

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE ENERGETICO DEL MOTO ONDOSO NEL MAR MEDITERRANEO

Dario Pelli¹, Lorenzo Cappelletti¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli studi di Firenze

ASPETTI CHIAVE

- Valutazione del potenziale energetico del moto ondoso nel Mar Mediterraneo sulla base della ricostruzione storica delle onde generate da vento attenuata con il modello numerico WWIII
- Il modello numerico è stato validato con misure ondometriche
- Si evidenziano due aree del Mediterraneo a maggior energia media annua, una occidentale e una orientale. L'area orientale, pur avendo energia inferiore, ha il vantaggio di una minore variabilità temporale

1 INTRODUZIONE

I problemi legati ai cambiamenti climatici ed al riscaldamento globale hanno fatto sì che il mondo della ricerca, sia pubblico che privato, sta investendo i suoi sforzi verso lo sfruttamento di fonti di energia “pulite” e rinnovabili. Mentre lo sfruttamento delle fonti rinnovabili come l’energia idroelettrica, eolica e solare ha raggiunto livelli notevoli nei paesi più sviluppati, quello dell’energia del moto ondoso si trova ancora in una fase sperimentale. Il fatto che, per questa fonte, il potenziale energetico a livello mondiale sia stato stimato in 32.000 TWh per anno (Mark *et al.*, 2010) in confronto ad un fabbisogno pari a 19.710 TWh (dato del 2012, fonte US Energy Information Administration) rappresenta uno stimolo alla ricerca inerente al suo sfruttamento. La progettazione di convertitori di energia da moto ondoso (detti WEC – *Wave Energy Converters*) necessita di studi per la caratterizzazione spaziale e temporale del potenziale energetico dei mari. I primi lavori di questo tipo sono stati svolti principalmente in riferimento agli oceani, specialmente in Atlantico (si veda per esempio Arning e Cheng, 2012; Iglesias *et al.*, 2009; Rusu e Giuesea Soare, 2009), dove si raggiungono valori medi di potenza maggiori rispetto a mari a *fjord* limitato come il Mediterraneo. Più recentemente l’interesse della ricerca si è concentrato anche sul Mar Mediterraneo (Ilicanza *et al.*, 2011; Liberti *et al.*, 2013; Besò *et al.*, 2016) dove sono in conduzione anche ricerche con prototipi già installati in campo (Arena *et al.*, 2015; Comestabile *et al.*, 2016).

Con questo lavoro intendiamo fornire un contributo alla valutazione del potenziale energetico del moto ondoso nel Mar Mediterraneo.

2 DESCRIZIONE E VALIDAZIONE DEL MODELLO NUMERICO

WAVEWATCH III (WWIII) è un modello numerico spettrale di terza generazione per la ricostruzione del moto ondoso formato dai venti. Il codice è stato sviluppato presso i National Centers for Environmental Prediction (NCEP - NOAA).

Nel presente lavoro, il modello è stato forzato con dati di vento avariati risoluzione spaziale di 52 km e temporale di 3 ore, pubblicamente scaricabili dal sito statunitense “nomads.noaa.gov”. La griglia di calcolo di WWIII è stata fissata a 0.05° sia in latitudine che in longitudine, corrispondenti nel Mediterraneo a circa 5 km. Il modello è stato compilato usando la formulazione elaborata da Ardhuan *et al.* (2010) per la generazione e dissipazione del moto ondoso, che è risultata la più adatta a simulare eventi di tempesta nel Mar Mediterraneo. La validazione del modello è stata fatta comparando i valori di altezza significativa (H_{sig}) simulati e misurati dalle boe ondometriche nelle stazioni di Gorgona, La Spezia e Ancona (Figura 1). Per un ulteriore approfondimento sulla calibrazione del modello si veda Pelli *et al.* (2015).

