



# REGIONE MOLISE

DIREZIONE GENERALE IV - SERVIZIO TRASPORTI SU GOMMA OPERE MARITTIME

## REDAZIONE DEL PIANO REGOLATORE PORTUALE DEL PORTO DI TERMOLI

### RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE

MANDATARIA



AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE  
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV  
— UNI EN ISO 9001:2008 —

MANDANTE



MANDANTE

**VIOLA**  
Ingegneri & Architetti Associati



RTI presso: PROGER SPA

Via Po 99 - 66020 San Giovanni Teatino (CH) - Tel 085.44411 - Fax 085.4441230 - e-mail proger@proger.it

PROJECT MANAGEMENT  
P I A N I F I C A Z I O N E P O R T U A L E  
U R B A N I S T I C A , U R B A N D E S I G N  
A R C H I T E T T U R A , A R R E D O U R B A N O  
O P E R E P O R T U A L I , I D R A U L I C A M A R I T T I M A  
T R A S P O R T I , S T U D I D I T R A F F I C O  
G E O L O G I A E G E O T E C N I C A  
S T U D I A M B I E N T A L I

C O N S U L E N T I S C I E N T I F I C I :

dott. Ing. Carlo LISTO RTI  
dott. Ing. Franco GRIMALDI  
dott. Ing. Paolo VIO LA  
dott. arch. Mauro D'INCEDICO  
dott. Ing. Paolo ATZENI  
dott. Ing. Roberto D'ORAZIO  
dott. geol. Mario MASCIARUCCI  
dott. Ing. Carmine MATRICCIANI

prof. Ing. Edoardo BENASSAI  
prof. Ing. Guido BENASSAI

Documento Pre disposto da:

IDROTEC Srl

Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Franco GRIMALDI

Progettisti  
Dott. Ing. Paolo ATZENI  
Dott. Arch. Francesca MAGRI

### PROPOSTA DI PIANO REGOLATORE PORTUALE

#### D - STUDI DI SETTORE E SPECIALISTICI D2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, DINAMICA DEL LITORALE

Questo elaborato è di proprietà del R.T.I., pertanto non può essere rivenduto, né modificato, né in parte o totalmente, senza l'autorizzazione scritta dello stesso. Da non utilizzarsi per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

Redatto		IDROTEC	Commessa	Codice Elaborato					
Ident. FILE		T-PR022-E m.v.l. Molise	PG022	P	00	00	U	ST	02
Data	Rev.	Descrizione	Verificato	Controllato	Approvato	Scala			
01.08.2010	00	EMISSIONE	FG	ROD	SP	-			

**IL RESPONSABILE TECNICO DEL PROGETTO E COORDINATORE  
DELLA INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**  
Dott. Ing. Franco GRIMALDI

**REGIONE MOLISE**  
**Il Responsabile Unico del Procedimento**  
Arch. Domenico POLLICE

**INDICE**

<b>1.</b>	<b>PREMESSE, INQUADRAMENTO DEL PARAGGIO .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.</b>	<b>Riferimenti e scopo della relazione.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.</b>	<b>Caratteristiche generali ed esposizione .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.</b>	<b>Fetch .....</b>	<b>12</b>
<b>2.</b>	<b>ANEMOMETRIA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>15</b>
2.1.1.	<i>Analisi delle frequenze dei venti dal 1952 al 2000 .....</i>	15
2.1.2.	<i>Analisi delle intensità dei venti dal 1952 al 2000 .....</i>	15
2.1.3.	<i>Discussione e interpretazione dei risultati.....</i>	16
<b>3.</b>	<b>MOTO ONDOSO ALLARGO E SOTTOCOSTA.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1.</b>	<b>Moto ondo al largo .....</b>	<b>39</b>
3.1.1.	<i>Clima ondo: fonte dei dati e studi preesistenti.....</i>	39
3.1.2.	<i>Eventi estremi .....</i>	42
3.1.3.	<i>Correlazione tra i parametri ondosi .....</i>	44
<b>3.2.</b>	<b>Moto ondo sottocosta.....</b>	<b>45</b>
3.2.1.	<i>Trasposizione sotto costa degli eventi estremi.....</i>	45
3.2.2.	<i>Clima ondo sotto costa [1] .....</i>	46
<b>4.</b>	<b>STUDIO DELL'AGITAZIONE INTERNA.....</b>	<b>66</b>
<b>4.1.</b>	<b>Condizioni d'onda per il modello di agitazione interna .....</b>	<b>66</b>
<b>4.2.</b>	<b>Il modello utilizzato .....</b>	<b>66</b>
<b>4.3.</b>	<b>Schematizzazione del modello.....</b>	<b>67</b>
<b>4.4.</b>	<b>Agitazione nello stato attuale.....</b>	<b>68</b>
<b>4.5.</b>	<b>Agitazione nella configurazione di PRP.....</b>	<b>72</b>
<b>5.</b>	<b>CORRENTI E MAREE .....</b>	<b>78</b>

<b>5.1.</b>	<b>Dinamica delle correnti marine [1]</b> .....	<b>78</b>
5.1.1.	<i>Circolazione idraulica sottocosta indotta dal moto ondoso</i> .....	78
<b>5.2.</b>	<b>Analisi delle maree</b> .....	<b>90</b>
5.2.1.	<i>Aspetti generali</i> .....	90
5.2.2.	<i>Analisi della componente armonica</i> .....	92
5.2.3.	<i>Analisi della componente meteorologica</i> .....	93
<b>6.</b>	<b>IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA</b> .....	<b>100</b>
<b>6.1.</b>	<b>Caratteristiche generali</b> .....	<b>100</b>
<b>6.2.</b>	<b>Il Bifemo</b> .....	<b>101</b>
<b>7.</b>	<b>DINAMICA LITORANEA, SEDIMENTOLOGIA</b> .....	<b>102</b>
<b>7.1.</b>	<b>Caratterizzazione del trasporto solido</b> .....	<b>102</b>
<b>7.2.</b>	<b>Evoluzione della linea di riva</b> .....	<b>103</b>
<b>8.</b>	<b>GE OLOGIA, GEOMORFOLOGIA, GEOTECHNICA</b> .....	<b>127</b>
<b>8.1.</b>	<b>Inquadramento geologico</b> .....	<b>127</b>
<b>8.2.</b>	<b>Lineamenti geomorfologici</b> .....	<b>129</b>
<b>8.3.</b>	<b>Stratigrafia</b> .....	<b>131</b>
8.3.1.	<i>Argille di Montesecco</i> .....	132
8.3.2.	<i>Sabbie di Serracapriola</i> .....	133
8.3.3.	<i>Conglomerati di Campomarino</i> .....	133
8.3.4.	<i>Sabbie e argille sabbiose con lenti di ciottoli</i> .....	135
8.3.5.	<i>Alluvioni antiche</i> .....	135
8.3.6.	<i>Alluvioni recenti e attuali</i> .....	135
8.3.7.	<i>Sabbie e ghiaie delle spiagge attuali e Sabbie di spiaggia rimaneggiate dal vento</i> .....	136
<b>8.4.</b>	<b>Caratterizzazione geotecnica</b> .....	<b>136</b>
8.4.1.	<i>Indagini</i> .....	136
8.4.2.	<i>Carta dei caratteri geotecnici</i> .....	137
<b>9.</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</b> .....	<b>140</b>

**TABELLE**

Tab. 1.1	Lunghezze del fetch geografico ed efficace per le direzioni del settore di traversia .....	13
Tab. 3.1	Ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [1] – numero di eventi.....	50
Tab. 3.2	Ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [3] – numero di eventi.....	50
Tab. 3.3	Ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [1] – percentuali di occorrenza .....	51
Tab. 3.4	Ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [3] – percentuali di occorrenza .....	51
Tab. 3.5	Ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [1] – percentuali di eccedenza .....	52
Tab. 3.6	Ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [3] – percentuali di eccedenza .....	52
Tab. 3.7	Trasposizione sottocosta del clima ondoso al largo, ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [1] – numero di eventi .....	53
Tab. 3.8	Trasposizione sottocosta del clima ondoso al largo, ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [1] – percentuali di occorrenza .....	53
Tab. 3.9	Trasposizione sottocosta del clima ondoso al largo, ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [1] – percentuali di eccedenza .....	54
Tab. 5.1	Schematizzazione del clima medio annuo mediante quattro onde rappresentative .....	82
Tab. 5.2	Schema dell'impostazione delle condizioni al contorno per l'applicazione del modulo idrodinamico .....	84
Tab. 5.3	Risultato dell'analisi armonica per la stazione di Pescara .....	96
Tab. 7.1	Tassi di accumulo della spiaggia a Sud del molo sud .....	125

**FIGURE**

Fig. 1.1	Diagramma del fetch geografico ed efficace .....	14
Fig. 2.1	Andamento delle frequenze percentuali dei venti suddivise per ottanti .....	20
Fig. 2.2	Andamento delle frequenze percentuali dei venti del I ottante .....	20
Fig. 2.3	Andamento delle frequenze percentuali dei venti del II ottante .....	21
Fig. 2.4	Andamento delle frequenze percentuali dei venti del III ottante .....	22
Fig. 2.5	Andamento delle frequenze percentuali dei venti del IV ottante .....	22
Fig. 2.6	Andamento delle frequenze percentuali dei venti del V ottante .....	23
Fig. 2.7	Andamento delle frequenze percentuali dei venti del VI ottante .....	24
Fig. 2.8	Andamento delle frequenze percentuali dei venti del VII ottante .....	25
Fig. 2.9	Andamento delle frequenze percentuali dei venti del VIII ottante .....	26
Fig. 2.10	Andamento delle frequenze delle calme .....	27
Fig. 2.11	Andamento delle frequenze percentuali dell'intensità dei venti compresa tra 0-10 nodi .....	28
Fig. 2.12	Andamento delle frequenze percentuali dell'intensità dei venti compresa tra 10-20 nodi .....	28
Fig. 2.13	Andamento delle frequenze percentuali dell'intensità dei venti compresa tra 20-30 nodi .....	29
Fig. 2.14	Andamento delle frequenze percentuali dell'intensità dei venti compresa tra 30-40 nodi .....	30
Fig. 2.15	Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del I ottante .....	30
Fig. 2.16	Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del II ottante .....	31
Fig. 2.17	Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del III ottante .....	32
Fig. 2.18	Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del IV ottante .....	33

Fig. 2.19	Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del V ottante .....	33
Fig. 2.20	Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del VI ottante .....	34
Fig. 2.21	Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del VII ottante .....	35
Fig. 2.22	Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del VIII ottante .....	35
Fig. 2.23	Andamento del numero di eventi con intensità maggiore dei 20 nodi e direzione compresa nel settore di traversia .....	36
Fig. 2.24	Andamento del numero degli eventi compresi nel settore di traversia con una durata maggiore di 9 ore e un'intensità maggiore dei 20 nodi .....	37
Fig. 2.25	Inquadramento della linea di costa e degli ottanti inclusi all'interno del settore di traversia .....	38
Fig. 3.1	Tratti di costa individuati in base alla posizione geografica degli ondamenti della RON e di criteri di omogeneità e orientamento del litorale. Rif. [3] .....	55
Fig. 3.2	Rappresentazione polare del clima ondoso per le onde basse. Rif. [3] .....	56
Fig. 3.3	Rappresentazione polare del clima ondoso per le onde medie. Rif. [3] .....	57
Fig. 3.4	Rappresentazione polare del clima ondoso per le onde alte. Rif. [3] .....	58
Fig. 3.5	Confronto tra serie dati RON (rif. [1] e rif. [3]): numero di eventi per settori di 15° .....	59
Fig. 3.6	Confronto tra serie dati RON (rif. [1] e rif. [3]): occorrenze per settori di 15° .....	59
Fig. 3.7	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 315°N .....	60
Fig. 3.8	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 330°N .....	60
Fig. 3.9	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 345°N .....	61
Fig. 3.10	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 0°N .....	61
Fig. 3.11	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 15°N .....	62

Fig. 3.12	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 30°N .....	62
Fig. 3.13	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 45°N .....	63
Fig. 3.14	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 60°N .....	63
Fig. 3.15	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 75°N .....	64
Fig. 3.16	Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 90°N .....	64
Fig. 3.17	Rappresentazione sul piano probabilistico della statistica degli eventi estremi al largo – ondametro di Ortona (fonte: "Atlante delle Onde", APAT) .....	65
Fig. 4.1	Layout ed indici di riflessione utilizzati per le simulazioni della agitazione interna (stato attuale).....	69
Fig. 4.2	Simulazione 1, stato attuale: dir = 55.8°N; T <sub>R</sub> = 10 anni; H <sub>S</sub> = 4.4 m; T <sub>P</sub> = 8.5 s.....	70
Fig. 4.3	Simulazione 2, stato attuale: dir = 88.7°N; T <sub>R</sub> = 10 anni; H <sub>S</sub> = 3.2 m; T <sub>P</sub> = 7.1 s.....	71
Fig. 4.4	Layout ed indici di riflessione utilizzati per la simulazione 3 (configurazione di PRP) .....	74
Fig. 4.5	Simulazione 3, PRP: dir = 55.8°N; T <sub>R</sub> = 10 anni; H <sub>S</sub> = 4.4 m; T <sub>P</sub> = 8.5 s ....	74
	<i>(primo braccio sopraflutto con riflessione ridotta)</i> .....	74
Fig. 4.6	Layout ed indici di riflessione utilizzati per le simulazione 3bis, 4, 5 e 6 (configurazione di PRP).....	75
Fig. 4.7	Simulazione 3bis, PRP: dir = 55°N; T <sub>R</sub> = 10 anni; H <sub>S</sub> = 4.4 m; T <sub>P</sub> = 8.5 s ...	75
	<i>(opere portuali riflettenti)</i> .....	75
Fig. 4.8	Simulazione 4, PRP: dir = 76.9°N; T <sub>R</sub> = 10 anni; H <sub>S</sub> = 3.1 m; T <sub>P</sub> = 7.1 s ....	76
	<i>(opere portuali riflettenti)</i> .....	76
Fig. 4.9	Simulazione 5, PRP: dir = 88.7°N; T <sub>R</sub> = 10 anni; H <sub>S</sub> = 3.2 m; T <sub>P</sub> = 7.1 s ....	76
	<i>(opere portuali riflettenti)</i> .....	76

Fig. 4.10	Simulazione 6, PRP: dir = 120°N; $T_R = 10$ anni; $H_B = 1.0$ m; $T_P = 5.0$ s ..... 77
	<i>(opere portuali riflettenti)</i> ..... 77
Fig. 5.1	Campo delle velocità con layout 0 (attuale) e onda con $H_s = 1.5$ m, $T_p = 5.39$ s, Dir. = 345.2°N ..... 86
Fig. 5.2	Campo della velocità con layout 0 (attuale) e onda con $H_s = 2.5$ m, $T_p = 6.96$ s, Dir. = 1.1°N ..... 87
Fig. 5.3	Campo della velocità con layout 0 (attuale) e onda con $H_s = 2.0$ m, $T_p = 6.22$ s, Dir. = 44.7°N ..... 88
Fig. 5.4	Campo delle velocità con layout 0 (attuale) e onda $H_s = 1.5$ m, $T_p = 5.39$ s, Dir. = 89.7°N ..... 89
Fig. 5.5	Posizione dello strumento di misura del livello del mare all'interno del porto di Pescara ..... 97
Fig. 5.6	Scomposizione mediante filtro passa-basso della marea rilevata in una componente astronomica e meteorologica ..... 97
Fig. 5.7	Confronto tra le ampiezze delle varie componenti armoniche individuate con l'analisi dei tre periodi presi in considerazione ..... 98
Fig. 5.8	Ricostruzione della marea astronomica con l'utilizzo delle costanti armoniche ricavate con il metodo IOS ..... 99
Fig. 5.9	Grafico rappresentante due giorni della marea ricostruita per Pescara nel quale si individua il tipico andamento della marea mista ..... 99
Fig. 7.1	Stralcio dell'Atlante delle Spiagge Italiane che riproduce il tratto di costa oggetto di studio ..... 105
Fig. 7.2	Evoluzione del litorale sud da 2000 al 2006 ..... 106
Fig. 7.3	Campo della capacità di trasporto solido con il clima annuo nella configurazione attuale ..... 107
Fig. 7.4	Campo della capacità di trasporto solido generato dalle onde provenienti dal IV e I Quadrante con il layout del porto nella configurazione attuale ..... 108
Fig. 7.5	Campo di trasporto solido generato dalle onde provenienti dal I Quadrante con il layout del porto nella configurazione attuale ..... 109
Fig. 7.6	Campo della capacità di trasporto solido con il clima medio annuo nella configurazione di progetto ..... 111
Fig. 7.7	Campo della capacità di trasporto solido generato dalle onde provenienti dal IV e I Quadrante con il layout del porto nella configurazione di progetto .. 112

Fig. 7.8	Campo della capacità di trasporto solido generato dalle onde provenienti dal II Quadrante con il layout del porto nella configurazione di progetto .....	113
Fig. 7.9	Ubicazione dei profili su cui è stato applicato il modello LITDRIFT .....	114
Fig. 7.10	Trasporto solido calcolato sul profilo nord.....	116
Fig. 7.11	Trasporto solido calcolato sul profilo sud .....	117
Fig. 7.12	Trasporto solido calcolato sul profilo sud1 .....	118
Fig. 7.13	Calibrazione del modello LITLINE nei tratti nord e sud.....	120
Fig. 7.14	Risultato globale della calibrazione del modello LITLINE .....	121
Fig. 7.15	Evoluzione della linea di riva al 2025 nella configurazione attuale <b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>	
Fig. 7.16	Evoluzione della linea di riva al 2025 nella configurazione di progetto <b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>	
Fig. 8.1	Avanfossa adriatica nel Pliocene Inferiore .....	128
Fig. 8.2	Spiaggia e ambiente di retrospiaggia in prossimità della foce del F. Biferno .....	130
Fig. 8.2	Colonna stratigrafica della successione Plio-Pleistocenica .....	131
Fig. 8.4	Zona Guglionesi.....	132
Fig. 8.5	Strato torbiditico .....	132
Fig. 8.6	Affioramento delle Sabbie di Serracapriola in una cava nei pressi di Campomarino. ....	133
Fig. 8.7	Facies ciottolosa nella formazione conglomeratica nei pressi dell'ex Mulino Pallante .....	134
Fig. 8.8	Passaggio netto tra i Conglomerati di Campomarino e le Sabbie di Serracapriola nei pressi di Campomarino .....	134

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

## 1. PREMESSE, INQUADRAMENTO DEL PARAGGIO

### 1.1. Riferimenti e scopo della relazione

Lo scrivente R.T.I., con Atto aggiuntivo approvato con Delibera G.R. n° 1021 del 13/10/2009, sottoscritto il 10/12/2009 e registrato il 10/12/2009 al n° 1988 è stato incaricato dalla Regione Molise, Direzione Generale IV, Servizio Trasporti su Gomma e Opere Marittime di eseguire elaborazioni e studi relativi al nuovo Piano Regolatore Portuale (nel seguito PRP) di Termoli, integrativi rispetto a quanto previsto dall'incarico iniziale, Rep. n° 1967, stipulato il 29/05/2008 e registrato il 05/06/2008 al n° 295, serie 1<sup>a</sup>.

Tra le attività previste dall'Atto aggiuntivo è compreso:

**"Studio meteomarinno** - ..... dovrà redigere, nell'ambito delle attività di PRP, uno studio sintetico inerente la modifica delle correnti marine e la erodibilità della costa limitrofa a seguito della predisposizione del progetto di PRP, mediante simulazione a computer riferite ai venti ed alle correnti predominanti".

Con il presente elaborato si è ritenuto opportuno trattare l'argomento nell'ambito più ampio dei fenomeni fisici che caratterizzano il paraggio nella situazione attuale ("quadro conoscitivo") ed in prospettiva ("quadro previsionale"), a seguito della realizzazione delle opere previste dal nuovo PRP.

In particolare sono discussi con riferimento alle due diverse configurazioni delle opere (attuale e di PRP) i principali fenomeni di idraulica marittima e morfologia costiera:

- l'agitazione ondosa residua negli specchi acquei portuali (capitolo 4);
- la dinamica costiera e l'evoluzione dei litorali limitrofi (capitolo 7).

Nei rimanenti capitoli sono trattati i seguenti aspetti, relativi a fenomeni che non subiscono variazioni significative a seguito della attuazione del PRP:

- anemometria (capitolo 2);
- moto ondoso al largo e sottocosta (capitolo 3);
- correnti e marea (capitolo 5);
- idrologia e idrogeologia (capitolo 6);

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_#RAPPOR TO D.2_ASPETTI bid_U#5.doc	
PGD22	
USTD2 - Re U. 00	Pag. 10 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINICO, REGIME DEL LITORALE

- geologia, geomorfologia, geotecnica (capitolo 8).

Le elaborazioni presentate nel seguito sono tratte – per taluni aspetti – su studi e ricerche a vario titolo disponibili alla Regione, opportunamente aggiornate ed integrate ove necessario.

Sono state in particolare oggetto di rilettura critica e di raffronti con il comportamento effettivamente rilevato gli studi e le simulazioni modellistiche dei fenomeni evolutivi del litorale, riscontrandone l'affidabilità ed affinando le conseguenti previsioni di ulteriore dinamica in presenza delle opere previste dal PRP.

## 1.2. Caratteristiche generali ed esposizione <sup>(1)</sup>

Il tratto di costa ove è collocato il porto di Termoli è situato lungo il litorale Adriatico ed ha un orientamento della riva Nord Ovest-Sud Est. La costa è costituita essenzialmente da spiaggia bassa con un piccolo tratto di circa 200 m di roccia in cui trova sede il porto di Termoli. Le coordinate geografiche del sito sono 42°00'17"N 15°00'18"E o, nel sistema di riferimento UTM fuso 33, e=500418 e n=4650394.

Le spiagge adiacenti al porto (a NO e a SE) sono essenzialmente sabbiose con una pendenza di circa 1.2% a NO e di circa 0.5% a SE. Entrambi i litorali adiacenti risultano in erosione tranne il tratto di circa 900 m ridossato dal molo di sopraflutto del porto, che appare in evidente accrescimento.

A circa 3 km verso Sud dal porto si trova il Fiume Biferno, mentre a Nord si trova il Fiume Trigno a circa 18 km.

Nel tratto di SE sono inoltre presenti una serie di scogliere parallele a riva che si posizionano tra il molo sud del porto e la foce del Fiume Biferno.

Dall'atlante delle spiagge, edito dal CNR, è possibile individuare una dinamica litoranea del trasporto solito long-shore diretta da Nord Ovest verso Sud Est. Tuttavia appare ragionevole pensare che nel tratto di circa 900 m a Sud del porto vi siano delle dinamiche in controtendenza dato l'evidente avanzamento rilevato negli ultimi decenni.

<sup>(1)</sup> tratto da rif. [1]

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 11 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

La costa sulla quale giace il porto presenta un punto di cuspidi il cui tratto Nord ha la normale alla riva orientata di circa 8°N, mentre il tratto Sud è costituito da un'ampia falciatura che ha mediamente la normale orientata verso Est.

Il porto di Termoli è costituito da un molo sopraflutto lungo circa 800 m e suddiviso in due tratti, uno orientato lungo la direzione 80°N e l'altro lungo la direzione 135°N e da un molo di sottoflutto non soggetto a ondazioni importanti lungo circa 230 m orientato lungo la direzione di 78°N.

Il settore di traversia che compete il sito di Termoli è compreso tra le direzioni 307°N in cui si incontra Punta Penna a circa 31 km (16 nm) e la direzione 93°N in cui si incontra il litorale di Peschici a circa 85 km (46 nm). Considerata la percentuale di occorrenza delle altezze d'onda maggiori è possibile considerare un settore di traversia principale orientato da 307 a 45°N ed un settore di traversia secondario da 45 a 93°N.

Nonostante siano stati individuati per l'inquadramento geografico del sito di studio, i settori di traversia non saranno necessari per la ricostruzione del clima ondoso in quanto si hanno a disposizione le tabelle di occorrenza delle altezze d'onda e dei periodi significativi e di picco rilevati dalla boa della Rete Ondametrica Nazionale situata a largo di Ortona a circa 50 km a Nord di Termoli. Sarà pertanto sufficiente applicare un modello di rifrazione spettrale che comprenda nel dominio di calcolo il paraggio di Ortona, nel quale applicare le ondazioni rilevate. Il settore di traversia sarà peraltro necessario per limitare l'ampiezza dei settori di provenienza delle ondazioni rilevate ad Ortona.

### 1.3. Fetch <sup>(1)</sup>

Il Fetch è l'area di mare libero nel quale, per effetto del vento, ed, in generale, delle perturbazioni, si ha la possibilità della formazione del moto ondoso. Al fine di semplificare e rendere più utilizzabile il dato di Fetch è d'uso riferirsi alla lunghezza del Fetch per una data direzione. Generalmente nei nostri mari si considera come lunghezza di fetch geografico lungo una data direzione distanza del paraggio dalla costa opposta fino alla distanza massima di 600 km. È necessario però fare delle correzioni per la determinazione dell'effettiva lunghezza lungo la quale si può generare

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*\RAPPORTO D.2_ASPETTI FISICI_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 12 di 140

uno stato di agitazione del mare, infatti le coste opposte non sono mari regolari ed oltremodo vi è sempre un contributo alla generazione delle onde da parte delle direzioni adiacenti.

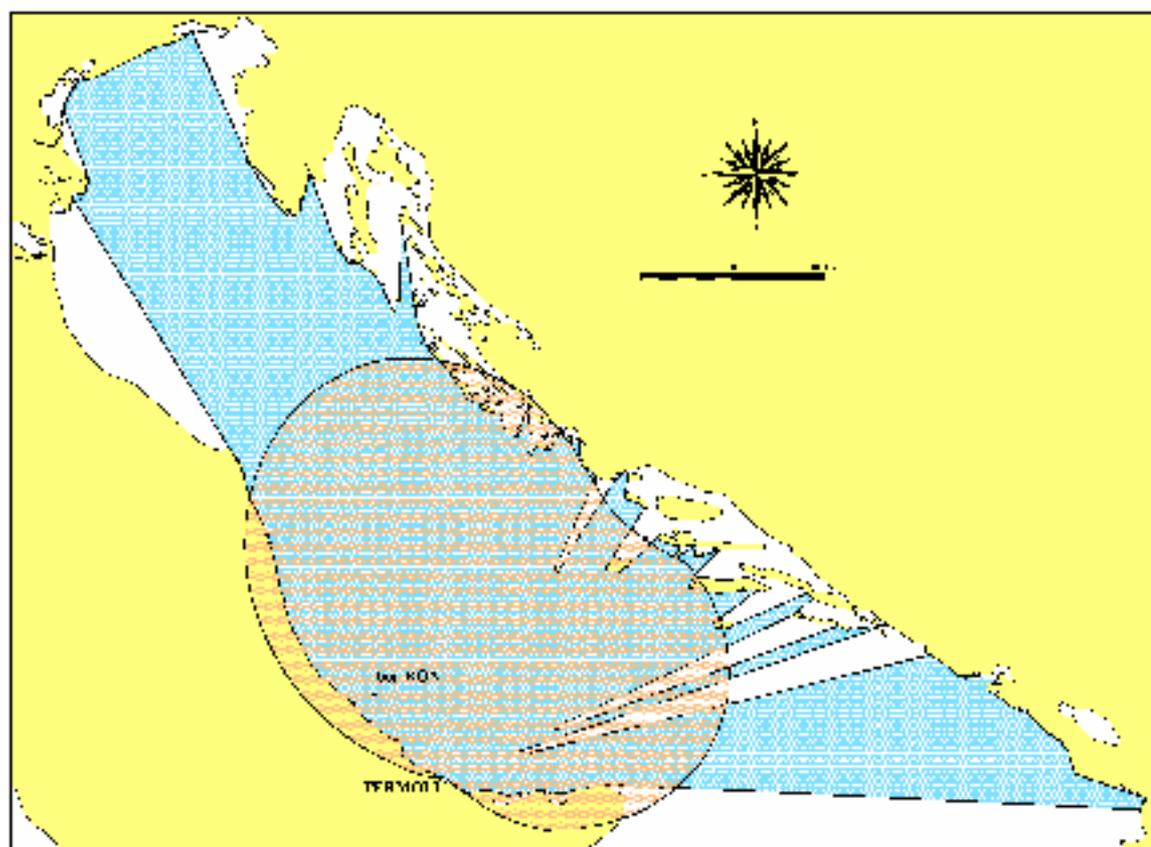
Come suggerito dallo Shore Protection Manual il calcolo del fetch viene eseguito considerando una serie di direzioni principali, per ognuna di esse si considerano due settori di 30° a destra e a sinistra e all'interno di questi settori si considerano dei raggi ogni 3°. Il fetch efficace per ognuna delle direzioni del fetch definita sarà la media aritmetica di tali raggi.

Un'altra metodologia per la definizione dei fetch efficaci è quello di considerare la proiezione dei raggi ogni 3° sulla direzione principale del fetch e quindi fare la media pesata in base all'angolo della lunghezza di tali proiezioni.

Nella Tabella 1.1 sono riportati i fetch geografici ed efficaci in km e in miglia nautiche calcolati con l'ultimo metodo descritto.

Fetch Geografico km	Direzione	Fetch efficace in km (miglia nautiche)
125.7	315°N	253 (136)
433.5	330°N	252 (136)
331.7	345°N	248 (134)
224.5	0°N	257 (139)
191.2	15°N	248 (134)
199.9	30°N	220 (119)
183.2	45°N	223 (121)
218.5	60°N	219 (118)
275.1	75°N	224 (121)
364.9	90°N	231 (125)

**Tab. 1.1 Lunghezze del fetch geografico ed efficace per le direzioni del settore di traversia**



**Fig. 1.1** Diagramma del fetch geografico ed efficace

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOROLOGICO, REGIME DEL LITORALE

## 2. ANEMOMETRIA <sup>(2)</sup>

### 2.1. Premessa

I dati utilizzati per l'analisi anemometria, fanno riferimento alla stazione meteorologica dell'Aeronautica Militare localizzata sul castello di Termoli; e comprendono registrazioni triorarie dell'intensità e della direzione dei venti per un periodo che va dal 1952 al 2000. L'elaborazione dei dati anemometrici è stata organizzata seguendo le seguenti fasi:

- I. analisi delle frequenze dei venti suddivise per ottanti;
- II. analisi delle intensità dei venti per ottanti e classi di intensità;
- III. analisi degli eventi particolarmente intensi che si sono succeduti nel tempo;
- IV. analisi stagionali delle intensità, frequenze e direzione dei venti.

