

**UNIVERSITA' DI PISA**  
**Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali**  
**e Facoltà di Agraria**



**Corso di laurea in Scienze Ambientali**

**STUDIO SPERIMENTALE SU MODELLO FISICO**  
**DI IPOTESI PROGETTUALI PER LA**  
**RIQUALIFICAZIONE DEL SISTEMA DI DIFESA**  
**COSTIERA DI MARINA DI PISA**

Relatore:

**Prof. Ing. Lorenzo Cappiotti**

Controrelatore :

**Prof. Ing. Aldo Iacomelli**

Candidata:

**Ilaria Crema**

**Anno Accademico 2006/2007**

# Contenuto

- Obiettivi
- Inquadramento area di studio
- Breve descrizione fenomeni in esame
- Attrezzatura sperimentale e misure eseguite
- Descrizione degli esperimenti
- Risultati
- Conclusioni

# Obiettivi

- Riprodurre su modello fisico lo stato attuale di un tratto di costa del litorale di Marina di Pisa;
- Valutare proposte alternative per un sistema di protezione più efficace.

# Area di studio



# Area di studio

- **Primi del '900:**

Il litorale è stato difeso per una lunghezza di 2,5 Km da scogliere aderenti alla strada litoranea.

- **Anni '60:**

Fu costruito alla distanza di 80-100 m dalle scogliere radenti, un sistema di dieci scogliere emerse parallele, lunghe 200-250 m e con varchi ampi circa 10-15 m.



# Area di studio

## Svantaggi delle scogliere emerse:

- Forte asimmetria della foce dell'Arno;





# Area di studio

## Svantaggi delle scogliere emerse:

- Non efficace difesa dell'abitato e delle infrastrutture;



# Area di studio

## Svantaggi delle scogliere emerse:

- Elevato impatto visivo e ambientale;



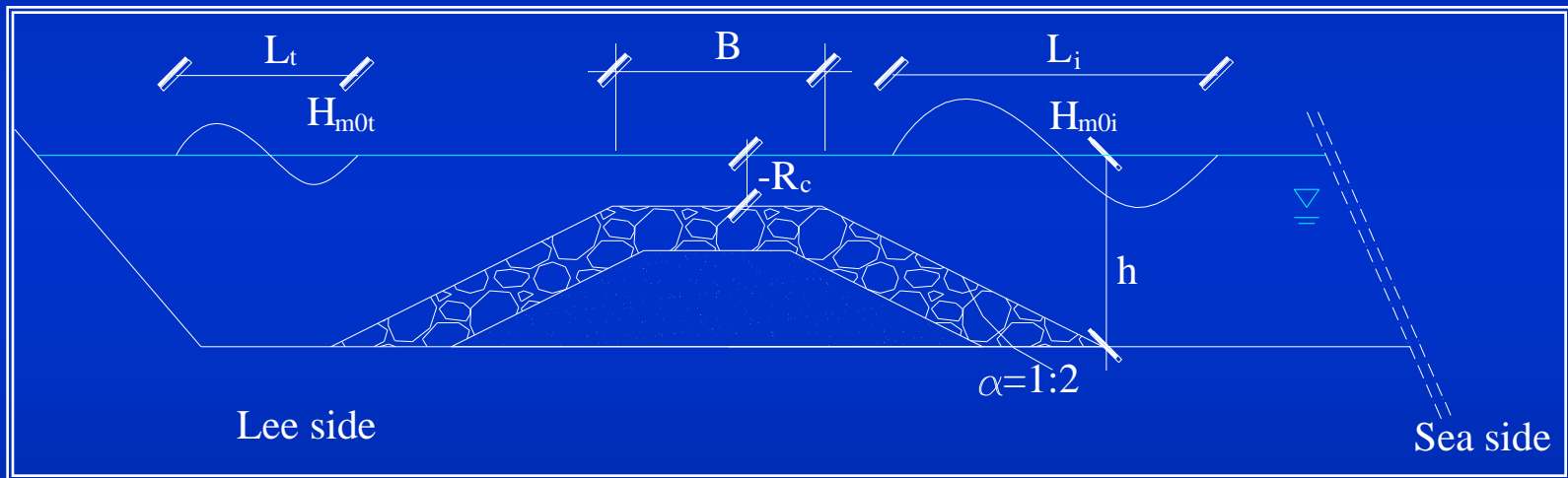
- Scarso ricambio di acqua con conseguente degrado della qualità;
- Forte riflessione dell'onda incidente, che ne compromette la stabilità.



# Fenomeni in esame

## Trasmissione

Quando un'onda frange su una scogliera, parte della sua energia viene dissipata e la quantità di moto trasferita al di là dell'ostacolo è nettamente inferiore a quella dell'onda incidente.



