



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA  
Dipartimento di Ingegneria Ambientale

# **XXVII CONVEGNO di IDRAULICA e COSTRUZIONI IDRAULICHE**

*Genova*

*12 - 15 Settembre 2000*

**INDAGINE SPERIMENTALE SU DI UNA SPIAGGIA CON BARRA**

*Renata Archetti, Leonardo Damiani, Alberto Lamberti,  
Michele Mossa, Antonio Rinaldi, Giuseppe R. Tomasicchio*

**Estratto dal Volume IV**



## INDAGINE SPERIMENTALE SU DI UNA SPIAGGIA CON BARRA

Renata Archetti<sup>a</sup>, Leonardo Damiani<sup>b</sup>, Alberto Lamberti<sup>a</sup>,  
Michele Mossa<sup>b</sup>, Antonio Rinaldi<sup>c</sup>, Giuseppe R. Tomasicchio<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque,  
del Rilevamento e del Territorio, Università di Bologna,  
V.le Risorgimento 2 - 40136 BOLOGNA

<sup>b</sup> Dipartimento di Ingegneria delle Acque, Politecnico di Bari,  
Via E. Orabona 4 - 70125 BARI

<sup>c</sup> Via Trinitapoli 6 - 71046 SAN FERDINANDO DI PUGLIA (Foggia)

<sup>d</sup> Università degli Studi di Perugia, Via G. Duranti 93 - 06125 PERUGIA

### Sommario

*Al fine di acquisire una maggiore conoscenza dei caratteri idrodinamici dell'onda in corrispondenza di una spiaggia a fondo fisso con barra, è stata condotta un'indagine sperimentale presso il LIM-UPC. Le prove, eseguite in canale con attacchi ondosi regolari ed irregolari, hanno quale obiettivo primario il rilievo delle componenti medie e turbolenta di velocità del campo di moto ondoso e dei profili istantanei di velocità in numerose sezioni. Si descrivono l'apparato sperimentale, gli strumenti utilizzati e le modalità d'esecuzione delle prove. Viene effettuata una valutazione del dato sperimentale preliminare alle future analisi. I dati appaiono per la prima volta e costituiscono anche una base per la validazione di modelli numerici di trasporto e di modificazione del profilo di spiaggia.*

### Introduzione

La variazione costante del clima ondoso agente su di una spiaggia ne determina l'adattamento continuo del fondo verso un profilo d'equilibrio. La conoscenza della evoluzione idrodinamica dell'onda, prima e dopo i frangenti in corrispondenza di una spiaggia, è necessaria per descrivere la mutazione nel tempo del profilo della spiaggia stessa nelle diverse stagioni ed in seguito ad eventi generalmente intensi.

Per il caso di spiaggia ideale a fondo fisso e profilo a pendenza uniforme, diversi autori hanno osservato e discusso i processi di trasformazione spaziale e temporale, nonché di frangimento dell'onda (Basco, 1985) e conversione della sua energia in turbolenza. I fenomeni più diffusamente studiati, con l'ausilio di prove in campo e in laboratorio, sono quelli della corrente indotta dall'azione dell'onda sulla spiaggia (Svendsen, 1984; Stive e Wind, 1986; S-Arcilla et al., 1994; Cox e Kobayashi, 1998), della cinematica dell'onda e delle caratteristiche della turbolenza indotta dal frangimento (Nadaoka e Kondoh, 1982; Svendsen, 1987; Okayasu, 1989; Beji e Battjes, 1993; Cox e Kobayashi, 1995; Rodriguez et al., 1995; Doering e Donelan, 1997) e del set-up (Bowen et al. 1968; Battjes, 1974; Stive e Wind, 1982).

Il ruolo dei diversi processi che partecipano alla formazione della barra lungo un profilo di spiaggia inizialmente a pendenza pressochè uniforme è stato definito, tra gli altri, nel lavoro sperimentale condotto da Roelvink e Stive (1989). Rodriguez et al. (1994) hanno svolto un'indagine su di una spiaggia con barra localizzata in prossimità della foce del fiume Ebro; detto lavoro era finalizzato al rilievo, mediante l'utilizzo di sei misuratori di velocità elettromagnetici, della distribuzione verticale della velocità media locale in corrispondenza dell'onda frangente. Smith e Kraus (1990) hanno svolto un'ampia indagine di laboratorio finalizzata alla determinazione di relazioni empiriche per l'individuazione dei caratteri

dell'onda frangente in corrispondenza di una barra artificiale posta lungo un profilo a pendenza uniforme 1:30.