#### **2.1.1. Analisi delle frequenze dei venti dal 1952 al 2000**

Per l'analisi delle frequenze si sono realizzati dei grafici di frequenza 3D (Fig. 2.1) con l'ausilio di appositi software, ottenendo così dei grafici che sulle ascisse riportano gli anni, sulle ordinate gli ottanti e sul terzo asse un colore che indica il valore percentuale delle frequenze. Più il colore si avvicina alla gradazione del rosso più il valore di frequenza percentuale dei venti è elevata; al contrario la gradazione del blu indica delle basse frequenze (al blu scuro corrisponde una bassa frequenza).

Per un quadro più dettagliato delle frequenze dei venti nei diversi ottanti, sono stati realizzati, per ogni ottante, degli istogrammi di frequenza, risultatiti anche utili per individuare eventuali trend delle frequenze (Figg. 2.2+2.9). Gli istogrammi in rosso (Figg. 2.2, 2.3, 2.4 e 2.9), indicano le frequenze percentuali degli ottanti compresi nel settore di traversia (il settore di traversia è compreso tra 310° e 110° Nord, e comprende i venti del I-II-III ottante e solo parzialmente quelli del III ottante).

#### **2.1.2. Analisi delle intensità dei venti dal 1952 al 2000**

<sup>(2)</sup> tratto da rif. [2]

G:\PG 22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_RAPPOR TO D 2 ASPETTI bid_U#5.doc	
PG022	
UST02 - Re U. 00	Pag. 15 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

L'analisi delle frequenze dei venti implica inevitabilmente uno studio delle intensità dei venti; spesso infatti l'alta frequenza dei venti non è sinonimo di elevata intensità e viceversa. Nell'ambito di uno studio sulla dinamica litorale i venti con maggiore intensità e frequenza minore risultano essere i più significativi in quanto sono i principali responsabili dell'azione del moto ondoso e dunque della formazione di correnti litoranee. L'obiettivo principale di questa fase di studio è stato quello di osservare le variazioni di intensità che hanno interessato i venti nell'ultimo cinquantennio, verificando se i venti più intensi sono stati anche i più frequenti o viceversa.

Tale studio, realizzato sempre per ogni ottante, è stato eseguito utilizzando le stesse metodologie già illustrate nel paragrafo precedente (cfr. Figg. da 2.10 a 2.24).

Poiché i valori di intensità dei venti sono molto importanti per studiare la dinamica litorale, sono stati individuati, per ogni ottante, il numero di eventi con intensità maggiore dei 20 nodi e con una persistenza maggiore delle sei ore. Tale elaborazione ha riguardato solo gli ottanti compresi nel settore di traversia, al fine di individuare l'ottante che negli ultimi anni ha generato un maggior numero di ondate. Il terzo ottante, poiché in tutto il cinquantennio, non ha registrato eventi con intensità maggiore dei 20 nodi e persistenza maggiore delle 6 ore, non è stato incluso nei grafici.

In ultima analisi, è stato realizzato un grafico che prende in considerazione il numero di eventi con intensità maggiore dei 20 nodi ma con persistenza superiore alle 9 ore. In questo modo è stato molto più facile osservare il trend che ha caratterizzato i venti con persistenza maggiore delle 9 ore, rispetto a quelli con persistenza maggiore di 6 ore.

### **2.1.3. *Discussione e interpretazione dei risultati***

Dall'analisi dei grafici relativi ai soli venti compresi nel settore di traversia emerge che quelli del I ottante (NNE) hanno registrato valori di frequenza prevalentemente ciclici, tranne che per gli ultimi 2 anni di analisi dove si sono osservati dei valori minimi assoluti mai registrati nell'intero cinquantennio. Anche se, nell'arco dei cinquant'anni considerati, la frequenza dei venti da NNE è diminuita, non è un risultato sufficiente ai fini di una completa analisi del regime anemometrico. E' necessario infatti, porre particolare attenzione all'intensità di questi venti ed in particolare alle classi con valori massimi di

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*\RAPPORTO D.2 ASPETTI fisici.doc	
PGD22	
USTD2 - Re U. 00	Pag. 16 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

intensità responsabili delle mareggiate più forti. A tal proposito è possibile notare come le intensità comprese tra 0-10 e 10-20 nodi risultino essere molto significative in quanto, raggiungono rispettivamente valori di frequenza compresi tra il 60-80 % e il 20-40 %.

Inoltre è possibile notare anche una perfetta specularità tra le due curve che sottolinea una probabile dipendenza tra le due classi rappresentata dal fatto che ad un aumento delle intensità tra 0-10 nodi corrisponde una attenuazione dei venti con intensità comprese tra 10-20 nodi (Fig. 2.15).

Per intensità tra 20-30 nodi, quindi intensità molto alte, si hanno valori di frequenza compresi tra 0-10%, ma negli ultimi 3 anni di analisi tale percentuale è aumentata diventando prossima al 20 % seguendo un andamento esponenziale. Per i venti con intensità massima cioè di 30-40 nodi, si sono riscontrati eventi casuali nell'intero cinquantennio e dunque poco significativi.

Per quanto riguarda la persistenza dei venti da NNE con velocità maggiore dei 20 nodi, vediamo che risultano raggiungere valori piuttosto rappresentativi anche se inferiori rispetto ai venti compresi nell'VIII ottante (Figg. 2.23 e 2.24).

Riassumendo, i venti da NNE sono i più significativi nelle classi di intensità più alte, pur avendo una frequenza che negli ultimi anni sembra essersi ridotta; e valori di persistenza abbastanza alti sia per una durata maggiore delle 6 ore e sia per una durata maggiore delle 9 ore. A tal proposito, i venti da NNE sono stati classificati come venti regnanti e non accidentali dunque osservabili solo su un lungo periodo.

Per quanto riguarda la direzione di tali venti rispetto all'orientamento della costa, vediamo che essi formano un angolo approssimativo compreso tra 0-45° N e dunque perpendicolare alla linea di costa con conseguente effetto di massima erosione (Fig. 2.25).

Oltre ai venti da NNE, nel settore di traversia, risultano essere compresi anche i venti da ENE (II ottante), che rispetto ai precedenti si sono contraddistinti per la loro intensità e frequenza. Dall'analisi delle loro frequenze è emerso un risultato molto importante che ha convalidato le ipotesi fatte in principio e confermato il ruolo fondamentale dei fattori climatici nell'ambito di uno studio di questo tipo. Il risultato sorprendente riguarda i venti

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI_U05.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 17 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOROLOGICO, REGIME DEL LITORALE

da ENE per i quali sono stati registrati valori massimi di intensità per le classi tra 20-30 e 30-40 nodi. Infatti basta dare un'occhiata ai grafici (Figg. 2.13 e 2.14), per capire che tali venti risultano essere, nell'intero cinquantennio considerato, i più intensi per periodi brevi ma ripetuti nel tempo. Il cambiamento più sostanziale ha dunque interessato le intensità comprese tra 30-40 nodi dei venti da ENE ed è iniziata intorno al 1976 per terminare intorno al 1996. C'è inoltre da precisare che la frequenza di tali venti non è molto alta (circa 10%), questo sottolinea il fatto che pur essendo meno frequenti (Fig. 2.1), sono i più intensi. Il risultato ottenuto conferma essenzialmente che le frequenze non sono relazionate alle intensità e dunque venti poco frequenti possono essere anche molto intensi e viceversa.

I venti da ENE con intensità maggiore dei 20 nodi, hanno valori di persistenza meno alti rispetto ai venti da NNE e NNW; infatti si sono osservati valori casuali per un massimo di 9 ore. Questo risultato ha permesso di inquadrare meglio il regime anemometrico rappresentativo di questi venti che nell'arco di un anno appaiono poco, ma quando appaiono sono molto intensi e persistono per un massimo di 6 ore e solo casualmente per un massimo di 9 ore. Questo risultato è molto importante perché potrebbe preannunciare una fase di transizione da un regime anemometrico con direzione NNE a un altro con direzione ENE. Tali venti sono classificabili come venti accidentali che si manifestano solo nel breve periodo e possono essere individuati solo in seguito ad un'analisi anemometrica estesa ad un intervallo temporale piuttosto ampio (minimo 50 anni).

L'importante risultato ottenuto trova involontariamente una evidente correlazione con le intensità dei venti da NNW, che risultano essersi attenuate come per bilanciare l'aumento delle intensità dei venti da ENE.

Infatti tra il 1976 e il 1996, l'intensità dei venti da NNW compresa tra 20-30 e 30-40 nodi, sembra azzerarsi per poi riprendersi tra il 1995 e il 2000 con intensità pari al 5 %, mentre i venti da NNE subiscono, nello stesso intervallo di tempo, un improvviso aumento delle intensità nelle stesse classi prese in esame.

Dall'osservazione delle frequenze emerge che il trend di distribuzione è casuale e dunque poco significativo ai fini di particolari considerazioni determinanti.

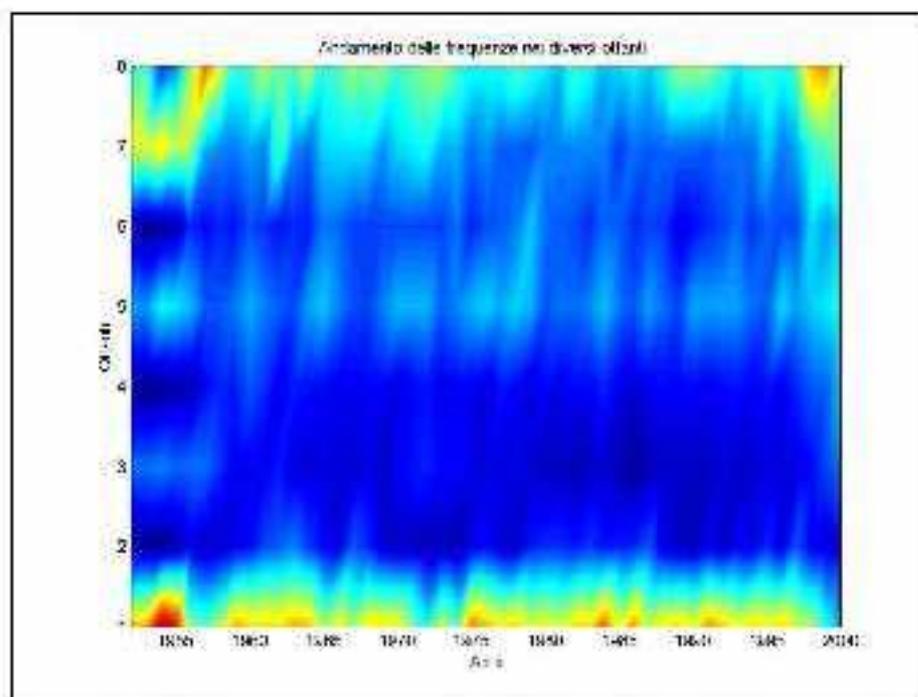
G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_*.RAPPOR TO D.2_ASPETTI FISICI_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 18 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

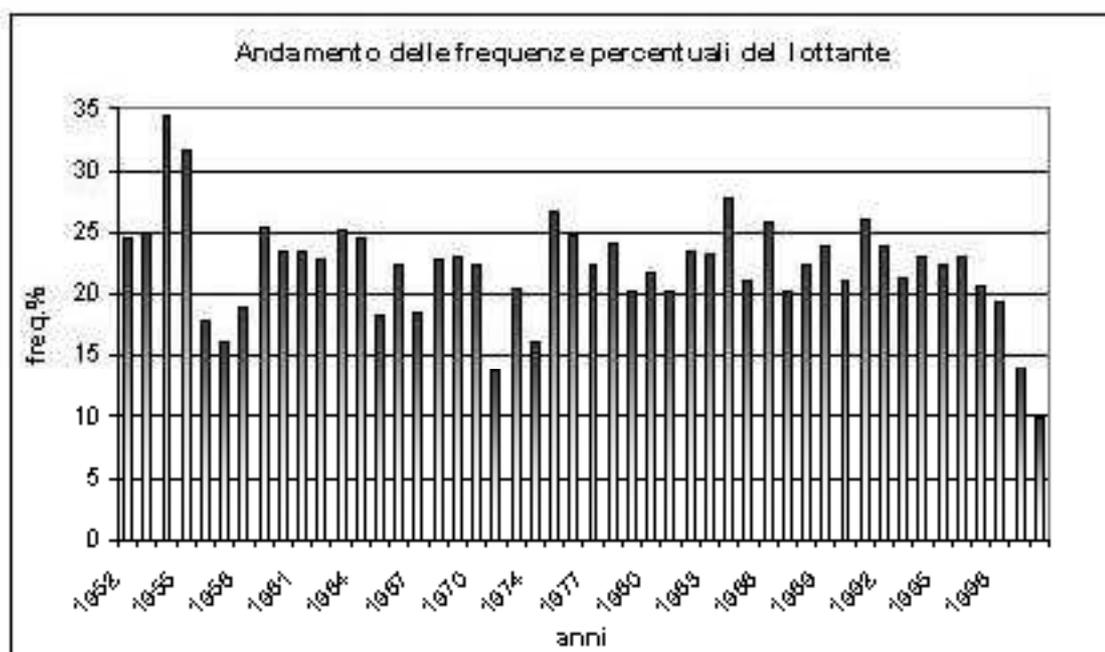
Per i venti da NNW sono risultati valori massimi di persistenza per intensità maggiore dei 20 nodi. Questo significa che i venti da NNW, in un discorso a lungo periodo sono classificabili come venti regnanti insieme ai venti da NNE e i più frequenti su un lungo periodo.

Al contrario, in un discorso a breve periodo, cioè confinato ad eventi sporadici molto intensi, ma che non persistono per molte ore, i venti da ENE meritano una grande attenzione poiché sono risultati dominanti in termini di intensità per circa 20 anni. Tale periodo coincide con la massima erosione a cui alcune spiagge molisane quali quella di Rio Vivo sono andate incontro. Infatti osservando l'angolo di incidenza dei venti da ENE sulla linea di costa (orientata NW-SE), si nota che tale direzione, risulta essere perpendicolare al tratto di costa a Sud del Porto; invece a Nord del porto l'angolo di incidenza è minore, pertanto l'erosione risulta essere direttamente proporzionale a tale angolo di incidenza.

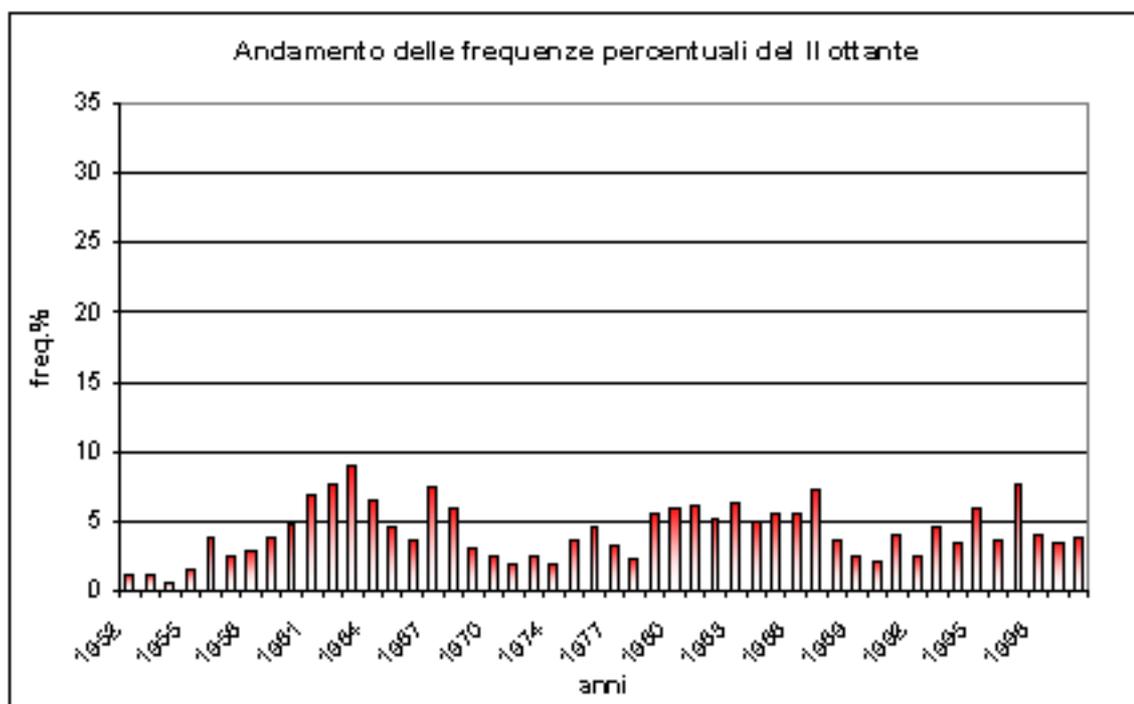
G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPORTO D.2_ASPETTI fisici_U05.doc	
PGD22	
USTD2 - RLU.DD	Pag. 19 di 140



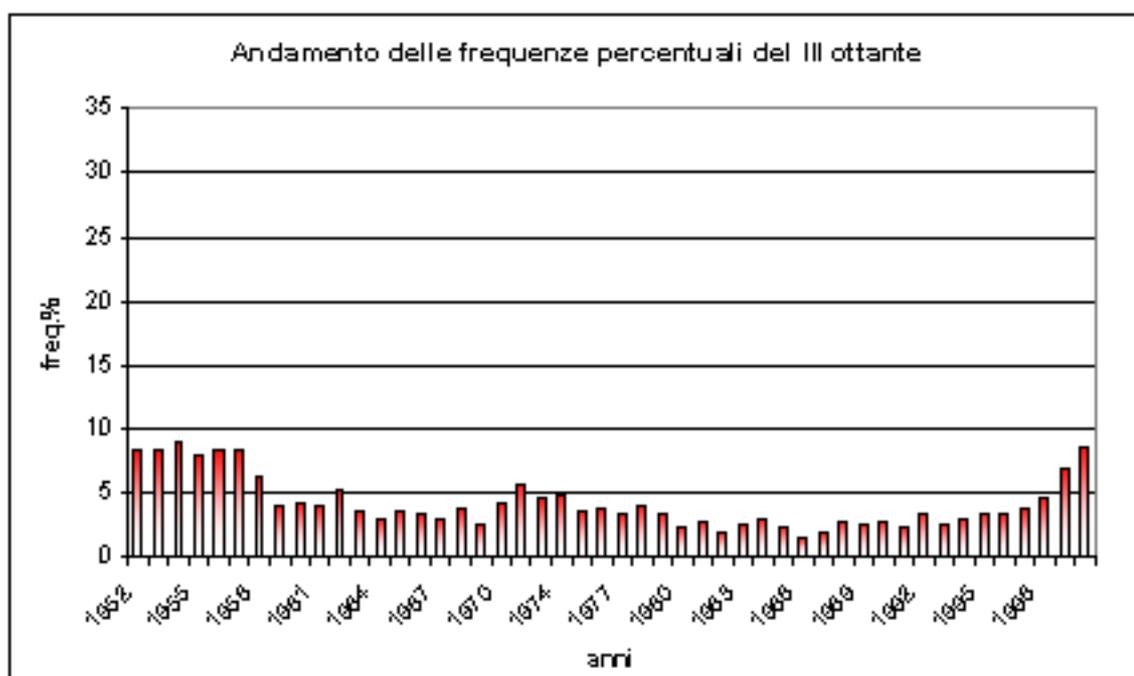
**Fig. 2.1** Andamento delle frequenze percentuali dei venti suddivise per ottanti



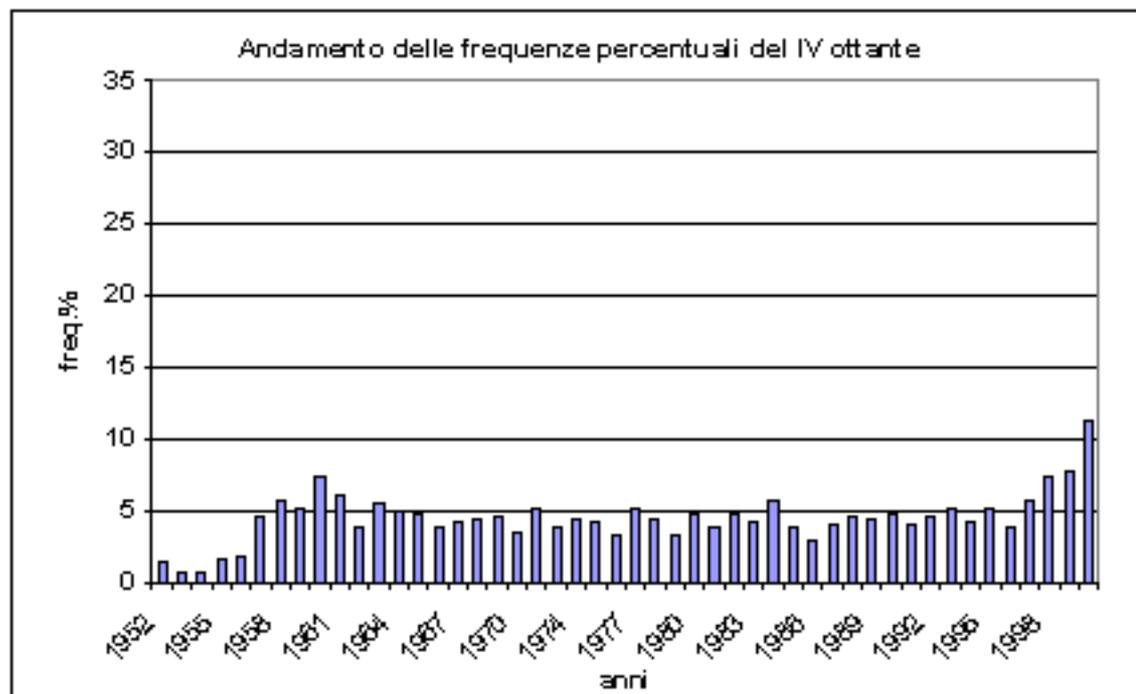
**Fig. 2.2** Andamento delle frequenze percentuali dei venti del I ottante



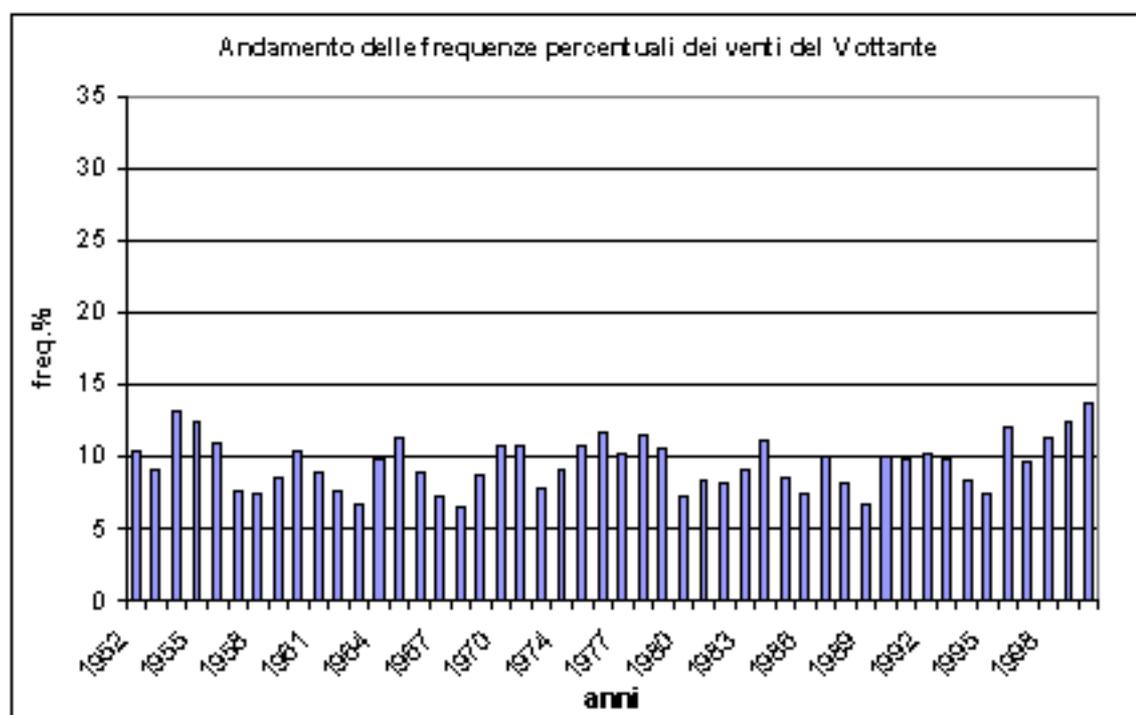
**Fig. 2.3 Andamento delle frequenze percentuali dei venti del II ottante**



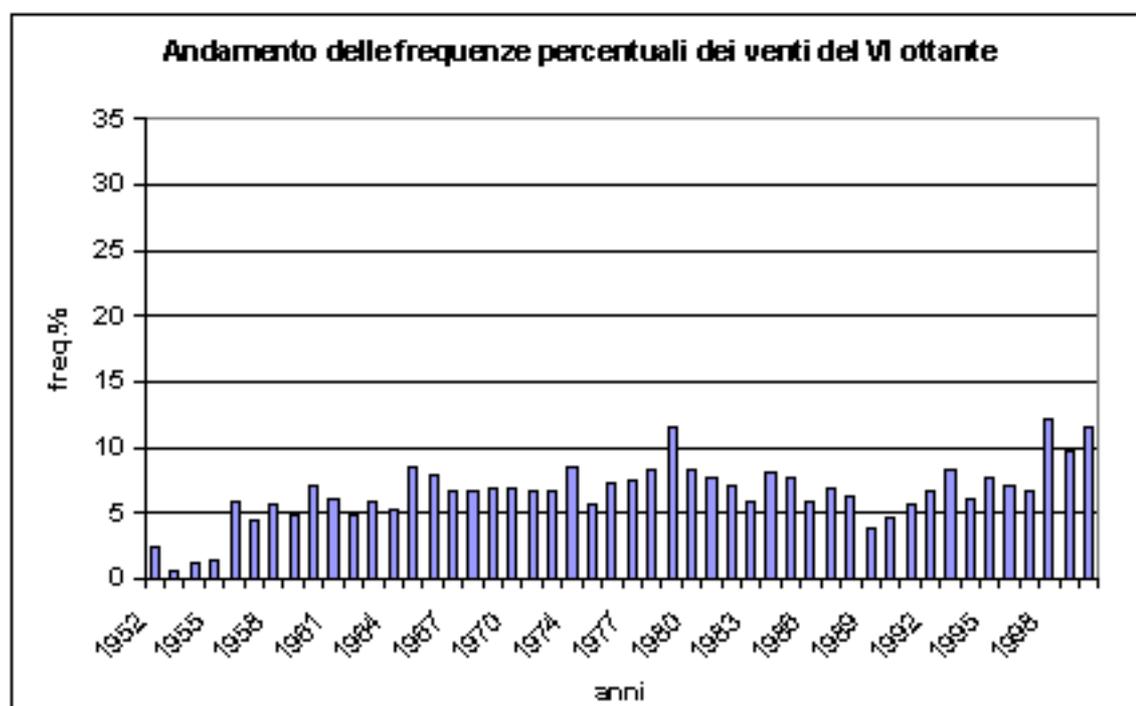
**Fig. 2.4 Andamento delle frequenze percentuali dei venti del III ottante**



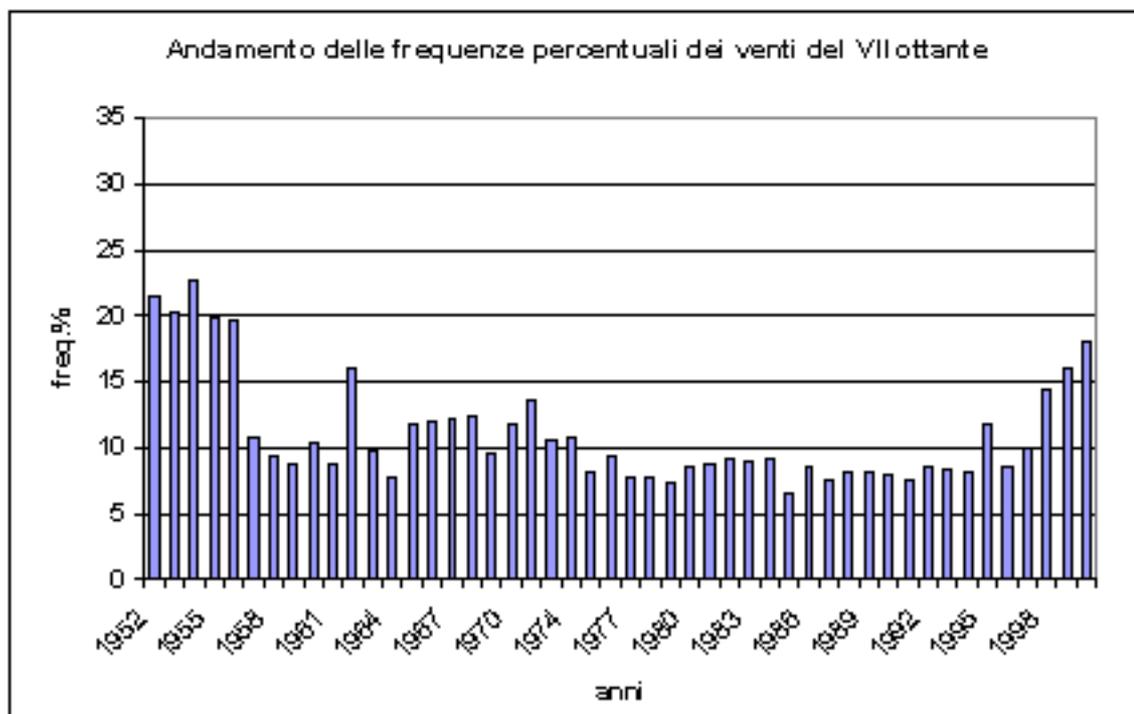
**Fig. 2.5 Andamento delle frequenze percentuali dei venti del IV ottante**



