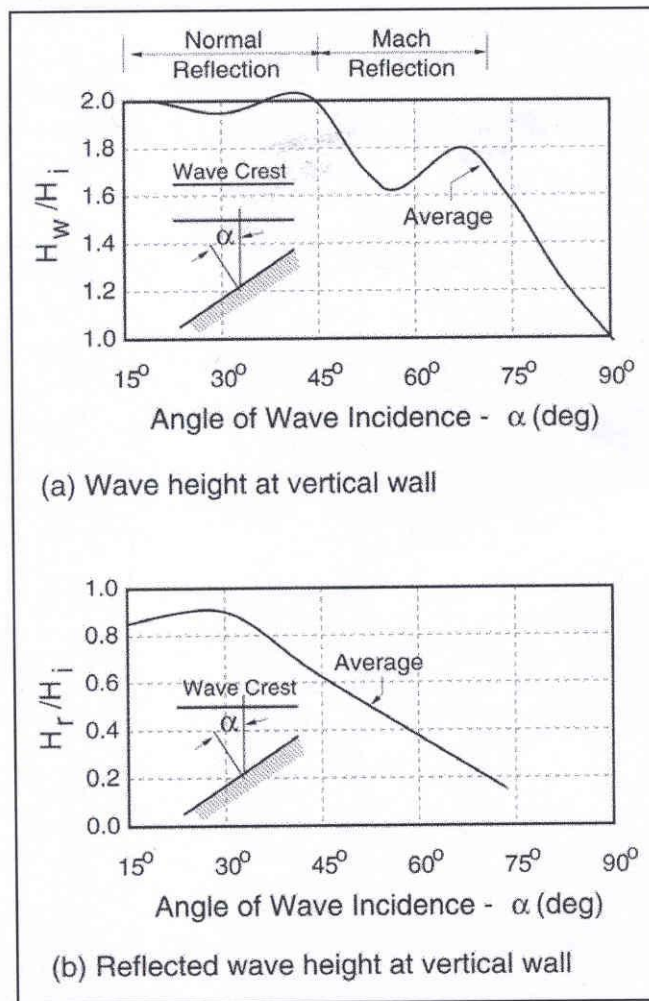
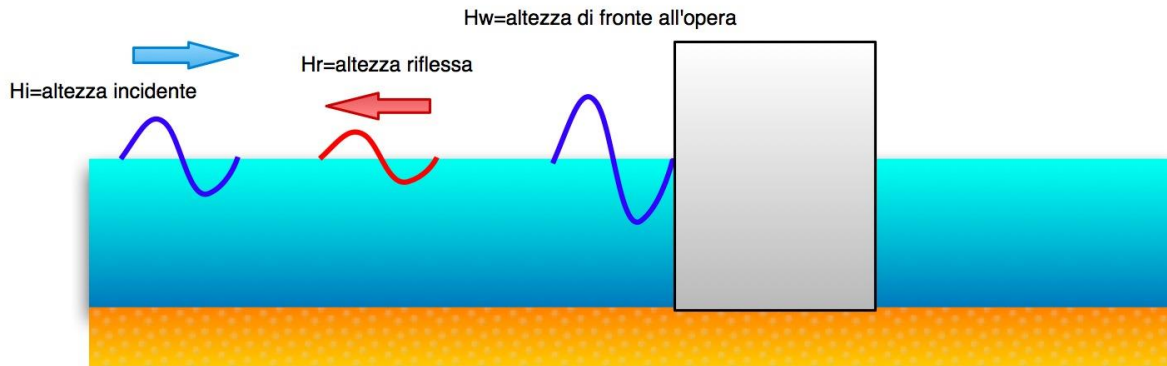
L'entità della tracimazione dipende da numerosi parametri relativi alle caratteristiche del moto ondoso incidente, alle quote, dimensioni e caratteristiche di porosità delle strutture ed alle caratteristiche di dettaglio del muro paraonde, se presente.

Nell'ambito dei programmi europei CLASH e DELOS sono state condotte ricerche approfondite sull'entità della tracimazione di strutture costiere di diversa tipologie e sui limiti accettabili per la sicurezza delle persone e delle infrastrutture.

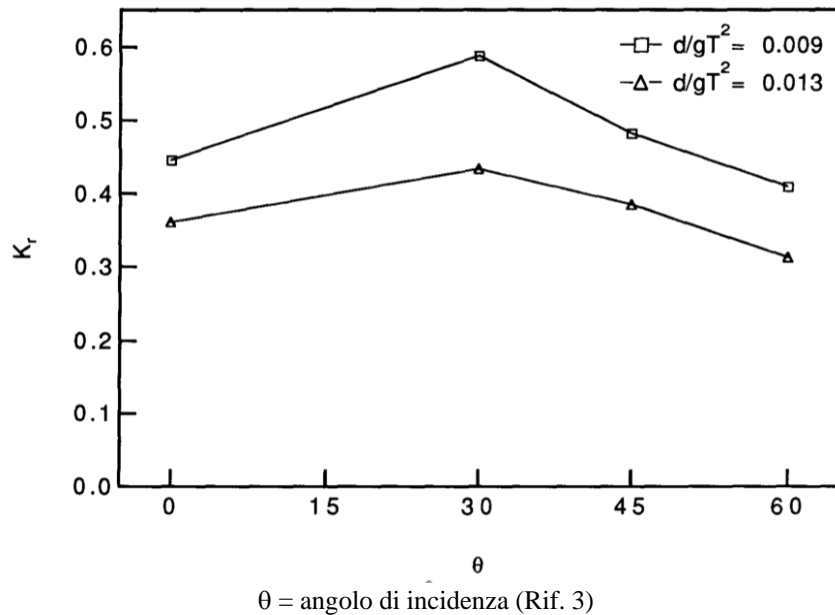
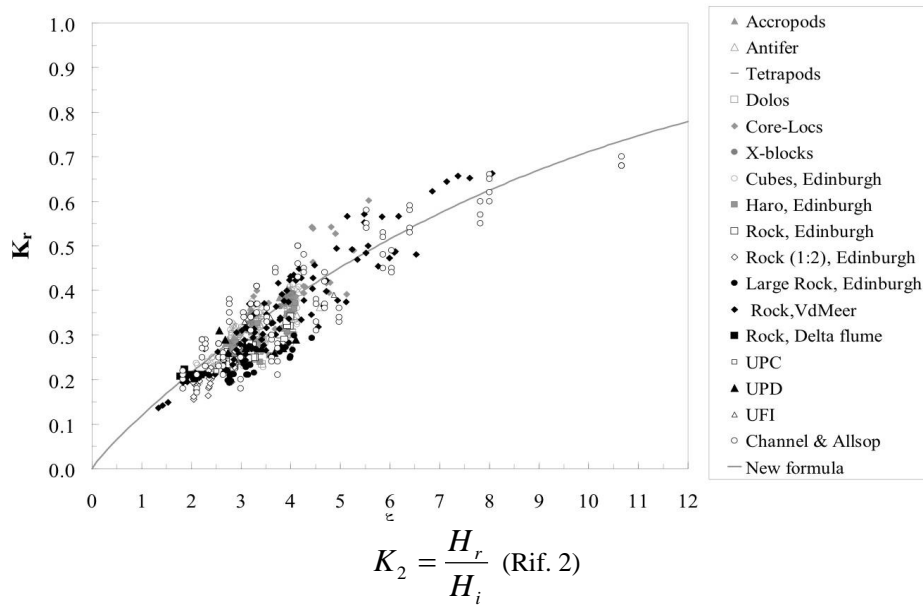
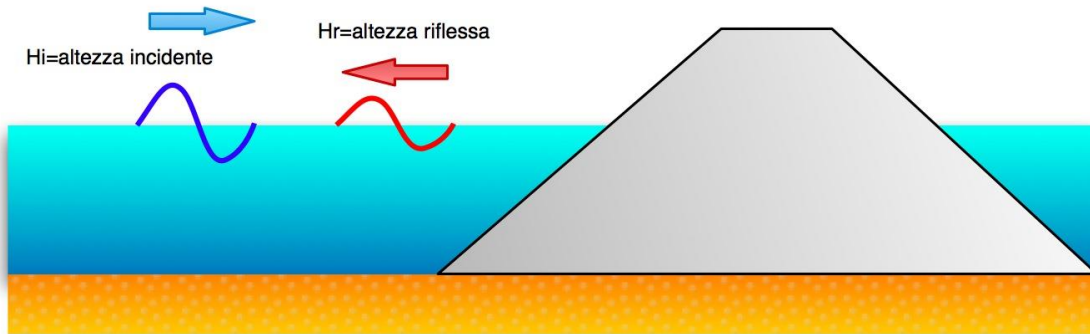
Per la valutazione della tracimazione nell'ambito del presente progetto si è fatto riferimento ai metodi di calcolo ed alle raccomandazioni del manuale del Rif. 5.

Dal punto di vista della tracimazione per il campo di condizioni di interesse per il presente progetto, risultano più convenienti strutture a scogliera con mantellate fortemente porose.

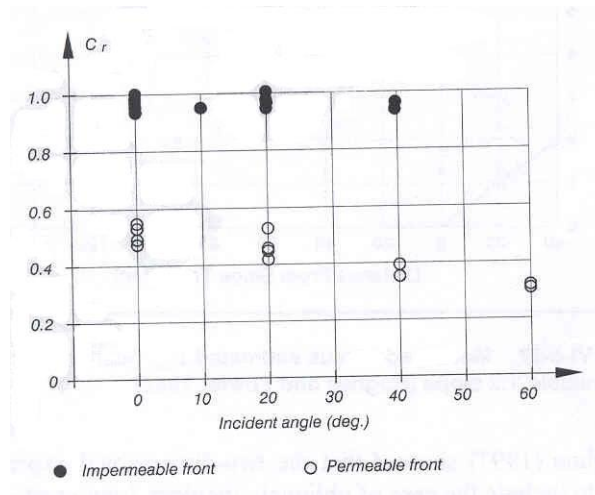
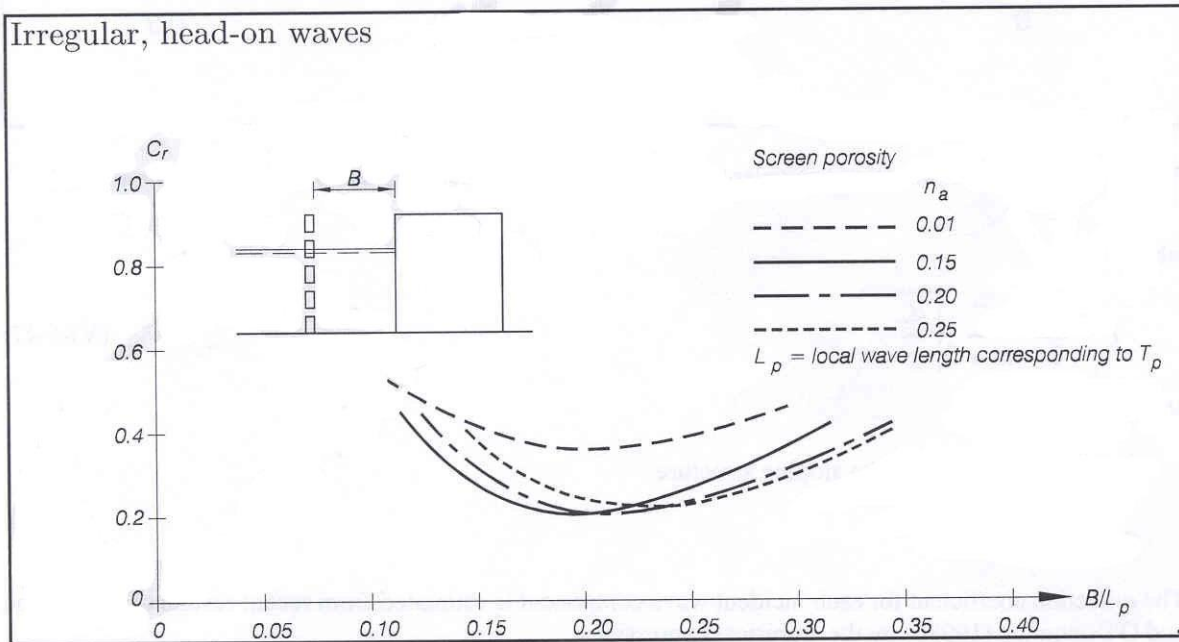
Le strutture a parete verticale, come evidenziato anche dai calcoli presentati nel Capitolo 10 della Relazione Idraulico Marittima del Progetto Preliminare, sono caratterizzate da tracimazioni di un ordine di grandezze superiori a quelle di una scogliera avente pari quota di cresta.



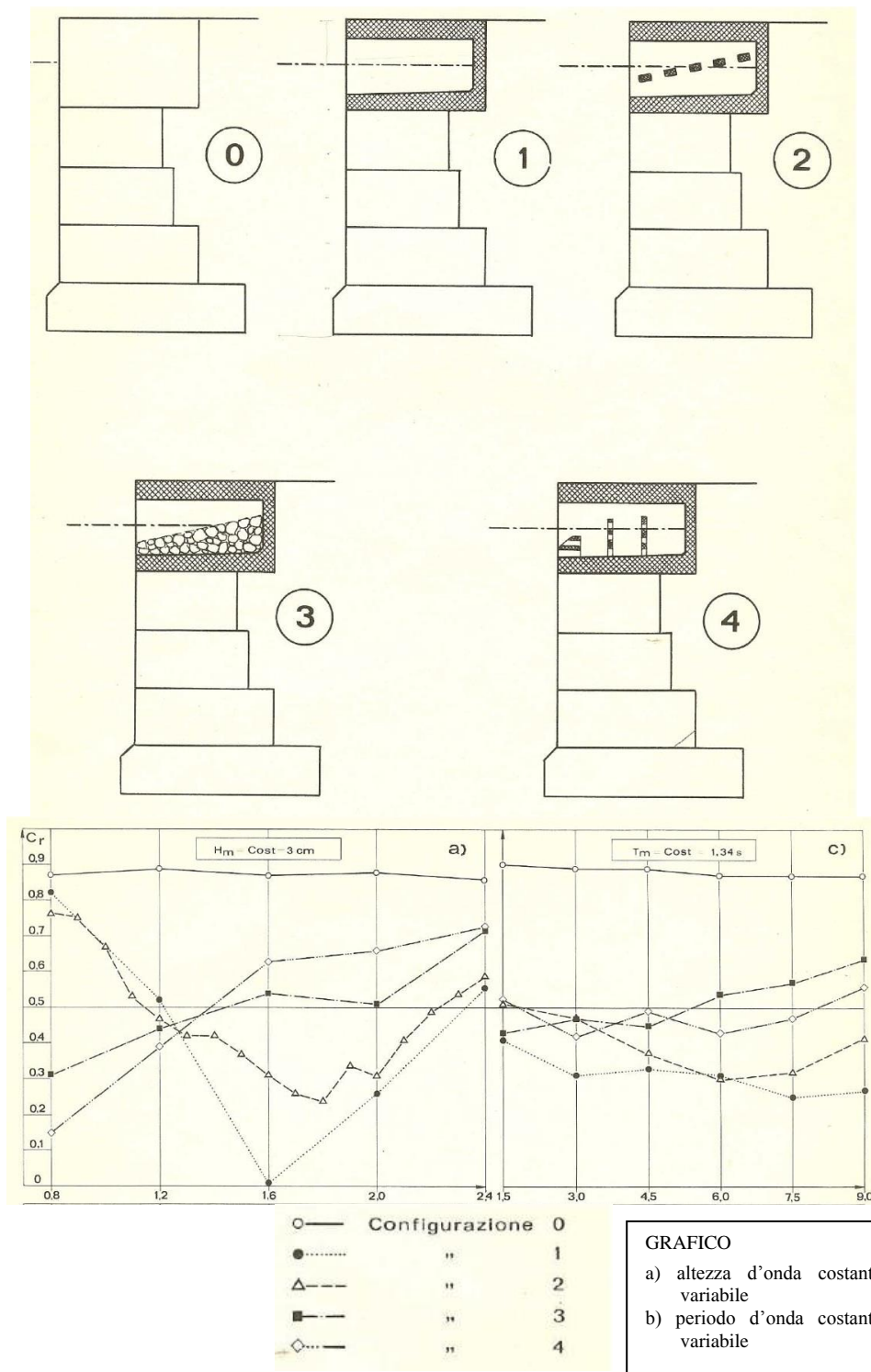
**Figura 3.1 – Riflessione di una parete verticale non trascinabile ed effetto dell’obliquità dell’onda (dal Rif. 1)**



**Figura 3.2 – Opere a scogliera non trascinabili. Coefficienti di riflessione ed effetto dell'obliquità (dai Rif. 2 e 3)**



**Figura 3.3 – Opera a parete verticale forata. Coefficienti di riflessione ed effetto dell'obliquità dell'onda (dal Rif. 1)**



**Figura 3.4 – Strutture di banchina antiriflettenti (dal Rif. 4)**

## 4 SCELTA DELLA TIPOLOGIA STRUTTURALE DELLE OPERE

Lo schema della Fig. 4.1 individua sinteticamente le tipologie adottate per le opere di difesa e banchinamento del Progetto Definitivo, nonché i criteri che hanno determinato le scelte progettuali.

### **ZONA A – Opere di difesa del piazzale sud.**

La riduzione della tracimazione e dello spray marino rappresenta un'esigenza prioritaria, in quanto sulla zona retrostante si ha sosta e movimento di mezzi e persone e la struttura è direttamente esposta alle onde.

