

STUDIO SPERIMENTALE SULL'EFFICIENZA DI CONVERTITORI DI ENERGIA ONDOSA DEL TIPO A COLONNA D'ACQUA OSCILLANTE

Ilaria Crema ¹, Lorenzo Cappiotti ²

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze;

ASPETTI CHIAVE

- Sono stati studiati dispositivi per la conversione dell'energia del moto ondoso del tipo a colonna d'acqua oscillante (OWC)
- È stato condotto uno studio sperimentale su modelli fisici a piccola scala
- È stata misurata l'efficienza pneumatica al variare dei principali parametri progettuali dell'OWC

1 PREMESSA

Nella prima fase di sviluppo dei dispositivi a colonna d'acqua oscillante detti OWC, *Oscillating Water Column* (Falcao, 2013), vengono normalmente impiegati modelli teorici o numerici basati sulla teoria lineare delle onde al fine di una preliminare valutazione delle prestazioni ed ottimizzazione della geometria del convertitore (Gomes et al., 2012). Sebbene con tali strumenti sia possibile ottenere dati e informazioni importanti, a costi contenuti e in modo relativamente veloce, questi non permettono di rappresentare fedelmente effetti rilevanti come per esempio le interazioni non lineari e multiscala. Lo studio dei suddetti effetti è normalmente affidato alla modellazione fisica, solitamente condotta utilizzando rapporti di scala, che possono variare tra 1:100, nel caso di installazioni sperimentali relativamente piccole, e 1:10 o più, in installazioni grandi dimensioni. Sebbene anche la modellistica fisica abbia i suoi noti limiti legati ad effetti di scala ed effetti di laboratorio, se condotta con le necessarie attenzioni costituisce uno strumento insostituibile per valutare le prestazioni di un dispositivo OWC in condizioni controllate e ripetibili (Pryne, 2008).

Il presente lavoro sintetizza parte di una più ampia attività di ricerca finalizzata all'integrazione di dispositivi OWC in *Very Large Floating Structures* (VLFS-OWC). In particolare, sono riportati alcuni risultati dell'indagine sperimentale inerente allo studio delle prestazioni del solo dispositivo OWC distaccato dal fondale, ma rigidamente vincolato.

2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELL'OWC

Per stabilire preliminarmente le caratteristiche geometriche, di massima, del dispositivo OWC, ha giocato un ruolo fondamentale l'individuazione di un ipotetico sito di installazione per l'intero Sistema VLFS-OWC. Il sito, è stato selezionato a partire da un precedente studio che tiene conto sia della caratterizzazione energetica del Mediterraneo che di problematiche non tecniche (Vannucchi et al., 2013). Tale sito è stato localizzato in un'area marina antistante le coste della Toscana, a sud di Livorno. Nel sito di riferimento il valore medio della potenza del moto ondoso è di circa 4 kW/m. In questo contesto, l'onda di progetto per sviluppare la geometria ottimale dell'OWC ha un'altezza di 2 m e un periodo di 7 s perché risulta essere quella che contribuisce maggiormente all'apporto energetico medio annuo. Lo stato di mare associato al sito in esame, la revisione dello stato dell'arte inerente alle tecnologie per la realizzazione di strutture galleggianti e una preliminare valutazione delle necessità tecniche per la costruzione e la messa in opera, sono stati presi in considerazione per scegliere la geometria e i materiali costituenti il dispositivo. In particolare, l'OWC oggetto di studio è proposto come un cassone cellulare prefabbricato in cemento armato con sezione rettangolare.

3 METODOLOGIA SPERIMENTALE

Lo studio sperimentale è stato condotto nel canale per onde e correnti del Laboratorio di Ingegneria Marittima – LABIMA (www.labima.unifi.it) del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Firenze. Il modello fisico è stato realizzato in similitudine di Froude, adottando un rapporto

di scala geometrica pari a 1:50. Lo schema dell'apparecchiatura sperimentale e una foto di uno dei modelli testati è riportata in figura 1.

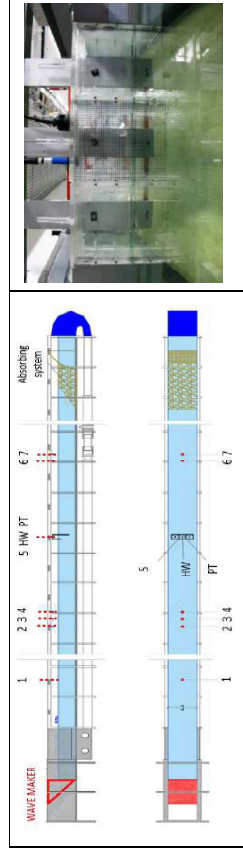


Figura 1. Posizione del modello di OWC e della strumentazione nel canale. A sinistra una fotografia di uno dei modelli testati

Il modello di OWC, composto da tre camere affiancate, realizzato in plexiglass, ed è stato posizionato ad una distanza di 22 m dal generatore di moto ondoso. Solo l'OWC centrale è stato strumentato con: (i) una sonda di livello ad ultrasuoni, per la misura delle oscillazioni della colonna d'acqua con precisione di ± 1 mm; (ii) un trasduttore di pressione per la misura delle pressioni interne alla camera con precisione di $\pm 0,1$ bar; e (iii) un anemometro a filo caldo, installato nel condotto collegato all'orifizio sulla parete superiore dell'OWC, per misurare la velocità d'aria entrante e uscente dall'OWC con precisione di ± 1 cm/s (Figura 1).

