

XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche

Palermo, 14-17 settembre 2010

---

## EFFETTO DELLA VEGETAZIONE SUL CAMPO DI MOTO INDOTTO DAL MOTO ONDOSO: RISULTATI PRELIMINARI

L. Cavallaro<sup>1</sup>, C. Lo Re<sup>2</sup>, G. Paratore<sup>3,4</sup>, A. Viviano<sup>3</sup> & E. Foti<sup>3</sup>

- (1) Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Messina, Italia, e-mail: [lcavallaro@ingegneria.unime.it](mailto:lcavallaro@ingegneria.unime.it)
- (2) Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Applicazioni Ambientali, Università degli Studi di Palermo, Italia, e-mail: [lore@idra.unipa.it](mailto:lore@idra.unipa.it)
- (3) Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale, Università degli Studi di Catania, Italia, e-mail: [giovanni\\_paratore@hotmail.it](mailto:giovanni_paratore@hotmail.it), [nino.viviano@unirc.it](mailto:nino.viviano@unirc.it), [efoti@dica.unict.it](mailto:efoti@dica.unict.it)
- (4) Dipartimento di Meccanica e Materiali, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italia, e-mail: [giovanni\\_paratore@hotmail.it](mailto:giovanni_paratore@hotmail.it)

### SOMMARIO

*Nella presente memoria vengono illustrati i risultati preliminari di una indagine sperimentale di laboratorio orientata alla determinazione degli effetti di una prateria di Posidonia Oceanica sulla propagazione di onde regolari in acque intermedie e basse. Ampia attenzione è stata posta alla appropriata simulazione delle piante in laboratorio. A tal fine è stata impiegata la tecnica di acquisizioni di immagini per analizzare gli spostamenti di una singola pianta sintetica confrontabili con quelli di una pianta vera. Le sperimentazioni condotte per analizzare le interazioni delle onde con una prateria artificiale hanno mostrato come nel caso di piante quasi emergenti si rilevi un abbattimento significativo dell'energia del moto ondoso, pur non essendo invece evidenti effetti sulla struttura del campo di moto.*

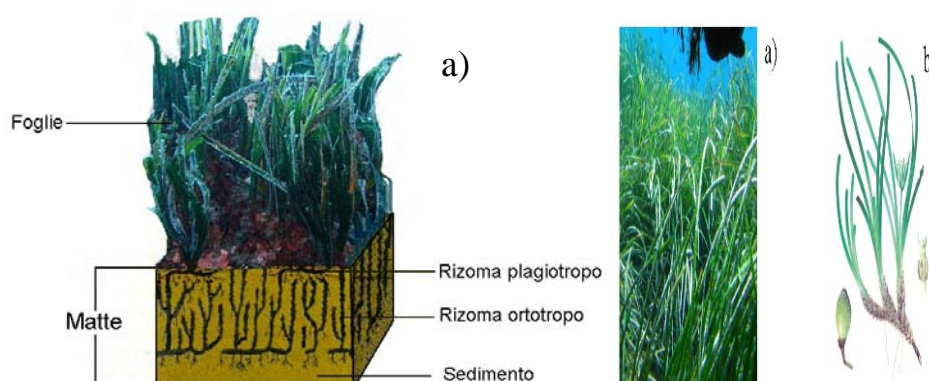
### 1 INTRODUZIONE

La vegetazione acquatica produce importanti effetti sulle correnti costiere, specialmente in presenza di bassi fondali, dove la vegetazione è caratterizzata da un'altezza comparabile con il tirante idrico. Ancora oggi gli effetti dell'interazione tra il campo di moto e la vegetazione non sono ancora chiari e rappresentano un elemento di grande incertezza nell'impiego di modelli sia di propagazione del moto ondoso che di circolazione costiera.

La Posidonia Oceanica (Figura 1), nei tratti di spiaggia sommersa sabbiosa caratterizzata da profondità inferiori a 40 m, è una delle piante marine più diffuse nel Mediterraneo. Essa è costituita da radici, da uno stelo corto, detto rizoma, e da foglie. I rizomi presentano la caratteristica di accrescersi sia in senso verticale che orizzontale. L'accrescimento orizzontale ha la funzione di ancorare la pianta al fondo, al contrario l'accrescimento verticale ha la funzione di contrastare il progressivo insabbiamento dovuto al continuo apporto di sedimenti depositati. Grazie alla combinazione dei due accrescimenti si creano sul fondo delle zone compatte chiamate "matte", costituite da un intreccio di rizomi morti e di radici, le quali favoriscono, grazie anche alle foglie di notevole lunghezza, la sedimentazione del materiale in sospensione mobilitato dalle