La riduzione della riflessione, per quanto non soggetta a prescrizioni è importante al fine di ridurre effetti negativi di erosione dei fondali antistanti e la perdita verso il largo, al di là del gradino subacqueo, dei sedimenti del trasporto litoraneo con conseguente deficit dell'area a Nord delle infrastrutture portuali.

Per contro in questo tratto non esistono requisiti stringenti sul contorno planimetrico.

È stata quindi adottata la tipologia a scogliera, con mantellata principale in massi artificiali ad elevata porosità (CORE-LOC). Questa tipologia consente di avere tracimazione ridotta e coefficienti di riflessione inferiori a 0.4 per tutto il campo di moti ondosi incidenti. Inoltre quest'opera, a differenza di un'opera a parete verticale, può subire danni o cedimenti di una certa entità senza rischi di collasso o oneri di riparazione eccessivi.

### **ZONA B – Molo foraneo fronte mare.**

I requisiti in merito al contorno delle opere giocano in questo tratto un ruolo preminente sia per mantenere le dimensioni dello specchio acqueo interno, sia per la profondità e ripidità dei fondali antistanti.

La riflessione e la tracimazione hanno un ruolo meno critico.

La soluzione progettata consiste in un'opera a parete verticale con fondazioni profonde su pali di grande diametro, caratterizzata da stabilità adeguata nei confronti dei carichi dovuti al moto ondoso ed agli eventi sismici.

### **ZONA C – Banchina interna molo foraneo.**

Quest'opera è integrata con la struttura della zona precedente e deve osservare gli stringenti limiti planimetrici prescritti, nonché i requisiti di stabilità e limitati spostamenti.

Nei documenti di gara viene anche specificato un coefficiente di riflessione massimo di 0.4.

A tale proposito è necessario osservare che l'opera in questione è soggetta a due tipi di attacco ondoso:

- Onde provenienti dal settore di traversia principale, che raggiungono l'opera per effetto della diffrazione. Le onde esterne possono avere altezze e periodi elevati ma hanno direzione 140-150° N (v. Relazione Idraulico Marittima G797\_A008R\_0).



Con queste direzioni del moto ondoso esterno le onde incidenti sull'opera hanno altezza molto attenuata e soprattutto direzione di propagazione quasi parallela al fronte dell'opera stessa.

Come illustrato nella Fig. 3.1 anche una parete piena in condizioni di moto ondoso fortemente obliquo ( $>60^\circ$ ) ha coefficienti di riflessione inferiori a 0.4.

- Onde di piccola ampiezza provenienti dalla riflessione delle opere al contorno ovest del bacino e onde di piccola ampiezza e breve periodo generate dai traghetti.

La soluzione adottata consiste in pratica in una struttura a celle di notevole larghezza (circa 15 m) dotata di setti forati disposti sia sul fronte di banchina che trasversalmente.

Si ritiene che questa tipologia, per le considerazioni riportate nel Cap. 3, garantisca un coefficiente di riflessione inferiore a limite 0.4 per tutte le condizioni di moto ondoso incidenti. Una verifica ed una ottimizzazione sotto il profilo riflessione delle caratteristiche dell'opera richiede l'esecuzione di prove su modello fisico.

Per riprodurre le condizioni di incidenza obliqua è necessario ricorrere a prove in vasca, che non sono state eseguite in questa fase, ma verranno previste in caso di aggiudicazione come parte delle attività del Progetto Esecutivo.

#### **ZONA D**

Si tratta della parte delle banchine con maggiore protezione rispetto alle onde diffratte con provenienza al largo dal settore principale.

I criteri prioritari sono costituiti dalla posizione del contorno del bacino e dalla riflessione.

La tipologia strutturale adottata è quella a parete verticale con camera antiriflettente con scarpate interna a scogliera.

Il progetto di quest'opera è stato basato su un programma specifico di prove su modello, eseguito presso il Laboratorio IMAGE dell'Università di Padova.

Le prove in canaletta, discusse nel Capitolo successivo, hanno permesso di ottimizzare le prestazioni della struttura, garantendo l'osservanza dei requisiti di riflessione per tutte le condizioni di moto ondoso cui l'opera può essere soggetta.

#### **ZONA E ed F**

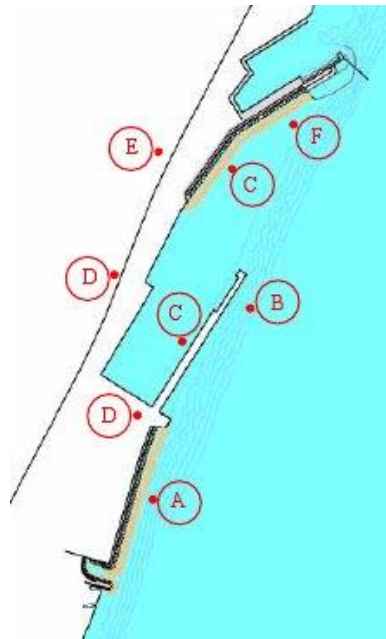
Questi tratti delle opere sono direttamente esposti alle onde esterne e proteggono le zone operative del nuovo porto e del molo esistente.

Risultano quindi esigenze prioritarie la riduzione della riflessione e tracimazione.

Nel caso dell'area F è anche essenziale tenere conto della presenza delle opere esistenti e raccordarsi con le opere di sistemazione del tratto terminale.

Si è pertanto adottata la tipologia a scogliera con mantellata in massi artificiali ad elevata porosità.

Le caratteristiche dell'opera nella zona F son tali da limitare le difficoltà esecutive, realizzando nel contempo un sensibile ampliamento della banchina esistente.



TRATTO	CRITICITA'	ESPOSIZIONE MOTO ONDOSO	TIPOLOGIA ADOTTATA
A	TRACIMAZIONE RIFLESSIONE LIMITI DANNO/SPOSTAMENTI LIMITI PLANIMETRICI	 DIRETTA LIMITATA OBLIQUITA'	SCOGLIERA CON MANTELLATA AD ELEVATA POROSITA'
B	LIMITI PLANIMETRICI LIMITI DANNO/SPOSTAMENTI TRACIMAZIONE RIFLESSIONE	 DIRETTA LIMITATA OBLIQUITA'	PARETE VERTICALE CON FONDAZIONE PROFONDA
C	LIMITI PLANIMETRICI LIMITI DANNO/SPOSTAMENTI RIFLESSIONE TRACIMAZIONE	 ONDE DIFFRATTE FORTE OBLIQUITA'	PARETE VERTICALE CON FONDAZIONE PROFONDA E SETTI FORATI
D	RIFLESSIONE LIMITI PLANIMETRICI LIMITI DANNO/SPOSTAMENTI TRACIMAZIONE	 ONDE DIFFRATTE LIMITATA OBLIQUITA'	PARETE VERTICALE CON CAMERA ANTIRIFLETTENTE
E	RIFLESSIONE TRACIMAZIONE LIMITI PLANIMETRICI LIMITI DANNO/SPOSTAMENTI	 DIRETTA LIMITATA OBLIQUITA'	SCOGLIERA CON MANTELLATA AD ELEVATA POROSITA'
F	TRACIMAZIONE RIFLESSIONE LIMITI DANNO/SPOSTAMENTI LIMITI PLANIMETRICI	 DIRETTA LIMITATA OBLIQUITA'	SCOGLIERA CON MANTELLATA AD ELEVATA POROSITA'

Figura 4.1 – Criteri di scelta e tipologie adottate per le opere

## **5 PROVE SU MODELLO FISICO PER L'OTTIMIZZAZIONE DELLE STRUTTURE DI BANCHINA ANTIRIFLETTENTI**

Come illustrato nel Capitolo 3, le strutture di banchina con camere antiriflettenti, del tipo adottato nel Progetto Preliminare, consentono di ottenere bassi coefficienti di riflessione, a patto tuttavia che le caratteristiche dimensionali vengano ottimizzate per le condizioni di moto ondosio incidenti.

A tal fine è stato eseguito un programma di prove in canaletta presso il Laboratorio IMAGE dell'Università di Padova.

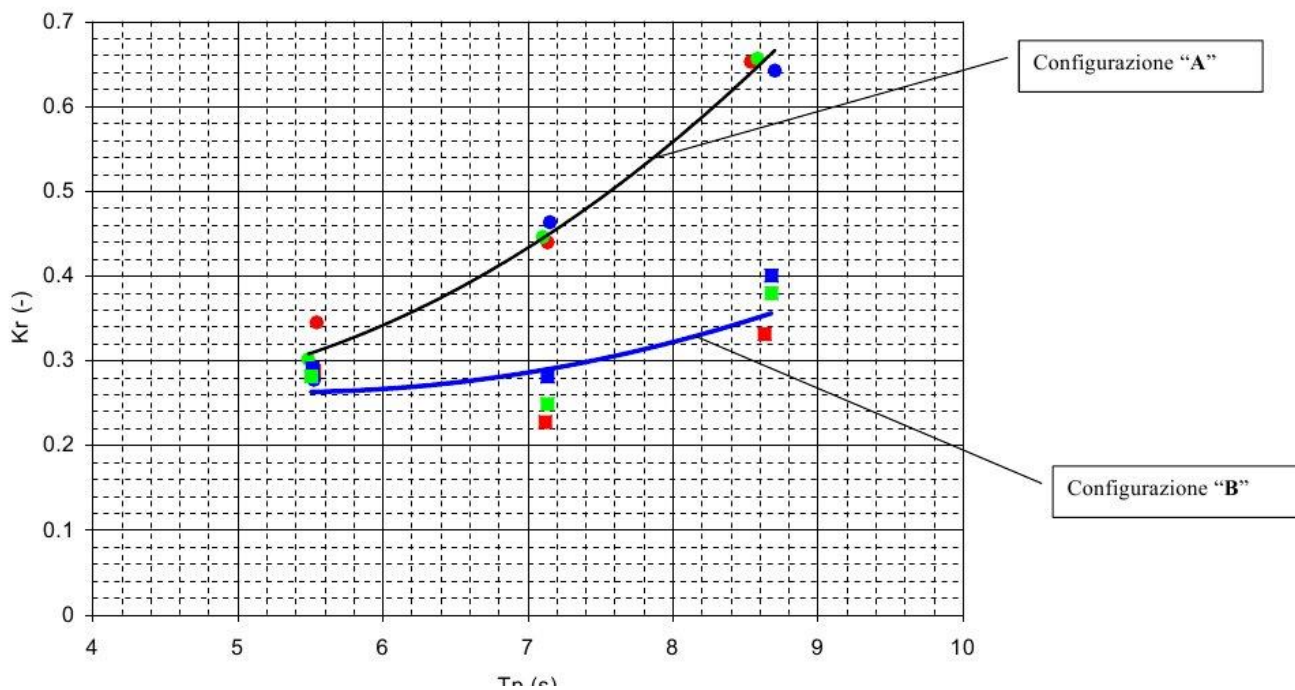
Il rapporto delle prove è allegato alla presente relazione.

Sono state provate due configurazioni.

La prima, denominata "A", ha dimensioni illustrate nel progetto preliminare; la soluzione "B" è stata invece ottimizzata dal punto di vista della riflessione e tracimabilità.

Le prove sono state eseguite con onde irregolari e regolari coprendo tutto il campo di periodi delle onde cui l'opera può essere soggetta (da 5 a 9 s) ed altezza fino ad  $H_s = 1.0$  m.

Come si può notare dalla Fig. 5.1 e dettagliatamente esposto nelle conclusioni del rapporto All. 1, la configurazione "B" adottata per il Progetto Definitivo ha dimostrato un comportamento soddisfacente e rispondente alle prescrizioni per tutto il campo di condizioni di prova.



**Figura 5.1 – Prove su modello fisico – coefficienti di riflessione caratteristici della Configurazione “A” e Configurazione “B” (adottata per il presente progetto)**

## **6 CONTORNO PLANIMETRICO DELLE OPERE**

Le opere incluse nel presente progetto rispettano i limiti planimetrici discussi nel Par. 2.4.

Nei disegni di progetto viene riportato, per riferimento, l'allineamento invariante indicato nel bando e nelle successive precisazioni fornite in risposta al quesito N° 41.

Queste informazioni sono mostrate schematicamente nella Fig. 2.1.

Il contorno dello specchio acqueo nelle zone tra i punti A-B e C-D indicati nel bando e nella risposta al quesito N° 41 è stato variato nei termini consentiti per ottenere un'adeguata stabilità geotecnica ed una migliore configurazione nella zona del molo esistente.

Nella parte rimanente il contorno dello specchio acqueo di progetto alla quota 0.0 l.m.m. coincide con quello prescritto.

Nell'area Nord del porto la struttura a parete verticale indicata nel Progetto Preliminare è stata sostituita con la struttura a scogliera per le esigenze discusse nel Cap. 4, mantenendo tuttavia come si è detto la posizione della linea d'acqua prescritta.

Il piede dell'opera non crea comunque problemi per la sicurezza della navigazione.

Infatti lo studio CETENA è stato eseguito sulla configurazione planimetrica del Piano Regolatore.

Come si può notare dalla Fig. 2.1 il contorno della darsena portuale del progetto preliminare risulta traslato verso il largo rispetto alla configurazione del Piano nell'area delle banchine (~20 m per il molo foraneo), mentre risulta coincidente con lo stesso nell'area di cui si tratta.

Ciò comporta che l'inviluppo delle manovre di ingresso ed accosto riportato nello studio CETENA ha un margine di sicurezza aggiuntivo rispetto alla posizione del contorno delle opere nel tratto dove si è prevista la scogliera.

Il piede della stessa risulta quindi in posizione tale da non creare rischi o limitazioni per la navigabilità (Fig. 2.1).

## **7 STUDIO DELL'AGITAZIONE INTERNA**

### **7.1 GENERALITÀ**

Il presente capitolo ha lo scopo di illustrare lo studio dell'agitazione interna nello scalo portuale di Tremestieri, per verificarne l'operatività a seconda delle diverse condizioni di moto ondoso che si verificano al di fuori del bacino portuale.

La condizione limite di altezza d'onda che deve essere garantita per consentire l'operatività e sicurezza dell'ormeggio dei traghetti e delle navi Ro-Ro all'interno dello scalo portuale è stata fissata a 0.7 m, come è riportato nella relazione dello "Studio idraulico marittimo" facente parte dei documenti a base di gara.

Il calcolo dell'agitazione ondosa è stato effettuato con il modello DIFFRAC, sviluppato dal Laboratorio Delft Hydraulics (Olanda).

### **7.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DIFFRAC**

Lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno del porto è stato effettuato usando il modello matematico DIFFRAC, messo a punto da Delft Hydraulics (Olanda). Il modello calcola il comportamento idrodinamico conseguente alla penetrazione di un campo d'onde regolari e unidirezionali all'interno di un bacino portuale di forma qualsiasi. Il porto e l'area esterna di propagazione del moto ondoso possono essere schematizzati suddividendoli in più bacini contigui, aventi profondità anche diversa ma costante nel singolo bacino.

Gli effetti di cui DIFFRAC tiene conto sono la diffrazione e le caratteristiche di riflessione delle opere che delimitano il bacino portuale. Non sono invece riprodotti i fenomeni di rifrazione (se non in modo schematico e solo in prossimità della linea di connessione tra due bacini contigui aventi diversa profondità), di frangimento e quelli associati alla irregolarità del moto ondoso. Tali fenomeni non hanno un ruolo rilevante nel caso in esame.

Il modello DIFFRAC si è rivelato uno strumento affidabile per riprodurre le caratteristiche principali dei fenomeni d'agitazione interna. I risultati sono indicativi in valore assoluto – ancorché da non assumere rigidamente, essendo inevitabilmente influenzati dalle ipotesi e schematizzazioni fatte – e certamente significativi per gli scopi della presente relazione.

### **7.3 PLANIMETRIA E STRUTTURE AL CONTORNO**

La Fig. 7.1 illustra la planimetria schematica del porto.

Come descritto nel Capitolo 4, le caratteristiche delle strutture sono:

- Banchina 1 lato mare – parete verticale
- Banchina 1 lato interno – parete verticale a setti forati
- Banchine 2, 3 e 4 – banchina antiriflettente (Cap. 5)
- Tratto Nord – Scogliera con mantellata in massi artificiali ad elevata permeabilità.

## 7.4 MODELLAZIONE DEL PORTO

La schematizzazione utilizzata nel modello è illustrata nella Fig. 7.2.

Il modello è costituito da:

- un “confine d’ingresso” al largo, corrispondente al lato sul quale si presentano le onde incidenti con direzione e periodo prefissati, d’estensione e posizione opportuna in funzione delle onde da simulare;
- “lati fisici” del modello, che identificano il contorno del porto e della costa adiacente e che riflettono, in proporzione al loro coefficiente di riflessione, il moto ondoso;
- “linee di connessione” che delimitano i bacini contigui;
- “linee d’apertura” che consentono il passaggio del moto ondoso senza rifletterlo.

Per quanto riguarda i coefficienti di riflessione dei lati fisici del modello si è assunto:

- Tratto di spiaggia  $C_R = 0.1$
- Mantellata a scoglio  $C_R = 0.4$
- Parete verticale lato muro del molo foraneo  $C_R = 1$

Per quanto riguarda le banchine antiriflettenti (banchine 2, 3 e 4 di Fig. 7.1) il valore di  $C_R$  è stato adattato al periodo dell’onda incidente utilizzando i risultati delle prove su modello descritte in All. 1, come indicato nella legenda di Fig. 7.2.