Il coefficiente di trasmissione è definito come:

$$K_t = \frac{H_t}{H_i}$$

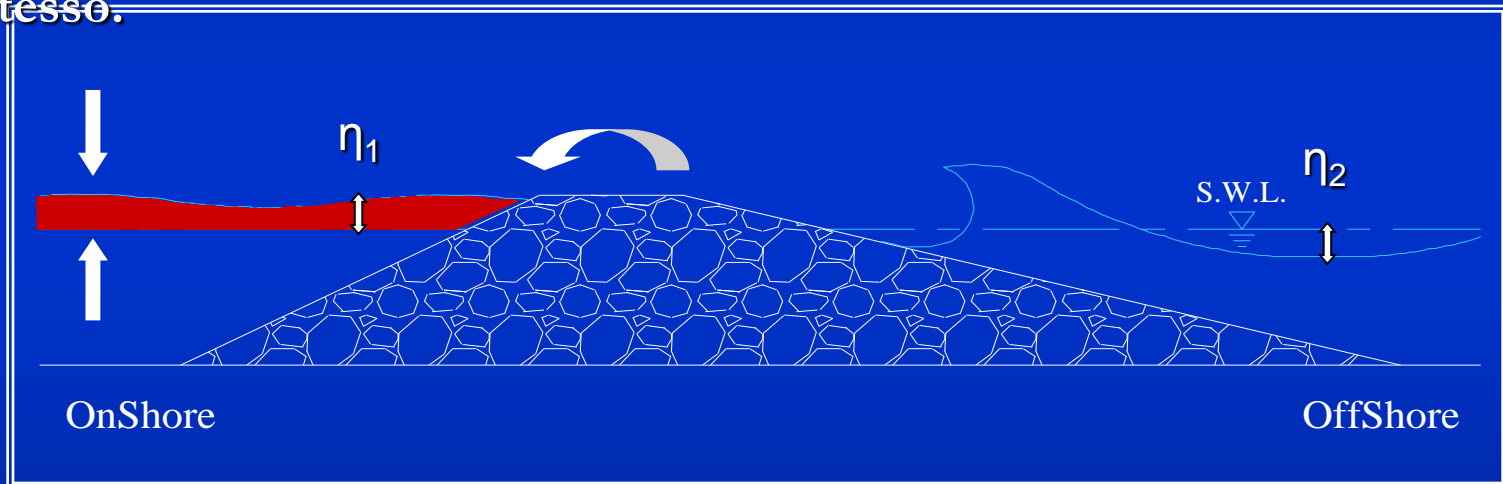
$$0 < K_t < 1$$

- Se  $K_t=0$ : scogliera alta e impermeabile
- Se  $K_t=1$ : scogliera assente

# Fenomeni in esame

## Water Set-up

Il Water Set up è l'innalzamento del livello idrico indotto dalle masse d'acqua trasferite nella zona protetta dal moto ondoso, che trovano ostacolo nel flusso di ritorno nella scogliera e nel moto ondoso stesso.



Si esprime come la differenza dei livelli idrici medi ai due lati della struttura:

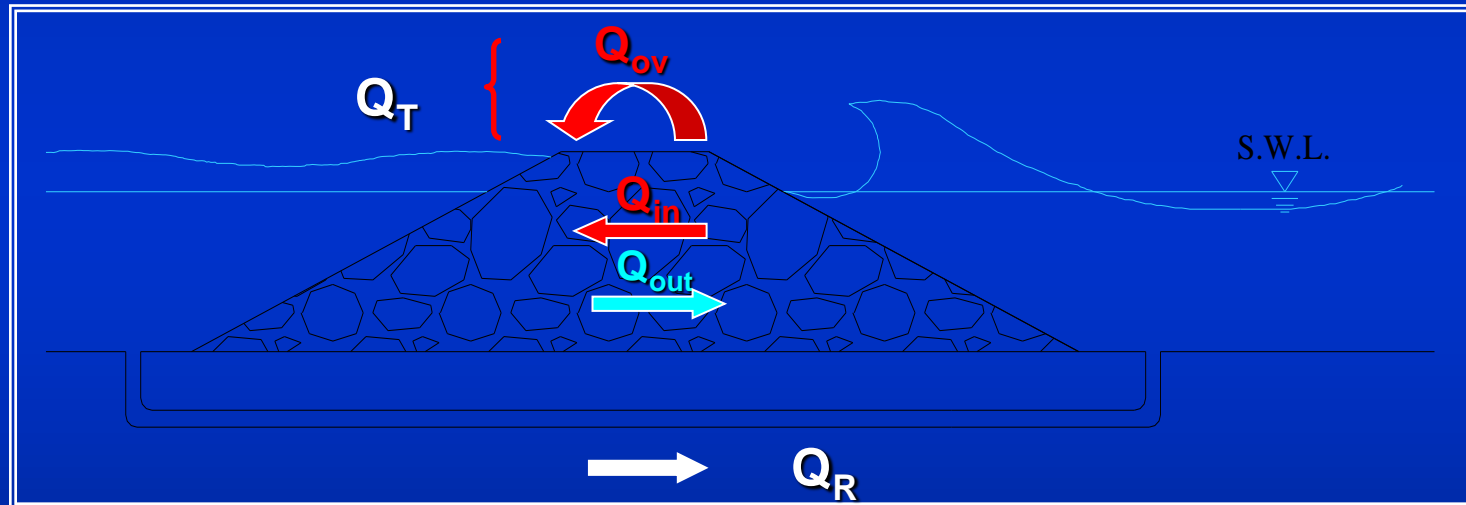
- $\eta_1$  livello d'acqua a tergo della struttura
- $\eta_2$  livello d'acqua davanti alla struttura