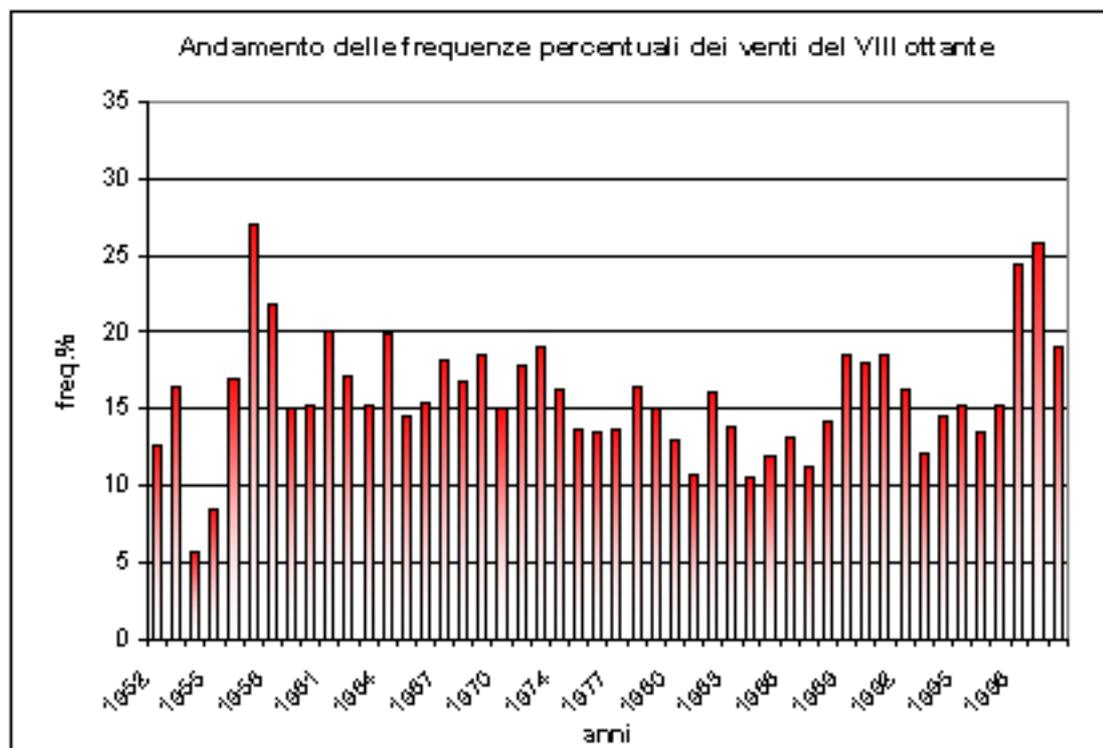
**Fig. 2.6 Andamento delle frequenze percentuali dei venti del V ottante**



**Fig. 2.7 Andamento delle frequenze percentuali dei venti del VI ottante**



**Fig. 2.8 Andamento delle frequenze percentuali dei venti del VII ottante**



**Fig. 2.9** Andamento delle frequenze percentuali dei venti del VIII ottante

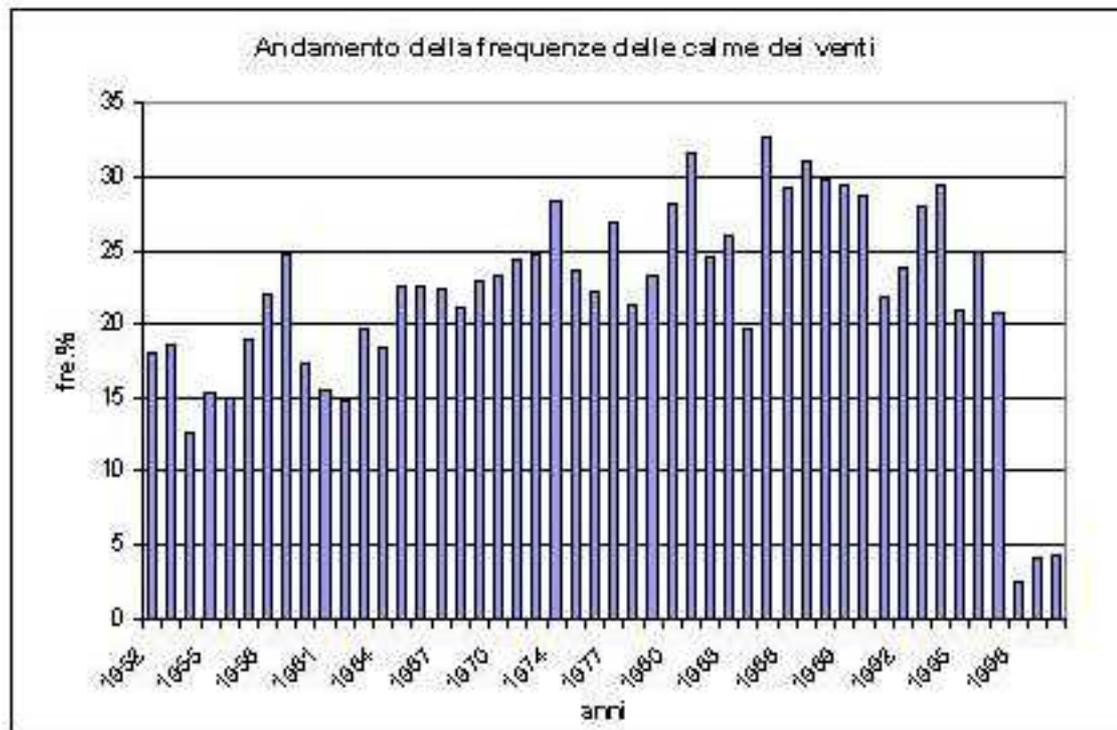
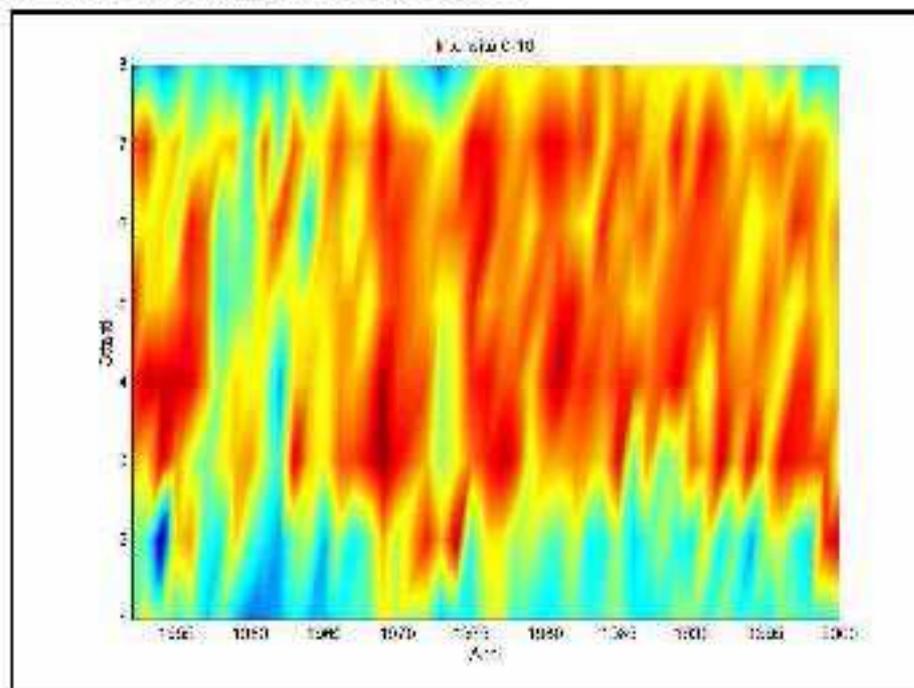
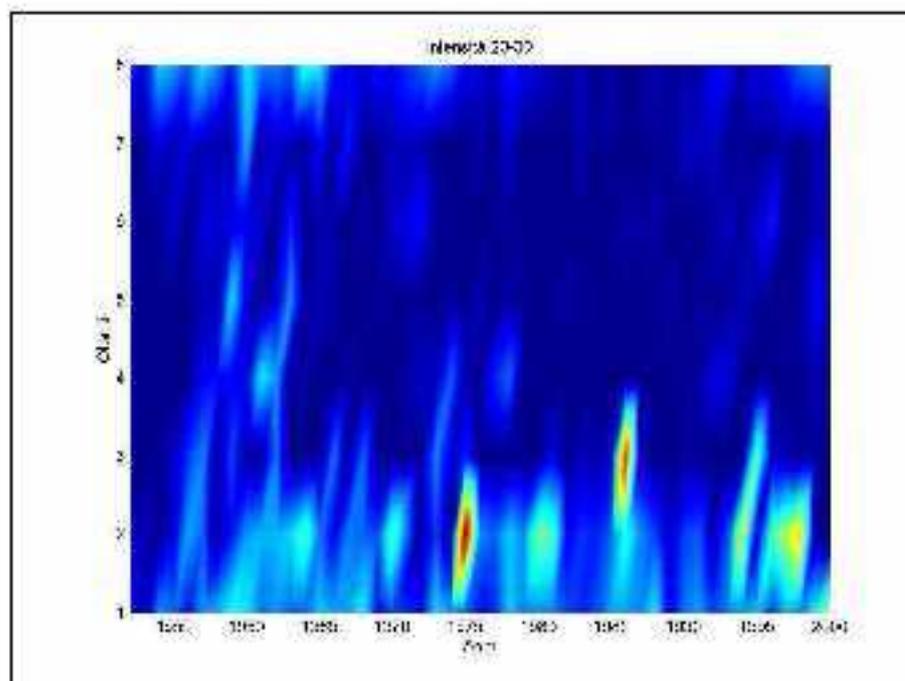


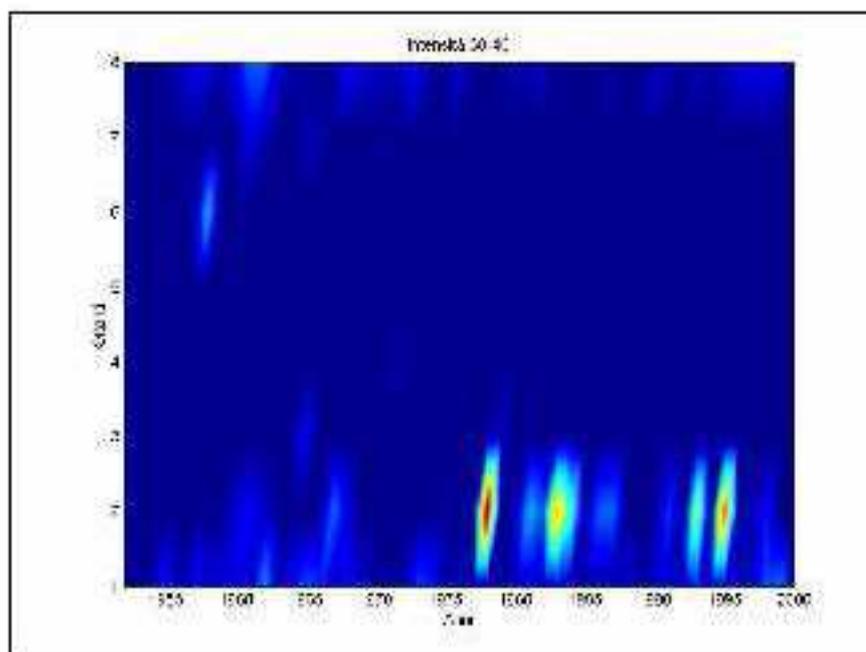
Fig. 2.10 Andamento delle frequenze delle calme



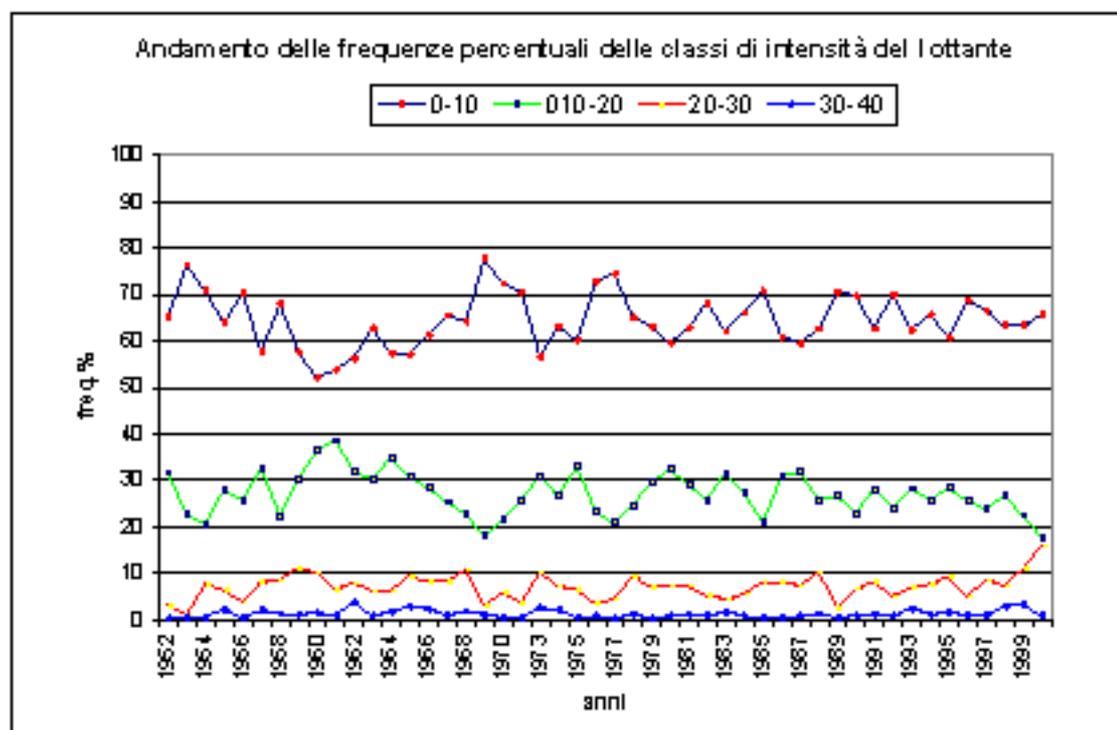




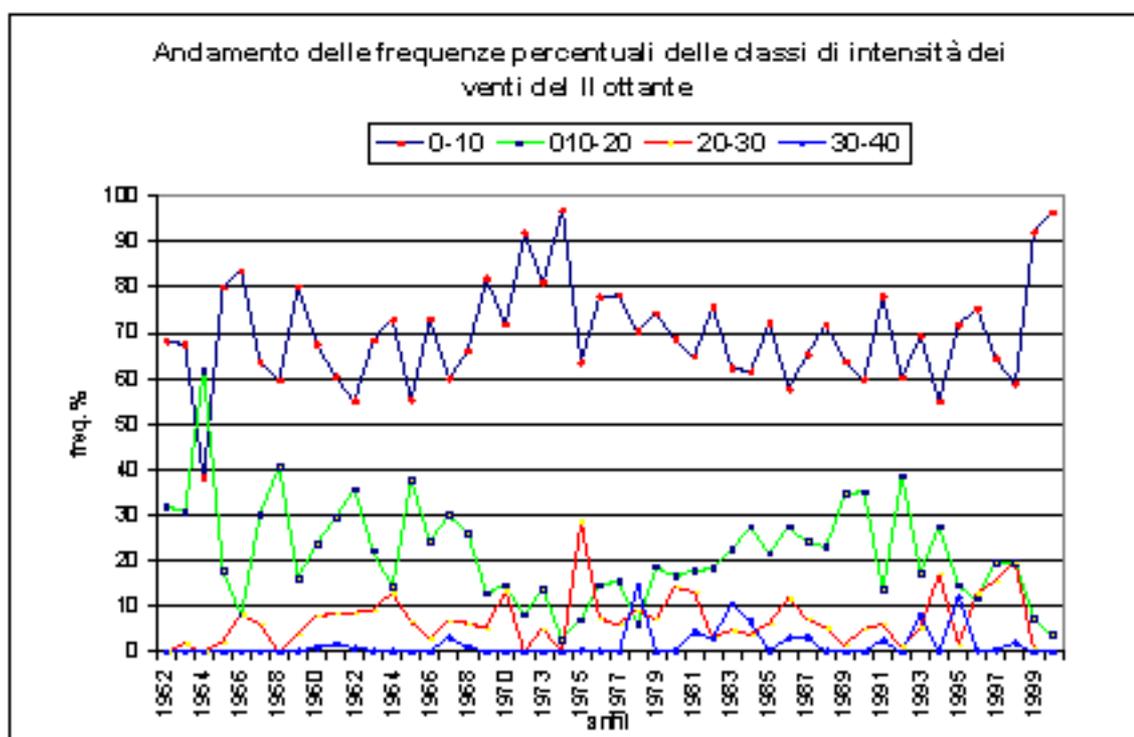
**Fig. 2.13** Andamento delle frequenze percentuali dell' intensità dei venti compresa tra 20-30 nodi



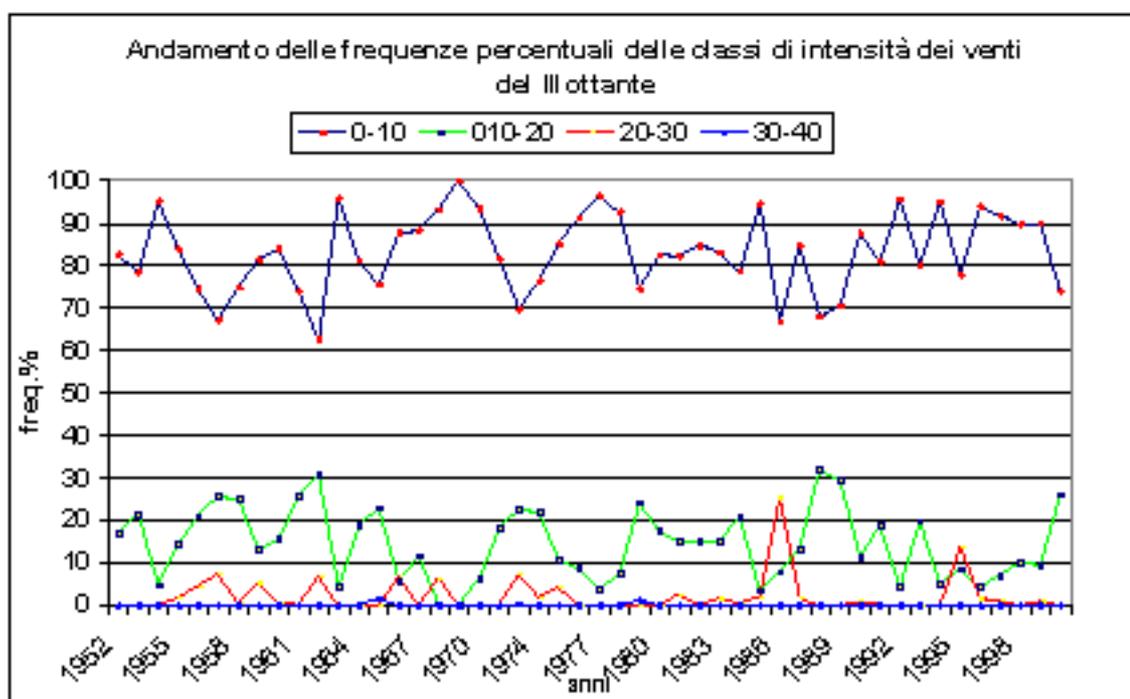
**Fig. 2.14 Andamento delle frequenze percentuali dell' intensità dei venti compresa tra 30-40 nodi**



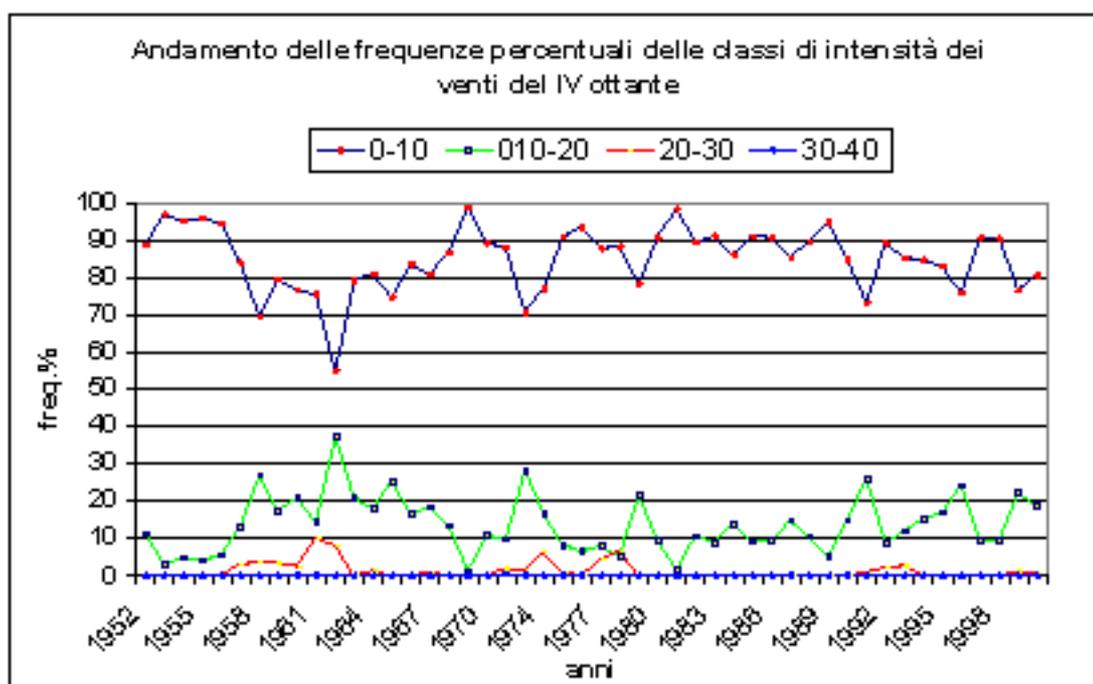
**Fig. 2.15 Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del lottante**



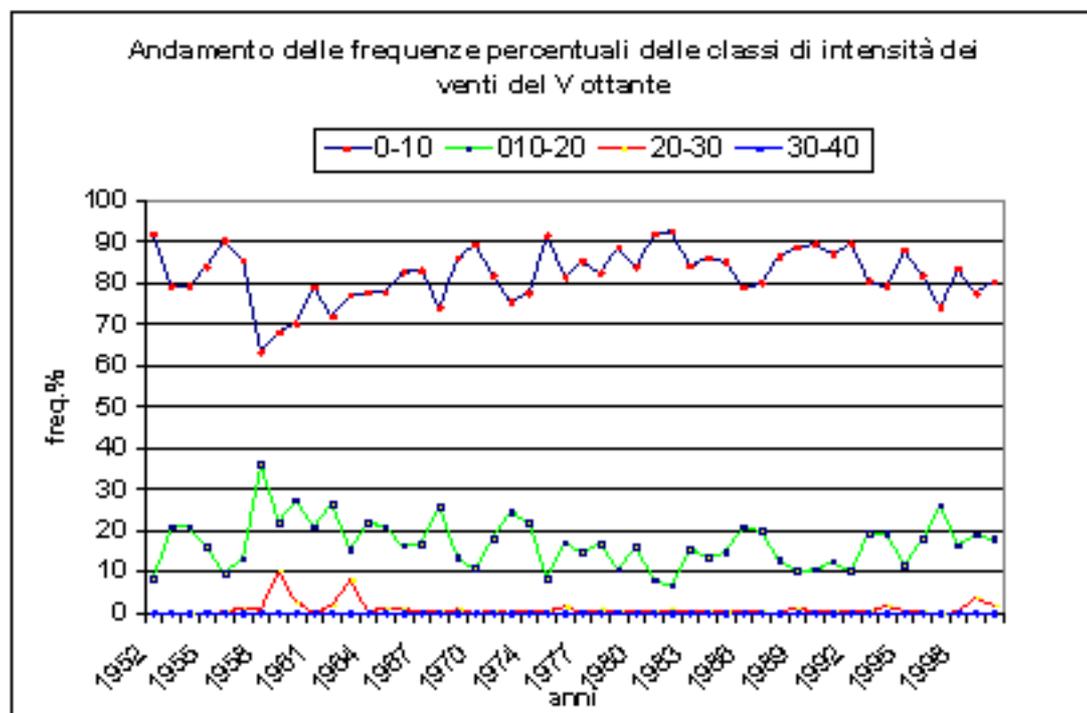
**Fig. 2.16** Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del II ottante



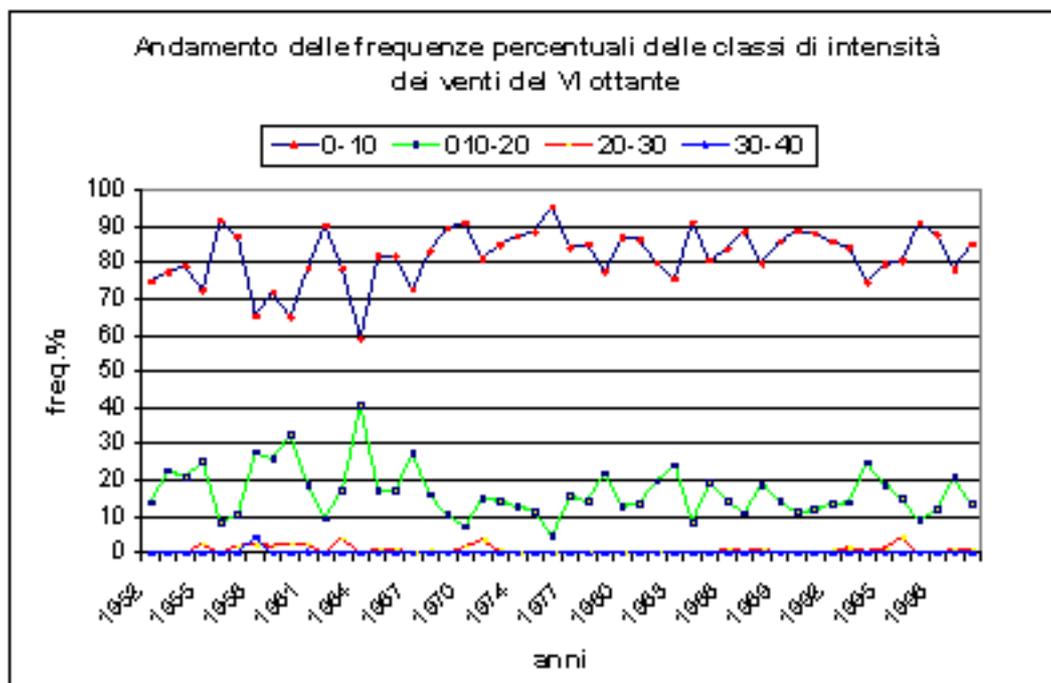
**Fig. 2.17 Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del III ottante**



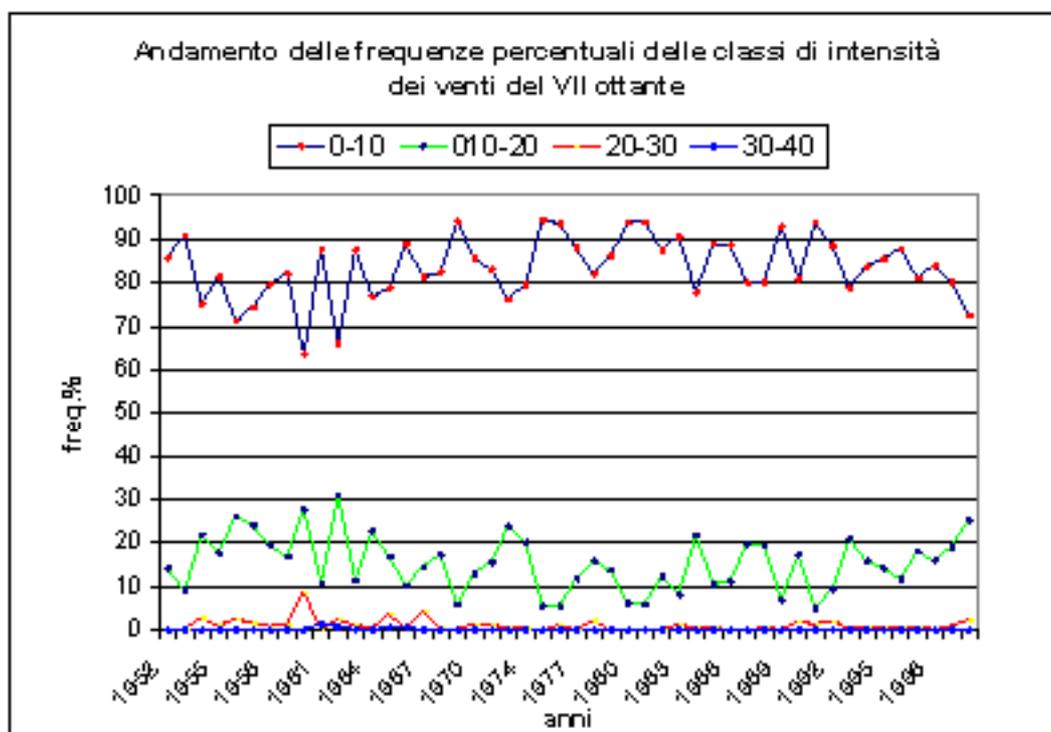
**Fig. 2.18 Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del IV ottante**



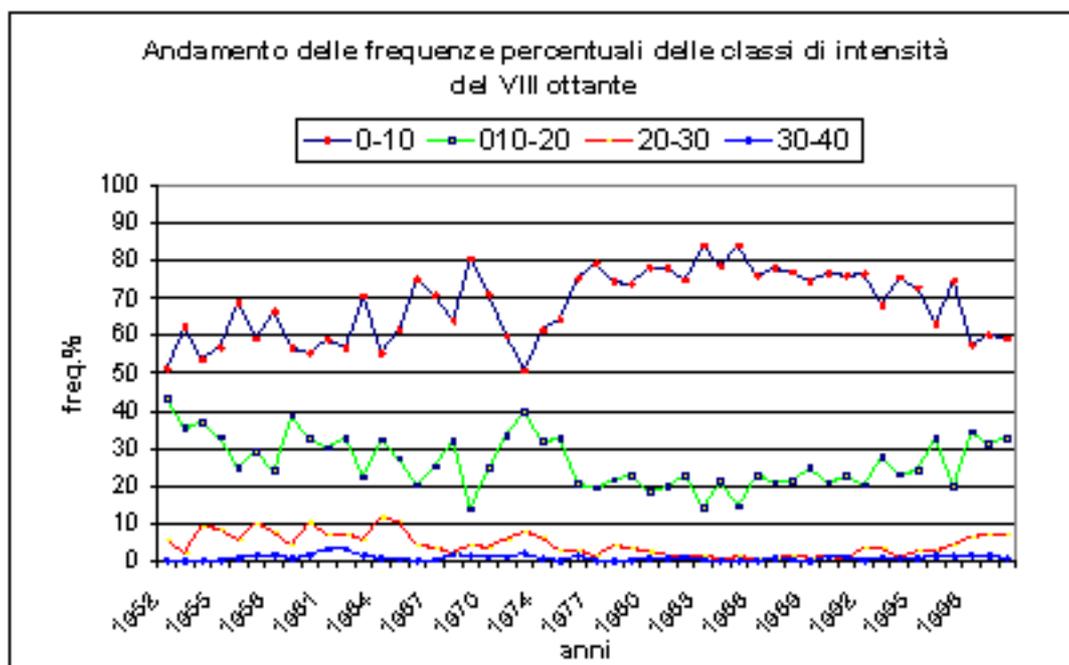
**Fig. 2.19 Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del V ottante**



