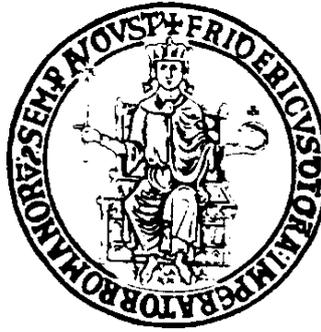


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”**



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO (L.M. 35)**

Tesi di Laurea in Ingegneria Costiera

**“ALCUNE INCERTEZZE NELLA STIMA DEL CLIMA ONDOSO  
NEARSHORE PER LO STUDIO DEI REGIMI LITORANEI”**

Relatore

*Ch.mo Prof. Ing. Mariano Buccino*

Candidato

*Francesco Valletta  
matricola M67/359*

Correlatore

*Ing. Margherita Ciccaglione*

Anno Accademico 2017-2018

## INTRODUZIONE

Nei progetti di costruzione marittima sono cruciali due fasi: la ricostruzione del clima ondoso di largo e la sua propagazione verso costa.



La prima consiste in un'analisi statistica di dati relativi ad eventi di mare e può essere eseguita mediante o metodi diretti, che prendono informazioni da stazioni di misura ondamettriche, oppure attraverso metodi indiretti, servendosi di analisi di misure metereologiche ed anemometriche. La seconda fase prevede la propagazione di questi eventi da largo sottocosta, tenendo conto di una serie di fenomeni che possono essere conservativi, come lo shoaling, la rifrazione e la diffrazione, oppure dissipativi come il frangimento e sono dipendenti dalla morfologia del fondale.

Per capire in che maniera propagare questi dati occorre fare una distinzione sostanziale tra due tipologie di progettazione marittima: la prima è relativa alla difesa di un litorale soggetto ad erosione, in cui sarà necessario portare in conto tutte o gran parte delle componenti ondose. La seconda è relativa ad opere di difesa per strutture portuali, dove sarà necessario portare in conto solo i carichi più intensi. In linea generale esistono due possibili strade per la propagazione, una è quella *wave by wave*, che prevede di trasferire evento per evento ciascun dato. Un'altra possibilità invece è quella di classificare gli eventi per direzione e altezza d'onda e propagare lungo la direzione che presenta più ondaioni. Quindi l'obiettivo del lavoro di tesi è stato quello di individuare le incertezze nella fase di stima delle caratteristiche ondose di largo e definire un bilancio tra la spesa computazionale nella fase propagativa e la qualità dei risultati.

## CASO STUDIO

l'area oggetto di studio è quella del litorale romagnolo. È stato considerato un tratto di costa lungo 10km e passante per il sito di Cesenatico, dove a circa 8km dalla costa è presente una boa

ondametrica (ARPA, 2007). L'idea è stata quella di propagare dati di largo e confrontare i dati calcolati con quelli reali della stazione.

Per la propagazione di largo in Italia esiste la Rete Ondametrica Nazionale (RON, ISPRA 1989). Tuttavia non sempre si trovano boe a largo dell'area di progetto, pertanto sarà necessario eseguire una trasposizione di dati. Nella pratica si considera la boa ondametrica più prossima al sito d'interesse e nel caso specifico la scelta è ricaduta sulla boa di Ancona, dal quale è stato possibile ricavare le serie storiche degli eventi registrati tra il 1989 e il 2007.

Per il trasferimento di dati si è utilizzato il metodo della trasposizione geografica, introdotto da Contini e De Girolamo nel 1992 e che si basa sulle seguenti ipotesi:

- Regime stazionario, ovvero mare limitato per fetch;
- Area di generazione d'onda dipendente dai fetch geografici
- Condizioni climatologiche omogenee tra punto di trasposizione e punto trasposto;

Operativamente si applicano le seguenti relazioni di Hasselman (1973)

$$\frac{(H_m)_V}{(H_m)_R} = \left( \frac{F_V}{F_R} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{(T_p)_V}{(T_p)_R} = \left( \frac{F_V}{F_R} \right)^{\frac{1}{2}}$$

valide nell'ipotesi di regime stazionario e da cui si ricavano i termini d'altezza d'onda e periodo della stazione virtuale. Per determinare la direzione di propagazione dell'evento si utilizza la formula di Donelan (1982)

$$\phi(\theta) = (\cos \theta)^{0.44} F(\theta)^{0.28}$$

Massimizzando la funzione si trova quello che in letteratura è noto come “*off wind angle*”, un parametro che tiene conto della deviazione tra la direzione del vento e quella dell'onda generata. Il metodo porta con sé una serie di criticità:

1. Ipotesi contrastanti tra le trattazioni di Donelan (*off wind angle*) e Hasselman (Coincidenza vento mare).
2. Complessità d'inversione della funzione vento-mare
3. Il metodo si applica mediante l'utilizzo di fetch efficaci, mentre Donelan nella sua trattazione utilizza fetch geografici.

In fase di propagazione è stato dunque deciso di trasporre i dati sia in presenza che in assenza di off wind angle. Per la fase simulativa è stato utilizzato il software Mike 21 e più precisamente il modulo Nearshore Spectral Wave. L'NSW è un modello lineare che tratta le onde irregolari ed ipotizza uno spettro d'energia ondosa bidimensionale, cioè disperso in frequenza e direzione. L'equazione alla base è la Spectral Action Balance, dove N è la spectral action density e l'equazione viene integrata, in ipotesi di regime stazionario, nel dominio delle frequenze, andando a ricavare un sistema di due equazioni in due incognite:

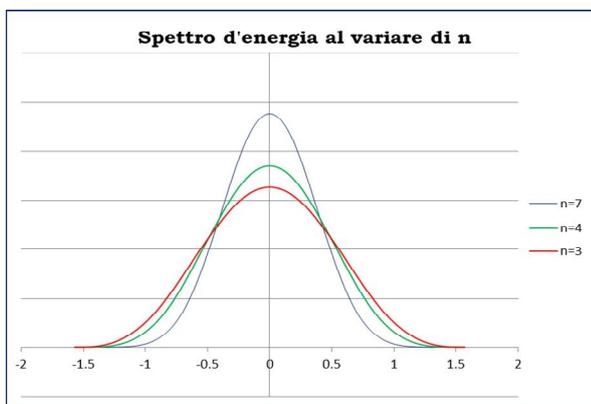
$$\frac{\partial}{\partial x}(c_{0x}^* m_0) + \frac{\partial}{\partial y}(c_{0y}^* m_0) + \frac{\partial}{\partial \theta}(c_{0\theta}^* m_0) = T_0$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(c_{0x}^{**} m_1) + \frac{\partial}{\partial y}(c_{0y}^{**} m_1) + \frac{\partial}{\partial \theta}(c_{0\theta}^{**} m_1) = T_1$$

Da un punto di vista operativo sono state considerati tutti gli eventi compresi nel ventaglio di direzioni  $+50^\circ$  e  $-50^\circ$  rispetto alla normale al tratto di costa (in tal caso  $60^\circ$ ). Si sono propagati 22902 eventi attraverso diverse modalità di discretizzazione:

1. Il primo approccio prevedeva il tracciamento di 10 griglie, una ogni  $10^\circ$  nord di direzione. Di fatti per ciascuna direzione media di propagazione (MWD) individuata dalle griglie, sono stati propagati gli eventi compresi in un ventaglio di  $\pm 5^\circ$ .
2. Nel secondo approccio sono state realizzate 5 griglie con intervalli di  $20^\circ$  nord l'una ed eventi propagati per griglia in ventagli di  $\pm 10^\circ$  rispetto alla MWD.
3. Nel terzo approccio le griglie discrete erano 3, definite ogni  $40^\circ$  nord e con eventi propagati in ventagli di  $\pm 20^\circ$  rispetto alla MWD

Tutti e tre i metodi sono stati eseguiti attraverso un processo propagativo *wave by wave* e portando in conto l'off wind angle. Solo per il caso 1 è stata effettuata una propagazione anche in assenza di deviazione vento-mare, per utilità di confronto.



Per ognuno dei modelli è stata propagata tutta l'intera massa d'energia. Essa viene generalmente rappresentata attraverso uno spettro la cui funzione di spreading è del tipo (coseno alla n)

Come si nota dalla figura è stato impostato un indice di spreading tanto più alto quanto meno è fitta la discretizzazione, portando ad un consequenziale restringimento dello stesso. L'obiettivo è stato quello di troncare una percentuale minima dello spettro, tale da poter essere trascurata senza grossi errori di stima (nel caso specifico si è attestata intorno al 5% per tutti gli approcci osservati).

