



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Progetto di modellistica sperimentale, inerente a frangiflutti per la difesa costiera, da condurre in laboratori marittimi nell'ambito di un'azione integrata tra Italia e Spagna

Candidata: Teresa Lasagni

Relatori: Ing. Lorenzo Cappiotti, Ph.D
Prof. Ing. Pier Luigi Aminti



Anno Accademico 2008/2009



Contenuti

- Motivazioni ed obiettivi
- Le infrastrutture sperimentali
- Progetto dell'attività sperimentale
 - il sistema in esame e i fenomeni studiati
 - i parametri caratteristici e il *range* di indagine
 - le scale di riduzione
 - il modello dell'opera
 - la scelta delle condizioni di moto ondoso
 - l'allestimento dei canali marittimi
 - le metodologie di misura dei fenomeni
 - Misure di piling – up
 - Misure di WPF
 - Misure di trasmissione del moto ondoso
- Conclusioni



Laboratori d'Enginyeria Marítima

Il contesto di lavoro

- Azioni integrate Italia - Spagna 2007-2008 - prot. aiis059h39
MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
- CHYM - Composite Hydraulic Models
Acceso de instalaciones científicas y técnicas singulares Canal de investigación y experimentación marítima (ciem) Universitat politecnica de catalunya (upc) Laboratori d'enginyeria maritima (lim)
MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA
- Composite Modeling of the Interactions Between Beaches and Structures (CoMIBBS). HYDRALAB III - 6 FP – European Union.

Motivazioni
ed obiettivi

Le infrastrutture
sperimentali

Progetto dell'
attività sperimentale

Conclusioni

Motivazioni

La **modellistica sperimentale** è uno degli strumenti fondamentali per lo studio di fenomeni caratterizzanti sistemi fisici complessi.

La riproduzione del fenomeno tramite un modello in scala è alterata da **effetti di scala e di laboratorio**: i primi sono tanto minori quanto maggiore è il rapporto di scala adottato, i secondi possono essere controllati mediante apparecchiature e procedure sperimentali adeguatamente progettate.

Per uno studio completo del fenomeno, l'indagine sperimentale deve indagare su **ampi range di variabilità** dei parametri caratteristici. Questo è improponibile su grandi canali marittimi a causa delle limitate risorse disponibili. L'attività è conducibile in canali marittimi piccoli che tuttavia inducono maggiori effetti di scala.

L'utilizzo di un **approccio composito** che faccia uso di canali marittimi sia "grandi" che "piccoli" permette sfruttare i vantaggi delle due infrastrutture e attenuarne i limiti.



Laboratori d'Enginyeria Marítima

Obiettivi della tesi

Progettazione di un'attività sperimentale che venga condotta su tre modelli fisici bidimensionali, realizzati con diverse scale di riduzione in tre diversi laboratori marittimi.

Il fenomeno preso in esame: processi d'interazione tra onde e strutture permeabili e tracimabili (a bassa cresta o completamente sommerse).

Motivazioni
ed obiettivi

Le infrastrutture
sperimentali

Progetto dell'
attività sperimentale

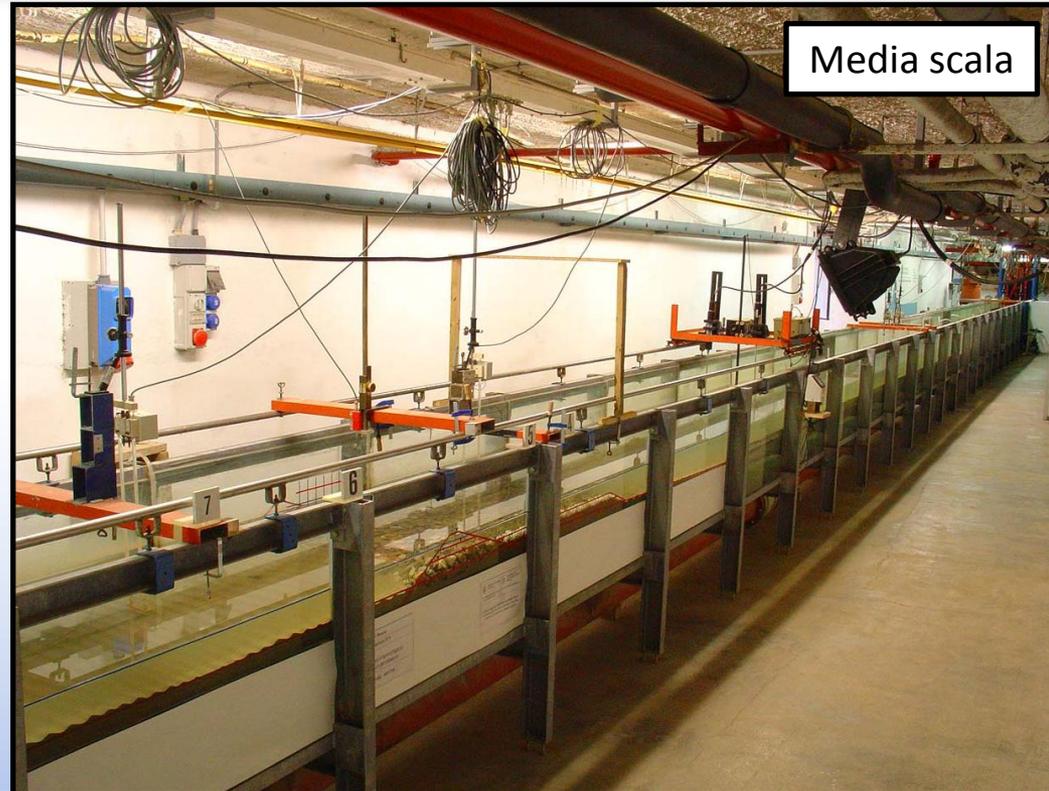
Conclusioni

Le infrastrutture di ricerca

CL DICEA

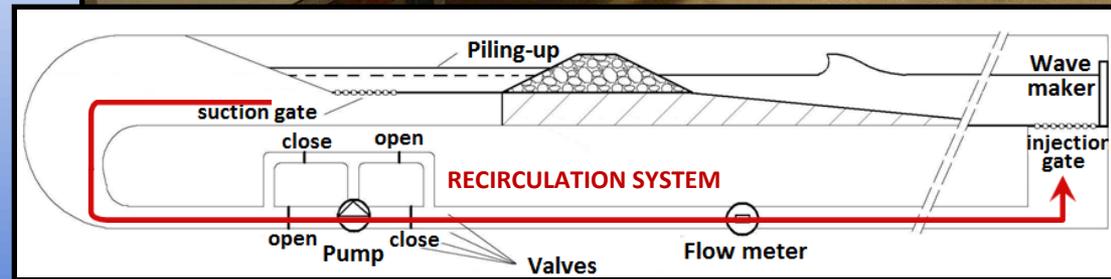
LABORATORIO DI IDRAULICA COSTIERA

Media scala



Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze

- Il canale per onde e correnti:
Lunghezza: 47 m
Larghezza: 0.80 m
Profondità: 0.80 m
- Sistema di generazione del moto ondoso: con battonde *piston type*, **riproduce onde con altezze fino a 0.4 m.**
- Sistema di ricircolo bidirezionale: ricircola l'acqua da riva al generatore di onde e viceversa (massima portata di 25 l/s).



