



Università degli studi di Firenze Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Ambiente e Territorio

Valutazione della disponibilità energetica dei moti ondosi per l'Alto Tirreno

Tesi di Laurea
Anno Accademico 2009/2010
28 settembre 2010

Candidato: Riccardo Benifei
Relatore: Prof. Lorenzo Cappiotti

Contenuti:

- Introduzione
- Analisi spettrale
- Valutazione della potenza del moto ondoso nell'Alto Tirreno
- Conclusioni

Introduzione

Per indirizzarci verso uno stile di vita il più possibile sostenibile, nel rispetto dell'ambiente, è doveroso utilizzare maggiormente le così dette “energie rinnovabili” per la produzione di energia elettrica.

L'energia ricavata dal mare, al pari di tutte le altre fonti rinnovabili, non può essere la soluzione ai fabbisogni energetici, ma i numerosi prototipi sviluppati negli ultimi anni danno prova di un certo interesse verso questa fonte di energia.

L'energia ricavabile dal mare può essere suddivisa in quattro diverse tipologie:

- **Energia dal moto ondoso**
- Energia mareomotrice
- Energia dal gradiente termico oceanico
- Energia dalle correnti sottomarine

Energia di un'onda regolare

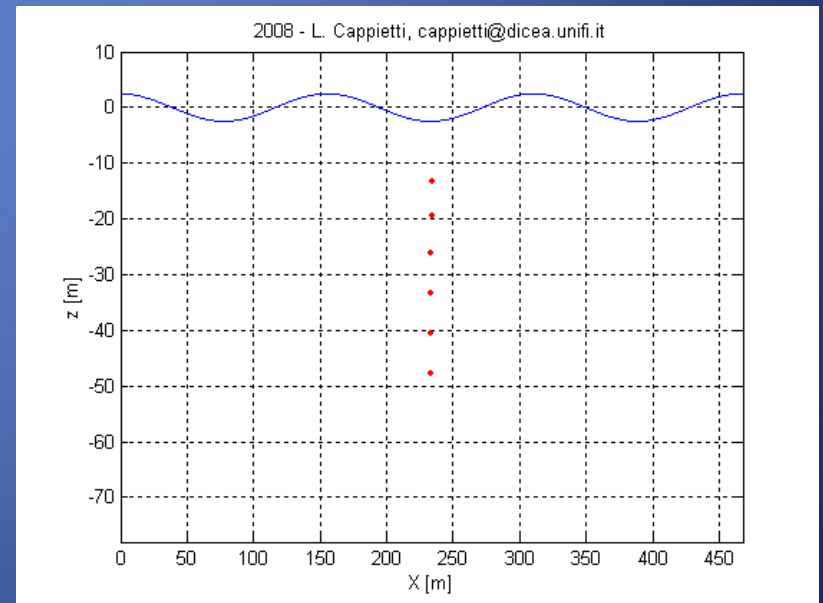
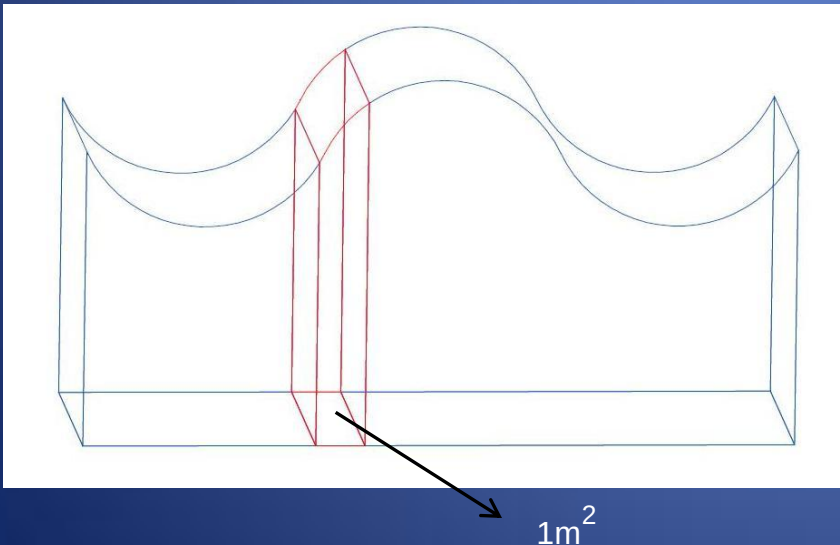
In assenza di fenomeni dissipativi