Durante l'inverno 2000, nell'ambito del programma *EU Training and Mobility of Researchers*, è stata condotta un'indagine sperimentale presso il *large scale flume* del Laboratorio di Ingegneria Marittima (LIM) dell'Università Politecnica della Catalogna (UPC). Obiettivo primario dell'indagine sperimentale, condotta per attacchi ondosi regolari e irregolari, è stato il rilievo della superficie libera e della distribuzione verticale delle componenti di velocità indotta dall'onda nell'approssimarsi alla barra, in corrispondenza di essa, nella zona cava che segue la barra e sulla battigia. Elemento di novità, introdotto nella presente ricerca, è il dato di velocità acquisito istantaneamente lungo la verticale con elevata risoluzione spaziale e temporale. Di particolare interesse è l'osservazione del fenomeno di rigenerazione dell'onda dopo il frangimento in corrispondenza della barra.

### Installazione e condizioni sperimentali

Il canale sperimentale utilizzato ha lunghezza 100 m, larghezza 3 m, profondità 5 m ed è provvisto di un generatore di moto ondoso del tipo a pistone agente su di un cuneo traslante lungo un piano inclinato a 30° rispetto all'orizzontale. Il sistema di generazione è in grado di assorbire le onde riflesse e, quindi, permette di condurre la prova sperimentale limitando sensibilmente gli effetti delle onde parassite. In condizioni di quiete, il tirante idrico dinanzi all'ondogeno era pari a 2,05 m. La selezione dei moti ondosi è stata inizialmente condotta mediante la valutazione del parametro di frangimento al largo,  $\xi_o$ , in modo da ottenere frangenti in corrispondenza della barra sia di tipo spilling che plunging (Figura 1).

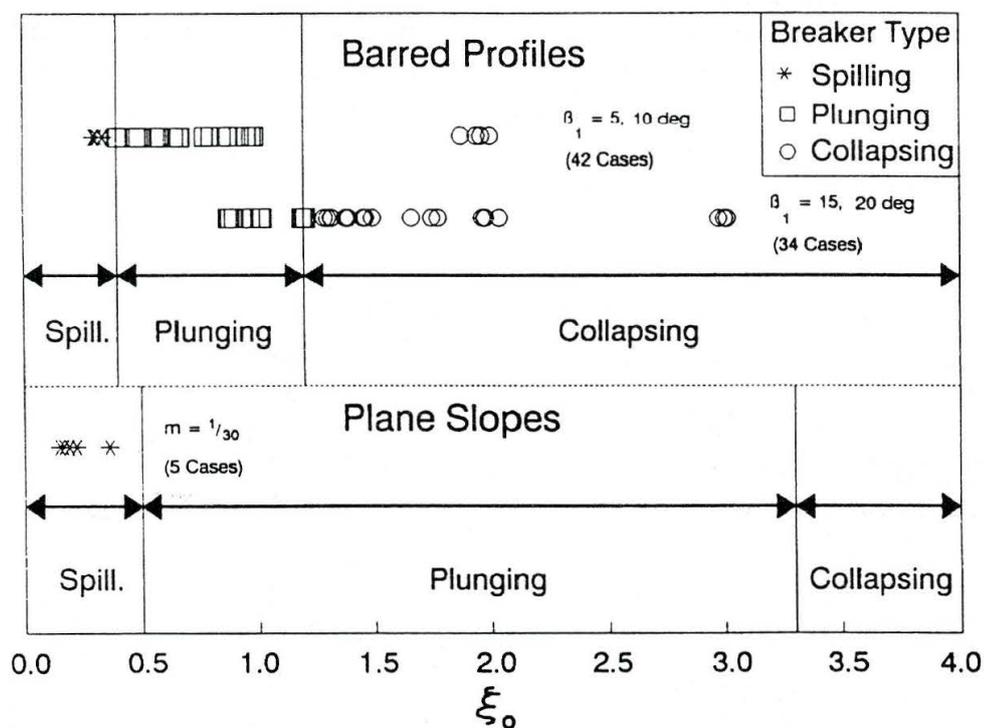


Figura 1. Caratteristiche dei frangenti in funzione di  $\xi_o$  (da Smith e Kraus, 1991)

Basandosi su prove sperimentali di breve durata sulla spiaggia realizzata, si è operata un'ulteriore selezione per l'individuazione delle caratteristiche di tre moti ondosi regolari ed uno irregolare, con i quali condurre il programma di ricerca. In Tabella 1 si riportano le principali caratteristiche dei campi di moto ondoso analizzati;  $H$  è l'altezza d'onda dinanzi al generatore di moto ondoso e  $T$  è il periodo. Per il caso di moto ondoso irregolare si riportano il valor quadratico medio delle altezze,  $H_{rms}$ , l'altezza significativa,  $H_s$  e il periodo di picco,  $T_p$ . L'onda irregolare è caratterizzata da uno spettro tipo Jonswap con fattore di picco pari a 3,3.

