

STUDIO SPERIMENTALE DELL'INTERAZIONE TRA VENTO E ONDE REGOLARI

Fabio Addona ¹, Luca Chiapponi ¹ & Sandro Longo ¹

(1) Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università di Parma

ASPETTI CHIAVE

- L'interazione tra onde lunghe e vento (sia contrario che a favore) è stata osservata sperimentalmente tramite la Stereoscopic Particle Image Velocimetry (Stereo-PIV)
- La velocità e gli stress sono decomposti in una componente media, una componente periodica (onda regolare), una componente da vento e una componente turbolenta
- I risultati mostrano alcune caratteristiche del moto: la tridimensionalità, l'attenuazione della componente periodica in presenza di vento e il maggior contributo del vento all'energia cinetica totale.

1 INTRODUZIONE

La superficie terrestre è ricoperta per più del 70% da oceani e mari, in cui è comune osservare la propagazione del moto ondoso e che determina scambi di massa, quantità di moto, energia (Semedo 2010). Generalmente, il moto ondoso deriva da una generazione locale dovuta al vento (onde di mare vivo), di forma irregolare, tridimensionali e variabili in altezza e periodo, o per effetto di onde che si propagano lontano dalla zona di generazione (onde di mare morto), che si presentano di forma sinusoidale, con periodo e altezza più stabili (Sullivan & McWilliams 2010). In questo contesto, le onde di mare morto interagiscono con venti che possono spirare in una qualsiasi direzione (Donelan et al. 1997).

Questo lavoro presenta uno studio sperimentale di onde generate meccanicamente (onde regolari) da una pala all'interno di un canale bidimensionale in presenza di vento. Numerose ricerche di laboratorio studiano l'interazione tra onde e vento in canali bidimensionali, dove vi è una direzione principale di propagazione dell'onda, considerando secondari gli effetti della tridimensionalità (Cheung & Street 1988, Thais & Magnaudet 1995, Buckley & Veron 2016). In questo lavoro, si utilizza la Stereoscopic Particle Image Velocimetry (Stereo-PIV) per osservare il campo di moto tridimensionale al di sotto della superficie libera (in acqua). Le velocità sono decomposte come somma di una componente media, una periodica, una di vento e una turbolenta tramite la Proper Orthogonal Decomposition (POD), una media temporale e una media di fase basata sul periodo dell'onda regolare. I risultati mostrano gli effetti della componente trasversale della velocità, che risultano trascurabili solo quando il vento è assente; in presenza di vento, la componente trasversale genera velocità e stress che risultano significativi e che sostengono la maggior parte degli stress in superficie sotto certe condizioni. Inoltre, i risultati confermano il modello di Hasselmann (Hasselmann 1971), illustrando come la presenza del vento determina una riduzione della componente periodica della velocità, a prescindere dalla direzione in cui spira il vento. Nel paragrafo 2 si espone l'attività sperimentale, mentre nel paragrafo 3 vengono riportati i principali risultati ottenuti.

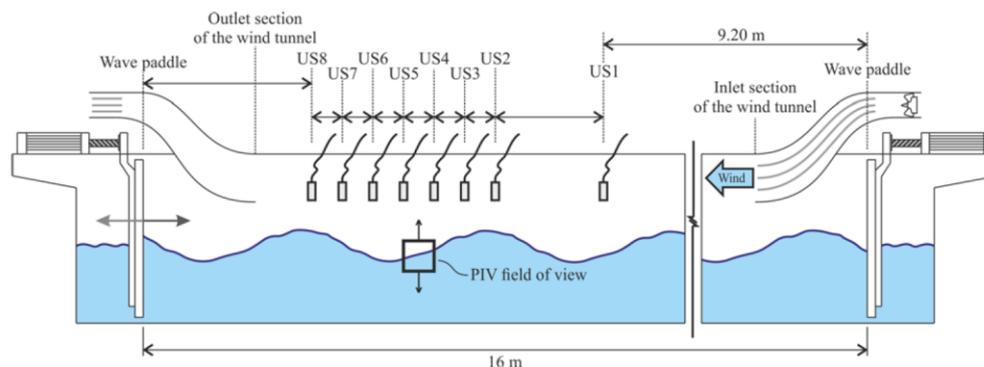


Figura 1. Schema dell'apparato sperimentale utilizzato

2 ESPERIMENTI

L'attività sperimentale è stata svolta nel Canale di Interazione Atmosfera-Oceano dell'IISTA (Istituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía), all'Universidad de Granada, in Spagna. L'apparato consiste in un canale di generazione del moto ondoso costituito da due pale meccaniche per la generazione e l'assorbimento di onde regolari e irregolari, da un tunnel del vento per la generazione dei flussi d'aria, da un generatore di corrente e da un generatore di pioggia. Il canale ha una lunghezza di 16 m, una larghezza di 1 m e un'altezza di circa 2 m (con una profondità d'acqua fissata a $h = 0,7$ m). Una descrizione dettagliata dell'apparato sperimentale si può trovare in *Addona et al. (2018)*.