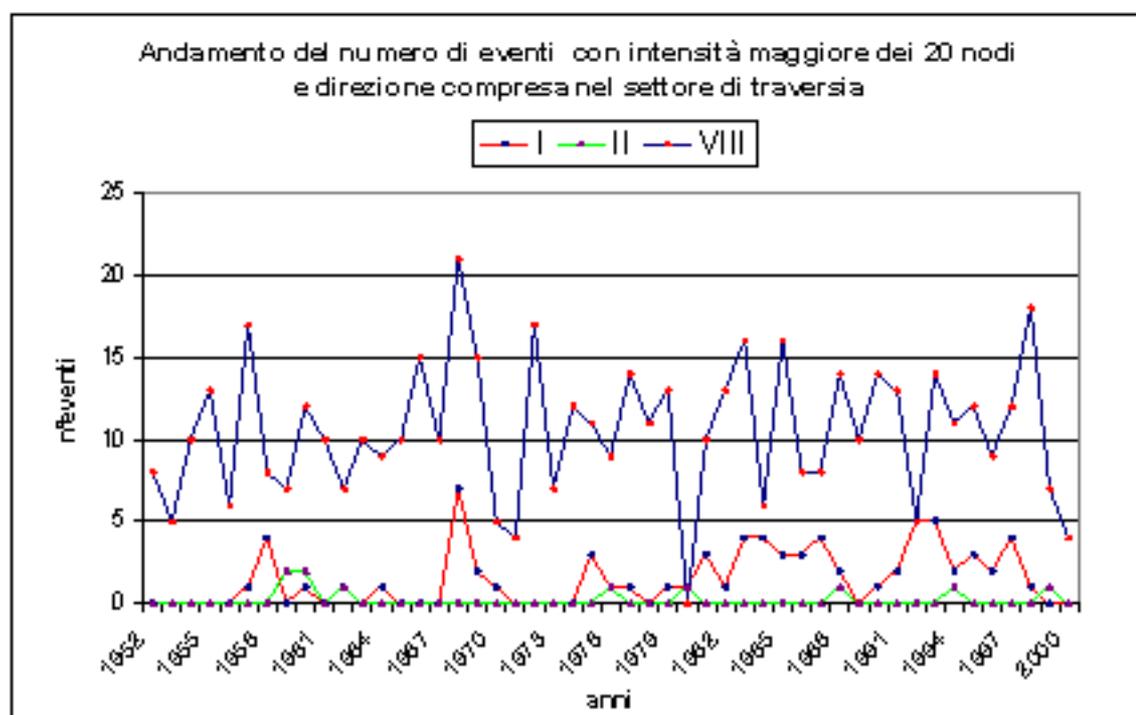
**Fig. 2.20 Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità dei venti del VI ottante**



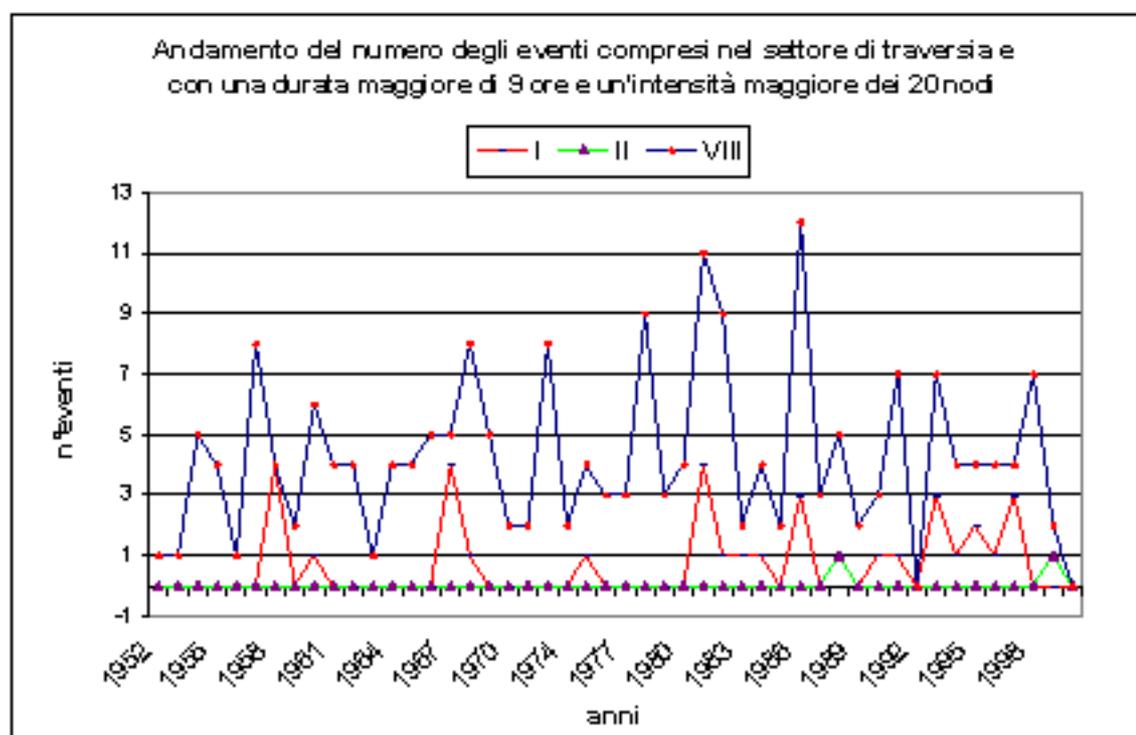
**Fig. 2.21 Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del VII ottante**



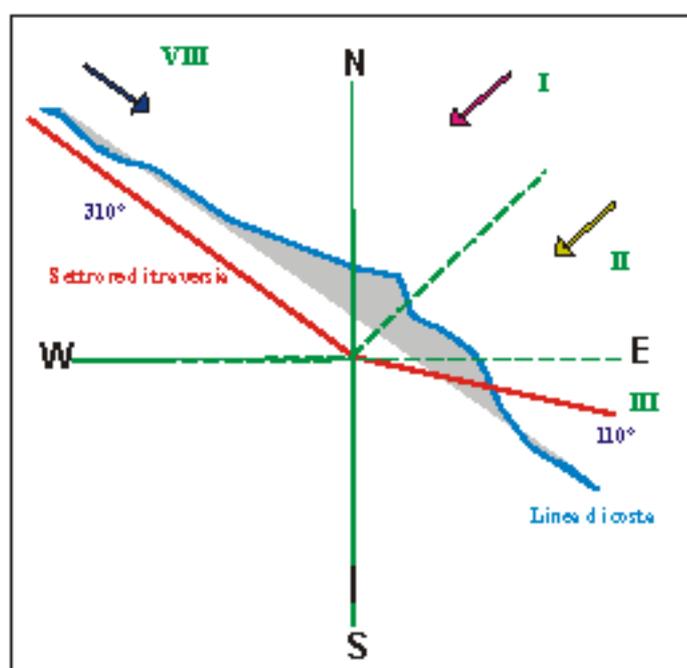
**Fig. 2.22 Andamento delle frequenze percentuali delle classi di intensità del VIII ottante**



**Fig. 2.23 Andamento del numero di eventi con intensità maggiore dei 20 nodi e direzione compresa nel settore di traversia**



**Fig. 2.24 Andamento del numero degli eventi compresi nel settore di traversia con una durata maggiore di 9 ore e un'intensità maggiore dei 20 nodi**



**Fig. 2.25 Inquadramento della linea di costa e degli ottanti inclusi all'interno del settore di traversia**

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

### 3. MOTO ONDOSO AL LARGO E SOTTOCOSTA

#### 3.1. Moto ondoso al largo

##### 3.1.1. *Clima ondoso: fonte dei dati e studi preesistenti*

Per la determinazione del clima ondoso al largo di Termoli sono disponibili misure dirette dei parametri fondamentali registrati dalla stazione ondometrica di Ortona.

La stazione ondometrica di Ortona (posizione 42°24' 54.00"N 14°30'20.99"E) è in funzione dal 1 luglio 1989, fa parte della Rete Ondometrica Italiana ed è gestita dal Servizio Idrografico e Mareografico della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

Dal 1989 al 2002 la boa (del tipo DATAWELL Directional Wavec) ha acquisito normalmente dati (elevazione, pendenza nord-sud e pendenza est-ovest) per periodi di 30 minuti ogni tre ore. Nei casi di mareggiate particolarmente significative ( $H_s$  superiori a 3.0 m) l'acquisizione dei dati avveniva automaticamente in continuo e i dati erano prodotti ogni mezz'ora.

Nel 2002 la boa è stata sostituita con una accelerometrica del tipo Triaxys e da allora, grazie anche all'evoluzione dei sistemi di elaborazione, trasmissione ed archiviazione dei dati, la registrazione dei parametri fondamentali avviene in continuo. Questo permette di acquisire informazioni su base semioraria con due vantaggi principali: il primo è facilitare l'analisi statistica dell'insieme dei dati rispetto al caso di dati cronologicamente disomogenei, il secondo è che si possono studiare con maggiore attenzione le fasi crescenti e decrescenti delle mareggiate ed i fenomeni ondosi associati a periodi più lunghi in assenza di onde di vento.

Dall'analisi delle serie temporali registrati dalla boa si ottengono i seguenti parametri sintetici:

- $H_s$  (metri) altezza d'onda significativa spettrale;
- $T_p$  (secondi) periodo di picco;
- $T_m$  (secondi) periodo medio;
- $D_m$  (gradi N) direzione media di propagazione;

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_1*RAPPORTO D.2 ASPETTI fisici.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 39 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOROLOGICO, REGIME DEL LITORALE

ed i parametri spettrali per banda di frequenza:

- densità di energia
- direzione media di propagazione
- dispersione direzionale (spread)
- asimmetria (skewness)
- curtosi

La significatività, rispetto alla posizione lunga la costa del sito in oggetto, della boa di Ortona è confermata dall'"Atlante delle Coste" edito da APAT nel 2005 [3] (cfr. Fig. 3.1, tratti C9 e C10), che la individua appunto per essere rappresentativa per la definizione del clima ondoso antistante il porto di Termoli.

Proprio sui dati della boa di Ortona è fondato lo studio del clima ondoso al largo e sottocosta (cfr. rif. [1]).

Nell'ambito del presente Quadro Conoscitivo, propedeutico alla definizione del nuovo PRP del porto di Termoli, si è ritenuto opportuno effettuare una analisi dei dati di base ( $H_s$ - $T_s$ -direzione) utilizzati in rif. [1] alla luce del più recente set di dati di base validato dal Servizio Idrografico e Mareografico, ovvero quello contenuto nella pubblicazione di APAT del 2005 (cfr. rif. [3]) di cui si è detto poco sopra.

#### *Dati RON della boa di Ortona utilizzati[1]*

La distribuzione direzionale dell'altezza d'onda significativa utilizzata è riportata nella Tab. 3.1 in termini di numero di eventi, nella Tab. 3.3 in termini di percentuali di occorrenza per classi di altezza d'onda di 0.5 m e classi di direzione di 15°. Nel seguito si riportano in sintesi le analisi e le elaborazioni effettuate nello Studio a partire dai dati riportati in predette tabelle.

In merito al settore di maggiore frequenza di accadimento dei fenomeni, si nota una forte prevalenza di ondate provenienti dal settore più settentrionale.

G:\PGD22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPOR TO D.2_ASPETTI fisici_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - RLU.DD	Pag. 40 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Nello Studio viene anche proposta una statistica degli eventi estremi al largo elaborati dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, condotta sulla base dei dati storici allora disponibili, utilizzando la distribuzione di Gumbel.

Per la direzione di 350°N si ha un'altezza d'onda significativa  $H_s$  di 3.35 m per un tempo di ritorno di  $T_r$  pari a 10 anni, mentre per 50 anni si ha un'onda di  $H_s$  pari a 3.85 m. Per un tempo di ritorno di 100 anni si ha un'onda con  $H_s$  pari a 4.20 m.

Per quanto riguarda invece la direzione di 40°N si hanno valori nettamente maggiori. Ad esempio per  $T_r$  di 10 anni si ha un'onda di 5.27 m, per  $T_r$  di 100 anni si ha un'onda di 6.20 m.

#### Dati RON della boa di Ortona [3]

La distribuzione direzionale dell'altezza d'onda significativa riportata in [3] è riportata nella Tab. 3.2 in termini di numero di eventi, nella Tab. 3.4 in termini di percentuali di occorrenza per classi di altezza d'onda di 0.5 m e classi di direzione di 15°.

Nell'Atlante è messo in evidenza che gli intervalli direzionali caratteristici sono tre:

- 1) Nord, 15°N, con ampiezza 350°N - 30°N;
- 2) Nord Est - Est, 90°N, con ampiezza 40°N - 120°N ;
- 3) Est-Sud Est 120°N, con ampiezza 100°N - 155°N.

Viene inoltre evidenziato che il clima ondoso (cfr. Figg. da 3.2 a 3.4), presenta forti variazioni stagionali.

Per quanto riguarda le "onde basse" sono presenti due regimi, Nord e Est-Sud Est. In primavera e autunno, Est-Sud Est è leggermente dominante. In inverno ed estate la direzione largamente predominante è Nord.

Per quanto riguarda le "onde medie" la direzione dominante è Nord-Nord Est. Il numero dei casi da Est è molto ridotto. Non si osservano significativi andamenti stagionali.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*\RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI_U#5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 41 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Per quanto riguarda infine le "onde alte", la direzione prevalente è Nord Est. Nella parte meridionale del settore la direzione prevalente delle mareggiate è da Nord, con oltre il 75% degli eventi osservati".

#### Confronto fra le due serie temporali della boa di Ortona

Nella Fig. 3.5 e nella Fig. 3.6 i dati delle due serie temporali della RON di cui si è detto sono messi a confronto per singoli settori di ampiezza pari a 15° sia in termini di numero di eventi che di occorrenza. Come è possibile notare dall'analisi dei due grafici le serie risultano sostanzialmente congruenti essendo del tutto simile la conformazione complessiva sia della distribuzione degli eventi che delle occorrenze.

Per rendere l'analisi più efficace, i dati delle due serie temporali sono stati inoltre confrontati su di un piano probabilistico (cfr. Figg. da 3.7 a 3.16) sempre per intervalli di ampiezza pari a 15°.

Dall'analisi di dette figure è possibile osservare come le differenze tra le due serie di dati, pur esistenti in termini di numero di eventi occorrenti per un certo settore, si traducono in differenze in termini di altezza d'onda per assegnato periodo di ritorno assai modeste che, in generale, vanno oltretutto attenuandosi al crescere del periodo di ritorno essendo le altezze elaborate a partire dai dati dell'Atlante lievemente superiori.

In definitiva le due serie di dati risultano statisticamente assai simili. In via del tutto cautelativa, avendo comunque riscontrato una (seppur limitata) maggiore severità dei fenomeni estremi desumibili dalla serie tratta dall'"Atlante delle Coste" si è stabilito che il calcolo dell'onda di progetto delle opere marittime che il Piano prevedrà sarà fatto a partire da quest'ultima serie di dati mentre per quanto riguarda le analisi della dinamica costiera, essendo questa sostanzialmente funzione del clima ondoso piuttosto che dagli eventi estremi, si è stabilito che per maggior congruenza e verifica con gli studi già condotti per il porto di Termoli, la serie di dati da utilizzare debba essere quelle utilizzata in rif. [1].

#### **3.1.2. Eventi estremi**

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 42 di 140

Per definire la statistica delle onde estreme al largo del porto di Termoli si è fatto riferimento sempre ai dati forniti dalla boa di Ortona ed in particolare alle elaborazioni effettuate sui dati registrati da tale ondometro per la redazione dell'"Atlante delle onde". L'"Atlante delle onde" è una pubblicazione di APAT antecedente il già citato "Atlante delle Coste", e per questo motivo contiene set di dati meno aggiornati rispetto a quelli di quest'ultima pubblicazione, ma che contiene una più estesa sezione rivolta all'analisi dei dati, ivi compresa una specificatamente dedicata alla statistica delle onde estreme.

Per la definizione della statistica delle onde estreme viene sviluppato un percorso che prevede:

- selezione dei dati omogenei e indipendenti tra quelli disponibili;
- individuazione del modello probabilistico che meglio rappresenta i dati selezionati;
- determinazione del massimo valore d'altezza d'onda, atteso in un fissato arco di tempo, in base al modello probabilistico individuato;
- calcolo dell'intervallo di confidenza associato al valore atteso.

Rimandando a [3] per maggiori dettagli sulla metodologia seguita, i risultati ottenuti per la boa di Ortona sono riassunti graficamente nella Fig. 3.17 e nella tabella seguente.

<b>Settore (°N)</b>	<b><math>H_c (m) / T_r = 1</math></b>	<b><math>H_c (m) / T_r = 10</math></b>	<b><math>H_c (m) / T_r = 50</math></b>
omni	4.4	5.8	6.6
320-10	3.3	5.4	6.6
10-70	4.0	5.8	6.6
70-130	2.2	3.5	4.1

Il settore da cui risultano quindi provenire gli eventi estremi di maggiore intensità è quello compreso tra 10°N e 70°N. Onde di ampiezza lievemente inferiore provengono dal settore compreso tra 320°N e 10°N mentre significativamente inferiore è l'ampiezza di quelle provenienti dal settore compreso tra 70°N e 130°N ovvero il settore che è

potenzialmente il più critico per il porto di Termoli alla luce dell'orientamento dell'imboccatura.

### 3.1.3. Correlazione tra i parametri ondosi

Attraverso l'analisi delle registrazioni trionarie delle onde individuali delle boe della rete ondometrica, nell'ambito degli studi realizzati [3] di cui si è detto nel paragrafo precedente è stato possibile ottenere informazioni sulla correlazione tra i parametri statistici descrittivi di uno stato di mare.

In particolare sono state riportate le correlazioni esistenti tra l'altezza d'onda significativa spettrale ( $H_{m0}$ ) e:

- l'altezza media delle onde individuale ( $H_m$ )
- l'altezza un-decimo delle onde individuali ( $H_{1/10}$ )
- l'altezza massima delle onde individuali ( $H_{max}$ )
- il periodo medio delle onde individuali ( $T_m$ )
- il periodo significativo delle onde individuali ( $T_s$ )
- il periodo di picco spettrale ( $T_p$ )

Le correlazioni sono state ottenute mediante regressioni lineari e no lineari di un insieme mediato di valori. In particolare i dati di altezza d'onda sono stati divisi in classi d'ampiezza pari a 0.25 m, mentre quelli relativi ai periodi sono stati divisi in classi di 1 s.

Tra i parametri d'altezza di moto ondoso si è assunta una correlazione lineare, del tipo  $H_i = a \cdot H_{m0}$ , mentre tra l'altezza d'onda significativa spettrale e i periodi si è assunta una legge di potenza con parametro ed esponente incogniti del tipo  $T_i = b \cdot (H_{m0})^c$ , con T in secondi e H in metri.

	a	b	c
$H_{max}$	1.57	-	-
$H_{1/10}$	1.20	-	-

$H_m$	0.60	-	-
$T_p$	-	5.56	0.32
$T_c$	-	4.52	0.36
$T_m$	-	4.13	0.34

### 3.2. Moto ondoso sottocosta

#### 3.2.1. Trasposizione sotto costa degli eventi estremi

Per la trasposizione sottocosta degli eventi estremi di cui si è detto al precedente par. 3.1.2 si è utilizzato il modello matematico ACES.

ACES (Automated Coastal Engineering System) è un software sviluppato dal "Coastal Engineering Research Center" (CERC) del "Department of the US Army". Uno dei moduli che lo compongono applica la teoria di Goda per la propagazione verso costa di onde regolari tenendo conto di rifrazione e shoaling.

Il modello assume che la batimetria nell'area di propagazione sia regolare, con curve di livello rettilinee e parallele.

I risultati della modellazione per l'onda con periodo di ritorno annuale, decennale e cinquantennale, propagata fino alla batimetria -10 m, sono riportati nella tabella seguente per diverse direzioni iniziali di provenienza al largo.

direzione media al largo (°N)	periodo di ritorno (anni)	$H_w$ (m)	$T_w$ (s)	direzione sulla -10 m (°N)	$H_w$ (m)	$T_w$ (s)
345 (320-10)	1	3.3	7.0	356.4	3.0	7.0
345 (320-10)	10	5.4	8.3	0.8	4.3	8.3
345 (320-10)	50	6.6	8.9	2.4	5.1	8.9
40 (10-70)	1	4.0	7.5	41.1	3.7	7.5
40 (10-70)	10	5.8	8.5	40.2	4.8	8.5
40 (10-70)	50	6.6	8.9	39.8	5.5	8.9

70 (10-70)	1	4.0	7.5	58.7	3.6	7.5
70 (10-70)	10	5.8	8.5	55.8	4.4	8.5
70 (10-70)	50	6.6	8.9	54.9	5.1	8.9
100 (70-130)	1	2.2	6.0	84.0	2.0	6.0
100 (70-130)	10	3.5	7.1	76.9	3.1	7.1
100 (70-130)	50	4.1	7.5	74.5	3.5	7.5
105 (70-130)	1	2.2	6.0	86.3	2.1	6.0
105 (70-130)	10	3.5	7.1	88.7	3.2	7.1
105 (70-130)	50	4.1	7.5	76.0	3.5	7.5

*valori estremi all'imboccatura  
(ACES linear wave theory – normale alla costa 30°N)*

### 3.2.2. *Clima ondoso sotto costa [1]*

Per le successive elaborazioni finalizzate allo studio delle correnti e del trasporto solido litoranea è utile la trasposizione dell'intero clima ondoso registrato dall'ondametro di Ortona in acque profonde, sottocosta. Durante il trasferimento da largo verso riva le onde subiscono delle modificazioni delle loro caratteristiche dovute ai fenomeni di rifrazione, shoaling, frangimento ed attrito con il fondo, inoltre possono verificarsi delle variazioni di altezza e di direzione dovute alla presenza di particolari ostacoli come, ad esempio, delle opere di difesa portuali.

È molto importante pertanto conoscere quale sia la trasformazione delle onde che in origine vengono rilevate al largo, o meglio, a profondità in cui le onde viaggiano senza risentire della presenza del fondale. In tale maniera, trasferendo le onde rilevate al largo, per mezzo dell'applicazione di equazioni matematiche che rappresentano le trasformazioni energetiche del moto ondoso, è possibile ricostruire una serie di onde sottocosta che corrispondono alle onde originarie misurate al largo.

Una volta ricostruito il clima sottocosta è possibile applicare i vari modelli di propagazione locale del moto ondoso e di circolazione idraulica e definire una dinamica litoranea lungo la riva.



VIOLA



REGIONE MOLISE

Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.

D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Il modulo NSW del codice di calcolo MIKE 21 permette di trasferire il moto ondoso da largo verso riva tenendo conto dei fenomeni di rifrazione, shoaling, frangimento e attrito con il fondo. Gli altri fenomeni di trasformazione delle caratteristiche delle onde come la diffrazione o la riflessione, non sono presenti nelle zone in cui non vi è interferenza di ostacoli, pertanto verranno considerati localmente mediante altri codici di calcolo.

#### Applicazione del modulo NSW del codice di calcolo MIKE21

Nel modello di trasferimento oltre alle caratteristiche delle onde, altezza significativa ( $H_s$ ), periodo ( $T_s$ ) e direzione di propagazione (MWD), debbono essere definiti altri parametri. Alcuni di questi parametri come l'indice di dispersione direzionale o il vento che insiste nell'area simulata si potrebbero ottenere da misure apposite, altri come le perdite di energia per attrito con il fondo e per frangimento si possono ottenere solo attraverso la taratura quando ci sono misurazioni della stessa mareggiata su fondali diversi. Tali misure sono raramente disponibili e per la definizione di questi parametri si fa allora generalmente ricorso a valori di letteratura.

Per quanto riguarda i parametri che regolano il frangimento è stato più volte verificato che i valori suggeriti da Battjes e Janssen, e assunti come valori di default dal modello, sono sostanzialmente adeguati, inoltre le variazioni che si hanno sui risultati per leggere modifiche di questi parametri, sono dello stesso ordine di grandezza degli errori di misura del moto ondoso ed inferiori all'approssimazione che si fa per la divisione in classi delle onde.

Lo stesso si può dire per il parametro che regola la perdita di energia per attrito con il fondo.

Come ultimo parametro è da considerare l'effetto del vento che fornisce energia alle onde durante la loro traslazione. Il trascurare questo effetto può portare a sensibili sottostime dell'energia delle onde sul litorale. Tuttavia, per aree di dimensioni limitate come il paraggio di Termoli, l'effetto del vento può essere ragionevolmente trascurato.

#### Griglie di calcolo

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA\_PRP\CONSEGNA\_PROPOSTA\_PRP\_3\*\_\*4\_\*\RAPPORTO D.2\_ASPETTI FISICI\05.doc

PGD22

USTD2 - Rev. 00

Pag. 47 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

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 due differenti griglie di calcolo. La prima è rappresentativa del settore Settentrionale, da 315° a 30°N; la seconda del settore Orientale, da 45° a 135°N.

La griglia utilizzata per trasferire gli eventi ondosi del settore da 315 a 30°N è una griglia a maglie rettangolari di lato pari a 100 m lungo l'asse x e di 400 m lungo l'asse y, la dimensione della griglia è di 400 celle lungo x e di 137 lungo y. L'origine degli assi è posta nel punto di coordinate UTM33 e=469198, n=4693618 e l'asse y è orientato di 105°N.

La seconda griglia, utilizzata per la propagazione delle onde provenienti da 45 a 135°N, è anch'essa a maglie rettangolari di 100 x 400 m con un numero di celle di 450 x 125 rispettivamente lungo la direzione x e lungo la direzione y. L'origine degli assi è nel punto di coordinate UTM 33 e=505333, n= 4695070 e l'asse y è orientato di 150°N.

#### Dati di input

Sono stati trasferiti in tutto 100 eventi d'onda, rispettivamente 56 con la prima griglia e 44 con la seconda rappresentativi di un campione di oltre 59.000 eventi.

La tabella degli eventi al largo è stata ricostruita in base ai dati caratteristici delle boe ondometriche RON, segmentando la distribuzione delle onde in campi di valore con passo di 15°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 8 m.

#### Risultati della propagazione da largo verso riva

Le Tabb. da 3.7 a 3.9 riportano i risultati del calcolo della rifrazione spettrale diretta. Le onde sottocosta subiscono una rotazione oraria o antioraria a seconda che provengano

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPOR TO D.2_ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev.00	Pag. 48 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINICO, REGIME DEL LITORALE

da sinistra o da destra. L'attenuazione del moto ondoso in termini di altezza, invece, è molto più sensibile per le onde più grandi.

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

Inoltre, benché siano state implementate nel modello onde dalla direzione di 135°N si è preferito escluderle al fine di tener conto dell'effetto di schermatura del Gargano.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPV\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_1*RAPPORTO D.2_ASPETTI FISICI_01*5.doc	
PGD22	
USTD2 - R.U. 00	Pag. 49 di 140



TCI	11.0%	8.0%	7.0%	6.0%	5.0%	4.0%	3.0%	2.0%	1.0%	0.5%	0.2%	0.1%	0.05%	0.02%	0.01%	0.005%	0.002%	0.001%
2.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
3.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
4.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
5.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
6.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
7.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
8.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
9.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
10.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
11.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%

Tab. 3.3 Ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [1] – percentuali di occorrenza

TCI	11.0%	8.0%	7.0%	6.0%	5.0%	4.0%	3.0%	2.0%	1.0%	0.5%	0.2%	0.1%	0.05%	0.02%	0.01%	0.005%	0.002%	0.001%
2.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
3.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
4.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
5.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
6.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
7.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
8.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
9.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
10.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
11.0	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%

Tab. 3.4 Ondametro della RON di Ortona, serie dati rif. [3] – percentuali di occorrenza







VIOLA



REGIONE MOLISE

Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.