$$E_{\text{tot}} = E_p + E_c = \frac{\rho g H^2}{16} + \frac{\rho g H^2}{16} = \frac{1}{8} \rho H^2 \left(\frac{J}{m^2} \right)$$

per unità di superficie orizzontale

dovuta al lavoro fatto contro la gravitazione per spostare le particelle d'acqua dalla posizione di riposo

dovuta al moto delle particelle d'acqua



Potenza di un'onda regolare

Il flusso di energia o potenza dell'onda è:

$P = EC_g$ dove C_g (celerità di gruppo) in acque alte vale $gT/2\pi$

La potenza di un'onda regolare diventa:

$$P = \frac{\gamma g}{16\pi} H^2 T$$

per unità di lunghezza di fronte d'onda [W/m]

Le onde del mare però sono onde irregolari, quindi per ricavare la potenza del moto ondoso si utilizza l'analisi spettrale.

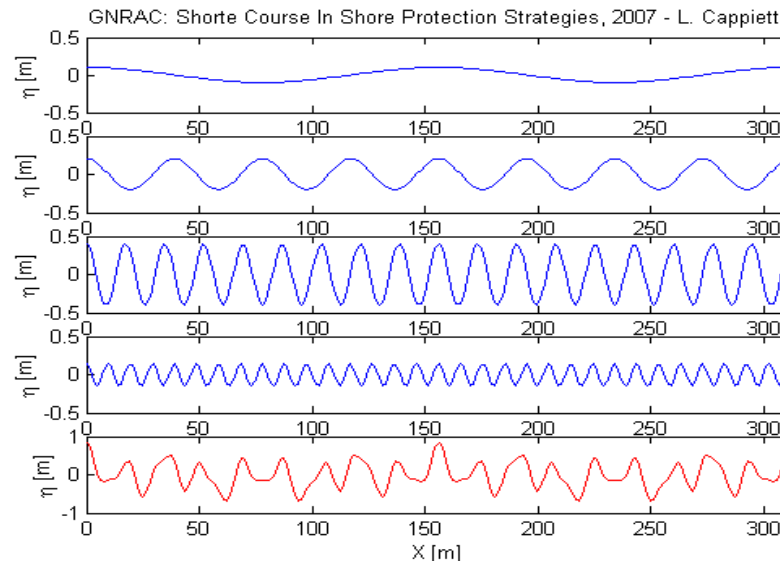
Analisi spettrale 1

L'elevazione della superficie $\eta(t)$ del mare:

- Può essere composta dalla sovrapposizione di un infinito numero di onde sinusoidali, ciascuna caratterizzata da differente frequenza, ampiezza e direzione
- può essere riprodotta tramite la serie di Fourier come:

$$\eta(t) = \sum_{i=1}^N a_i \cos(2\pi f_i t + \alpha_i)$$

dove con a_i e α_i rappresentano rispettivamente l'ampiezza e la fase di ogni frequenza $f_i = 1/D$ ($i = 1, 2, 3$ ecc, $\Delta f = 1/D$, con D durata di campionamento)



Analisi spettrale 2

Per un elevato numero di registrazioni ondametriche di una stessa mareggiata le ampiezze delle componenti armoniche, ad una data frequenza, sono caratterizzate dalla distribuzione di Rayleigh.