Moto ondoso	$H$ [m]	$T$ [s]
A (regolare)	0,21	2,50
B (regolare)	0,21	3,50
C (regolare)	0,38	3,50
D (irregolare)	$H_{rms}=0,21$ e $H_s=0,30$	$T_p=2,50$

Tabella 1. Caratteristiche dei moti ondosi prescelti

### Profilo di spiaggia

La geometria del profilo di spiaggia adottato è stata definita in modo da contemperare le dimensioni del canale con quelle di un profilo reale. La lunghezza utile del canale è di 80 m e, con questo vincolo, si è definita la geometria del profilo sperimentale. In letteratura sono disponibili i valori caratteristici dei profili di spiaggia adottati per alcune esperienze condotte in canali a larga scala dal Corps of Engineers, nel seguito *CE*, (Saville, 1957; Larson e Kraus, 1989, Kraus e Smith, 1994) e da Kajima et al. (1982), nel seguito *K*.

Larson e Kraus (1989), sulla base dei predetti dati sperimentali, hanno proposto le seguenti relazioni (Figura 2):

$$\frac{h_t}{h_c} = 2.5 \left( \frac{H_o}{L_o} \right)^{0.092} \quad (1)$$

$$\frac{L_{tc}}{L_o} = 0.12 (\tan \beta)^{-0.44} \left( \frac{H_b}{H_o} \right)^{-2.36} \quad (2)$$

in cui  $H_o$  e  $H_b$  indicano, rispettivamente, l'altezza d'onda al largo e al frangimento,  $\tan \beta$  rappresenta la pendenza del fondo nella zona dei frangenti e  $L_o$  l'altezza d'onda al largo. I valori caratteristici delle grandezze geometriche caratterizzanti una spiaggia con berma sono stati osservati nel corso di indagini sperimentali in campo denominate Delilah e Duck e riportati in Ebersole e Hughes (1987) e Birkemeyer et al. (1997).

Il parametro adimensionale  $h_t/h_c$ , per le esperienze del *CE* e di *K*, ha valore medio pari a 1,75, maggiore di quello osservato in campo. Ne consegue la considerazione che l'Eq.ne (1)

fornisce, generalmente, valori superiori a quelli misurati in campo (Sancho, 1999). Per quanto detto, il valore di  $h_r/h_c$  selezionato per le prove presso il LIM è pari a 1,47. Per quanto riguarda la distanza tra il punto di frangimento e la sezione con profondità massima dopo la barra,  $L_{tc}$ , i valori ottenuti mediante l'Eq.ne (2) per le condizioni adottate al LIM sono inferiori a quelli poi osservati nel corso delle esperienze. In particolare, la media dei valori calcolati è pari a 4,8 m, mentre la media dei valori rilevati in laboratorio è uguale a 13,0 m. Il parametro adimensionale  $(h_r-h_c)/h_t$  per le esperienze in campo ha valore medio 0,29, mentre per le esperienze CE e K ha valore medio pari a 0,42. Nelle prove al LIM si è assunto  $(h_r-h_c)/h_t = 0,32$ . Il valore di  $X_c/h_c$  assunto per le esperienze al LIM è uguale a 59,0 mentre, è pari a 60,5 per il caso delle esperienze in campo. La Figura 3 mostra il profilo di spiaggia adottato per le prove sperimentali condotte presso il LIM.

