

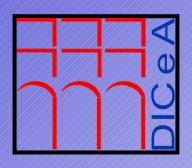




# Studi di Aggiornamento sull'Ingegneria Off-Shore e Marina AlOM - Lecce 30 Giugno 1 Luglio 2011

# La modellistica sperimentale per la progettazione delle dighe marittime

→ focus sul fenomeno dell'overtopping



30 Giugno 2011

Ing. Lorenzo Cappietti, Ph.D.

cappietti@dicea.unifi.it

Università Degli Studi Di Firenze
Facoltà di Ingegneria
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale





#### Contenuto

Obiettivi, della presentazione, competenze e capacità alla fine

#### **I** Parte

- Fenomenologia dell'overtopping l'evidenza di campo
- Portate medie VS volumi e limiti di tollerabilità
- Stato dell'arte nella previsione dell'overtopping

#### II Parte

- La modellistica fisica cenni
- Casi di studio condotti presso il Lab. Cost. del DICeA UNIFI
- Modello di diga a parte verticale
- Modello di diga a gettata



#### Obiettivi della presentazione

• Motivare la necessità del ricorso allo studio su modello fisico. Ancora il più accurato strumento di sostengo ai progettisti, nella fase di progetto definitivo, per ottimizzare il rapporto costi/benefici.

L'affermazione potrebbe far pensare ad una eccessiva fiducia nei confronti dei modelli fisici, ma al contrario credo che attualmente, nel mondo tecnico, troppa fiducia sia concessa ai modelli numerici e che sia molto più "facile fare girare un modello numerico" che "fare un buon modello fisico".







#### Competenze

- 1) stato dell'arte sul fenomeno dell'overtopping di dighe marittime;
- 2) stato dell'arte sulle misure di overtopping su modelli fisici

#### Capacità

- 1) utilizzo delle formule predittive per il calcolo dell'overtopping di strutture a parete verticale o inclinata;
- 2) valutare la necessità del ricorso a modelli fisici;





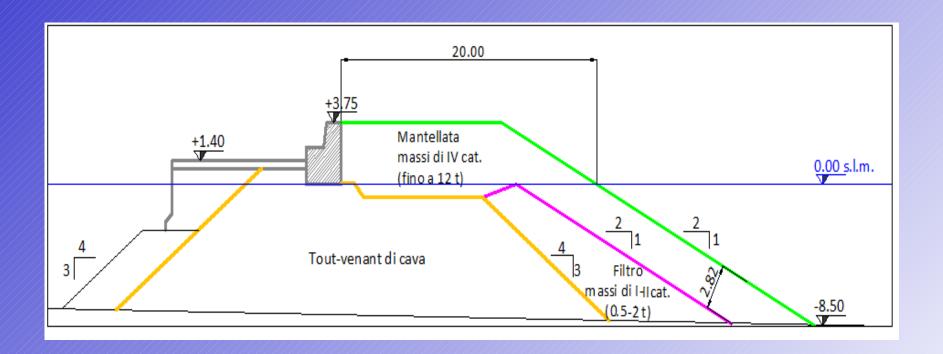










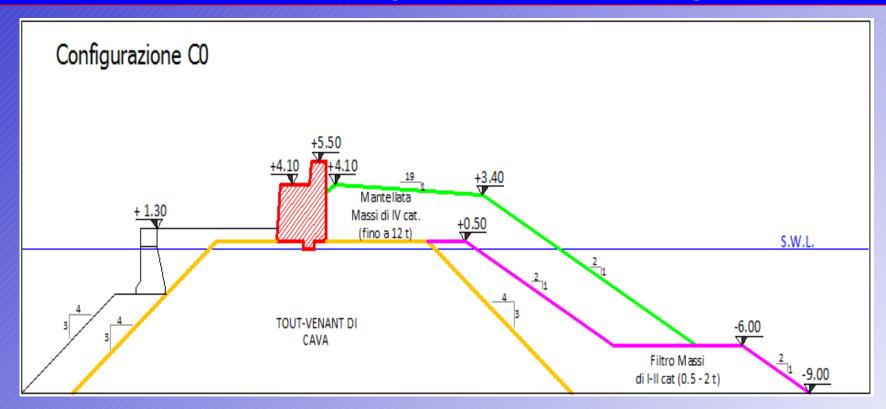


Porto Sole (San Remo Liguria)



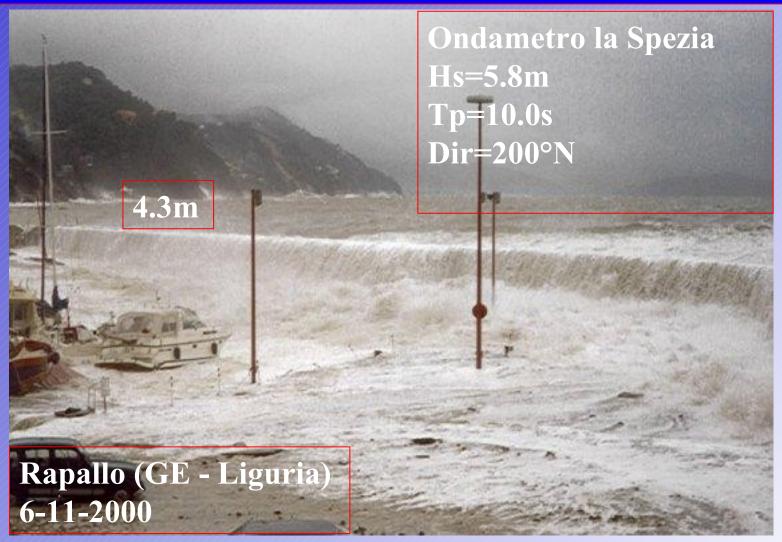






Marina degli Aregai (IM – Liguria)





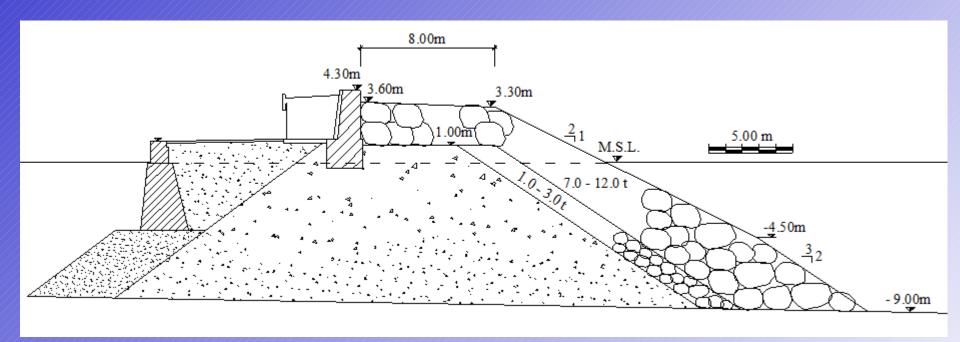










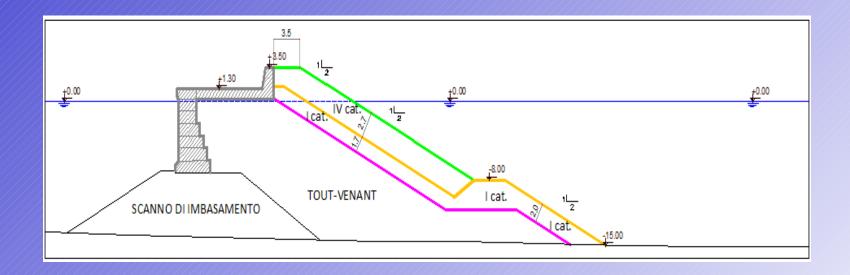


Rapallo (GE – Liguria)









Santa Margherita Ligure (GE – Liguria)

















#### Progetto di diga "Efficiente"



Definire l'overtopping tollerabile?
 Ma prima di tutto definire
 un buon parametro di overtopping!

