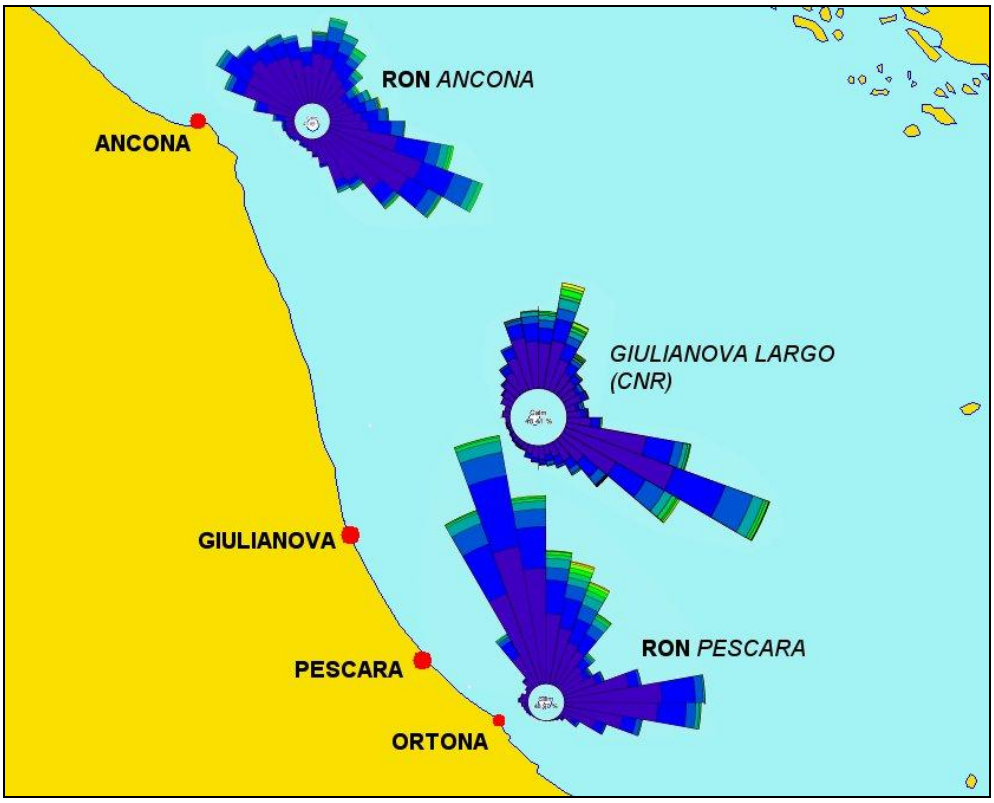
INTECNO-DHI WATER & ENVIRONMENT

MED INGEGNERIA

ENTE PORTO DI GIULIANOVA

ANALISI E STUDI A SUPPORTO DEL PIANO REGOLATORE PORTUALE DI GIULIANOVA



STUDIO METEOMARINO

DATA:	APRILE 2003	
COMMESSA:	MED-177-GIULIANOVA	
FILE:	MED177-ALL 5.doc	
REDAZIONE:	ING. PAOLO ATZENI	
REVISIONE:	ING. MARCO GONELLA	
APPROVAZIONE:	ING. MARCO GONELLA	

INDICE

1. Premessa 1

2. Raccolta Dati 2

2.1 Dati ondametrici 2

2.2 Dati anemometrici 3

2.3 Dati mareometrici 3

2.4 Dati batimetrici 4

2.5 Dati pregressi sulla morfologia dei fondali e sulla geometria del porto 5

2.6 Dati sedimentologici 6

3. Analisi Dati 7

3.1 Analisi dei dati ondametrici 7

3.1.1 Correlazione tra i dati rilevati presso Ancona e presso Pescara; 9

3.1.2 Ricostruzione degli eventi significativi a largo di Giulianova dalla correlazione tra i dati di Ancona e di Pescara 12

3.2 Analisi dei dati anemometrici 14

3.3 Analisi dei dati mareometrici 15

4. Caratterizzazione del clima ondoso sottocosta 26

4.1 Descrizione del modulo NSW del codice di calcolo MIKE 21 26

4.2 Applicazione del codice di calcolo NSW 30

5. Conclusioni 34

1. PREMESSA

Nell'ambito dello sviluppo del Piano Regolatore Portuale per il porto di Giulianova è stata avviata l'attività di verifica delle soluzioni proposte per l'ampliamento e la regolamentazione del porto. La verifica è stata affrontata dal raggruppamento temporaneo costituito da Intecno-DHI e da MED INGEGNERIA mediante l'ausilio della modellazione matematica. Essa rappresenta, attualmente, lo strumento più idoneo per lo studio di una vasta serie di fenomeni da tener in conto per la valutazione delle modificazioni indotte dall'inserimento di una nuova configurazione portuale.

Le ipotesi progettuali studiate sono quattro, ovvero una che è rappresentata dalla situazione attuale e tre che presentano le possibili alternative di sviluppo.

Lo studio è stato condotto a partire dall'analisi delle condizioni climatiche che rappresentano le forzanti ambientali e che intervengono nel bilancio della dinamica globale del sistema.

Una prima fase è stata caratterizzata dall'acquisizione dei dati disponibili come ad esempio i dati del moto ondoso, del vento, delle variazioni del livello del mare ecc. Tali dati sono stati quindi utilizzati come dati di input per la modellizzazione matematica. Un ulteriore e fondamentale elemento per l'impostazione della modellazione è la componente geomorfologica sulla quale tutte le forzanti climatiche testé citate agiscono. A tal fine è stato acquisito il rilevo dei fondali del paraggio in esame che, insieme alle caratteristiche di un'area più ampia, è stato tradotto in una serie di matrici numeriche sulle quali sono stati applicati i differenti codici di calcolo per le verifiche delle ipotesi progettuali.

La caratterizzazione del clima ondoso sottocosta è stata effettuata mediante l'applicazione di un modello di rifrazione spettrale diretta.

Il modello matematico utilizzato per la modellazione bidimensionale è il MIKE21 sviluppato dal *Danish Hydraulic Institute* che vanta una pluridecennale esperienza di applicazioni in tutto il mondo. Esso è basato sulla risoluzione alle differenze finite su griglia strutturata ed è costituito da differenti moduli che implementano le equazioni che governano i fenomeni idraulici riscontrabili in un determinato sistema marino

2. RACCOLTA DATI

2.1 Dati ondametrici

Al fine di ricostruire il clima ondoso al largo e quindi di trasferirlo con gli appositi modelli numerici di calcolo sono state considerate due categorie differenti di dati.

La prima categoria è quella relativa alle rilevazioni delle boe ondametriche della Rete Ondametrica Nazionale (RON) delle vicine stazioni di Ancona e di Ortona (Pescara). Tali dati sono certamente maggiormente affidabili rispetto a dati di moto ondoso che si possono ottenere da ricostruzioni dal campo di vento, tuttavia non sono del tutto completi. La boa di Ancona infatti è operativa solo dal 1999 e ha quindi una serie storica limitata nel tempo. Inoltre, entrambe le boe sono situate in posizioni non del tutto ottimali per la caratterizzazione del clima sottocosta di Giulianova. Le serie storiche di rilevazione del moto ondoso sono state aggiornate fino al periodo più recente disponibile nell'ambito di una convenzione di fornitura dei dati stipulata con il Dipartimento dei Servizi Tecnici Nazionali, Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale.

Figura 1 – Posizione geografica delle boe RON adiacenti al paraggio di Giulianova e posizione del punto al largo di Giulianova.

Per i motivi sopra esposti si è ritenuto opportuno acquisire anche i dati ricostruiti con la modellazione dinamica del moto ondoso in base ai dati meteorologici rilevati dall'ECMWF, tarata sulla scorta delle immagini da satellite, elaborati dall'*Istituto per lo studio della Dinamica delle Grandi Masse* di Venezia del *Consiglio Nazionale delle Ricerche.* Tali dati sono stati forniti, nell'ambito di un'apposita convenzione stipulata con l'Istituto, in forma di tabelle riassuntive annuali che riportano le percentuali di occorrenza delle onde, divise per gradini di altezze, per intervalli di periodo e per settori direzionali. Sono state inoltre fornite le caratteristiche delle 20 mareggiate più intense che si sono presentate nel corso del periodo di osservazione, in cui in base all'analisi delle immagini satellitari è stata riconosciuta la componente di swell da quella di vento. Questa particolare qualità dei dati potrebbe essere di una certa importanza negli studi relativi al sito di Giulianova in quanto si riscontra la possibilità, piuttosto frequente, che il mare possa presentarsi "incrociato" per la presenza di un'onda viva dal settore di Nord-Est e di condizioni di swell concomitanti da Sud-Ovest. Il punto su cui sono state fornite le onde si trova di fronte a Giulianova, circa 50 km al largo della costa.

2.2 Dati anemometrici

I dati anemometrici sono stati acquisiti per mezzo della collaborazione dell'ente Porto di Giulianova. Essi fanno riferimento alla stazione di Pescara. Sono stati anche reperiti ed analizzati, in base a lavori pregressi effettuati dall'Ente Porto e pubblicati sui documenti progettuali messi a disposizione dello studio, i dati caratteristici di diverse stazioni di misura ubicate nel medio e basso Adriatico.

2.3 Dati mareometrici

I dati mareometrici sono stati acquisiti per mezzo della collaborazione dell'ente Porto di Giulianova e fanno riferimento alla stazione di Pescara. Su indicazione diretta del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale la serie storica dei dati è stata richiesta direttamente all'ufficio di Pescara, che possiede la serie più completa, aggiornata ed attendibile. La collaborazione dell'Ente Porto è stata preziosa per ottenere i dati in tempi utili e a costo nullo. I dati, di conseguenza, rimangono di proprietà dell'Ente Porto.

2.4 Dati batimetrici

I dati batimetrici locali rilevati nell'ambito di un lavoro commissionato di recente (estate 2001) dall'Ente Porto di Giulianova sono stati utilizzati per la costruzione della batimetria sottocosta.

Per l'estensione della ricostruzione batimetrica al largo, al fine della costruzione dei modelli di traslazione del moto ondoso, i dati batimetrici locali sono stati integrati con quelli desunti dalle carte nautiche più recenti disponibili, che sono state opportunamente georiferite e digitalizzate.