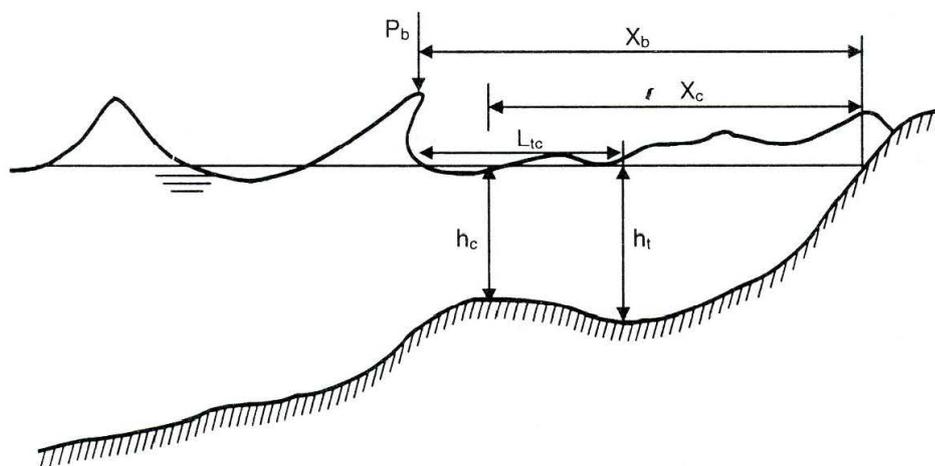


Figura 2. Caratteristiche geometriche di una spiaggia con barra (da Sancho, 1999)

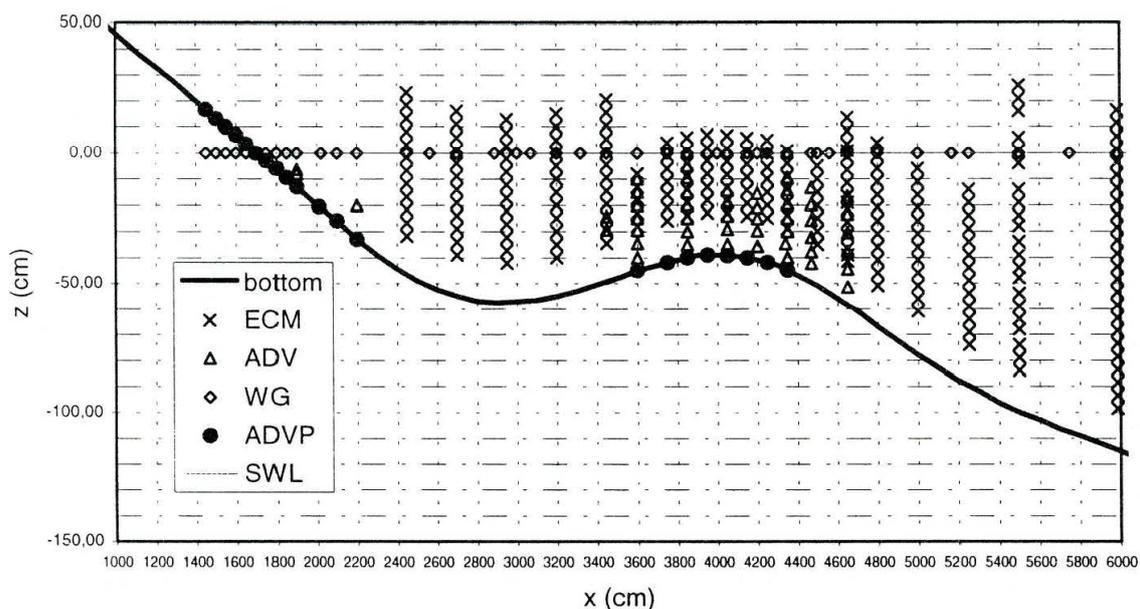


Figura 3. Sezione del profilo di spiaggia e disposizione degli strumenti

## Strumenti utilizzati

Lungo il canale sono state disposte nove sonde resistive (WG) per il rilievo del profilo della superficie libera; di queste, tre erano poste in prossimità del generatore di moto ondoso e le restanti variamente disposte lungo il canale e in corrispondenza delle sezioni ove sono stati effettuati i rilievi delle componenti di velocità. Questi ultimi sono stati effettuati con tre differenti tipi di strumenti, caratterizzati da differenti risposte in frequenza e frequenze d'acquisizione. Con una serie di nove correntometri elettromagnetici (ECM) disposti su apposite aste, si è effettuata l'acquisizione con frequenza 8 Hz delle componenti orizzontali e verticali di velocità in venti sezioni lungo l'intero profilo di spiaggia ad eccezione della zona di battigia (Figura 3). I correntometri sono stati disposti lungo la verticale con passo di 5 cm e ad una distanza minima dal fondo di 16 cm. L'acquisizione a 50 Hz delle tre componenti di velocità è stata effettuata mediante un velocimetro acustico Doppler (ADV) posto in alcune sezioni di particolare interesse per il fenomeno di frangimento e turbolenza indotta. L'utilizzo di un profilatore acustico Doppler (ADVP) ha permesso di ottenere, in modo non intrusivo, la distribuzione istantanea lungo la verticale delle componenti di velocità. L'ottimale configurazione dello strumento, da cui dipende la frequenza di acquisizione, richiede la definizione della profondità dell'acqua e della frequenza dell'onda acustica emessa. Le sonde di misura dell'ADVP sono state incapsulate in appositi cubetti di PVC e installati in una trincea continua di 20x10 cm appositamente realizzata sul fondo del canale.

