

## **Modello di *hindcast* del moto ondoso negli ultimi 10 anni: studio statistico, probabilistico e stocastico applicato al Mar Ligure**

**Ludovica Sartini**

DICCA: Dipartimento di Ingegneria Chimica, Civile ed Ambientale, Università di Genova  
Email: ludovica.sartini@dicca.unige.it

All'interno del progetto di Ricerca "Studio e implementazione di modellistica operativa previsionale del moto ondoso nel Mar Ligure" è stato realizzato un database di *wave hindcasting* ottenuto attraverso 10 anni di simulazione del moto ondoso (2000-2010) riprodotto mediante una catena modellistica implementata e ottimizzata presso il DICCA, composta dal modello di generazione del moto ondoso dai dati di vento WaveWatchIII (WWIII) forzato dal modello meteorologico Weather Research and Forecasting (WRF).

Il modello è integrato su una griglia estesa sul Mediterraneo a risoluzione 10 km consentendo la simulazione del moto ondoso su 30 "punti boa virtuali" dislocati su tutto il Mar Ligure in maniera tale da consentire la valutazione del moto ondoso nell'area in esame sia in funzione della tipologia di forzanti meteorologiche che insistono sulla zona, sia tenendo conto dell'effetto della conformazione morfologica della costa.

Il lavoro proposto si propone l'obiettivo di I) fornire un rapido strumento per l'analisi statistica del moto ondoso sia su scala temporale che spaziale; II) effettuare un'analisi stagionale e climatologica dei principali parametri del moto ondoso per i diversi punti in esame; III) produrre un'analisi degli eventi estremi completa e rappresentativa dell'area.

In particolare, si è valutato di focalizzare l'attenzione sulla variabilità dei principali parametri del moto ondoso in funzione della *stagione tipo*, ottenuta raggruppando le quattro stagioni principali nel corso dell'intera serie temporale, in previsione di un'analisi climatologica più completa ed esaustiva previa estensione della serie temporale a 40 anni.

Per ogni punto in esame è stata infatti valutata la funzione di densità di probabilità stagionale relativa ai parametri del moto ondoso quali altezza d'onda significativa, periodo medio, periodo di picco e dispersione direzionale in funzione della direzione media e della direzione di picco; tali distribuzioni consentono di avere una panoramica generale della frequenza e direzione di provenienza degli eventi maggiori sia in funzione della direzione media degli eventi sia fornendo un quadro immediato dell'assetto energetico del moto ondoso.

Tenendo conto dell'irregolarità del moto ondoso, è stata applicata la statistica di Rayleigh ai periodi d'onda medi ed alle altezze d'onda significative (Longuet-Higgins, 1990); l'analisi delle funzioni di densità di probabilità di Rayleigh e delle corrispettive funzioni di ripartizione consente infatti la valutazione statistica delle classi in relazione all'intera distribuzione.

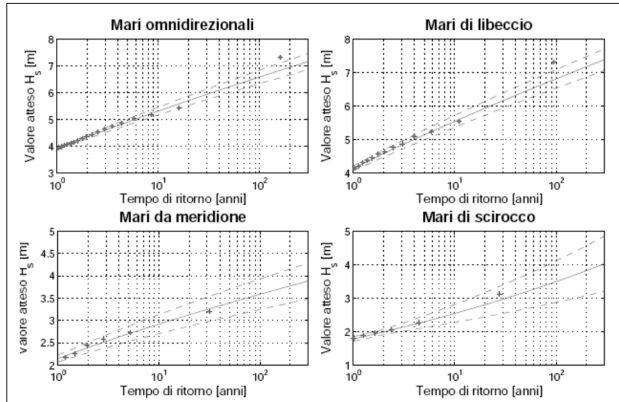
La distribuzione congiunta tra le altezze d'onda significative e i periodi di picco è stata valutata analizzando le distribuzioni dei quantili dei parametri, e valutandone inoltre il grado di discostamento congiunto rispetto ai quantili teorici di una distribuzione normale.

Il quadro ottenuto ha consentito di sviluppare un'analisi degli eventi estremi per tutti i punti simulati sviluppando un metodo per i mari direzionali, definiti individuando tre direzioni di attacco del moto ondoso, implementato *ad hoc* sulla base dei risultati ottenuti durante l'analisi dei mari omnidirezionali.

Il metodo Peak-Over-Threshold (P.O.T.) proposto da Goda (Goda, 1988) è stato ritenuto il più indicato in funzione della tipologia dei dati a disposizione.

Particolare attenzione è stata spesa nella scelta del campione nella popolazione di altezze d'onda significative ottimale, in grado di garantire i criteri di omogeneità ed indipendenza stocastica necessari all'individuazione della *parent distribution* ed alla definizione dei corretti parametri per la stima dell'onda di progetto in funzione dei tempi di ritorno, con livello di confidenza del 95% (Goda and Onozawa, 1990; Petruaskas and Aagaard, 1971).

Per ogni settore direzionale considerato è stato inoltre ricavato il periodo di picco dell'onda attesa mediante regressione lineare per la legge di potenza.



**Figura 1 - Analisi degli eventi estremi per i mari omnidirezionali e direzionali (Goda, 1988): applicazione al “punto boa virtuale” La Spezia. In ascissa: tempo di ritorno (anni); in ordinata: altezza d’onda attesa (m).**

Una sintesi della statistica degli eventi estremi per il punto boa virtuale “La Spezia”, di particolare interesse ingegneristico, è riportata in figura 1.

Analisi più dettagliate di carattere stagionale e climatico sono oggetto di pubblicazione.

Il presente lavoro è da considerare parte integrante di un contesto più ampio, avente come oggetto l’ottimizzazione della modellistica numerica per la simulazione del moto ondoso; in questo contesto l’analisi statistica dei dati di *wave hindcasting* assume un ruolo di fondamentale importanza in quanto oltre a fornire un’immediata visione dell’importanza della ricostruzione del clima meteo-marino per fini climatologici ed ingegneristici evidenzia l’importanza di possedere dati prodotti da un modello validato (Mentaschi et al., 2013) tali da consentire un’esaustiva e rigorosa caratterizzazione del moto ondoso.

## Bibliografia

- Y. Goda. Random Seas and Design of Maritime Structures. World Scientific, 1988.
- Y. Goda and M. Onozawa, 1990. Characteristics of the fisher-tippett type II distribution and their confidence intervals. Proc. Japan Soc. Civil Engng, 417(II-13): 289–292.
- M.S. Longuet-Higgins, 1980. On the distribution of the heights of sea waves: Some effects of nonlinearity and finite band width. Journal of Geophysical Research: Oceans, 85(C3): 1519–1523.
- Mentaschi L., Besio G., Cassola F. & Mazzino A., 2013. Developing and validating a forecast/hindcast system for the Mediterranean Sea. Journal of Coastal Research, 1551-1556.
- C. Petruaskas and P.M. Aagaard, 1971. Extrapolation of historical storm data for estimating design wave heights. J. Soc. Petroleum Engrg., 11: 23–27.
- G.Ph. Van Vledder and L.H. Holthuijsen, 1993. The directional response of ocean waves to turning winds. Journal of Physical Oceanography, 24(2): 177–192.