Motivazioni ed obiettivi

Le infrastrutture sperimentali

Progetto dell'attività sperimentale

Conclusioni



Laboratori d'Enginyeria Marítima

Le infrastrutture di ricerca

CIEM LIM-UPC

CANAL D' INVESTIGACIÓ I
EXPERIMENTACIÓ MARÍTIMA

Laboratorio d'Enginyeria Marítima
dell'Universitat Politècnica de Catalunya

- Il canale per onde e correnti:
Lunghezza: 100 m
Larghezza: 3 m
Profondità: 7 m
- Sistema di generazione del moto ondoso:
con battonde *wedge type*, **riproduce onde con altezze fino a 1.6 m.**
- Sistema di ricircolo bidirezionale:
ricicla l'acqua da riva al generatore di onde e viceversa (1000 l/s).



Motivazioni
ed obiettivi

Le infrastrutture
sperimentali

Progetto dell'
attività sperimentale

Conclusioni



Laboratori d'Enginyeria Marítima

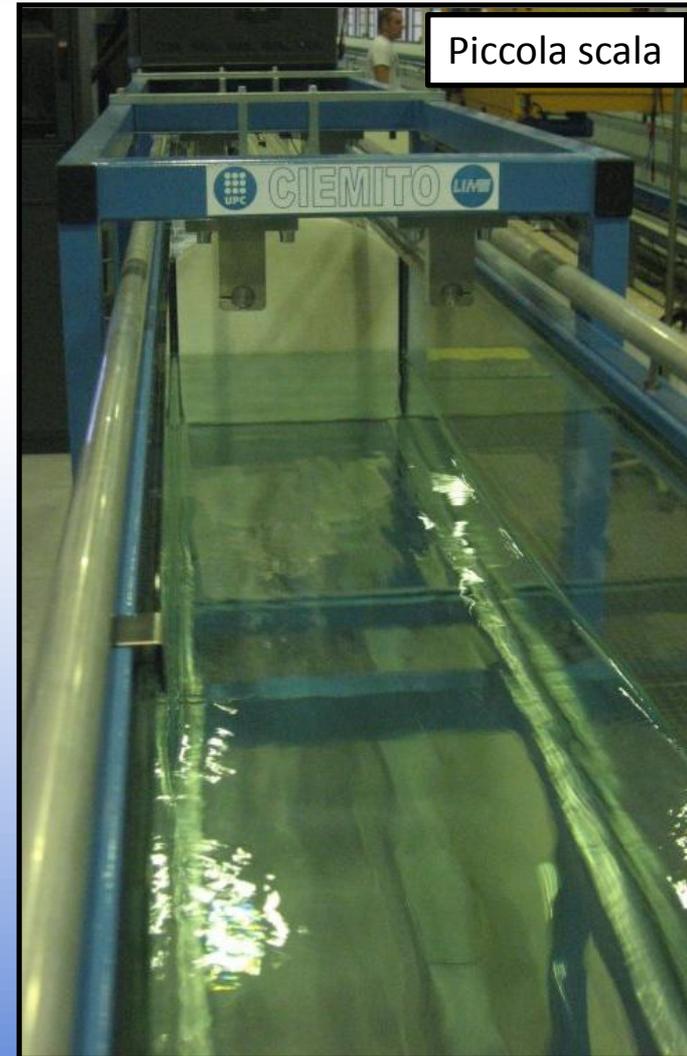
Le infrastrutture di ricerca

CIEMito LIM-UPC

**CANALito D' INVESTIGACIÓ I
EXPERIMENTACIÓ MARÍTIMA**

**Laboratorio d'Enginyeria Marítima
dell'Universitat Politècnica de Catalunya**

- Il canale per onde e correnti:
Lunghezza: 18 m
Larghezza: 0.38 m
Profondità: 0.35 m
- Sistema di generazione del moto ondoso:
con battonde *piston type*, **riproduce onde con
altezze fino a 0.27 m.**
- Sistema di ricircolo bidirezionale:
ricicla l'acqua da riva al generatore di onde e
viceversa (massima portata di 20 l/s).



Motivazioni
ed obiettivi

Le infrastrutture
sperimentali

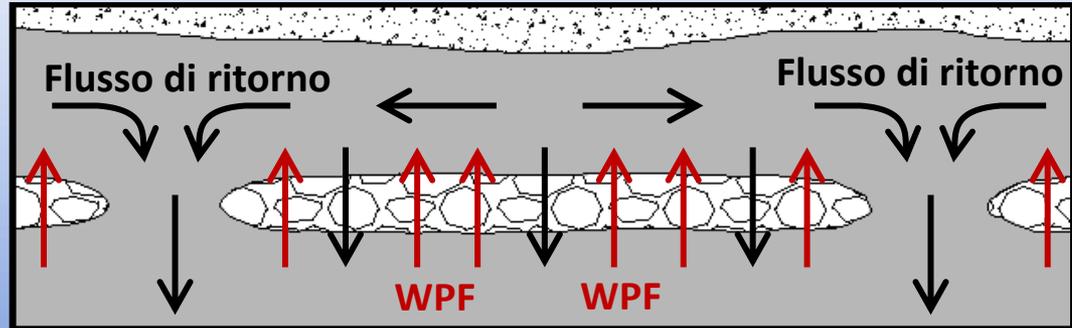
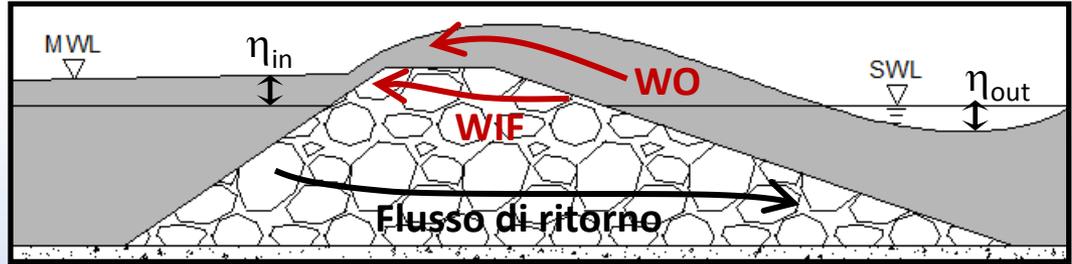
Progetto dell'
attività sperimentale

Conclusioni

Il sistema in esame e i fenomeni studiati

Fenomeni d'interazione tra onde e frangiflutti permeabili:

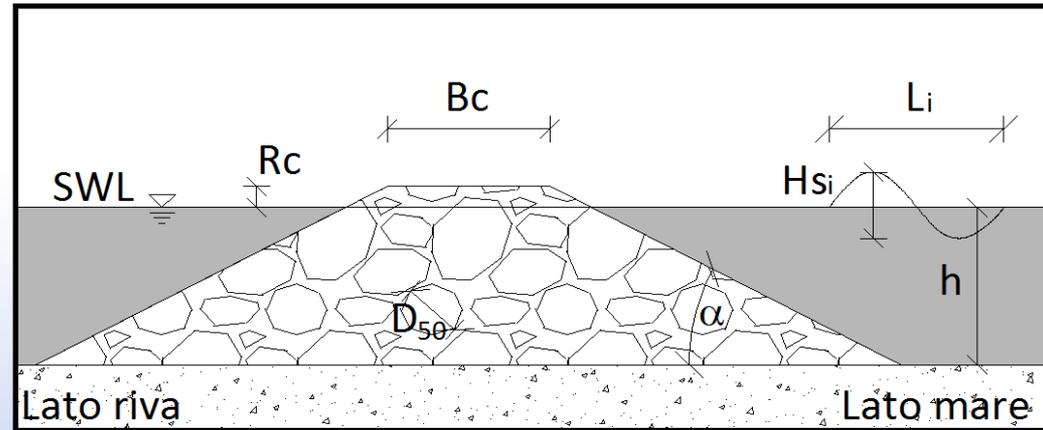
- Wave Pumped Flux $WPF = WO + WIF$;
- Piling-up Water Set-up;
- Trasmissione di moto ondoso.