La presente attività ha coinvolto due condizioni di moto: onda monocromatica (o regolare) in presenza di vento in direzione opposta (contrario) e nella stessa direzione di propagazione dell'onda regolare (a favore). Altre due condizioni (onde generate da solo vento e onda regolare in assenza di vento) sono state considerate solo per confronto. I parametri dell'onda monocromatica generata meccanicamente sono $H = 0.05$ m (altezza) e $T = 1.45$ s (periodo), mentre la velocità di attrito del vento u_{*a} è pari a 0,67 m/s per vento nella stessa direzione e a 0,78 m/s per vento contrario. I valori di u_{*a} sono stati calcolati attraverso la minimizzazione dello scarto quadratico, assumendo una distribuzione logaritmica di velocità in aria. In alcuni casi, come velocità scala è stata utilizzata la velocità di attrito in acqua u_{*w} (pari, rispettivamente, a 2,35 cm/s e 2,74 cm/s per vento contrario e per vento a favore), che è stata calcolata assumendo continuità degli sforzi all'interfaccia tra aria e acqua. La lunghezza dell'onda regolare risulta $L = 2,91$ m dalla relazione di dispersione lineare. Essendo $h = 0,7$ m, le onde sono in condizione di profondità intermedia.

Il pelo libero è stato misurato attraverso otto sonde a ultrasuoni. Due telecamere sono state utilizzate per la misura di velocità con tecnica Stereo-PIV, sincronizzate a un laser pulsato. Ogni misura deriva dalla correlazione di due immagini acquisite in sequenza, con una frequenza di acquisizione di 7.25 Hz per ogni coppia di immagini. Le velocità sono state misurate in un piano di area 140 x 140 mm², acquisendo all'incirca 1000 coppie di immagini per ogni test. Le componenti di velocità sono u , v e w , sono allineate rispettivamente agli assi x (orizzontale in direzione longitudinale), y (orizzontale in direzione trasversale) e z (verticale).

Uno schema dell'apparato sperimentale è riportato in Figura 1.

3 ANALISI DEI DATI E RISULTATI

Le velocità u , v e w sono state considerate come somma di quattro componenti:

$$u = \bar{u} + \tilde{u} + u_w + u', \quad (1)$$

dove \bar{u} è la componente media, \tilde{u} è la componente associata all'onda regolare, u_w è la componente associata all'azione del vento, e u' è la componente associata alla turbolenza.

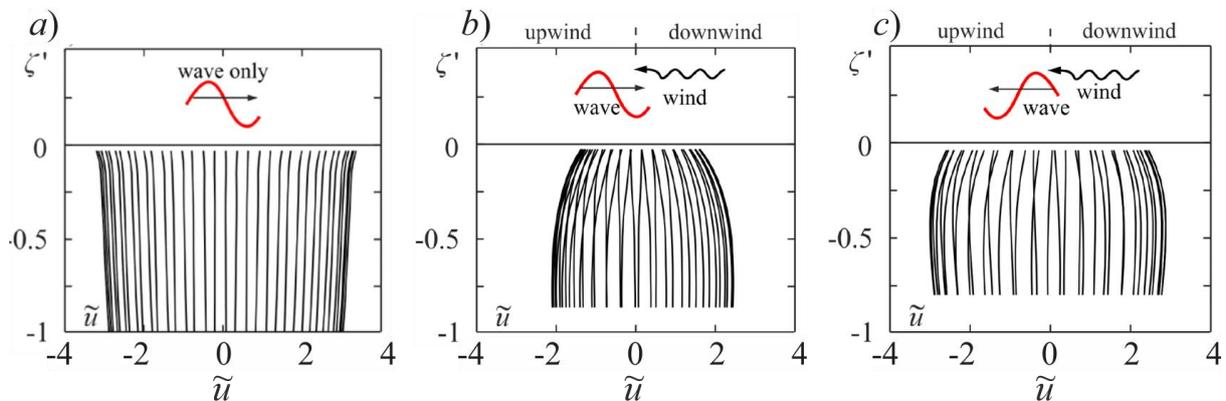


Figura 2. Distribuzione della velocità orizzontale \tilde{u} lungo la coordinata verticale $\zeta' = z/H$, per differenti condizioni: a) onda regolare senza vento, b) onda regolare con vento contrario e c) onda regolare con vento a favore. Si nota, in presenza di vento, una riduzione delle velocità in prossimità del pelo libero. Come velocità scala, è stata utilizzata $u_{sc} = H/T$.