Presa una certa frequenza, facendo la media delle ampiezze su M mareggiate, è possibile definire:

$$\bar{a}_i = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M a_{im}$$

Si definisce la densità di varianza spettrale $S(f)$ come:

$$S(f) = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{1}{2} \overline{a_i^2} / \Delta f$$

Si ricava l'altezza significativa dalla relazione:

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$$

$$m_0 = \int_0^\infty S(f) df$$

$$P = \int \gamma C_g S(f) df = \frac{\gamma H_{m0}^2}{16} C_{ge}$$

$$T_{m0,-1} = \frac{m_0}{m_1}$$

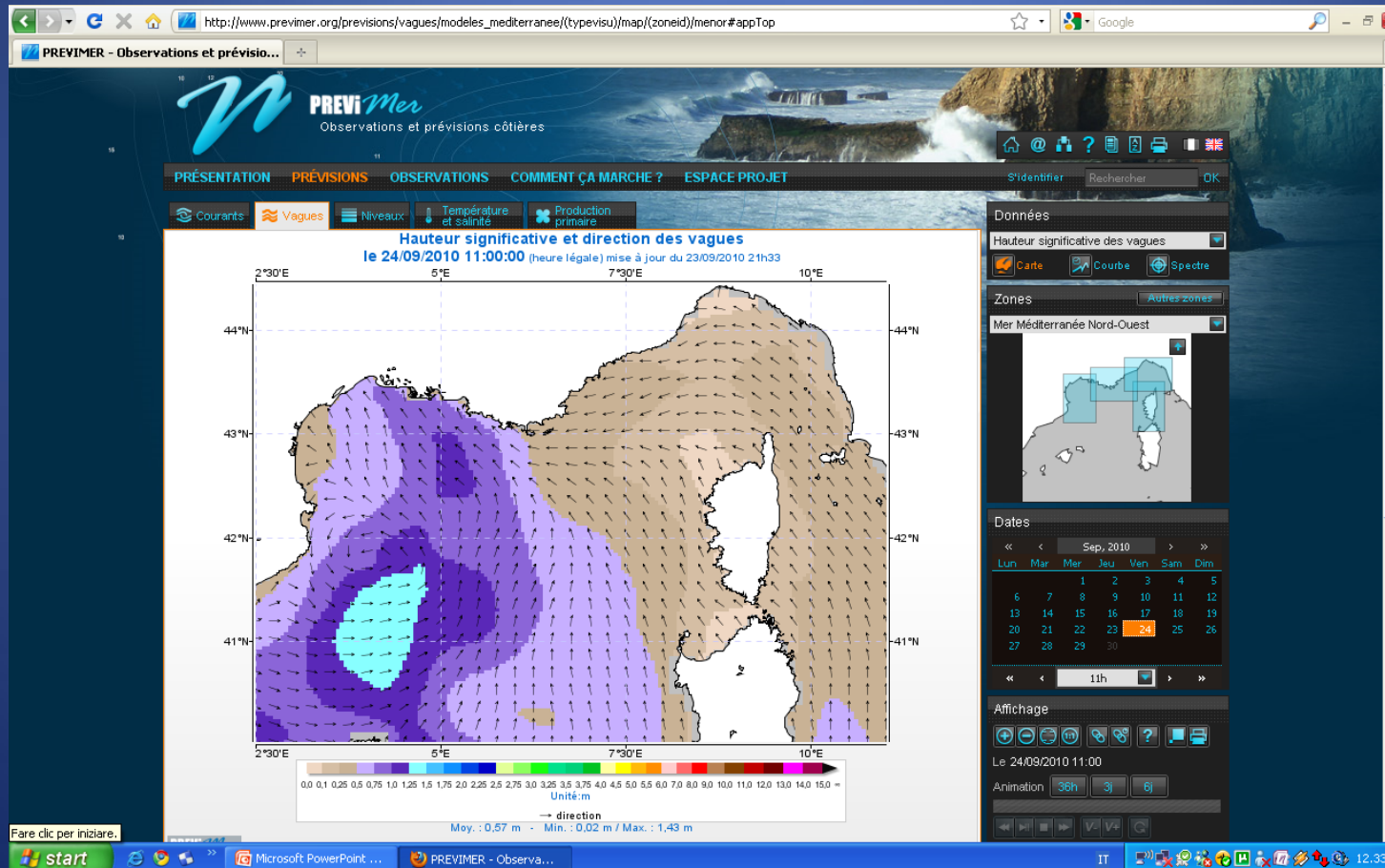
m_0 = momento di ordine zero
 m_1 = momento di ordine uno

$$\frac{g T_{m0,-1}}{2\pi}$$

$$P = \frac{1}{2} \frac{\gamma H_{m0}^2}{16} \frac{g}{2\pi} T_{energetico}$$

Valutazione della potenza del moto ondoso nell'Alto Tirreno 1

Per ricavare la potenza del moto ondoso è stato fatto riferimento ai dati, raccolti in file NetCDF, forniti dal polo Oceanografico costiero PREVIMER che gestisce un modello per la previsione/costruzione del moto ondoso a partire dai dati di un modello meteorologico .