D.2-ASPETTI RSC.I STUDIO METEOMARIMO, RESUME DEL LITORALE

Altezza [m] (1)	Lunghezza massima teorica per mare																	
	0 N	10 N	20 N	30 N	40 N	50 N	60 N	70 N	80 N	90 N	100 N	110 N	120 N	130 N	140 N	150 N	160 N	170 N
S.13	0.12%	0.18%	0.26%	0.35%	0.45%	0.56%	0.68%	0.81%	0.95%	1.10%	1.26%	1.43%	1.61%	1.80%	2.00%	2.21%	2.43%	2.67%
S.13	0.10%	0.15%	0.22%	0.30%	0.39%	0.50%	0.62%	0.75%	0.90%	1.07%	1.25%	1.44%	1.64%	1.85%	2.08%	2.32%	2.58%	2.86%
S.20	0.10%	0.15%	0.22%	0.30%	0.39%	0.50%	0.62%	0.75%	0.90%	1.07%	1.25%	1.44%	1.64%	1.85%	2.08%	2.32%	2.58%	2.86%
S.17	0.10%	0.15%	0.22%	0.30%	0.39%	0.50%	0.62%	0.75%	0.90%	1.07%	1.25%	1.44%	1.64%	1.85%	2.08%	2.32%	2.58%	2.86%
S.13	4.25%	5.40%	6.55%	7.70%	8.85%	10.00%	11.15%	12.30%	13.45%	14.60%	15.75%	16.90%	18.05%	19.20%	20.35%	21.50%	22.65%	23.80%
S.13	36.25%	46.00%	55.75%	65.50%	75.25%	85.00%	94.75%	104.50%	114.25%	124.00%	133.75%	143.50%	153.25%	163.00%	172.75%	182.50%	192.25%	202.00%

Tab. 3.9 Trasposizione sottocosta del clima ondososo al largo, ondnametro della RON di Ortona, serie dati rif. [1] – percentuali di eccedenza



Settore Costiero	Boe rappresentative	Sigla	Tratti costieri
Portofino - C.po Ligure	La Spezia - Chiavari	C1	Lig1-Lig2-Tos1-Laz1
Cape d'Uomo - Acquafredda	Chiavari - Ponza	C2	Laz1-Laz2
Anzio - C.po Vaticano	Ponza - Capri	C3	Laz2-Cam1-Cal1
C.po Polinuro - C.po S.Vito	Celano - Palermo	C4	Cal1-Cal2-Sic1-Sic2
C.po Gallo - C.po Granitola	Palermo - Mazara del Vallo	C5	Sic1-Sic2-Sic3
Marsala - C.po S.Alessio	Mazara del Vallo - Catania	C6	Sic3-Sic4-Sic5
C.po Murro di Porco - P.ta Alice	Catania - Crotone	C7	Sic5-Sic6-Cal3
C.po Rizzuto - Bari	Crotone - Monopoli	C8	Cal3-Pug1-Pug2
Brindisi - Foce del Saline	Monopoli - Ortona	C9	Pug2-Abr1
P.ta Penna - Pesaro	Ortona - Ancona	C10	Abr1-Mar1
Numana - Grado	Ancona - Chioggia	C11	Mar1-Emi1-Ven1
C.po Carbonara - C.po Ferro	Siniscopa	C12	Sar1-Sar2
C.po Ferro - C.po Spartivento Sardo Alghero		C13	Sar3-Sar4-Sar5

**Fig. 3.1** Tratti di costa individuati in base alla posizione geografica degli ondometri della RON e di criteri di omogeneità e orientamento del litorale. Rif. [3]



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde basse - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triennali, periodo: intero



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde basse - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triennali, periodo: primavera



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde basse - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triennali, periodo: estate



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde basse - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triennali, periodo: autunno



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde basse - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triennali, periodo: inverno

**Fig. 3.2 Rappresentazione polare del clima ondoso per le onde basse. Rif. [3]**



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_m 0-\alpha$  - onde medie - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: intero



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_m 0-\alpha$  - onde medie - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: primavera



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_m 0-\alpha$  - onde medie - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: estate



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_m 0-\alpha$  - onde medie - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: autunno



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_m 0-\alpha$  - onde medie - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: inverno

**Fig. 3.3 Rappresentazione polare del clima ondoso per le onde medie. Rif. [3]**



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde alte - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: intero



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde alte - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: primavera



Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde alte - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: estate

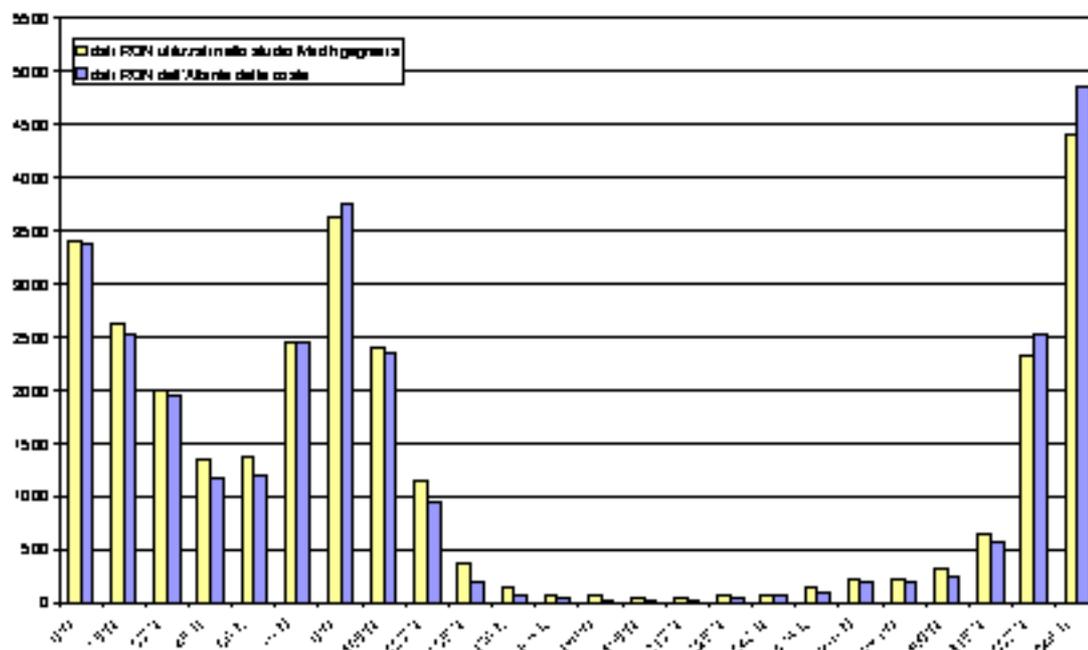


Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde alte - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: autunno

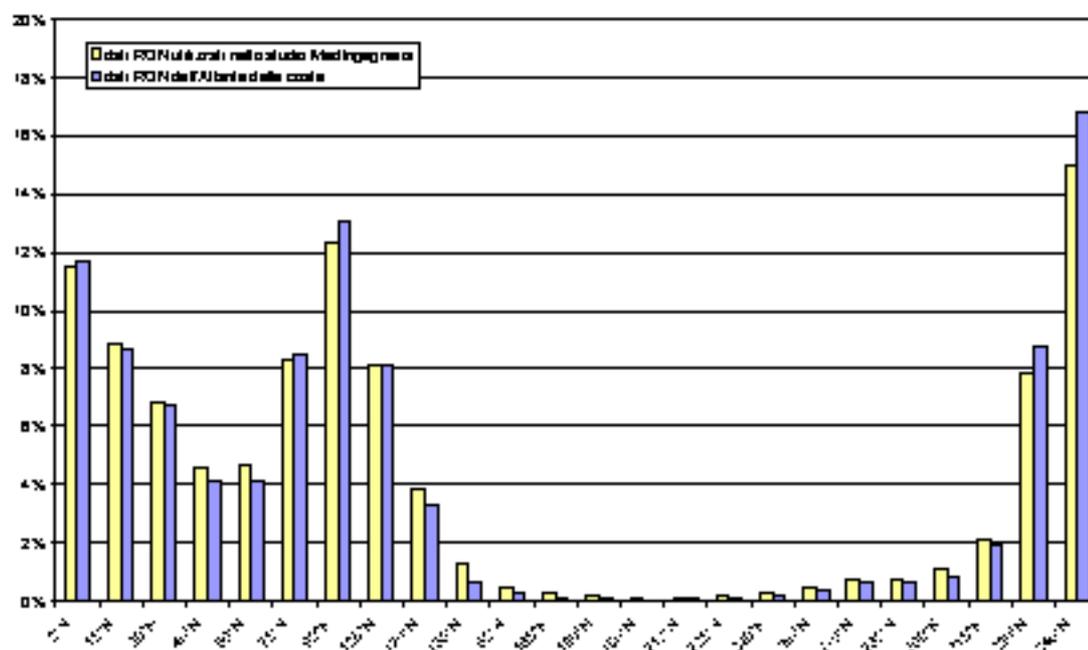


Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0-\alpha}$  - onde alte - tratto costiero da Brindisi a Foce del Saline - dati triorari, periodo: inverno

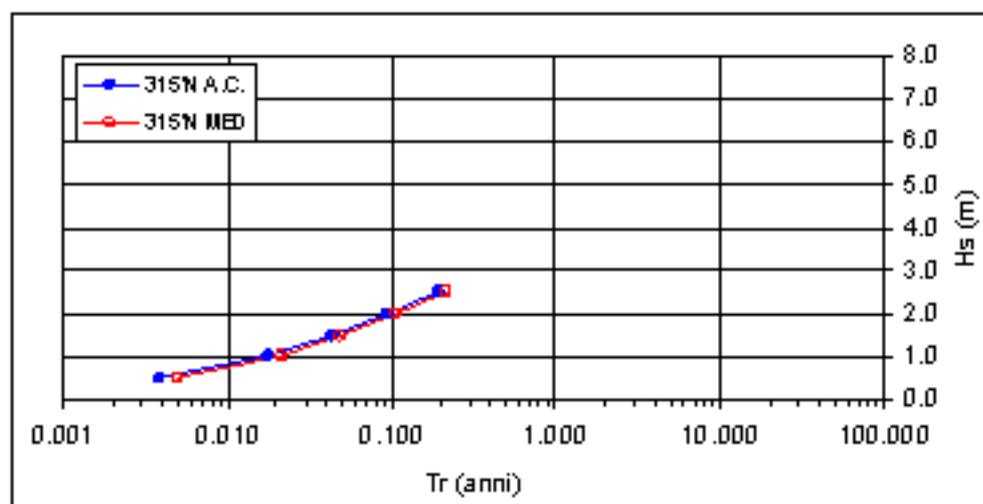
**Fig. 3.4 Rappresentazione polare del clima ondoso per le onde alte. Rif. [3]**



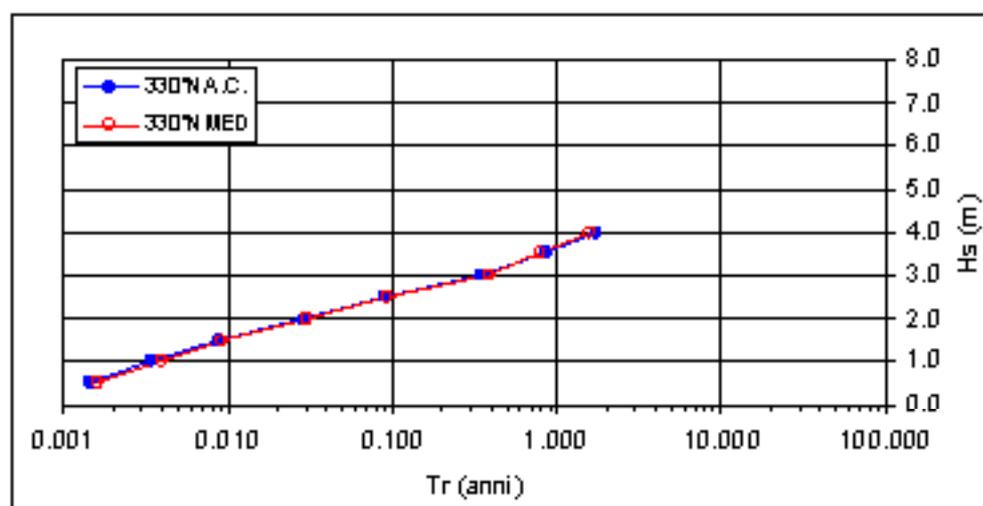
**Fig. 3.5** Confronto tra serie dati RON (rif. [1] e rif. [3]): numero di eventi per settori di 15°



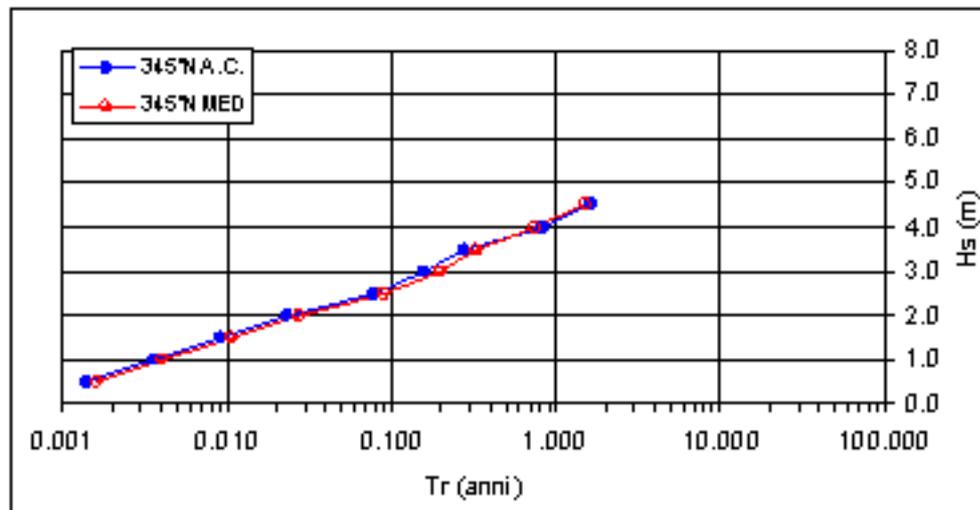
**Fig. 3.6** Confronto tra serie dati RON (rif. [1] e rif. [3]): occorrenze per settori di 15°



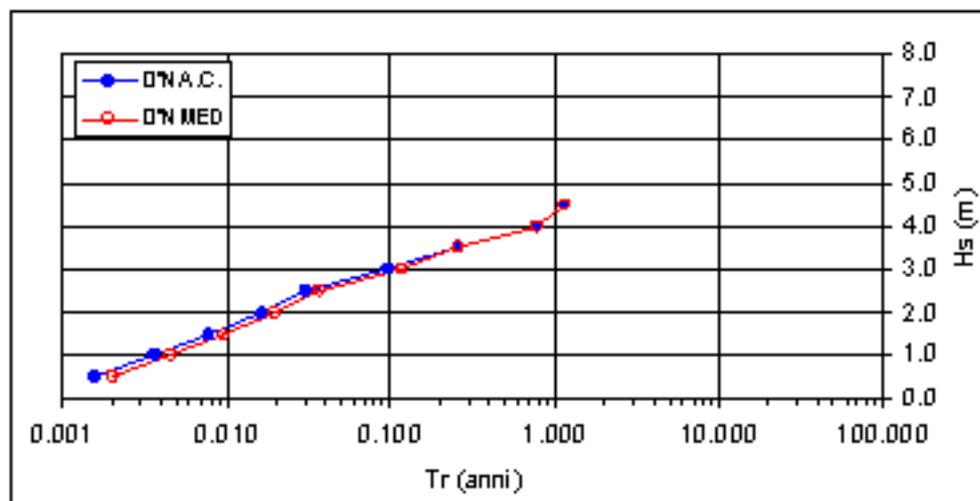
**Fig. 3.7** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]); direzione 315°N



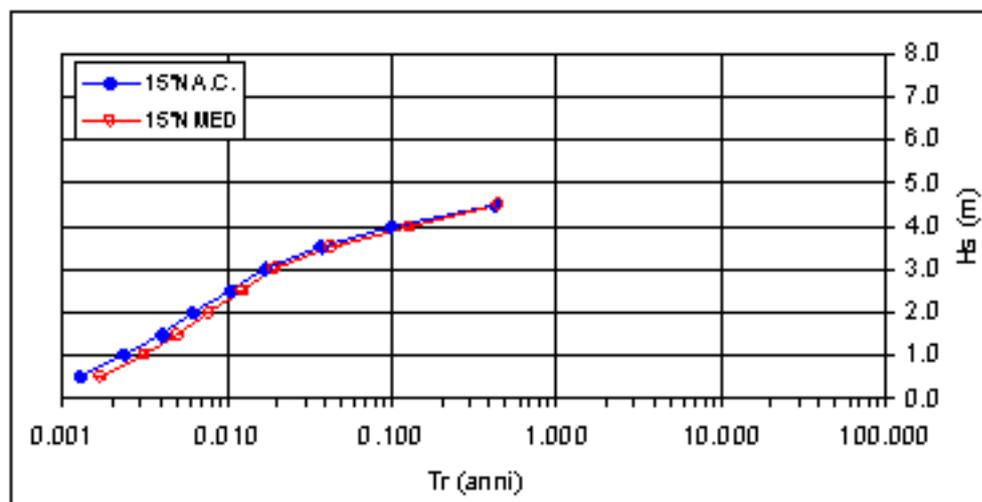
**Fig. 3.8** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]); direzione 330°N



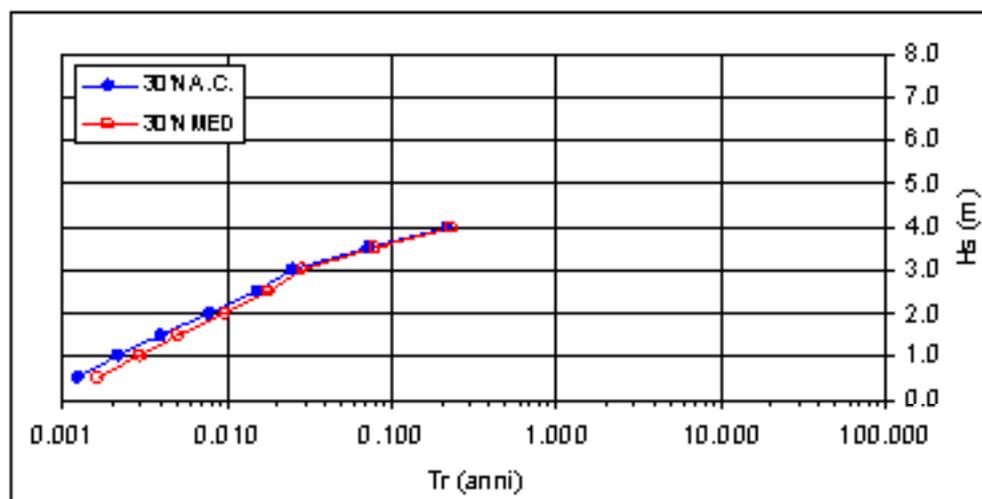
**Fig. 3.9** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 345°N



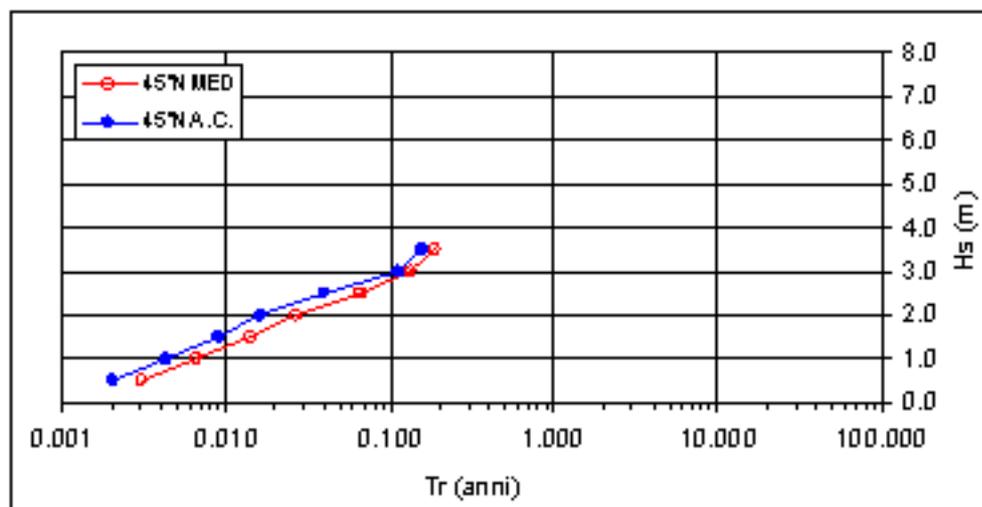
**Fig. 3.10** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]): direzione 0°N



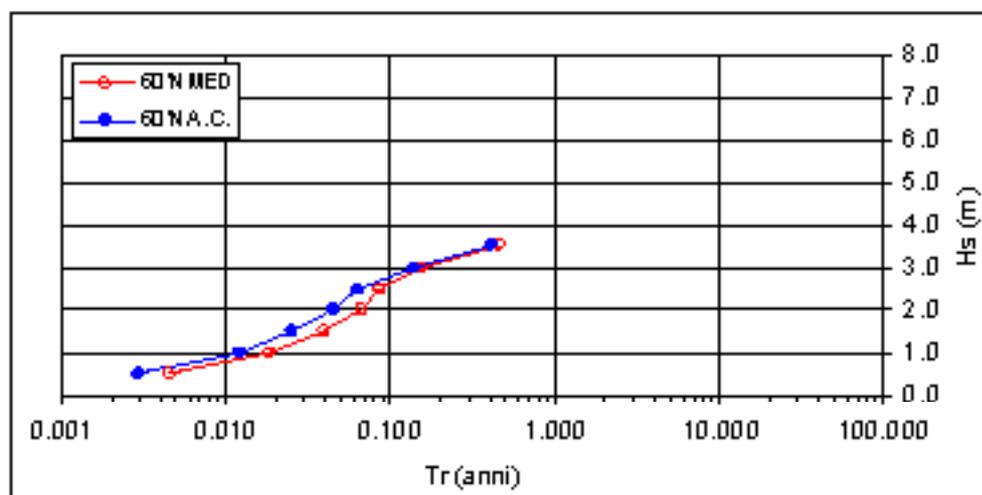
**Fig. 3.11** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]); direzione 15°N



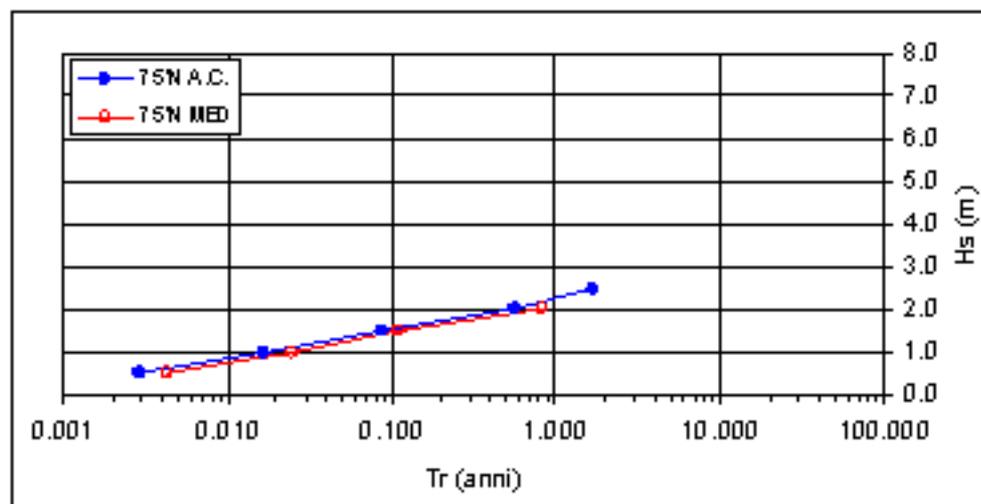
**Fig. 3.12** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]); direzione 30°N



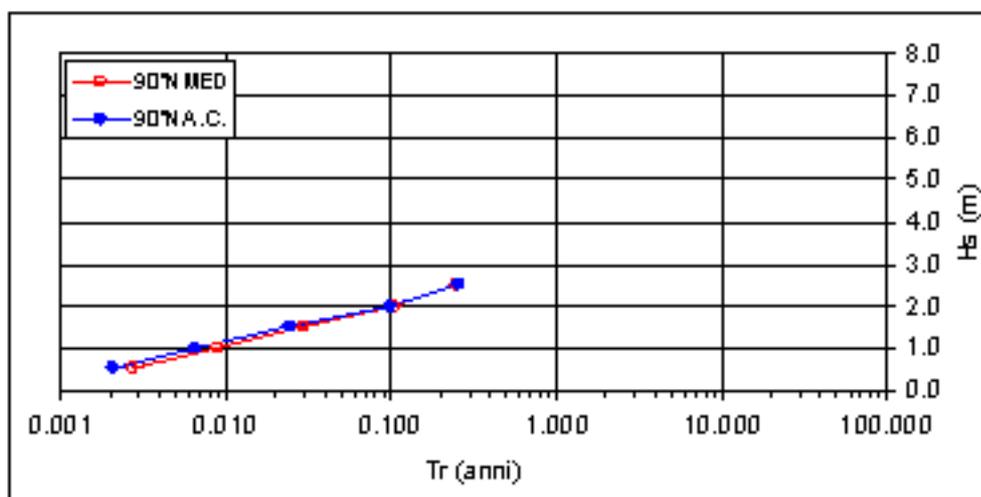
**Fig. 3.13** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]); direzione 45°N



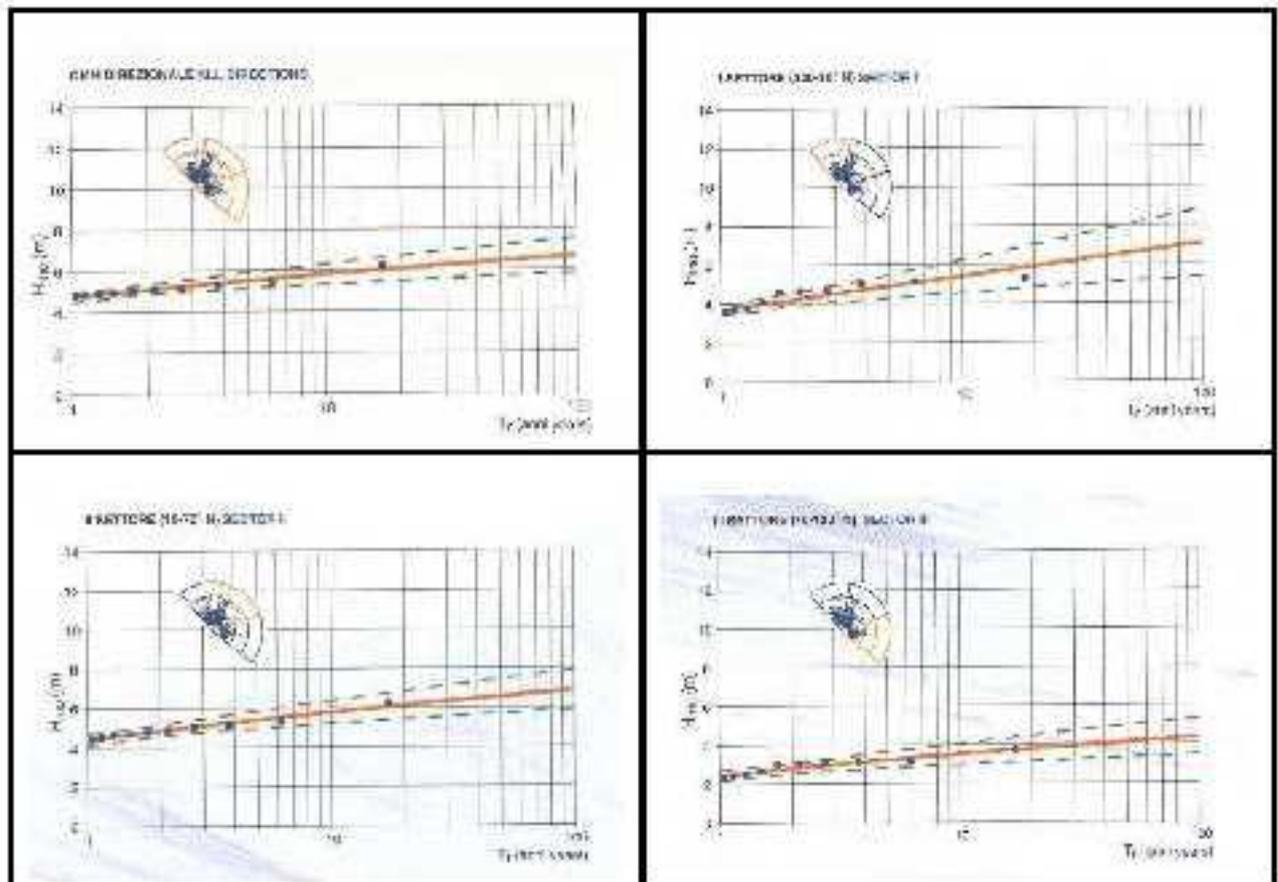
**Fig. 3.14** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]); direzione 60°N



**Fig. 3.15** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]); direzione 75°N



**Fig. 3.16** Confronto, mediante flottaggio su piano probabilistico, tra serie dati (rif. [1] e rif. [3]); direzione 90°N



**Fig. 3.17** Rappresentazione sul piano probabilistico della statistica degli eventi estremi al largo – ondometro di Ortona (fonte: "Atlante delle Onde", APAT)

## 4. STUDIO DELL'AGITAZIONE INTERNA

### 4.1. Condizioni d'onda per il modello di agitazione interna

Per lo studio dell'agitazione interna sono state considerate le onde rappresentative di una condizione "critica", con periodo di ritorno di 10 anni, ovvero una condizione che si verifica almeno una volta ogni dieci anni e durante la quale deve essere garantita la sicurezza delle imbarcazioni ormeggiate. Sulla base di quanto specificato nel par. 3.2.1 nel quale gli eventi estremi definiti da APAT nell'Atlante delle Onde nei mari italiani sono stati propagati su fondali di altezza limitata ovvero in prossimità dell'imboccatura portuale, sono state identificate le possibili direzioni di provenienza delle onde corrispondenti alle direzioni più sfavorevoli che è possibile definire a partire dai settori di provenienza dei fenomeni stabiliti da APAT.

Per la definizione del periodo di picco da associare alle diverse condizioni ondose si è fatto riferimento ad una relazione del tipo  $T_p = 5.561 \cdot H_s^{0.319}$  così come indicato nel medesimo Atlante (cfr. par. 3.1.3).

In definitiva, facendo riferimento ai calcoli di trasposizione del moto ondoso riportati nel par. 3.2.1, con  $T_R = 10$  anni, si sono analizzate le condizioni d'onda che seguono, alle quali si è aggiunta una ulteriore onda proveniente da 120°N ( $T_R = 1$  anno) che penetra direttamente attraverso l'imboccatura prevista dal PRP:

dir. (°N)	$T_R$ (anni)	$H_s$ (m)	$T_p$ (s)	Layout
55.8	10	4.4	8.5	stato attuale (simulazione 1) e configurazione PRP (simulazione 3bis)
76.9	10	3.1	7.1	configurazione PRP (simulazione 4)
88.7	10	3.2	7.1	stato attuale (simulazione 2) e configurazione PRP (simulazione 5)
120	1	1	5	configurazione PRP (simulazione 6)

### 4.2. Il modello utilizzato

Lo studio della penetrazione del moto ondoso all'interno del porto è stato effettuato usando il modello matematico DIFFRAC, messo a punto da Delft Hydraulics (Olanda). Il

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINICO, REGIME DEL LITORALE

modello calcola il campo delle altezze d'onda indotto dalla penetrazione di onde regolari e unidirezionali all'interno di un bacino portuale di forma qualsiasi. Il porto e l'area esterna di propagazione del moto ondoso possono essere schematizzati suddividendoli in più bacini contigui, aventi profondità anche diversa ma costante nel singolo bacino.

Gli effetti di cui DIFFRAC tiene conto sono la diffrazione e le caratteristiche di riflessione delle opere che delimitano il bacino portuale. Non sono invece riprodotti i fenomeni di rifrazione (se non in modo schematico e solo in prossimità della linea di connessione tra due bacini contigui aventi diversa profondità), di frangimento e quelli associati alla irregolarità del moto ondoso.