#### Parametri strutturali

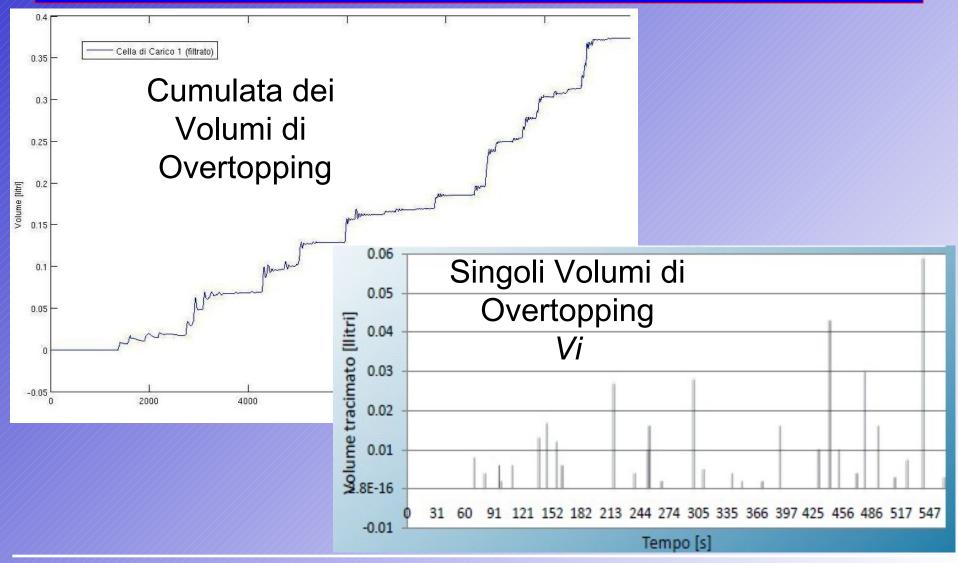
- Quota muro paraonde?
- Forma del muro paraonde?
- Forma quota e blocchi per la berma ?
- Eventuale berma sommersa

#### Azioni di progetto

- Moto ondoso irregolare?
- Livello del mare?
   (marea, vento, pressione, set-up, subsidenza, oscillazioni di lungo periodo)



## Parametri di overtopping: Portate medie VS Volumi





#### Parametri di overtopping: Portate medie VS Volumi

- Tradizionalmente, ad utilizzo dei progettisti, si è definita la "portata media di tracimazione" [mc/s/m] e i relativi limiti tollerabili;
- Più recentemente, a livello di ricerca, l'interesse è sui "singoli volumi di tracimazione" [mc/m] e i relativi limiti tollerabili;

Portate tollerabili in termini di

- Limiti per pedoni
- •Limiti per veicoli
- Limiti per danni alla strutture a tergo
- Limiti per danni all'opera di difesa







### Limiti di Tollerabilità per L'overtopping

#### 2008 Overtopping Manual http://www.overtopping-manual.com/

Table 3.2: Limits for overtopping for pedestrians

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s/m)	Max volume <sup>(1)</sup> V <sub>max</sub> (I/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

<sup>&</sup>lt;sup>(1)</sup> Note: These limits relate to overtopping velocities well below  $v_c \approx 10$  m/s. Lower volumes may be required if the overtopping process is violent and/or overtopping velocities are higher.

<sup>(2)</sup> Note: Not all of these conditions are required, nor should failure of one condition on its own require the use of a more severe limit



#### Limiti di Tollerabilità per L'overtopping

#### 2008 Overtopping Manual http://www.overtopping-manual.com/

Table 3.3: Limits for overtopping for vehicles

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s/m)	Max volume V <sub>max</sub> (I/m)
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 <b>–</b> 0.05 <sup>(2)</sup>	5 – 50 <sup>(2)</sup> at high level or velocity

<sup>&</sup>lt;sup>(1)</sup> Note: These limits probably relate to overtopping defined at highway.
<sup>(2)</sup> Note: These limits relate to overtopping defined at the defence, but assumes the highway to be immediately behind the defence.



#### Limiti di Tollerabilità per L'overtopping

# 2008 Overtopping Manual <a href="http://www.overtopping-manual.com/">http://www.overtopping-manual.com/</a>

Table 3.4: Limits for overtopping for property behind the defence

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s/m)	Max volume V <sub>max</sub> (I/m)
Significant damage or sinking of larger yachts	50	5,000 <b>–</b> 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>	~

(1) Note: These limits relate to overtopping defined at the defence.

(2) Note: This limit relates to the effective overtopping defined at the building.



Nelle prossime slide viene mostrata una revisione della conoscenza del fenomeno basata al 90% su prove su modello fisico e le proposte formule empiriche disponibili per la previsione dell'overtopping, al fine di evidenziare:

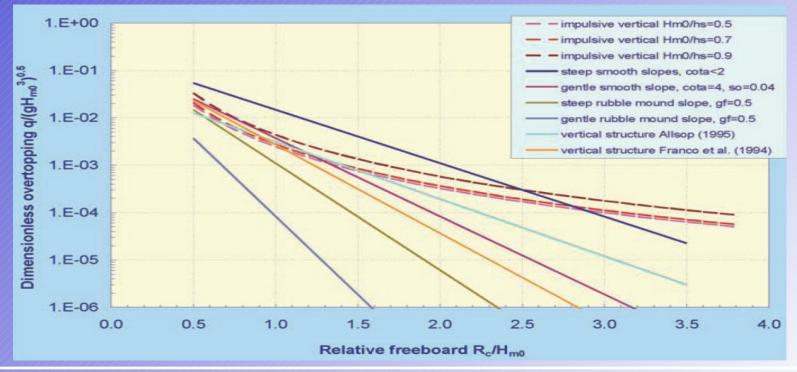
- 1) quali sono i parametri caratteristici determinanti per il fenomeno, e quali di questi sono <u>parametri progettuali</u> (almeno tra quelli già recepiti nelle formulazioni empiriche!);
- 2) come "modellare" analiticamente la dipendenza dell'overtopping dai parametri fondamentali;
- 3) evidenziale i limiti dell'uso di formule e motivare l'utilità dei modelli fisici;



L'evidenza sperimentale mostra un forte dipendenza dalla tipologia di diga:

- 1) a parete inclinata
- 2) a parete verticale











#### Literature - Regression models

CEM (2003): overview overtopping formulae

author	structures	Overtopping model	Dimensionless discharge Q	Dimensionless freeboard R
Owen (1980, 1982)	impermeable smooth, rough, straight and bermed slopes	$Q = a \exp(-b R)$	$\frac{q}{gH_zT_{om}}$	$\frac{R_c}{H_s} \sqrt{\frac{s_{om} 1}{2\pi \gamma}}$
Bradbury and Allsop (1988)	rock armoured impermeable slopes with crown walls	$Q = a R^{-b}$	$\frac{q}{gH_zT_{om}}$	$\left(\frac{R_{s}}{H_{s}}\right)^{2}\sqrt{\frac{s_{s}}{2\pi}}$
Aminti and Franco (1988)	rock, cube and Tetrapod double layer armour on rather impermeable slopes with crown walls	$Q = a R^{-b}$	$\frac{q}{gH_sT_{om}}$	$\left(\frac{R_{s}}{H_{s}}\right)^{2}\sqrt{\frac{s_{sm}}{2\pi}}$
Ahrens and Heimbaugh (1988)	seven different seawall/revetment designs	$Q = a \exp(-bR)$	$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}}$	$R_c$ $H_s^2 L_{op}$
Pedersen and Burcharth (1992)	rock armoured rather impermeable slopes with crown walls	Q = aR	$\frac{qT_{om}}{L_{om}^2}$	$\frac{H_s}{R_c}$
van der Meer and Janssen (1995)	impermeable smooth, rough straight and bermed slopes	$Q = a \exp(-bR)$	for $\xi_{op} < 2$ $q$ $s_{op}$ $tan \alpha$ for $\xi_{op} > 2$ $q$ $gH_z^2$ $tan \alpha$	for $\zeta_{op} < 2$ $\frac{R_c}{H_s} \sqrt{\frac{s_{om}}{2\pi} \frac{1}{\gamma}}$ for $\zeta_{op} > 2$ $\frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\gamma}$
Franco, de Gerloni and van der Meer (1994)	vertical wall breakwater with and without perforated front	$Q = a \exp(-bR))$	$q = \sqrt{gH_i^3}$	$\frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\gamma}$
Pedersen (1996)	rock armoured permeable slopes with crown walls	Q=R	$\frac{q T_{om}}{L_{om}^2}$	$3.2.10^{-5} \frac{H_s^5 tange}{R_o^3 A_o B^7}$

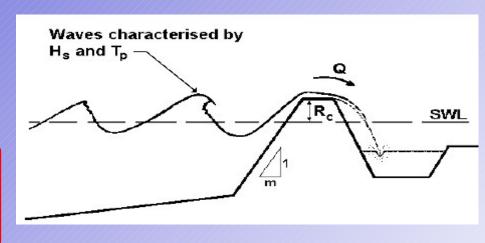


Le varie relazioni funzionali sono riassumibili nelle seguente tre tipologie:

$$q_* = a \cdot (1 - R_*)^b$$

$$\Rightarrow q_* = a \cdot R_*^{-b}$$

$$q_* = a \cdot \exp(-bR_*)$$



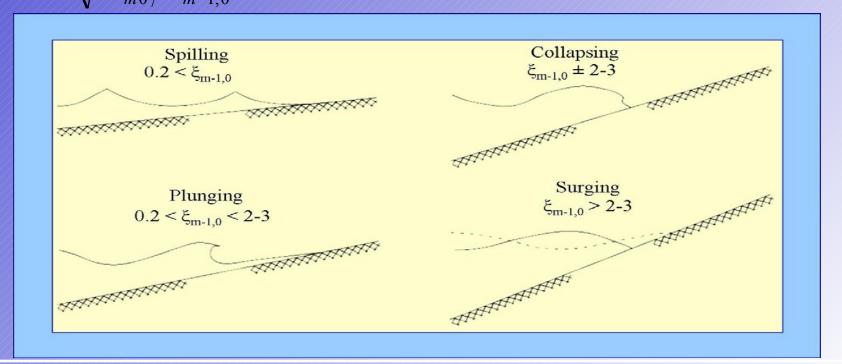
Nel seguito si fa riferimento alla terza tipologia sulla quale è basato uno degli ultimi contributi destinati ai tecnici:

2008 Overtopping Manual http://www.overtopping-manual.com/

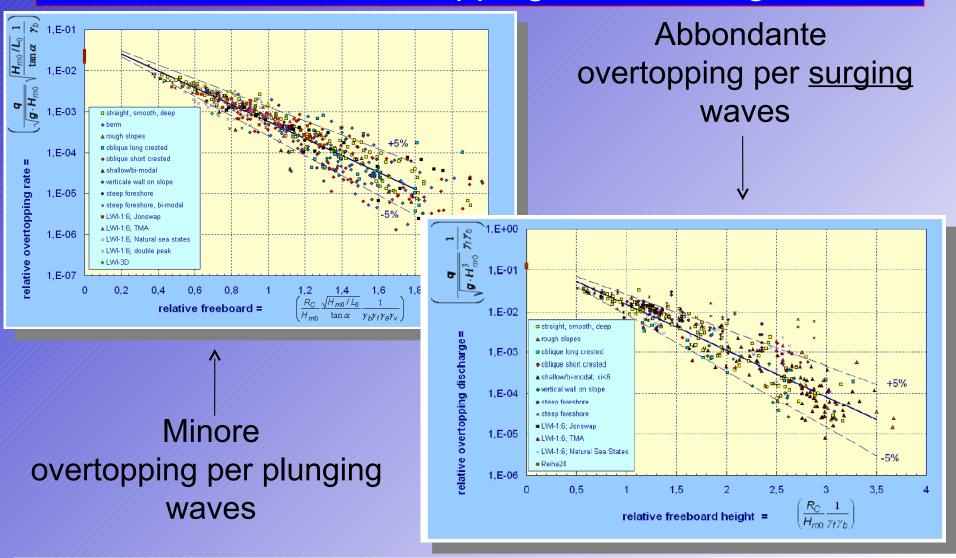


Le tracimazioni su strutture a gettata dipendono molto dal tipo di moto ondoso incidente: "plunging" o "surging" nell'applicazione delle formule empiriche è necessario distinguere i due casi

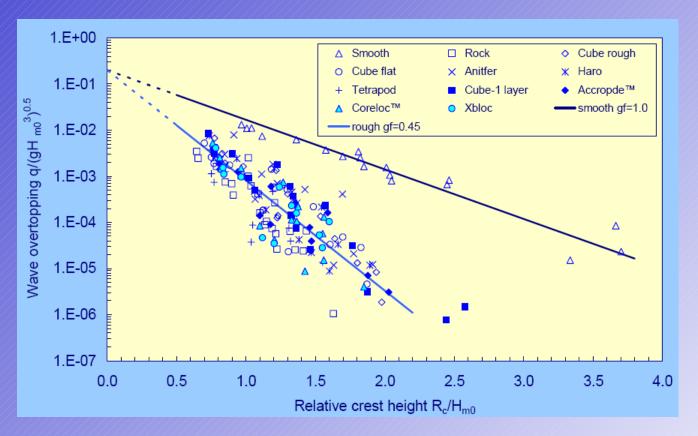
$$\zeta_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_{m0}/L_{m-1,0}}}; L_{m-1,0} = \frac{g}{2\pi}T_{m-1,0}$$
 Breaker parameter 2











Effetto delle caratteristiche del paramento. Per strutture a a parete inclinata 1:1.5

smooth and rubble mound slopes



L'evidenza sperimentale ha portato alla definizione di due differenti "modelli" analitici uno per "onde surging" e uno per "onde plunging"

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \cdot \xi_{m-1,0} \cdot \exp \left( -4.3 \frac{R_C}{\xi_{m-1,0} \cdot H_{m0} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v} \right) \quad \Rightarrow plunging$$
 with a maximum of: 
$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \exp \left( -2.3 \frac{R_C}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta} \right) \quad \Rightarrow surging$$

 $\gamma_b$  = influence factor for a berm [-]

 $\gamma_f$  = influence factor for roughness elements on a slope [-]

 $\gamma_{\beta}$  = influence factor for oblique wave attack [-]

Inoltre si è osservata una certa dipendenza dell'intensità dell'overtopping anche in funzione delle condizioni di frangimento sui fondali antistanti la diga. Le due formulazioni sono applicabili limitatamente a :  $\xi_{m0-1} < 5$ 



Nel caso di frangimenti molto intensi nei fondali antistanti la diga, lo spettro del moto ondoso è relativamente piatto e senza un picco significativo. In questo caso le onde lunghe influenzano il parametro di frangimento calcolato come  $\xi_{m-1,0}$ , l'overtopping è molto più abbondante e la formula cambia nella seguente

Per fondali molto bassi, i.e.:

$$\xi_{m0-1} > 5 - 7$$

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^{3}}} = 0.21 \cdot \exp \left( -\frac{R_{C}}{\gamma_{f} \cdot \gamma_{\beta} \cdot H_{m0} \cdot (0.33 + 0.022 \cdot \xi_{m-1,0})} \right)$$



Nel caso di strutture a parete verticale le tracimazioni sono funzione del tipo di interazione tra parete e onda classificabile secondo due differenti regimi:

- 1)non-impulsiva
- 2)impulsiva

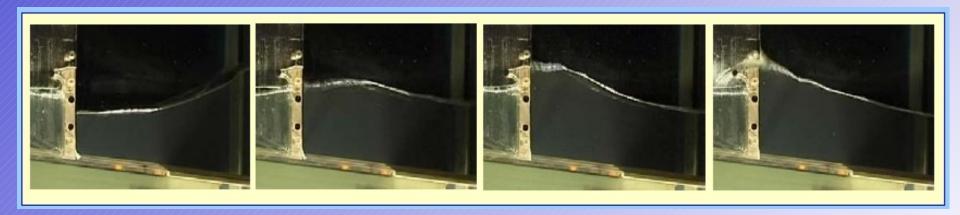
i due casi danno luogo a due risposte ben differenti in termini di overtopping

$$h_* = 1.35 \frac{h_s}{H_{m0}} \frac{2\pi h_s}{g T_{m-1,0}^2}$$
 > 0.3  $\rightarrow$  non-impulsive  $\rightarrow$  < 0.2  $\rightarrow$  impulsive





"non-impulsive" le onde sono relativamente piccole e corte rispetto alla profondità antistante la diga quindi non sono influenzate dal fondale. L'overtopping avviene nella forma di una lama d'acqua che scorre sopra l'estradosso della parete ("green water") e a sollecitazione relativamente moderate.





"impulsive" le onde sono relativamente grandi in rapporto alla profondità locale, fanno shoaling sui fondali antistanti e alcune frangono violentemente sul muro dando luogo ad overtopping caratterizzato da forti getti gerticali ("uprushing jet") e a sollecitazioni 10–40 volte maggiori del caso non impulsivo.









#### Non-impulsive

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.04 \exp\left(-1.8 \frac{R_c}{H_{m0}}\right) \qquad \text{valid for 0.1 < } R_c / H_{m0} < 3.5$$

#### Impulsive:

$$\frac{q}{h_*^2 \sqrt{g h_s^3}} = 1.5 \times 10^{-4} \left( h_* \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{-3.1} \quad \text{valid over } 0.03 < h_* \frac{R_c}{H_{m0}} < 1.0$$



#### Previsione dell'overtopping: volumi di tracimazione

Il processo di overtopping onda per onda viene modellato tramite una distribuzione di probabilità cumulata di Weibull dipendente dai due parametri di forma b e di scala a.

$$P_{V} = P(\underline{V} \le V) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{a}\right)^{0.75}\right]$$

Il parametro di forma *b* è pari a 0.75 così che la distribuzione è molto ripida. Questo aspetto riflette l'esperienza che il processo di overtopping è caratterizzato <u>da molte tracimazioni di volumi piccoli e poche tracimazioni di volumi grossi (→ per le misure su modello fisico servono prove molte lunghe, altrimenti la misura è addirittura una sottostima!!)</u>



## Previsione dell'overtopping: volumi di tracimazione

Il parametro "a" introduce nel modello la dipendenza dalla probabilità di overtopping:

 $a = 0.84 \cdot T_m \cdot \frac{q}{P_{ov}}$ 

Funzione di probabilità di overtopping:

$$P_{ov} = N_{ow} / N_w = \exp \left[ -\left( \sqrt{-\ln 0.02} \frac{R_C}{R_{u,2\%}} \right)^2 \right]$$