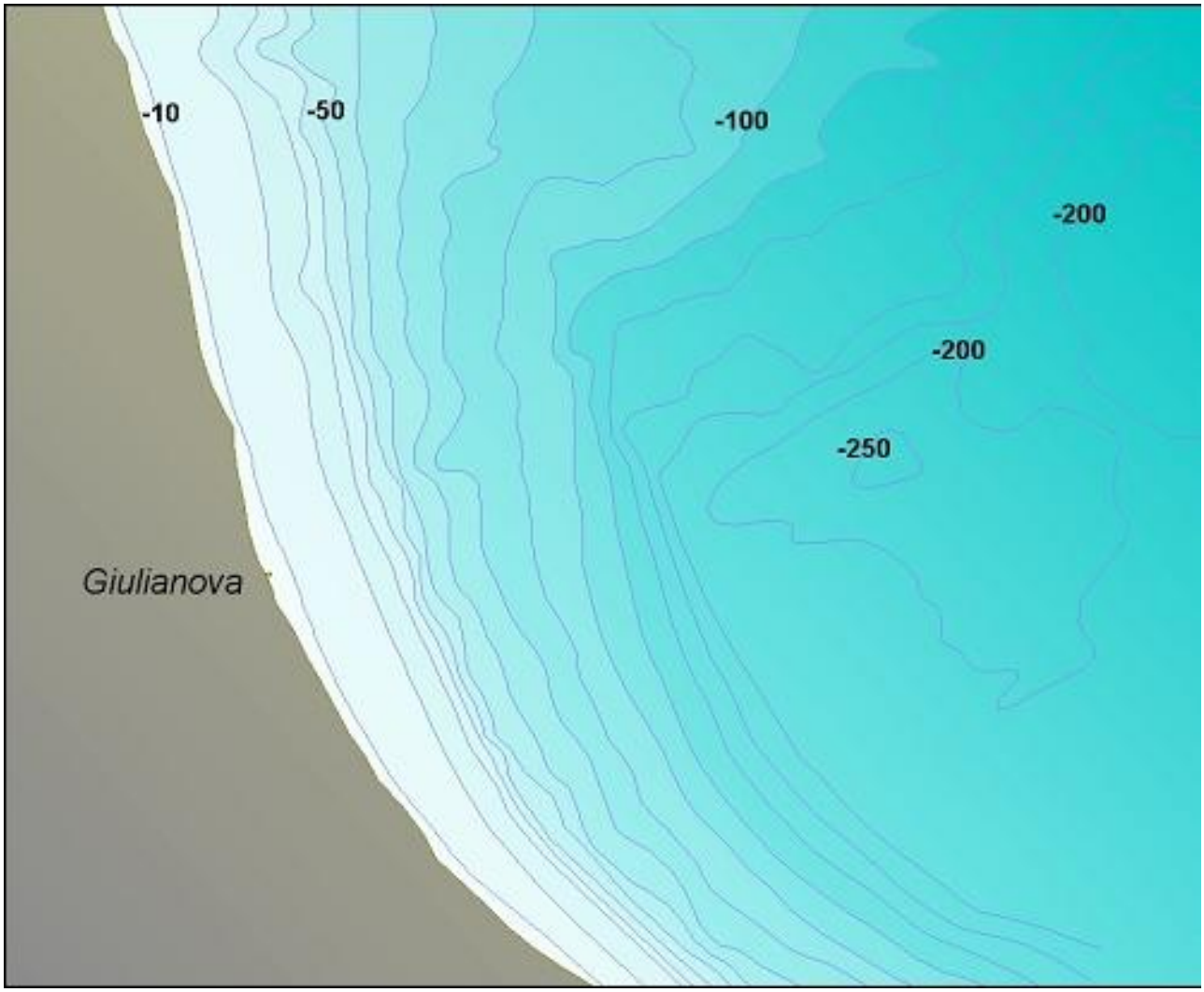


Figura 2 – Batimetria locale del paraggio di Giulianova

Figura 3 – Carta nautica dell'Adriatico centrale.

2.5 Dati pregressi sulla morfologia dei fondali e sulla geometria del porto

I dati storici relativi all'evoluzione della linea di spiaggia lungo i litorali adiacenti al porto sono stati reperiti dalla cartografia storica a disposizione, dalle aerofotografie multitemporali di anni addietro e in base al prezioso materiale documentale sull'evoluzione dei fondali antistanti al porto fornito dal Gruppo di progettazione.

I dati delle cartografie storiche, quando non ancora in formato elettronico, sono stati opportunamente digitalizzati per un impiego diretto nelle valutazioni quanti-qualitative dei fenomeni osservati.

Unitamente ai dati batimetrici sono stati raccolti dati sull'evoluzione strutturale del porto, da mettere in relazione con gli sviluppi morfologici osservati.

2.6 Dati sedimentologici

I dati sedimentologici di base sono quelli rilevati nell'ambito della recente campagna batimetrica effettuata dall'Ente Porto. Oltre a tali dati sono state reperite informazioni di carattere generale nell'ambito delle ricerche bibliografiche realizzate per lo studio. Per una maggior descrizione di tali dati si rimanda alla parte degli Studi Ambientali.

3. ANALISI DATI

3.1 Analisi dei dati ondametrici

L'analisi dei dati ondametrici, è stata finalizzata alla scelta di un ondametro di riferimento per la caratterizzazione delle condizioni ondametriche al largo e per la successiva traslazione delle informazioni off-shore sottocosta.

L'attività è stata svolta in riferimento ai seguenti passi operativi:

- analisi della serie storica rilevata nel periodo 1999-2000 presso la boa di Ancona;
- analisi della serie storica rilevata nel periodo 1989-2000 presso la boa di Pescara;
- correlazione tra i dati rilevati presso Ancona e presso Pescara;
- ricostruzione degli eventi significativi a largo di Giulianova dalla correlazione tra i dati di Ancona e di Pescara;
- ricostruzione di una serie storica fittizia dalle tabelle del clima a largo di Giulianova fornite dal CNR-IDGM;
- comparazione tra i climi dei tre siti;
- statistica delle onde estreme;
- scelta dell'ondametro di riferimento per il porto di Giulianova.

Le figura seguente mostra le rose delle onde prodotte in base all'analisi delle serie storiche nei punti di osservazione.

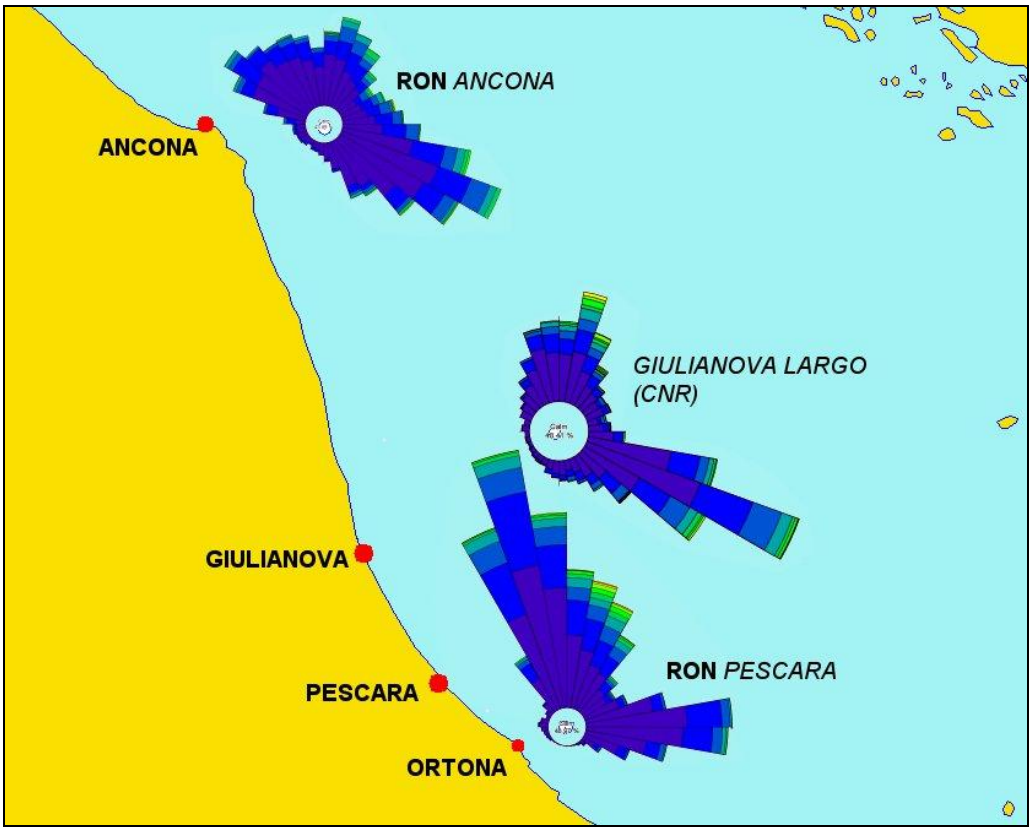


Figura 4 – Confronto tra le rose delle onde rilevate dalle boe RON e nel punto a largo di Giulianova

La rosa rilevata a largo di Ortona presenta una notevole frequenza di ondazioni provenienti dai quadranti settentrionali con altezze d'onda che raggiungono i 5 m. In particolare si nota che la direzione del mare prevalente è circa 330°N mente le onde di maggior altezza si hanno per la direzione di 30°N. Dal settore orientale si hanno invece onde che non raggiungono un'altezza considerevole. Tuttavia si può considerare tale direzione come il settore di importanza secondaria in quanto esso presenta comunque ondazioni significative. Tale settore è in pratica caratterizzato dalle onde di Scirocco che subiscono un'azione di schermatura e, in parte, di rifrazione da parte del Gargano. A causa di questi fenomeni è necessario effettuare un'attenta considerazione sulle ondazioni provenienti dal secondo quadrante che possono interessare il paraggio di Giulianova.

Per quanto riguarda l'ondametro di Ancona, è doveroso far notare il suo breve periodo di installazione, tuttavia dalla rosa delle onde ricostruita in base alla serie storica è possibile osservare come vi sia una grande componente di onde dal secondo quadrante e quasi un'uniformità di frequenze di apparizione di onde provenienti dal IV e dal I quadrante. La sua posizione è certamente più indicata per quanto riguarda l'esposizione ai mari di Scirocco rispetto a quella di Ortona.

La rosa relativa all'ondametro virtuale posto al largo di Giulianova si discosta dalle altre due mettendo in evidenza una grande componente di onde provenienti dal secondo quadrante, e onde provenienti dal quadrante settentrionale che risultano essere di maggiore altezza, ma di minor frequenza. Con riferimento alla posizione di questo ondametro bisogna notare che vi è un settore, compreso tra i 120 e i 130°N in cui si ha un'esposizione non ben compatibile con l'esposizione del paraggio di Giulianova: infatti il paraggio, per tali direzioni ha delle lunghezze del fetch limitate dalla presenza del Gargano (circa 150 km), mentre il punto dell'ondametro è completamente esposto, con lunghezze di fetch che superano i 450 km per la direzione di 120°N e i 600 km per la direzione di 130°N.

In sintesi è possibile dire che al fine del trasferimento delle onde da largo verso riva è possibile rappresentare correttamente quasi tutte le direzioni del settore di traversia mediante le onde riferite all'ondametro virtuale posto a largo di Giulianova, eccezion fatta per il settore compreso tra 120 e 130°N. Per ovviare a tale inconveniente sarà pertanto necessario, durante l'applicazione del modello di rifrazione, considerare una griglia che permetta di far propagare le onde del settore 120-130°N a partire dall'effettivo punto in cui si trova posizionato l'ondametro.

La scelta dell'ondametro di riferimento si riduce quindi a due alternative: l'ondametro di Ortona e l'ondametro virtuale a largo di Giulianova. Per quanto riguarda quest'ultimo si deve comunque considerare che si tratta di dati ricostruiti e non rilevati; inoltre la distanza dalla costa (circa 50 km) non permette di rilevare le condizioni di mare dovute ai regimi di brezze. Soprattutto nel periodo estivo, le brezze raggiungono valori significativi e possono, sebbene in maniera limitata, generare stati di mare che possono interessare la morfologia locale.

Si ritiene pertanto, al termine dell'analisi, che la boa ondametrica di Ortona possa rappresentare al meglio le caratteristiche del mare di Giulianova, introducendo una opportuna correzione geografica che possa tener conto della differente esposizione del paraggio.

3.1.1 Correlazione tra i dati rilevati presso Ancona e presso Pescara;

Il paraggio di Giulianova è posto in una posizione "quasi" di allineamento rispetto alle due boe ondametriche della RON, pertanto si è ritenuto interessante effettuare un'analisi di correlazione tra le due serie storiche al fine di determinare dei parametri che, entro certi limiti, permettano la determinazione del clima ondoso di Giulianova.
L'analisi è stata fatta esclusivamente per ondazioni maggiori di una certa altezza, in quanto si ritiene, e ciò viene confermato dall'osservazione comparata delle due serie, che le onde piccole

non hanno l'energia sufficiente per propagarsi lungo distanze dell'ordine del centinaio di chilometri (Ancona dista da Ortona circa 145 km). Inoltre le condizioni locali di brezza possono essere in grado di generare delle perturbazioni, rilevate dagli strumenti, ma decisamente differenti nei due siti.