## 7.5 CONDIZIONI DI MOTO ONDOSO

Le condizioni d’onda utilizzate nelle simulazioni eseguite sono riassunte nella tabella seguente:

<b>Condizione ondosa</b>	<b>Frequenza di superamento</b> <b>Periodo di ritorno</b>	<b>Direzione</b> (°N)	<b>Hs</b> (m)	<b>Tp</b> (s)
1	10 giorni/anno	150	2.5	7
2	1 anno	50	1	5
3	10 anni	140	3.9	9

## 7.6 RISULTATI – AGITAZIONE AGLI ACCOSTI

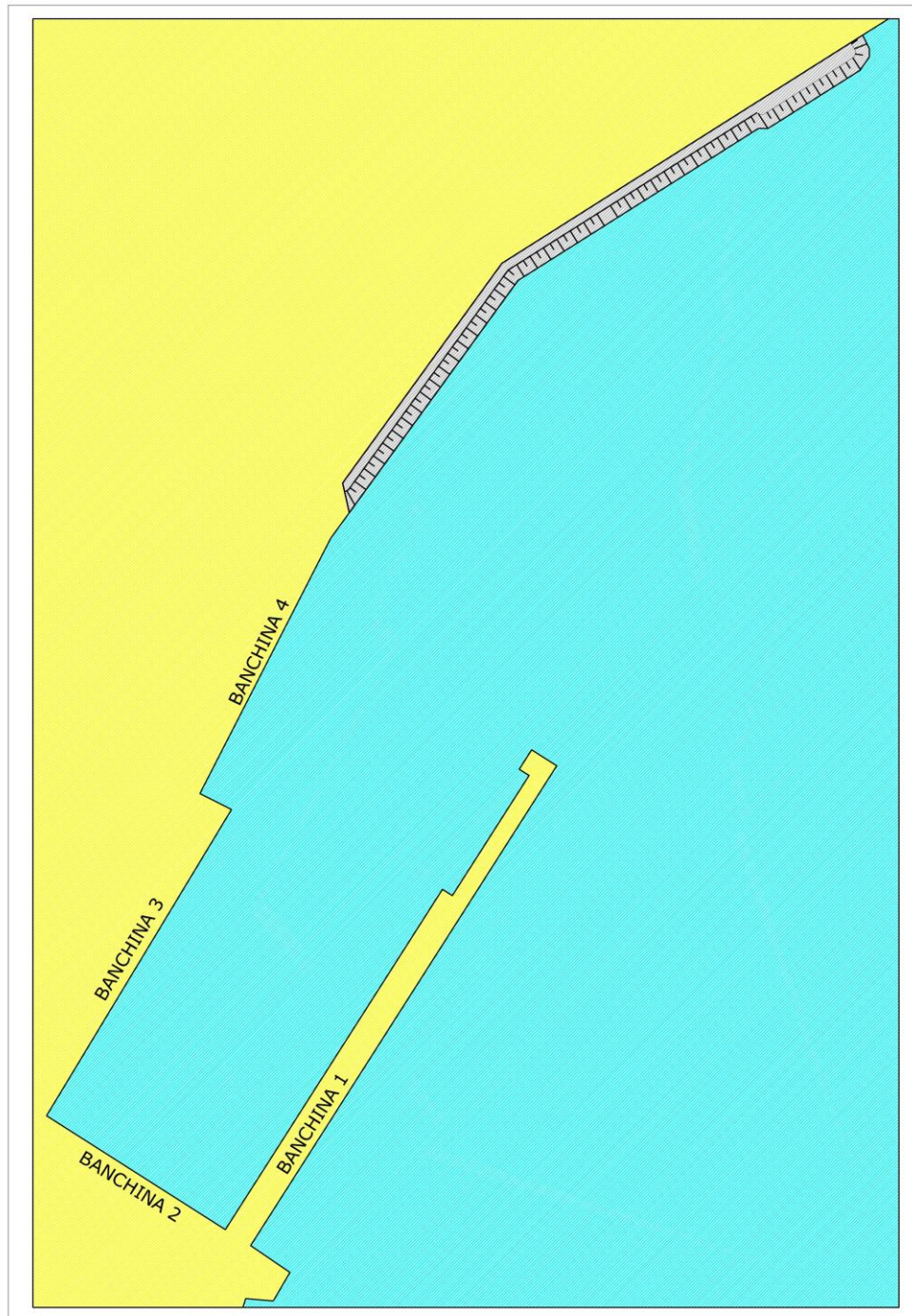
I risultati dei calcoli sono riportati rispettivamente nelle figg 7.3, 7.4 e 7.5 sotto forma di plottaggi in cui aree a diverso colore rappresentano zone soggette a diversi campi di altezza d’onda.

I risultati portano alle seguenti conclusioni:

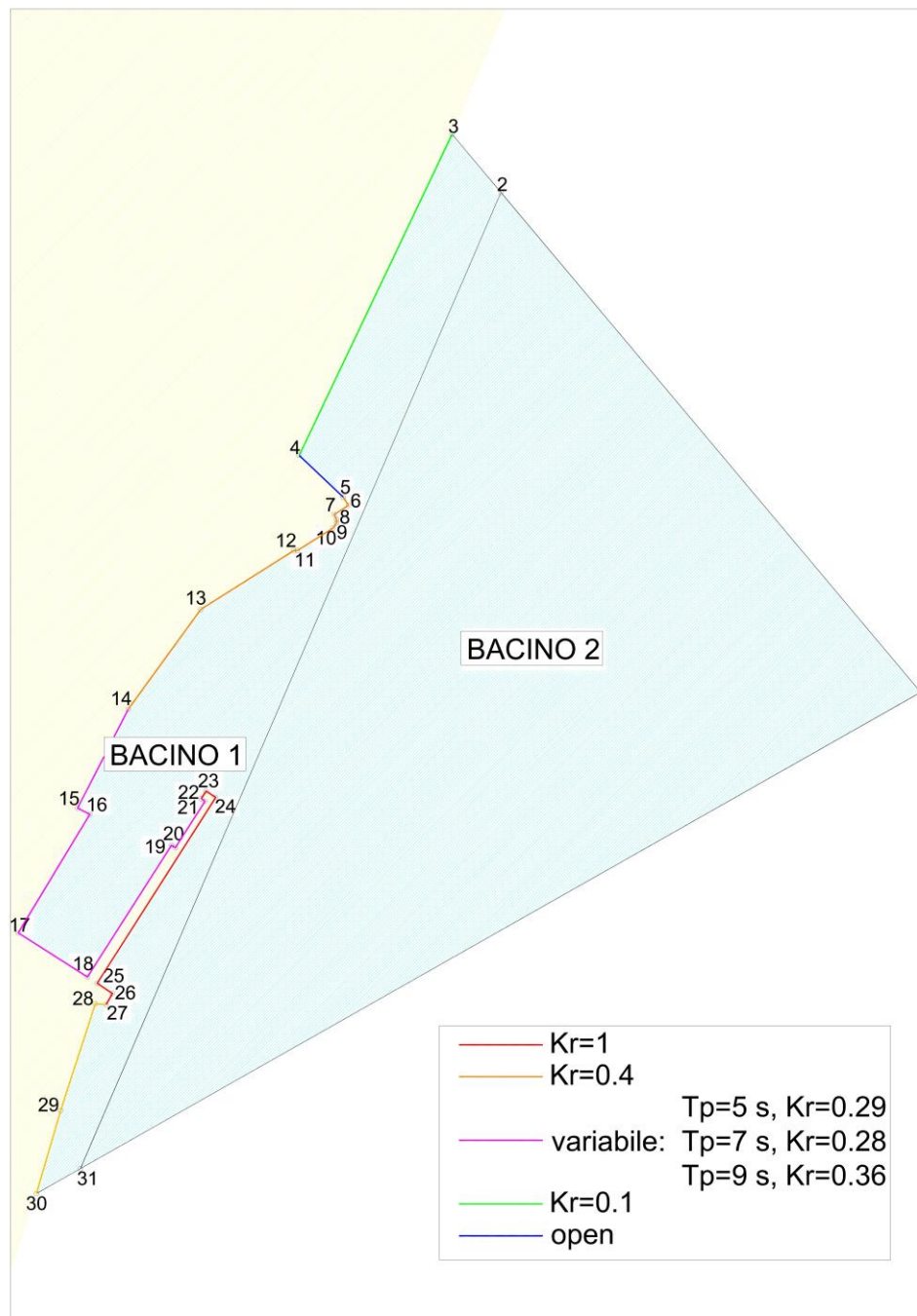
- anche per le condizioni più severe dal settore di traversia principale la banchina del molo foraneo, la zona delle rampe e la banchina di riva sud risultano ben protette (banchine 1, 2 e 3 di Fig. 7.1);

- all'ormeggio alla banchina di riva nord (banchina 4 di Fig. 7.1) si eccedono invece i limiti di sicurezza per onde dal settore principale superato per qualche giorno all'anno;
- le onde di 50°N entrano direttamente nel bacino. La zona della banchina 1 e 2 resta ancora nei limiti di sicurezza per eventi con periodo di ritorno annuale. I limiti vengono invece ecceduti per eventi annuali alle banchine 3 e 4 (Fig. 7.1).

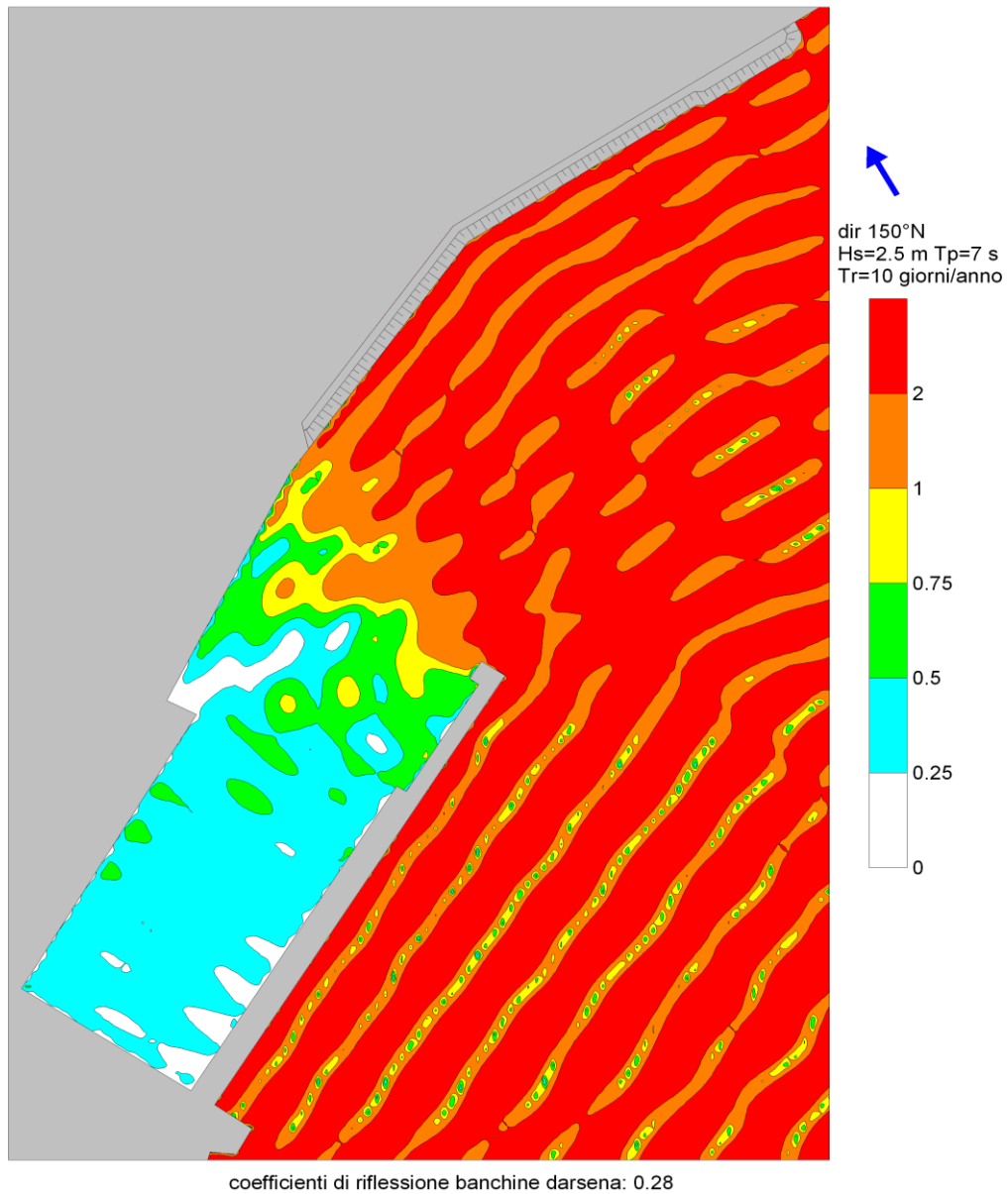




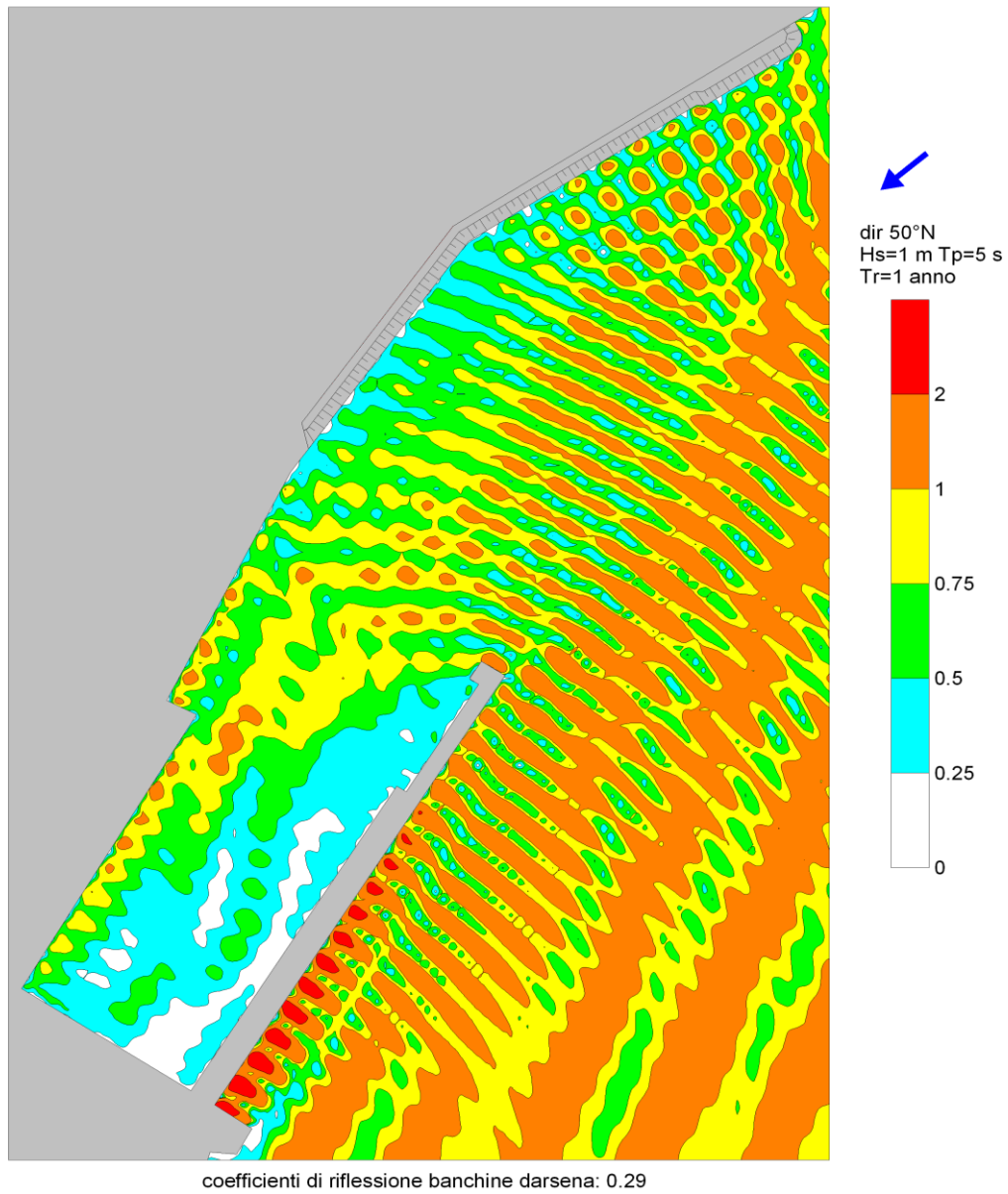
**Figura 7.1 – Rappresentazione schematica dello scalo portuale di Tremestieri**