➔ Necessità di indagare **ampi range di variabilità** dei parametri caratteristici che influenzano i fenomeni in esame.

I parametri caratteristici dai quali dipendono tutti i fenomeni in esame:

- R_c = *Freeboard* di barriera;
- H_{s_i} = Altezza d'onda significativa incidente;
- L_i = Lunghezza d'onda incidente;
- B_c = Larghezza della cresta della barriera;
- α = Pendenza dei paramenti;
- D_{50} = Diametro caratteristico dei massi.



Il *range* di variabilità dei parametri (di interesse progettuale ingegneristico):

$$-1 < \frac{R_c}{H_{s_i}} < 1$$

$$0 < \frac{B_c}{H_{s_i}} < 60$$

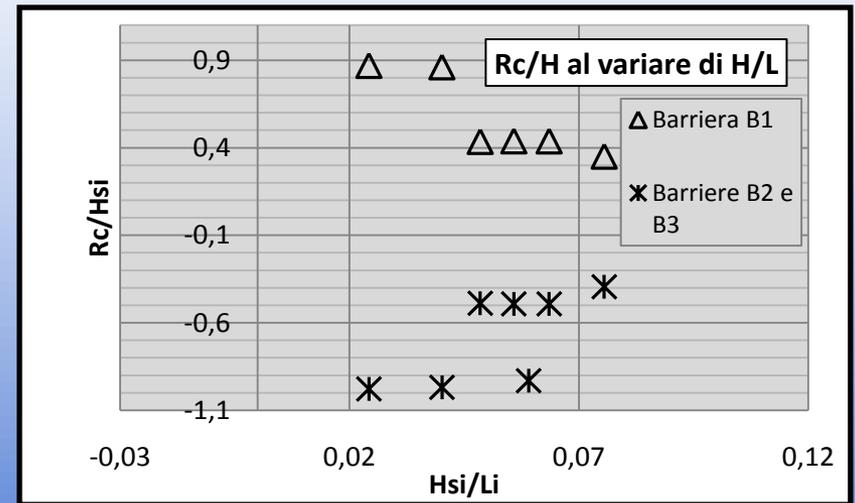
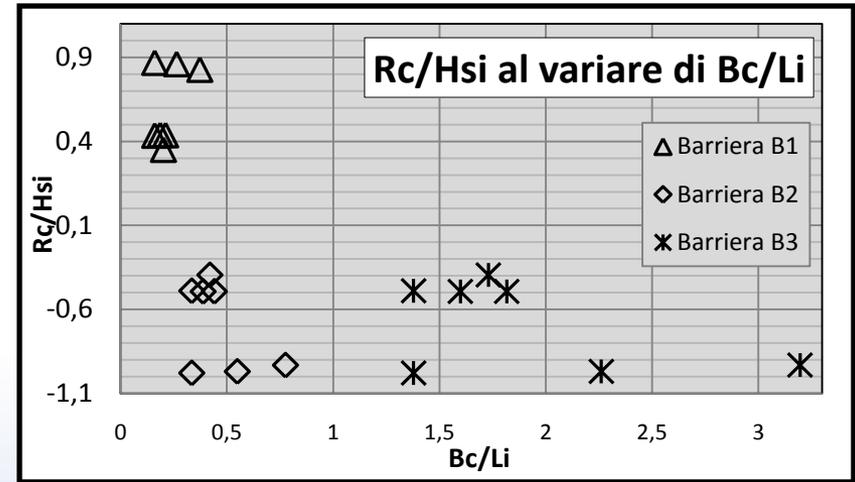
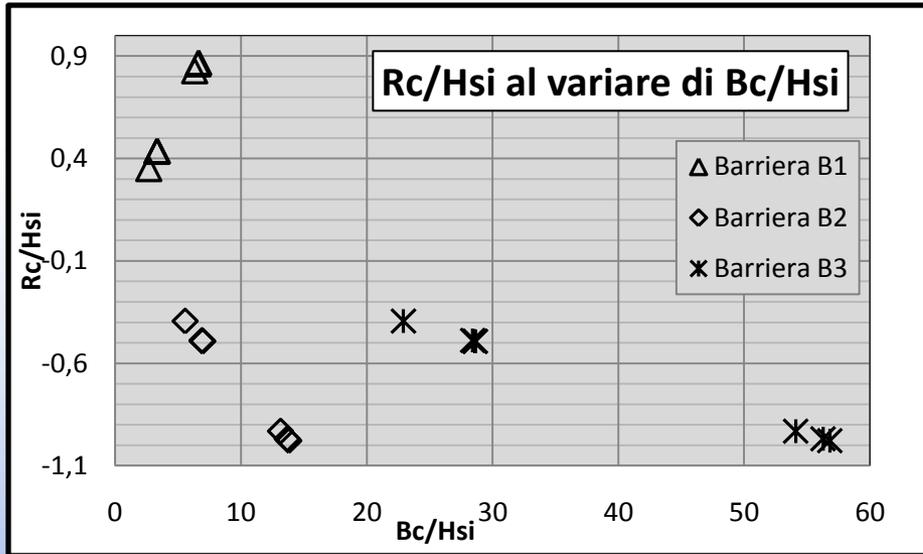
$$0 < \frac{B_c}{L_i} < 4$$

$$0 < \frac{H_{s_i}}{L_i} < 0.1$$

$$3 \text{ elementi di barriera} < B_c < 40 \text{ elementi di barriera}$$

E' il più sensibile in quanto variazioni anche piccole di tale rapporto inducono variazioni significative nella trasmissione di moto ondoso attraverso l'opera di difesa.

Variabilità dei parametri caratteristici di progetto



Dove:

- **B1**: barriera a cresta stretta emersa;
- **B2**: barriera a cresta stretta sommersa;
- **B3**: barriera a cresta larga sommersa.

Le scale di riduzione

Obiettivi

- Costruire, nei tre canali coinvolti, modelli in similitudine dinamica
- Scegliere fattori di riduzione più grande possibile, per tutti i canali marittimi;

Vincoli

- Rispettare i limiti dei sistemi di generazione del moto ondoso delle infrastrutture;
- Tener conto delle caratteristiche e dimensioni geometriche dei canali.

Valori di progetto

CANALE	SCALA DI RIDUZIONE ASSOLUTA	SCALA DI RIDUZIONE RELATIVA
CIEM Barcellona	1:4	1: 1
CL Firenze	1:14	1:3.5
CIEMito Barcellona	1: 22.58	1:5.65

Per una corretta riduzione dei modelli marittimi:

- Scalare le dimensioni delle barriere garantendo la similitudine geometrica;
- Scalare tutti i parametri caratteristici in gioco in base al criterio di Froude;
- Garantire il numero di Reynolds proprio dei flussi di filtrazione sufficientemente grande.