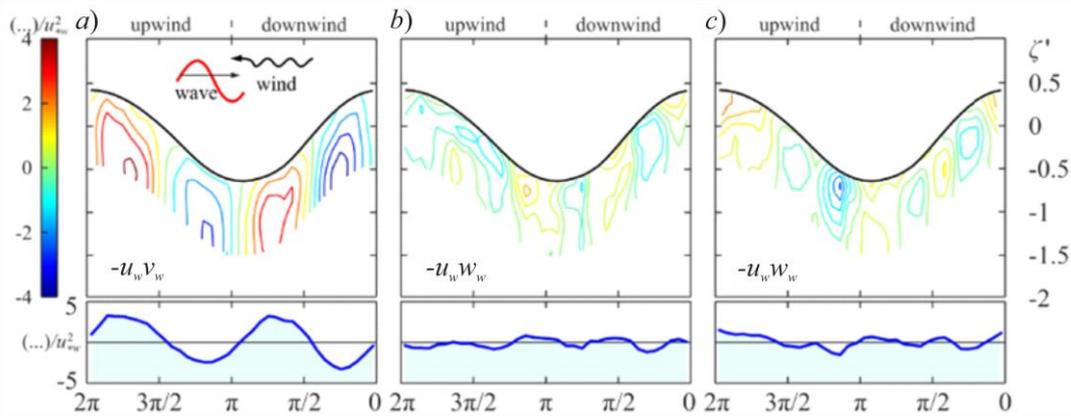


Figura 3. Distribuzione delle correlazioni di velocità da vento lungo la coordinata verticale ζ' , in funzione della fase dell'onda regolare: a) $-u_w v_w$, b) $-u_w w_w$, e c) $-v_w w_w$. Si mostra qui solo il caso di onda regolare con vento contrario. La velocità di attrito in acqua u_{*w} è stata utilizzata come velocità scala.

La componente media è stata calcolata da una media temporale di tutte le velocità misurate a una determinata quota (considerata come distanza dalla superficie libera). La componente turbolenta è stata separata tramite la POD, fissando al 10% l'energia dovuta alla turbolenza, seguendo la stessa procedura adottata in Clavero et al. (2016). La componente periodica è stata poi ottenuta applicando una media di fase (con periodo pari a $T = 1.45$ s) sul segnale di velocità, dopo aver rimosso la componente media e turbolenta:

$$\tilde{u} = \frac{1}{N_w} \sum_{n=0}^{N_w-1} u(t + nT), \quad (2)$$

dove N_w è il numero di onde regolari e $T = 1.45$ s è il periodo dell'onda regolare.

Figura 2 mostra le componenti periodiche della velocità \tilde{u} lungo la coordinata verticale $\zeta' = z/H$, in caso di onda senza vento (pannello a), onda con vento contrario (pannello b) e onda con vento a favore (pannello c). È evidente l'azione del vento che, a prescindere dalla direzione in cui spira, riduce la componente periodica della velocità in prossimità della superficie libera.

Figura 3 mostra le correlazioni tra le velocità da vento (che determinano gli stress) lungo ζ' , al variare della fase dell'onda regolare. Il pannello a), corrispondente alla correlazione tra le velocità orizzontali $-u_w v_w$, determina un'oscillazione di ampiezza significativamente maggiore rispetto a $-u_w w_w$ (pannello b) e a $-v_w w_w$ (pannello c) lungo la fase dell'onda regolare. Inoltre, il termine $-u_w v_w$ mostra una periodicità di circa $T/2$.

Come ultimo risultato, si considera l'energia cinetica come somma dei contributi delle singole componenti (periodiche, da vento, turbolente). Dai risultati, emerge che la componente dominante è quella da vento (quando il vento è presente), che sostiene per più del 50% l'energia cinetica totale in prossimità del pelo libero (circa 66% in caso di vento contrario, e circa 58% in caso di vento a favore).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Addona, F., Lira-Loarca, A.M., Chiapponi, L., Losada, M.A. & Longo, S. The Reynolds wave shear stress in partially reflected waves, *Coastal Engineering*, 2018, 183, 104310.
- Buckley, M.P. & Veron, F. Structure of the airflow above surface waves, *Journal of Physical Oceanography*, 2016, 46(5), 1377-1397.
- Cheung, T.K. & Street R.L. The turbulent layer in the water at an air-water interface, *Journal of Fluid Mechanics*, 1988, 194, 133-151.
- Clavero, M., Longo, S., Chiapponi, L. & Losada, M.A. 3D flow measurements in regular breaking waves past a fixed submerged bar on an impermeable plane slope, *Journal of Fluid Mechanics*, 2016, 802, 490-527.
- Donelan, M.A., Drennan, W.M. & Katsaros, K.B. The air-sea momentum flux in conditions of wind sea and swell, *Journal of Physical Oceanography*, 1997, 27(10), 2087-2099.
- Hasselmann, K. On the mass and momentum transfer between short gravity waves and larger-scale motions, *Journal of Fluid Mechanics*, 1971, 50(1), 189-205.
- Semedo, A. Atmosphere-ocean interactions in swell dominated wave fields, Hh.D. dissertation, University of Uppsala, 2010.
- Sullivan, P.P. & McWilliams, J.C. Dynamics of winds and currents coupled to surface waves, *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2010, 42, 19-42.
- Thais, L. & Magnaudet, J. A triple decomposition of the fluctuating motion below laboratory wind water waves, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1995, 100(C1), 741-755.