Il modello DIFFRAC si è rivelato uno strumento affidabile per riprodurre le caratteristiche principali dei fenomeni d'agitazione interna. I risultati sono indicativi in valore assoluto ancorché da non assumere rigidamente, essendo inevitabilmente influenzati dalle ipotesi e schematizzazioni fatte.

#### 4.3. Schematizzazione del modello

Il modello è costituito da:

- un "confine d'ingresso" al largo, corrispondente al lato sul quale si presentano le onde incidenti con direzione e periodo prefissati, d'estensione e posizione opportuna in funzione delle onde da simulare;
- "lati fisici" del modello, che identificano il contorno del porto e della costa adiacente e che riflettono, in proporzione al loro coefficiente di riflessione, il moto ondoso;
- "linee di connessione" che delimitano i bacini contigui;
- "linee d'apertura" che consentono il passaggio del moto ondoso senza rifletterlo.

Gli elementi di confine del modello che rappresentano le opere sono caratterizzati da coefficienti di riflessione  $R$  variabili a seconda della natura dell'opera:

- mantellate esterne a scogliera  $R = 30\%$
- mantellate interne a scogliera  $R = 40\%$
- strutture e banchine a ridotta riflessione,

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_1*RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI_U1*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 67 di 140

- ad esempio con celle antirisacca R = 50%
- banchine a parete verticale piena R = 90%

Il modello comprende elementi di confine "aperti" ed elementi di confine a bassissimo coefficiente di riflessione (spiagge, scali di alaggio, etc.).

L'output tipico è costituito da un plottaggio di valori numerici dell'escursione relativa del livello locale nei nodi di un reticolo definito dall'utente e sovrapposto all'area di studio. Per consentire una più agevole interpolazione dei dati è stata elaborata una rappresentazione grafica a colori dei risultati del modello, rappresentati sotto forma di "curve di livello", cioè di curve caratterizzate dalla stessa escursione verticale del pelo libero espressa in metri.

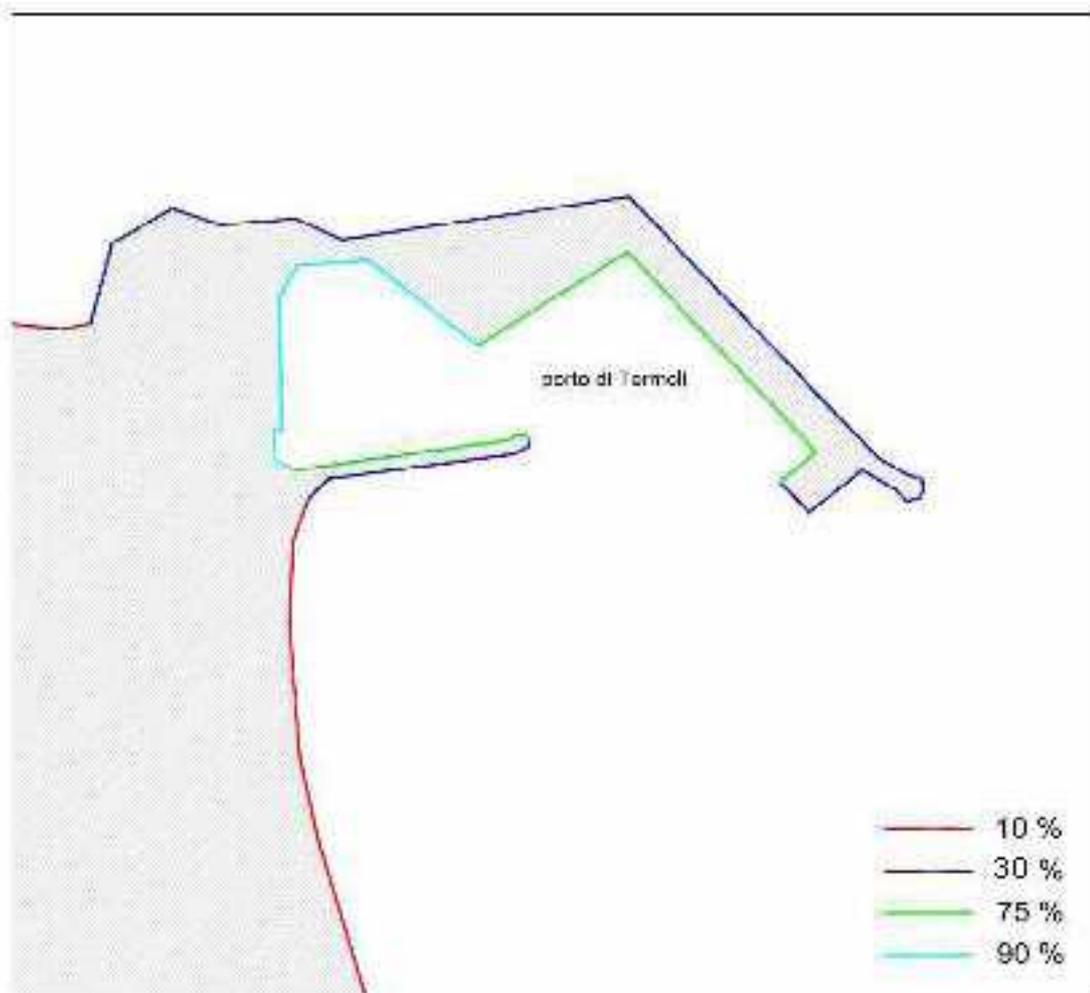
#### 4.4. Agitazione nello stato attuale

La configurazione planimetrica considerata nelle simulazioni 1 e 2 è quella relativa allo stato di fatto illustrata in Fig. 4.1 unitamente ai coefficienti di riflessione dei vari "lati fisici" del modello.

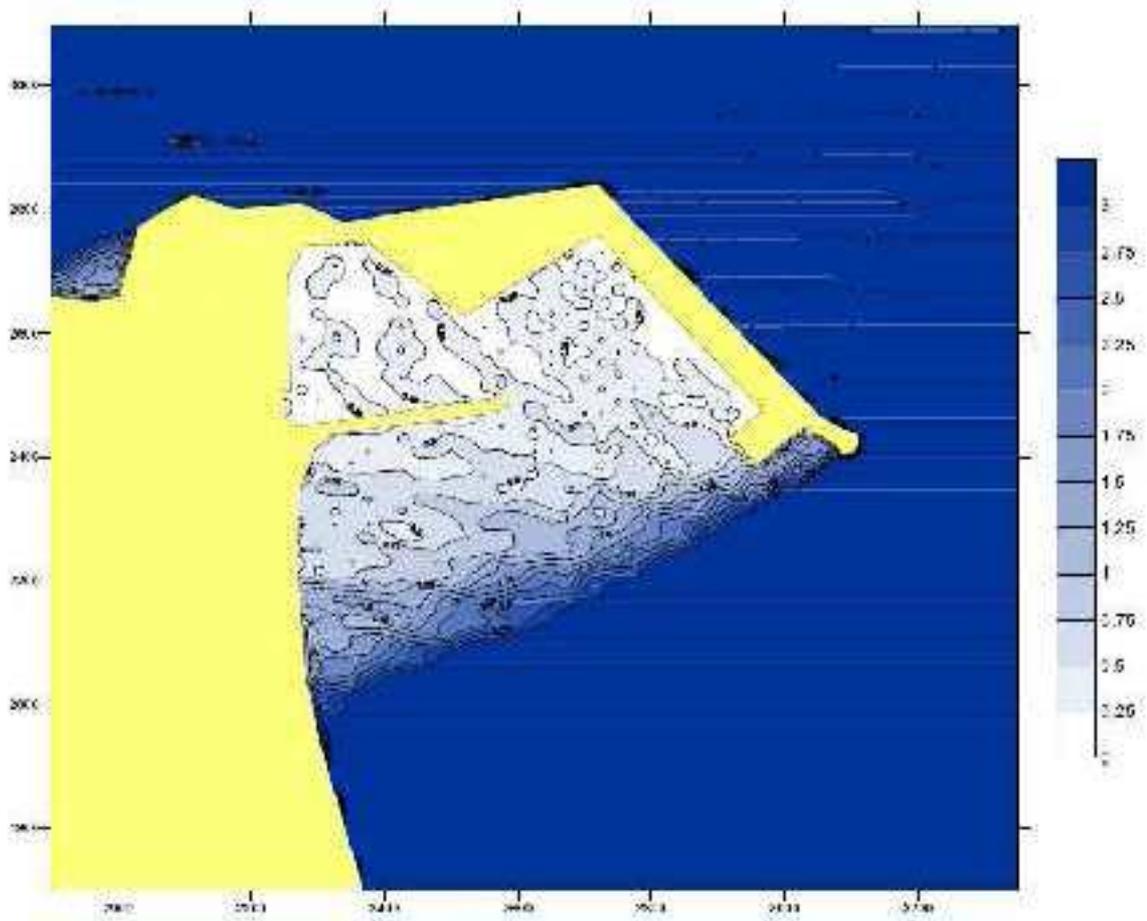
Le simulazioni eseguite hanno evidenziato parziali criticità legate alla configurazione planimetrica attuale, contraddistinta da una imboccatura che copre in maniera non ottimale il bacino portuale esponendolo, nel caso di severe mareggiate ( $T_R = 10$  anni) proveniente da est, ad una agitazione interna poco compatibile con le operazioni portuali.

La simulazione 1 (cfr. Fig. 4.2) è relativa ad onde provenienti da  $55.8^\circ N$  ed aventi una  $H_{\text{m}}$  pari a 4.4 m ed un  $T_p$  pari a 8.5 s. In questo caso il sopraffutto svolge il proprio ruolo e nel bacino portuale l'altezza residua supera raramente 0.25 m.

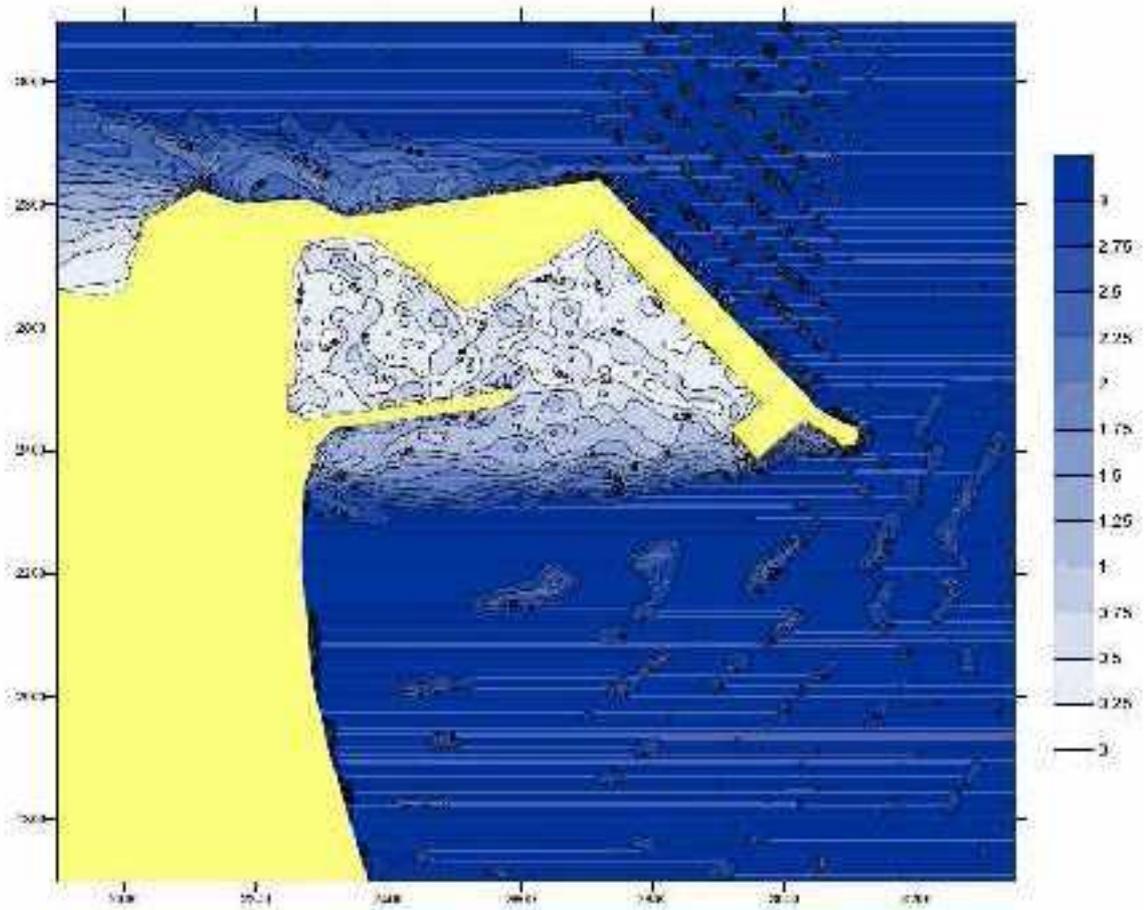
La simulazione 2 (cfr. Fig. 4.3) è relativa ad onde provenienti da  $88.7^\circ N$  con  $H_{\text{m}}$  pari a 3.2 m e  $T_p$  pari a 7.1 s. Nel bacino portuale le onde superano frequentemente 0.5 metri con picchi superiori a 0.75 metri sia nella zona dei cantieri e del traffico passeggeri che nel bacino più interno ove trovano posto le imbarcazioni da pesca, quelle delle forse dell'ordine e quelle da diporto



**Fig. 4.1** Layout ed indici di riflessione utilizzati per le simulazioni della agitazione interna (stato attuale)



**Fig. 4.2 Simulazione 1, stato attuale; dir = 55.8 N ;  $T_R = 10$  anni;  $H_B = 4.4$  m;  $T_P = 8.5$  s**



**Fig. 4.3** Simulazione 2, stato attuale; dir = 88.7°N;  $T_R = 10$  anni;  $H_B = 3.2$  m;  $T_P = 7.1$  s

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINICO, REGIME DEL LITORALE

#### 4.5. Agitazione nella configurazione di PRP

La Fig. 4.4 mostra la configurazione del nuovo PRP e gli indici di riflessione considerati nella simulazione 3, i cui risultati sono presentati nella Fig. 4.5. Con questa simulazione si è voluto valutare l'agitazione ondosa residua all'interno del porto in presenza di un moto ondoso incidente da circa 60°N indubbiamente gravoso (tra quelli considerati è quello che genera i maggiori effetti all'interno del porto) e nelle ipotesi più sfavorevoli, cioè che tutti i confini degli specchi acquei portuali siano costituiti da pareti verticali piene e quindi altamente riflettenti ( $R = 90\%$ ).

Si è riscontrato (Fig. 4.5) che l'agitazione ondosa nel porto storico raggiunge – e in alcuni tratti – supera valori di 0.50÷0.75 m che, seppure associati ad eventi poco frequenti, non si ritengono adeguati per imbarcazioni da diporto.

Anche nel nuovo porto commerciale e nel varco di passaggio verso il porto storico si riscontra una agitazione ondosa eccessiva.

Le stesse condizioni del moto ondoso incidente all'esterno del porto sono state quindi considerate nella simulazione 3bis, riducendo gli indici di riflessione sul paramento interno del primo braccio del prolungamento del sopraffutto ed in altri tratti, come mostrato in Fig. 4.6. Si è cioè ipotizzato che in questi tratti siano presenti opere a ridotta riflessione e non pareti verticali piene. L'indice di riflessione considerato (50%) corrisponde ampiamente a strutture a scarpata o a strutture dotate nel tratto superiore di celle antirisacca, ed è anzi cautelativo come dimostrato anche da recenti test sperimentali disponibili agli scriventi che hanno documentato – per strutture e condizioni analoghe – indici  $R$  pari al 40% o minori.

Con le ipotesi di Fig. 4.6 sulle caratteristiche del contorno del modello, i risultati di Fig. 4.7 mostrano – in assoluto e per confronto con quelli di Fig. 4.5 – che l'introduzione di confini a riflessione ridotta (50%) nei tratti indicati nella stessa Fig. 4.6 è ampiamente sufficiente per garantire all'intero bacino del porto storico ottime condizioni di tranquillità. Anche nel nuovo porto commerciale, in corrispondenza della banchina di NE, nello specchio acqueo antistante e nel varco, l'agitazione è assai inferiore – a parità di moto ondoso esterno al porto – rispetto a quello mostrato in Fig. 4.5 e da ritenere accettabile

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_R\RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI\04.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 72 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

in relazione alle funzioni previste ed ai requisiti di sicurezza della navigazione in queste aree del porto.

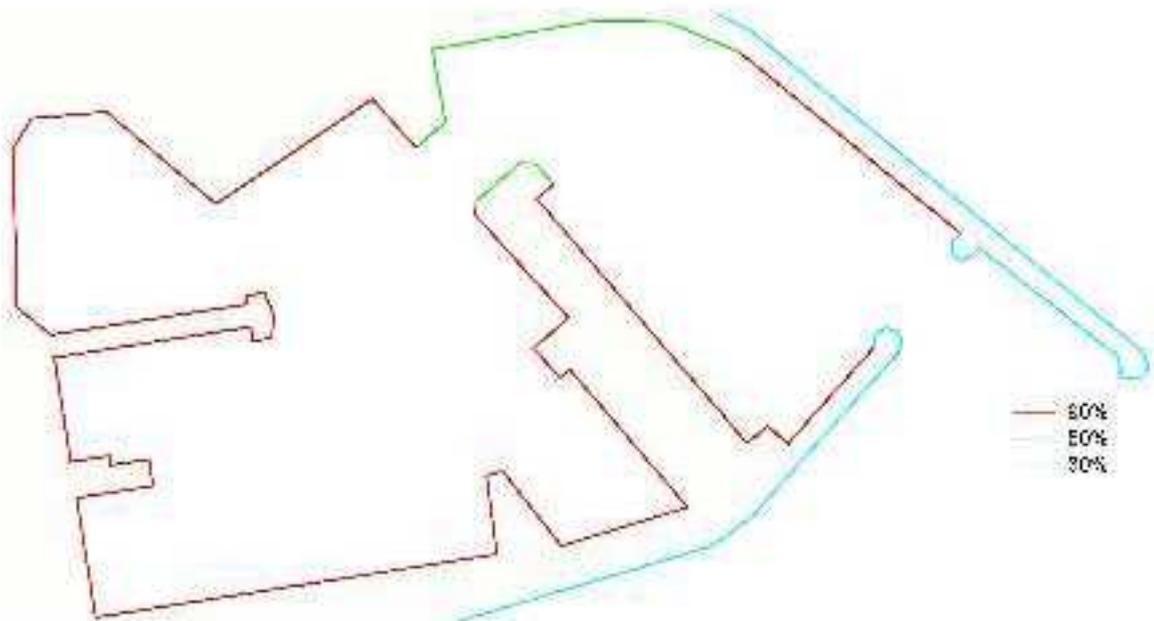
La stessa configurazione delle opere e gli stessi indici di riflessione di Fig. 4.6 sono stati considerati anche per le simulazioni 4 (Fig. 4.8), 5 (Fig. 4.9) e 6 (Fig. 4.10), riferite a diverse direzioni di provenienza del moto ondoso incidente ed alle caratteristiche H/T corrispondenti – per ciascuna direzione – ad eventi con periodo di ritorno TR = 10 anni (ancor maggiore, ancorché meno definibile, per la simulazione 6, con onde da 120°N non valutate con riferimento ai dati di largo definiti da APAT in base alle registrazioni della Rete Ondametrica Nazionale R.O.N.).

Come si può notare dalle figure che mostrano l'output del modello, anche per queste caratteristiche del moto ondoso gli interventi anti-riflessione ipotizzati consentono di contenere l'agitazione ondosa entro limiti accettabili. Ciò tanto più se si considera che, come detto, gli indici di riflessione utilizzati sono da ritenere cautelativi.

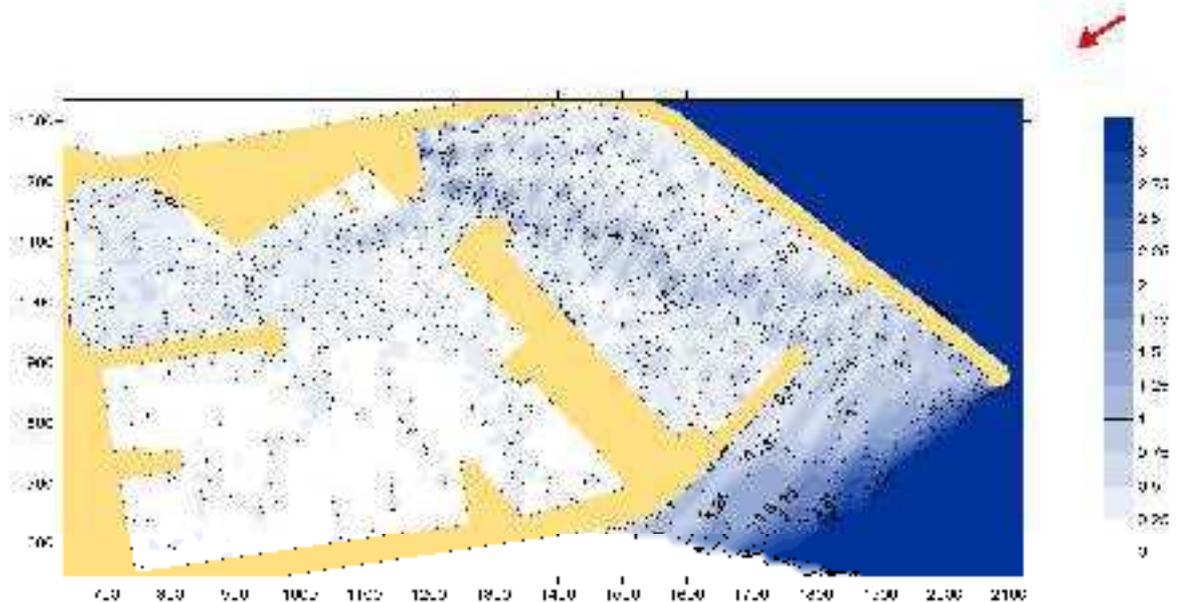
In definitiva, lo studio eseguito con modello numerico DIFFRAC, consente di trarre le seguenti conclusioni principali:

- per contenere l'agitazione ondosa residua entro limiti accettabili – ed opportunamente differenziati per le varie parti del porto in relazione alle funzioni previste, alle dimensioni delle imbarcazioni ormeggiate, alle esigenze di sicurezza della navigazione – è sufficiente che presentino una riflessione ridotta le sole opere indicate nella Fig. 4.6 con indice di riflessione pari al 50%. Tutte le rimanenti opere possono essere altamente riflettenti a parete verticale piena, senza che ciò comporti – nelle ipotesi fatte – inconvenienti e/o pregiudizi di rilievo;
- l'adozione di strutture a ridotta riflessione in altri tratti del porto non potrà tuttavia naturalmente – se le opere saranno correttamente progettate e verificate anche sotto questo riguardo – che aumentare la tranquillità degli specchi acquei portuali. Una valutazione tecnico-economica di costi/benefici potrà essere opportunamente eseguita in sede di progettazione delle opere, eventualmente anche con il supporto di prove su modello.

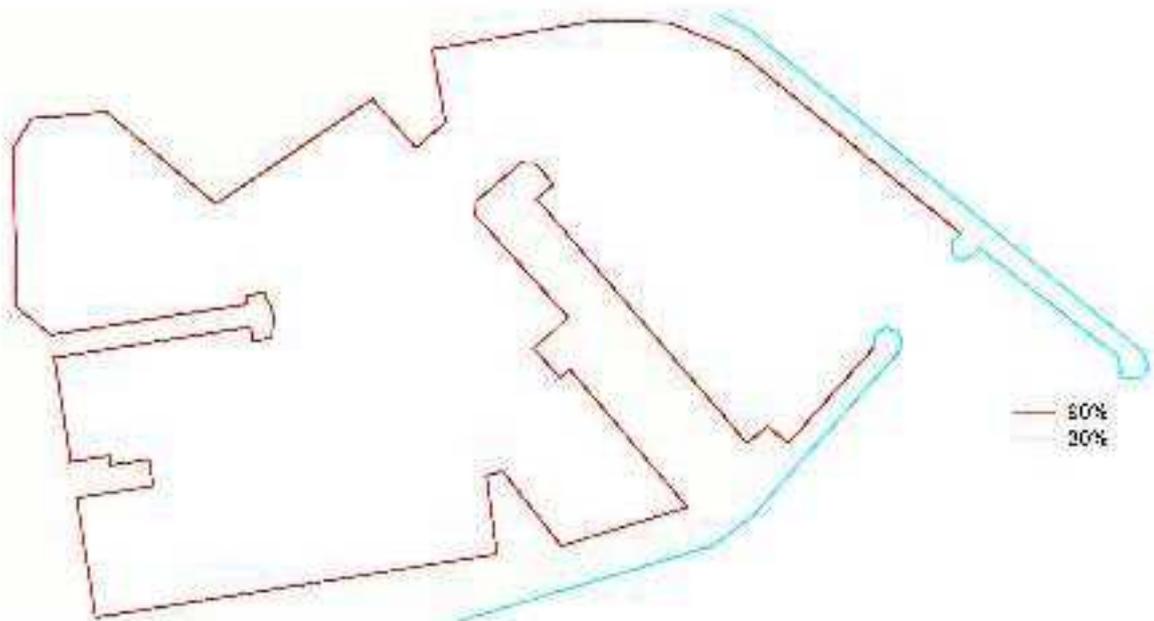
G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_19\RAPPORTO D.2_ASPETTI FISICI\04.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 73 di 140



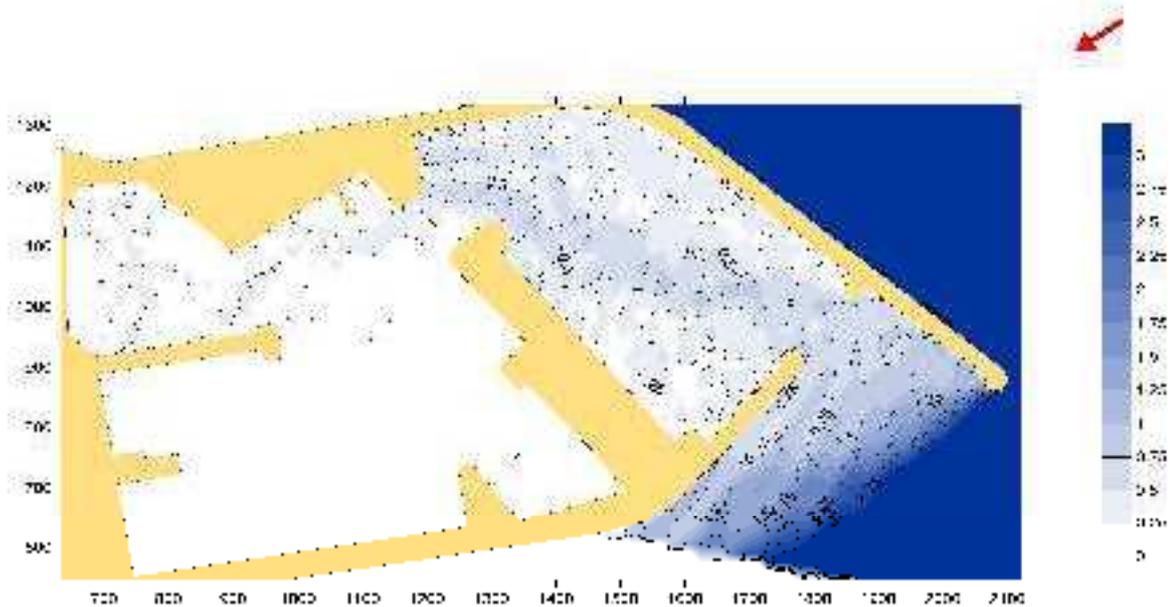
**Fig. 4.4** Layout ed indici di riflessione utilizzati per la simulazione 3 (configurazione di PRP)



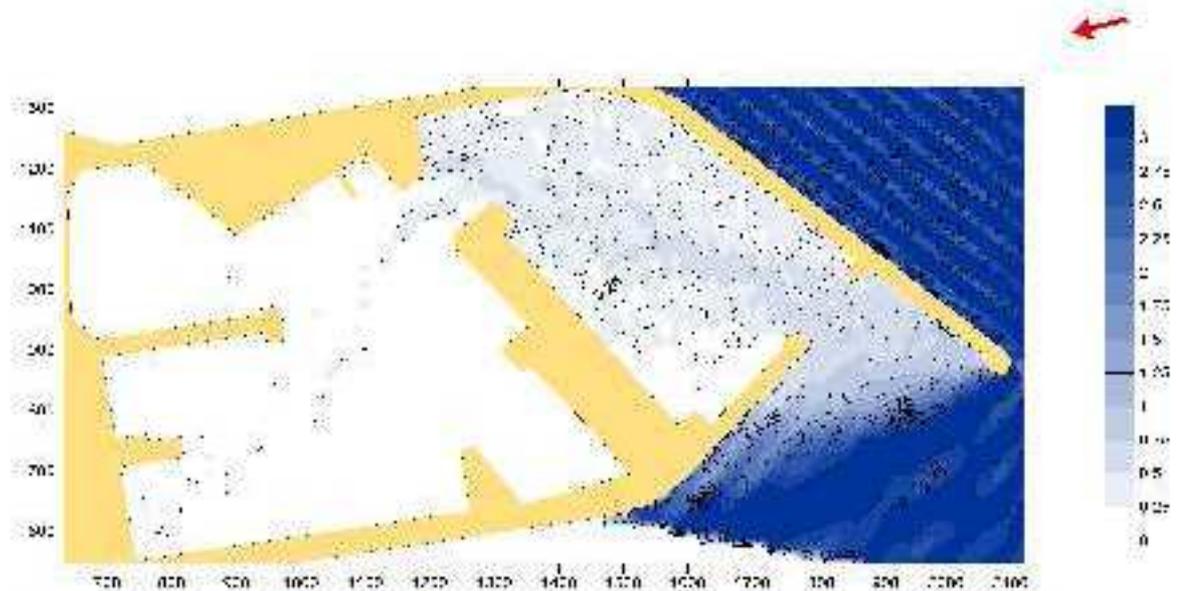
**Fig. 4.5** Simulazione 3, PRP:  $dir = 55.8^{\circ}N$ ;  $T_R = 10$  anni;  $H_B = 4.4$  m;  $T_P = 8.5$  s  
(primo braccio sopraflutto con riflessione ridotta)