$$\Delta\delta = \eta_1 - \eta_2$$

# Fenomeni in esame

## Overtopping

L'overtopping o portata di tracimazione individua la quantità di acqua che oltrepassa (dal largo verso riva) la scogliera per effetto del moto ondoso nel dominio del tempo.



$$Q_T = Q_{ov} + Q_{in}$$

$$Q_R = Q_T - Q_{out}$$

-  $Q_{ov}$ : portata d'acqua che oltrepassa la struttura

-  $Q_{in}$ : portata di filtrazione attraverso la struttura verso riva

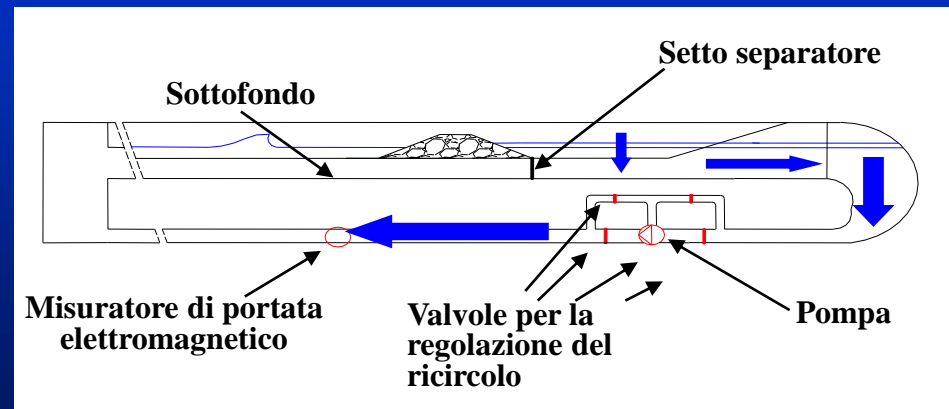
-  $Q_R$ : simula il flusso attraverso i varchi

# Attrezzatura Sperimentale

## Canale Laboratorio Costiero di Firenze

- Lunghezza: 47 m
- Larghezza: 0.80 m
- Profondità: 0.80 m
- Fondo fisso riprodotto con pannelli riposizionabili in fibrocemento
- Fondo mobile in sabbia fino alla batimetrica dei - 8 m

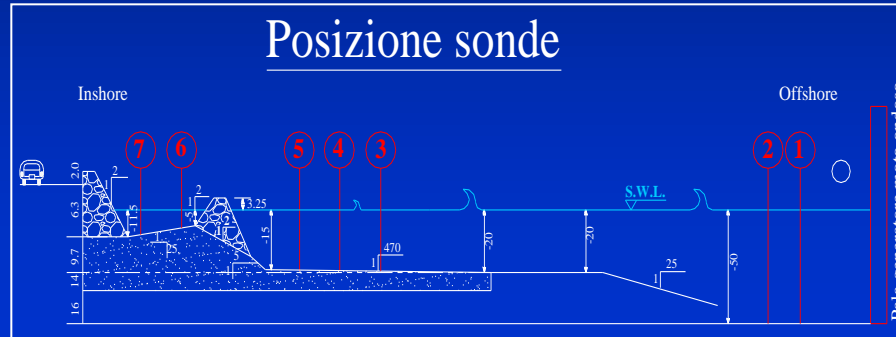
Il canale è dotato di un sistema di ricircolo bidirezionale