Il modello dell'opera

Obiettivi

- Indagare un ampio *range* di variabilità dei parametri caratteristici che influiscono sul fenomeno in esame.
- Realizzare sui tre canali configurazioni di barriera facilmente riproducibili con elevata accuratezza in modo da ottenere modelli in perfetta similitudine geometrica;
- Garantirne struttura e stabilità originarie, sotto tutte le condizioni di moto ondoso testate;

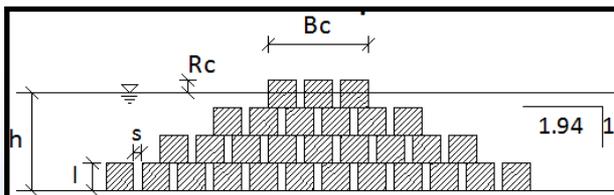
Vincoli

- Risorse economiche e limiti legati alle tecniche e manodopera per la costruzione;
- Mantenere numeri di Reynolds > 30.000
- Spaziatura tra gli elementi di barriera tale che la porosità sia $\approx 40\%$;

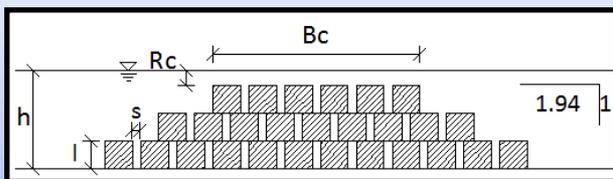
Il modello dell'opera

Valori di progetto 3 frangiflutti

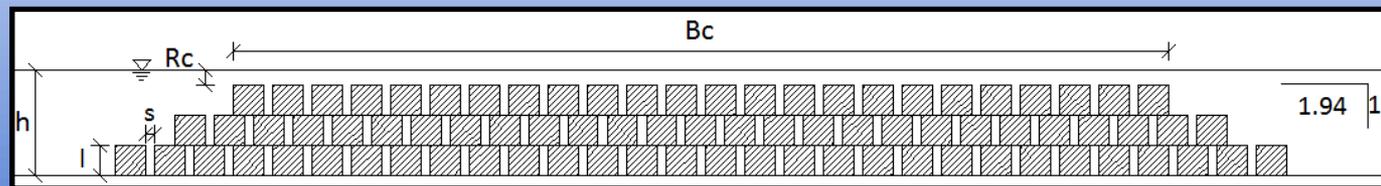
Barriera B1: a cresta stretta emersa



Barriera B2: a cresta stretta sommersa



Barriera B3: a cresta larga sommersa.



CIEM Scala assoluta 1:4								
Codice berma	Larghezza cresta	Numero di unità al coronamento	Freeboard	Profondità al piede della berma	Inclinazione paramenti	Lato del cubo	Spaziatura tra i blocchi	Porosità
	Bc [m]		Rc [m]	h [m]				
B1	1.53	3	0.200	1.5	1/1.94	0.425	0.125	38.24
B2	3.18	6	-0.225					38.34
B3	13.08	24	-0.225					39.39

CL Scala assoluta (relativa) 1:14 (1:3.5)								
Codice berma	Larghezza cresta	Numero di unità al coronamento	Freeboard	Profondità al piede della berma	Inclinazione paramenti	Lato del cubo	Spaziatura tra i blocchi	Porosità
								[%]
B1	0.44	3	0.057	0.43	1/1.94	0.121	0.036	37.66
B2	0.91	6	-0.064					37.85
B3	2.32	24	-0.040					38.91

CIEMito Scala assoluta (relativa) 1:22.85 (1:5.65)								
Codice berma	Larghezza cresta	Numero di unità al coronamento	Freeboard	Profondità al piede della berma	Inclinazione paramenti	Lato del cubo	Spaziatura tra i blocchi	Porosità
								[%]
B1	0.27	3	0.035	0.27	1/1.94	0.075	0.022	37.66
B2	0.56	6	-0.040					37.85
B3	2.32	24	-0.040					38.91

- Forma: Cubi;
- Materiali: Calcestruzzo(CIEM) e resina(CL,CIEMito);
- Densità : $\rho_s = 2300 \frac{kg}{m^3}$

Motivazioni ed obiettivi

Le infrastrutture sperimentali

Progetto dell'attività sperimentale

Conclusioni

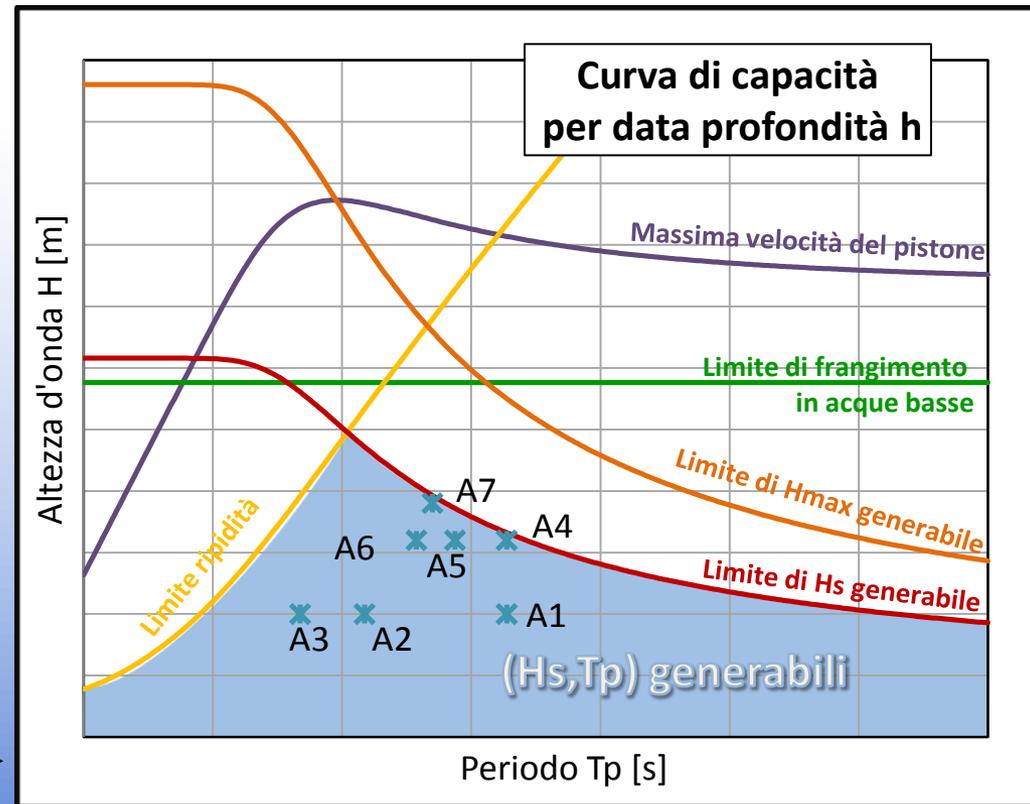
La scelta delle condizioni di moto ondoso

Obiettivi

- Studiare i frangiflutti in condizione di normale esercizio (dati tipici di mareggiate frequenti nel Mediterraneo);
- Indagare le strutture su profondità di 6-7m in scala prototipo.