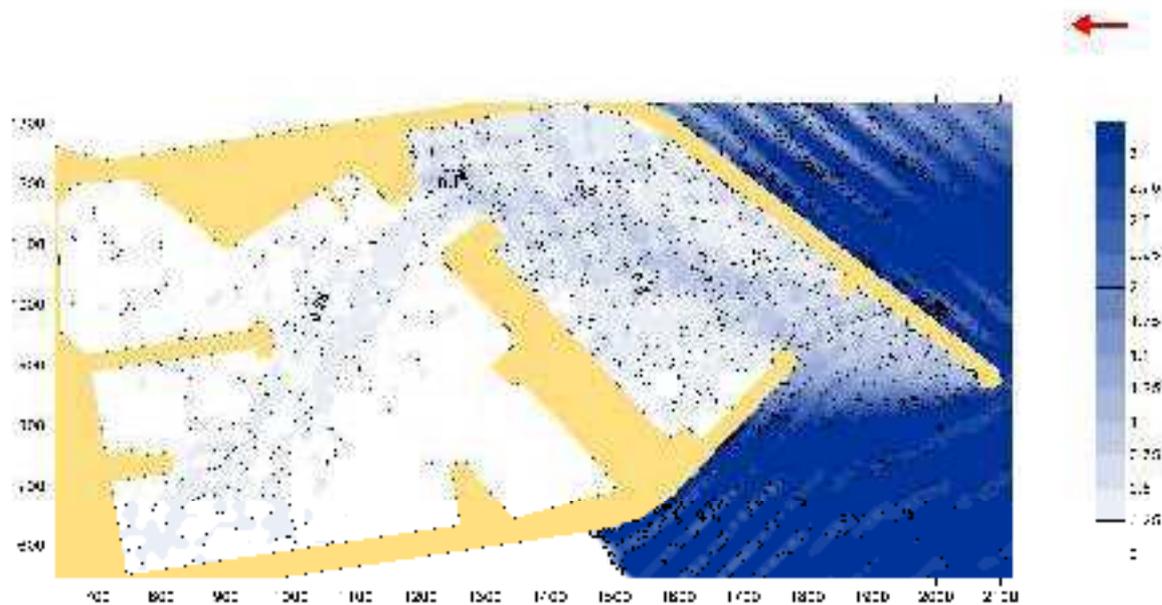
**Fig. 4.6** Layout ed indici di riflessione utilizzati per le simulazione 3bis, 4, 5 e 6 (configurazione di PRP)



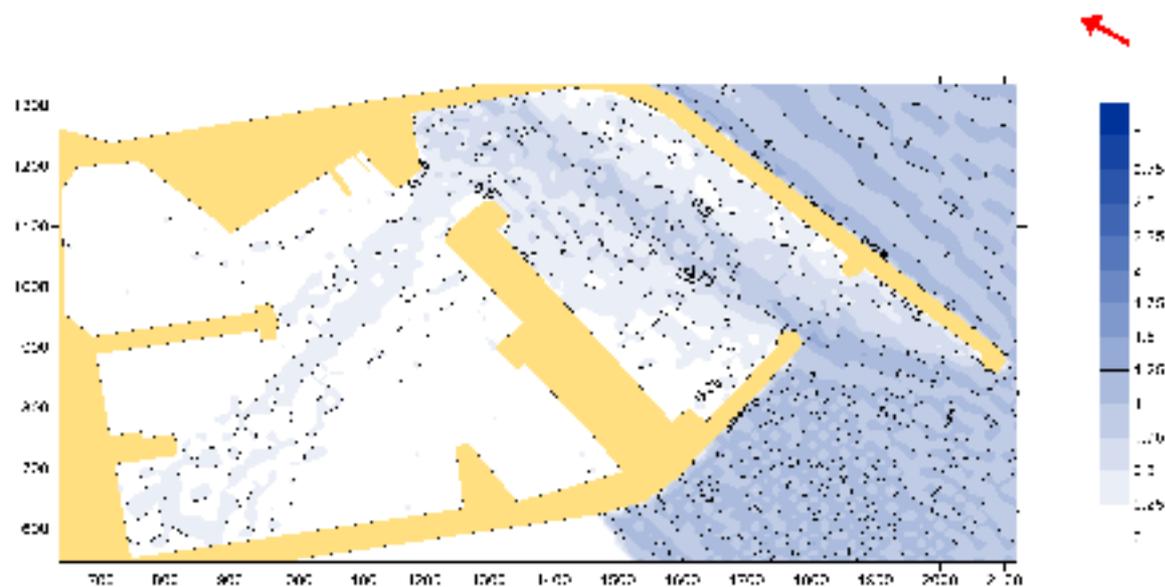
**Fig. 4.7** Simulazione 3bis, PRP:  $dir = 55N$ ;  $T_R = 10$  anni;  $H_B = 4.4$  m;  $T_P = 8.5$  s  
(opere portuali riflettenti)



**Fig. 4.8 Simulazione 4, PRP:  $d_r = 76.9H$ ;  $T_R = 10$  anni;  $H_B = 3.1$  m;  $T_P = 7.1$  s**  
(opere portuali riflettenti)



**Fig. 4.9 Simulazione 5, PRP:  $d_r = 88.7H$ ;  $T_R = 10$  anni;  $H_B = 3.2$  m;  $T_P = 7.1$  s**  
(opere portuali riflettenti)



**Fig. 4.10 Simulazione 6, PRP:  $\alpha_r = 120^\circ$ ;  $T_R = 10$  anni;  $H_B = 1.0$  m;  $T_P = 5.0$  s**

*(opere portuali riflettenti)*

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

## 5. CORRENTI E MAREE

### 5.1. Dinamica delle correnti marine [1]

#### 5.1.1. Circolazione idraulica sottocosta indotta dal moto ondoso

##### ⇒ Propagazione locale del moto ondoso

Per poter valutare la dinamica delle correnti marine nella zona a ridosso del porto di Termoli occorre prima propagare il moto ondoso verso costa. Si è reso necessario l'utilizzo di un modulo che tenesse conto anche dei fenomeni che esso subisce in prossimità di strutture portuali, quali moli, pennelli e scogliere parallele a riva. Si è pertanto proceduto all'applicazione del modulo PMS del codice MIKE21 che tiene conto degli effetti prodotti dalla diffrazione.

Si sono quindi estratti i risultati ottenuti in prossimità della zona di acque di transizione con il modulo NSW (cfr. par. 3.2.1), che non tiene conto dei fenomeni di diffrazione, e utilizzati come dati di input del modulo PMS.

Il modulo PMS consente di determinare il campo dei radiation stress che permette, mediante degli applicativi dedicati, di valutare i flussi ed i livelli al contorno che verranno poi utilizzati, assieme agli stessi radiation stress come condizioni al contorno e interne per l'applicazione del modello di circolazione idraulica.

##### Applicazione del modulo PMS del codice di calcolo MIKE21

Il modello locale è stato costruito con il codice MIKE21 PMS (Parabolic Mild Slope Equation) che tiene conto dei fenomeni di rifrazione, shoaling, attrito con il fondo, frangimento e diffrazione.

##### Cenni sul modulo PMS del codice di calcolo MIKE21

Il modulo PMS è basato sull'approssimazione parabolica dell'equazione ellittica delle onde (Elliptic Mild Slope Equation) che consente di rappresentare i fenomeni di rifrazione, interazione con il fondo, diffrazione e riflessione per onde lineari che si propagano su un fondo con batimetria gradatamente variabile. L'approssimazione parabolica è ottenuta assumendo una direzione principale di propagazione d'onda (direzione  $x$ ) e trascurando i termini diffrattivo e di riflessione lungo tale direzione.

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_RAPPOR TO D.2_ASPETTI bid_U#5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 78 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINICO, REGIME DEL LITORALE

Recenti miglioramenti alle equazioni di base consentono di rappresentare con l'approssimazione parabolica onde che si propagano con ampi angoli di incidenza rispetto alla direzione principale assunta per l'analisi. L'equazione parabolica è infine in grado di tenere conto, per mezzo della sovrapposizione lineare, della dispersione direzionale e di frequenza delle onde.

#### Griglie di input

Il dominio di calcolo utilizzato per il modello di propagazione locale del moto ondoso è costituito da una griglia di 600 celle nella direzione x e 1'200 celle lungo la y per un totale di 720'000 celle.

L'origine degli assi è nel punto di coordinate UTM 33 e=500'000, n=4'652'717.5 e l'asse y è orientato di 130°N. La dimensione delle maglie della griglia è stata scelta in funzione della possibilità di discretizzare la lunghezza d'onda di frangimento con almeno 7 punti per lunghezza d'onda. Si è pertanto scelta una griglia a maglie quadrate di 5 m di lato che consente quindi di simulare onde con lunghezze maggiori o uguali ai 35 m.

Per l'esecuzione delle simulazioni sono state impostate 3 differenti griglie di calcolo in cui ognuna rappresenta un differente layout proposto per la sistemazione del porto.

#### Sceita delle onde di modellizzazione

Le simulazioni sono state effettuate in riferimento a 4 onde, scelte in base all'analisi del flusso di energia long-shore, definito con le formulazioni dello Shore Protection Manual per le condizioni di frangimento.

Le onde di input sono state impostate in prima analisi come onde monocromatiche in modo tale da poter mettere in evidenza i fenomeni di diffrazione prodotti dalle opere in mare, quindi al fine di calcolare i campi di radiation stress e le condizioni di livello e di portata da impostare sul modello idrodinamico, sono state considerate onde irregolari direzionali sulla base di uno spettro di tipo JONSWAP, con una dispersione angolare di 30° parametri di forma  $\gamma$  pari a 3.3  $\sigma_a$  pari a 0.07 e  $\sigma_b$  pari a 0.09.

Al fine di rappresentare correttamente l'intero clima ondoso dal punto di vista sedimentologico sono possibili tre principali tipi di approccio:

- a) utilizzare l'intera area storica rilevata con una frequenza di campionamento propria dello strumento di misura;

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_PRAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 79 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

- b) utilizzare l'intera rosa delle onde, in cui ogni onda viene dotata di un peso pari alla percentuale di occorrenza;
- c) considerare delle onde che siano rappresentative dell'intera serie in termini di capacità di trasporto solido.

Il primo caso è certamente il più completo e permette di valutare molto correttamente tutti i fenomeni dinamici indotti dal moto ondoso, tuttavia appare molto impegnativo in quanto potrebbe essere necessario considerare un numero di onde che risulterebbe molto oneroso per la capacità computazionale dell'elaboratore.

Il secondo metodo è più facilmente applicabile in quanto consente di accorpate un certo numero di onde simili per direzione, periodo ed altezza in un'unica onda che abbia una frequenza di apparizione pari alla somma delle frequenze di apparizione di tutte le onde accorpate in quella determinata classe. Questo metodo viene utilizzato, ad esempio, laddove le elaborazioni sono dirette e non necessitano di eccessivi e gravosi passaggi per ottenere la risoluzione diretta del fenomeno che si sta studiando; ad esempio, nelle applicazioni dei modelli di evoluzione ad una linea come il LITPACK.

L'ultimo caso, ovvero di considerare un numero molto ristretto di onde, è necessario allorché si abbia la necessità di applicare modelli molto più complessi e completi per i quali è necessario ridurre il numero di onde da simulare.

Un tipico esempio è il caso dell'applicazione del MIKE21 ST nel quale è necessario applicare una modellizzazione del moto ondoso (MIKE21 PMS), quindi applicare le equazioni per la determinazione delle correnti marine indotte (MIKE21 HD), applicare il codice di calcolo per il trasporto solido (MIKE21 ST) ed infine integrare i risultati per verificare il comportamento globale delle onde nel sito in oggetto di studio (attualmente occorrono dalle 10 alle 12 ore di tempo macchina per ogni onda simulata).

Viene pertanto scelto il terzo tipo di approccio per la valutazione della dinamica litoranea locale.

Il metodo utilizzato per la scelta delle onde può essere così riassunto:

- 1) Raggruppamento delle onde a largo in differenti settori di circa 30-35°. Si hanno pertanto quattro settori che rappresentano l'intero settore di traverso del sito:
  - a) primo settore da 315 a 350°N;

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_1\RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI\05.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 80 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINICO, REGIME DEL LITORALE

- b) secondo settore da 350 a 25°N;
  - c) terzo settore da 25 a 60°N;
  - d) quarto settore da 60 a 90°N;
- 2) Calcolo del contributo long-shore della componente di flusso di energia  $P_{ls}$  per ogni evento. Ciò è basato sulla teoria che il trasporto dei sedimenti long-shore è proporzionale al flusso di energia lungo riva dell'onda.

$$H^2 T \sin(2(Dir_1 - Dir_n)) \text{freq}$$

dove H è l'altezza d'onda significativa a largo in metri;

T è il periodo medio in secondi;

$Dir_1$  è la direzione dell'onda incidente a largo in gradi rispetto al Nord;

$Dir_n$  è la direzione della normale alla linea media di riva e viene posto a 30°N;

freq è la frequenza di occorrenza dell'onda.

Tale metodo differisce lievemente dal metodo utilizzato per la taratura con il modulo LITDRIFT che utilizza tutte le onde della serie ma, sostanzialmente, il risultato ha la medesima significatività.

- 3) Calcolo del momento di primo ordine della relazione tra il flusso di energia e l'altezza significativa ( $P_{ls}$ ;  $H_s$ ). Questo è considerato come l'altezza d'onda rappresentativa  $H_{rep}$ .
- 4) Scelta dell'onda con l'altezza più simile all'onda con  $H_{rep}$ . Se tale altezza si presenta con differenti periodi e direzioni è consigliabile scegliere quella che determina il maggior contributo in termini di  $P_{ls}$ .
- 5) Calcolo della frequenza di occorrenza equivalente per dare alla singola onda scelta lo stesso  $P_{ls}$  di tutto il gruppo di onde rappresentato.

Utilizzando questo tipo di procedura si ottiene la seguente rosa di quattro eventi significativi che, riprodotti con la frequenza fittizia  $f_{rep}$  rappresentano l'intero clima annuale.

Nella tabella seguente è schematizzato il clima medio annuo che si verifica nel paraggio di Termoli. È bene riprodotto il fatto che le onde dal settore 315-350°N sono più frequenti ma con altezze d'onda minori. Le onde provenienti dal settore 350-25°N sono

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPOR TO D.2_ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 81 di 140

invece meno frequenti ma caratterizzate da altezze maggiori. Le onde del settore 25-60°N hanno una frequenza minore delle altre ma con un'altezza media, mentre le onde del settore 60-90°N sono abbastanza frequenti, ma con altezze basse.

evento	Settore rappresentato	H <sub>rep</sub> (m) calcolato	H <sub>a</sub> (m) al largo	T <sub>m</sub> (s) al largo	T <sub>p</sub> (s) al largo	MWD (°N) al largo	MWD (°N) sotto-coasta	frequenza equivalente	giorni anno
Onda A	315-350	1.73	1.50	4.04	5.39	345	345.2	8.56	31.3
Onda B	350-25	2.26	2.50	5.22	6.96	0	1.1	2.54	9.3
Onda C	25-60	2.00	2.00	4.67	6.22	45	44.7	1.07	3.9
Onda	60-90	1.42	1.50	4.04	5.39	90	89.7	2.97	10.8

**Tab. 5.1 Schematizzazione del clima medio annuo mediante quattro onde rappresentative**

Risultati della propagazione locale del moto ondoso

La propagazione locale del moto ondoso, fatta con onde di input monocromatiche, mette in evidenza le trasformazioni che l'onda assume per effetto delle caratteristiche del fondale e per effetto della presenza delle opere foranee.

Dall'osservazione dei risultati ottenuti si può notare che, per le ondatazioni provenienti dal I e soprattutto dal IV quadrante, a causa dell'aggetto del molo nord, si determina un cono di diffrazione a tergo dell'opera. Dalla valutazione di questi primi risultati si può pensare che la zona protetta possa essere caratterizzata da un vortice situato a dosso del molo sud del porto per ondatazioni provenienti da Nord.

Qualitativamente si può spiegare la presenza di un vortice dato che le condizioni di setup nella zona di diffrazione sono molto attenuate rispetto all'adiacente zona ove il moto ondoso arriva diretto, si creano pertanto delle correnti di pendenza che danno origine, in questo caso, ad un vortice anticiclonico (ovvero in senso orario).

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Per quanto riguarda le ondate provenienti da 45° e 90°N l'ampiezza del cono d'ombra risulta notevolmente ridotta e pertanto si presume che risulterà ridotta anche l'estensione del vortice.

⇒ Dinamica delle correnti

Il calcolo delle correnti costiere indotte dalle forzanti meteo-marine come il moto ondoso, il vento, la marea è stato realizzato con il codice di calcolo MIKE21 HD (HydroDynamics).

Griglie di input

Il dominio di calcolo utilizzato nel modulo idrodinamico è lo stesso utilizzato nel modulo PMS. Tuttavia per ridurre i tempi computazionale si è reso necessario aumentare le dimensioni delle maglie, passando da 5 a 10 m di lato, pertanto la griglia risulta essere di 600 x 300 celle, per un totale di 180'000 celle di calcolo. L'orientazione dell'asse y rispetto al Nord è l'origine del sistema di riferimento sono rimasti gli stessi.

Impostazione delle condizioni al contorno

Le forzanti meteomarine implementate per le simulazioni sono costituite dal moto ondoso. Le quattro onde simulate sono quelle rappresentative dell'intero clima in termini di trasporto solido e sono riassunte in Tabella 5.1.

Le condizioni di moto ondoso vengono simulate impostando due tipi di condizione. Una sui contorni del dominio di calcolo ed una all'interno dell'area. Le prime sono rappresentate in termini di livello e di portata calcolati dal campo dei radiation stress che si ottengono con il modello PMS utilizzando un'onda irregolare direzionale. Mentre la condizione interna è rappresentata dal campo dei radiation stress.

Generalmente si impone una condizione di livello nel contorno di sottoflutto ed una condizione di portata nel contorno di sopraflutto, considerando il flusso principale nella direzione principale di propagazione dell'onda.

Nella Tabella 5.2 sono riportate le grandezze impostate nel modello onda per onda in funzione del contorno. Come si può notare per un'onda che proviene dall'angolo in alto a destra del modello, è stata impostata una portata nel contorno superiore (sopraflutto) ed un livello nel contorno inferiore (sottoflutto).

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_1*RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 83 di 140

evento	MWD (°N) sottocosta	Contorno inferiore (nord)	Contorno superiore (sud)
Onda A	345.2	flusso	livello
Onda B	1.1	flusso	livello
Onda C	44.7	livello	flusso
Onda D	89.7	livello	flusso

**Tab. 5.2 Schema dell'impostazione delle condizioni al contorno per l'applicazione del modulo idrodinamico**

#### Risultati dell'applicazione del modulo HD

Per quanto riguarda le caratteristiche idrodinamiche si ha che con l'ondazione proveniente da 345° N e con altezza significativa di 1.5 m si verifica un campo di correnti indotte di modesta entità (Fig. 5.1). Una maggiore intensità si nota in prossimità del promontorio di Borgo Antico ma i valori massimi rimangono comunque inferiori a 0.3 m/s. La circolazione globale si sviluppa da Nord verso Sud lambendo il molo di sopraffutto, ed inducendo un vortice anticiclonico che si sviluppa nella parte antistante la spiaggia di Rio Vivo nella zona compresa tra il sistema di scogliere parallele a riva ed il porto.

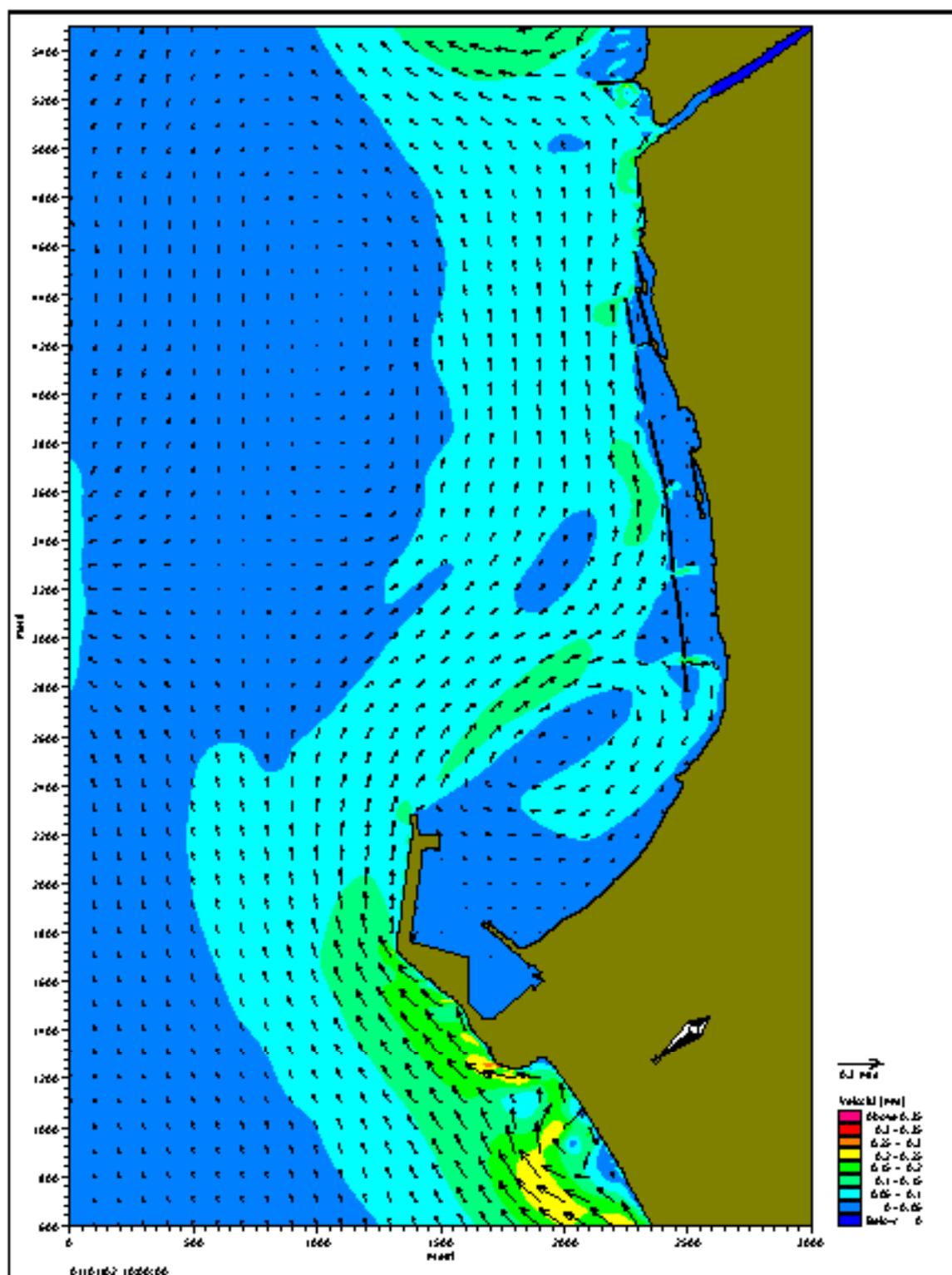
Le correnti indotte da un moto ondoso proveniente circa da Nord (onda con  $H_s=2.5$  m, dir. 1.1°N) danno origine a velocità che, a ridosso del molo nord, raggiungono i valori massimi di 0.5 m/s (Fig. 5.2). Anche in questo caso si verifica la presenza del vortice anticiclonico immediatamente a Sud del porto.

La configurazione delle correnti generata da un moto ondoso proveniente da 44.7°N da origine ad una circolazione globale diretta principalmente da Sud verso Nord (Fig. 5.3). Nel tratto compreso tra la spiaggia di Rio Vivo e il molo sud si hanno invece una serie di vorticosità indotte dal moto ondoso e dalla presenza del molo a martello che innescano un vortice anticiclonico. I valori massimi delle velocità si riscontrano in prossimità del promontorio di Borgo Antico e sono dell'ordine di 0.45 m/s.

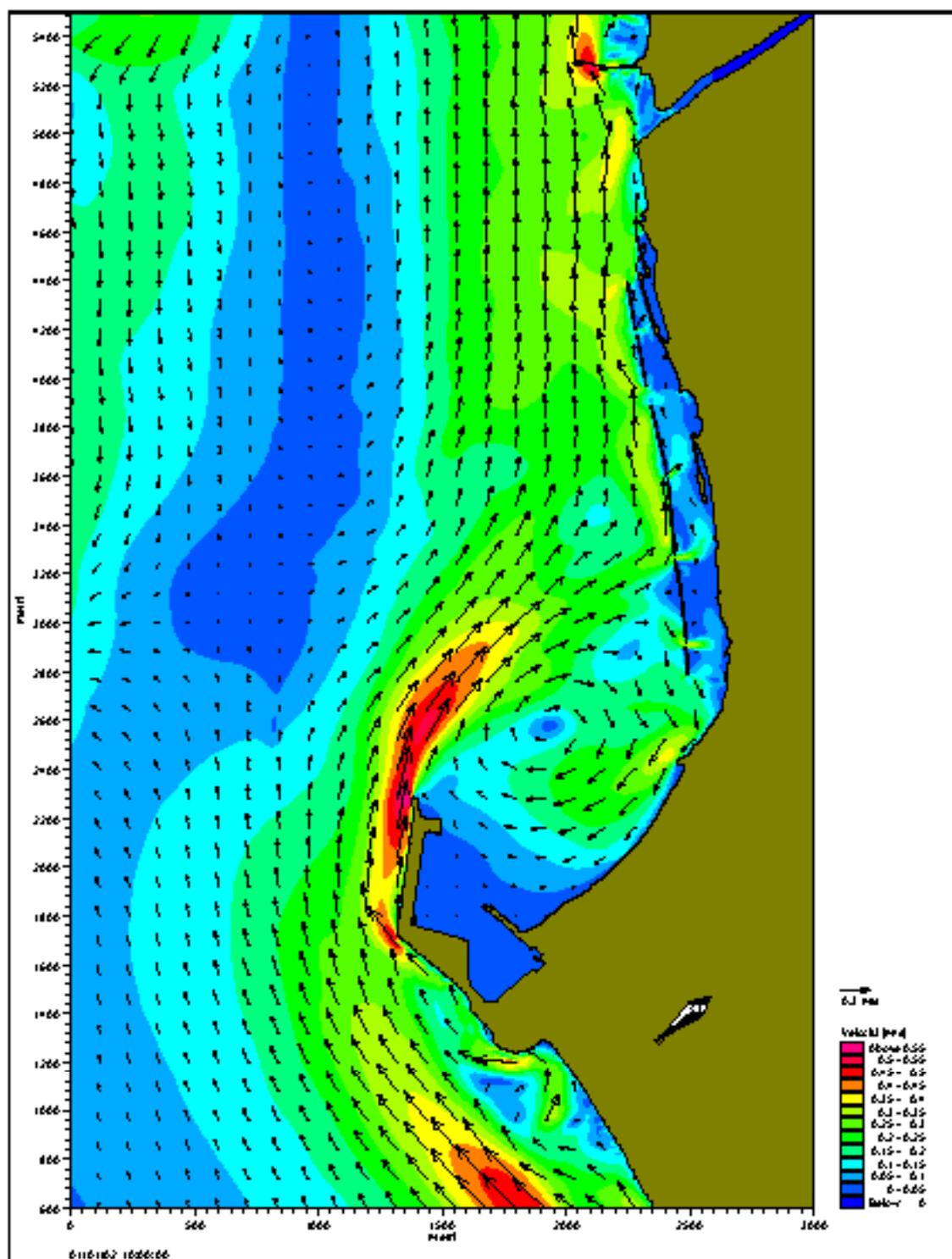
	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINICO, REGIME DEL LITORALE

Contrariamente alle tre situazioni precedenti il moto ondoso generato da eventi provenienti da levante da origine ad un vortice ciclonico spostato di circa 200 m rispetto all'asse del molo sud con velocità massime di 0.3 m/s. A ridosso del molo sud si riscontra invece una corrente diretta verso il largo (velocità dell'ordine dei 0.2 m/s) che attraversa l'imboccatura. Tali correnti, così come e quelle indotte dalle altre fondazioni esaminate sono, molto probabilmente, responsabili del progressivo insabbiamento che si riscontra periodicamente all'imboccatura (Fig. 5.4).