# Attrezzatura Sperimentale

## Strumenti di acquisizione dei dati

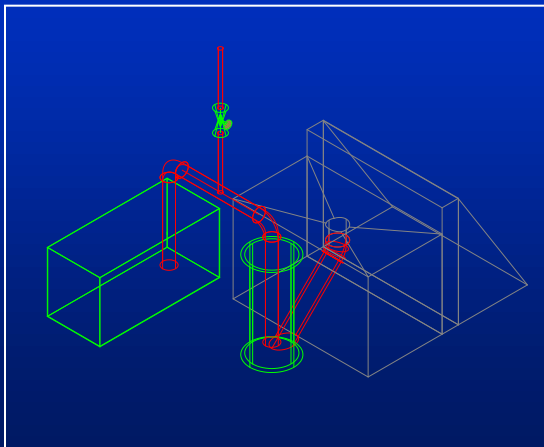
### 7 Sonde resistive



2 Punte  
idrometriche  
con nonio

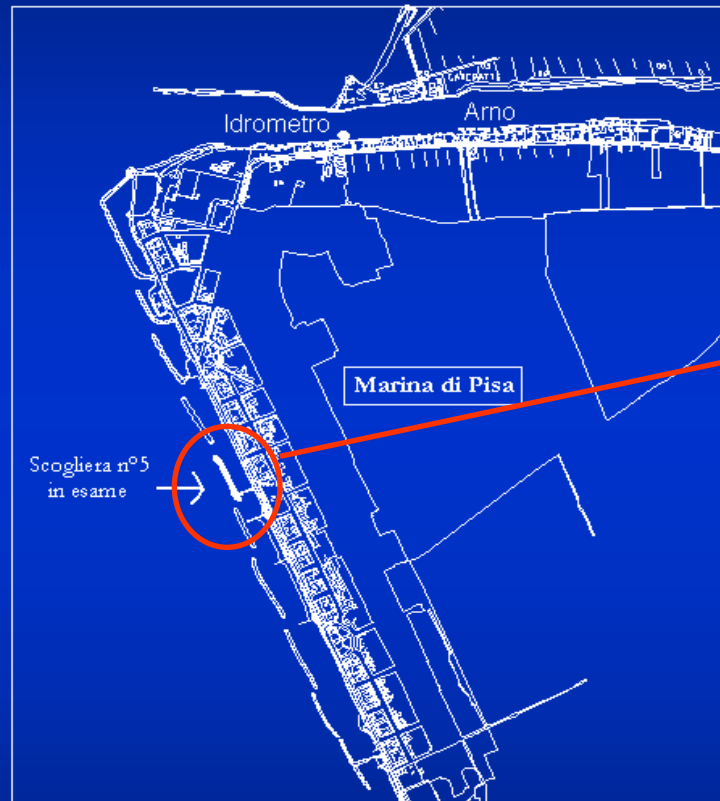


### Apparato per la misura dell'overtopping



# Descrizione degli esperimenti

## Strutture oggetto di studio



Le strutture oggetto di questo studio sperimentale si riferiscono al tratto di costa protetto dalla quinta scogliera a partire dalla foce dell'Arno.