L'analisi di correlazione è stata impostata, quindi, considerando onde significative rilevate sia ad Ancona che ad Ortona, concomitanti e provenienti da uno stesso settore con una prefissata ampiezza di 30°.

I parametri di correlazione consentono di trasferire un evento ondoso a partire dal paraggio di Ancona o di Pescara al paraggio di Giulianova per ciascun settore di provenienza. I valori sono stati determinati valutando le caratteristiche degli eventi concomitanti rilevati alle boe di Ancona e Pescara e pesando i singoli coefficienti dell'onda (Hs, Tp, durata dell'evento) in funzione del fetch relativo a ciascuna boa e della distanza dalla boa di Giulianova.

Sono stati assunti come eventi significativi quelli con altezza d'onda pari ad almeno 2 m rilevati nel periodo dal 1999 al 2000, quello per il quale si ha una corrispondenza di rilievo sia per Pescara che per Ancona.

Per i settori di provenienza 300-330°N, 90-120°N e 120-150°N il fetch relativo alla boa di Giulianova e le tabelle di occorrenza fornite dal CNR appaiono generalmente più simili a quanto misurato in corrispondenza della boa di Ancona. Pertanto, mancando in tali settori fenomeni ondosi concomitanti di un certo rilievo nelle serie storiche disponibili, si è assunto artificiosamente un coefficiente di trasferimento unitario per gli eventi registrati ad Ancona.

Il calcolo dei parametri di correlazione è stato effettuato approssimando l'altezza significativa misurata su ciascuna boa mediante una funzione di tipo gaussiano:

$$H_s(t) = b + (H_0 - b)\exp\left[-S(t-M)^2\right] \qquad (1)$$

dove:

b = altezza media prima e dopo l'evento ondoso (background)
H_0 = altezza massima raggiunta durante l'evento ondoso
S = coefficiente di durata dell'evento (skewness)
M = istante di picco dell'evento

L'evento ondoso presunto a Giulianova viene approssimato con l'equazione (1) in cui i parametri caratterizzanti la funzione vengono calcolati mediante interpolazione dei parametri stimati per Ancona e Pescara con il fetch corrispondente e con la distanza fra le boe. Successivamente, i parametri di correlazione ξ, τ, δ vengono valutati come valore medio dei rapporti fra le altezze d'onda approssimate di Ancona e Pescara con quelli ottenuti per Giulianova nella durata dell'evento. Le mareggiate possono infine essere trasferite pesando i valori misurati con i corrispondenti parametri di correlazione e traslando l'evento secondo il ritardo/anticipo presunto secondo d.

Nella tabella seguente sono riportati i parametri di correlazione che consentono di trasferire le altezze d'onda da Ortona o da Ancona verso Giulianova. È necessario conoscere le caratteristiche dell'onda in una delle due stazioni, quindi applicare il parametro ξ per l'altezza d'onda, il parametro τ per determinare il periodo dell'onda, δ per determinare il ritardo o l'anticipo dell'onda rispetto all'onda rilevata dallo strumento. In linea teorica, noti questi valori, una volta che sarà disponibile un sistema di trasmissione dei dati rilevati in tempo reale a cura del DSTN, sarà possibile fare delle previsioni con l'anticipo di qualche ora per il paraggio di Giulianova a partire dai rilievi di Ancona o di Ortona.

	Ancona			Pescara		
direzione °N	ξ	τ	δ	ξ	τ	δ
0-30	0.98-1	0.98-1.18	2.8-3.4	1-1.14	1.02-1.14	-2.2-2.6
30-60	0.99	1.03	0.5	1.04	0.88	-0.5
60-90	0.99-1	1.04-1.08	0	0.84-1	0.88-0.91	0
90-120	1	1	-	-	-	-
120-150	1	1	-	-	-	-
150-180	-	-	-	-	-	-
180-210	-	-	-	-	-	-
210-240	-	-	-	-	-	-
240-270	-	-	-	-	-	-
270-300	-	-	-	-	-	-
300-330	1	1	-	-	-	-
330-360	0.93-1	0.70-1.46	3.0-4.5	1-1.06	0.88-1.41	-3.0-4.0

Tabella 1 – Parametri di correlazione per il trasferimento delle onde da Ancona o da Ortona a largo di Giulianova per ondazioni con altezza d'onda significativa maggiore di 2m

Purtroppo il breve periodo di registrazione dell'ondametro di Ancona non permette di effettuare un'analisi più dettagliata per la verifica delle condizioni di moto ondoso. Tuttavia il metodo applicato bene si presta ad una ulteriore applicazione per la valutazione di nuovi parametri o per la migliore determinazioni di quelli trovati grazie alle registrazioni acquisite fino da ora.

I dati ondametrici forniti per l'anno 2001, in particolar modo relativi alla boa di Pescara-Ortona, appaiono del tutto incongruenti con quelli degli anni 1989-2000 e le corrispondenti tabelle di occorrenza. Vengono infatti registrati eventi ondosi di altezza fino a 7 m (mentre nei 12 anni precedenti in una sola occasione si erano superati i 5 m) e con direzioni di provenienza prevalente nei settori 120-150°N e 150-180°N, che risultano invece privi di eventi significativi nelle misurazioni precedenti. Tali dati appaiono comunque incompatibili anche assumendo che la direzione fornita sia di propagazione e non di provenienza; in tal caso, infatti, si registrerebbero eventi superiori ai 5 m di altezza significativa provenienti da terra. Per questi motivi, i dati relativi all'anno 2001 sono stati ritenuti poco attendibili e sono stati esclusi dall'elaborazione.

3.1.2 Ricostruzione degli eventi significativi a largo di Giulianova dalla correlazione tra i dati di Ancona e di Pescara

Dai grafici di Figura 5 e di Figura 6 si nota come la mareggiata ivi rappresentata raggiunge prima il sito di Ancona, quindi quello di Giulianova e poi quello di Pescara.

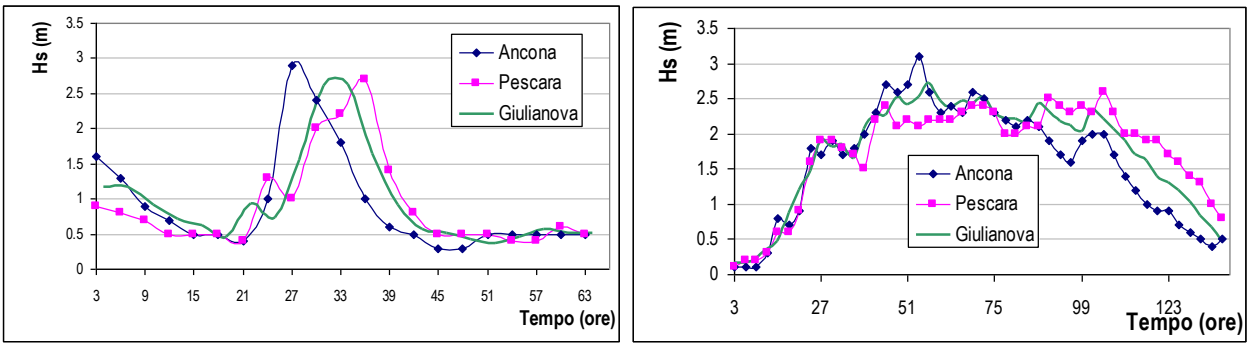


Figura 5 – Altezze d'onda significative in funzione del tempo rilevate dalla Boa di Ancona e di Pescara e ricostruite per il paraggio di Giulianova per una mareggiata proveniente da 330°N (a sinistra) e da 30°N (a destra)

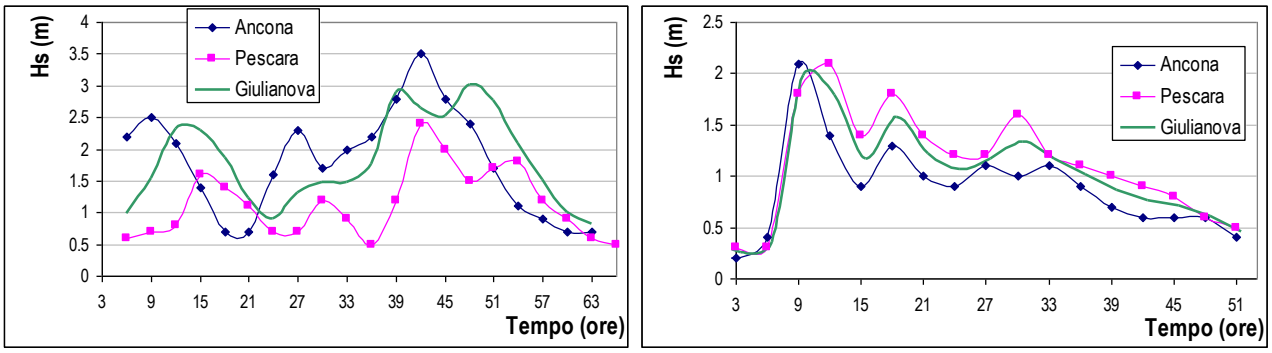


Figura 6 - Altezze d'onda significative in funzione del tempo rilevate dalla Boa di Ancona e di Pescara e ricostruite per il paraggio di Giulianova per una mareggiata proveniente da 330°N (a sinistra) e da 30°N (a destra)

Per verificare tali dati è stata calcolata la celerità di gruppo in base alla formula che fa riferimento alla propagazione dell'onda in acque profonde.

$$c_g = \frac{1}{2} c_o = \frac{1}{2} \frac{g T_p}{2\pi}$$

dove:

- c_0 è la celerità di propagazione dell'onda,
- g è l'accelerazione di gravità pari a 9.806 m/s^2;
- T_p è il periodo di picco, nel quale, per tener conto delle trasformazioni che l'onda subisce nel propagarsi nel percorso compreso tra Ancona e Pescara, si considera il valor medio tra il periodo di picco rilevato ad Ancona e a Pescara.

Considerando un'onda di altezza significativa di 3 m e periodo di picco di 7.5 s si ha una celerità di gruppo pari a 5.5 m/s. Pertanto per percorrere i 145 km che separano Ancona da Pescara sono necessari mediamente :

$$t = \frac{dist}{Vel} = \frac{145'000}{5.5} = 26363\, s = 7.3\, h\,,$$

valore che corrisponde, come ordine di grandezza, al ritardo rilevato dalle boe ondametriche.

3.2 Analisi dei dati anemometrici

Dall'analisi dei dati anemometrici rilevati nella stazione di Pescara per un periodo compreso tra il 1992 e il 2000 si può caratterizzare il regime medio annuale.

Si nota come il settore caratterizzato dalle maggiori frequenze sia quello relativo alla direzione di libeccio. Tuttavia tali venti raramente superano velocità di 35÷40 nodi.

Le intensità maggiori si hanno per venti provenienti dalla direzione Nord dalla quale si rilevano anche condizioni anemometriche superiori ai 45 nodi con una frequenza significativa.

Un'altra componente importante da considerare è quella di Maestrale che si presenta con velocità massime di 45 nodi.

La componente di Grecale presenta altresì delle velocità elevate, ma con delle frequenze di occorrenza molto limitate.

Il settore Orientale e quello di Scirocco hanno frequenze limitate e velocità che raggiungono al massimo 30÷35 nodi.

Preme comunque sottolineare che la maggior parte delle condizioni anemometriche che si rilevano nel sito di Pescara e quindi anche per quello di Giulianova, sono di regimi di brezza, in particolar modo durante l'estate.