La sincronizzazione dei tempi delle acquisizioni di tutti gli strumenti è stata assicurata da un sistema ad impulso inviato quando nel canale era raggiunta la condizione di stazionarietà (per sequenze di onde regolari dopo 600 onde e per sequenze di onde irregolari dopo 400 onde).

## Analisi preliminari e propositi per la ricerca

Le analisi condotte sono state rivolte alla verifica della ripetibilità delle esperienze eseguite. Nel seguito si presentano a titolo di esempio alcuni risultati relativi al moto ondoso C. Nelle Figure 4a-c si riportano le serie storiche arretrate ai primi 50 s del profilo di elevazione rilevate nelle sezioni a distanza  $x=5985$  cm e 3600 cm (Figura 3). I diagrammi si riferiscono a due distinte misurazioni condotte con lo stesso strumento e sono rappresentativi dell'intera serie delle elevazioni. I rilievi del profilo di superficie rispondono ai requisiti di ripetibilità nei limiti dell'errore sperimentale.

Nelle Figure 5a-b si riportano gli spettri di potenza dell'elevazione della superficie nelle sezioni precedentemente considerate. Gli spettri presentano picchi anche a frequenze multiple di quella fondamentale. Ciò indica la presenza di non linearità che tendono a crescere dal largo verso riva. Nelle Figure 6a-b si riportano, in scale logaritmiche, gli spettri di potenza delle componenti orizzontale,  $u$ , e verticale,  $w$ , di velocità, acquisite con l'ADV nel punto di misura ad  $x=3600$  cm e a distanza dal fondo  $z_b=25$  cm. Gli spettri riportati presentano alle frequenze maggiori una pendenza prossima a  $-5/3$ . Gli spettri delle componenti orizzontali e verticali di velocità presentano, altresì, picchi a frequenze analoghe a quelle dello spettro del profilo di superficie.

E' in corso un confronto dei valori di velocità osservati con i differenti strumenti nel medesimo punto e di determinazione della celerità del suono, parametro essenziale per la calibrazione degli strumenti acustici. La celerità, infatti, muta di valore in funzione della temperatura e della densità del mezzo di propagazione. Al termine dei controlli descritti,

propedeutici al prosieguo della ricerca, si intende analizzare i fenomeni che maggiormente influenzano il trasporto dei sedimenti e la modificazione del profilo di spiaggia.

La disponibilità di profili di velocità in numerose sezioni permette la descrizione qualitativa e quantitativa della corrente di ritorno a partire da circa 3 mm dal fondo e sino alla superficie libera; questo dato consente, tra l'altro, la determinazione attendibile, anche in corrispondenza dell'onda frangente, della corrente di ritorno.

Le acquisizioni delle componenti di velocità a frequenza sufficientemente elevata hanno permesso il rilievo dei caratteri turbolenti dell'onda che si propaga sulla barra. La ricerca comprenderà il confronto tra differenti metodi per la separazione delle componenti turbolente di velocità da quelle medie. Sarà quindi possibile la valutazione dell'energia turbolenta all'interno della zona dei frangenti e del modo in cui questa varia lungo la verticale e dal largo verso riva. Sulla base delle misure simultanee ad alta frequenza di profili di velocità in sezioni contigue (interdistanza 14 cm) effettuate in corrispondenza della barra, verrà condotta un'analisi di correlazione delle caratteristiche turbolente dell'onda frangente e di determinazione delle caratteristiche dei vortici indotti.

I dati di elevazione, infine, sono una base per la validazione di modelli numerici di tipo Boussinesq per la propagazione del moto ondoso da acque intermedie sino alla battigia. Di particolare interesse sono i dati relativi al fenomeno di rigenerazione dell'onda a valle della barra e lo studio delle caratteristiche di non linearità e di dispersione di frequenza dell'onda lungo l'intero profilo sulla base di misure di velocità (Tomasicchio e Brunone, 1998).

