

Carichi d'onda agenti su una turbina eolica off-shore. Analisi numeriche e sperimentali

Maria Letizia Pecora

DICEA, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale - Università degli Studi di Firenze
Via di Santa Marta n.3 – 50139 Firenze
Maria.Letizia.Pecora@dicea.unifi.it

La produzione di energia rinnovabile è in forte espansione a livello mondiale e in accordo con le linee programmatiche della Commissione Europea (SET-PLAN e EWI), lo sfruttamento del vento e del mare sta dimostrando di poter dare un contributo significativo alla produzione energetica. In questo contesto rientra a pieno titolo il presente lavoro che concentra l'attenzione sull'energia del mare proveniente da fonte eolica, studiando il comportamento strutturale di turbine eoliche off-shore soggette all'azione contemporanea di carichi aerodinamici e idrodinamici altamente variabili. Una corretta determinazione dell'interazione onde-vento-rotore e degli effetti delle forze d'impatto e del run-up causate dalle onde che si infrangono sulla struttura sono fondamentali per una progettazione sicura delle strutture di fondazione (Chellaa *et al.*, 2012; Oumeraci *et al.*, 2005).

Allo stato attuale, parchi eolici off-shore stanno avendo un considerevole sviluppo, basti pensare che agli inizi del 2014 si contavano nel mondo ben 2688 turbine eoliche ripartite in 74 parchi distribuiti per lo più nel Nord Europa su fondali medio bassi dove la maggior parte delle strutture di supporto, circa il 70%, è di tipo "monopalo" (LORC, 2010).

A tal proposito, l'obiettivo della ricerca è quello di caratterizzare gli effetti dei carichi d'onda agenti su una turbina eolica off-shore con struttura di supporto monopalo mediante lo sviluppo di modelli numerici e sperimentali per la valutazione dell'interazione dinamica onde-struttura in acque intermedio-basse (20 -30m).

Le prove sperimentali in scala vengono eseguite nel canale per la generazione di onde e correnti del DICeA-UNIFI (www.labima.unifi.it); la scala utilizzata è 1:60 ed è applicata in accordo alla Legge di Froude.

Il modello di riferimento è la torre "NREL - 5 MW Off-shore Baseline wind turbine" su monopalo alla profondità dell'acqua di 20 m. A partire dalle proprietà della struttura è stato realizzato un modello numerico per valutarne il comportamento dinamico in vera grandezza.

Nelle prove sperimentali il modello è stato progettato in modo da avere una similitudine con il prototipo. Per una corretta caratterizzazione dell'interazione onde-struttura, sono stati realizzati due diversi modelli in scala: il primo è un cilindro rigido, il secondo è un cilindro elastico per tener conto del comportamento dinamico. In entrambi i casi, le proprietà dimensionali del cilindro e il materiale vengono mantenute invariate. La condizione per la quale il modello elastico si differenzia da quello rigido è legata alla distribuzione di massa che svolge un ruolo importante nel riprodurre le frequenze naturali di vibrazione: sono infatti aggiunte due masse concentrate in modo da ottenere le prime due frequenze naturali del modello sperimentale uguali a quelle del prototipo opportunamente scalate. Infatti, riproducendo semplicemente la geometria del palo con il diametro opportunamente scalato, è stato possibile agire sulla scelta del materiale e al contempo sulla disposizione di due masse concentrate così da scalare la rigidezza della struttura globale e da riprodurre le prime due frequenze naturali della turbina eolica NREL 5MW installata su un monopalo di 6 m di diametro per una profondità del fondale di 20 e 30 m. In tal modo il rapporto tra le frequenze d'onda e le frequenze naturali della struttura è corretto e l'eccitazione dinamica è preservata (Bredmose *et al.*, 2013).

Il progetto dei due modelli in scala per le prove sperimentali nel canale marittimo è stato svolto attraverso analisi numeriche e modellazioni agli elementi finiti per la ricerca delle caratteristiche dinamiche desiderate. I risultati ottenuti hanno permesso la costruzione di due modelli con le seguenti caratteristiche.

Tabella 1. Caratteristiche Modelli numerici per le prove in scala di laboratorio

MODELLO RIGIDO		MODELLO ELASTICO	
Scala	1:60	Scala	1:60
Oggetto	Cilindro cavo	Oggetto	Cilindro cavo
Materiale	Plexiglass	Materiale	Plexiglass
Lunghezza	1420 mm	Lunghezza	1420 mm
Diametro esterno	100 mm	Diametro esterno	100 mm
Spessore	2 mm	Spessore	2 mm
Profondità acqua	33 – 50 cm	Profondità acqua	33 – 50 cm
		+ MASSE AGGIUNTE	M1 = 12.4 Kg – M2 = 10.5 Kg

Per la valutazione delle sollecitazioni, il modello è equipaggiato di 4 celle di carico monoassiali collegate alle piastre di fondazione in plexiglass; l'insieme realizza un vincolo di incastro tra il palo e il fondo del canale. Durante le prove sperimentali, vengono generate onde a ripidità variabile, di tipo regolare e irregolare e onde frangenti; l'acquisizione dei dati permette di misurare gli effetti dei carichi d'onda sul palo in termini di sollecitazioni mediante le celle di carico e in termini di vibrazioni mediante sensori di spostamento posizionati in corrispondenza di punti significativi lungo il palo.

Ringraziamenti

L'attività di ricerca descritta in questo lavoro viene condotta nell'ambito del progetto NEMO – Numerical and Experimental Methods for Offshore Renewable Energies – Coordinatore Lorenzo Cappietti – Università degli Studi di Firenze.

Bibliografia

- LORC (2010) - Foundation for offshore renewables energy. *www.lorc.dk*
- Bredmose H., Sahlberg-Nielsen L., Flemming Schlütter, Slabiak P. (2013) - *Dynamic excitation of monopoles by steep and breaking waves. Experimental and numerical study*. 32° ASME International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering.
- Chellaa M. A., Myrhauga D., Tøruma A. (2012) - *An Overview of Wave Impact Forces on Offshore Wind Turbine Substructures*. Norwegian University of Science and Technology, NO-7491 Trondheim, Norway Energy Procedia, 20: 217–226.
- Oumeraci H., Wienke J. (2005) - *Breaking wave impact force on a vertical and inclined slender pile theoretical and large-scale model investigations*. Coastal Engineering, 52: 435-462.