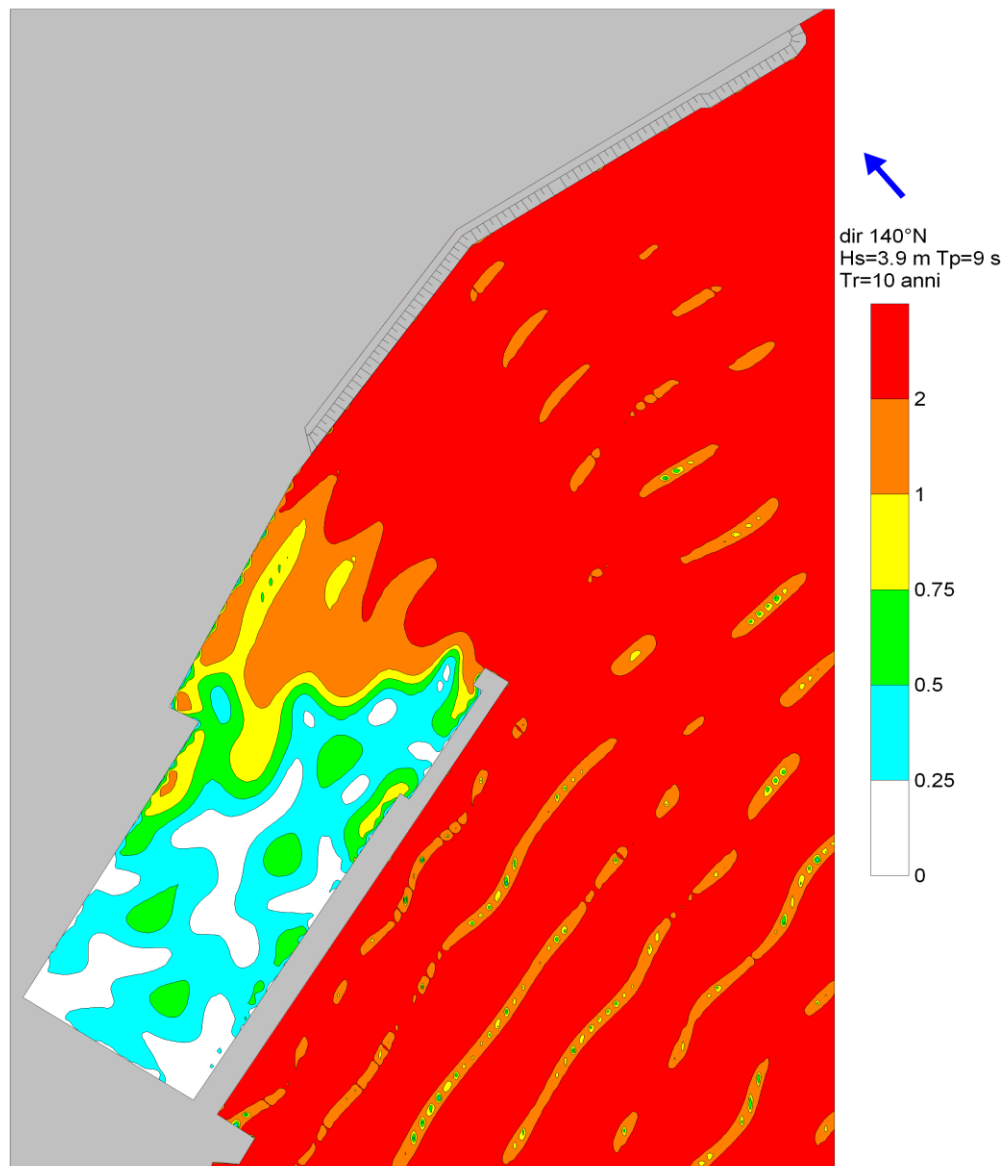
**Figura 7.2 – Schematizzazione dell'area di studio con il modello DIFFRAC**



**Figura 7.3 – dir 150°N, Tp=7 s**



**Figura 7.4 – dir 50°N, Tp=5 s**



coefficienti di riflessione banchine darsena: 0.36

**Figura 7.5 – dir 140°N, Tp=9 s**

## **8 RIFERIMENTI**

- 1) Coastal Engineering Manual – Part VI
- 2) B. Zanuttigh – J. Van der Meer – Wave reflection from coastal structures
- 3) D.A. Papps – Oblique wave reflection from a model rubble mound break water (University of Canterbury 1990)
- 4) U. Liberatore – Sul comportamento di una banchina a gravità con vari tipi di sovrastruttura antiriflettente sottoposta all'azione del moto ondoso – Università di Padova.
- 5) EurOtop – Wave overtopping of Sea Defence and Related Structures – Assessment Manual (2008)



## STUDIO SU MODELLO FISICO SUL POTERE DI RIFLESSIONE DELLA BANCHINA DEL PORTO DI TREMESTIERI (ME)



Padova, aprile 2010

## STUDIO SU MODELLO FISICO SUL POTERE DI RIFLESSIONE DELLA BANCHINA DEL PORTO DI TREMESTIERI (ME)

### INDICE

1. Premesse.....	3
2. Descrizione dell'apparato sperimentale e delle prove effettuate .....	4
3. Caratteristiche delle onde riprodotte .....	13
4. Risultati dei test.....	14
4.1 Metodo di calcolo del coefficiente di riflessione.....	18
4.2 Tabelle dei risultati sperimentali.....	20
5. Osservazioni conclusive.....	23

### INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1. Confronto tra le configurazioni "A" (in rosso) e "B" (in verde).....	3
Fig. 2. Ubicazione modello e sonde di misura nel canale.....	5
Fig. 3. Ubicazione delle sonde 1-2-3-4 .....	6
Fig. 4. Ubicazione delle sonde 5-6-7-8 .....	7
Fig. 5. Disegni progettuali della Configurazione "A" .....	9
Fig. 6. Disegni progettuali della Configurazione "B".....	10
Fig. 7. Prospetto della Configurazione "A" .....	11
Fig. 8. Prospetto della Configurazione "B" .....	12
Fig. 9. Coefficienti di riflessione caratteristici della Configurazione "A" e Configurazione "B".....	17

### INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1. Caratteristiche delle onde simulate, riferite al prototipo ed al modello.....	13
Tab. 2 Caratteristiche delle onde misurate nei test relativi alla Configurazione "A" .....	15
Tab. 3 Caratteristiche delle onde misurate nei test relativi alla Configurazione "B" .....	15
Tab. 4 Risultati essenziali dei test relativi alla Configurazione "A" .....	16
Tab. 5 Risultati essenziali dei test relativi alla Configurazione "B" .....	16
Tab. 6 Tabella dei risultati della fase di ricerca d'onda (valori riferiti al modello).....	21
Tab. 7 Tabella dei risultati della Configurazione "A" (valori riferiti al modello).....	22
Tab. 8 Tabella dei risultati della Configurazione "B" (valori riferiti al modello) .....	22



## 1. Premesse

In seguito al contratto stipulato tra la società NUOVA CO.ED.MAR. S.R.L., con sede in via Banchina F, località Val da Rio, Chioggia (Venezia) ed il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica dell'Università di Padova è stato effettuato uno studio sperimentale, nel Laboratorio Marittimo del Dipartimento, per valutare il coefficiente di riflessione della banchina del porto di Tremestieri (ME).

Lo studio ha avuto la finalità di confrontare il coefficiente di riflessione caratteristico della banchina posta a base di gara (configurazione "A") con il coefficiente di riflessione della banchina proposta dal Committente (configurazione "B"). Le due configurazioni sono rappresentate graficamente nella seguente Fig. 1.

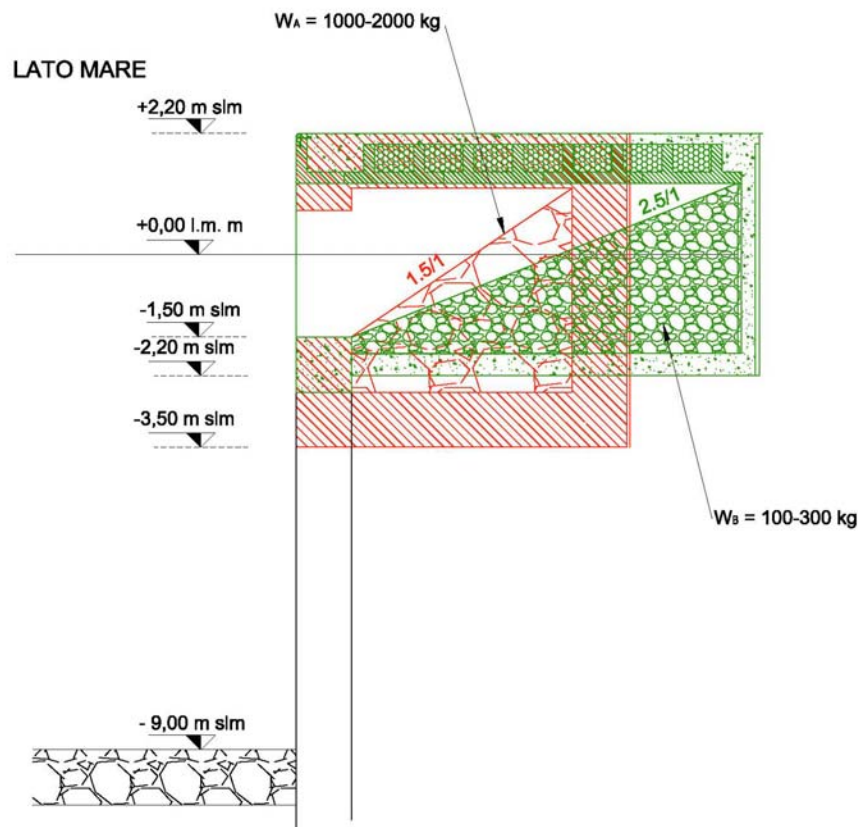


Fig. 1. Confronto tra le configurazioni "A" (in rosso) e "B" (in verde)

Gli studi effettuati hanno pertanto consentito di valutare il comportamento delle due opere portuali, sottoponendo le opere all'azione di una serie di mareggiate ritenute rappresentative delle condizioni meteorologiche del sito di indagine, le cui caratteristiche sono state fornite dal Committente.

## 2. Descrizione dell'apparato sperimentale e delle prove effettuate

Le prove sperimentali sono state effettuate nel canale ad onde del Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica dell'Università di Padova. Tale struttura è caratterizzata da una lunghezza di 36.00m, da una larghezza di 1.00m e da una profondità di 1.30m.

Per la realizzazione delle prove il canale è stato allestito con un fondo fisso, realizzato in malta cementizia, riproducendo la corretta batimetria della zona antistante le opere .

Il tirante d'acqua adottato per l'esecuzione delle prove, misurato in corrispondenza dell'apparato ondogeno, è di circa 0.8m; i modelli delle opere portuali sono stati collocati in un fondale di 0.45m, corrispondente ad una profondità di 9.0m nel reale.

La Fig. 2 presenta la sezione longitudinale del canale ad onde. In essa sono riportate anche le posizioni del modello (collocato a 25.75m dal generatore d'onde) e delle sonde resiste utilizzate per determinare i livelli idrici istantanei e, quindi, per valutare le caratteristiche del moto ondoso.

In particolare, la sonda n.1 è stata ubicata ad una distanza di 7.40 m dal generatore, mentre le sonde n. 2, 3, 4 sono state posizionate alle mutue distanze indicate in Fig. 3. Analogamente la sonda n. 5 è stata ubicata ad una distanza di 23.25 m dal generatore, mentre le sonde n. 6, 7, 8 sono state posizionate alle mutue distanze indicate in Fig. 4.

Le distanze reciproche delle sonde dei due gruppi sono state scelte opportunamente per consentire di valutare il coefficiente di riflessione caratteristico delle opere in esame.

Le caratteristiche delle onde di progetto sono state controllate tramite le sonde più prossime alle opere portuali in esame.

L'apparato ondogeno del canale ad onde è dotato di un pistone (controllato da un sistema oleodinamico con trasduttore di posizione collegato a pc) ed è in grado di riprodurre sia attacchi ondosi regolari (onde monocromatiche, o sinusoidali), che irregolari (ossia "onde reali"), di assegnato "spettro".