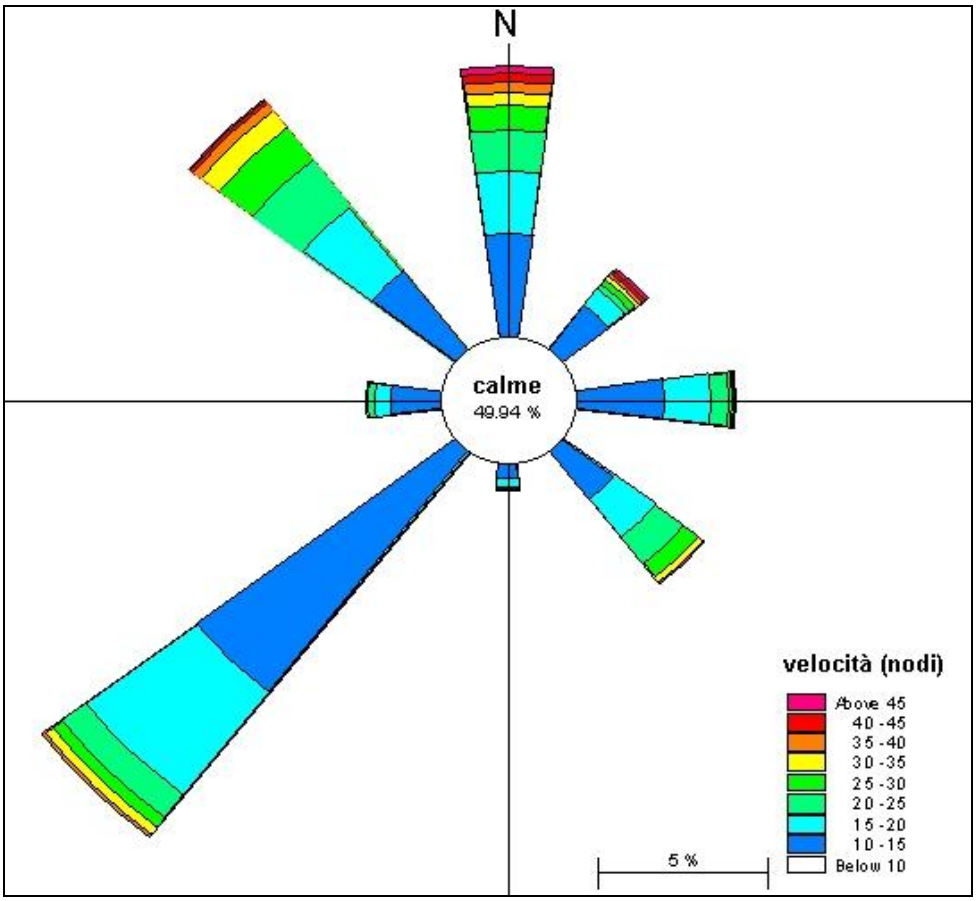


Figura 7 – Rosa dei venti rilevati tra il 1992 ed il 2000 nella stazione di Pescara

3.3 Analisi dei dati mareometrici

Le attività svolte hanno fatto riferimento alle seguenti operazioni:

- definizione di marea astronomica e meteorologica;
- scomposizione della marea rilevata a Pescara in marea astronomica e meteorologica;
- influenza delle condizioni meteorologiche sul livello del mare;
- analisi armonica della marea e della marea astronomica;
- comparazione delle costanti armoniche di Giulianova con le stazioni adiacenti;
- ricostruzione dei dati di marea.

Sono stati reperiti i dati di marea rilevati presso il mareografo di Pescara durante un periodo compreso tra il 01-07-1997 ed il 31-08-1999 per un totale di 26 mesi. Tale periodo risulta sufficientemente lungo per effettuare l'analisi delle componenti meteorologiche ed astronomiche della marea, tuttavia la serie presenta notevoli periodi di dati mancanti.

La presenza di tali “buchi” di registrazione può diventare un problema per quanto riguarda il riconoscimento delle componenti armoniche di marea. Tale problema è comunque stato risolto mediante una preventiva elaborazione dei livelli grezzi.

I dati sono rilevati con frequenza di campionamento di 15 minuti, e restituiti in 26 file: uno per mese. Una prima elaborazione consiste nell’unire in maniera automatica i 26 file in un’unica serie digitale, quindi nel fare il controllo delle registrazioni mancanti. Inoltre è stato riscontrato che il dato delle ore 00 veniva ripetuto due volte essendo presente anche la registrazione relativa alle ore 24, si è riscontrata inoltre la ripetizione di lunghi periodi all’interno dello stesso file, ed infine si sono riscontrati dei dati non riferibili ad un rilievo di marea (ad esempio variazioni improvvise di grande entità).

Mediante un codice appositamente generato si è potuto unire tutti i dati dei 26 mesi di registrazione eliminando le ripetizioni ed imponendo un valore nullo per i dati mancanti. La scelta di impostare un valore nullo permette di impedire l’influenza de “buchi” nella ricerca delle componenti mareali.

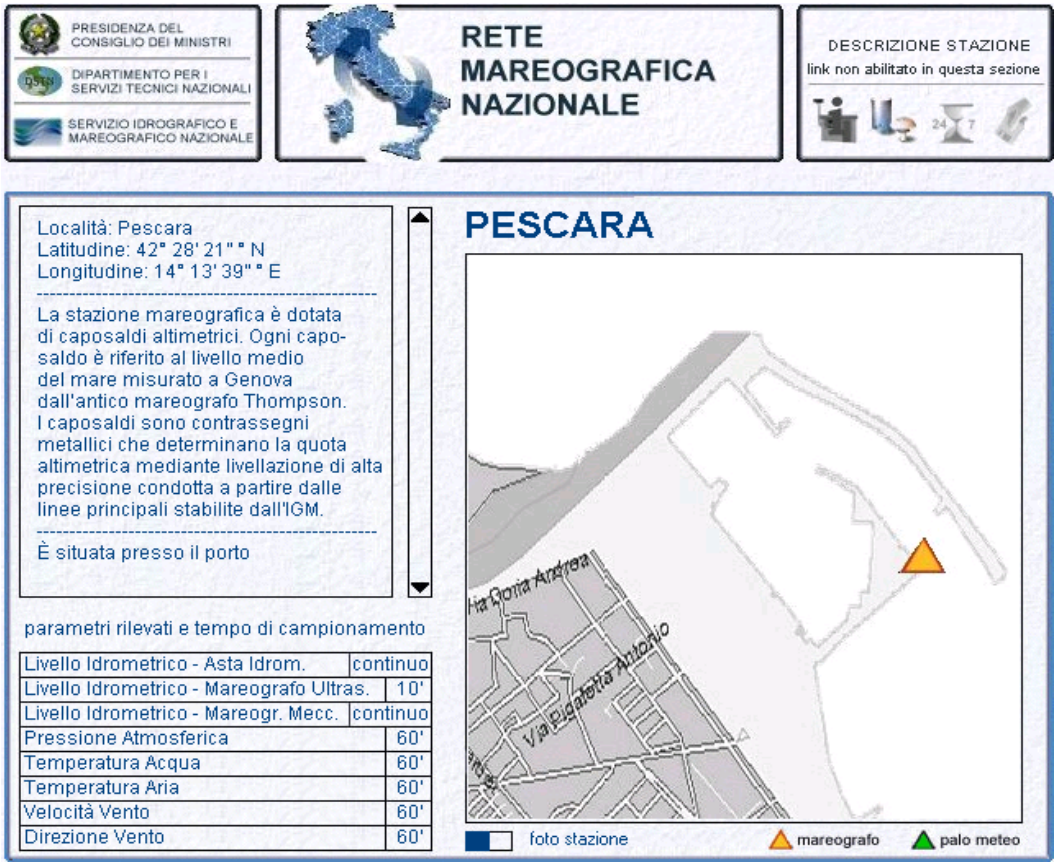


Figura 8 – Posizione del mareografo della stazione sita ne porto di Pescara (fonte sito del DSTN http://www.mareografico.it/pescaradescr.htm)

Il secondo passo è stato quello di riportare i dati in formato orario, quindi si è scomposta la serie con frequenza di 15 minuti in quattro serie con frequenza oraria. In tal modo è stato possibile applicare un filtro orario passa-basso del tipo Doodson a 72 ore che permette di eliminare le alte frequenze per individuare la componente con frequenza superiore a 72 ore.

Dall'operazione di filtraggio dei dati registrati è possibile individuare quindi due componenti definibili astronomica e meteorologica. La componente astronomica evidenzia le frequenze di oscillazione tipiche delle costituenti armoniche come ad esempio la Lunare principale, Solare principale, Lunare bisettimanale ecc.

Nel seguente grafico sono riportate le due componenti astronomica e meteorologica ottenute dal filtraggio dei dati nel periodo dal 18-agosto-1997 al 16-novembre- 1997. In queste 13 settimane è possibile individuare delle grandi variazioni del livello del mare dovuto a componenti non tipicamente astronomiche (vedi ad esempio le variazioni nell'intorno del 13 ottobre e del 10 novembre).

Con questo tipo di analisi si può definire un valore massimo e minimo riscontrato durante il periodo di registrazione.

Per quanto riguarda la registrazione vera e propria si ha un livello massimo di 0.86 m rispetto al livello dello zero idrometrico definito dallo strumento ed un livello minimo di –0.21 m . Si ha quindi un'escursione massima del livello di 1.07 m che risulta comunque definita dalla sovrapposizione degli effetti di attrazione degli astri e dei surge meteorologici.

Massimo	0.86	0.33	0.62
Minimo	-0.21	-0.34	-0.06
Media	0.21	0.00	0.21

Tabella 2 – Escursioni di marea rilevate a Pescara (m).

Per quanto concerne la variazione del livello del mare dovuta esclusivamente alla componente astronomica si ha una variazione compresa tra 0.33 m e -0.34 m. Riguardo alla variazione della componente meteorologica si ha un livello massimo pari a 0.62 m ed un livello minimo di –0.06 m.

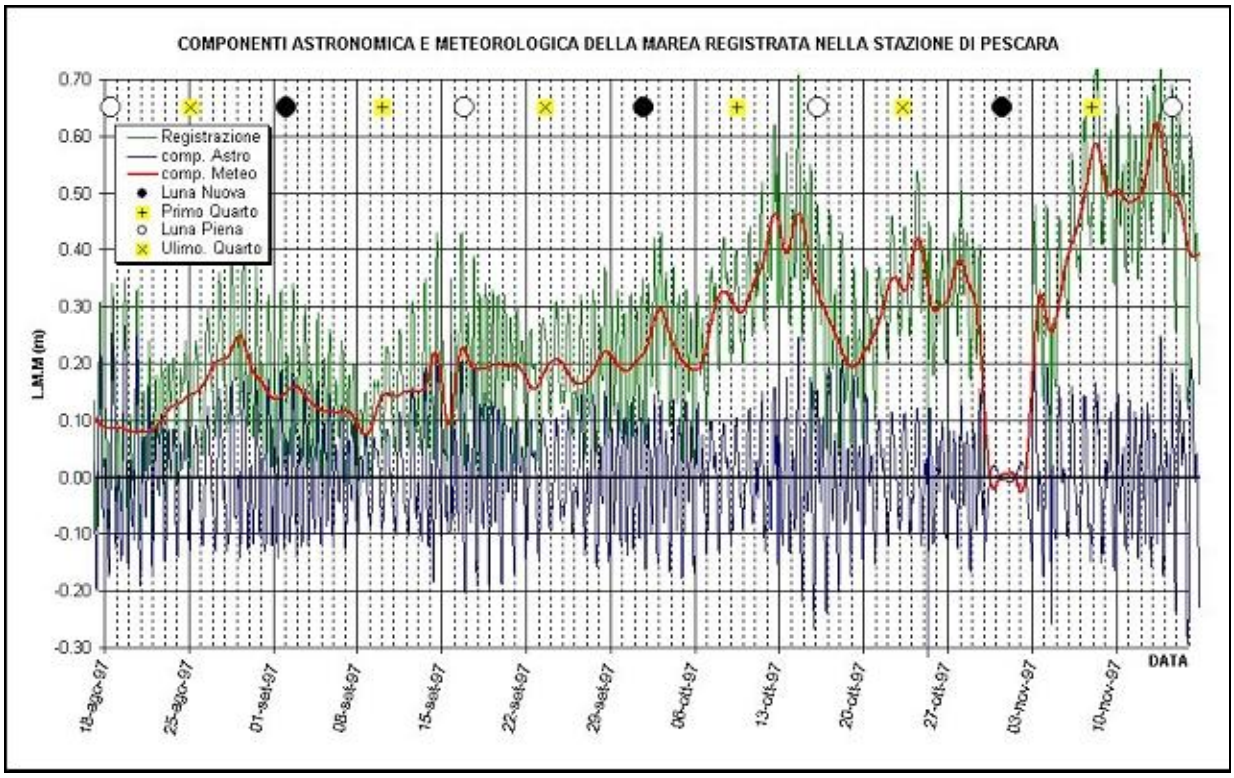


Figura 9 – Scomposizione mediante filtro passa-basso della marea rilevata in una componente astronomica e meteorologica

3.3.1.1 Analisi della componente armonica

La ricerca delle costanti armoniche è stata effettuata mediante il metodo IOS di Foreman. Mediante tale metodo implementato negli applicativi del MIKE 21 è stato possibile determinare le ampiezze e gli sfasamenti di alcune delle 146 componenti armoniche ricercate.