Comparazione tra H_{sig} simulata e misurata

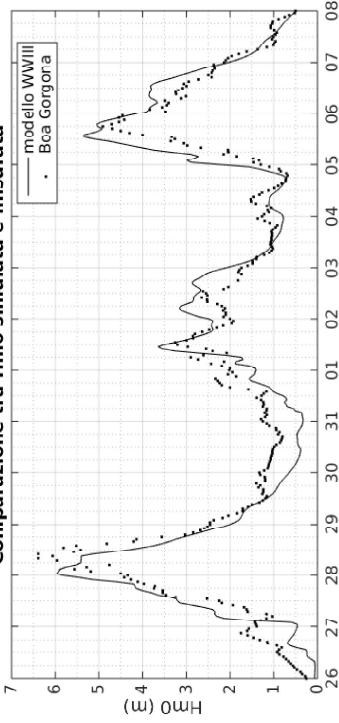


Figura 1. Comparazione delle serie temporali di altezza significativa (H_{sig}) simulata da WWIII e misurata dalla boa ondometrica di Gorgona nel periodo Ottobre – Novembre 2012

Al fine di quantificare la differenza tra valori simulati e misurati sono stati calcolati degli indici statistici sulla base dei dati inerenti a tre tempeste significative occorse nel 2012 e 2013. I risultati degli indici di bias, bias normalizzato (NBI), errore quadratico medio normalizzato (NRMSE) ed errore quadratico medio normalizzato (HH) come proposto da Hanna & Heinoold (1985) sono riassunti in tabella 1.

Evento	Bias [m]	NBI	NRMSE	HH
Ottobre – Novembre 2012	-0.06	-0.037	0.270	0.267
Dicembre 2012	-0.18	-0.123	0.268	0.283
Märzo 2013	-0.13	-0.100	0.241	0.250

Tabella 1. Riassunto degli indici statistici usati per la comparazione dei valori di H_{sig} simulati e misurati.

3 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE ENERGETICO

Il potenziale energetico medio annuo è stato valutato sulla base della ricostruzione del moto ondoso nel periodo 1 agosto 2011 al 31 luglio 2014. Il flusso di energia è stato calcolato secondo l’equazione (1):

$$P = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} E(f, \theta) C_g(f, \theta) d\theta \quad [\text{KW/m}] \quad (1)$$

dove $E(f, \theta)$ rappresenta l’energia dello spettro direzionale, f è la frequenza e θ la direzione del moto ondoso. In Figura 2 è mostrato il flusso di energia medio annuo (P) calcolato come in equazione (2):

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_I P_I / N \quad (2)$$

dove N è il numero totale di eventi e P_I sono i flussi di energia calcolati dal modello con frequenza oraria. I maggiori valori di potenza media annua risultano nel Mediterraneo occidentale, soprattutto nella zona di mare compresa tra le isole di Corsica, Sardegna, Baleari e costa nordafricana, dove si possono raggiungere i 18 kW/m. Nel Mediterraneo orientale si registrano valori generalmente più bassi, pari a circa 10 kW/m nella parte est del Mar Ionio e ad est di Creta. Il Mare Adriatico è caratterizzato da valori medi annui inferiori ai 3 kW/m.

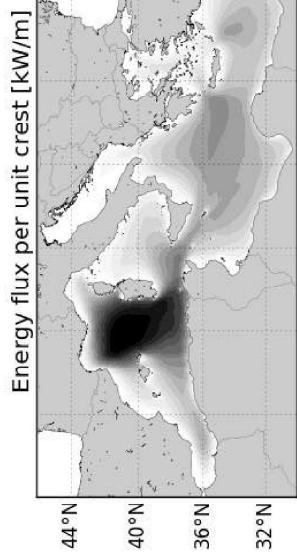


Figura 2. Distribuzione del flusso di energia medio anno, calcolato nel periodo 1 Agosto 2011 – 31 Luglio 2014

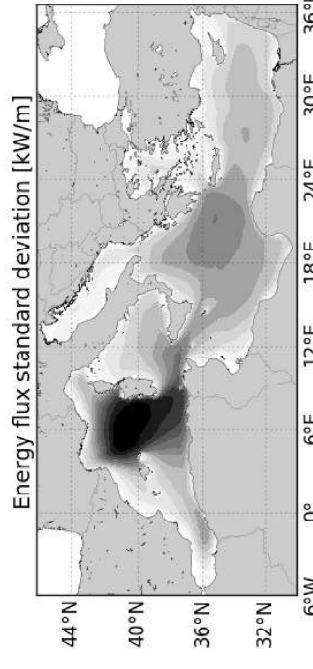


Figura 3. Distribuzione della deviazione standard associata al flusso di energia medio anno nel periodo 1 Agosto 2011 – 31 Luglio 2014

In Figura 3 viene mostrata la deviazione standard (σ), calcolata in ogni nodo della griglia di calcolo secondo l'equazione (3):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i - \mu)^2}{N}} \quad (3)$$

I più alti valori di σ sono relativi alle zone dove si evidenziano anche le massime potenze medie. L'alta varianzialità temporale può penalizzare questi siti poiché si complica l'ottimizzazione dei WEC in termini di massimizzazione di efficienza e resistenza ad elevati carichi strutturali. A questo proposito si evidenzia che alcune aree marine nel Canale di Sicilia e intorno alla Grecia sono caratterizzate da potenza media pari a 10 kW/m e valori relativamente bassi di deviazione standard.