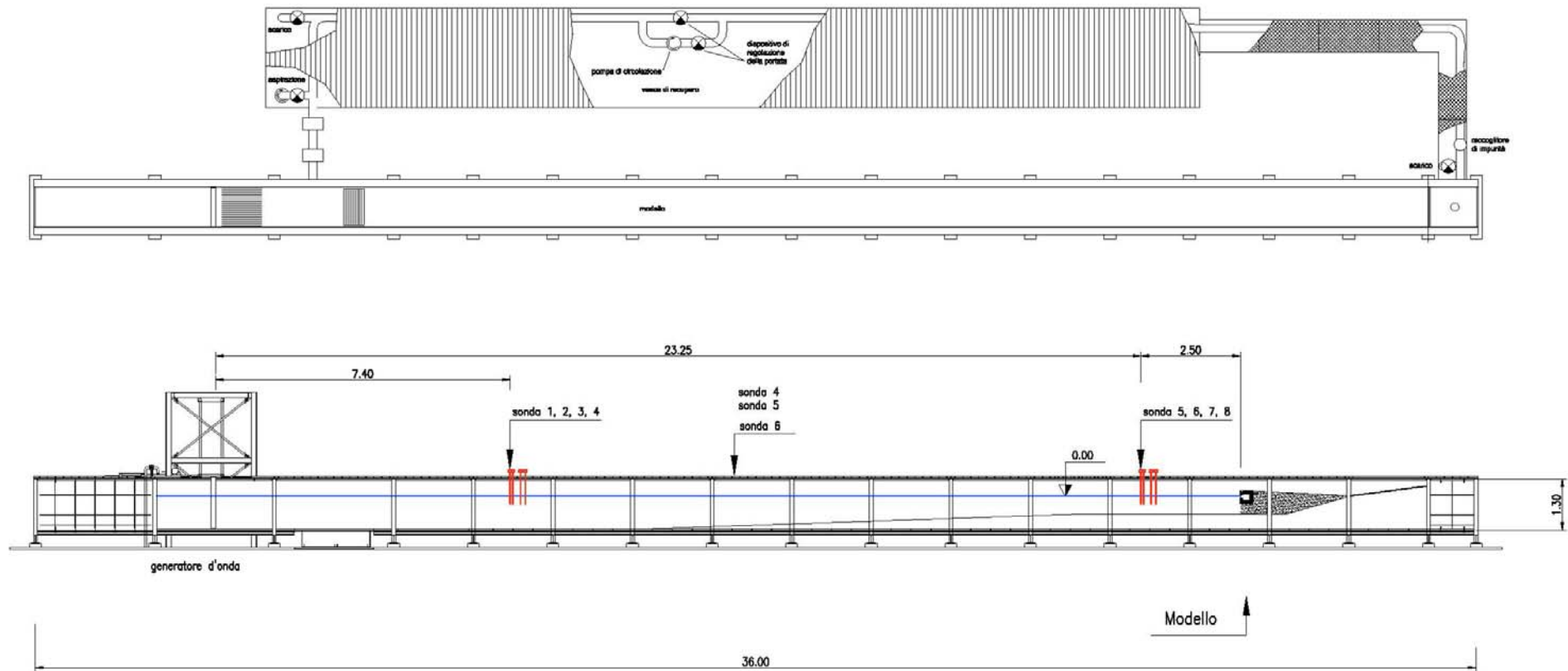


Fig. 2. Ubicazione modello e sonde di misura nel canale

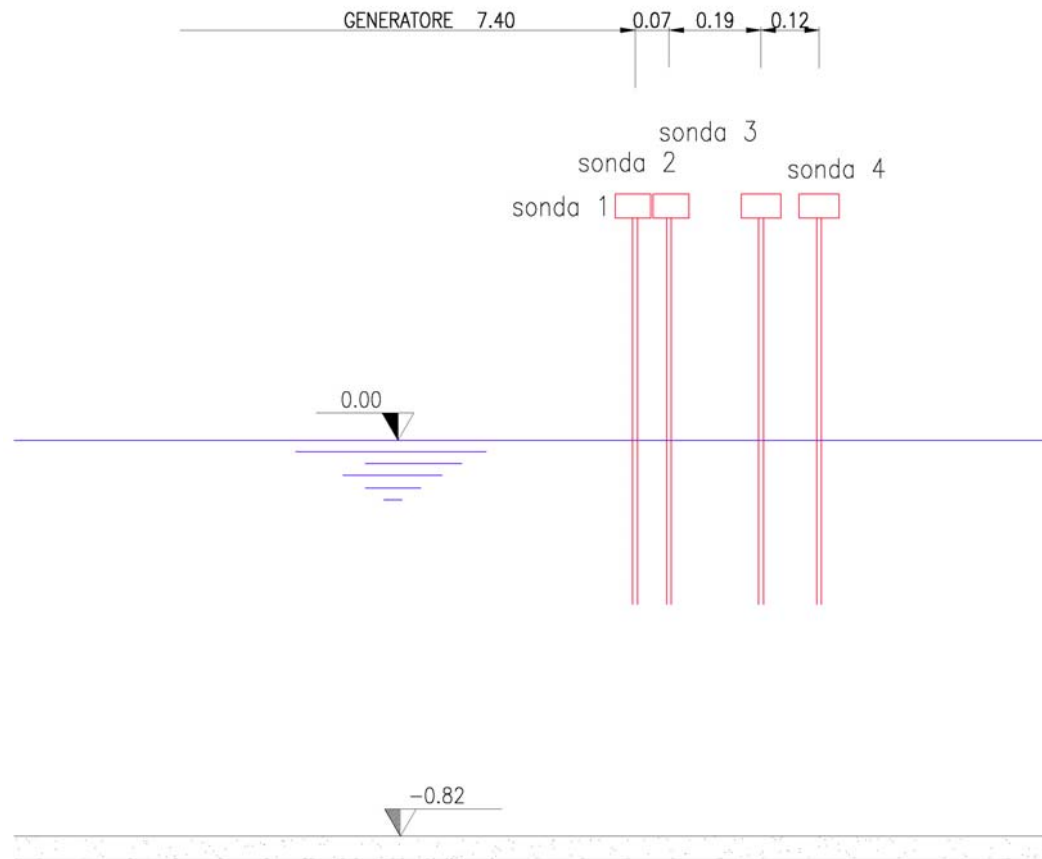


Fig. 3. Ubicazione delle sonde 1-2-3-4

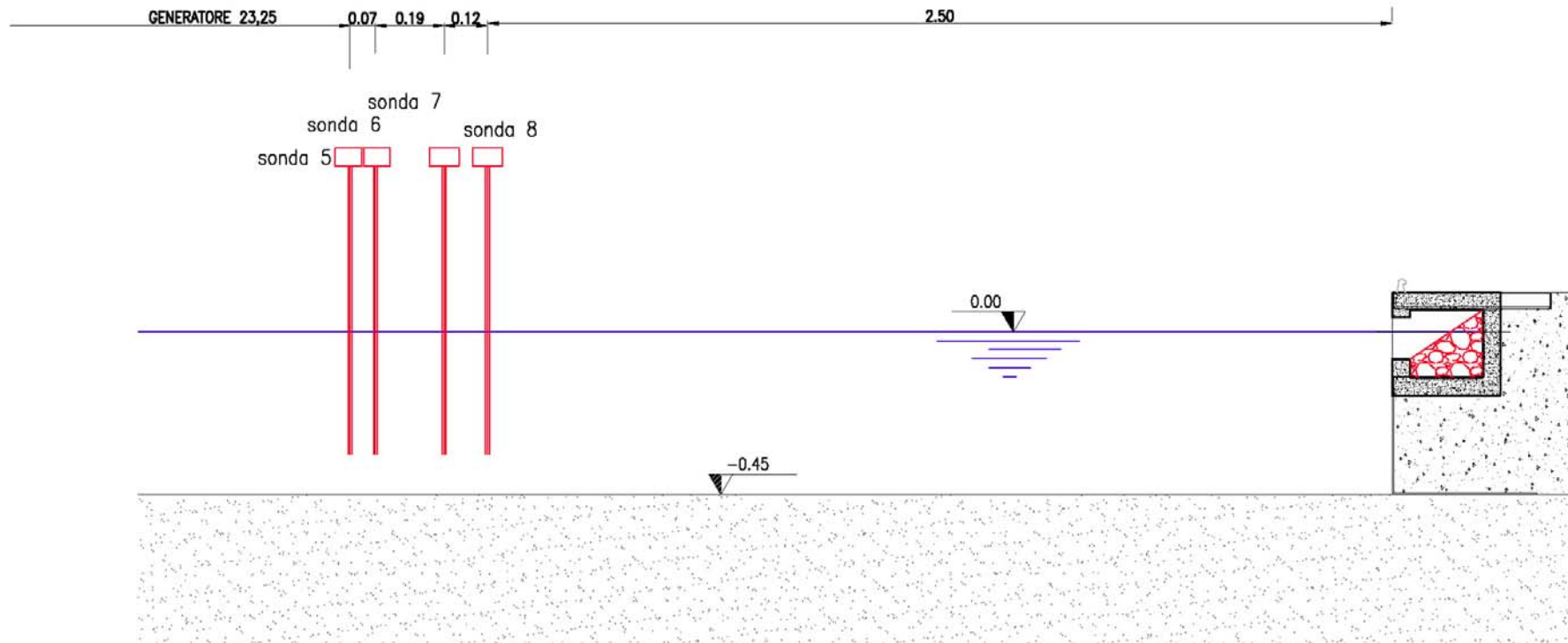


Fig. 4. Ubicazione delle sonde 5-6-7-8

Lo studio è stato effettuato riproducendo le opere in scala geometrica 1:20

Poiché le opere in esame sono imbasate su di un fondale di circa -9.0 m, il corrispondente tirante d'acqua nel modello risulta pari a 45.0 cm; procedendo verso il largo, il fondale è stato raccordato al fondo del canale, come evidenziato in Fig. 2.

Come di consueto negli studi di ingegneria marittima, per lo studio su modello in scala ridotta, si è adottata la similitudine di Froude; pertanto, una volta fissata la più idonea scala di riduzione geometrica (dettata dalle dimensioni delle opere, in rapporto alle dimensioni dell'apparato sperimentale):

$$l_r = \frac{l_m}{l_p} = \frac{1}{20}$$

in cui  $l_m$  ed  $l_p$  sono rispettivamente le lunghezze riferite al modello ed al prototipo, si sono ottenute le seguenti scale di riduzione, adottate poi nello studio sperimentale:

$$t_r = \frac{t_m}{t_p} = \frac{1}{\sqrt{20}} = \frac{1}{4.47}$$

scala dei tempi

$$T_r = \frac{T_m}{T_p} = \frac{1}{\sqrt{20}} = \frac{1}{4.47}$$

scala dei periodi d'onda

$$V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{1}{20^3} = \frac{1}{8000}$$

scala dei volumi

$$W_r = \frac{W_m}{W_p} = \frac{1}{9032}$$

scala dei pesi <sup>1</sup>

Particolare cura è stata dedicata alla corretta riproduzione in scala delle opere in progetto: tutte le misure geometriche sono state fedelmente riprodotte e scalate, compresi le dimensioni ed i pesi dei massi.

Entrambe le opere sono state realizzate in acciaio; i disegni di progetto delle due configurazioni "A" e "B" sono riportati nelle seguenti Fig. 5 e Fig. 6.

Le sezioni di progetto, così come realizzate nel modello, sono rappresentate nelle rappresentazioni prospettiche di Fig. 7 (configurazione "A") e di Fig. 8 (configurazione "B").

Come evidenziato in Fig. 1, il peso dei massi di riempimento delle "celle antiriflettenti" è diverso: per la configurazione "A" infatti il peso dei massi è compreso tra 1000÷2000kg (110÷220g nel modello) e la scarpata è disposta con pendenza 1:1.5, mentre per la configurazione "B" il peso dei massi è compreso tra 100÷300kg (10÷30g nel modello) e la pendenza è più dolce e pari ad 1:2.5.

---

<sup>1</sup> la scala dei pesi non è pari alla scala dei volumi (1:8000), in quanto si è dovuto tenere in considerazione il fatto che l'acqua nel laboratorio è dolce, e non salata come quella del prototipo, per cui risulta una scala di riduzione (basata sulla formula di Hudson) più elevata.

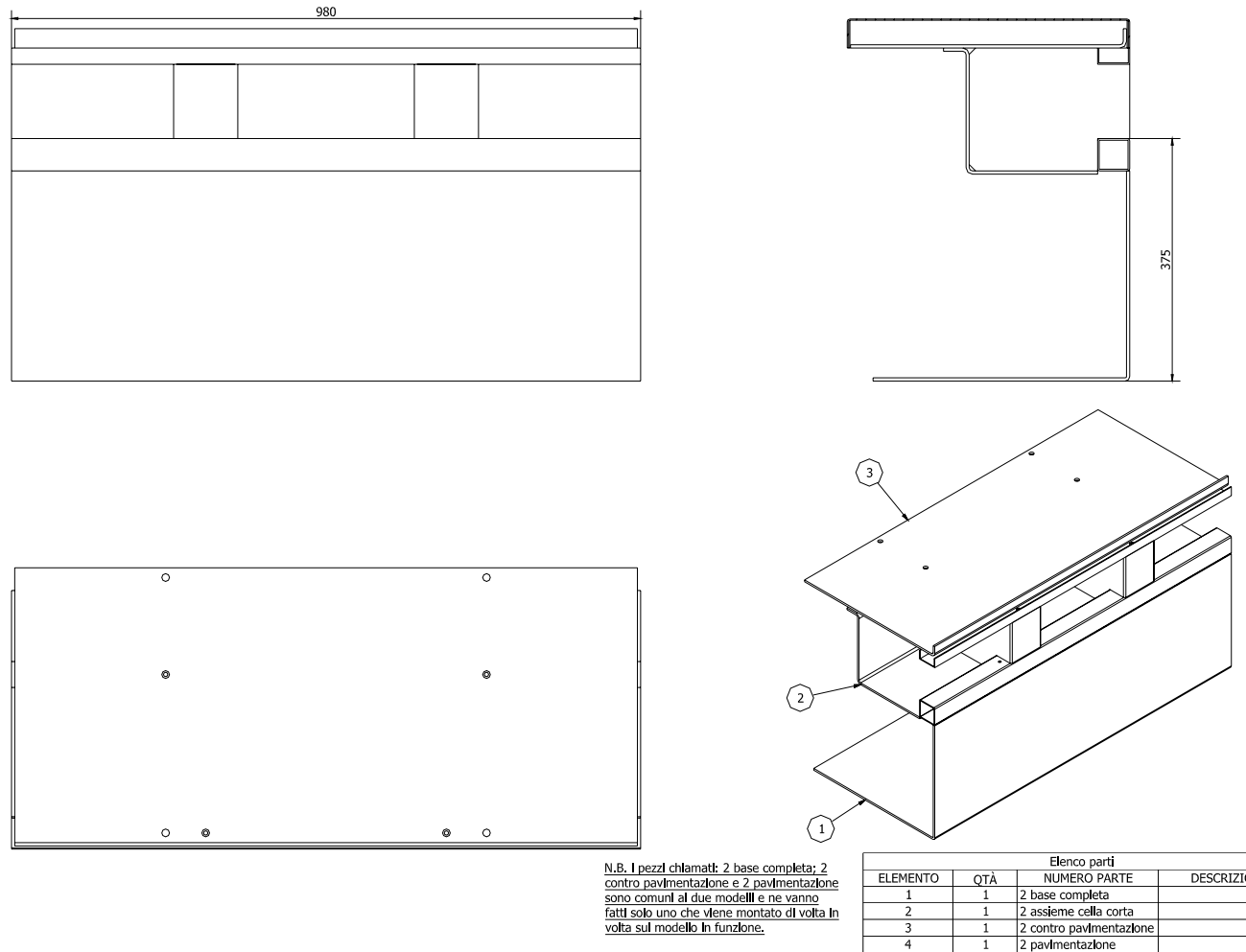
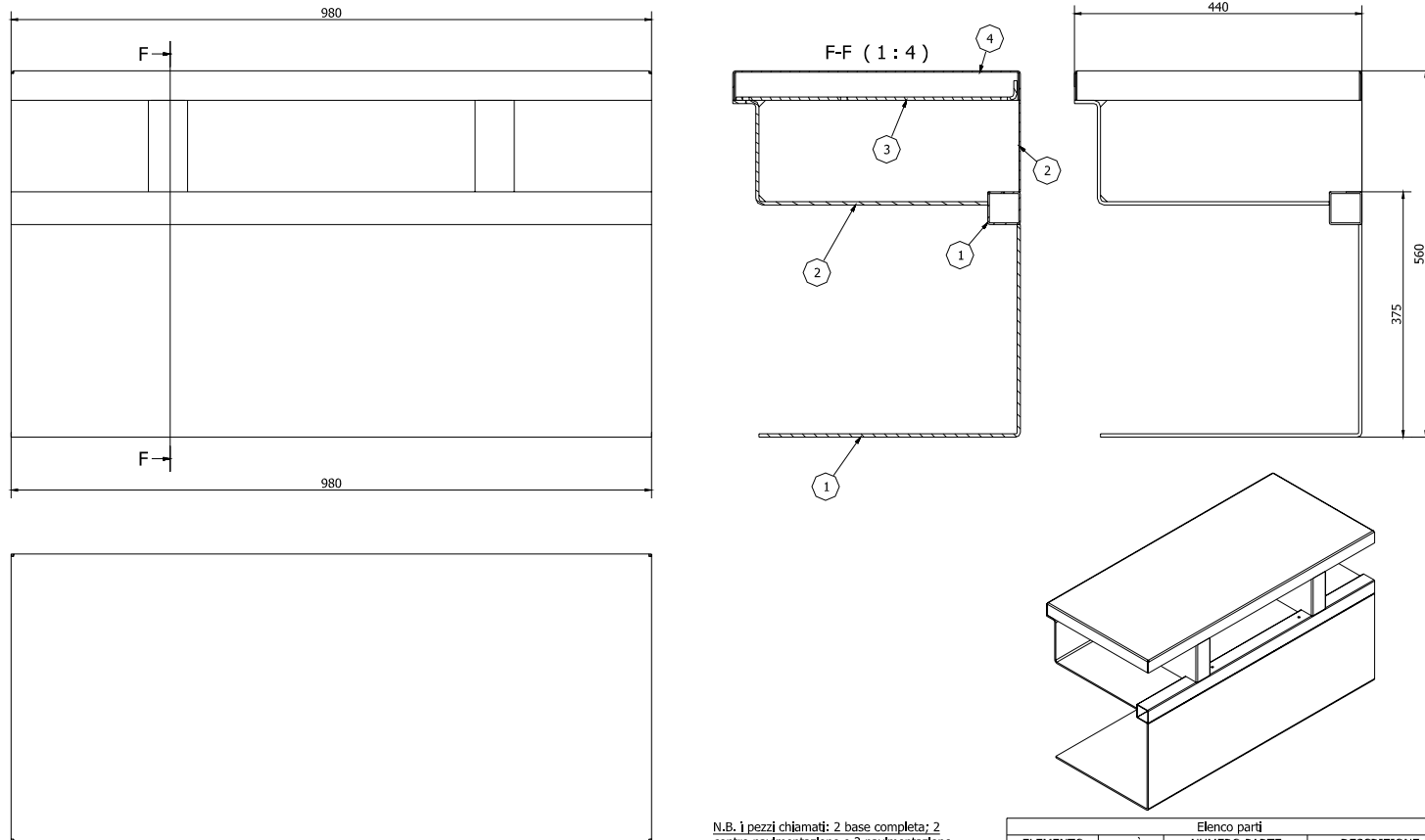


Fig. 5. Disegni progettuali della Configurazione "A"



N.B. i pezzi chiamati: 2 base completa; 2 contro pavimentazione e 2 pavimentazione sono comuni ai due modelli e ne vanno fatti solo uno che viene montato di volta in volta sul modello in funzione.

Elenco parti			
ELEMENTO	QTA	NUMERO PARTE	DESCRIZIONE
1	1	2 base completa	
2	1	2 assieme cella lunga	
3	1	2 contro pavimentazione	
4	1	2 pavimentazione	
Progettato da S M		Controllato da	Approvato da
		Data	Data 07/04/2010
2 assieme lunga.iam		Modello	
1 pezzo		Celle	Edizione 13 / 14

Fig. 6. Disegni progettuali della Configurazione "B"



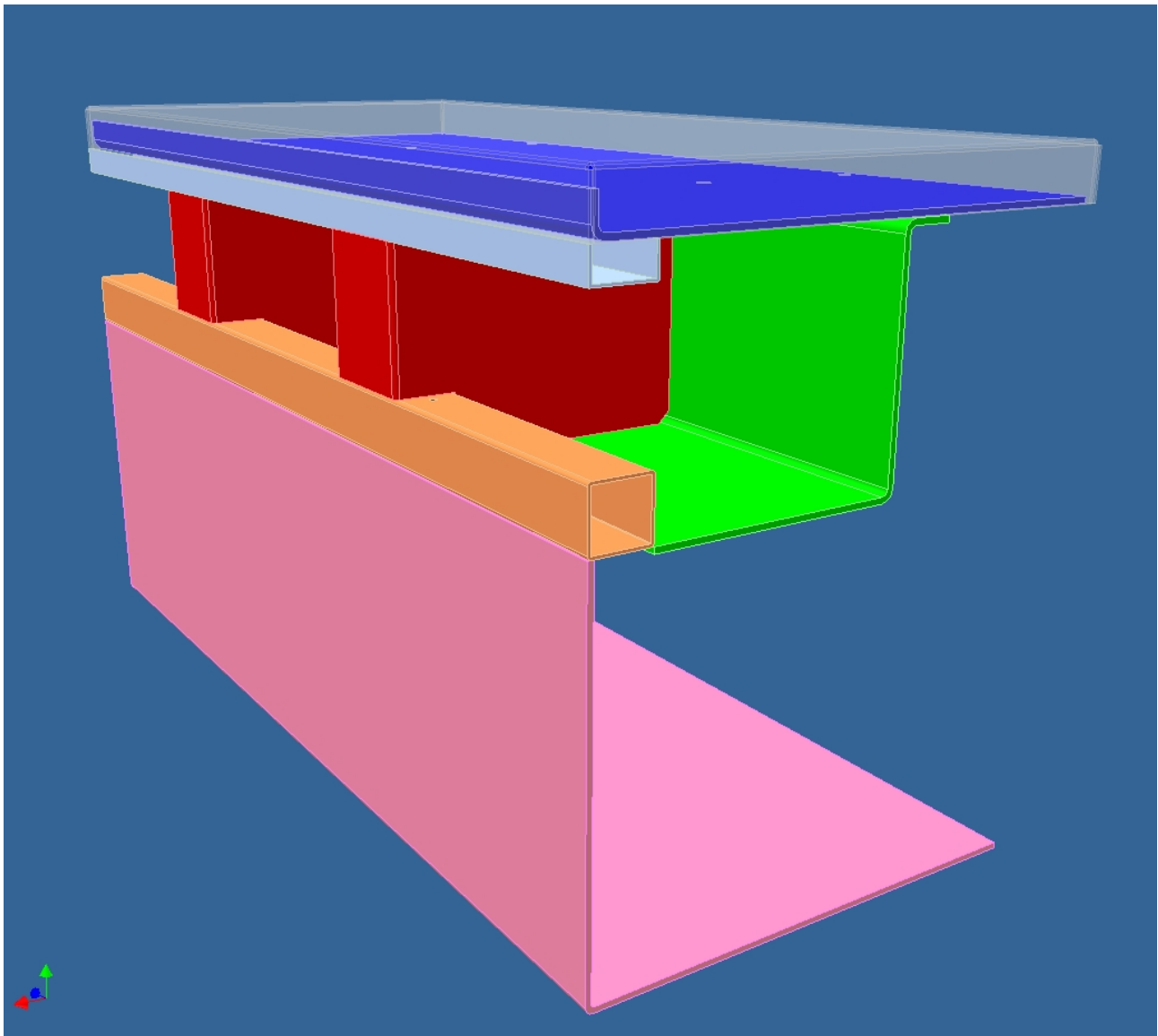


Fig. 7. Prospetto della Configurazione "A"