Vincoli

- H_s comprese tra 1÷2.5m;
- Ripidità d'onda comprese tra 0.02÷0.07;
- Numeri di Reynolds elevati $Re > 30000$;
- L'onda più alta non supera i bordi del canale;
- L'onda non deve frangere:
 - per interazione col fondo $H_s/d < 0.6$;
 - per raggiunto limite di ripidità $H_s/L < 1/7$;
- Limiti dei tre generatori d'onda impiegati. ←→



La scelta delle condizioni di moto ondoso

Valori di progetto

7

attacchi ondosi

Riprodotti nei canali con treni d'onda irregolari (spettro Jonsawap, $\gamma=3.3$).

7 ATTACCHI ONDOSI SCELTI									
Canali		Parametri d'onda	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
CIEM	$\lambda_L = 1/4$	H_s [m]	0.23	0.23	0.24	0.46	0.46	0.46	0.57
		T_p [s]	2.83	2.00	1.64	2.83	2.53	2.31	2.39
	$d = 1.5m$	L [m]	9.49	5.78	4.09	9.49	8.18	7.20	7.56
		Re[-]	638564	641567	654348	903065	899541	900107	1005698
	h=4m	H/d [m]	0.153	0.155	0.161	0.307	0.304	0.305	0.38
$d+1.3(H_{rit}/2)$ [m]		1.91	1.92	1.94	2.31	2.31	2.32	2.52	
CL	$\lambda_L = 1/14$	H_s [m]	0.07	0.07	0.07	0.13	0.13	0.13	0.16
		T_p [s]	1.51	1.07	0.87	1.51	1.35	1.23	1.28
	$d = 0.43m$	L[m]	2.71	1.65	1.17	2.71	2.34	2.06	2.16
		Re[-]	97522	97981	99932	137917	137379	137465	153591
	h=0.8m	H/d [m]	0.153	0.155	0.161	0.307	0.304	0.305	0.38
$d+1.3(H_{rit}/2)$ [m]		0.54	0.55	0.56	0.66	0.66	0.66	0.72	
CIEMito	$\lambda_L = 1/22.58$	H_s [m]	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.08	0.10
		T_p [s]	1.19	0.84	0.69	1.19	1.06	0.96	1.01
	$d = 0.27m$	L[m]	1.68	1.02	0.72	1.68	1.45	1.28	1.34
		Re[-]	47611	47835	48788	67332	67079	67112	74985
	h=0.58m	H/d [m]	0.153	0.155	0.161	0.307	0.304	0.305	0.38
$d+1.3(H_{rit}/2)$ [m]		0.34	0.34	0.34	0.41	0.41	0.41	0.45	
H/L [m]			0.02	0.04	0.06	0.05	0.06	0.06	0.08

Motivazioni ed obiettivi

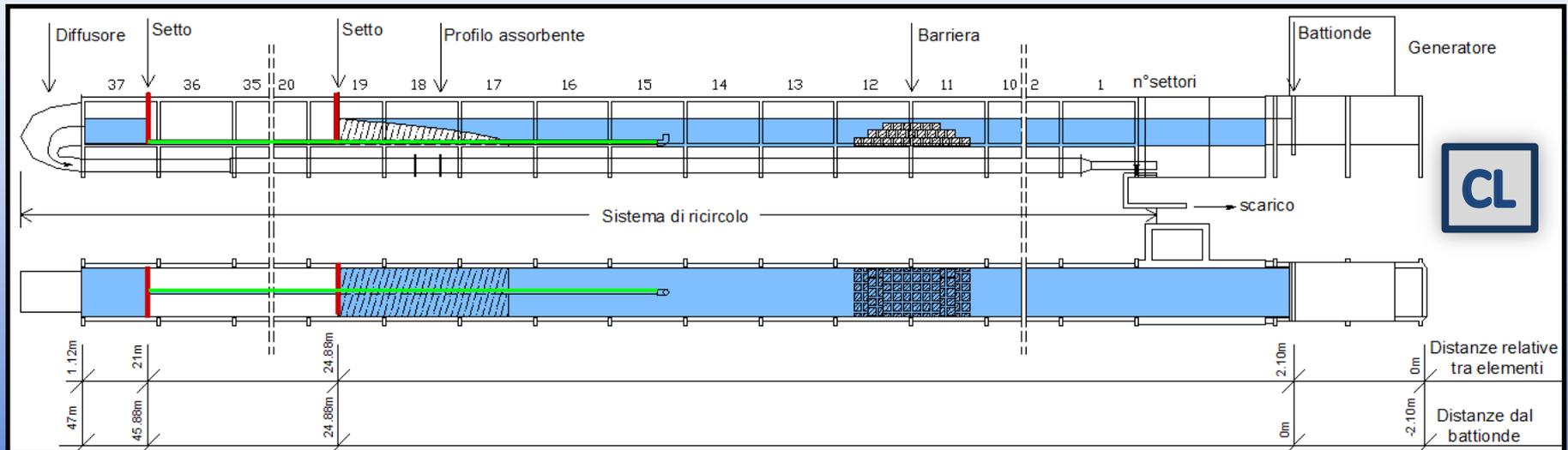
Le infrastrutture sperimentali

Progetto dell'attività sperimentale

Conclusioni

L'allestimento dei canali marittimi

- Obiettivi**
- Confrontare modelli simili, a meno del fattore di scala;
 - Limitare gli effetti di laboratorio.
- Vincoli**
- Uniformare le 3 infrastrutture di ricerca;
 - Progettare modelli di semplice realizzazione;
 - Posizionare le barriere dove la corrente risente meno del sistema di ricircolo;
 - Garantire una distanza barriera/generatore >3-5 volte la profondità dell'acqua al battionda.
- Valori di progetto**
- Allestire il canale con fondo fisso e orizzontale;
 - Parzializzazione del CL di Firenze con due **setti impermeabili** e un **collegamento idraulico** tra canale e sistema di ricircolo;
- ⋮