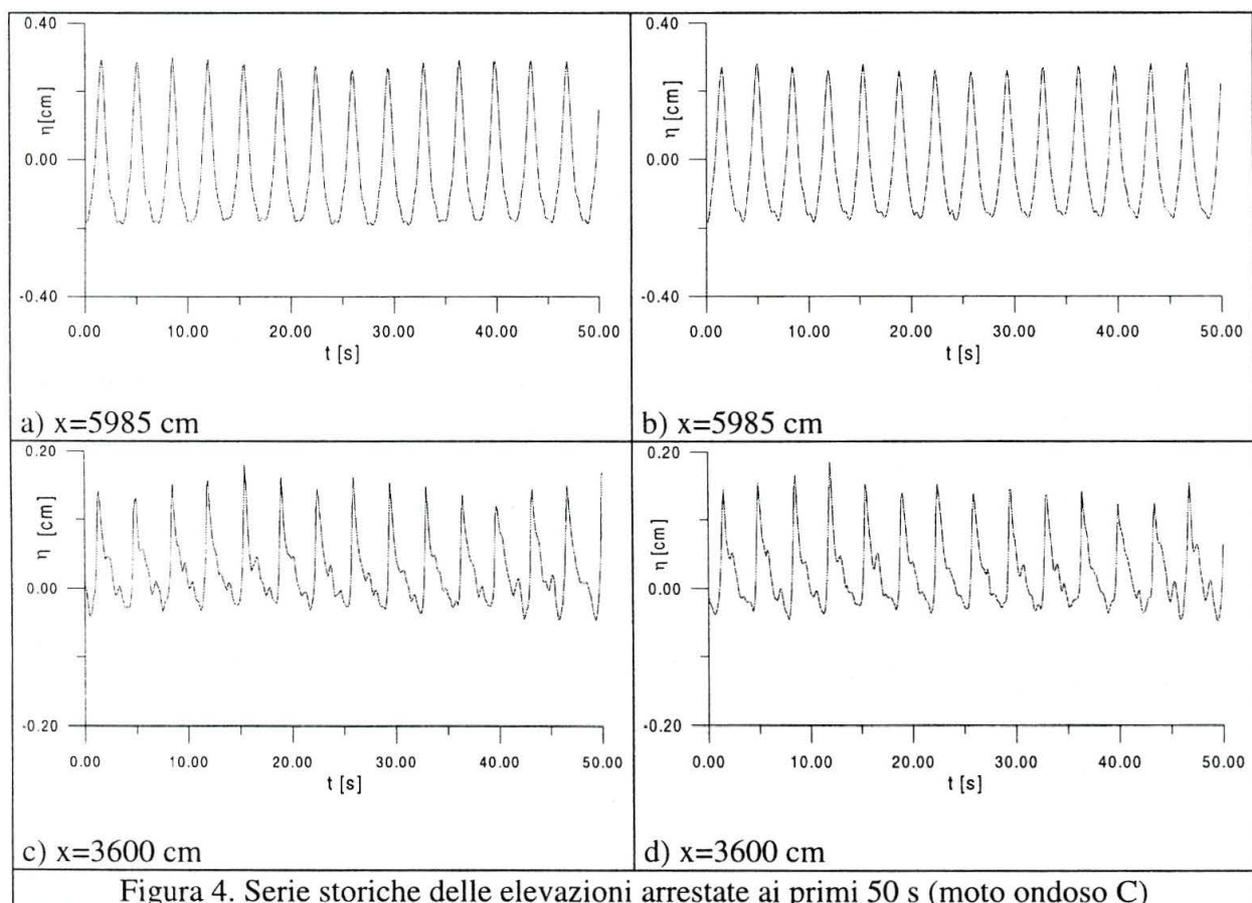


Figura 4. Serie storiche delle elevazioni arrestate ai primi 50 s (moto ondoso C)