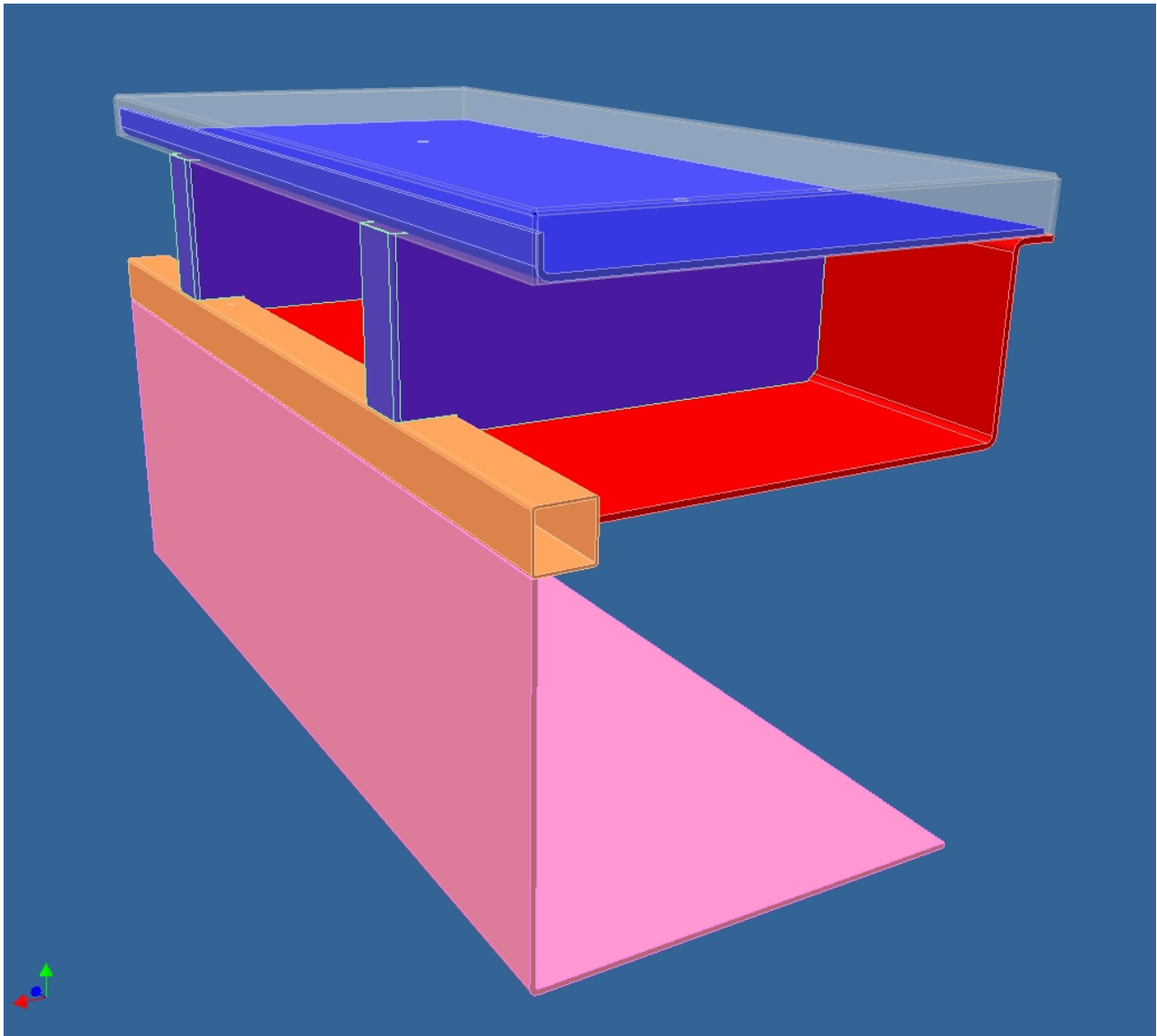


Fig. 8. Prospetto della Configurazione "B"

### 3. Caratteristiche delle onde riprodotte

Le onde riprodotte in modello sono quelle indicate dal Committente, e sono caratterizzate da periodi di picco di circa  $T_p = 5, 7, 8.5$  s e, per ciascun periodo, da altezze significative  $H_s = 0.50, 0.75, 1.0$ m). Ne risultano 9 onde "irregolari"; oltre a queste onde si è ritenuto utile effettuare un'indagine sperimentale riproducendo anche onde regolari caratterizzate da periodi eguali al periodo di picco ( $T = 5, 7, 8.5$ ) ed altezza di 1.0m.

Tali onde sono da intendersi come le "onde incidenti" le opere portuali, ossia quelle valutate alla profondità di imbasamento (-9.0 sul l.m.m.) delle opere in esame.

Nella seguente Tab.1 sono riportati i valori delle onde "di target" sia riferite al prototipo che al modello.

Nel seguito, salvo diversa indicazione, i dati sperimentali sono riferiti alla scala modello (per l'interpretazione dei dati riportati, si ricorda che la scala geometrica adottata è di 1:20).

ONDE di "target"									
PROTOTIPO					SCALA MODELLO				
	$T_p$ (s)	$f_p$ (Hz)	$H_s$ (m)			$T_p$ (s)	$f_p$ (Hz)	$H_s$ (cm)	
onda 1	5,0	0,20	0,50	Irregolare	onda 1	1,12	0,89	2,50	
onda 2	5,0	0,20	0,75	Irregolare	onda 2	1,12	0,89	3,75	
onda 3	5,0	0,20	1,00	Irregolare	onda 3	1,12	0,89	5,00	
onda 4	7,0	0,14	0,50	Irregolare	onda 4	1,57	0,64	2,50	
onda 5	7,0	0,14	0,75	Irregolare	onda 5	1,57	0,64	3,75	
onda 6	7,0	0,14	1,00	Irregolare	onda 6	1,57	0,64	5,00	
onda 7	8,5	0,12	0,50	Irregolare	onda 7	1,90	0,53	2,50	
onda 8	8,5	0,12	0,75	Irregolare	onda 8	1,90	0,53	3,75	
onda 9	8,5	0,12	1,00	Irregolare	onda 9	1,90	0,53	5,00	
onda 10	5,0	0,20	1,00	Regolare	onda 10	1,12	0,89	5,00	
onda 11	7,0	0,14	1,00	Regolare	onda 11	1,57	0,64	5,00	
onda 12	8,5	0,12	1,00	Regolare	onda 12	1,90	0,53	5,00	

Tab. 1. Caratteristiche delle onde simulate, riferite al prototipo ed al modello

La ricerca d'onda, eseguita preliminarmente al posizionamento delle opere portuali ha consentito di effettuare una corretta riproduzione delle onde indicate in tabella.

Questa fase di ricerca d'onda è stata svolta inserendo un paramento "assorbente" nel lato opposto al generatore, in modo da non avere interferenza tra onda incidente e riflessa.

#### 4. Risultati dei test

Poiché l'oggetto della ricerca sperimentale è sostanzialmente riferito alla determinazione del coefficiente di riflessione delle opere, si sono dovute calcolare, in corrispondenza a ciascuna sonda di misura, altre caratteristiche delle onde, oltre all'altezza significativa ed al periodo di picco della mareggiata (nel seguito è riportata una breve descrizione del metodo di calcolo adottato).

Nelle seguenti Tab. 2 e Tab. 3 sono riportate le elaborazioni delle misure effettuate, e riferite a tutte le sonde di misura presenti nel canale sperimentale.

Sulla base dei risultati riportati nelle seguenti tabelle è stato possibile calcolare il coefficiente di riflessione per le due diverse configurazioni e per tutte le onde riprodotte. I risultati di questa elaborazione sono riassunti nelle seguenti tabelle (Tab. 4 per la configurazione "A" e Tab. 5 per la configurazione "B") e nel grafico riassuntivi di Fig. 9.

In questi elaborati sono riportati i valori (riferiti al modello) dell'onda  $H_{rmsi}$  (altezza media quadratica incidente) e dell'onda  $H_{rmsr}$  (altezza media quadratica riflessa), poi adottati per il calcolo del coefficiente di riflessione.

Per quanto concerne i coefficienti di riflessione calcolati ( $K_r$ ), nelle due tabelle sono stati evidenziati in verde tutti i casi con coefficienti di riflessione inferiori a 0.4, mentre sono riportati in rosso i casi con coefficienti di riflessione superiori a 0.4.

Nel grafico di Fig. 9, che riporta i risultati in forma grafica, si è adottato il colore rosso per caratterizzare le onde di altezza significativa  $H_s=0.5$  m; il verde per le onde di altezza  $H_s=0.75$  m; ed il blu per onde di altezza pari ad  $H_s=1.0$  m.

Durante l'esecuzione dei test con condizioni di moto ondoso più gravose, si è posto attenzione anche alla stabilità dei massi presenti all'interno della cella. A tal proposito si è potuto riscontrare che, con la Configurazione "B", alcuni massi di minore pezzatura (di peso corrispondente ai 100 kg in scala prototipo) non sono risultati perfettamente stabili e dunque qualche masso potrebbe rotolare al di fuori della cella (come è successo in una occasione durante le prove).

### Configurazione "A"

Onda tipo (-)	Sonda 1		Sonda 2		Sonda 3		Sonda 4		Sonda 5		Sonda 6		Sonda 7		Sonda 8	
	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)
1	2,1	1,00	2,0	1,00	2,0	1,00	2,1	1,02	1,9	1,01	1,9	1,00	2,0	1,01	2,0	1,00
2	3,1	1,00	3,1	1,01	3,1	1,00	3,1	1,01	2,9	0,99	2,9	0,99	3,0	1,01	3,0	1,01
3	4,2	1,00	4,2	1,01	4,2	1,01	4,1	1,01	3,9	1,01	3,9	1,01	4,0	1,03	4,1	1,02
4	2,0	1,31	2,0	1,30	2,1	1,33	2,1	1,35	2,1	1,30	2,0	1,26	1,9	1,29	1,8	1,29
5	3,2	1,31	3,2	1,30	3,2	1,32	3,3	1,33	3,2	1,26	3,1	1,24	2,8	1,24	2,8	1,26
6	4,2	1,31	4,3	1,32	4,3	1,32	4,4	1,33	4,3	1,30	4,1	1,25	3,8	1,23	3,7	1,24
7	2,0	1,64	2,0	1,61	2,0	1,65	2,1	1,70	1,8	1,62	1,9	1,65	2,1	1,73	2,3	1,76
8	3,1	1,60	3,1	1,61	3,1	1,67	3,1	1,69	2,8	1,59	2,9	1,57	3,4	1,74	3,6	1,79
9	4,1	1,59	4,2	1,62	4,2	1,65	4,2	1,66	3,9	1,55	4,0	1,57	4,6	1,69	4,9	1,74
10	5,4	1,11	5,6	1,11	5,8	1,11	5,6	1,13	4,8	1,13	4,5	1,13	5,1	1,11	5,4	1,11
11	2,9	1,58	2,9	1,58	4,3	1,58	4,9	1,58	6,2	1,54	5,6	1,54	4,1	1,54	3,1	1,36
12	7,8	1,93	7,3	1,93	6,3	1,87	5,8	1,87	2,6	1,05	3,5	1,93	5,3	1,93	6,9	1,93

Tab. 2 Caratteristiche delle onde misurate nei test relativi alla Configurazione "A"  
(valori in scala modello - in corsivo i test con onde regolari)

### Configurazione "B"

Onda tipo (-)	Sonda 1		Sonda 2		Sonda 3		Sonda 4		Sonda 5		Sonda 6		Sonda 7		Sonda 8	
	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)	$H_{rms}$ (cm)	$T_z$ (s)
1	2,1	1,01	2,1	1,02	2,1	1,04	2,1	1,04	1,9	1,05	1,9	1,05	2,0	1,06	2,0	1,06
2	3,2	1,02	3,2	1,02	3,2	1,04	3,2	1,03	3,0	1,06	3,0	1,06	3,1	1,06	3,1	1,03
3	4,2	1,01	4,2	1,02	4,1	1,03	4,2	1,04	3,9	1,05	3,9	1,05	4,1	1,08	4,1	1,05
4	1,8	1,33	1,8	1,33	1,8	1,31	1,8	1,30	1,7	1,32	1,7	1,32	1,6	1,32	1,7	1,34
5	2,9	1,30	2,9	1,32	2,9	1,33	2,9	1,32	2,7	1,30	2,6	1,31	2,6	1,32	2,6	1,32
6	3,9	1,31	3,9	1,33	3,9	1,35	3,9	1,33	3,6	1,32	3,6	1,33	3,5	1,31	3,5	1,32
7	1,7	1,62	1,7	1,61	1,7	1,61	1,7	1,60	1,6	1,61	1,6	1,63	1,7	1,67	1,8	1,70
8	2,6	1,57	2,6	1,56	2,6	1,55	2,6	1,57	2,4	1,58	2,4	1,59	2,7	1,68	2,9	1,72
9	3,4	1,57	3,5	1,57	3,5	1,58	3,5	1,58	3,4	1,61	3,5	1,63	3,8	1,67	4,0	1,69
10	4,8	1,13	5,2	1,13	5,6	1,11	5,3	1,11	3,2	1,11	3,0	1,11	3,8	1,11	4,9	1,13
11	3,9	1,58	4,0	1,58	4,5	1,58	4,7	1,58	4,0	1,54	3,8	1,58	3,5	1,58	3,7	1,58
12	6,0	1,93	5,8	1,93	5,2	1,93	4,8	1,93	3,8	1,93	4,2	1,93	4,6	1,93	5,0	1,93

Tab. 3 Caratteristiche delle onde misurate nei test relativi alla Configurazione "B"  
(valori in scala modello - in corsivo i test con onde regolari)

E' del tutto evidente che la Configurazione "A" rispetta il limite di  $K_r < 0.4$  solo in corrispondenza delle onde con periodi inferiori a 5.5s, mentre la Configurazione "B" manifesta coefficienti di riflessione sempre inferiori (o tutt'al più eguali) a 0.4 per tutto il campo di agitazioni ondose riprodotto.

Onda	$H_{rmsi}$ (m)	$H_{rmsr}$ (m)	$T_{pi}$ (s)	$k_r$ (-)
1	0,37	0,13	5,5	0,34
2	0,57	0,17	5,5	0,30
3	0,77	0,21	5,5	0,28
4	0,37	0,16	7,1	0,44
5	0,58	0,26	7,1	0,45
6	0,78	0,36	7,2	0,46
7	0,35	0,23	8,5	0,65
8	0,54	0,36	8,6	0,66
9	0,74	0,47	8,7	0,64
10	1,01	0,26	5,1	0,25
11	0,97	0,41	7,2	0,43
12	1,14	0,77	8,9	0,67

Tab. 4 Risultati essenziali dei test relativi alla Configurazione "A"  
(valori in scala reale - in corsivo i test con onde regolari)

Onda	$H_{rmsi}$ (m)	$H_{rmsr}$ (m)	$T_{pi}$ (s)	$k_r$ (-)
1	0,37	0,11	5,5	0,29
2	0,58	0,16	5,5	0,28
3	0,75	0,22	5,5	0,29
4	0,34	0,08	7,1	0,23
5	0,55	0,14	7,1	0,25
6	0,73	0,20	7,1	0,28
7	0,33	0,11	8,6	0,33
8	0,49	0,19	8,7	0,38
9	0,68	0,28	8,7	0,40
10	0,87	0,29	5,1	0,33
11	0,85	0,18	7,2	0,21
12	0,95	0,34	8,9	0,36

Tab. 5 Risultati essenziali dei test relativi alla Configurazione "B"  
(valori in scala reale - in corsivo i test con onde regolari)