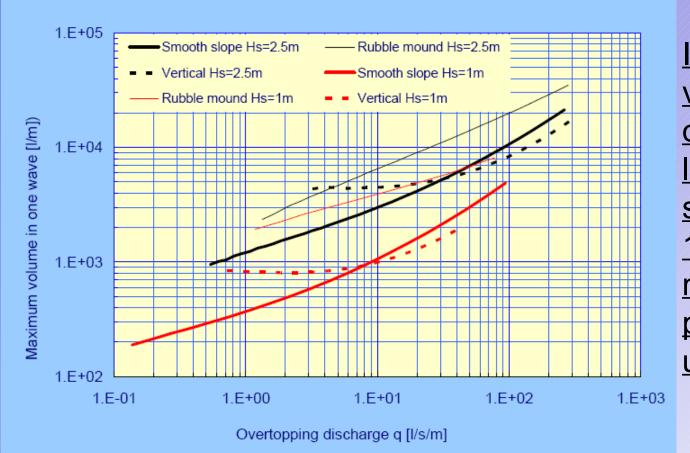
Il valore più probabile del massimo volume di tracimazione legato ad una singola onda durante un moto ondoso caratterizzato da un numero di overtopping  $N_{ow,}$  è calcolabile

$$V_{\text{max}} = a \cdot \left[\ln(N_{ow})\right]^{4/3}$$



## Previsione dell'overtopping: volumi di tracimazione

La relazione sperimentale tra le portate medie di overtopping e i massimi volumi di overtopping è la seguente:



Il massimo
volume di
overtopping
legato ad una
singola è circa
100–1000 volte
maggiore della
portata media in
un secondo



A seguito di queste revisione risultano i seguenti principali parametri caratteristici che determinano l'entità dell'overtopping:

- 1) Tipologia della sezione: a parte inclinata (a gettata, porosità dei massi o impermeabile liscio o scabro) o verticale
- 2) Forma della sezione: numero, larghezza e quota delle berme emerse e sommerse;
- 3) Forma del muro paraonde: altezza, caratteristiche (ricurvo o no)
- →4) Fondali: piani, inclinati, bassi, alti





- ·5) Moto ondoso:
- ·ortogonale o inclinato
- frangente o non frangente su strutture a parete inclinata, frangimento molto sviluppato sui fondali antistanti la diga, impulsivo o non impulsivo (per strutture a parete verticale, tenendo conto anche dell'effetto di eventuali berme sommerse per strutture miste)



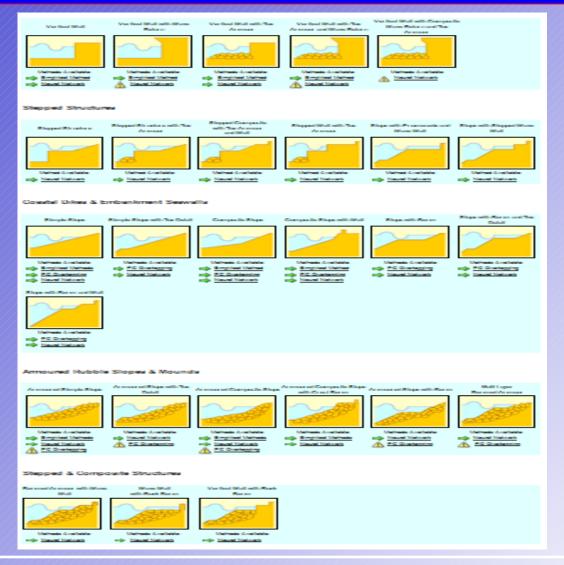
- Data la complessità del fenomeno e la sua dipendenza da moltissimi parametri, questi sono difficilmente organizzatili in un unica formula applicabile in generale per la previsione dell'overtopping;
- In particolare è impossibile rappresentare mediante pochi parametri la complessità geometrica di una generica sezione portuale. Al massimo è possibile cercare di proporre formulazioni valide per strutture dalla geometria relativamente semplice.

La ricerca si è evoluta:

- 1) cercando di specializzare le formule in funzione della geometria della sezione;
- 2) abbandonando le "semplici formule analitiche esplicite" in favore di procedure di calcolo e.g. reti neurali basate su ampi data base sperimentali;

Studi di Aggiornamento sull'Ingegneria Off-Shore e Marina
AIOM - Lecce 30 Giugno 1 Luglio 2011

## Parametri determinanti l'overtopping





3) tuttavia l'unico strumento in grado di riprodurre:

#### la complessità del fenomeno:

- moto ondoso irregolare;
- frangimento caratterizzato tra l'altro da un fluido bi-fase;
- le interazioni totalmente non lineari
- le peculiarità specifiche di ogni struttura (forma e materiali);
   è senza dubbio la modellistica fisica.
- Nonostante i continui progressi della modellistica numerica, questa ha alcuni limiti e.g. necessità di misure per calibrare i numerosi parametri da cui dipendono le varie equazioni utilizzate, spesso di natura empirica, che si propongono di simulare vari aspetti del fenomeno: e.g. frangimento ed altre perdite di energia



Con la modellistica fisica di dighe portuali si costruiscono modelli in scala ridotta che sono geometricamente simili al prototipo esistente o in progetto;

Si riproducono moti ondosi in canali o vasche dotate di generatori che permettono la formazione di <u>onde random con stessa spettro in frequenza di quelle reali;</u>

L'obiettivo sarebbe quello di riprodurre le azioni e le resistenze in modo tale da essere <u>cinematicamente e dinamicamente in similitudine con il prototipo</u>.



Tuttavia, la costanza della forza di gravità imposta al modello uguale a quella che grava sul prototipo e la necessità pratica di condurre esperimenti con acqua che ha la stessa viscosità (e quindi le forze viscose) di quella del prototipo rendono impossibile la completa similitudine dinamica;

I prototipi possono essere studiati su modello solo attraverso similitudini parziali da imporre in funzione della specifica proprietà del fenomeno che si intende studiare;

In pratica è necessario imporre che il valore del <u>rapporto tra</u> <u>"sollecitazioni" e "resistenze" nel prototipo, che risultano</u> <u>fondamentali per quella specifica proprietà, sia mantenuto uguale anche nel modello;</u>

La modellistica sperimentale per la progettazione delle dighe marittime - Ing. L. Cappietti, PhD, Dif



Tali rapporti sono i numeri puri fondamentali per il fenomeno in esame eg: Froude, Reynolds, Mach,....

Una volta fissata la similitudine geometrica, l'imposizione della identità, nel modello e nel prototipo, di uno o più numeri puri (se possibile!!) fornisce le leggi di scala.

Ammesso che per la proprietà in esame si riesca a garantire la similitudine, non è detto che per tutte le altre proprietà dello stesso fenomeno sia ugualmente garantita la similitudine. In altre parole un modello è costruito per riprodurre fedelmente almeno la proprietà in esame (e.g. Ovetopping) per tute le altre proprietà la realizzazione nel modello è "differente" da quanto accade nel prototipo e si parla di effetti di scala.

La modellistica sperimentale per la progettazione delle dighe marittime - Ing. L. Cappietti, PhD, DI









Esempio più comune nel campo delle onde (onde di gravità!!) è la scala di Froude derivante dal mantenere lo stesso valore del rapporto tra le forze di inerzia e le forze di gravità nel modello come nel prototipo

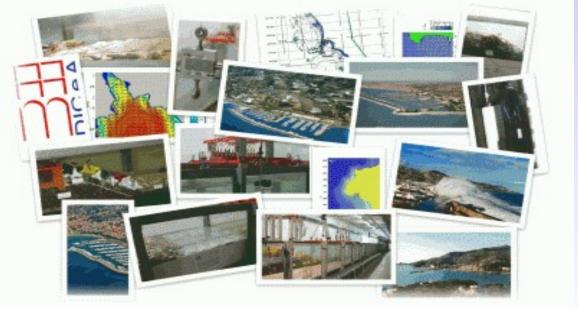
Grandezza	Dimensione	Scala di riduzione
Lunghezza	L	<u>n</u> L
Altezza d'onda	L	$n_H = n_L$
Periodo	T	$n_{I} = n_{L}^{1/2}$
Velocità	L/T	$n_{\underline{V}} = n_L^{1/2}$
Portata specfica	L³/LT	$\underline{n}_{\mathcal{Q}}=n_{L}^{3/2}$
Forza	F	$n_{P} = n_{L}^{\beta}$



Nelle prossime slide sono descritti alcuni casi di studio condotti negli ultimi due anni presso il Laboratorio Costiero del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze: http://www.unifi.it/diceals/CMpro-v-p-18.html

## Clicca per un Video Divulgativo





La modellistica sperimentale per la progettazione delle dighe marittime - Ing. L. Cappietti, PhD, DIC



La ricerca presso il Laboratorio viene condotta tramite:

- 1) Modelli Numerici
- 2) Modelli Fisici
- 3) Misure di Campo

La principale infrastruttura di ricerca è il <u>Canale Marittimo</u>, attivo fin dal 1980, il primo in Italia a disporre di un generatore di moto ondoso irregolare con caratteristiche di spettro in frequenza assegnate e sempre in continuo sviluppo.