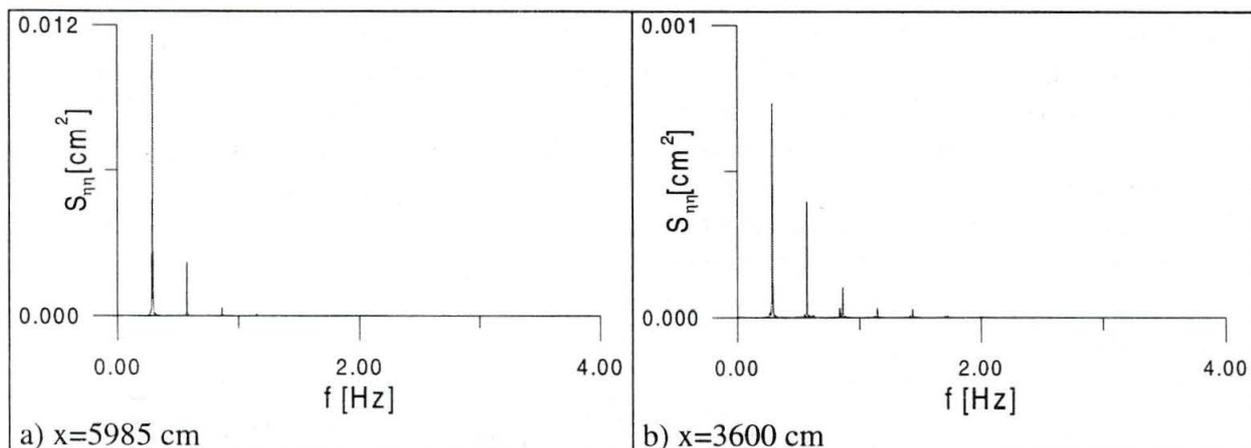


Figura 5. Spettri di potenza delle elevazioni (moto ondoso C)

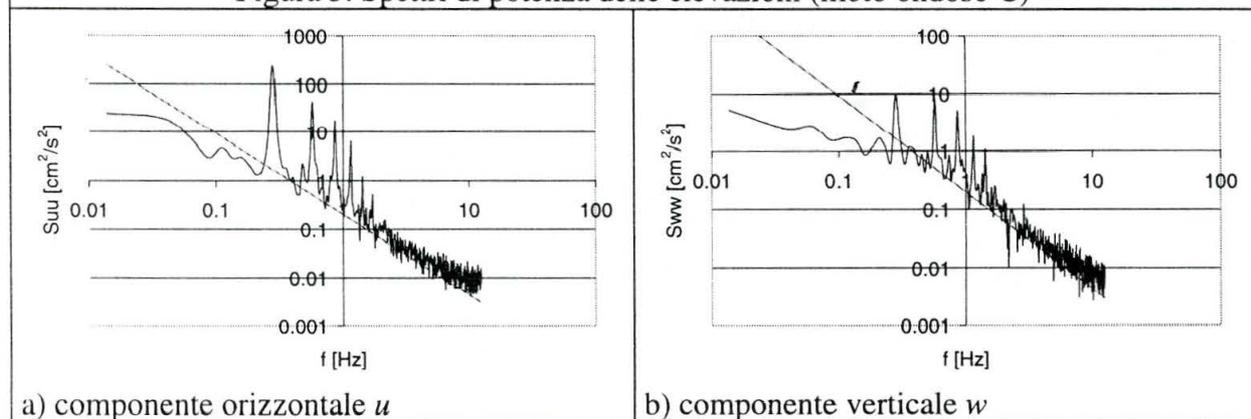


Figura 6. Spettri di potenza delle componenti di velocità.rilevate con l'ADV  
( $x=3600$  cm;  $z_b=25$  cm)

## Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato parzialmente finanziato dalla European Commission, Training and Mobility of Researchers Programme – Access to Large-scale Facilities, contratto n. ERBFMGECT9500073, e dal Laboratorio de Ingenieria Maritima della Universitat Politècnica de Catalunya. Si ringrazia il Dr. Francisco Sancho del LNEC (Portogallo), coordinatore scientifico del progetto, nonché i tecnici del LIM-UPC ed il Dr. Paulo Mendes dell'Università di Coimbra (Portogallo) che ha reso disponibile l'ADV.

## Bibliografia

- Basco, D.R., A qualitative description of wave breaking. ASCE, *J. of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engng.*, vol. 111, No. 2, March, pp. 171-188, 1985.
- Battjes, J.A., Computation of set-up, longshore currents, run-up and overtopping due to wind-generated waves. *Delft University of Technology, Ph.D. Dissertation*, Delft, pp.244, 1974.
- Beji, S. e J.A. Battjes, Experimental investigations of wave propagation over a bar. *Coastal Engng.*, 19 (1,2), pp.151-162, 1993.
- Birkemeyer, W.A., C. Donoghue, C.E. Long, K.K. Hathaway e C. Baron. 1990 DELILAH nearshore experiment: summary report. Tech. Rep. CHL-97-24, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, 1997.
- Bowen, A.J., D.L. Inman e V.P. Simmons, Wave 'set-down' and set-up. *J. of Geophys. Res.*, Vol. 73, 8, pp. 2569-2577, 1968.