onde e dalle correnti e il progressivo intrappolamento all'interno delle praterie. Tale aspetto favorisce la stabilizzazione del fondo marino, particolarmente importante in zone soggette ad erosione costiera, non solo proteggendolo dalla mobilitazione di sedimenti ma anche favorendo il progressivo e lento deposito dei sedimenti. Le foglie si presentano nastriformi ed estremamente flessibili, con una larghezza pari a circa 1 cm e una lunghezza fino a 1.5 m; esse sono organizzate in ciuffi usualmente composti da sei foglie con età e lunghezza decrescenti dall'esterno verso l'interno. La pianta vive formando ampie distese sul fondo marino, chiamate praterie, le quali si estendono generalmente da tratti di litorale caratterizzati da bassi tiranti, fino a profondità elevate. La densità delle piante varia da 500 a 1000 unità per metro quadro. Usualmente la *Posidonia Oceanica* si insedia su fondali marini mobili, composti generalmente da una granulometria non più grande della sabbia grossolana. In casi più rari la si ritrova anche su fondali rocciosi esposti ad una elevata energia prodotta dal moto ondoso (Koch, 2006).

Le praterie di *Posidonia Oceanica*, o di altra specie di vegetazione marina, oltre a favorire la sedimentazione del materiale in sospensione, determinano significative variazioni delle caratteristiche del moto. Infatti, a causa della propria struttura, la *Posidonia Oceanica* rappresenta una scabrezza significativa la cui quantificazione risulta difficile, poiché direttamente correlata all'intensità delle correnti: al crescere della velocità le foglie tendono a flettersi verso il fondo fino a giacere sullo stesso anche per velocità di alcuni decimetri al secondo, abbattendo così la resistenza al moto. Per tale motivo, in condizioni di moto stazionario, per esempio quello determinato dalle correnti di marea, la scabrezza del fondo deve essere considerata variabile con le condizioni idrodinamiche. In presenza di moto ondoso, il campo di moto presenta variazioni continue, sebbene periodiche. In conseguenza di dette oscillazioni le piante stesse si muovono oscillando. Per tali ragioni gli effetti della vegetazione sul campo di moto (distribuzione della velocità, turbolenza, dissipazione di energia, ...) risultano complessi da identificare, in quanto prodotti dalla mutua interferenza del campo di moto e della vegetazione stessa.



**Figura 1.** *Posidonia oceanica*: a) una prateria; b) schema della pianta. (Ciraolo et al., 2007).

Su tali aspetti sono stati effettuati diversi studi, particolarmente rivolti all'analisi dell'influenza della vegetazione acquatica sul campo di moto, anche se focalizzati prevalentemente al caso di moto permanente e in maniera assai più ridotta al caso di

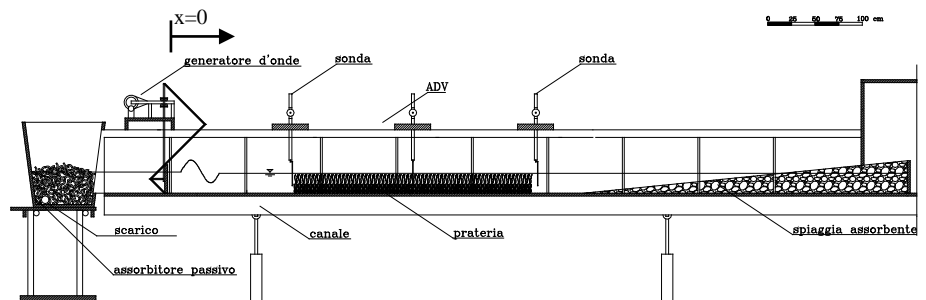
moto ondoso. In particolare, il campo di moto su piante flessibili è stato recentemente studiato da *Ghisalberti and Nepf (2002, 2005, 2006)*, *Ciraolo et al (2006, 2008)* e *Ciraolo e Ferreri (2007)* in condizioni stazionarie. L'interazione tra la vegetazione, schematizzata come rigida, e il moto ondoso è stata analizzata da *Lowe et al. (2005)*, mentre *Mendez e Losada (2004)*, *Bradley e Houser (2009)* e *Augustin et al. (2009)* hanno analizzato l'attenuazione del moto ondoso dovuta alla presenza di vegetazione flessibile, mostrando come quest'ultima produca un abbattimento significativo dell'ampiezza d'onda.