L'elettronica, la meccanica e la componente software di comando e di analisi dei dati acquisiti è totalmente ideata, progettata e realizzata dal gruppo di lavoro del Coast Lab; tale approccio non è comune e certamente costituisce un forte valore aggiunto nella conduzione di studi su modello fisico.





## La modellistica fisica: il canale per onde e correnti



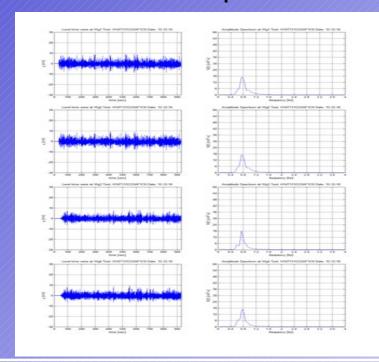
Canale: 50m x0.8mx0.8m Generatore moto ondoso: Hmax=40cm T=1.2s

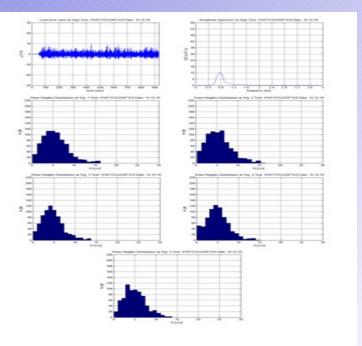




## La modellistica fisica: riproduzione del moto ondoso

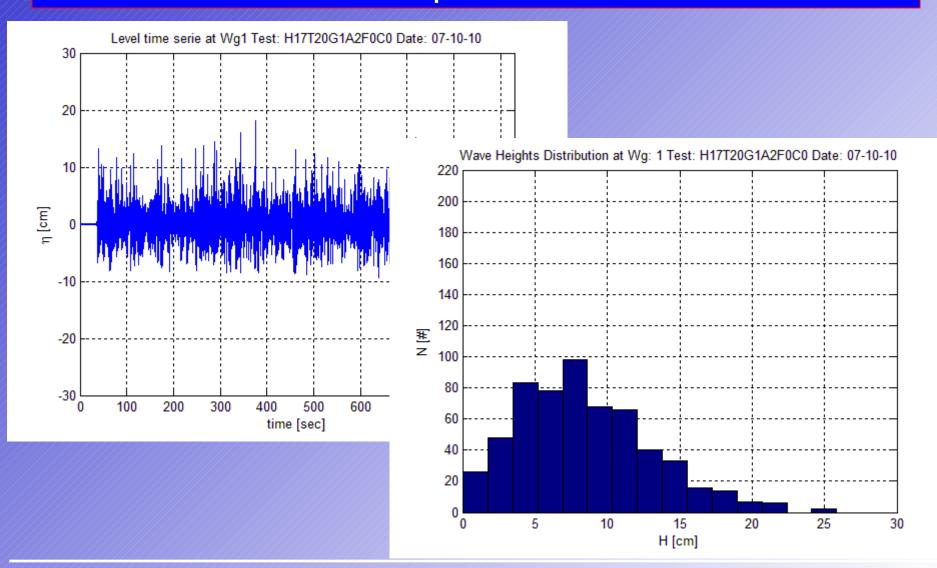
Il generatore permette la riproduzione di moti ondosi uguali a quelli reali sia in termini di sequenza temporale delle onde che in termini di spettro in frequenza. Il moto ondoso riprodotto viene misurato in tutti i punti di interesse lungo il canale e analizzato sia nel dominio del tempo che della frequenza.





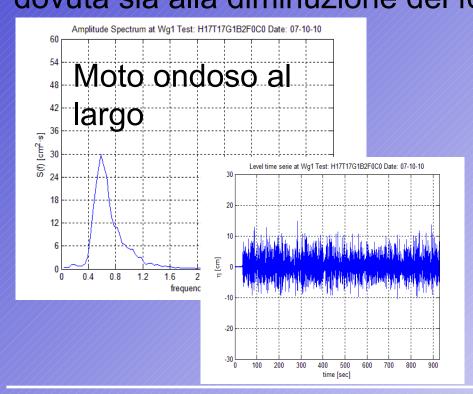


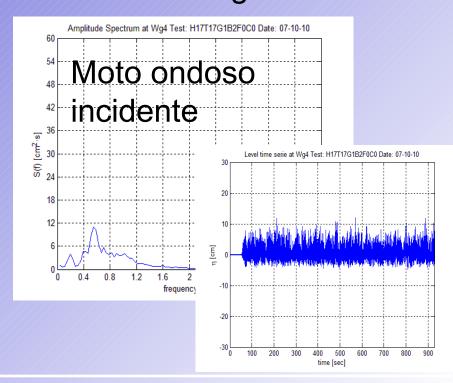
## La modellistica fisica: riproduzione del moto ondoso





La modellistica fisica: trasformazioni non lineari La misura del moto ondoso in acque alte e sui fondali incidenti davanti alla diga permette di evidenziale la capacità che rende i modelli fisici il miglior strumento di sostegno al progettista, ovvero la trasformazione NON LINEARE del moto ondoso IRREGOLARE dovuta sia alla diminuzione del fondale che al frangimento.

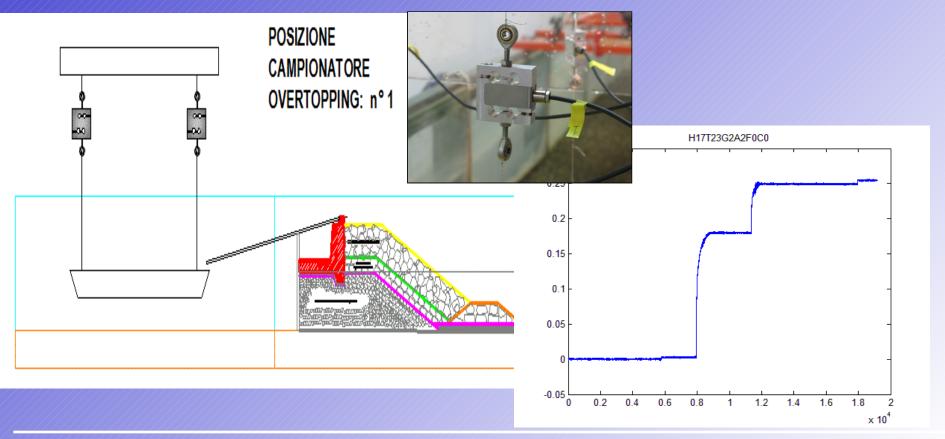






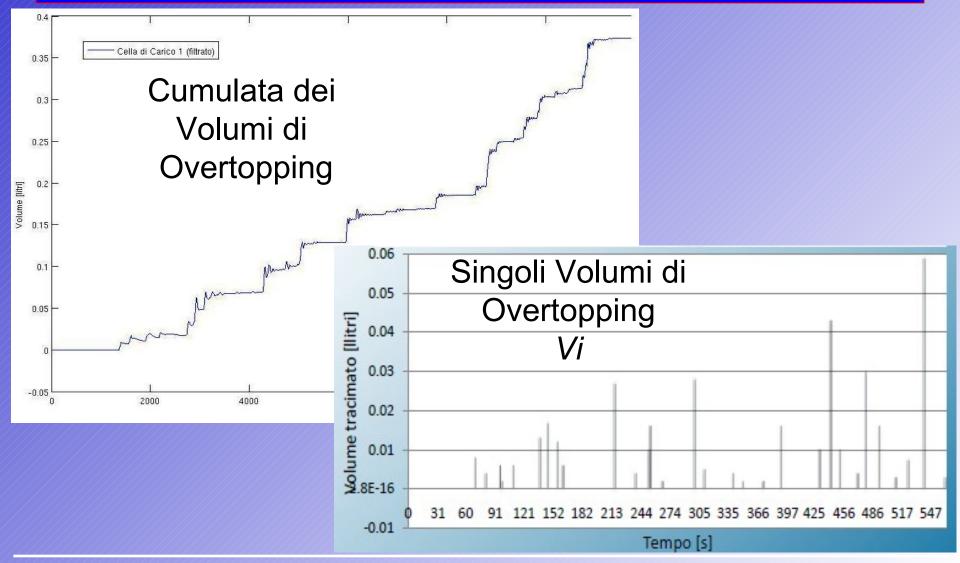
## La modellistica fisica: misure di overtopping

Una efficiente metodologia, impiegata presso il laboratorio, per la misura dei volumi di overtopping indotti dalla singole onde incidenti è basata su celle di carico.