L'ottimizzazione delle dimensioni dell'OWC che fornisce la maggior efficienza pneumatica è stata condotta per mezzo di uno studio parametrico, mantenendo fissi quei parametri progettuali scelti sulla base di altri obiettivi (massime dimensioni realizzabili, limitare l'overtopping sulla VLFS, garantire un franco di sicurezza rispetto al fondale per la VLFS, ecc. ...) e variando quelli che hanno effetti rilevanti sulle prestazioni dell'OWC (Tabella 1).

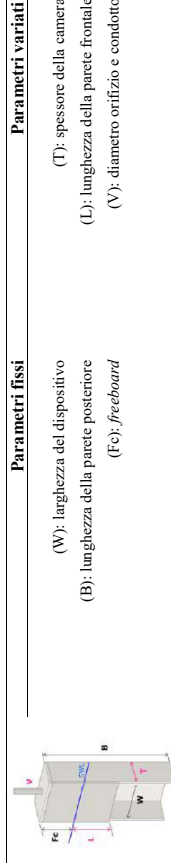


Tabella 1. Parametri progettuali del dispositivo OWC testato. La perdita di carico di pressione, dovuta alla presenza della turbina, è stata simulata riproducendo, sulla sommità del dispositivo, orifici di differente diametro (V).

TIPOLOGIA D'ONDA	CODICE	H [m]	T [s]
Regolare	H01	2	6,0
Regolare	H02	2	7,0
Regolare	H03	2	10,0
Irregolare	H1	1	6,5
Irregolare	H2	1	7,0
Irregolare	H3	2	7,0
Irregolare	H4	2	8,0
Irregolare	H5	3	8,0

Tabella 2. Parametri caratteristici delle onde target selezionate (dati riferiti alla scala del prototipo).

In particolare i parametri che sono stati variati hanno influenza su vari fenomeni caratteristici del sistema fisico in esame come per esempio: la frequenza di risonanza (Evans, 1978), il comportamento del volume d'aria (Lovas, 2010) e il periodo di oscillazione della colonna d'acqua nella camera (Sheng, 2012). In totale, sono state riprodotte e testate 36 differenti configurazioni, ciascuna studiata sotto otto differenti stati di mare, selezionati come rappresentativi del sito di installazione ipotizzato (Tabella 2).

4 RISULTATI

L'efficienza del dispositivo è stata calcolata attraverso la misura delle serie temporali delle onde incidenti, $\eta_{inc}(t)$, delle oscillazioni interne all'OWC, $\eta_{owc}(t)$, della velocità dell'aria al centro del condotto, $U_{int}(t)$ e della pressione dell'aria interna, $p(t)$ (Figura 2).

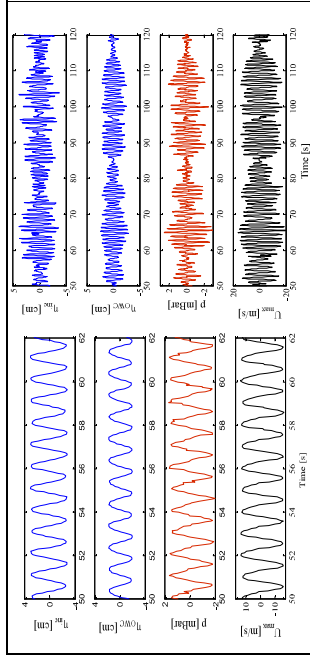


Figura 2. Esempio di misure delle serie temporali delle onde incidenti regolari (a sinistra) e irregolari (a destra), $\eta_{inc}(t)$, delle oscillazioni interne all'OWC, $\eta_{owc}(t)$, della velocità dell'aria al centro del condotto, $U_{int}(t)$ e della pressione dell'aria interna, $p(t)$.