# Descrizione degli esperimenti

## Strutture oggetto di studio



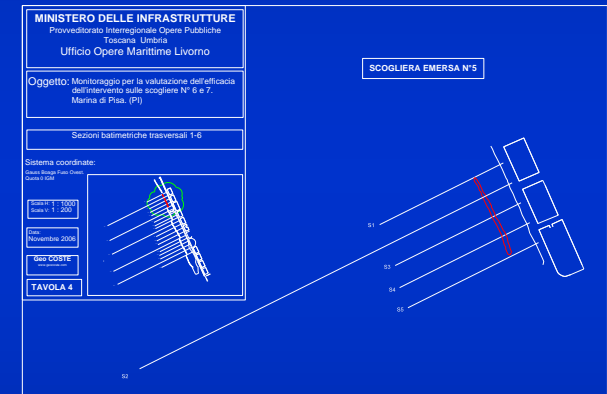
# Descrizione degli esperimenti

## Sezione riprodotta nel modello

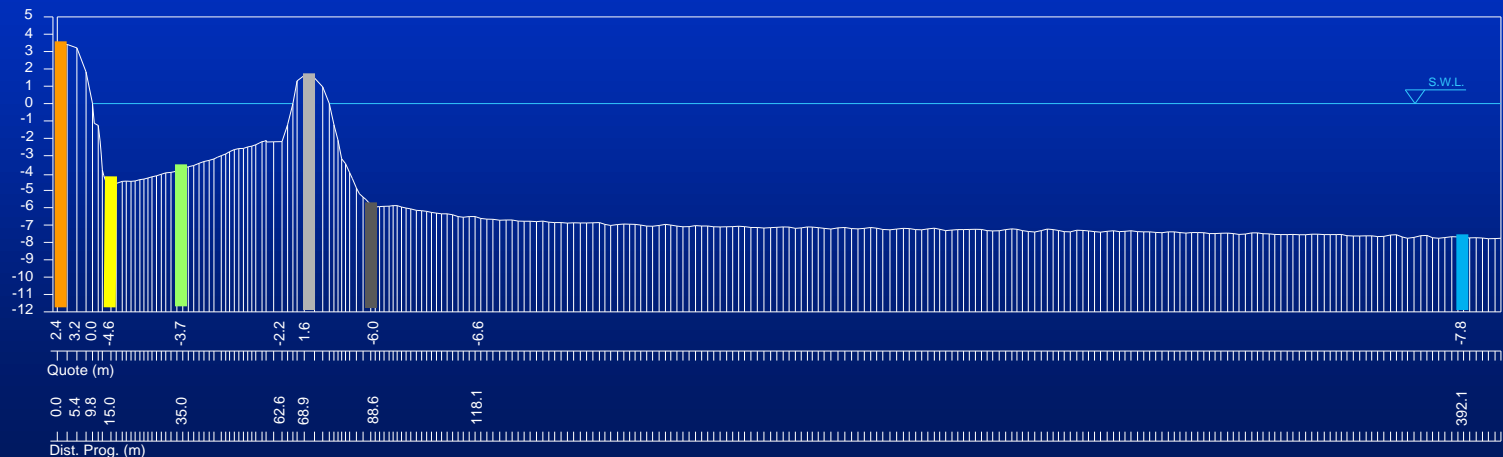
Date le dimensioni del canale e la capacità di generazione del moto ondoso, il fattore di scala minimo, che consente di riprodurre le condizioni del sito in esame è 1:40.

E' stata scelta una sezione rappresentativa dell'area di studio, con queste caratteristiche:

- ✓ Batimetrica a largo: **- 8 m**
- ✓ Freeboard della scogliera emersa: **1.6 m**
- ✓ Freeboard della scogliera radente: **3.3 m**
- ✓ Profondità nella zona protetta: **- 3.7 m**
- ✓ Profondità al piede esterno della scogliera radente: **- 4.6 m**
- ✓ Profondità al piede esterno della scogliera emersa: **- 6 m**



Sezione  
n° 2



# Descrizione degli esperimenti

## Ricostruzione delle strutture

### Scogliera radente



- Larghezza cresta  $\rightarrow$  10 cm (4 m)
- Inclinazione lato mare  $\rightarrow$  1:2
- Freeboard  $\rightarrow$  8.3 cm (3.3 m)

### Scogliera parallela



- Larghezza cresta  $\rightarrow$  10 cm (4m)
- Inclinazione lato mare  $\rightarrow$  1:2
- Freeboard  $\rightarrow$  3.25 cm (1.6 m)

### Granulometria delle strutture [cm]

Scogliera radente				Scogliera parallela			
$D_{15}$	$D_{85}$	$D_{50}$	$D_{85}/D_{15}$	$D_{15}$	$D_{85}$	$D_{50}$	$D_{85}/D_{15}$
2.9	3.75	3.31	1.3	3.2	4.8	3.6	1.5





# Descrizione degli esperimenti

## Configurazioni studiate

### Scogliera parallela C1 e C1-R:

- Larghezza cresta  $\rightarrow$  10 cm (4m)
- Inclinazione lato mare  $\rightarrow$  1:2
- Freeboard  $\rightarrow$  3.25 cm (1.3 m)



### Scogliera parallela C2:

- Larghezza cresta  $\rightarrow$  50 cm (20 m)
- Inclinazione lato mare  $\rightarrow$  1:2.5
- Freeboard  $\rightarrow$  -2.5 cm (-1 m)



### Scogliera parallela C3:

- Larghezza cresta  $\rightarrow$  80 cm (32 m)
- Inclinazione lato mare  $\rightarrow$  1:5
- Freeboard  $\rightarrow$  -2.5 cm (-1 m)



# Descrizione degli esperimenti

## Parametri di generazione

Ciascuna configurazione è stata sottoposta a sei attacchi ondosi su tre livelli idrici impostati in canale (F0, F1, F2), ognuno dei quali ha lo scopo di simulare una precisa condizione di mare:

- F0: condizioni di mare senza innalzamenti dovuti a vento e marea
- F1: innalzamento da vento
- F2: innalzamento da vento e da marea

CODICE ONDA	H <sub>s</sub> [cm]	T [sec]
I1	10	1.1
I2	10	1.4
I3	10	1.7
I4	15	1.4
I5	15	1.7
I6	18	1.7