Lo scopo del presente lavoro è di ampliare le conoscenze dell'interazione tra vegetazione e campo di moto indotto da onde regolari attraverso prove di laboratorio.

La memoria è articolata come segue: il paragrafo 2 illustra l'apparecchiatura sperimentale adottata; il paragrafo 3 mostra gli studi condotti per realizzare una pianta sintetica necessaria per la conduzione delle prove; il paragrafo 4 mostra i risultati delle prove sperimentali condotte insieme ad alcune analisi dei dati acquisiti; infine il paragrafo 5 fornisce alcune considerazioni conclusive.

## 2 DESCRIZIONE DELL'APPARATO SPERIMENTALE

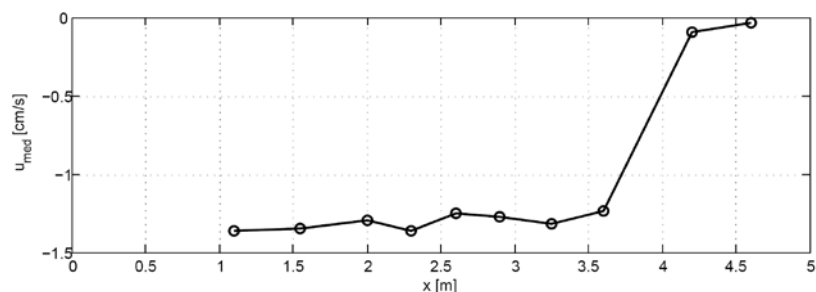
Al fine di individuare gli effetti della vegetazione flessibile sul campo di moto indotto da onde di vento, sono state condotte prove sperimentali in un canale in dotazione al Laboratorio di Idraulica dell'Università degli Studi di Catania. Il canale, mostrato in Figura 2, ha una lunghezza di 8.6 m e una larghezza di 0.5 m ed è dotato di pareti in vetro di altezza di 0.7 m. Onde regolari possono essere generate per mezzo di un battitore a pistone posto ad un estremo del canale comandato da un motore elettrico. Sul lato opposto del canale, al fine di minimizzare gli effetti della riflessione, è stata realizzata una spiaggia assorbente con pendenza 1:10 costituita da ciottoli in marmo. Il canale è dotato di un sistema di misura costituito da sonde resistive che sono in grado di fornire l'altezza d'onda e il periodo. Inoltre, è presente un misuratore acustico di velocità a effetto doppler (ADV), che consente di rilevare tale grandezza in vari punti della colonna d'acqua.



**Figura 2.** Vista laterale del canale del Laboratorio di Idraulica dell'Università degli Studi di Catania.

All'interno del canale, ad una distanza pari a 1.4 m dal generatore d'onda, è stata realizzata una prateria di piante artificiali, le cui caratteristiche sono descritte nel paragrafo seguente, avente un'estensione pari a 2.5 m e una densità pari a 1024 piante a

m<sup>2</sup>. Le sonde di misurazione di tipo resistivo sono state poste immediatamente all'esterno della prateria a una distanza rispettivamente pari a 1.3 e 3.9 m dal battitore. La scelta della posizione dello strumento di misura delle velocità è avvenuta dopo una attenta analisi delle possibili disuniformità del campo di moto presenti lungo la canaletta. E' stata infatti eseguita una analisi preliminare in assenza di vegetazione artificiale in cui è stata misurata la velocità nella direzione di propagazione dell'onda ( $u$ ) per fissata profondità e in varie posizioni lungo la canaletta. I risultati mostrati in Figura 3 mostrano un andamento costante della velocità media nella direzione  $x$  nella zona in cui il fondo è orizzontale, per tale motivo, nelle successive prove è stato scelto di inserire l'ADV in corrispondenza della sezione mediana della prateria ovvero per  $x = 2,65$  m.



**Figura 3.** Distribuzione della velocità media lungo  $x$  misurata ad una profondità di circa 13 cm rispetto al livello di quiete. L'onda in ingresso ha:  $H = 4,5$  cm ;  $T = 0,74$  s.