- Cox, D.T., N. Kobayashi e A. Okayasu. Experimental and numerical modeling of surf zone hydrodynamics. *Res. Report CACR-95-07 (Tesi di dottorato del primo autore)*, Center for Applied Coastal Research, Univ. of Delaware, pp. 293, 1995.
- Cox, D.T. e N. Kobayashi, Application of an undertow model to irregular waves on plane and barred beaches, *J. of Coastal Res.*, 14, pp. 1314-1324, 1998.
- Doering, J.C. e M.A. Donelan, Acoustic measurements of the velocity field beneath shoaling and breaking waves. *Coastal Engng.*, 32, pp. 321-330, 1997.
- Ebersole, B.A. e S.A. Hughes, Duck85 Photopole experiment. Miscellaneous paper CERC-87-18, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS, 1987.
- Kajima, R., T. Shimizu, K. Maruyama e S. Saito, Experiments of beach profile change with a large wave flume. *Proc. 18th Int. Conf. Coastal Engng.*, vol. 2, Cape Town, ASCE, pp.1385-1404, 1982.
- Kraus, N.C. e J.M. Smith, Supertank laboratory data collection project – vol. 1: Main Text. *Tech. Rep. CERC-94-3, Coastal Engng. Res. Center*, WES, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, pp. 274, 1994.
- Larson, M. e N.C. Kraus, Sbeach: Numerical model for simulating storm-induced beach change. *Tech. Rep. CERC-89-9, Coastal Engng. Res. Center*, WES, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, pp. 267, 1989.
- Nadaoka, K. e T. Kondoh, Laboratory measurements of velocity field structure in the surf zone by LDV. *Coastal Engng. in Japan*, 25, pp. 125-145, 1982.
- Okayasu, A., Characteristics of turbulence structure and undertow in the surf zone. *Ph.D. Dissertation, Univ. of Tokyo*, pp. 119, 1989.
- Rodriguez, A., A. Sánchez-Arcilla, F.R. Collado, V. Gracia, M.G. Coussirat, e J. Prieto, Waves and currents at the Ebro delta surf zone: measurements and modelling. *Proc. 24th Int. Conf. Coastal Engng.*, Vol. 3, Kobe, ASCE, pp. 2542-2556, 1994.
- Rodriguez, A., A. Sánchez-Arcilla, J. Gomez, e E. Bahia, Study of surf-zone macroturbulence and mixing using DELTA'93 field data. In *Coastal Dynamics '95*, Gdansk, ASCE, pp. 305-316, 1995
- Roelvink, J.A. e Stive M.J., Bar-generating cross-shore flow mechanisms on a beach. *J. of Geophys. Res.*, Vol. 94, No. C4, pp. 4785-4800, 1989.
- Sánchez-Arcilla, A., J.A. Roelvink, B.A. O'Connor, A. Reniers e J.A. Jimenez, The Delta flume '93 experiment. In *Atti 1<sup>st</sup> Coastal Dynamics Conf.*, pp. 488-502, 1994.
- Sancho, F.E.P., Perfil de equilibrio de uma praia com barra-fossa.. *I<sup>st</sup> Portuguese. Conf. on Coastal and Harbour Engng.*, Porto, pp.227-245, 1999.
- Saville, T., Scale effects in two dimensional beach studies. *Transactions 7<sup>th</sup> General Meeting Int. Assoc. Hydraulic Res.*, Vol. 1, A3.1-A3.10, 1957.
- Smith, E.R. e N.C. Kraus, Laboratory study of wave breaking over bars and artificial reefs. *J. of Wtrway., Port, Coast. and Oc. Engrg.*, Vol. 117, no. 4 pp.307-325. 1991.
- Stive, M.J.F. e H.G. Wind, A study of radiation stress and set-up in the nearshore region. *Coastal Engng.*, 6, pp. 1-25, 1982.
- Stive, M.J.F. e H.G. Wind, Cross-shore mean flow in the surf zone. *Coastal Engng.*, 10, pp. 325-340, 1986.
- Svendsen, I.A., Mass flux and undertow in a surf zone. *Coastal Engng.*, 8, pp. 347-365, 1984.
- Svendsen, I.A., Analysis of surf zone turbulence. *J. of Geophys. Res.*, Vol. 92, 8, pp. 5115-5124, 1987.
- Tomasicchio, G.R. e B. Brunone, Cinematica di modelli tipo-Boussinesq per onde propagantisi in profondità intermedie. In *Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Catania, Vol. I, , pp. 211-221, 1998.