Valutazione della potenza del moto ondoso nell'Alto Tirreno 1

Ogni file NetCDF



Ogni 3 ore al giorno per 10 mesi

Contiene informazioni relativi allo stato del mare della zona del Mar Mediterraneo Nord Ovest da -1° a 11° di longitudine e da 40° a 45° di latitudine

Dalla formula della potenza del moto ondoso:

$$P = \frac{1}{2} \frac{\rho H_{m0}^2}{16} \frac{g}{2\pi} T_{energetico}$$

- H_{m0} viene fornito nei file per ogni valore di longitudine e latitudine
- $T_{energetico}$ è stato ricavato utilizzando la relazione

$$T_{energetico} \approx 0.9 \, fp^{-1}$$

dove con fp viene indicata la frequenza di picco fornita nei file

Con l'utilizzo di Matlab sono stati ricavati i valori della potenza (W/m) per ogni file a partire dal 2 di luglio 2009 alle ore 15.00.

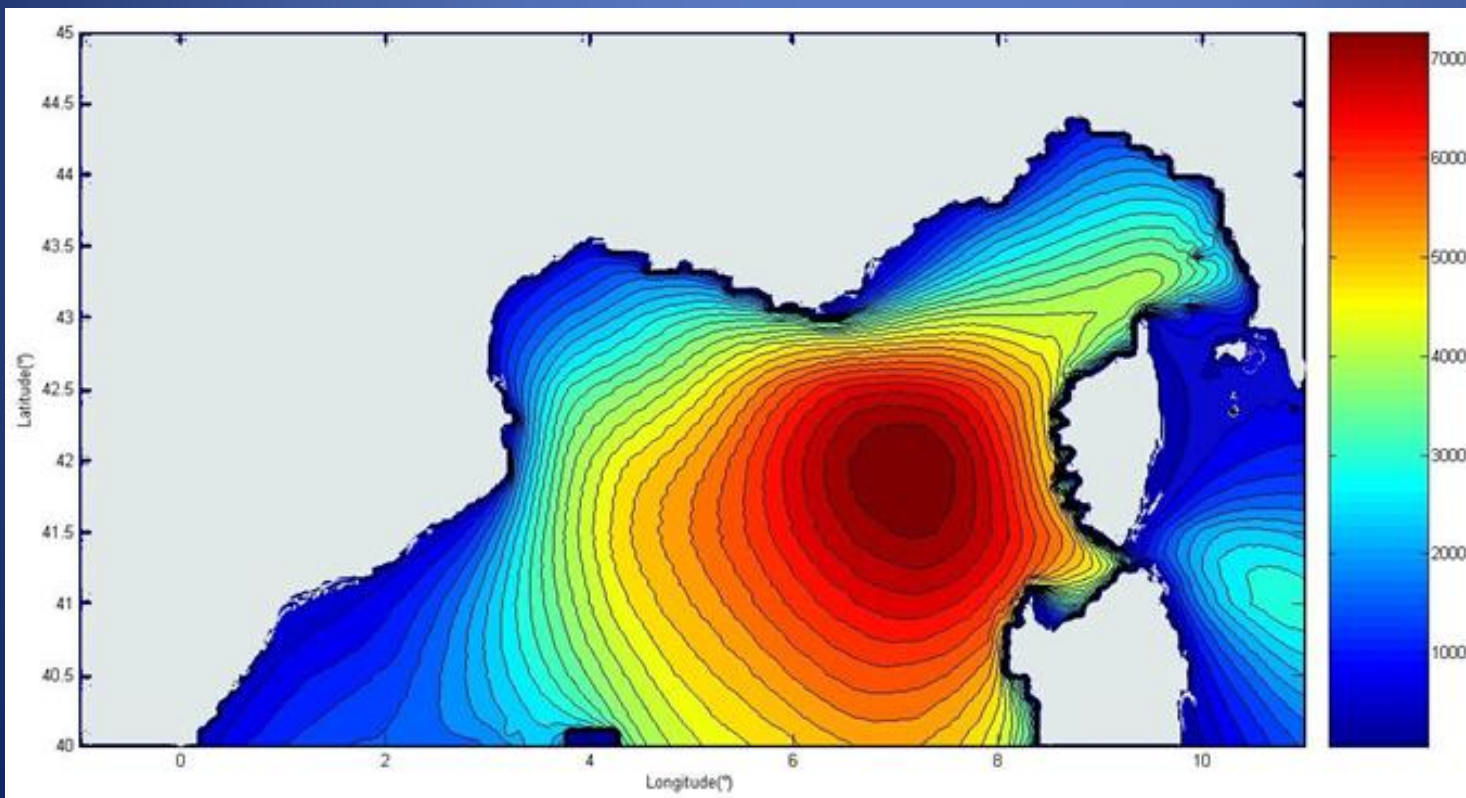
Valutazione della potenza del moto ondoso nell'Alto Tirreno 2