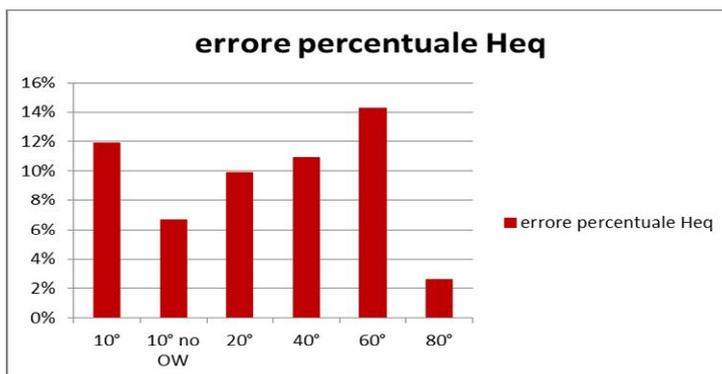
In ultima battuta sono state effettuate due propagazioni per classi:

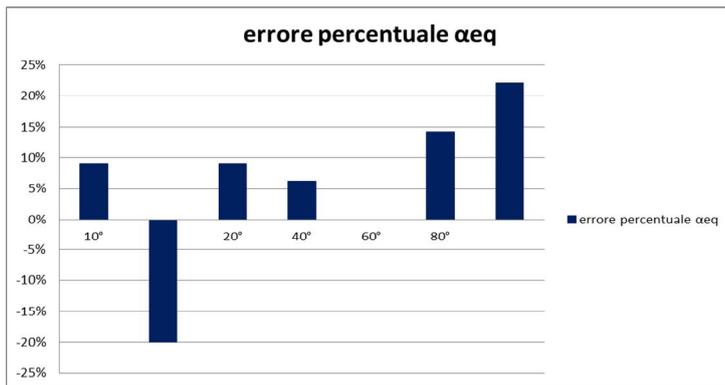
- Nella prima è stata costruita una matrice climatica, individuando la direzione con più ondazioni e definendo un'unica griglia lungo di essa. Gli eventi sono stati condensati tutti nella direzione 80°, propagando però un'unica onda media per ogni classe
- Nella seconda il procedimento è stato il medesimo tranne che per la scelta della direzione di propagazione. In tal caso si è ragionato su due aspetti, ovvero l'energia spettrale da trasferire interamente sottocosta e le condizioni di stabilità imposte dal software.

Le propagazioni da largo ai 10 metri di fondale sono state computate mediante il modulo *Nearshore Spectral Wave* di Mike 21, basato sulla *Spectral Action Balance equation*:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial NC_{g_x}}{\partial x} + \frac{\partial NC_{g_y}}{\partial y} + \frac{\partial NC_{\sigma}}{\partial \sigma} + \frac{\partial NC_{\theta}}{\partial \theta} = S_{trn}$$

## RISULTATI E CONCLUSIONI





1. In primo luogo si è osservato in fase di propagazione una bassa influenza del grado di *short crestedness*. Pertanto è possibile ridurre gli oneri computazionali a patto di adattare l'indice di spreading alla discretizzazione scelta, tale da non trascurare una massa eccessiva d'energia ondosa.
2. Analizzando l'onda equivalente per ognuno dei climi ondosi sottocosta ricavati si può evidenziare un evidente errore di valutazione dell'angolo di nullo dell'LDR per i metodi di propagazione per classi, pertanto sarebbe consigliabile in tal senso una propagazione one by one
3. Tra le modellazioni numeriche one by one con 10 griglie è stato evidenziato un risultato sorprendente e cioè che nonostante i limiti teorici alla base, portare in conto il fenomeno di *off wind angle* conduce a risultati sperimentali senza dubbio migliori. Resta quindi da capire in che modo migliorare la valutazione di questo parametro.

La sensazione è che la strada per una nuova ricerca sperimentale sia stata tracciata, sia per l'ottimizzazione dei processi di calcolo, sia per l'ottenimento di una metodologia standard riconosciuta dall'intero ambiente scientifico.