### 3 MODELLAZIONE DELLA VEGETAZIONE

Al fine di studiare gli effetti idrodinamici prodotti dalle piante di Posidonia Oceanica si è scelto di utilizzare elementi artificiali, non potendo utilizzare piante reali sia per motivi pratici connessi al mantenimento in vita delle stesse sia poiché tali piante appartengono a una specie protetta. Il materiale scelto per riprodurre le foglie è il Polietilene a bassa densità, ossia un materiale plastico semplice da lavorare, con caratteristiche molto simili a quelle delle piante vere. Al fine di verificare la bontà di tale scelta sono state effettuate numerose prove preliminari, con lo scopo di mettere in evidenza alcune proprietà fisiche macroscopiche di questo tipo di vegetazione.

Sono state quindi raccolte in una spiaggia prossima ad una prateria di Posidonia, subito dopo una mareggiata, alcune piante. Selezionato il campione in migliore stato di conservazione, mostrato in Figura 4, si sono verificate le dimensioni delle foglie, le quali crescono sempre a coppie di simile lunghezza. In particolare la lunghezza delle foglie nel campione prelevato non superava i 22 cm, la larghezza invece è risultata pari a 1 cm.

La prima prova effettuata è stata quella relativa all'analisi della flessibilità della pianta. A tal fine si è utilizzata una canaletta per esperimenti in moto permanente in cui sono state immerse ed ancorate al fondo, una accanto all'altra, la pianta di Posidonia vera ed una sua riproduzione artificiale costruita rispettando le stesse dimensioni (Figura 5). Le due piante sono state sottoposte ad una corrente di velocità pari a 10,8 cm/s e mediante l'utilizzo di una fotocamera si è potuto misurare dai fotogrammi

lo spostamento verticale delle foglie, effettuando così un confronto diretto tra le due piante. Lo stesso studio è stato poi condotto anche in un campo di moto oscillante su profondità di 21 cm, per un treno di onde sinusoidali aventi  $H = 4,26$  cm e  $T = 0,77$  s. In entrambi i casi il comportamento generale delle piante è risultato molto simile.



**Figura 4.** La pianta di Posidonia vera usata per gli esperimenti volti a identificare le caratteristiche più opportune per la pianta sintetica.



**Figura 5.** Fase sperimentale in canaletta per sole correnti, confronto tra la pianta vera e la pianta artificiale sottoposte alla stessa corrente.

Una seconda fase sperimentale è stata condotta al fine di verificare la spinta di galleggiamento sia su foglie artificiali che su foglie di una pianta vera, immergendo entrambe in un volume noto. Il peso specifico del Polietilene ( $0,98 \text{ kg/dm}^3$ ) risulta molto prossimo a quello dell'acqua dolce così come il peso specifico delle piante vere risulta vicino al peso specifico dell'acqua di mare. Le foglie artificiali usate avevano spessori compresi tra 0,16 mm e 0,08 mm. Da dette analisi si è rilevato che lo spessore più idoneo per riprodurre il comportamento della pianta vera in acqua salata è risultato quello di 0,08 mm; in tal caso infatti le foglie sintetiche hanno mostrato un galleggiamento in acqua dolce analogo a quello della pianta vera in acqua salata.

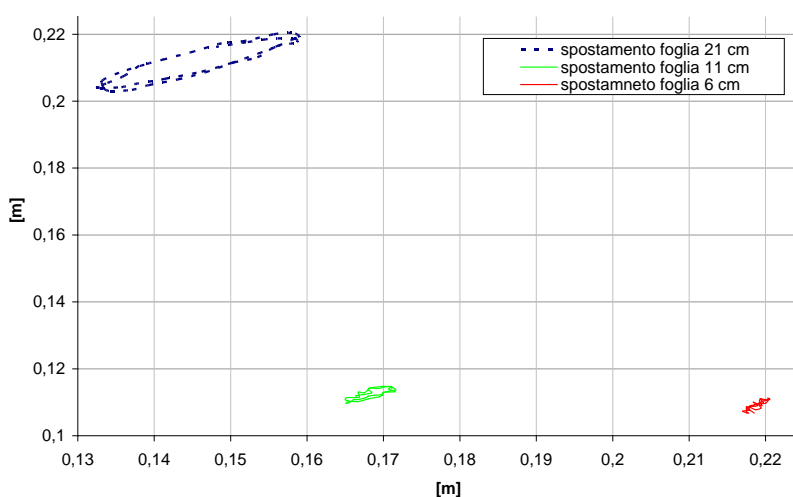
Successivamente, per valutare il comportamento della pianta artificiale sotto il campo di moto oscillante, si sono sviluppati alcuni test con una singola pianta. Questa è stata posizionata nella parte centrale dell'apparato sperimentale descritto nel paragrafo 2. La pianta è stata collocata su una piastra in acciaio inox opportunamente forata. L'onda monocromatica utilizzata in questo esperimento ha le medesime caratteristiche

di quella riprodotta in precedenza per la comparazione visiva con la pianta vera ( $h = 21$  cm,  $H = 4,26$  cm e  $T = 0,77$  s).