Potenza media giornaliera → media delle 8 potenze triorarie
Potenza media mensile

Luglio 2009
Aprile 2010

$$P_{media\ mensile} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

n = numero di giorni del mese
P_i = potenza media giornaliera

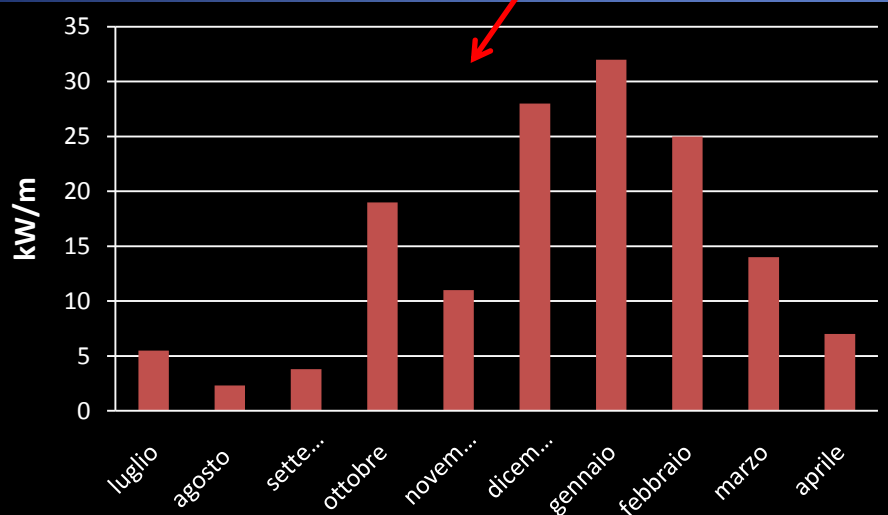
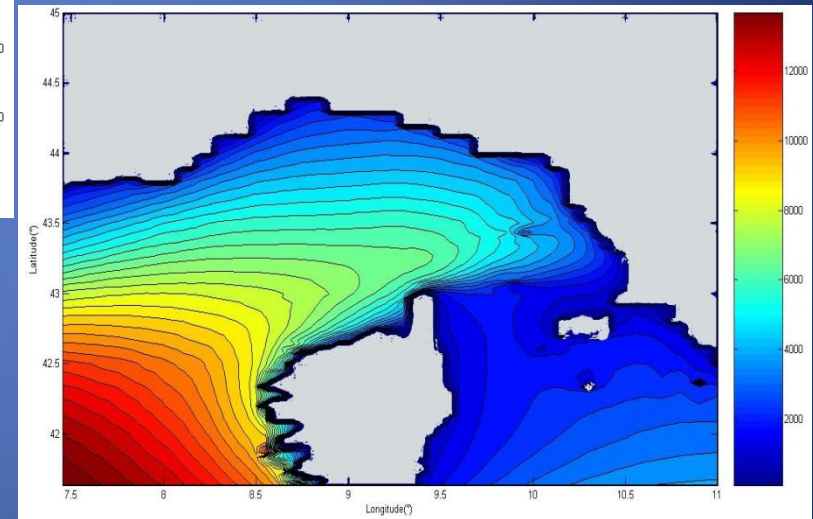
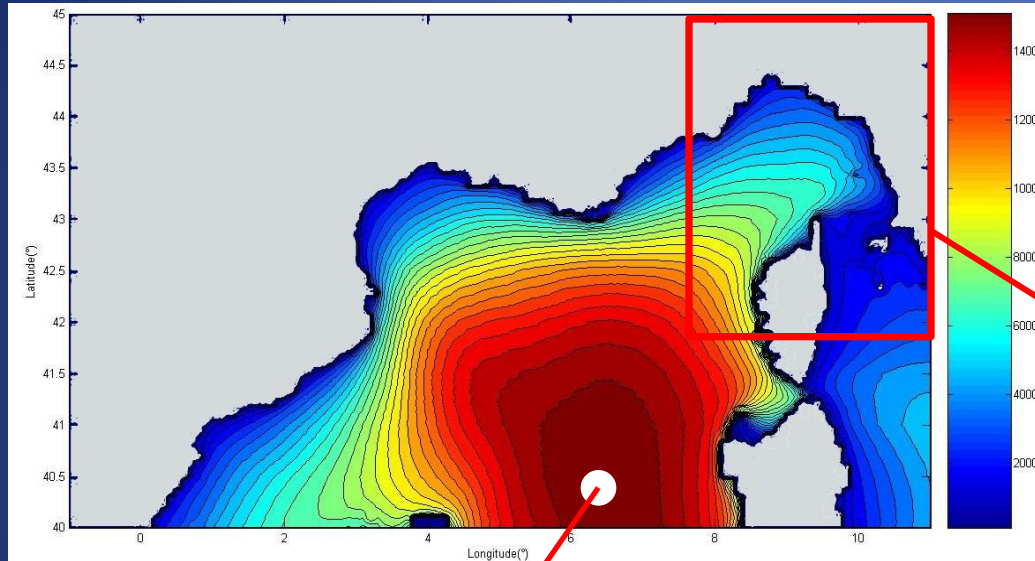