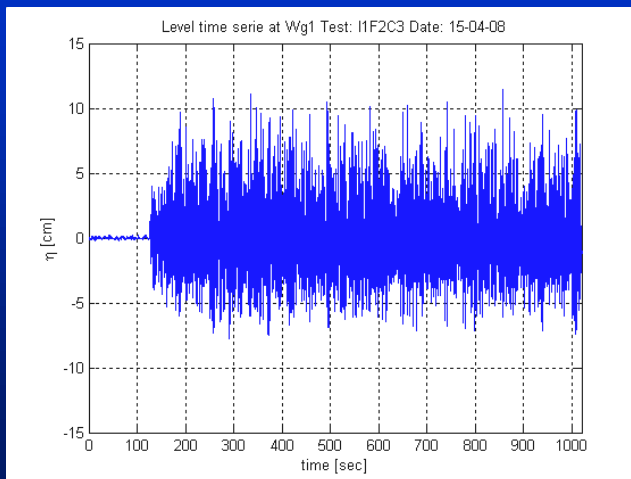


# Descrizione degli esperimenti

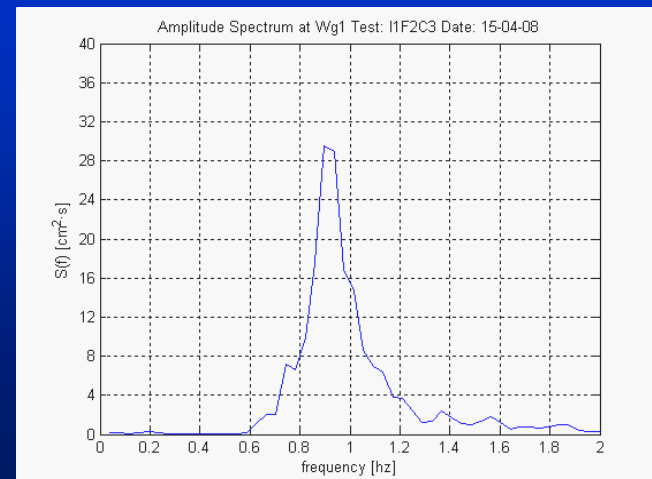
## Metodologia di analisi

- N° totale di prove eseguite : 72
- Acquisizione dei primi 2' con generatore di moto ondoso spento
- Durata di ciascuna prova: 15'
- Periodo di attesa tra le prove: 20'
- Analisi tramite il software Matlab degli ultimi 5' di acquisizione di ogni sonda