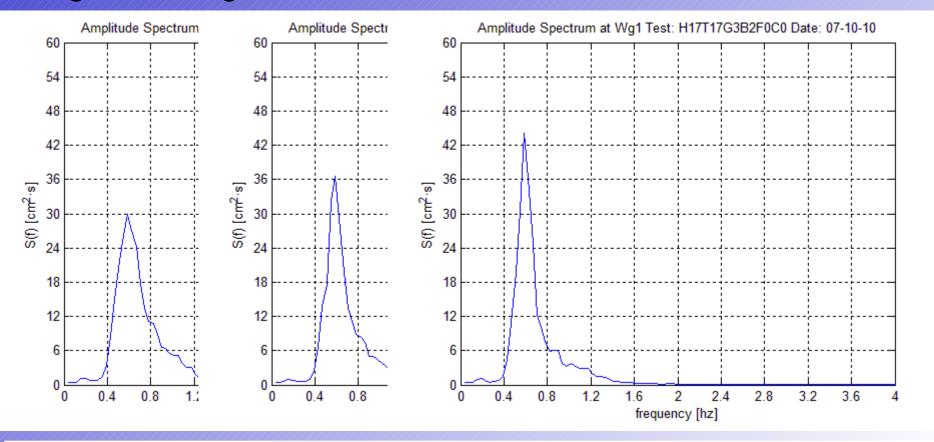
# Parametri di overtopping: Portate medie VS Volumi





## La modellistica fisica: forma spettrale

Un aspetto particolarmente interessante è lo studio della sensibilità dell'overtopping al variare della forma spettrale per assegnata energia del moto ondoso





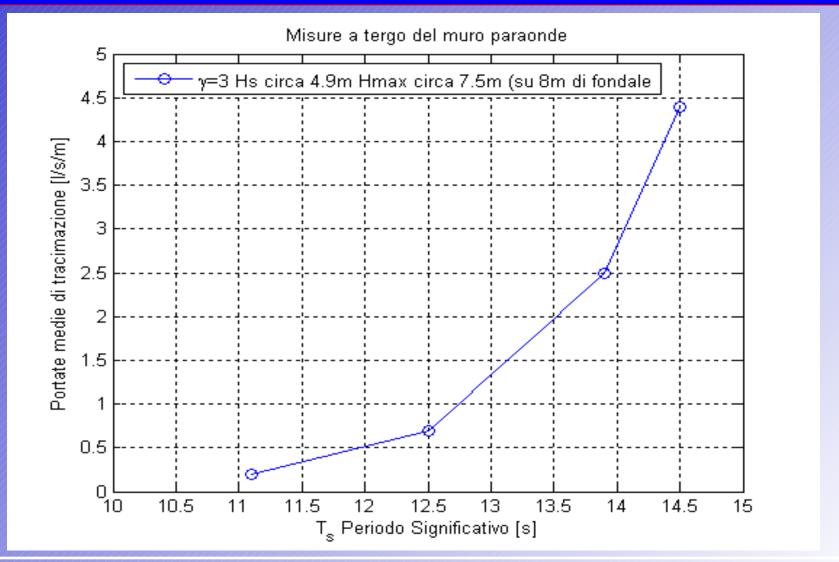
## La modellistica fisica: dip. overtopp. da spettro













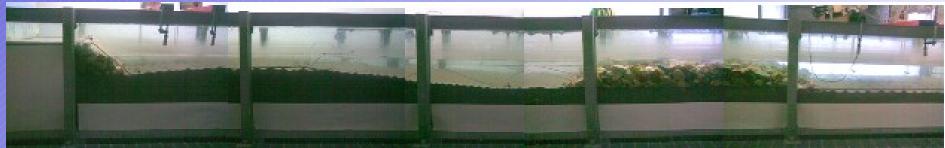
#### STUDIO SPERIMENTALE

finalizzato alla individuazione del nuovo sistema di difesa costiera per l'abitato di Marina di Pisa









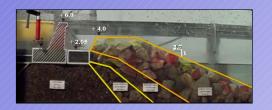


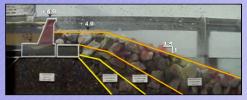
Verifica della tracimazione per la progettazione del porto turistico di Chiavari (GE)



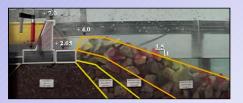
















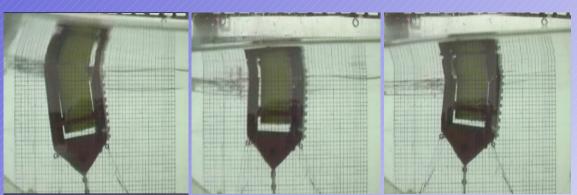




Verifica dell'efficienza di diverse configurazioni di un frangiflutti galleggiante



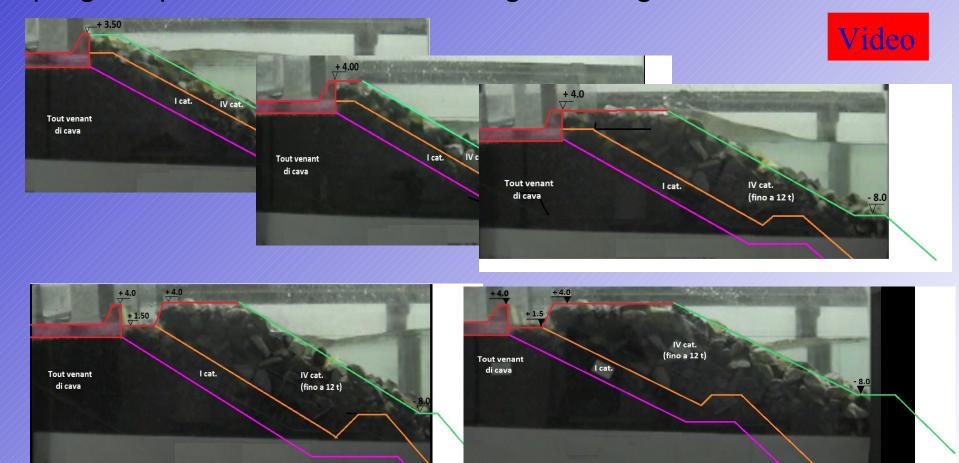




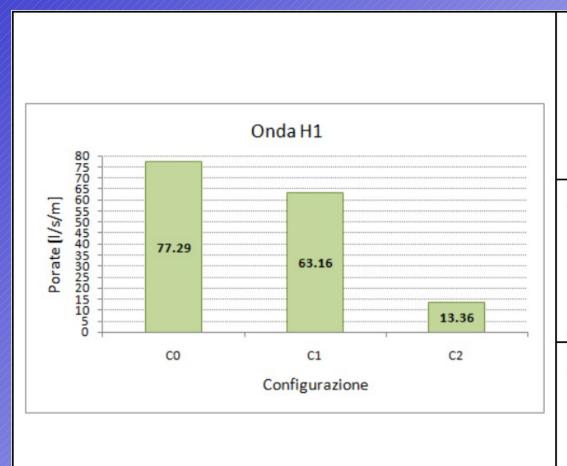




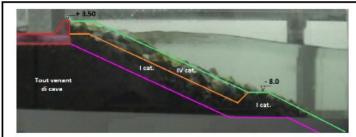
Verifica della tracimazione a tergo della diga foranea in progetto per il Porto di Santa Margherita Ligure



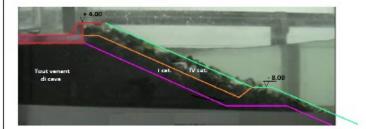




#### Configurazione CO:



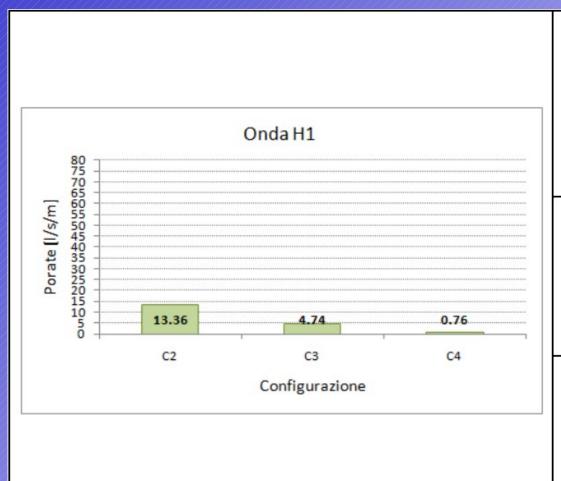
#### Configurazione C1:



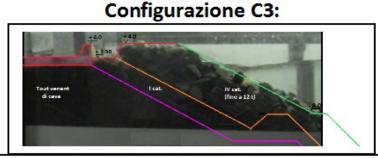
#### Configurazione C2:

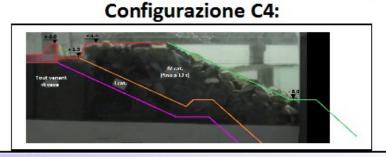






# Configurazione C2:





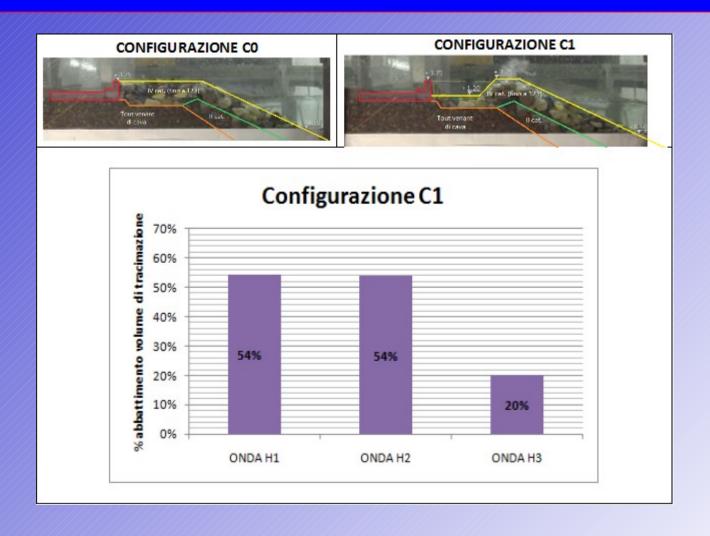


Verifica su modello in scala, della tracimazione a tergo della diga di Portosole, Sanremo (IM).