Potenza media
mensile di Luglio

Valutazione della potenza del moto ondoso nell'Alto Tirreno 3

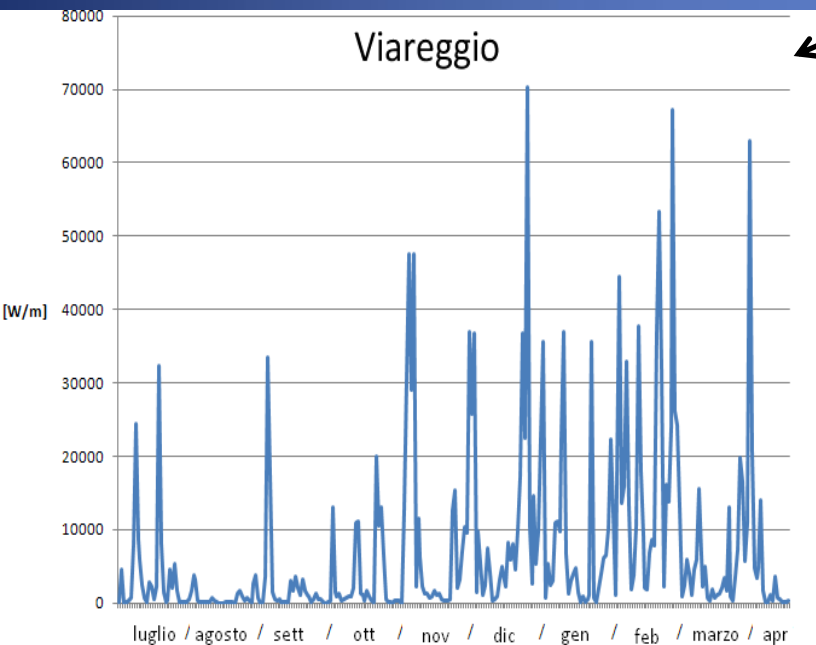
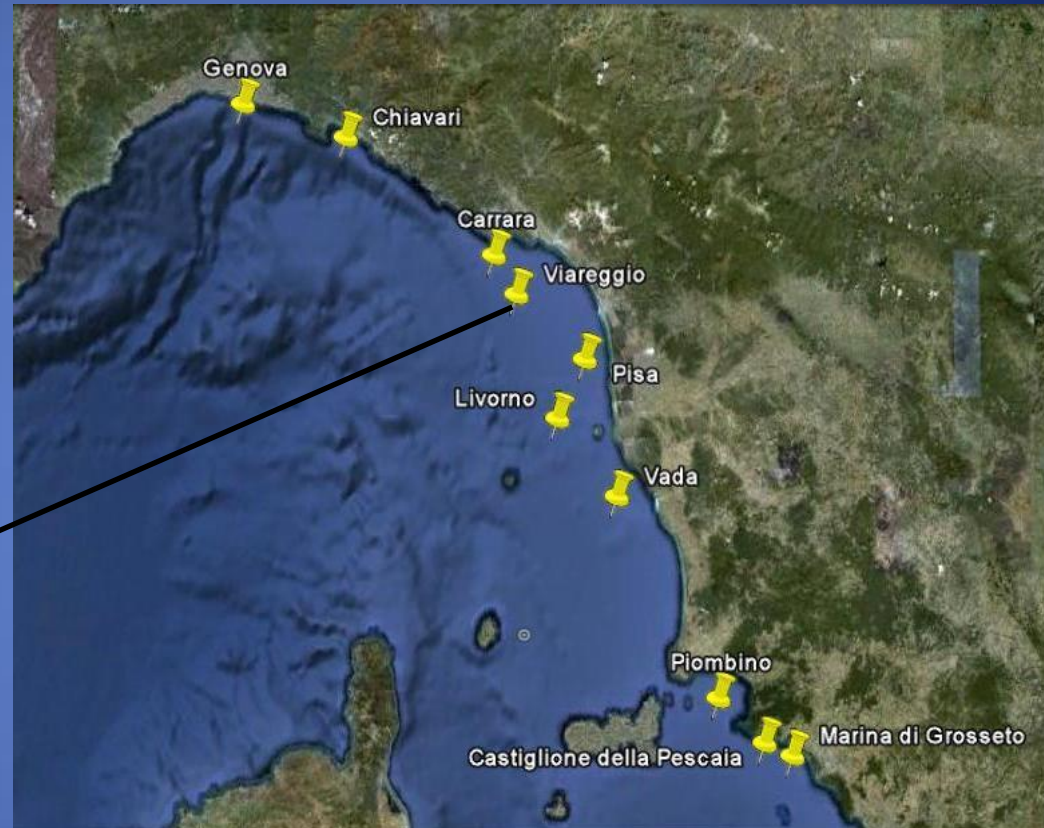
Potenza media dei dieci mesi di disponibilità dei dati