### Variazione del livello in canale



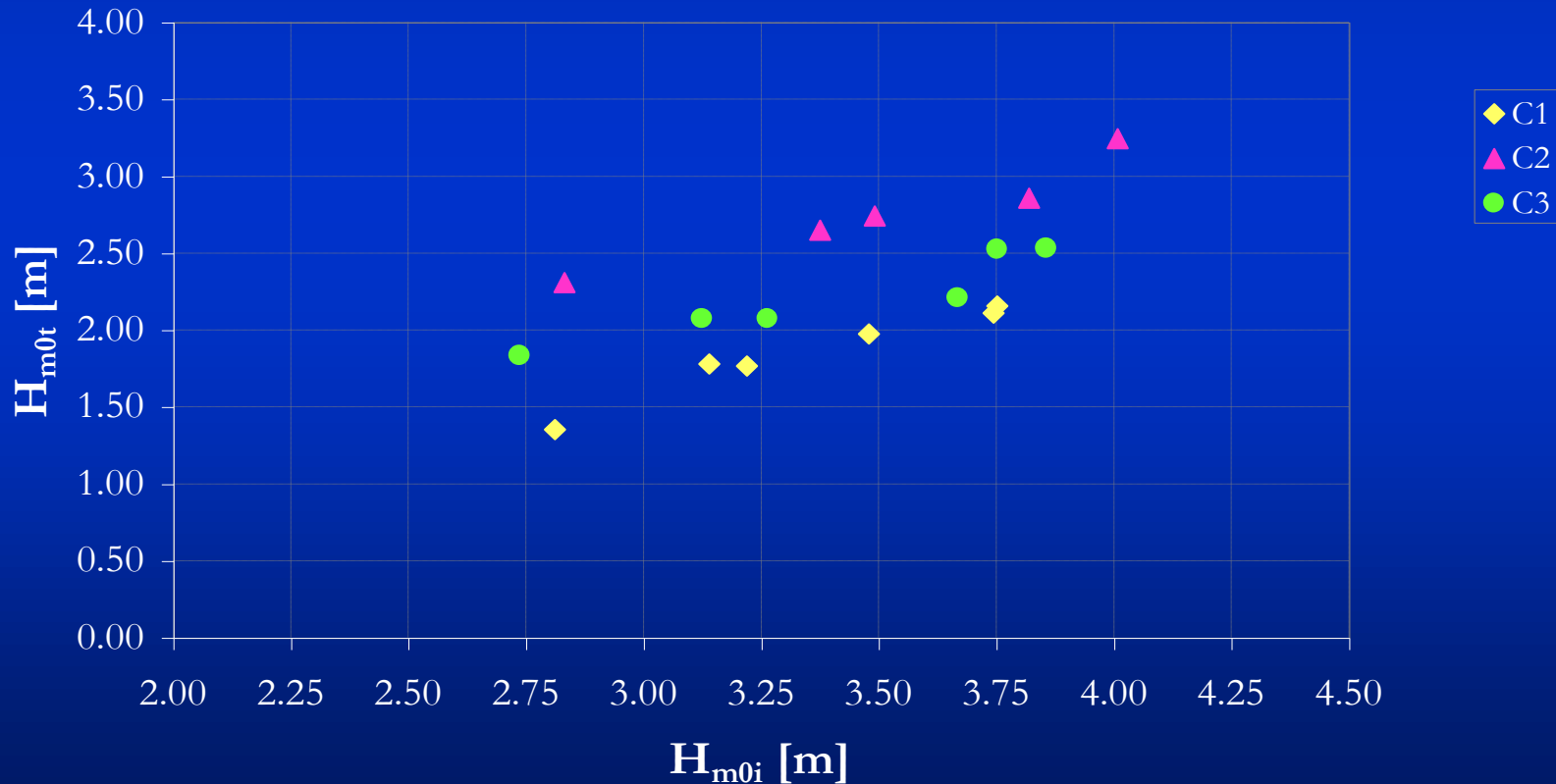
### Analisi spettrale delle onde



# Risultati

## Trasmissione

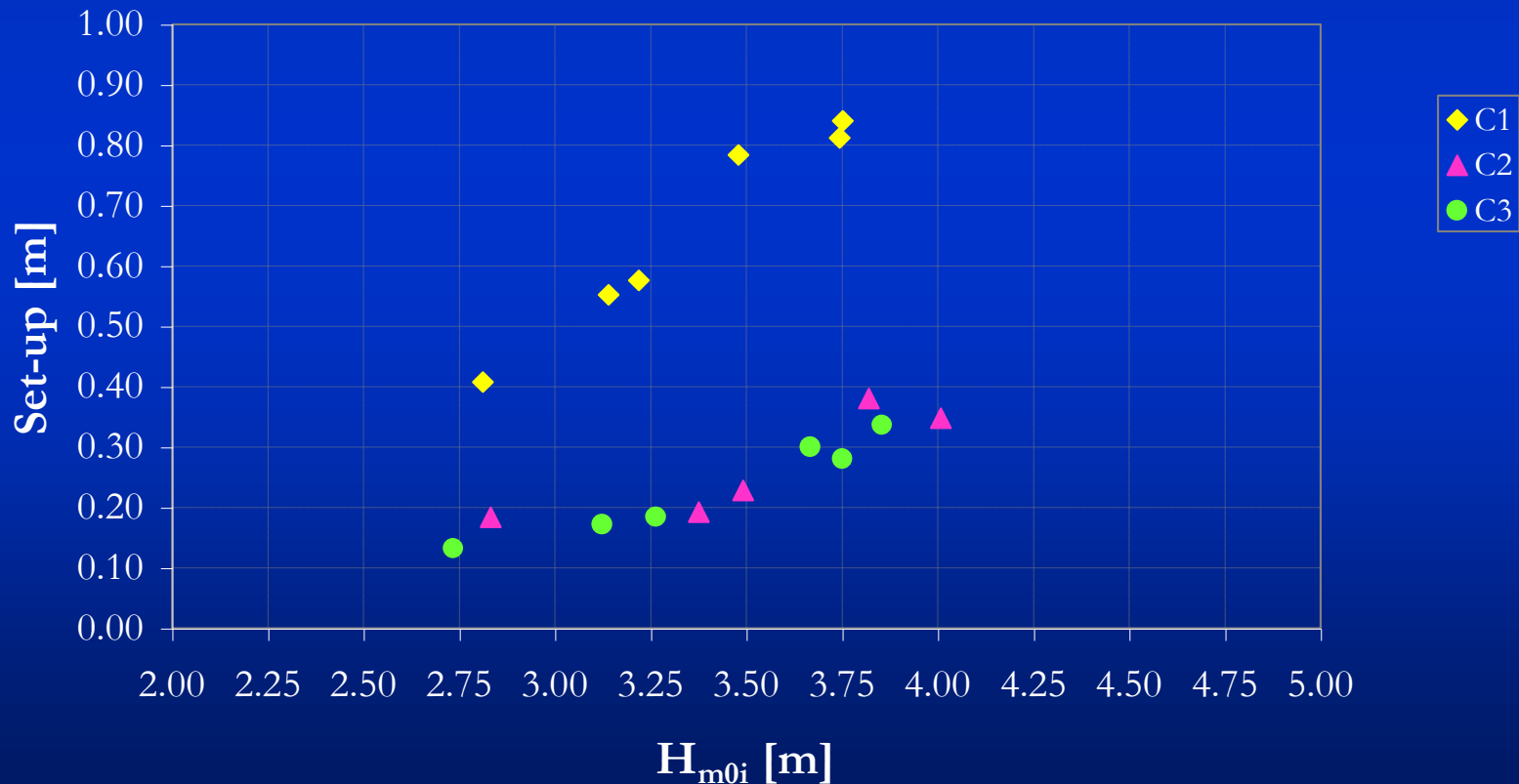
Andamento dell'onda trasmessa in funzione dell'onda incidente in scala prototipo