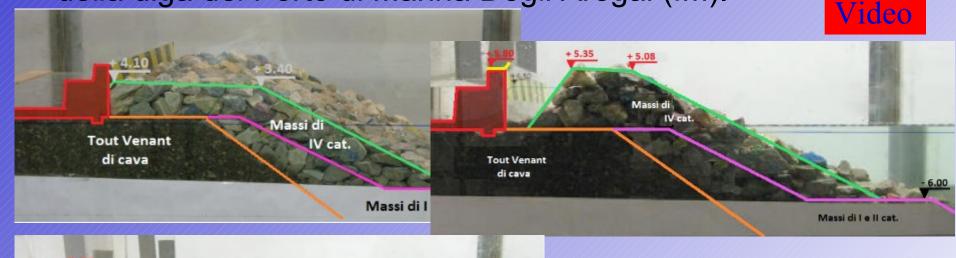




Studi di Aggiornamento sull'Ingegneria Off-Shore e Marina AIOM - Lecce 30 Giugno 1 Luglio 2011

#### La modellistica fisica: casi di studio

Verifica, su modello in scala, della tracimazione a tergo della diga del Porto di Marina Degli Aregai (IM).















Vasca di laminazione dopo la prova



Particolare dei massi crollati nella vasca



Vasca di laminazione dopo la prova





Verifica della diga foranea per l'ampliamento del porto di

Bordighera (IM)





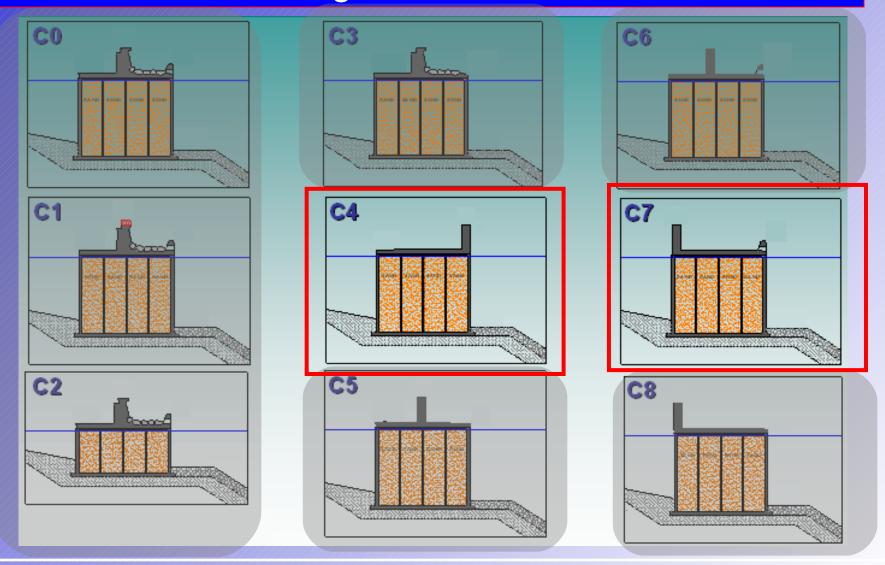




La modellistica sperimentale per la progettazione delle dighe marittime - Ing. L. Cappietti, PhD, DIC

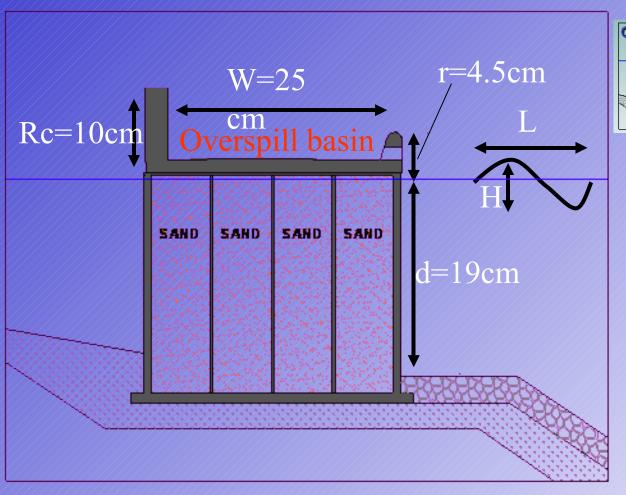


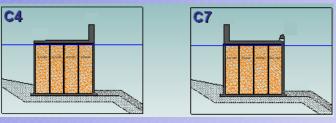
# Caso di Diga a Parete Verticale





## Caso di Diga a Parete Verticale



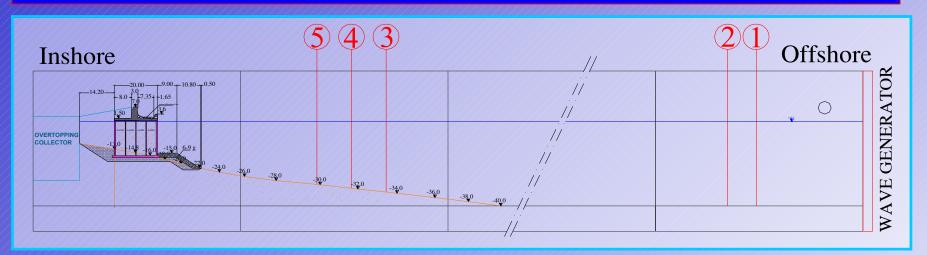




H < Rc < 2H 0.30d < H < 0.42d



# Caso di Diga a Parete Verticale



Overtopping collector

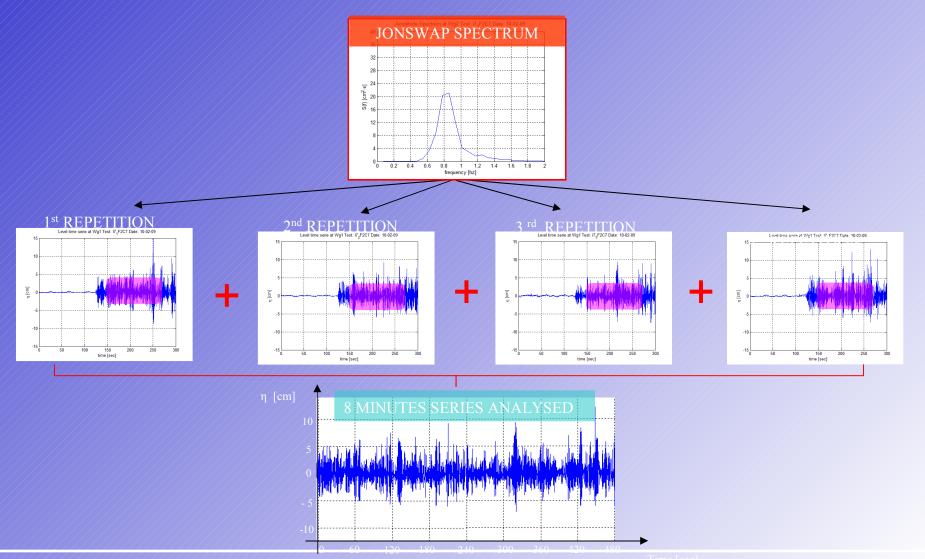




#### Non-impulsive waves conditions

Wave code	H <sub>m0i</sub> [cm]	T <sub>p</sub> [sec]	H <sub>m0i</sub> /Li	Impulsivity parameter
Wave 1	5.4	1.4	0.035	0.4
Wave 2	6.0	1.1	0.045	0.5
Wave 3	6.9	1.2	0.045	0.4
Wave 4	7.1	1.2	0.046	0.4
Wave 5	7.7	1.4	0.047	0.3
Wave 6	8.5	1.6	0.039	0.2
Wave 7	6.6	1.8	0.028	0.3
Wave 8	5.5	1.1	0.037	0.6
Wave 9	6.0	1.3	0.037	0.5