L'analisi è stata eseguita utilizzando tre serie. Una prima serie è costituita dai dati di tutta la registrazione opportunamente filtrati, come detto sopra, e compresi i buchi di registrazione. La seconda e la terza analisi sono state eseguite considerando due semestri diversi di registrazione. La prima serie va dal 04-07-1997 alle ore 01.00 fino al 29-08-1998 alle ore 00.00, la seconda va dal 04-07-1997 alle ore 01.00 al 31-12-1997 alle ore 23.00, mentre la terza va dal 01-01-1998 alle ore 00.00 fino al 14-07-1998 alle ore 00.00.

I risultati dell'analisi mostrano come la serie completa risulti maggiormente complessa rispetto alle due serie semestrali. Con la prima serie infatti si individuano 69 costanti armoniche, con la seconda se ne individuano 36 e con la terza 51.

Nella tabella seguente vengono riportate le ampiezze e gli sfasamenti delle costanti individuate per le tre differenti analisi.

			Completa		Sei mesi A		Sei mesi B	
	Name	**Periodo (ore)**	**Ampiezza (m)**	**Fase (°)**	**Ampiezza (m)**	**Fase (°)**	**Ampiezza (m)**	**Fase (°)**
1	**Z0**	**-**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
2	SA	8766.232	0.0001	236.94				
3	SSA	4382.906	0.0001	20.45			0.0001	35.58
4	MSM	763.487	0.0002	334.62				
5	**MM**	**661.309**	**0**	**328.87**	**0.0002**	**297.81**	**0.0001**	**60.98**
6	MSF	354.367	0.0003	144.07	0.0005	149.46	0.0005	111.9
7	**MF**	**327.859**	**0.0004**	**168.27**			**0.0003**	**134.45**
8	ALP1	29.073	0.001	236.55	0.0005	28.14	0.0015	283.65
9	2Q1	28.006	0.0002	219.87	0.0018	143.6	0.0018	87
10	SIG1	27.848	0.0012	145.54				
11	Q1	26.868	0.0045	77.5	0.0035	84.87	0.0039	40.2
12	RHO1	26.723	0.0027	135.95				
13	**O1**	**25.819**	**0.0293**	**68.62**	**0.0296**	**65.38**	**0.0299**	**66.52**
14	TAU1	25.668	0.0011	82.04			0.0021	116.16
15	BET1	24.975	0.001	146.32			0.0039	325.95
16	NO1	24.833	0.0034	73.58	0.0056	41.44	0.0026	79.16
17	CHI1	24.709	0.0014	93.54				
18	PI1	24.132	0.0026	67.71				
19	**P1**	**24.066**	**0.0283**	**79.53**			**0.034**	**80.53**
20	S1	24.000	0.0095	233.48				
21	**K1**	**23.934**	**0.0909**	**83.59**	**0.0935**	**87.18**	**0.0906**	**80.87**
22	PSI1	23.869	0.0018	126.77				
23	PHI1	23.804	0.0022	78.08			0.0034	100.85
24	THE1	23.207	0.0024	119.6				
25	J1	23.098	0.0079	104.9	0.0059	125.75	0.0093	113.05
26	SO1	22.420	0.005	156.04			0.0043	83.47
27	OO1	22.306	0.0033	134.92	0.0012	182.53	0.0025	109.84
28	UPS1	21.578	0.003	122.68	0.0099	3.1	0.0114	171.95
29	OQ2	13.162	0.0011	317.36				
30	EPS2	13.127	0.0004	98.99	0.0018	14.45	0.0006	314.15
31	2N2	12.905	0.0002	353.41				
32	MU2	12.872	0.0012	182.49	0.0023	272.55	0.0015	164.45
33	**N2**	**12.658**	**0.0106**	**86.62**	**0.0122**	**77.77**	**0.0107**	**90.05**
34	NU2	12.626	0.0016	81.81				
35	GAM2	12.452	0.0004	35.56				
36	H1	12.438	0.0015	56.2				
37	**M2**	**12.421**	**0.0655**	**94.44**	**0.0655**	**95.32**	**0.0666**	**92.27**
38	H2	12.403	0.0018	330.15				
39	MKS2	12.386	0.002	237.58			0.0024	208.75
40	LDA2	12.222	0.0014	61.58				
41	L2	12.192	0.0025	68.32	0.0047	35.77	0.0041	61.48
42	T2	12.016	0.0008	154.54				

			Completa		Sei mesi A		Sei mesi B	
	Name	**Periodo (ore)**	**Ampiezza (m)**	**Fase (°)**	**Ampiezza (m)**	**Fase (°)**	**Ampiezza (m)**	**Fase (°)**
43	**S2**	**12.000**	**0.046**	**102.28**	**0.0459**	**101.84**	**0.0471**	**103.5**
44	R2	11.984	0.0013	204.86				
45	**K2**	**11.967**	**0.0135**	**94.84**			**0.0131**	**94.64**
46	MSN2	11.786	0.0008	156.94			0.0004	287.9
47	ETA2	11.755	0.0017	106.04	0.0051	199.82	0.0026	141.02
48	MO3	8.386	0.002	102.42	0.0022	118.99	0.0021	98.94
49	M3	8.280	0.003	38.95	0.0023	54.54	0.0037	33.81
50	SO3	8.192	0.0006	171.06			0.001	144.17
51	MK3	8.177	0.001	169.65	0.0004	243.66	0.0019	166
52	SK3	7.993	0.0014	311.45	0.0034	321.76	0.0009	342.43
53	MN4	6.269	0.0005	33.03	0.0008	79.27	0.0009	48.91
54	**M4**	**6.210**	**0.0008**	**31.47**	**0.0006**	**15.58**	**0.0004**	**329.07**
55	SN4	6.160	0.0003	218.2	0.0009	313.56	0.0017	226.32
56	**MS4**	**6.103**	**0.0011**	**121.59**	**0.0008**	**131.56**	**0.0014**	**111.82**
57	MK4	6.095	0.0003	235.27			0.0004	325.99
58	S4	6.000	0.0011	152	0.0003	111.38	0.0011	137.65
59	SK4	5.992	0.001	303.93			0.0014	260.28
60	2MK5	4.931	0.0003	11.74	0.0004	268.05	0.0002	339.99
61	2SK5	4.797	0.0004	320.51	0.001	306.51	0.0008	55.68
62	2MN6	4.166	0.0002	100.62	0.0006	107.19	0.0003	86.88
63	M6	4.140	0.0002	22.22	0.0005	337.42	0.0001	182.11
64	2MS6	4.118	0.0002	238.07	0.0003	87.9	0.0005	283.19
65	2MK6	4.089	0.0002	112.12			0.0004	267.09
66	2SM6	4.046	0.0004	358.95	0.001	345.15	0.0002	318.56
67	MSK6	4.042	0.0003	50.53			0.0003	322.53
68	3MK7	3.530	0.0006	351.27	0.0001	285.68	0.0003	354.91
69	M8	3.105	0.0003	215.12	0.0001	177.25	0.0006	236.28

Tabella 3 – risultato dell'analisi armonica per la Stazione di Pescara

Dal raffronto di tali analisi si nota come sia molto importante la scelta del periodo di registrazione, tuttavia tali differenze sono dovute essenzialmente alla presenza più o meno estesa dei periodi contenenti dei malfunzionamenti dello strumento.

Dall'osservazione comparata delle costanti armoniche ricavate con il metodo IOS si nota come le componenti più importanti, ovvero quelle diurne e semidiurne, abbiano differenze molto ridotte, mentre si discostano maggiormente le componenti di ordine superiore, che comunque rivestono un ruolo meno importante. Nel grafico seguente viene riportata una comparazione tra i valori delle ampiezze delle varie componenti armoniche individuate.

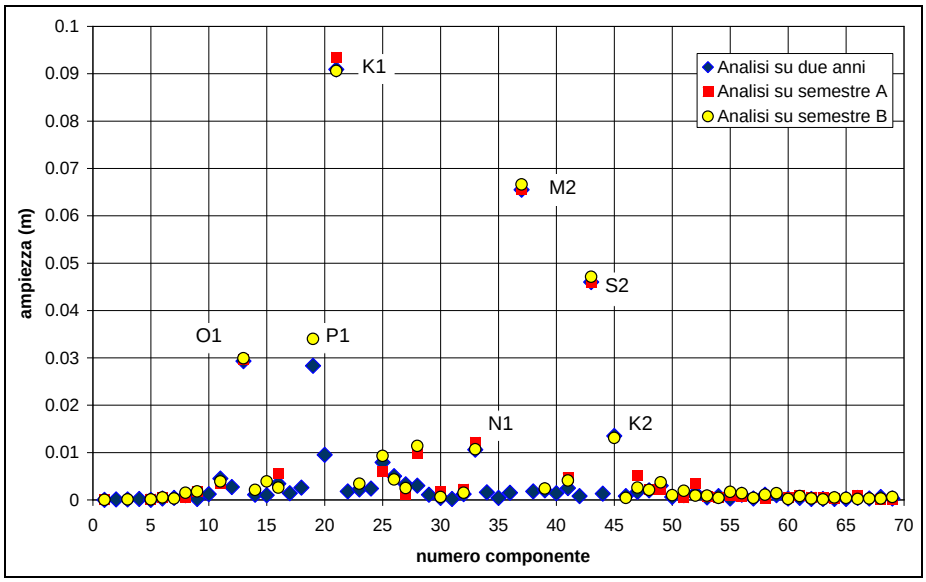


Figura 10 – Confronto tra le ampiezze delle varie componenti armoniche individuate con l'analisi dei tre periodo presi in considerazione

Le costanti sono verificate con la ricostruzione della marea per lo stesso periodo di analisi. Si riporta quindi il seguente grafico con i dati di record, la componente astronomica e la ricostruzione effettuata con le componenti armoniche ottenute dall'analisi.