Gli apici delle foglie della pianta artificiale sono stati marcati di nero (vedi Figura 6), colore facilmente individuabile attraverso l'analisi delle immagini. Si sono quindi filmati alcuni periodi di propagazione del moto ondoso e si sono estratti i relativi fotogrammi, individuando su di essi la posizione delle foglie. In particolare si osserva che le piante tendono a piegarsi nella direzione di propagazione del moto ondoso, nella Figura 7 si può infatti notare come le orbite tracciate dagli spostamenti delle piante siano inclinate secondo la direzione del moto ondoso stesso (da destra verso sinistra). L'analisi degli spostamenti degli apici delle foglie ha dato ulteriore conferma sull'analogo comportamento della pianta artificiale e di quella vera. Inoltre tutte le prove preliminari hanno evidenziato che il comportamento del polietilene a bassa densità in acqua dolce è quello più vicino al comportamento di una pianta vera immersa in acqua marina, potendo quindi confermare la scelta di *Posidonia Oceanica* artificiale in acqua dolce ed eliminando così tutti i problemi inerenti all'utilizzo continuativo di acqua marina nelle canalette in materiale metallico utilizzate per esperimenti.



**Figura 6.** Spostamento degli apici delle foglie di una pianta artificiale di *Posidonia Oceanica* durante un periodo di oscillazione. Particolare della tecnica utilizzata per individuarne la posizione.



**Figura 7.** Spostamenti degli apici delle foglie di una singola pianta artificiale di *Posidonia Oceanica*.

#### 4 ESPERIMENTI CONDOTTI ED ANALISI DEI RISULTATI

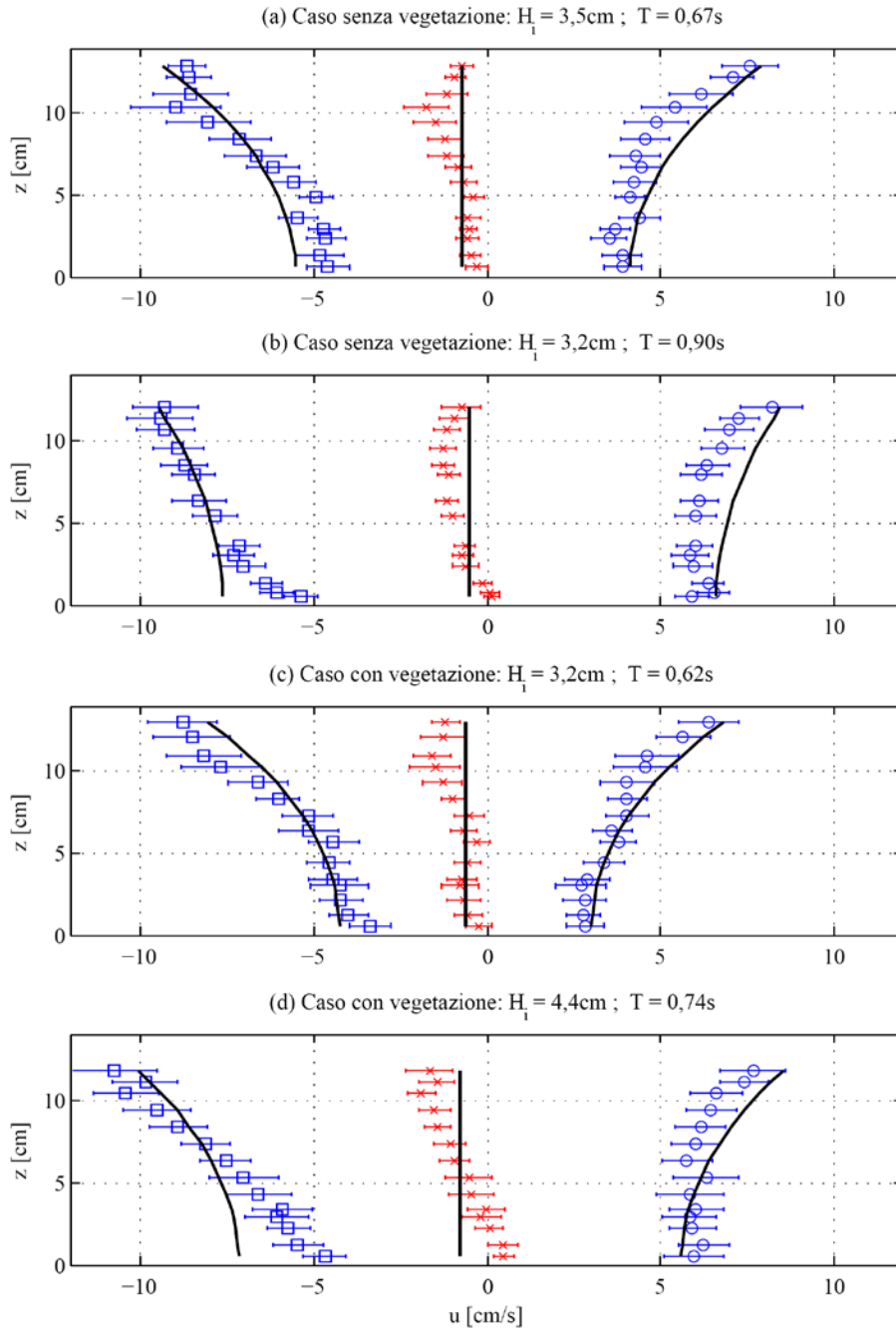
Lo studio dell'interazione tra le onde e la vegetazione presente impone una attenta analisi dei possibili reciproci effetti esistenti tra il campo di moto generato dalle onde e l'insieme delle foglie che compongono la prateria. Risulta infatti utile analizzare sia l'andamento delle piante per effetto del moto ondoso incidente, sia le modificazioni del campo di moto, in termini di distribuzione di velocità e di caratteristiche delle onde, causate dalla presenza di una prateria.