4 CONCLUSIONI

I principali risultati del presente lavoro possono essere riassunti come segue:

- i valori massimi di potenza media annua vengono osservati nel Mare di Sardegna, dove si raggiungono i 18 kW/m. In quest'area si osserva però una elevata variabilità della risorsa;
- il Canale di Sicilia e la zona del Peloponneso mostrano valori di potenza intorno a 10 kW/m e variabilità relativamente bassa, due condizioni che potrebbero favorire il suo sfruttamento.

5 RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Servizio Mareografico “Rete Ondametrica Nazionale” dell’ISPRRA ed il “Servizio Idrografico Regionale” della Regione Toscana per aver fornito dei dati ondometrici. Questo lavoro è stato supportato dal DICEA – Università degli Studi di Firenze che ha finanziato il progetto NEMO (Numerical and Experimental Methods for harvesting the Offshore renewable energies) e dal progetto EU-FP7 MARINET (Marine Renewables Infrastructure Network) coordinato da L. Cappietti. Il lavoro è parte integrante del progetto di dottorato di ricerca del primo autore.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Ardhuin, F., Rogers, W.E., Babanin, A.V., Filippot, J.-F., Magne, R., Roland, A., van der Westhuysen, A., Queffélecou, P., Lefeuvre, J.-M., Aouf, L. & Collard, F. Semienirical Dissipation Source Functions for Ocean Waves. Part I: Definition, Calibration, and Validation. *Journal of Physical Oceanography*, 2010, 40(9), pp.1917–1941.
- Arena, F., Malarca, G. & Romolo, A. A U-OWC wave energy converter in the Mediterranean Sea: Preliminary results on the monitoring system of the first prototype. *Renewable Energies Offshore*, ed. Guedes Soares, Taylor and Francis Group, 2015, pp. 417–421.
- Arinaga, R.A. & Cheung, K.F. Atlas of global wave energy from 10 years of reanalysis and hindcast data. *Renewable Energy*, 2012, 39(1), pp.49–64.
- Besio, G., Menasci, L. & Massino, A. Wave energy resource assessment in the Mediterranean Sea on the basis of a 35-year hindcast. *Energy*, 2016, 94, pp.50–63.
- Contestabile, C., Ferrante, V., Di Lauro, E. & Vicinanza, D. Overtopping breakwater for wave energy conversion at Naples harbor. XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bologna, 2016.
- Hanna, S.R. & Henold, D.W. Development and application of a simple method for evaluating air quality. Washington, USA, 1985.
- Iglesias, G., López, M., Carballo, R., Castro, A., Fraguada, J.A., Frigand, P. Wave energy potential in Galicia (NW Spain). *Renewable Energy*, 2009, 34(11), pp.2323–2333.
- Liberati, L., Carillo, A. & Sammone, G. Wave energy resource assessment in the Mediterranean, the Italian perspective. *Renewable Energy*, 2013, 50, pp.938–949.
- Mork, G., Barstov, S., Kaboth, A. & Pontes, M.T. Assessing the global wave energy potential. In ASME, ed. Proceedings of the 29th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Shanghai, China, 2010, pp.447–454.
- Pelli, D., Cappietti, L. & Oumeraci, H. Wave modeling in the Western Mediterranean Sea with WWWW. In Proceeding of the Twelfth International Conference on Mediterranean Coastal Environment. Varna, Bulgaria, 2015, pp. 757–768.
- Russo, E. & Guedes Soares, C. Numerical modelling to estimate the spatial distribution of the wave energy in the Portuguese nearshore. *Renewable Energy*, 2009, 34(6), pp.1501–1516.
- Tolman, H.L. User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 5.08, 2015
- Vicinanza, D., Cappietti, L., Ferrante, V. & Contesabile, P. Estimation of the wave energy in the Italian offshore. *Journal of Coastal Research*, 2011, 64, pp.613–617.