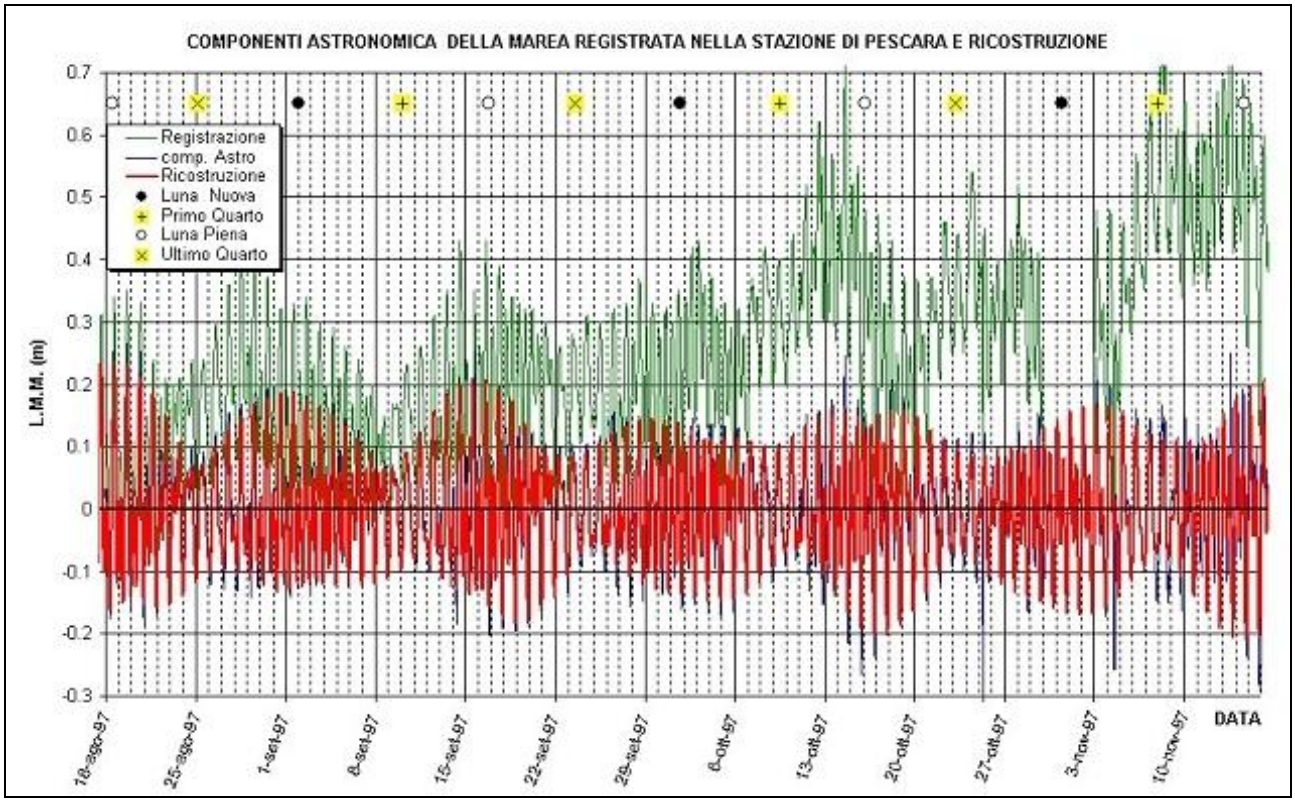


Figura 11 – Ricostruzione della marea astronomica con l'utilizzo delle costanti armoniche ricavate con il metodo IOS

Si nota come viene ben riprodotto l'andamento della marea e come vengano ricostruiti in modo affodabile i dati mancanti.

Per valutare il tipo di marea si introduce la formula in uso presso il Servizio Marerografico degli Stati Uniti:

$$r = \frac{aK1 + aO1}{aM2}$$

mediante la quale è possibile classificare il tipo di marea:

- $r < 0.5$ marea semidiurna,
- $0.5 < r < 2$ marea mista,
- $r > 2$ marea diurna.

Per Pescara si è trovato che le ampiezze riferite alle componenti che concorrono alla determinazione del parametro *r* sono:

- aK1 = 0.0909 m,
- aO1 = 0.0293 m,
- aM2 = 0.0655 m ,

si ottiene pertanto:

r = 1.8 che permette di classificare la marea di Pescara come marea mista.

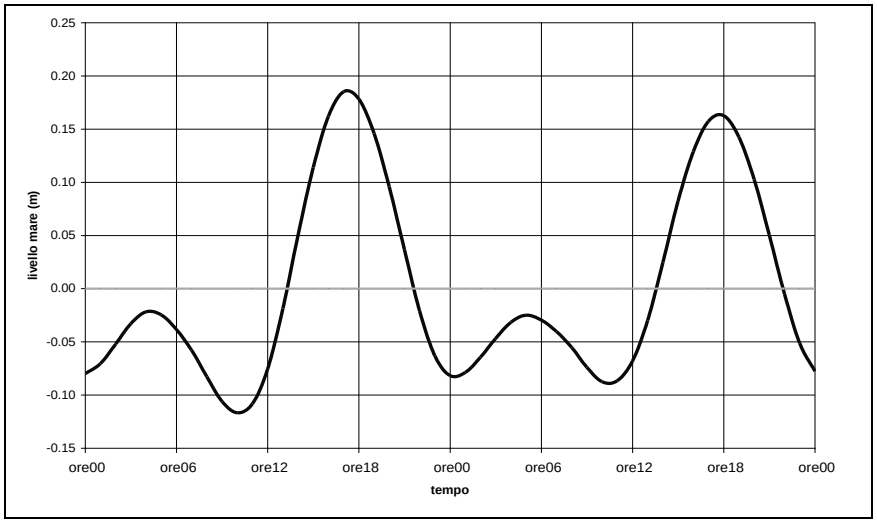


Figura 12 – Grafico rappresentante due giorni della marea ricostruita per Pescara nel quale si individua il tipico andamento della marea mista

3.3.1.2 Analisi della componente meteorologica

La componente meteorologica appare molto più complessa da analizzare, infatti la posizione dello strumento di misura influisce molto sulle variazioni del livello marino.

Il livello del mare può venire modificato dalle condizioni meteorologiche. I fenomeni che maggiormente influenzano il livello del mare in presenza della costa sono i venti e le variazioni di pressione atmosferica.

Un rapido calcolo per evidenziare l'influenza delle condizioni meteorologiche sul livello del mare consiste nel valutare la deviazione standard del mareogramma residuo che rappresenta la componente meteorologica.

Per bassi valori di deviazione standard (intorno a 0.05 m) si hanno piccole influenze delle condizioni meteorologiche sulla marea generale (ad esempio per le isole oceaniche) mentre per alti valori di deviazione standard si hanno maree fortemente influenzate dalle condizioni meteorologiche (0.25 m, come ad esempio i mari chiusi).

Nel caso della marea di Pescara si ha una deviazione standard pari a a 0.0949 m che fa presupporre che il sito sia influenzato relativamente dalle condizioni climatiche, tanto più che lo strumento di misura è posizionato in una zona del porto che potrebbe risentire fortemente di fenomeni di oscillazione quali sesse o risonanze portuali.

Al fine di una valutazione statistica dei livelli estremi i dati ottenuti dalla stazione mareometrica di Pescara sono insufficienti, in quanto rappresentano solamente poco più di due anni di registrazione.

Tuttavia attingendo i dati riportati sul progetto R.I.C.A.MA. si da un'indicazione dei valori massimi dell'innalzamento del livello del mare. Bisogna notare che purtroppo la serie è molto piccola, solamente sette anni, e sarebbero necessari almeno trent'anni di osservazioni per giungere ad una statistica valida.

Applicando il metodo di Gumbel alla serie riportata in Tabella 4 si ottiene la curva riportata in Figura 13.

Anno	Livello massimo (cm)
1993	67.7
1994	62.2
1995	75.7
1996	61.0
1997	63.6
1998	60.1
1999	48.6

Tabella 4 – Livelli massimi registrati dal mareografo di Pescara

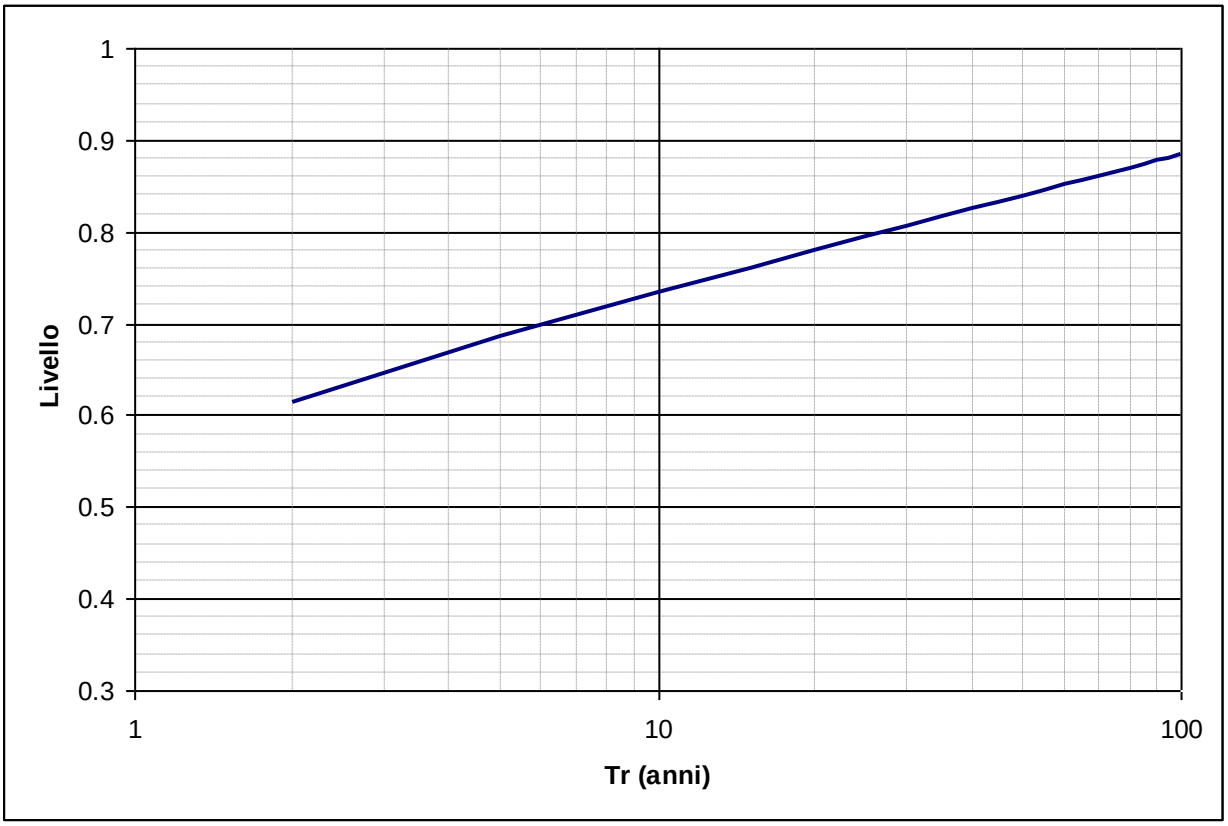


Figura 13 – Tempi di ritorno per i livelli del mare nel porto di Pescara

Preme comunque evidenziare che i valori limite della serie per l'anno 1995 e per l'anno 1999 possono influire nel calcolo in maniera significativa facendo aumentare la pendenza della curva.

Infatti se si considera la serie dei livelli escludendo i valori relativi al 1995 e al 1999 si ha un l'andamento riportato in rosso nella Figura 14 che sembra sottostimare i valori estremi.

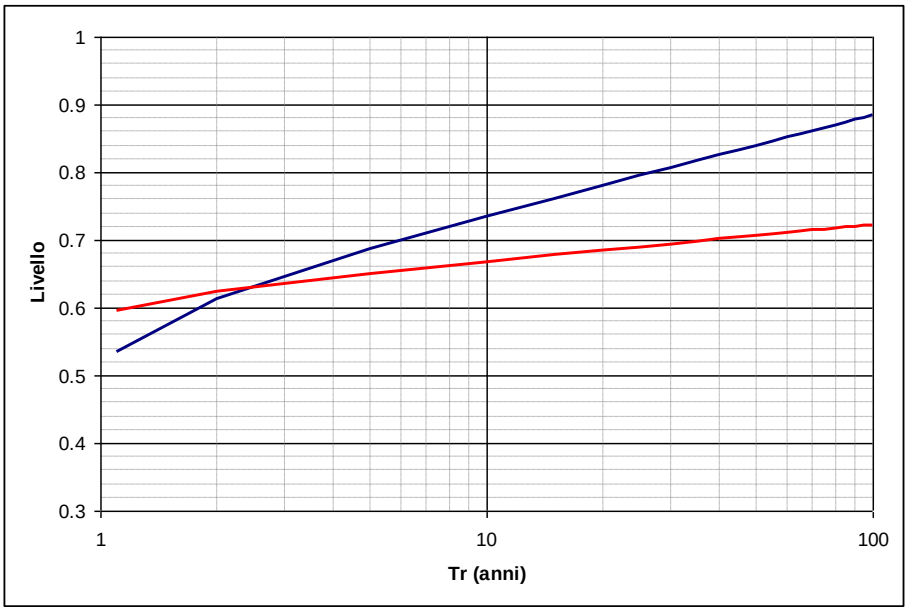


Figura 14 - Tempi di ritorno per i livelli del mare nel porto di Pescara con la serie completa e con la serie troncata inferiormente e superiormente

Tuttavia l'elaborazione che comprende tutti e sette i valori appare sovrastimata ma a favore della sicurezza.

4. CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA ONDOSO SOTTOCOSTA

Il trasferimento del clima ondoso dal largo di Giulianova alla costa è stato realizzato con l'applicazione del codice di calcolo di rifrazione spettrale MIKE 21 NSW (Near Shore Spectral Wind-Wave), che rappresenta i fenomeni di rifrazione, attrito con il fondo shoaling e frangimento.

4.1 Descrizione del modulo NSW del codice di calcolo MIKE 21

Il codice consente di simulare il moto ondoso in zone costiere tenendo conto dei fenomeni di shoaling e di rifrazione, dell'attrito di fondo, del frangimento, dell'interazione tra moto ondoso e correnti, della generazione locale di onde dovuta al vento e della dispersione direzionale dello spettro energetico che caratterizza il moto ondoso.

Le equazioni che stanno alla base del MIKE 21 NSW sono derivate dall'equazione di conservazione dello spettro di energia del moto ondoso. Una parametrizzazione di tale equazione nel dominio della frequenza è stata eseguita introducendo i momenti di ordine zero e di ordine uno dello spettro energetico (variabile dipendente del problema). Questo porta alle seguenti equazioni accoppiate alla derivate parziali:

$$\frac{\partial(c_{gx}m_0)}{\partial x}+\frac{\partial(c_{gy}m_0)}{\partial y}+\frac{\partial(c_{\vartheta}m_0)}{\partial \vartheta}=T_0$$

$$\frac{\partial(c_{gx}m_1)}{\partial x}+\frac{\partial(c_{gy}m_1)}{\partial y}+\frac{\partial(c_{\vartheta}m_1)}{\partial \vartheta}=T_1$$

nelle quali:

$m_0(x,y,\theta)$ - momento di ordine zero dello spettro di energia;

$m_1(x,y,\theta)$ - momento di ordine uno dello spettro di energia;

c_{gx} e c_{gy} - componenti nella direzione x e y della velocità di gruppo c_g;

c_θ - velocità di propagazione rappresentante la variazione di energia nella direzione θ;

x e y - coordinate cartesiane;

θ - direzione di propagazione dell'onda;

T_0 e T_1 - termini di sorgente.

Il momento $m_n(\theta)$ è definito come:

$$m_n(\theta) = \int_0^\infty \omega^n A(\omega,\theta) d\omega$$

dove ω è la frequenza assoluta e A è lo spettro energetico.

Le velocità si propagazione c_{gx} , c_{gy} e c_θ sono ottenute utilizzando la teoria lineare del moto ondoso.

I due momenti m_0 e m_1 sono calcolati dalle condizioni al contorno H_s e T_m come:

$$m_0 = \frac{H_S^2}{16} \ ,$$

$$m_1 = \frac{m_0}{T_m} \ .$$

Le equazioni prendono in considerazione gli effetti della rifrazione e dello shoaling, i termini di sorgente gli effetti locali dovuti al vento ed alla dissipazione di energia per attrito sul fondo e frangimento. Sono inoltre inclusi gli effetti generati sui fenomeni principali dalle correnti.

La discretizzazione spaziale delle equazioni alle derivate parziali è eseguita utilizzando il metodo delle differenze finite. La griglia con cui viene discretizzato il campo di integrazione è costante sia nelle direzioni x e y che nella direzione di propagazione θ. La griglia deve essere scelta in modo tale da garantire un'adeguata risoluzione nella rappresentazione della batimetria, del campo di venti e di correnti nel piano x, y e del campo d'onda nello spazio x, y,θ.

Le caratteristiche della griglia devono inoltre essere selezionate in modo tale da garantire la stabilità dello schema numerico applicato in MIKE 21 NWS. Utilizzando uno schema alle differenze centrali nella direzione y ed uno schema alle differenze in avanti nella direzione θ, il criterio di stabilità è dato da (Abbott, 1979):

$$\left|\frac{c_{gy}\Delta x}{c_{gx}\Delta y}\right| + \left|\frac{c_{\theta}\Delta x}{c_{gx}\Delta\theta}\right| \leq 1$$

dove, Δy e $\Delta\theta$ rappresentano le dimensioni (costanti) della griglia lungo le tre direzioni x, y, θ. In pratica tale criterio è però di difficile applicazione in quanto non sono note a priori le componenti della velocità di propagazione. Nel caso in cui non sono previste correnti, possono essere utilizzate le seguenti due approssimazioni (Holthuijsen et al., 1989):

$$\frac{\Delta x}{\Delta\theta} \leq \frac{1}{2}\frac{d}{|\nabla d|}$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} \geq 2\tan(\theta)$$

dove *d* è la profondità e $|\nabla d|$ la pendenza del fondo.

Tali condizioni di stabilità indicano che una griglia spaziale piccola ed un grande settore di direzioni di provenienza del moto ondoso (un grande numero di direzioni discrete) richiedono una discretizzazione spaziale piccola nella direzione Per garantire un settore di provenienza di circa 120° (condizione accettabile nella maggioranza delle applicazioni) il rapporto $\Delta x/\Delta y$ deve essere maggiore di 4.

La perdita di energia per attrito sul fondo viene regolata con il parametro di scabrezza di Nikuradse K_N. Per quanto concerne la perdita di energia dovuta al frangimento il MIKE 21 NSW utilizza la formulazione di Battjes e Janssen da cui risulta:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-\alpha}{8\pi}\cdot Q_b \omega H_m^2$$

dove:

E: energia totale del moto ondoso;

ω: frequenza;

H_{rms}: altezza quadratica media che caratterizza il moto ondoso;

H_m: altezza massima possibile del moto ondoso;

Q_b: percentuale delle onde che frangono;

α: costante.

Q_b è definito da:

$$\frac{1-Q_b}{\ln(Q_b)} = -\left(\frac{H_{rms}}{H_m}\right)^2 ,$$

Hm massima altezza d'onda che si può verificare è definita da:

$$H_m = \frac{\gamma_1}{k} \cdot \tanh\left(\frac{\gamma_2 \cdot k \cdot d}{\gamma_1}\right) ,$$

k è il numero d'onda;

d è la profondità;

γ_1 è un parametro che regola il frangimento dovuto alla ripidità dell'onda;

γ_2 è un parametro che regola il frangimento dovuto all'interazione con il fondo.

In pratica, considerando un treno d'onde caratterizzato da una certa altezza d'onda significativa H_s, ipotizzando valida la distribuzione di Rayleigh si ha:

$$H_{rms} = \frac{H_S}{\sqrt{2}} .$$

Q_b è la percentuale di onde che, sempre secondo la distribuzione di Rayleigh, ha un'altezza superiore ad H_m e per le quali viene imposta un'altezza pari ad H_m avendo così una perdita di energia indicata dalla equazione precedente.

4.2 Applicazione del codice di calcolo NSW

L'area di applicazione del codice copre un settore di mare esteso per circa 50 km al largo della costa fino ad arrivare a profondità dell'ordine di –80÷ –100 m.

Per tenere conto della variabilità della direzione di provenienza rispetto alla costa sono state implementate tre differenti griglie di calcolo. La prima è rappresentativa del settore Nord, da 350° a 10°N; la seconda del settore Est, da 20° a 120°N; la terza del settore Sud-Est, da 130° a 140°N.

La griglia utilizzata per trasferire gli eventi ondosi del settore da 350 a 10°N è una griglia a maglie rettangolari di lato pari a 25 m lungo l'asse x e di 100m lungo l'asse y, la dimensione della griglia è di 1940 celle lungo x e di 330 lungo y. L'origine degli assi è posta nel punto di coordinate e=417924.40, n=4780831.57 m e l'asse y è orientato di 110°N.

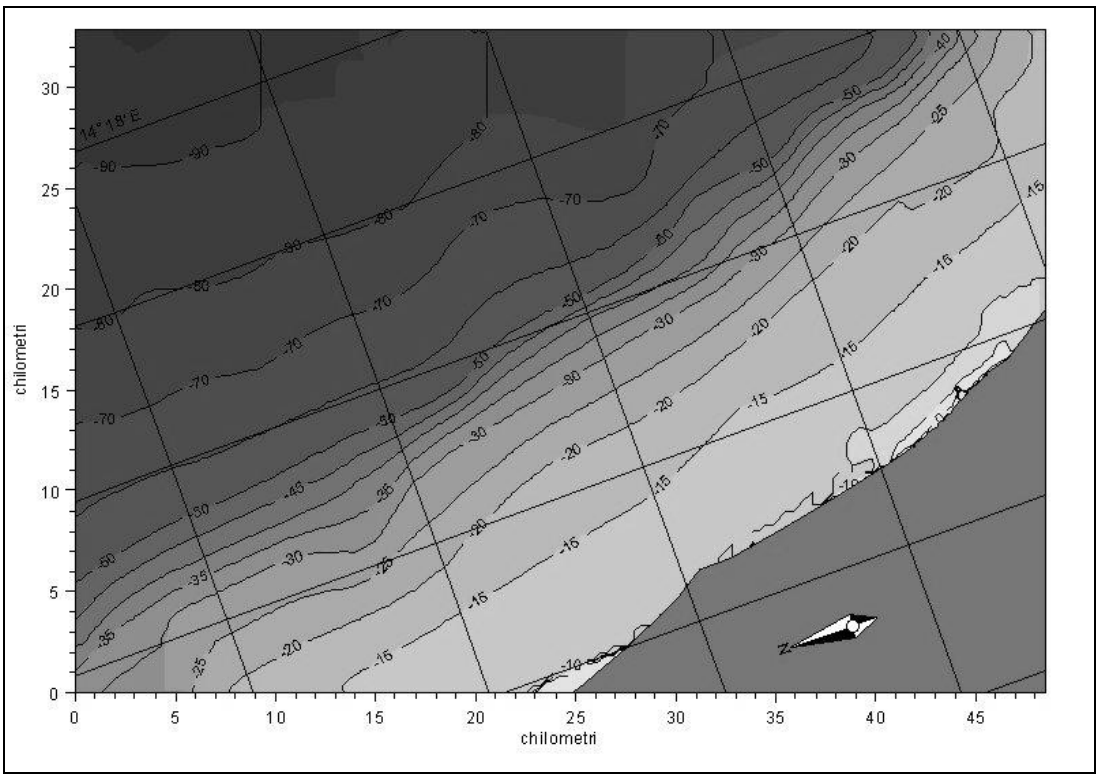


Figura 15 – Rappresentazione della griglia utilizzata per la traslazione delle onde provenienti dal settore compreso tra i 350 e i 10°N

La seconda griglia, che permette la propagazione delle onde provenienti da 20 a 120°N, è anch'essa a maglie rettangolari di 25x100 m con un numero di celle di 1080x265 rispettivamente lungo la direzione x e lungo la direzione y. L'origine degli assi e nel punto di coordinate UTM 33 e=432996.80,n=4761630.61 e l'asse y è orientato di 160°N.