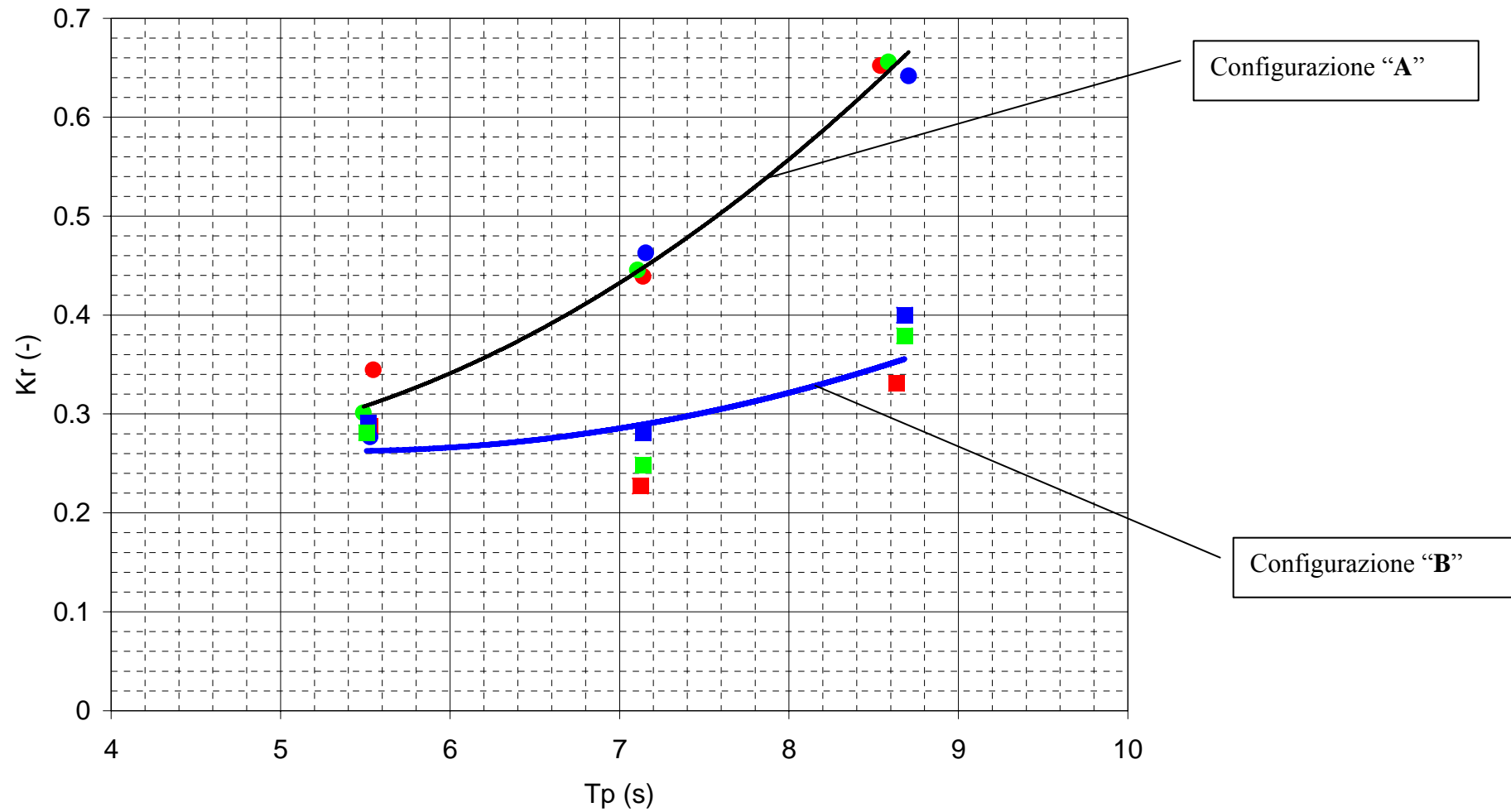


Fig. 9. Coefficienti di riflessione caratteristici della Configurazione "A" e Configurazione "B"

#### 4.1 Metodo di calcolo del coefficiente di riflessione

La misura delle onde ottenuta da una singola sonda in una determinata posizione è sufficiente a definire univocamente l'altezza ed il periodo di un gruppo di onde propagatorie solo in assenza di riflessione.

In molti casi, però, come in presenza di un ostacolo, le onde sono parzialmente riflesse e una misura puntuale non è sufficiente a descriverne le caratteristiche. Ciò è intuibile per esempio in caso di riflessione totale di un'onda regolare, in cui l'onda riflessa si compone con l'onda incidente formando un'onda stazionaria caratterizzata da un nodo ed un ventre. Una singola sonda misurerebbe un livello variabile fra zero ed il doppio dell'altezza dell'onda incidente, in conseguenza della distanza fra la sonda ed il punto di riflessione.

Nel caso generale, in presenza di onda irregolare e parzialmente riflesso, il pattern è confuso ed è possibile caratterizzare il gruppo d'onde solo attraverso più misure puntuali contemporanee.

##### Metodo di analisi

Il metodo di analisi scelto è lo stato dell'arte ed utilizzato correntemente dal gruppo di ricerca del Prof. Ruol da almeno un decennio. Il coefficiente di riflessione  $K_t$  è definito come il rapporto fra le altezze medie quadratiche delle onde riflesse  $H_{rms\_r}$  e incidenti  $H_{rms\_i}$ .

La stime dell'onda incidente viene fatta generalmente sia in assenza sia in presenza della struttura. Nel primo caso la riflessione è molto modesta e si può ritenere che il campo d'onda sia solo di tipo propagatorio, quindi definibile in modo semplice. Nel secondo caso, l'onda incidente e quella riflessa vengono riconosciute e separate attraverso una procedura di identificazione.

L'onda incidente ottenuta non differisce mai in modo significativo da quanto già ottenuto in assenza di struttura, evidenziando un andamento congruente delle misure.

Il metodo interpretativo utilizzato è quello di Zelt e Skjelbraia (1992), applicato alla misura del pelo libero in 4 posizioni scelte in modo opportuno, ovvero spaziate di 7, 19 e 12 cm.

All'aumentare del numero delle sonde, gli errori interpretativi diminuiscono, e per 4 sonde rimane di fatto indefinito solo l'effetto dovuto alla non-linearità. Effetto che rimane confinato ad entità trascurabili, a patto che le sonde siano poste in zona non frangente e comunque ad una distanza che deve essere di almeno 1.5 lunghezze d'onda dal punto di riflessione.

Per ogni mareggiata simulata è stato quindi identificato il gruppo di onde incidente e riflesse. Una procedura di identificazione basata sul metodo detto di zero down-crossing ha poi isolato tutte le onde, definendone altezza e periodo. Si definisce altezza significativa  $H_s$  la media delle onde 1/3 più alte e periodo significativo  $T_s$  il periodo mediato sullo stesso gruppo.  $H_{rms}$  la altezza quadratica media e  $T_m$  il periodo medio e  $T_z$  il periodo medio di attraversamento di zero. Da una analisi spettrale, si definisce  $H_m$  l'altezza caratterizzante l'energia complessiva ( $H_m=4\sqrt{E}$ ) e  $T_p$  il periodo di picco. Nel caso di onde irregolari al largo, il rapporto fra  $H_s$  e  $H_{rms}$  è tipicamente di 1.42;  $H_{m0}$  è simile a  $H_s$ . Tipicamente, i periodi caratterizzanti le onde sono tali che  $T_p > T_s > T_m > T_z$ . Nel caso in esame si è valutata la seguente relazione tra i periodi di picco e zero-crossing  $T_p = 1.16 T_z$ . I valori ottenuti sono forniti in allegato, e rispettano i rapporti tipici esistenti fra le diverse stime di altezza d'onda e periodo a garanzia della buona riuscita degli esperimenti e della congruenza delle analisi eseguite.



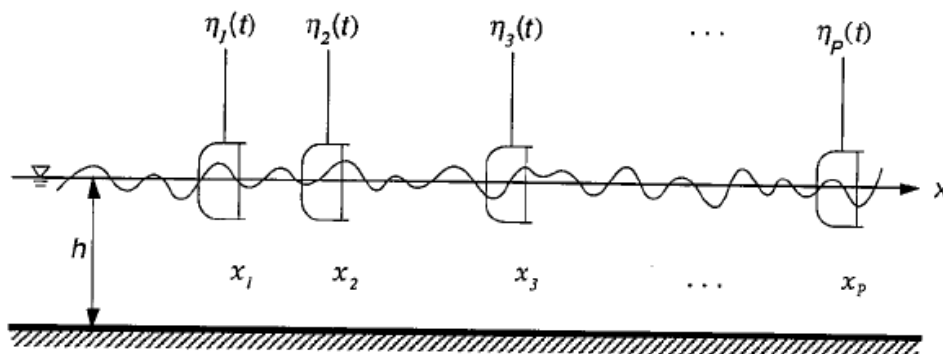
Il coefficiente di trasmissione è valutato per ogni prova. E' noto che tale coefficiente aumenta al crescere del periodo dell'onda incidente, e per tale motivo il grafico presenta la relazione fra queste grandezze.

### Particolarità del metodo di Zelt e Skjelbraia (1992)

Il principio di funzionamento di tutti i metodi di calcolo delle onde riflesse è lo stesso, ed è stato per primo proposto da Goda (1976) sulla base di sole 2 sonde poste su fondale uniforme, di fatto applicabile solo in un intervallo di frequenze molto ridotto. Si tratta di scomporre lo spettro dell'onda in tante onde regolari di periodo e lunghezza d'onda nota, e adattare il segnale ad una somma di due segnali con direzione di propagazione opposta.

Mansard e Funk (1980) suggeriscono una procedura basata sulla minimizzazione ai minimi quadrati delle misure ottenute indipendente da tre sonde. La procedura prevede però una separazione spettrale mediata nella fase e la perdita della informazione di fase non consente di ricostruire il segnale nel tempo dell'onda incidente e riflessa. Non vi è pertanto alcuna possibilità di confrontare l'onda interpretata e quella misurata, e stimare così l'errore commesso nella interpretazione.

Zelt e Skjelbreia (1992) propongono una procedura sensibilmente migliore del metodo delle tre sonde di Mansard e Funk (1980) per due aspetti: i) si minimizza un numero indefinito di sonde (4 sono sufficienti) e non solo 3; ii) nella interpretazione spettrale, si sfrutta lo sfasamento relativo del segnale misurato da ciascuna onda per ricostruire l'effettivo andamento temporale dei segnali di onda incidente e riflessa. In tal modo, è possibile ricostruire la somma di onda incidente e riflessa in ciascun punto e confrontarla con il valore misurato, e fornire anche la stima dell'errore commesso. Se l'errore presenta solo oscillazioni di second'ordine, la procedura può dirsi completata con successo e l'entità di tali oscillazioni è nota. Nel caso esaminato, esse sono sempre di entità largamente trascurabile.



Da: Zelt e Skjelbreia (1992). Misura dell'onda incidente e riflessa con più sonde: schema.

### References:

- Goda Y. & Suzuki Y., 1976. Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments. Proc. Int. Conference of Coastal Engineering, 1976, 828-845.
- Mansard, E.P.D. & Funk E.R., 1980. The measurement of incident and reflected spectra using a least square method, Proc. Int. Conference of Coastal Engineering, 1980, 154-172.
- Zelt J.A. & Skjelbreia J.E., 1992: Estimating incident and reflected wave fields using an arbitrary number of wave gauges, Proc. Int. Conference of Coastal Engineering, 1992, 777-789.

## 4.2 *Tabelle dei risultati sperimentali*

Per completezza, nelle seguenti tabelle sono riportati, per esteso, i risultati dei test sperimentali, relativi:

- alla fase preliminare di ricerca d'onda (Tab. 6);
- alla sperimentazione relativa alla Configurazione "A" (Tab. 7);
- alla sperimentazione relativa alla Configurazione "B" (Tab. 8).

I test relativi agli attacchi ondosi con onde regolari sono tabulati in corsivo.

Evidentemente i valori riportati nelle tabelle sono riferiti alla scala del modello.

Il significato dei simboli adottati, del tutto evidente, è comunque descritto nel precedente paragrafo.



NomeFile	Hsi [m]	Hrmsi [m]	Hmaxi [m]	Hm0 [m]	Tp [s]	Tz [s]	Tm [s]	Hsr [m]	Hrmsr [m]	Kr [-]
Test_0001_2010Apr14h11m59.wvd	0.025	0.018	0.045	0.026	1.212	1.065	1.059	0.001	0.001	0.050
Test_0002_2010Apr14h12m40.wvd	0.038	0.028	0.064	0.040	1.212	1.054	1.047	0.001	0.001	0.032
Test_0003_2010Apr14h15m16.wvd	0.053	0.038	0.087	0.056	1.213	1.061	1.054	0.002	0.002	0.048
Test_0004_2010Apr14h15m34.wvd	0.026	0.018	0.040	0.027	1.519	1.370	1.363	0.001	0.001	0.036
Test_0005_2010Apr14h15m49.wvd	0.039	0.028	0.065	0.038	1.519	1.364	1.353	0.002	0.001	0.053
Test_0006_2010Apr14h16m03.wvd	0.052	0.037	0.090	0.055	1.522	1.373	1.362	0.002	0.002	0.047
Test_0007_2010Apr15h09m07.wvd	0.025	0.017	0.038	0.025	1.965	1.639	1.630	0.001	0.001	0.046
Test_0008_2010Apr15h09m23.wvd	0.037	0.026	0.058	0.039	1.982	1.648	1.636	0.002	0.001	0.043
Test_0009_2010Apr15h10m01.wvd	0.052	0.036	0.078	0.052	1.969	1.671	1.660	0.003	0.002	0.053
<i>Test_0010_2010Apr15h10m42.wvd</i>	<i>0.049</i>	<i>0.048</i>	<i>0.050</i>	<i>0.069</i>	<i>1.120</i>	<i>1.130</i>	<i>1.094</i>	<i>0.002</i>	<i>0.001</i>	<i>0.030</i>
<i>Test_0011_2010Apr15h10m58.wvd</i>	<i>0.050</i>	<i>0.048</i>	<i>0.052</i>	<i>0.070</i>	<i>1.600</i>	<i>1.619</i>	<i>1.526</i>	<i>0.003</i>	<i>0.003</i>	<i>0.056</i>
<i>Test_0012_2010Apr15h11m13.wvd</i>	<i>0.049</i>	<i>0.049</i>	<i>0.049</i>	<i>0.069</i>	<i>1.829</i>	<i>1.997</i>	<i>1.827</i>	<i>0.003</i>	<i>0.003</i>	<i>0.060</i>

Tab. 6 Tabella dei risultati della fase di ricerca d'onda (valori riferiti al modello)



NomeFile	Hsi [m]	Hrmsi [m]	Hmaxi [m]	Hm0 [m]	Tp [s]	Tz [s]	Tm [s]	Hsr [m]	Hrmsr [m]	Kr [-]
Test_0013_2010Apr19h15m06.wvd	0.026	0.018	0.045	0.026	1.212	1.061	1.055	0.009	0.006	0.345
Test_0014_2010Apr19h15m20.wvd	0.040	0.028	0.066	0.041	1.214	1.057	1.053	0.012	0.009	0.301
Test_0015_2010Apr19h15m35.wvd	0.054	0.038	0.088	0.056	1.214	1.059	1.055	0.015	0.011	0.277
Test_0016_2010Apr19h15m48.wvd	0.026	0.019	0.042	0.027	1.600	1.367	1.359	0.012	0.008	0.439
Test_0017_2010Apr19h16m02.wvd	0.041	0.029	0.068	0.042	1.600	1.370	1.362	0.018	0.013	0.446
Test_0018_2010Apr19h16m16.wvd	0.054	0.039	0.093	0.057	1.600	1.370	1.362	0.026	0.018	0.463
Test_0019_2010Apr20h08m45.wvd	0.024	0.017	0.039	0.026	1.982	1.657	1.643	0.016	0.011	0.652
Test_0020_2010Apr20h09m01.wvd	0.038	0.027	0.060	0.040	1.969	1.666	1.652	0.026	0.018	0.656
Test_0021_2010Apr20h09m17.wvd	0.052	0.037	0.082	0.053	1.972	1.666	1.655	0.035	0.024	0.642
Test_0022_2010Apr20h09m30.wvd	0.054	0.050	0.074	0.073	1.119	1.130	1.095	0.017	0.013	0.253
Test_0023_2010Apr20h09m44.wvd	0.052	0.048	0.054	0.070	1.600	1.619	1.524	0.027	0.021	0.426
Test_0024_2010Apr20h09m59.wvd	0.059	0.057	0.063	0.079	1.829	1.997	1.829	0.040	0.038	0.672

Tab. 7 Tabella dei risultati della Configurazione "A" (valori riferiti al modello)

NomeFile	Hsi [m]	Hrmsi [m]	Hmaxi [m]	Hm0 [m]	Tp [s]	Tz [s]	Tm [s]	Hsr [m]	Hrmsr [m]	Kr [-]
Test_0025_2010Apr26h11m52.wvd	0.026	0.018	0.044	0.027	1.212	1.055	1.048	0.007	0.005	0.288
Test_0026_2010Apr26h12m06.wvd	0.040	0.029	0.064	0.043	1.213	1.063	1.057	0.011	0.008	0.281
Test_0027_2010Apr26h12m19.wvd	0.053	0.038	0.084	0.056	1.213	1.052	1.049	0.016	0.011	0.291
Test_0028_2010Apr26h12m57.wvd	0.024	0.017	0.041	0.025	1.600	1.389	1.381	0.005	0.004	0.227
Test_0029_2010Apr26h14m56.wvd	0.038	0.027	0.066	0.038	1.600	1.377	1.370	0.010	0.007	0.249
Test_0030_2010Apr26h15m10.wvd	0.051	0.036	0.092	0.049	1.514	1.364	1.355	0.015	0.010	0.281
Test_0031_2010Apr26h15m24.wvd	0.023	0.016	0.036	0.024	1.982	1.648	1.636	0.008	0.005	0.331
Test_0032_2010Apr26h15m38.wvd	0.035	0.024	0.054	0.037	1.980	1.653	1.641	0.013	0.009	0.379
Test_0033_2010Apr26h15m52.wvd	0.048	0.034	0.074	0.049	1.979	1.704	1.688	0.014	0.014	0.400
Test_0034_2010Apr27h07m58.wvd	0.047	0.043	0.062	0.063	1.120	1.152	1.119	0.017	0.014	0.334
Test_0035_2010Apr27h08m15.wvd	0.045	0.042	0.050	0.061	1.600	1.619	1.534	0.011	0.009	0.212
Test_0036_2010Apr27h08m29.wvd	0.049	0.048	0.049	0.067	1.829	1.997	1.831	0.020	0.017	0.360

Tab. 8 Tabella dei risultati della Configurazione "B" (valori riferiti al modello)

## 5. Osservazioni conclusive

Lo studio sperimentale svolto presso il laboratorio marittimo dell'Università di Padova ha avuto la principale finalità di valutare il coefficiente di riflessione caratteristico della banchina del Porto di Tremestieri (ME) nelle seguenti due diverse configurazioni:

- **configurazione "A"**: posta a base di gara;
- **configurazione "B"** variante proposta dal Committente (NUOVA CO.ED.MAR. Srl).