Nelle analisi descritte nel paragrafo precedente è stato studiato il modo in cui la vegetazione presente su un fondale può essere movimentata dal campo di moto generato da onde regolari. Risulta altresì interessante capire se la presenza di una prateria modifica a sua volta l'idrodinamica costiera e stimare l'entità di tale effetto. A tale scopo sono state eseguite diverse prove al fine di stimare le modifiche nella distribuzione di velocità all'interno della colonna d'acqua per effetto della prateria. I risultati sono stati comparati con quelli ottenuti nello stesso apparato sperimentale in assenza di vegetazione. La Figura 8, in particolare, mostra i profili delle velocità massime e di quelle medie ottenuti a partire dai dati rilevati, nonché le corrispondenti curve delle velocità massime, minime e medie previste dalla teoria lineare. Tali curve sono state traslate nel verso negativo delle ascisse di una quantità pari alla velocità media di ritorno (*Dean e Dalrymple, 1992*), che, come è noto, risulta opposta alla direzione di propagazione dell'onda; e ciò al fine di tenere in considerazione gli effetti sul campo di moto prodotti dalla presenza della spiaggia.

In tutti e quattro i casi analizzati le velocità rilevate sono risultate simili a quelle ricavate dalla teoria lineare, indipendentemente dalla presenza della vegetazione. Risulta però opportuno evidenziare che l'altezza d'onda utilizzata per ricavare i profili di velocità è quella che corrisponde alla media tra l'altezza incidente (sonda 1) e quella alla fine della prateria (sonda 2). In definitiva, quindi, nonostante tutte le distribuzioni di velocità siano analoghe per forma a quelle teoriche, la presenza della vegetazione causa una significativa riduzione dell'energia, che viene verosimilmente ripartita uniformemente lungo la colonna d'acqua a causa del fatto che la vegetazione è quasi emergente.

A seguito di questa interpretazione dei risultati si è scelto di eseguire ulteriori prove, focalizzando però l'attenzione sull'abbattimento della altezza d'onda per effetto della prateria, essendo tale parametro il più immediato indicatore del contenuto energetico del moto ondoso. Le prove condotte sono state caratterizzate da un tirante d'acqua costante pari a  $h = 21$  cm, da un periodo  $T$  compreso tra 0.49 a 0.91 s e da un'altezza d'onda incidente  $H_1$  (misurata alla sonda 1) compresa tra 2.3 e 4.8 cm. Tutte le prove condotte sono riconducibili a condizioni di moto ondoso su acque intermedie e solo per due prove in condizioni di acque profonde.