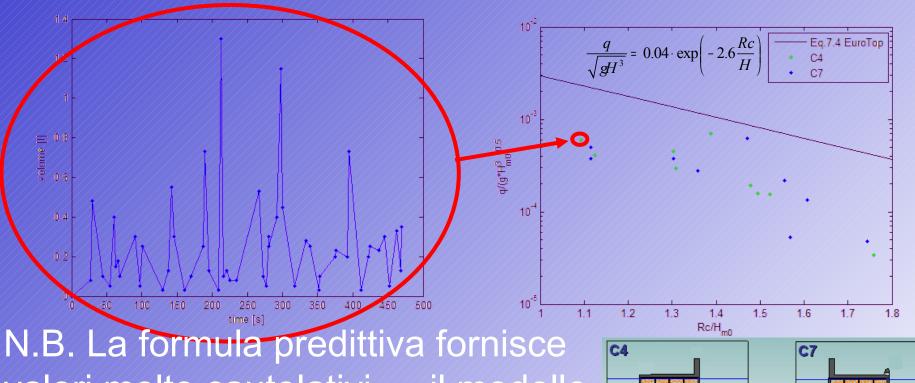




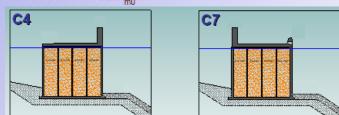


Volumi di tracimazione onda per onda

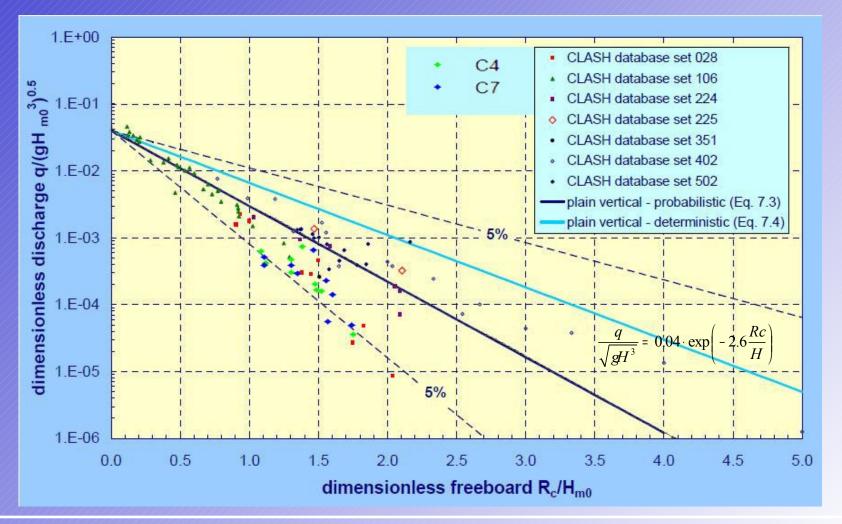
Portate medie di tracimazione



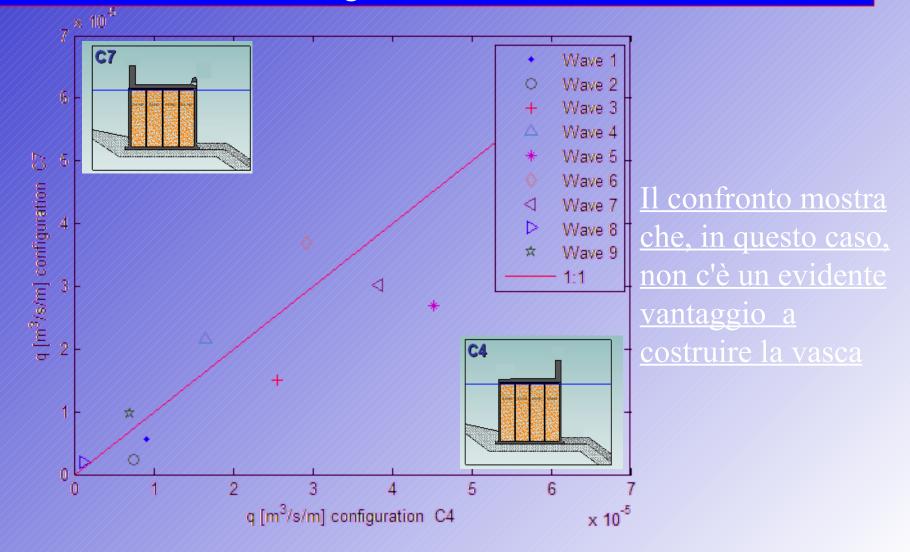
N.B. La formula predittiva fornisce valori molto cautelativi → il modello permette un progetto più raffinato quindi economico!



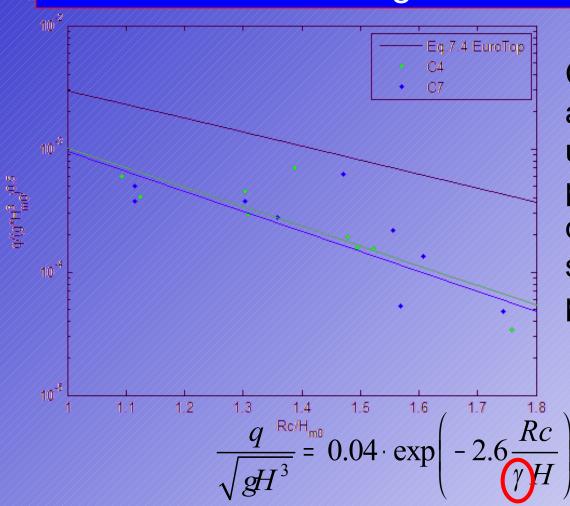












Calibrazione della formula al caso specifico utile per "interpolare" tra i parametri caratteristici e quindi ottimizzare la struttura risparmiando altre prove

$$C4 ; \gamma = 0.70$$
 $C7 ; \gamma = 0.69$ 





Verifica della tracimazione e della stabilità degli elementi della mantellata della diga in progetto per Fiumicino, Isola Sacra.





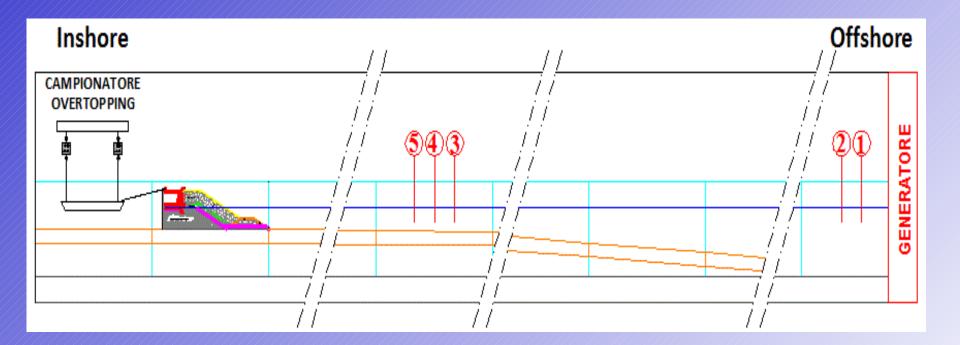








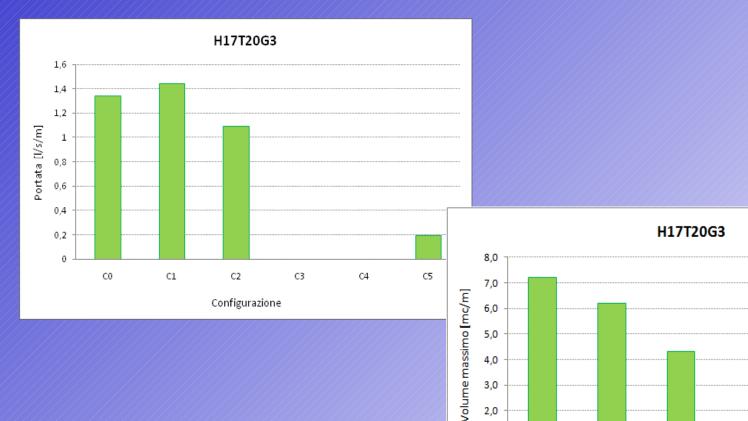












1,0 0,0

C0

C1

C2

Configurazione

C3

C4

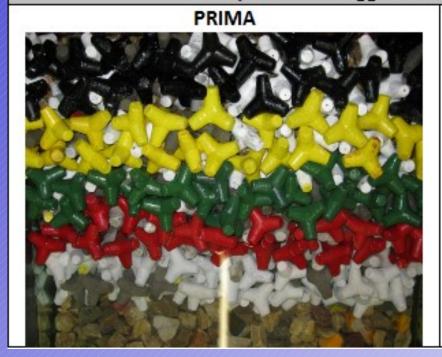
C5



#### La modellistica fisica: casi di studio

Onda H17T17G2 H<sub>1/3</sub>: 4.6 m T<sub>1/3</sub>: 11.1 sec Livello F0 (+0.55 m s.l.m.)

(durata mareggiata scala prototipo: 12h 7min)











# Grazie per l'attenzione