Lo studio è stato effettuato riproducendo le opere in similitudine di Froude ed adottando una scala di riduzione geometrica 1:20.

Particolare cura è stata dedicata alla corretta riproduzione in scala delle opere in progetto: tutte le misure geometriche sono state fedelmente riprodotte e scalate, compresi le dimensioni ed i pesi dei massi di riempimento delle "celle".

Le mareggiate riprodotte in modello sono caratterizzate da periodi di picco  $T_p = 5.0, 7.0, 8.5$  s e, per ciascun periodo, da altezze significative (valutate di fronte all'opera)  $H_s = 0.50, 0.75, 1.0$  m. Sono perciò stati riprodotti nove attacchi ondosi "irregolari"; al fine di indagare più approfonditamente i processi fisici in atto, oltre a queste onde si è ritenuto utile riprodurre anche onde regolari caratterizzate da periodi eguali ai descritti periodi di picco ( $T = 5, 7, 8.5$ ) e da altezza di 1.0 m.

Il metodo di analisi scelto per la valutazione dei coefficienti di riflessione è lo "stato dell'arte" (utilizzato correntemente dal gruppo di ricerca del Prof. Ruol da almeno un decennio). Il coefficiente di riflessione  $K_r$  è dunque definito come il rapporto fra l'altezza d'onda riflessa e l'altezza d'onda incidente.

Dalle prove effettuate è emerso chiaramente che la Configurazione "A" rispetta il limite di  $K_r < 0.4$  solo in corrispondenza delle onde con periodi modesti (inferiori a 5.5 s), mentre la Configurazione "B", proposta in alternativa, manifesta coefficienti di riflessione sempre inferiori o eguali a 0.4 per tutto il campo di agitazioni ondose riprodotto (periodi di picco fino a 8.5 s).

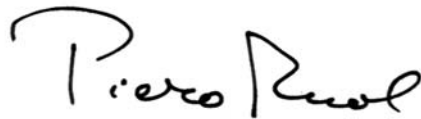
La seconda configurazione ("B") si è dunque dimostrata decisamente più efficiente (in termini di riflessione) rispetto a quella base (configurazione "A"). Il motivo di questo miglior comportamento è riconducibile alle seguenti osservazioni:

- la pendenza della scarpata in pietrame, interna alle "celle antiriflettenti", è molto più dolce nella configurazione "B" (1:2.5) rispetto alla configurazione "A" (1:1.5). E ciò ha ovvie ripercussioni sulla riflessione dell'onda (la riflessione è maggiore per pendenze più elevate);
- considerando il prospetto delle due opere (vista da mare), si nota che la configurazione "B" ha una percentuale di opera a parete verticale (direttamente investita dall'onda) inferiore rispetto alla prima sezione. In corrispondenza della porzione verticale la riflessione è pressoché totale;
- la capacità di accumulo di acqua della configurazione "B" è maggiore rispetto alla configurazione "A". Infatti nella prima configurazione analizzata ("A") si è talora notato che, in corrispondenza della cresta d'onda, la cella veniva completamente saturata dal volume d'acqua (con conseguenti sottopressioni sotto all'impalcato di banchina), mentre nel secondo caso ("B"), con le onde riprodotte non si è mai verificata questa situazione (saturazione della cella);
- con la configurazione "B" non si è mai verificato il sormonto del piano banchina (la banchina è sempre risultata "asciutta"), mentre, con la configurazione "A", il piano banchina si è "bagnato" con le onde più alte, anche in considerazione del fatto che questa sezione ha un "dente" sporgente dall'alto verso il basso, che talora è raggiunto dalla cresta dell'onda incidente.

Come accennato in precedenza, durante l'esecuzione dei test con condizioni di moto ondoso più gravose, si è posta attenzione anche alla stabilità dei massi presenti all'interno delle celle. Si è potuto riscontrare che, nel caso della Configurazione "B", alcuni massi di minore pezzatura (di peso corrispondente ai 100 kg in scala prototipo) non sono risultati perfettamente stabili e dunque qualche masso potrebbe rotolare al di fuori della cella (come è successo in una occasione durante le prove). A tal proposito sembra opportuno segnalare questa evidenza sperimentale, e suggerire di adottare massi di pezzatura leggermente superiore, per evitare la fuoriuscita di alcuni degli elementi lapidei più piccoli dalla cella antiriflettente della banchina portuale.

Le immagini fotografiche allegate ed i filmati eseguiti documentano efficacemente tutti i fenomeni descritti.

Il Direttore del Dipartimento e Responsabile dei laboratori marittimi

A handwritten signature in black ink, reading 'Piero Ruol'.

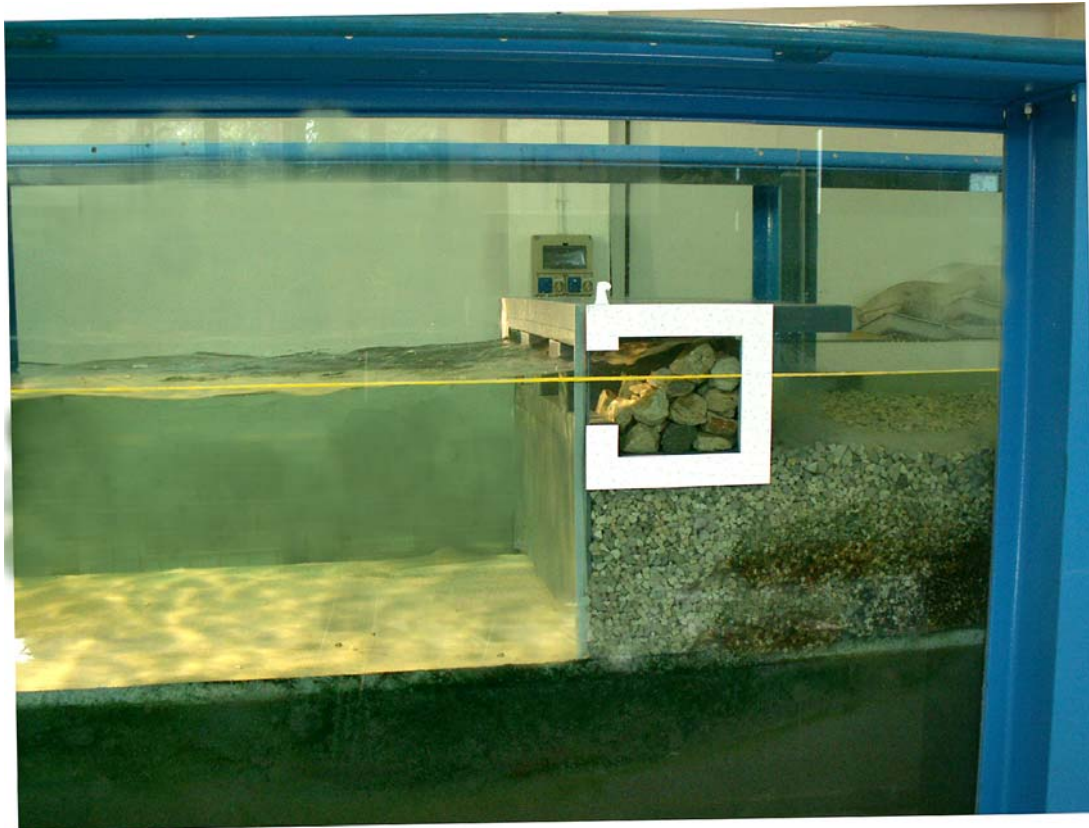
Prof. Ing. Piero Ruol



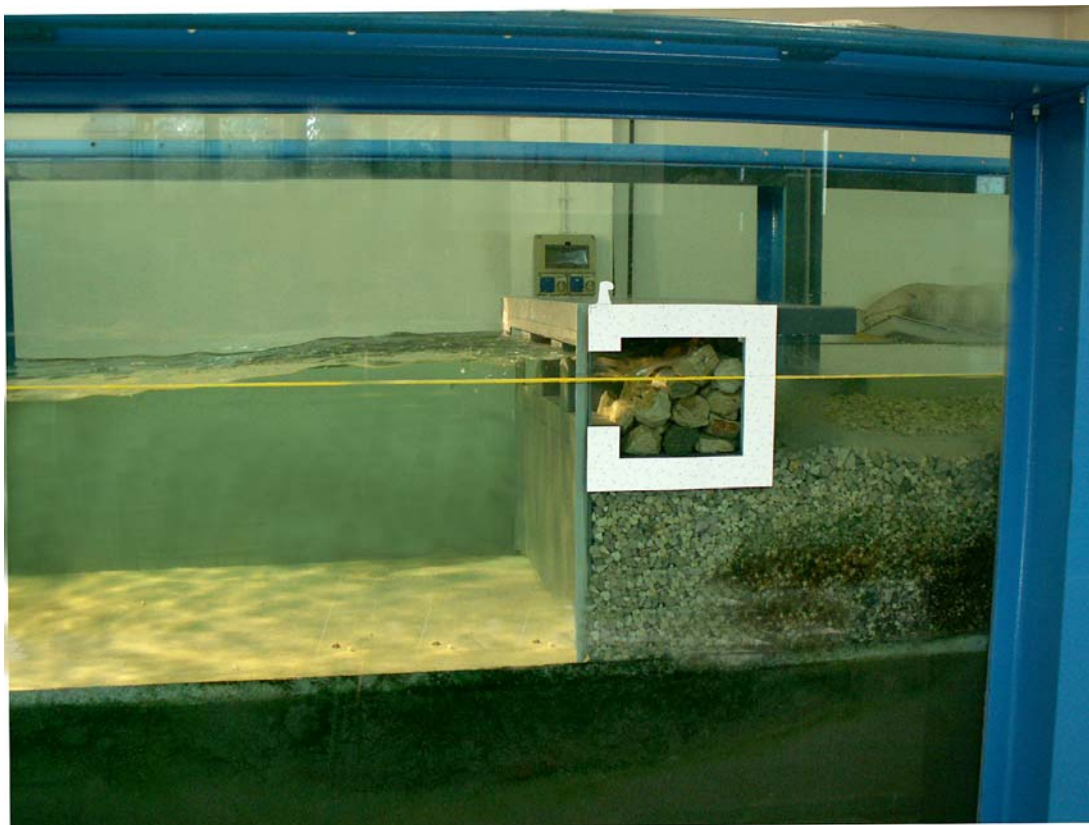
## STUDIO SU MODELLO FISICO SUL POTERE DI RIFLESSIONE DELLA BANCHINA DEL PORTO DI TREMESTIERI (ME)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Padova, aprile 2010



*Foto 1. Configurazione "A"*

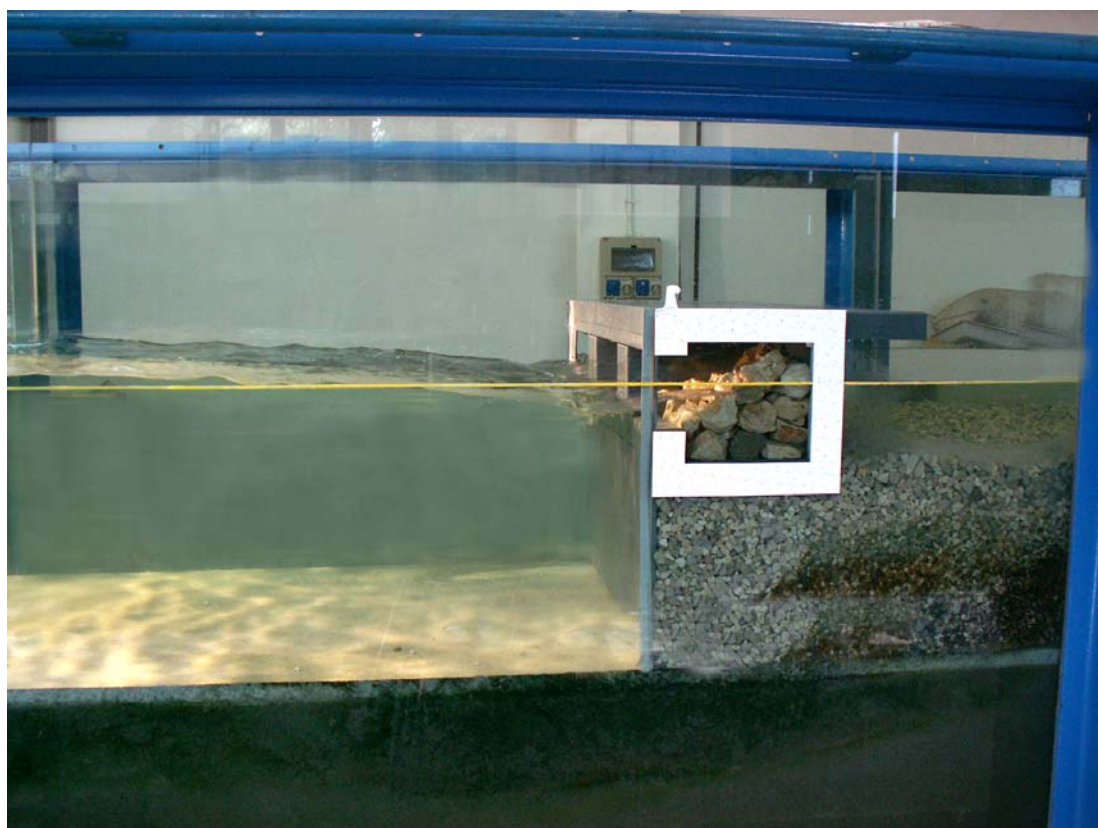


*Foto 2. Configurazione "A"*





*Foto 3. Configurazione "A"*



*Foto 4. Configurazione "A"*



*Foto 5. Configurazione "B"*



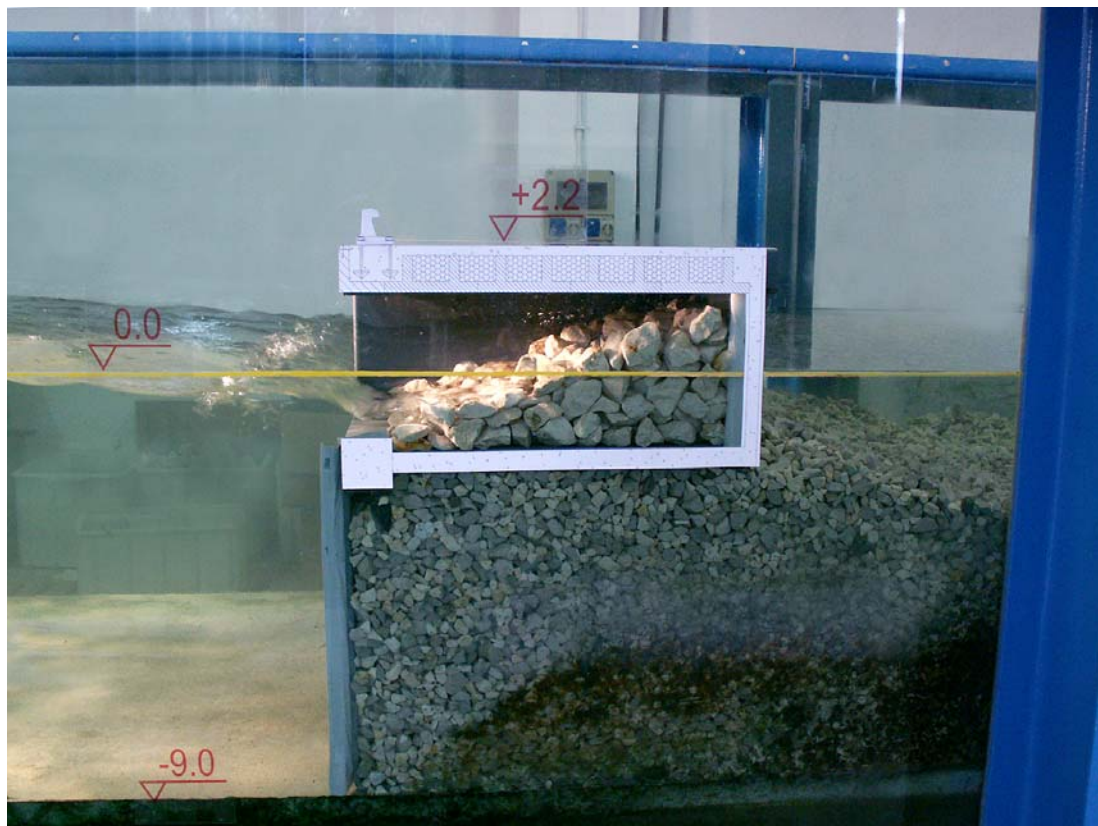
*Foto 6. Configurazione "B"*



*Foto 7. Configurazione "B"*



*Foto 8. Configurazione "B"*



*Foto 9. Configurazione "B"*



*Foto 10. Configurazione "B"*