Motivazioni ed obiettivi

Le infrastrutture sperimentali

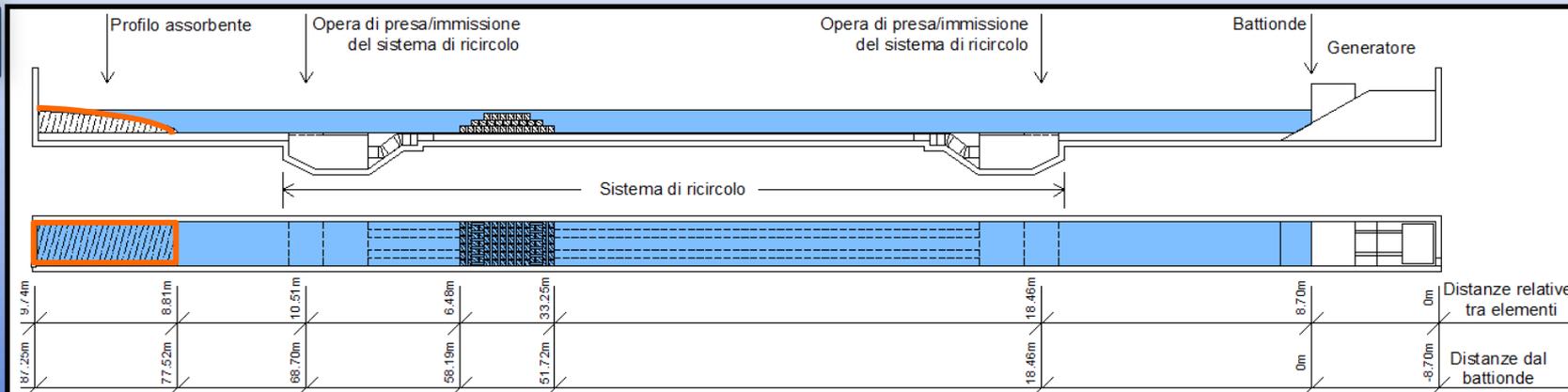
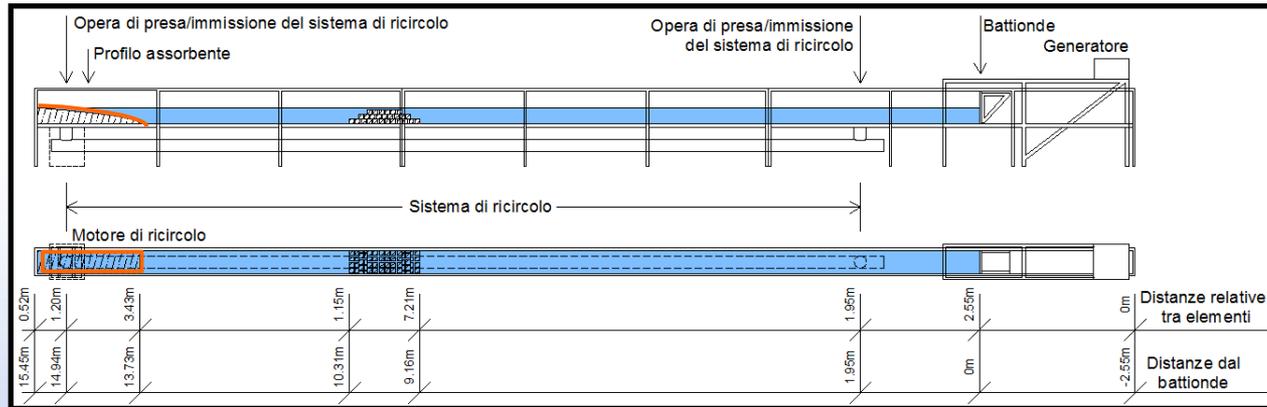
Progetto dell'attività sperimentale

Conclusioni

L'allestimento dei canali marittimi

Valori di progetto

- Scegliere fattori di scala nel CIEM e CIEMito che ne assicurino una lunghezza geometricamente simile.
- Realizzare a fondo canale una spiaggia che assorba il moto ondoso, con profilo parabolico.
- Porre le strutture nel CIEM tra 40m e 60m dal battionda, scalare tale posizionamento su CL e CIEMito.



Motivazioni ed obiettivi

Le infrastrutture sperimentali

Progetto dell'attività sperimentale

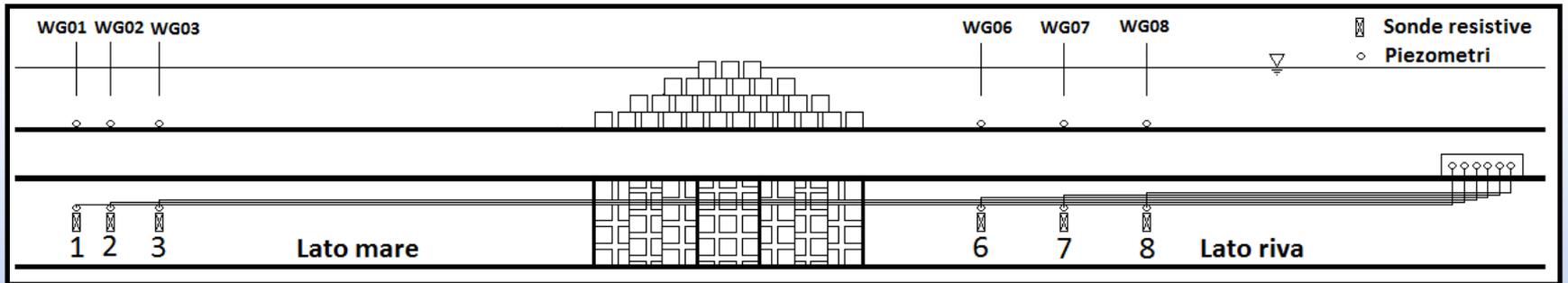
Conclusioni

Le metodologie di misura dei fenomeni: il piling-up

Gli strumenti di misura

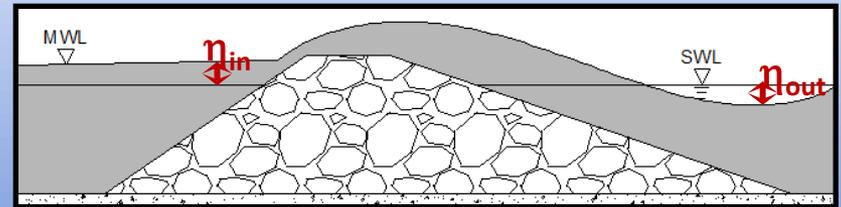
- Sonde resistive di livello;
 - Piezometri, in asse con le sonde.
- Uso di più strumenti per avere ridondanza di misurazione.

Codice Sonda	Posizione	Misura eseguita	Criterio di posizionamento
WG01 WG02 WG03	Tra battionde e frangiflutti	Onda generata(WG01) Onda incidente, riflessa e piling up	Metodo di Mansard&Funke
WG06 WG07 WG08	Tra frangiflutti e spiaggia	Piling-up e trasmissione	Tenere gli strumenti lontani dalle prese del sistema di ricircolo



Il metodo

Il piling-up si misura come differenza dei livelli idrici medi ai due lati della struttura:

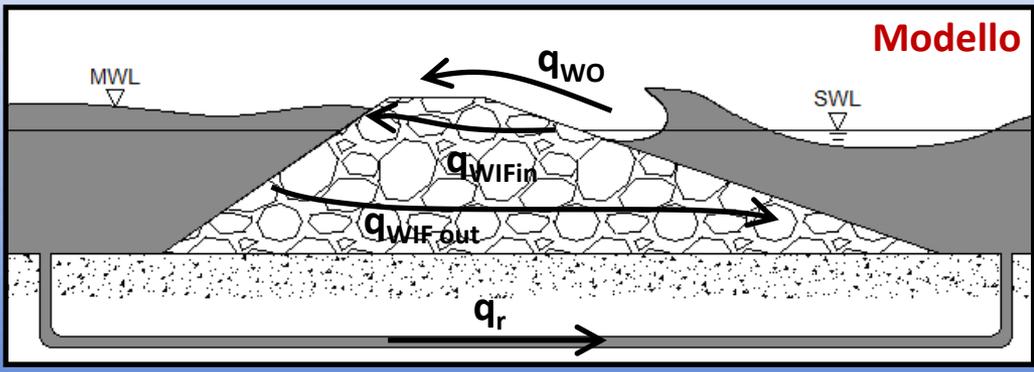
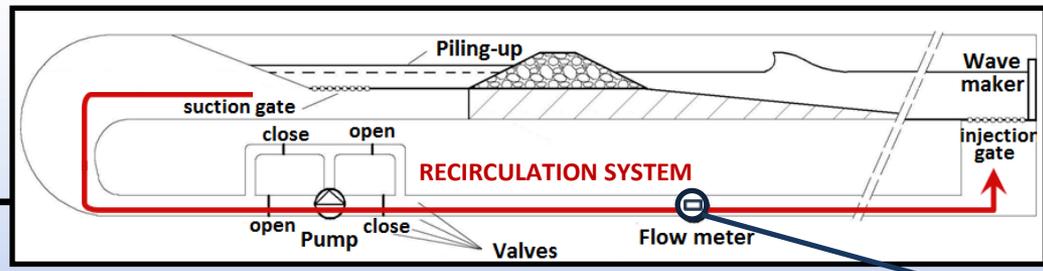
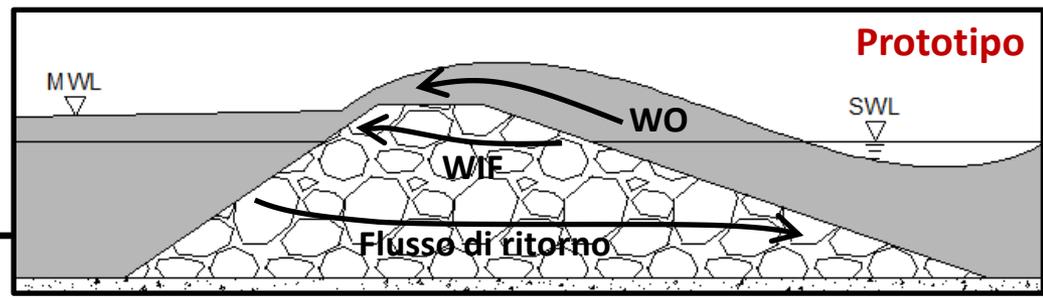
$$\Delta\eta = \eta_{in} - \eta_{out}$$


- η_{in} si ottiene come media delle letture alle sonde WG06/07/08 e ai piezometri associati.
- η_{out} si ottiene come media delle letture alle sonde WG01/02/03 e ai piezometri associati.

Le metodologie di misura dei fenomeni: il WPF

Gli strumenti di misura

- Il sistema di ricircolo;
- Sonde resiste usate nelle misure di sovralz.



un misuratore di portata consente di misurare i volumi ricircolati.

Il metodo

Cappiotti et al. 2004

La portata di ricircolo q_r è regolata più volte tra 2 condizioni estreme:

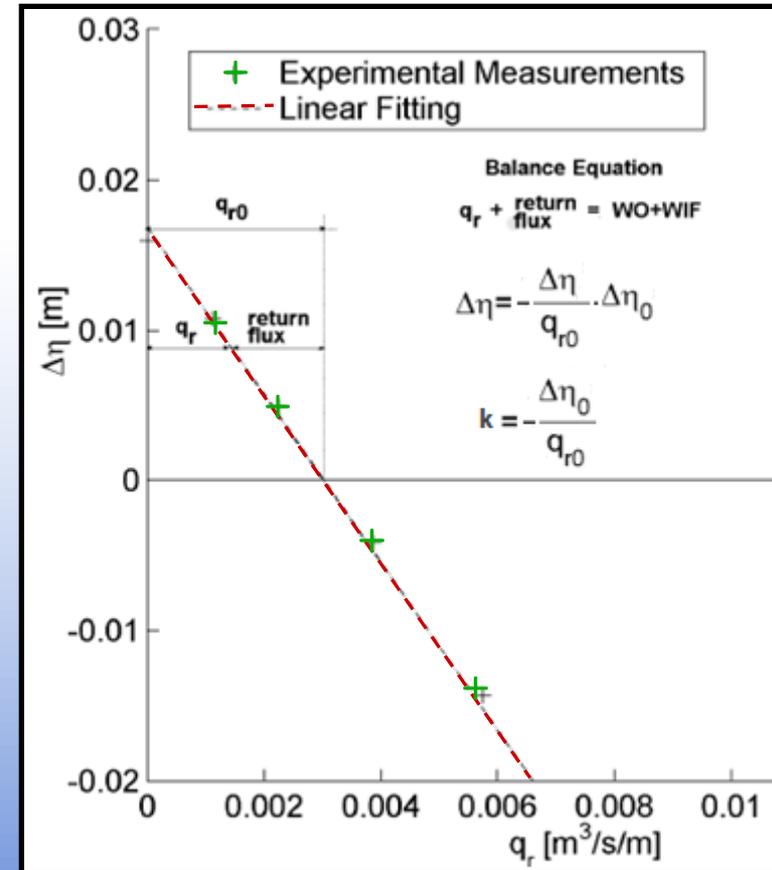
- dal valore nullo: con sistema di ricircolo chiuso si realizza il massimo sovrizzo:

$$q_r = 0 \Rightarrow \max(\Delta\eta) = [\Delta\eta]_{q_r=0} = \Delta\eta_0$$

- al valore che annullerà il sovrizzo. Non c'è flusso di ritorno attraverso la struttura e dunque q_r è pari al WPF.

$$q_r = [q_r]_{\Delta\eta=0} = q_{r0} \begin{cases} q_{WFout} = 0 \\ q_{r0} = q_{WPF} \end{cases}$$

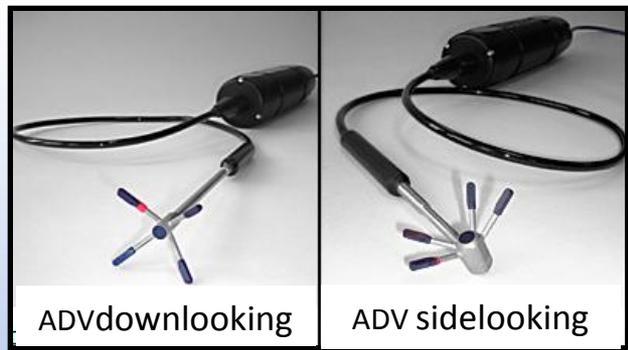
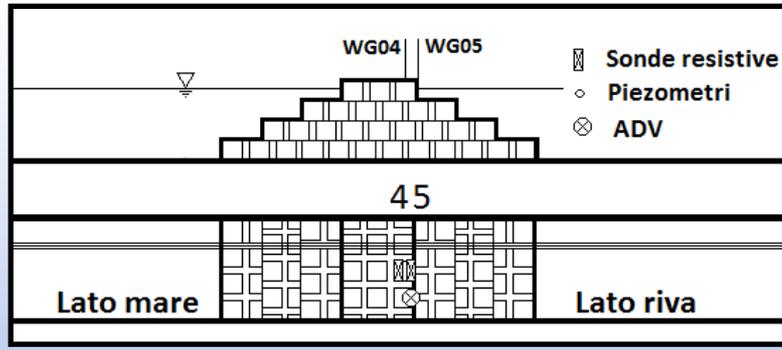
L'evidenza sperimentale mostra una **dipendenza lineare** tra $\Delta\eta$ e q_r .



Gli strumenti di misura del WO

- Sonde resistive;
- ADV downlooking O sidelooking, disposto al fianco della sonda WG05.

Codice Sonda	Posizione	Misura eseguita	Criterio di posizionamento
WG04 WG05	Sopra i frangiflutti	Profondità e velocità dei flussi di overtopping	Rispetto dei vincoli: <ul style="list-style-type: none"> • garantire la percolazione sulla cresta del frangiflutti ; • evitare interferenze tra i campi elettromagnetici delle sonde; • acquisire il segnale in modo adeguato con frequenza di 20Hz; • accettare variazioni di lettura lungo la cresta < al 15% (profondità di overtopping secondo Schüttrumpf&Oumeraci).