Le corrispondenti altezze d'onda rilevate alle due sonde ( $H_1$  e  $H_2$ ), ed il relativi abbattimenti  $\Delta H = H_1 - H_2$ , sono stati messi in relazione con le altre grandezze in gioco del fenomeno in esame, ovvero con il periodo  $T$ , con la lunghezza d'onda  $L$ , con la profondità  $h$  e con l'estensione della prateria  $l_p$ . Applicando criteri basati sull'analisi dimensionale, e considerando che la lunghezza d'onda è funzione del periodo e della profondità, si è ritenuto opportuno utilizzare i seguenti parametri adimensionali:  $kh$ ,  $\Delta H/l_p$ ,  $H_1/h$ , in cui  $k$  è il numero d'onda, definito pari a  $2\pi/L$ .

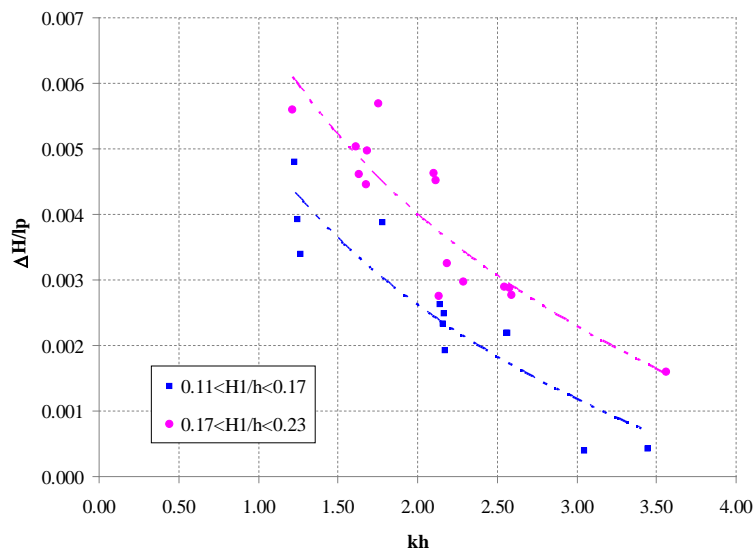


**Figura 8.** Profili di velocità massime ( $\circ$ ), minime ( $\square$ ) e medie ( $\times$ ) ottenute in corrispondenza della sezione  $x = 2,65$  m misurata rispetto al battitore, per diverse onde. Sono mostrati gli intervalli di confidenza delle misure e le curve corrispondenti alle velocità teoriche ricavate dalla teoria lineare.



I risultati mostrano una significativa attenuazione dell'altezza d'onda, e quindi dell'energia del moto ondoso, a causa dell'interazione del campo di moto con la prateria. In particolare, come illustrato nella Figura 9, l'attenuazione dell'altezza d'onda risulta crescente sia al decrescere del prodotto tra il numero d'onda  $k$  e la profondità  $h$  sia al crescere dell'altezza d'onda. La riduzione dell'attenuazione d'onda al crescere del prodotto  $kh$  è spiegabile considerando che a valori crescenti del prodotto  $kh$  corrisponde una minore penetrazione del moto ondoso all'interno della colonna d'acqua e dunque una minore interazione con le piante, mentre l'aumento dell'abbattimento dell'altezza d'onda con il crescere dell'altezza d'onda stessa fa supporre una non linearità di tale attenuazione lungo il percorso.

Il comportamento rilevato dai risultati delle presenti indagini sperimentali è concorde con quello ottenuto sia da *Mendez e Losada (2004)*, che da *Augustin et al. (2009)*, sebbene l'entità dell'abbattimento delle onde può essere diverso a causa delle differenti condizioni di sommergenza, densità e flessibilità degli steli.



**Figura 9.** Andamento dell'attenuazione dell'altezza d'onda per unità di lunghezza della prateria in funzione del prodotto tra il numero d'onda  $k$  e la profondità rappresentato per classi del rapporto tra altezza d'onda incidente e profondità.