→ somma delle potenze medie mensili divisa per i 10 mesi



Valutazione della potenza del moto ondoso nell'Alto Tirreno 4

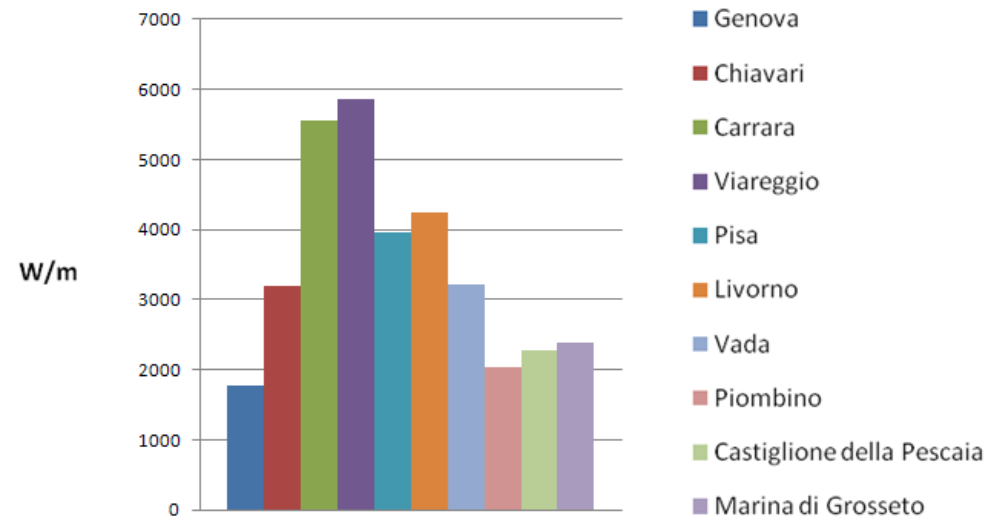
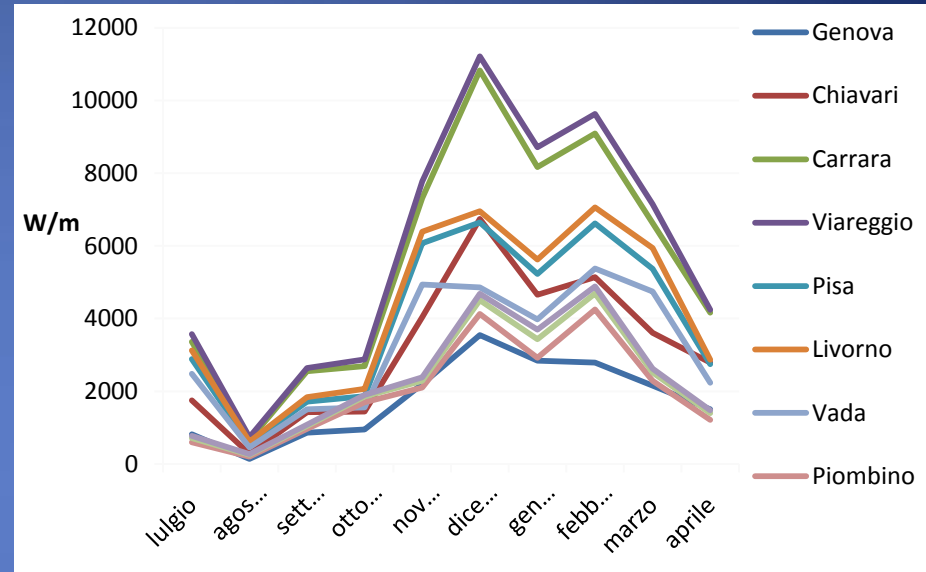
Ipotizzando che un WEC (convertitore di energia ondosa) possa essere collocato su dighe foranee di porti, sono stati scelti dieci siti che si trovano all'interno delle batimetriche di 50 e 100 m davanti ad alcune strutture portuali lungo la costa dell'Alto Tirreno e Mar Ligure



Potenza media giornaliera
dal 2 luglio 2009 al 17
aprile 2010, sito di
Viareggio

Valutazione della potenza del moto ondoso nell'Alto Tirreno 5

Potenze medie mensili
dei dieci siti



Potenze medie sui dieci mesi di
disponibilità dei dati , dei dieci siti

Conclusioni

Le potenze (kW/m) maggiori nel Mar Mediterraneo Nord-Ovest sono:

- Nella zona tra le isole della Sardegna, della Corsica e di Minorca (intorno al punto di coordinate $6^{\circ}5'$ di longitudine e $40^{\circ}5'$ di latitudine)
- Nei mesi invernali e autunnali, il picco delle potenze medie mensili viene registrato a Gennaio con 32kW/m.
- Il picco della potenza media dei dieci mesi di disponibilità dei dati è di 15,7 kW/m.

Le potenze (kW/m) maggiori in corrispondenza dei dieci siti portuali nel Mar Tirreno e Mar Ligure sono:

- Davanti ai siti portuali di Viareggio e Carrara
- Nei mesi invernali e autunnali, il picco delle potenze medie mensili viene registrato a Viareggio, nel mese di Dicembre, con 11,1 kW/m.
- Il picco della potenza media dei dieci mesi di disponibilità dei dati viene registrato a Viareggio con 5,8 kW/m.