I metodi

WO

1. La portata di overtopping istantanea vale: $q(t) = h(t) \cdot v(t)$;
2. Serbatoio di raccolta (B1) con ricircolo esclusivo di q_{WO} ;
3. Setto impermeabile sulla scarpata interna di B1: $q_{WF} = 0 \Rightarrow q_{WPF} = q_{WO}$

WIF

La filtrazione attraverso il frangiflutti è calcolata come differenza tra q_{WPF} e q_{WO} , ormai noti.

Le metodologie di misura dei fenomeni: la trasmissione del moto ondoso

- Gli strumenti di misura**
- Sonde resistive di livello a valle e a monte della barriera (WG01/02/03 e WG06/07/08;
 - Piezometri, in asse con le sonde.

Uso di più strumenti per avere ridondanza di misurazione.

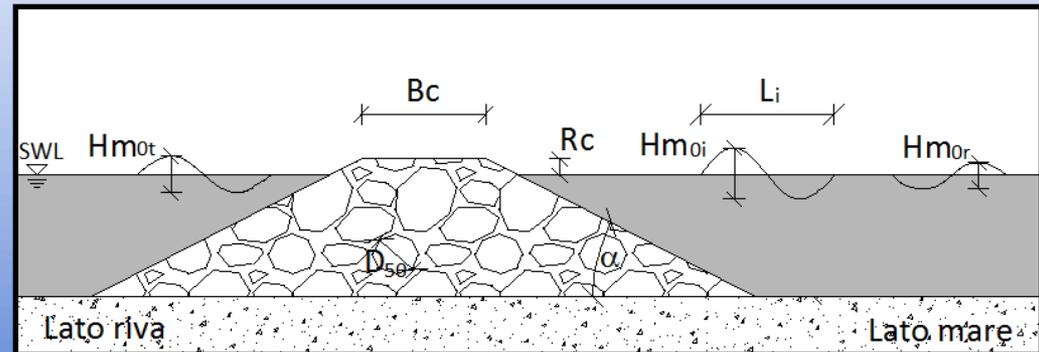


- Il metodo**
- L'analisi dei segnali acquisiti alle sonde WG01/02/03 permette di separare la componente incidente del moto ondoso da quella riflessa;
 - L'analisi dei segnali acquisiti alle sonde WG01/02/03, fornisce i valori della componente d'onda trasmessa.

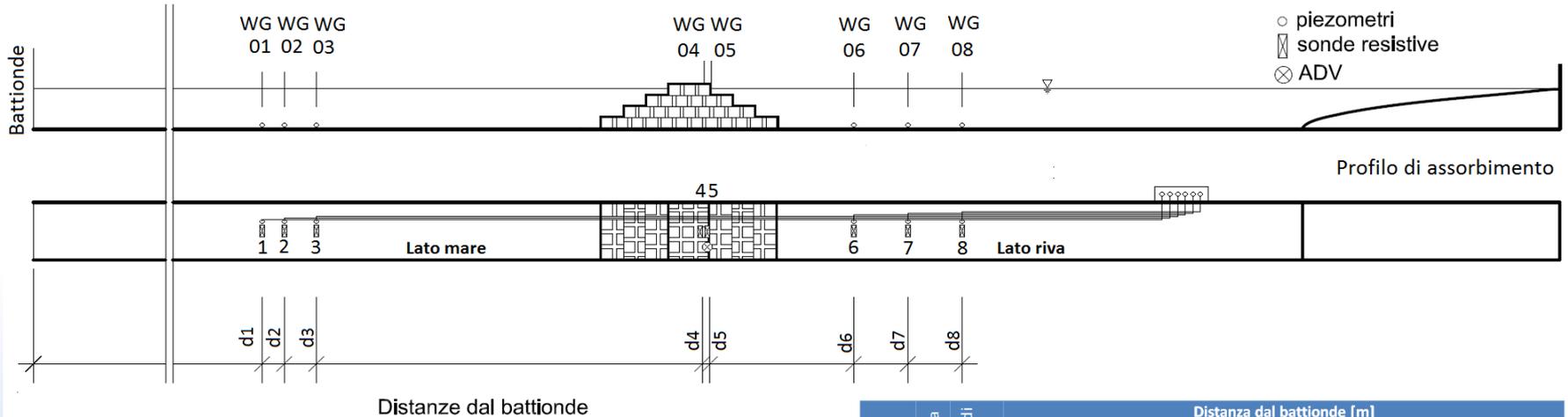
Si valuta quindi il coefficiente di trasmissione : $k_t = \frac{Hm_{ot}}{Hm_{oi}}$

$$0 < K_t < 1$$

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



Le metodologie di misura dei fenomeni: la trasmissione del moto ondoso



POSIZIONAMENTO COMPLESSIVO DELLA STRUMENTAZIONE DI MISURA

Codice sonda	Codice distanza	Configurazioni di barriera	Distanza dal battionde [m]					
			Canale marittimo					
			CIEM Barcellona $\lambda = 4$		CL Firenze $\lambda = 14$		CIEMito Barcellona $\lambda = 22.58$	
			Gr. 1 A2- A3	Gr. 2 A1-A4-A5-A6-A7	Gr. 1 A2- A3	Gr.2 A1-A4-A5-A6-A7	Gr. 1 A2- A3	Gr.2 A1-A4-A5-A6-A7
WG01	d1	B1	44.21	39.22	12.63	11.21	7.83	6.95
		B2	44.21	39.22	12.63	11.21	7.83	6.95
		B3	34.31	29.32	9.80	8.38	6.08	5.19
WG02	d2	B1	44.71	40.03	12.77	11.44	7.92	7.09
		B2	44.71	40.03	12.77	11.44	7.92	7.09
		B3	34.81	30.13	9.94	8.61	6.17	5.34
WG03	d3	B1	45.21	41.21	12.92	11.78	8.01	7.30
		B2	45.21	41.21	12.92	11.78	8.01	7.30
		B3	35.31	31.31	10.09	8.95	6.26	5.55
WG04	d4	B1	55.43		15.84		9.82	
		B2,B3	56.26		16.07		9.97	
WG05	d5	B1	55.71		15.92		9.87	
		B2,B3	56.54		16.15		10.02	
WG06	d6		61.00		17.43		10.81	
WG07	d7		63.00		18.00		11.16	
WG08	d8		65.00		18.57		11.51	

Conclusioni

L' esecuzione dell'attività sperimentale progettata permetterà:

- di confrontare i risultati ottenuti sui tre modelli e quindi **quantificare gli errori legati agli effetti di scala**.
- di **ricalibrare in maniera corretta i parametri caratteristici** in gioco sul modello in piccola scala, ottimizzandone così il suo uso (indagine di un più ampio range di variabili).
- di **approfondire la conoscenza** sui processi d'interazione tra onde e frangiflutti permeabili.
- di sviluppare **un protocollo sperimentale condiviso**, eseguibile da chiunque e per qualsiasi scala di lavoro adottata.
Tale protocollo verrà reso disponibile alla comunità scientifica nell'intento di creare un'ampia banca-dati di misure provenienti da differenti studi in laboratorio.



**Grazie per
l'attenzione**