# Risultati

## Water Set-up

Andamento del water set-up in funzione dell'onda incidente in scala prototipo



# Risultati

## Overtopping

Andamento della portata di overtopping sulla strada litoranea  
in funzione dell'onda incidente in scala prototipo

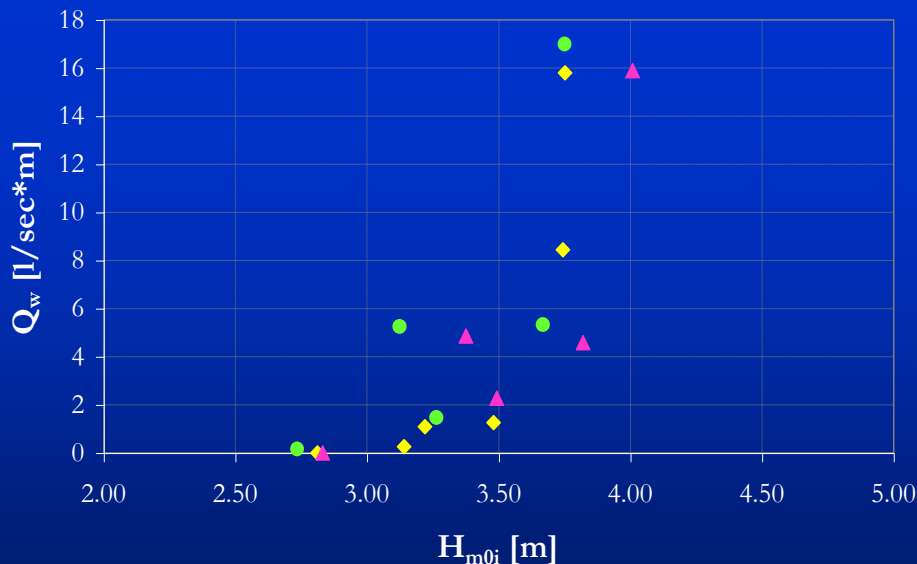


Tabella del rischio EurOtop Manual 2007

Hazard type and reason	Mean discharge $q$ (l/s/m)	Max volume $V_{max}$ (l/m)
Trained staff, well shod and protected, expecting to get wet, overtopping flows at lower levels only, no falling jet, low danger of fall from walkway	1 – 10	500 at low level
Aware pedestrian, clear view of the sea, not easily upset or frightened, able to tolerate getting wet, wider walkway <sup>(2)</sup> .	0.1	20 – 50 at high level or velocity
Driving at low speed, overtopping by pulsating flows at low flow depths, no falling jets, vehicle not immersed	10 – 50 <sup>(1)</sup>	100 – 1,000
Driving at moderate or high speed, impulsive overtopping giving falling or high velocity jets	0.01 – 0.05 <sup>(2)</sup>	5 – 50 <sup>(2)</sup> at high level or velocity
Significant damage or sinking of larger yachts	50	5,000 – 50,000
Sinking small boats set 5-10m from wall. Damage to larger yachts	10 <sup>(1)</sup>	1,000 – 10,000
Building structure elements	1 <sup>(2)</sup>	~
Damage to equipment set back 5-10m	0.4 <sup>(1)</sup>	~

# Conclusioni

- Lo stato attuale non è in grado di garantire la sicurezza del litorale in presenza di mareggiate relativamente estreme.
- La frequenza di accadimenti di questi eventi è attualmente in fase di analisi e non è stata presentata in questa tesi.
- La conversione delle scogliere emerse nella variante sommersa, se operata senza aggiunta di materiali aumenta il rischio di inondazioni.
- L'incremento della larghezza di cresta, mediante l'aggiunta di materiali permette di ottenere un grado di sicurezza confrontabile con l'attuale, ma comunque sempre non accettabile.
- Attualmente sono in corso nuovi esperimenti, condotti dal Prof. Cappiotti volti a studiare differenti alternative, che possono garantire la diminuzione delle condizioni di rischio.

A sunset scene over a vast ocean. The sun is low on the horizon, creating a bright, golden glow that fills the sky and reflects on the water. The sky is filled with soft, golden clouds. In the foreground, a dark silhouette of a coastline or a breakers line is visible against the shimmering water.

**Grazie a tutti per l'attenzione**