In prima analisi è stata determinata la potenza incidente sul dispositivo, mediata nel tempo e per unità di larghezza [W/m], sia per le onde regolari che per quelle irregolari, attraverso le equazioni (1) e (2):

$$\overline{P_{w,reg}} = \frac{1}{16} \rho g H^2 \frac{\omega}{k} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right) \quad (1)$$

$$\overline{P_{w,irr}} = \rho g \sum_i \epsilon_{g,i} S_i N_i \quad (2)$$

dove, ρ è la densità dell'acqua, H l'altezza d'onda regolare misurata in assenza del dispositivo sul punto dove poi è stato installato, ω la frequenza dell'onda, k il numero d'onda, S la densità spettrale alla frequenza i -esima, Δf l'ampiezza dell'intervallo di frequenza e $\epsilon_{g,i}$ la velocità di gruppo per ciascuna componente spettrale i , ottenuta dalla relazione di dispersione per la specifica profondità h (eq.3).

$$c_{g,i} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2k_i d}{\sinh(2k_i d)} \right) \frac{g}{\omega_i} \tanh(k_i h) \quad (3)$$

Successivamente, è stata calcolata la potenza pneumatica [W], media sulla durata delle prove, $\overline{P_{test}}$, integrando il prodotto tra le misure di pressione interne all'OWC, $p(t)$ e le portate d'aria acquisite nel centro del condotto, $Q(t)$, sulla durata delle prove, T_{test} (eq.4) (Sarmiento, 1993).

$$\overline{P_{abs}} = \frac{1}{T_{test}} \int_0^{T_{test}} Q(t)p(t)dt \quad (4)$$

Dove la portata Q , è stata ottenuta a partire dalla misura puntuale di velocità e ipotizzando un profilo di velocità di tipo teorico inerente allo specifico regime di moto. Infine, l'efficienza di conversione del dispositivo espressa in termini di *Capture Width* (CW) [m] è stata misurata come in eq.5:

$$CW = \frac{\overline{P_{abs}}}{\overline{P_w}} \quad (5)$$

dove, $\overline{P_w}$, rispettivamente è espressa come $\overline{P_{w,reg}}$ per le onde regolari e $\overline{P_{w,irr}}$ per le onde irregolari

Nella Tabella 3 sono riportati, a titolo d'esempio, alcuni risultati ottenuti per la stima dell'efficienza di

conversione del dispositivo espressa in termini di *Capture Width* (CW) in scala del prototipo su quattro differenti configurazioni di OWC testate.

CODICE D'ONDA	CAPTURE WIDTH [m]			
	T1L2V2	T1L2V3	T2L1V2	T2L1V3
H02	1.5	3	6.5	7.3
H2	3.4	6.6	14.0	13.1

Tabella 2. *Capture Width* misurata per quattro differenti geometrie di OWC, caratterizzate dalla stessa larghezza del dispositivo ($W=10m$), da due differenti spessori della camera (T1 e T2) e differenti lunghezze della parete frontale (L1 e L2) e diametri dell'orifizio (V2 e V3).

5 CONCLUSIONI

La misura sperimentale della *Capture Width* degli OWC testati raggiunge un massimo di 7.3 m per le onde regolari e di 14.0 m per le onde irregolari analizzate. In entrambi i casi è stato possibile evidenziare una forte dipendenza delle prestazioni del dispositivo, dalla frequenza dell'onda incidente nonché dalle caratteristiche geometriche dello stesso. Inoltre, l'effetto della perdita di pressione dovuta alla turbina risulta essere molto rilevante, in quanto influente, sia la risposta in frequenza del sistema, che l'efficienza complessiva di conversione. Tale risultato quindi conferma l'importanza di ottimizzare la geometria del dispositivo contestualmente alla specifica turbina e ai moti ondosi del sito di installazione.

6 RINGRAZIAMENTI

Il lavoro è parte integrante del progetto di dottorato di ricerca del primo autore e ha beneficiato di contributi dai progetti: NEMO (Numerical and Experimental Methods for harvesting the Offshore renewable energies) Università di Firenze e EU-FP7 MARINET (Marine Renewables Infrastructure Network) coordinati da L. Cappiotti.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Evans D., The Oscillating Water Column Wave-energy Device, J. Inst. Maths Applies, 423-433, 1978.
 Falcao, A.F. de O. - "Modeling of Wave Energy Conversion." internal report of the Wave Energy Specialization Section of the EUREC Master, February-May, IST Lisbon (2013).
 Gomes R.P.F., Henriques J.C.C., Gato L.M.C., Falcao A.F. de O. - "Hydrodynamic optimization of an axisymmetric floating oscillating water column for wave energy conversion." (2012).
 Lovas S., Theoretical modeling of two wave-power devices. Master Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering MIT, 2010.
 Payne, G., "Guidance for the experimental tank testing of wave energy converters" University of Edinburgh Version: 01. (2008).
 Sarmiento A., Model-Test Optimization of an OWC Wave Power Plant, International Journal of Offshore and Polar Engineering, pp. 62-62, 1993.
 Sheng W., Lewis L., Alcorn R., On wave energy extraction of oscillating water column devices. ICOE, Dublin 2012.
 Yamuchi V., Cappiotti L., Wave Energy Estimation In Four Italian Nearshore Areas, Proceedings of the ASME 2013, 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013 June 9-14, Nantes, France, 2013.