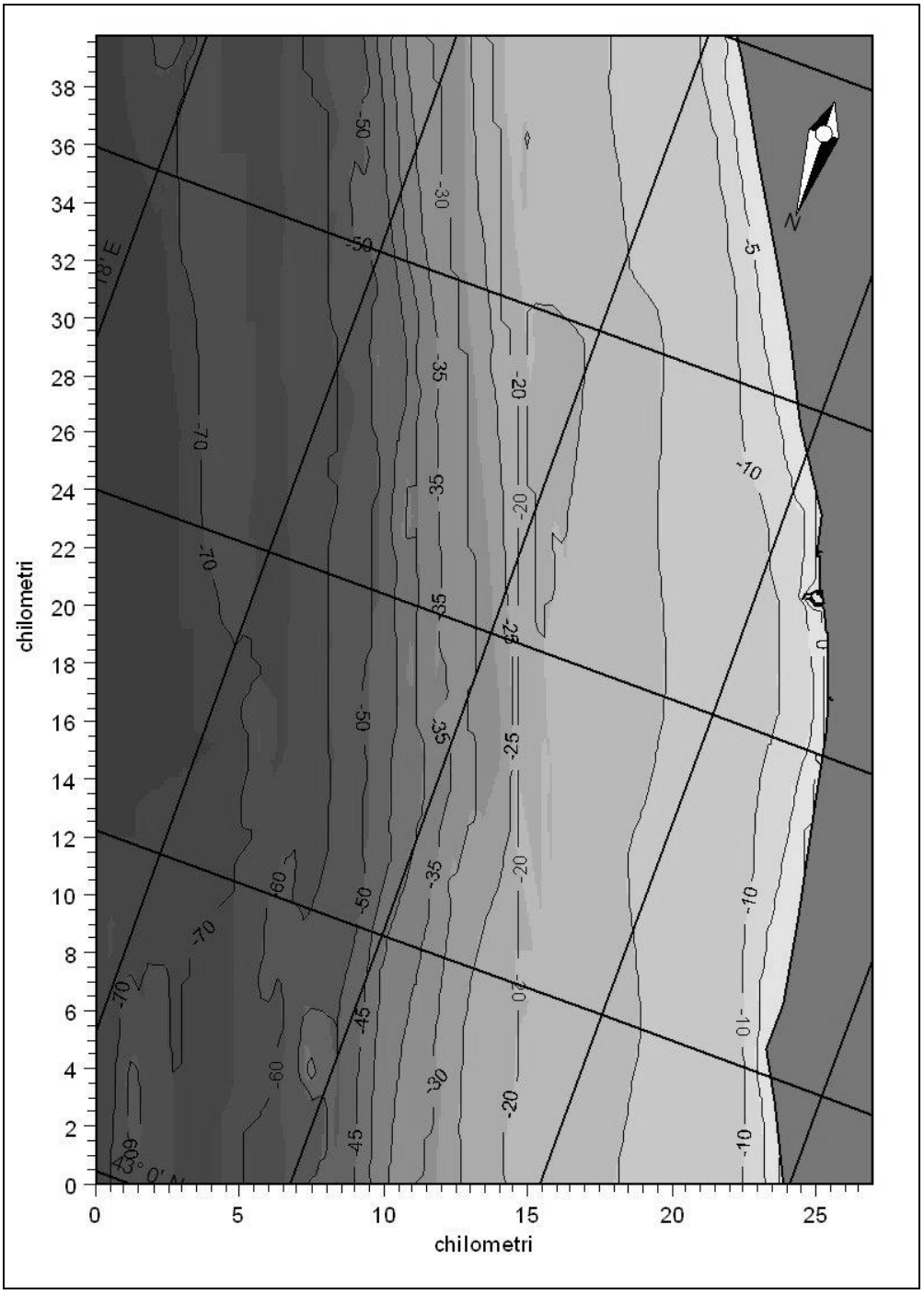


Figura 16 - Rappresentazione della griglia utilizzata per la traslazione delle onde provenienti dal settore compreso tra i 20 e i 120°N

La terza griglia, per la propagazione delle onde provenienti dal settore compreso tra 120 e 140°N è sempre a maglie rettangolari di 25x100 m di lato ed ha un numero di celle pari a 1320x150, l'origine è nel punto di coordinate UTM 33 e=448643.06,n=4732771.03 e l'asse y è orientato di 200°N.

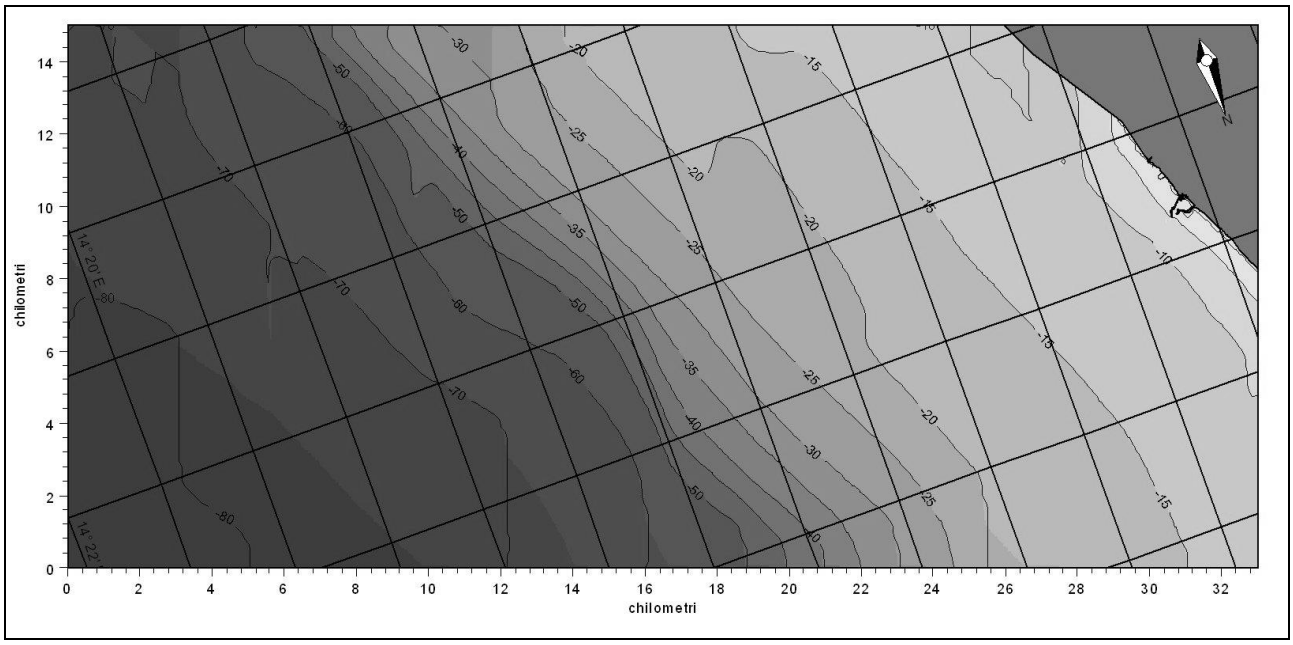


Figura 17 - Rappresentazione della griglia utilizzata per la traslazione delle onde provenienti dal settore compreso tra i 130 e i 140°N

Sono stati trasferiti in tutto 562 eventi d'onda, rispettivamente 97 con la prima griglia, 375 con la seconda e 90 con la terza, rappresentativi di un campione di oltre 59000 eventi.

La tabella degli eventi al largo è stata ricostruita in base ai dati caratteristici delle boe ondametriche RON e di quelli forniti dal CNR-IDGM, segmentando la distribuzione delle onde in campi di valore con passo di 10°N nella direzione, di 0.5 s nel periodo e di 0.5 m nell'altezza d'onda.

I risultati del modello sono stati estratti in corrispondenza di un punto posto di fronte al porto in corrispondenza di una profondità di –12 m.

Nella figura seguente è rappresentata la rosa delle onde al largo e quella ottenuta a seguito della traslazione sottocosta.

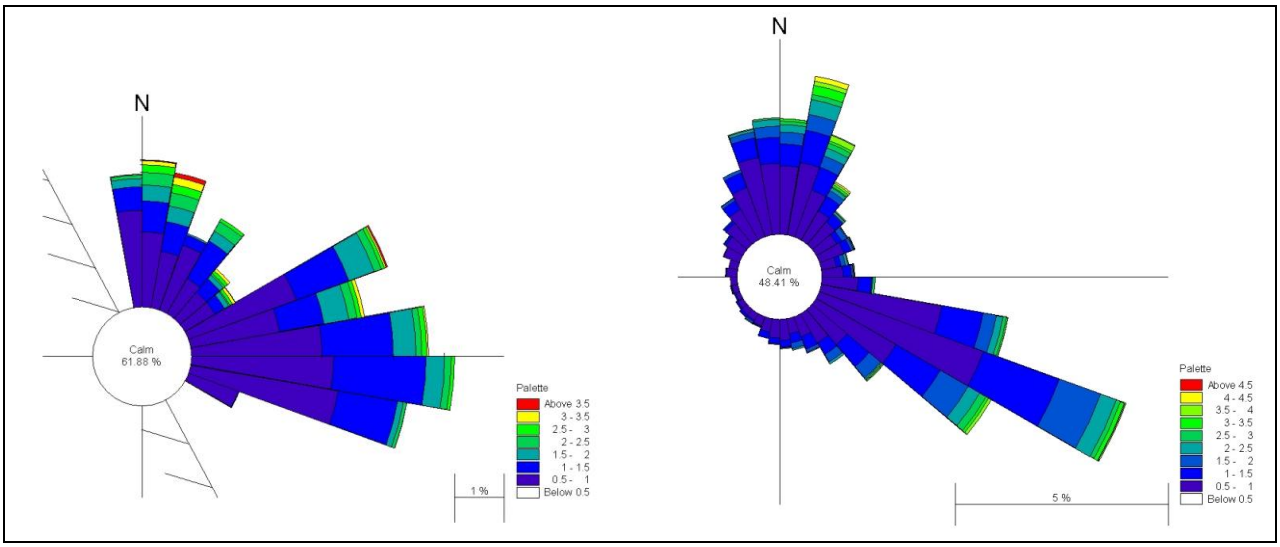


Figura 18 – Confronto tra le onde a largo (a destra) e le onde sottocosta nel paraggio di Giulianova traslate con il modello di rifrazione spettrale NSW

Come si può vedere dal confronto delle rose delle onde a largo e sottocosta, vi è una grande componente di eventi dal settore di SudEst che durante il trasferimento viene ruotato verso direzioni più vicine alla normale alla riva.

Inoltre, benché siano state implementate nel modello le direzioni di 130 e 140°N si è preferito escluderle al fine di tener conto dell'effetto di schermatura del Gargano, come accennato nel paragrafo 2.1.

5. CONCLUSIONI

La raccolta dati ha permesso di caratterizzare il sito dal punto di vista meteomarino. I dati raccolti sono relativi al moto ondoso, alle condizioni anemologiche, alla variazione del livello del mare, alla batimetria dei fondali e alla sedimentologia del materiale di fondo.

In base alle analisi effettuate sui dati ondametrici si è riscontrata un bimodalità del moto ondoso che si ripercuote sull'evoluzione dei litorali adiacenti al porto di Giulianova.

In base alle analisi dei dati anemometrici si riscontra che si ha una forte prevalenza dei regimi di brezza termica, in particolar modo nei periodi estivi, mentre i venti di maggiore intensità spirano dai quadranti settentrionali.

I dati mareometrici cono stati scomposti nella componente astronomica e nella componente meteorologica, ed è stato possibile constatare che le variazioni di livello del mare sono contenute nell'ordine di grandezza delle decine di centimetri.

Per quanto riguarda la batimetria si nota invece una sorta di canyon sottomarino che si diparte dalla testata del molo Sud. Questo argomento verrà descritto nell'allegato riguardante l'impatto delle opere sul litorale.