## 5 CONCLUSIONI

In questo lavoro, tramite indagine in laboratorio, è stata studiata l'interazione tra il campo di moto generato da onde regolari e la vegetazione acquatica. In particolare, una prima fase del lavoro è stata volta alla appropriata definizione delle caratteristiche fisiche (flessibilità, galleggiamento, etc.) delle piante sintetiche e al loro comportamento all'interno di un campo di moto generato da onde. Successivamente si sono condotte alcune prove preliminari sull'influenza delle piante acquatiche su di un campo di moto oscillante. I risultati hanno mostrato come nella condizione di piante quasi emergenti,

cioè occupanti l'intera colonna d'acqua, si osserva una evidente riduzione dell'energia del moto ondoso e, di conseguenza, dell'altezza d'onda. L'entità di tale attenuazione appare essere legata alla lunghezza d'onda locale e al rapporto tra altezza d'onda e profondità locale. In particolare si osservano valori crescenti della riduzione dell'altezza d'onda per unità di lunghezza della prateria al crescere del rapporto tra profondità locale e lunghezza d'onda e al crescere del rapporto tra altezza d'onda e profondità locale: ciò fa supporre una verosimile non linearità dell'attenuazione dell'altezza d'onda lungo il percorso sulla prateria. Inoltre è stato rilevato che la presenza di piante quasi emergenti non altera in modo sensibile la distribuzione del profilo delle velocità orizzontali lungo la verticale, che risulta solo ridotto rispetto al caso di assenza di vegetazione in virtù della riduzione dell'altezza d'onda provocate dalle piante stesse. Gli sviluppi futuri del presente lavoro riguardano l'approfondimento dello studio dell'attenuazione del moto ondoso lungo il percorso, verificando l'effettiva non linearità della perdita di energia lungo il percorso, e l'estensione a condizioni di piante non emergenti.

**Ringraziamenti.** Il presente lavoro è stato in parte finanziato dal progetto PRIN 2008 "Strumenti per la valutazione della vulnerabilità delle aree costiere in relazione ai previsti cambiamenti climatici" e dal progetto POR CALABRIA 2000-2006 ASSE 1 – MISURA 1.4 – Azione 1.4.c, Lotto Progettuale 10 - "Interventi a basso impatto ambientale nella protezione dei litorali"

#### BIBLIOGRAFIA

- Augustin L. N., Irish J. L. e Lynett P. Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation. *Coastal Engineering*, 56, 332-340, 2009.
- Bradley K. e Houser C. Relative velocity of seagrass blades: implications for wave attenuation in low-energy environments. *J. Geophys. Res.*, 114, F01004, doi: 10.1029/2007JF000951, 2009.
- Ghisalberti M. e Nepf H. Mixing layer and coherent structures in vegetated aquatic flow. *J. Geophys. Res.*, 107 (C2), 10.1029/2001JC000871, 2002.
- Ghisalberti M. e Nepf H. Mass transfer in vegetated shear flow. *Environmental Fluid Mech.*, 5(6), 527-551, 10.1007/s10652-005-0419-1, 2005.
- Ghisalberti M. e Nepf H. The structure of the shear layer over rigid and flexible canopies. *Environmental Fluid Mech.*, 6(3), 277-301, 10.1007/s10652-006-0002-4, 2006.
- Ciraolo G., Ferreri G. B. e La Loggia G. Flow resistance of *Posidonia oceanica* in shallow water. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 44, n. 2, pp. 189-202, ISSN 0022-1686, 2006.
- Ciraolo G. e Ferreri G. B. Log velocity profile and bottom displacement for a flow over a very flexible submerged canopy. *Proc. of 32nd Congress of IAHR – Harmonizing the Demands of Art and Nature in Hydraulics*, Venice, 1-6 July 2007, ISBN 88-89405-06-6, 2007.
- Ciraolo G., Ferreri G. B. e La Loggia G. Influence of *Posidonia oceanica* meadow density on flow resistance in shallow waters. *Proc. of 2nd International Symposium on Shallow Flows*, Hong Kong, China, 8-12 December, 2008.
- Dean R. G. e Dalrymple R. A. *Water wave mechanics for engineers and scientists*. World Scientific, 1992.
- Koch E.W., Sanford L.P., Chen S., Shafer D.J. e McKee Smith J. *Waves in Seagrass Systems: Review and Technical Recommendations*. Rep. ERDC TR-06-15. Engineering Research and Development Center US Army Corps of Engineers, 2006.
- Lowe R.J., Koseff J.R. e Monismith S.G. Oscillatory flow through submerged canopies: 1. Velocity structure. *J. Geophys. Res.-Oceans*, 110 (C10), 2005.
- Mendez F.J e Losada I. J. An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields. *Coastal Engineering*, 51, 103-118, 2004.