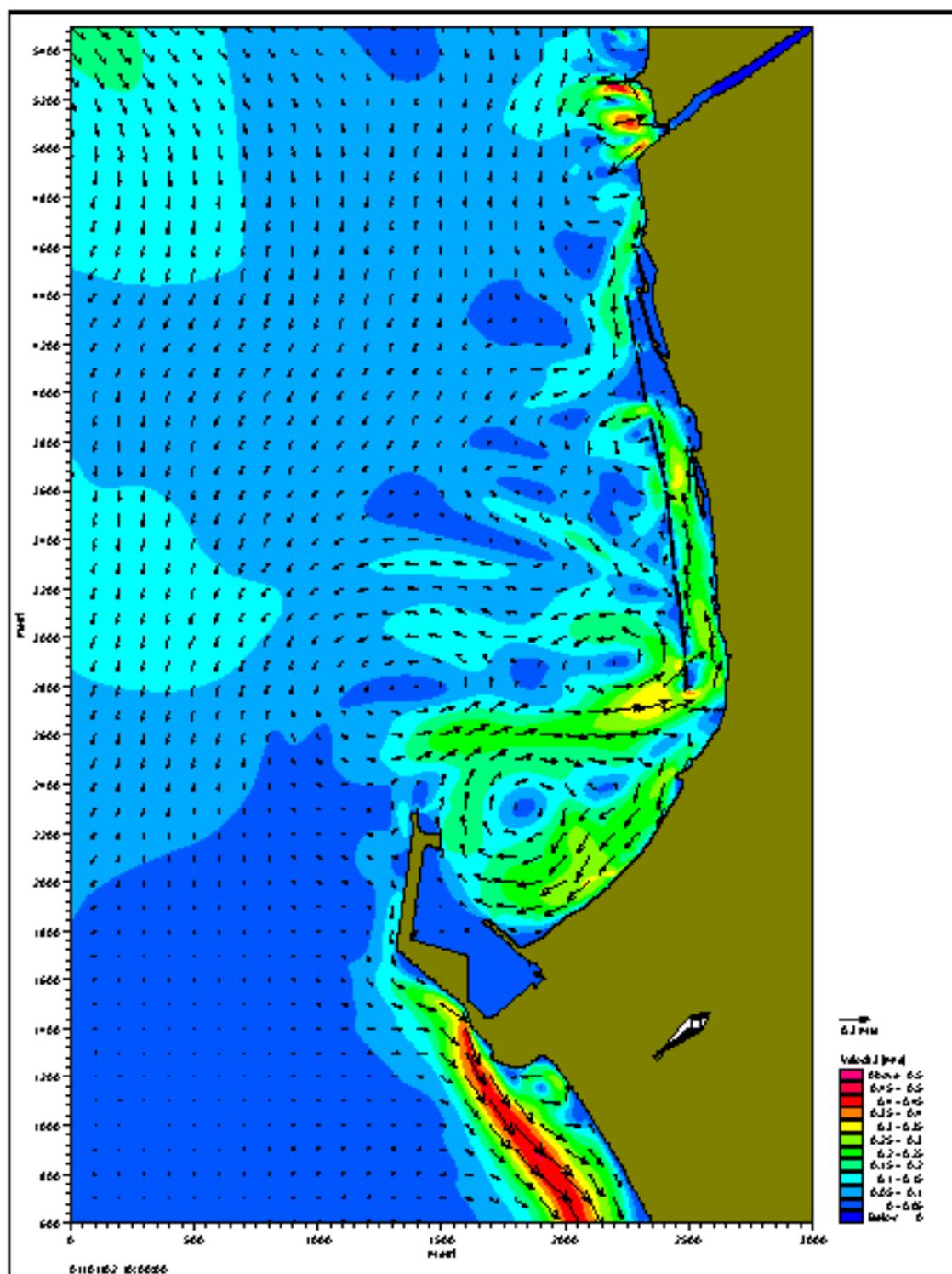
G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPV\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPOR TO D.2_ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - R2 U.00	Pag. 85 di 140



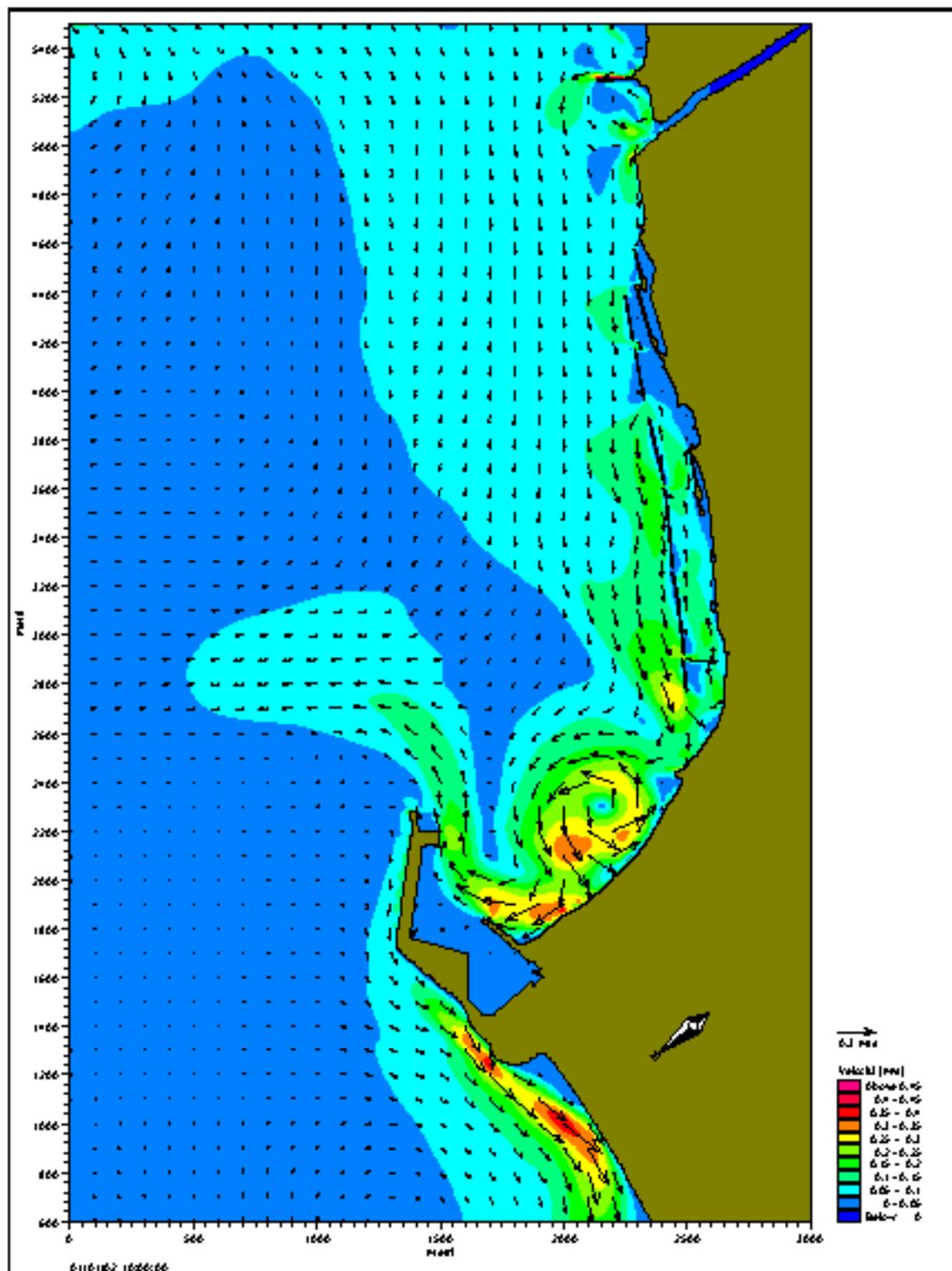
**Fig. 5.1 Campo delle velocità con layout 0 (attuale) e onda con  $H_c = 1.5$  m,  $T_p = 5.39$  s, Dir. =  $345.2^\circ$  N**



**Fig. 5.2 Campo della velocità con layout 0 (attuale) e onda con  $H_c = 2.5$  m,  $T_p = 6.96$  s, Dir.=1.1°N**



**Fig. 5.3** Campo della velocità  $c$  con layout 0 (attuale) e onda con  $H_c = 2.0$  m,  $T_p = 6.22$  s, Dir. =  $44.7^\circ N$



**Fig. 5.4 Campo delle velocità con layout 0 (attuale) e onda  $H_c = 1.5$  m,  $T_p = 5.39$  s, Dir. =  $89.7^\circ$ N**

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

## 5.2. Analisi delle maree

### 5.2.1. Aspetti generali

I dati mareometrici fanno riferimento alla stazione di Pescara che è il sito più vicino dove è presente un mareografo registratore.

L'analisi dei dati di marea è stata condotta secondo i seguenti punti:

- 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;
- 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 dati 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).

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_1*RAPPORTO D.2 ASPETTI fisici.doc	
PGD22	
USTD2 - Rel. 00	Pag. 90 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

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 dei "buchi" nella ricerca delle componenti mareali.

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 alle 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.

Nella Figura 5.6 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 sia 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.

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 astronomica si ha un livello massimo pari a 0.62 m ed un livello minimo di -0.06 m.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_**RAPPOR TO D 2 ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 91 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

### **5.2.2. Analisi della componente armonica**

La ricerca delle costanti armoniche è stata effettuata mediante il metodo IOS (Institute of Ocean Sciences) 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.

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 i 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 molte piccole, 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.

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.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_*.R\RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI\U05.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 92 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Si nota come viene riprodotto correttamente l'andamento della marea e come vengono ricostruiti in modo affidabile i dati mancanti.

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

mediante il parametro  $r$  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:

- $a_{K1} = 0.0909$  m,
- $a_{O1} = 0.0293$  m,
- $a_{M2} = 0.0655$  m.

si ottiene pertanto:

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

### **5.2.3. 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.

G:\PGD22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPOR TO D 2 ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Re U. 00	Pag. 93 di 140



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 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 e risonanze portuali.



VIOLA



REGIONE MOLISE

Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.

D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINARO, REGIME DEL LITORALE

	Nome	Periodo (ore)	Completa		Sei mesi A		Sei mesi B	
			Ampiezza (m)	Fase (°)	Ampiezza (m)	Fase (°)	Ampiezza (m)	Fase (°)
1	Z0	-	0	0	0	0	0	0
2	SA	8766232	0.0001	236.94				
3	SSA	4382906	0.0001	20.45			0.0001	35.58
4	MSM	763487	0.0002	334.62				
5	MM	651309	0	328.87	0.0002	297.81	0.0001	60.98
6	MSF	354367	0.0003	144.07	0.0005	149.46	0.0005	111.9
7	MF	327859	0.0004	163.27			0.0003	64.45
8	ALP1	29.073	0.001	236.55	0.0005	28.14	0.0015	283.68
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	RHD1	26.723	0.0027	136.95				
13	O1	25.819	0.0298	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	325.96
16	ND1	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	PI	24.066	0.0288	79.53			0.034	80.53
20	S1	24.000	0.0095	233.48				
21	K1	23.984	0.0909	88.59	0.0936	87.48	0.0906	80.87
22	FSII	23.869	0.0018	126.77				
23	PHI1	23.804	0.0022	78.08			0.0034	100.86
24	THE1	23.207	0.0024	119.6				
25	J1	23.098	0.0079	104.9	0.0059	125.75	0.0093	113.06
26	SD1	22.420	0.005	156.04			0.0043	83.47
27	OD1	22.306	0.0033	134.92	0.0012	182.53	0.0025	109.84
28	URS1	21.578	0.003	122.68	0.0099	3.1	0.0114	171.96
29	OC2	13.162	0.0011	317.36				
30	ERS2	13.127	0.0004	98.99	0.0018	14.45	0.0006	314.15
31	2NE	12.905	0.0002	353.41				
32	MU2	12.872	0.0012	182.49	0.0023	272.55	0.0015	164.45
33	NE	12.658	0.0106	85.62	0.0122	77.77	0.0107	90.06
34	NU2	12.626	0.0016	81.81				
35	GAM2	12.452	0.0004	35.56				
36	HI	12.438	0.0015	56.2				
37	M2	12.421	0.0655	94.44	0.0655	95.32	0.0666	92.27
38	HE	12.403	0.0018	330.15				
39	MES2	12.386	0.002	237.58			0.0024	208.75

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA\_PRPOCONSEGNA\_PROPOSTA\_PRP\_3\*\_R1\_\*\_RAPPORTO D.2\_ASPE TTI bid\_U15.doc

PGD22

USTD2 - Re.U.00

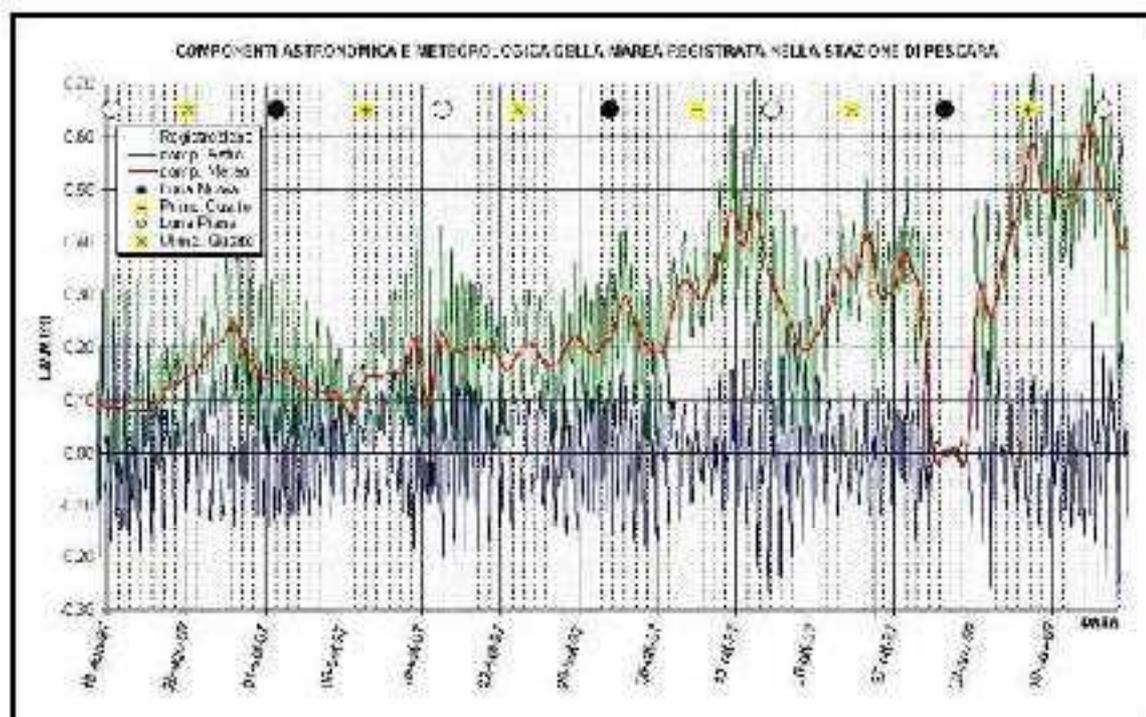
Pag. 95 di 140

	Nome	Periodo (ore)	Completa		Sei mesi A		Sei mesi B	
			Amplitude (m)	Fase (°)	Amplitude (m)	Fase (°)	Amplitude (m)	Fase (°)
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				
43	S2	12.000	0.046	102.28	0.0459	101.84	0.0471	103.5
44	R2	11.964	0.0013	204.86				
45	K2	11.957	0.0136	94.84			0.0131	94.6
46	MG2	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	MG3	8.386	0.002	102.42	0.0022	118.99	0.0021	98.94
49	MG	8.280	0.003	38.95	0.0023	54.54	0.0037	33.81
50	SC3	8.192	0.0006	171.06			0.001	144.17
51	MG3	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	MN	6.210	0.0008	31.47	0.0006	45.58	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	MX4	6.095	0.0003	235.27			0.0004	325.99
58	SA	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	2MK6	4.166	0.0002	100.62	0.0006	107.19	0.0003	86.88
63	MG	4.140	0.0002	22.22	0.0005	337.42	0.0001	182.11
64	2MG6	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	MG6	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	MG	3.105	0.0003	215.12	0.0001	177.25	0.0006	236.28

**Tab. 5.3 Risultato dell'analisi armonica per la stazione di Pescara**



**Fig. 5.5** Posizione dello strumento di misura del livello del mare all'interno del porto di Pescara



**Fig. 5.6** Scomposizione mediante filtro passa-basso della marea rilevata in una componente astronomiche e meteorologica

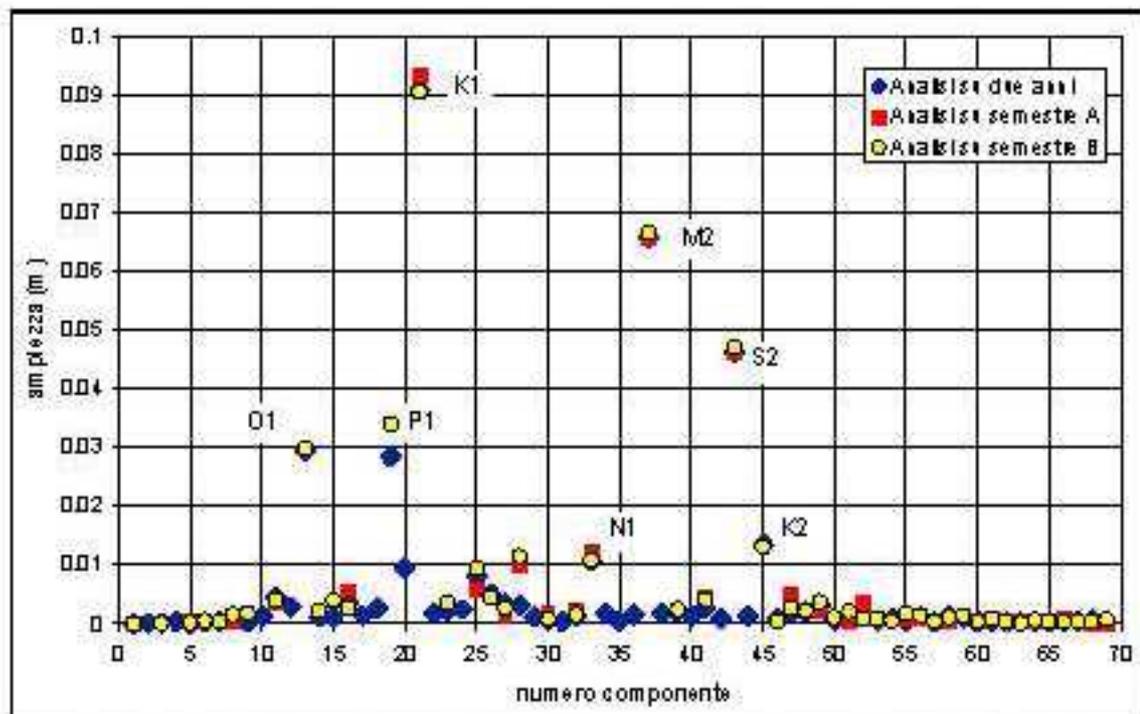
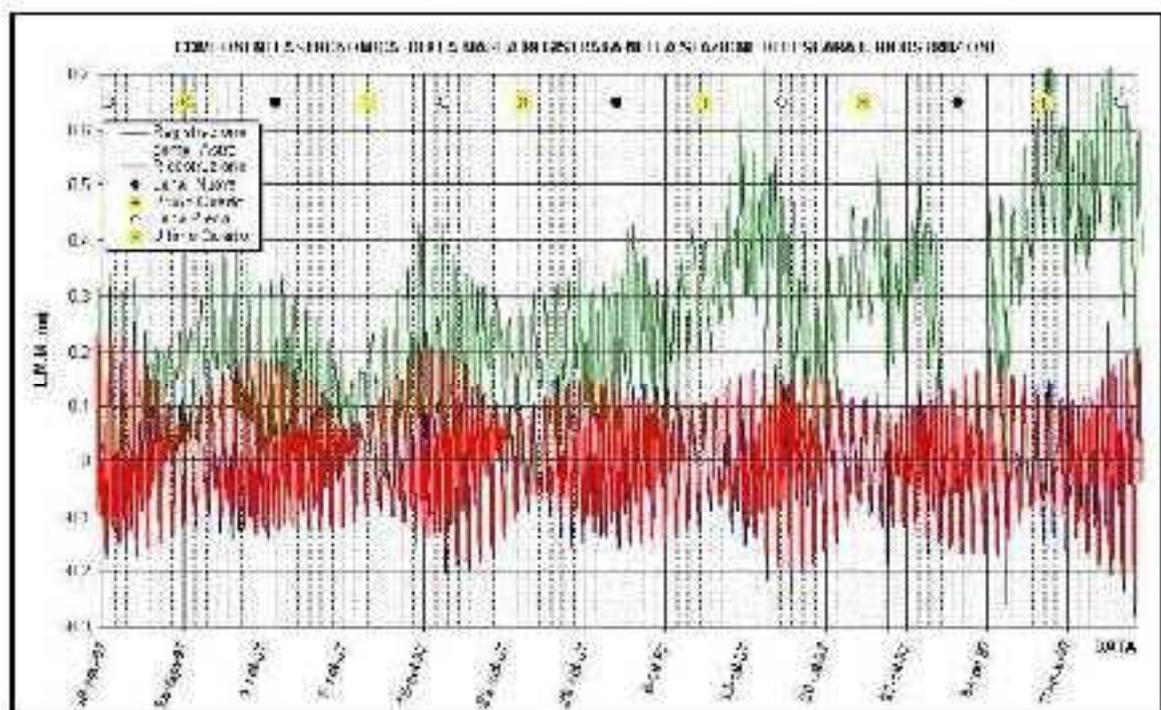
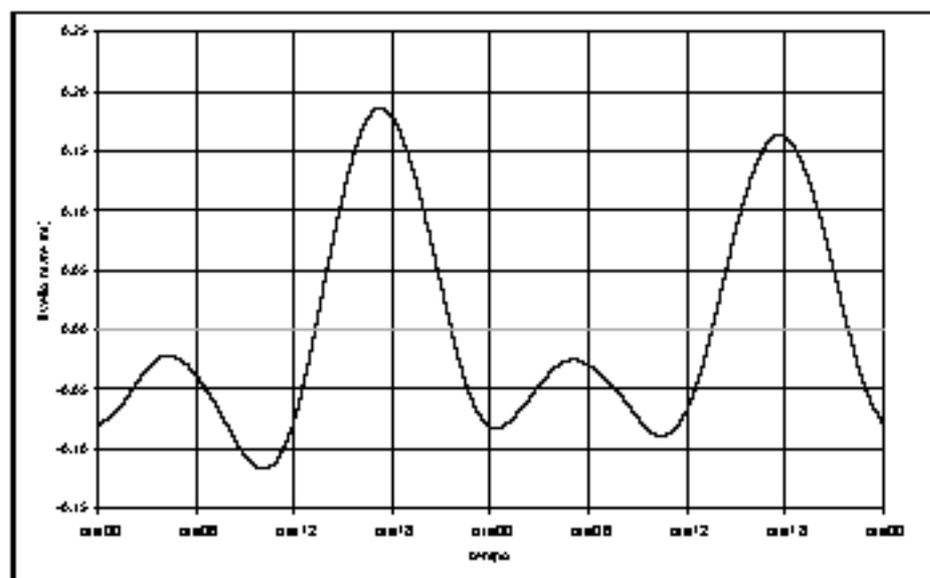


Fig. 5.7 Confronto tra le ampiezze delle varie componenti armoniche individuate con l'analisi dei tre periodi presi in considerazione



**Fig. 5.8 Ricostruzione della marea astronomica con l'utilizzo delle costanti armoniche ricavate con il metodo IOS**



**Fig. 5.9 Grafico rappresentante due giorni della marea ricostruita per Pescara nel quale si individua il tipico andamento della marea mista**

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOROLOGICO, REGIME DEL LITORALE

## 6. IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA

### 6.1. Caratteristiche generali

La conformazione dell'area, isolata verso il mare da relitti di un antico cordone litorale, si presta ad accogliere eventuali fenomeni alluvionali del fiume Biferno e le acque di precipitazione meteorica che, data le particolari caratteristiche granulometriche dei terreni affioranti, spesso ristagnano in superficie.

Dal punto di vista della permeabilità va sottolineato che nel settore in esame sono distinguibili due domini a permeabilità nettamente differente: il primo, costituito dalle aree ove affiorano i termini più grossolani sabbioso limosi, ha in generali una permeabilità generalmente media con ridotti ed isolati fenomeni di tamponamento alla base ad opera delle frequenti interdigitazioni di natura argilloso limosa; il secondo è caratterizzato dalla presenza di termini limoso argillosi con generale bassa permeabilità.

Le aree di ristagno delle acque coincidono con l'affioramento dei terreni del secondo tipo e presentano, in generale, quote s.l.m. inferiori rispetto ai settori adiacenti.

La conformazione morfologica e la permeabilità dei terreni, pertanto, hanno caratterizzato il microambiente dell'area che, leggermente più a SW della presente, acquista il toponimo di Pantano Basso.

Da ciò la realizzazione di una fitta rete di canali, più o meno importanti, che hanno la funzione di raccogliere le acque convogliandole fino al fiume.

Particolarmente importante, in tale ottica, è l'analisi delle condizioni dei canali suddetti.

Molti di essi, soprattutto quelli realizzati in terra, allo stato attuale presentano il fondo e gli argini coperti da vegetazione di tipo palustre che interdice o quantomeno rallenta il flusso delle acque verso il Biferno.

L'elaborazione dei dati relativi alla profondità della falda va, comunque, considerata alla luce dei soli dati scaturiti dalle rilevazioni dei livelli piezometrici effettuati nei periodi più critici dell'anno, i mesi di gennaio-febbraio (1998).

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*\RAPPORTO D.2 ASPETTI fisici_01*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 100 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOROLOGICO, REGIME DEL LITORALE

Appare comunque importante sottolineare la necessità di monitorare le variazioni piezometriche durante un intero anno.

Allo stato attuale la falda si trova a quote s.l.m. comprese tra 1.0 -1.5 m ovvero a quote dal piano di campagna comprese tra i 0.50 e 1 m .

Dall'esame delle isofreatiche appare probabile che parte dell'acqua affiori direttamente dal terreno producendo zone pressoché impraticabili nei periodi di piovosità intensa e prolungata.

## 6.2. Il Biferno

Il regime dei fiumi in Molise è caratterizzato da un periodo di piena coincidente con la fine dell'inverno e con lo scioglimento delle nevi, perdurante periodo di magra in estate e poco pronunciate le piene in autunno.

Il Biferno, assieme ai limitrofi Trigno e Sangro, è un corso d'acqua lungo ed antico che nasce da catene interne alla regione appenninica, con andamento per lo più di tipo composito con tronco superiore longitudinale e tronco inferiore trasversale che si saldano tra loro a gomito.

Il Biferno sottende un bacino idrografico di 1.315 km<sup>2</sup> calcolato alla foce (parte permeabile 29%) con altitudine massima di 2'050 m s.l.m.

La portata massima nel periodo 1935 - 1991 è stata di 1'530 m<sup>3</sup>/s, con altezza idrometrica massima di m 7.88 (23 gennaio 1940): stazione Biferno ad Altopantano, a 6.5 km dalla foce, a valle della diga di ponte Liscione. Alla foce il Biferno ha portata media annua di 20 m/s.

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPOR TO D 2_ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Re U. 00	Pag. 101 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

## 7. DINAMICA LITORANEA, SEDIMENTOLOGIA <sup>1</sup>

### 7.1. Caratterizzazione del trasporto solido

Dai campi di velocità della corrente ottenuti con il modello idrodinamico (cfr. cap. 5), è possibile dedurre che allo stato attuale, nel caso di moto ondoso proveniente da Nord, viene garantita una certa continuità del trasporto solido tra la spiaggia di S. Antonio e la spiaggia di Rio Vivo con un trasporto maggiore nel versante Settentrionale, mentre nel caso di moto ondoso proveniente da Sud Est, i moli del porto costituiscono un blocco praticamente totale al trasporto, causando l'avanzamento della spiaggia sud adiacente ed i noti problemi di insabbiamento (Fig. 7.1).

In definitiva è possibile affermare che la struttura portuale costituisce il limite di due unità fisiografiche, con la particolarità che con le mareggiate da Nord potrebbe essere possibile avere un passaggio di materiale da Nord verso Sud che attraversa l'imboccatura del porto.

Per quanto riguarda la direzione del trasporto dovuto al clima medio annuo viene confermato quanto rilevato dalla carta dell'Atlante delle Spiagge Italiane, infatti, vi è una maggiore frequenza delle mareggiate provenienti da Nord rispetto a quelle provenienti da Sud (Fig. 7.2).

Mediante l'applicazione del modulo Sediment Transport (ST), del codice di calcolo MIKE21 del Danish Hydraulic Institute, è stato possibile calcolare il trasporto litoraneo, misurato in metri cubi all'anno per metro, derivante da una serie di condizioni idrodinamiche rappresentative. Bisogna tenere presente che MIKE21 ST non è un modello a fondo mobile e pertanto non è in grado di quantificare l'accumulo o l'erosione che si verifica durante l'arco di un anno, ma fornisce la capacità globale di trasportare i sedimenti in funzione di determinate forzanti idrodinamiche e dei caratteri sedimentari. Una volta tarato il modello del trasporto sedimentario è stato possibile applicare il modulo di evoluzione costiera ad una linea, LITLINE, che permette di valutare le eventuali modificazioni della costa indotte dalla presenza di nuove opere.

<sup>1</sup> Integrato con [1]

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_#RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI_U#5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 102 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINICO, REGIME DEL LITORALE

I risultati ottenuti con il modulo ST del codice di calcolo MIKE 21 sono rappresentati nelle Figg. 7.3+7.12, nelle quali vengono indicate con la lettera N la sezione a Nord Ovest del porto, con la P la sezione in corrispondenza del porto e con la S la sezione situata a Sud Est del porto.

Le simulazioni i cui risultati sono rappresentati nelle Figg. 7.4 e 7.7 sono relative al trasporto solido che si genera a seguito delle ondate del I e del II Quadrante.

Per il layout attuale nella sezione N si è riscontrato (Fig. 7.4) una capacità di trasporto pari a 17'000 m<sup>3</sup>/y, mentre nella sezione intermedia P di 11'500 m<sup>3</sup>/y. Data la graduale stabilità del litorale a Nord Ovest del porto, si può dedurre che dei 5'500 m<sup>3</sup>/y, che costituiscono la differenza della capacità di trasporto riscontrate nelle due sezioni, una parte si deposita a ridosso del molo mentre l'altra parte si disperde verso il largo.

Nella sezione più a valle, sezione S, vi è un trasporto di 12'500 m<sup>3</sup>/y in parte dovuto al sedimento che arriva da Nord e in parte dovuto al trasporto dei sedimenti giacenti sulla spiaggia di Rio Vivo.

Come già ipotizzato precedentemente nella parte relativa all'idrodinamica, la minor frequenza di accadimento di questi eventi ondosi è la causa principale del minor trasporto rispetto alle ondate provenienti da Nord.

Nella sezione S del layout attuale vi è un trasporto di 2'000 m<sup>3</sup>/y (Fig. 7.5).

I risultati delle simulazioni delle ondate che rappresentano l'intero clima medio annuo sono rappresentate nella Fig. 7.3. Come era lecito attendersi, e precedentemente accennato nella parte relativa all'idrodinamica, il trasporto globale risulta orientato verso Sud poiché la frequenza di accadimento degli eventi da Nord è superiore di oltre tre volte la frequenza degli stessi provenienti da Sud.

## 7.2. Evoluzione della linea di riva

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati ottenuti dall'applicazione del modello LITDRIFT sui tre profili prescelti (Fig. 7.6). Per ciascuno di essi la simulazione è stata ripetuta con diversi orientamenti del clima e, per quanto riguarda i profili a Sud variando anche il valore della scabrezza del fondale, fino ad ottenere un valore di trasporto netto

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_PRAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI.dwg	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 103 di 140

annuo paragonabile a quello ottenuto con l'applicazione del modello ST, assunto come riferimento.

Le figure seguenti riportano per ciascun profilo l'andamento della batimetria, le componenti del trasporto annuale di sedimenti nelle direzioni Nord-Ovest e Sud-Est, la curva del trasporto complessivo, dato dalla somma del valore assoluto delle due componenti, e del trasporto netto, pari alla somma algebrica.

Come si può osservare dai risultati ottenuti, la direzione generale del trasporto è lungo tutto il tratto di litorale considerato, verso Sud-Est, e ciò è probabilmente legato alla vicinanza del promontorio del Gargano che determina un effetto di schermatura su gran parte delle onde provenienti dal II Quadrante. Lungo il profilo la maggior parte del trasporto si esplica fino ad una distanza di 600-700 m dalla costa, dove si ha una profondità compresa tra gli 8 m e i 9 m, confermando quanto delineato in precedenti studi.

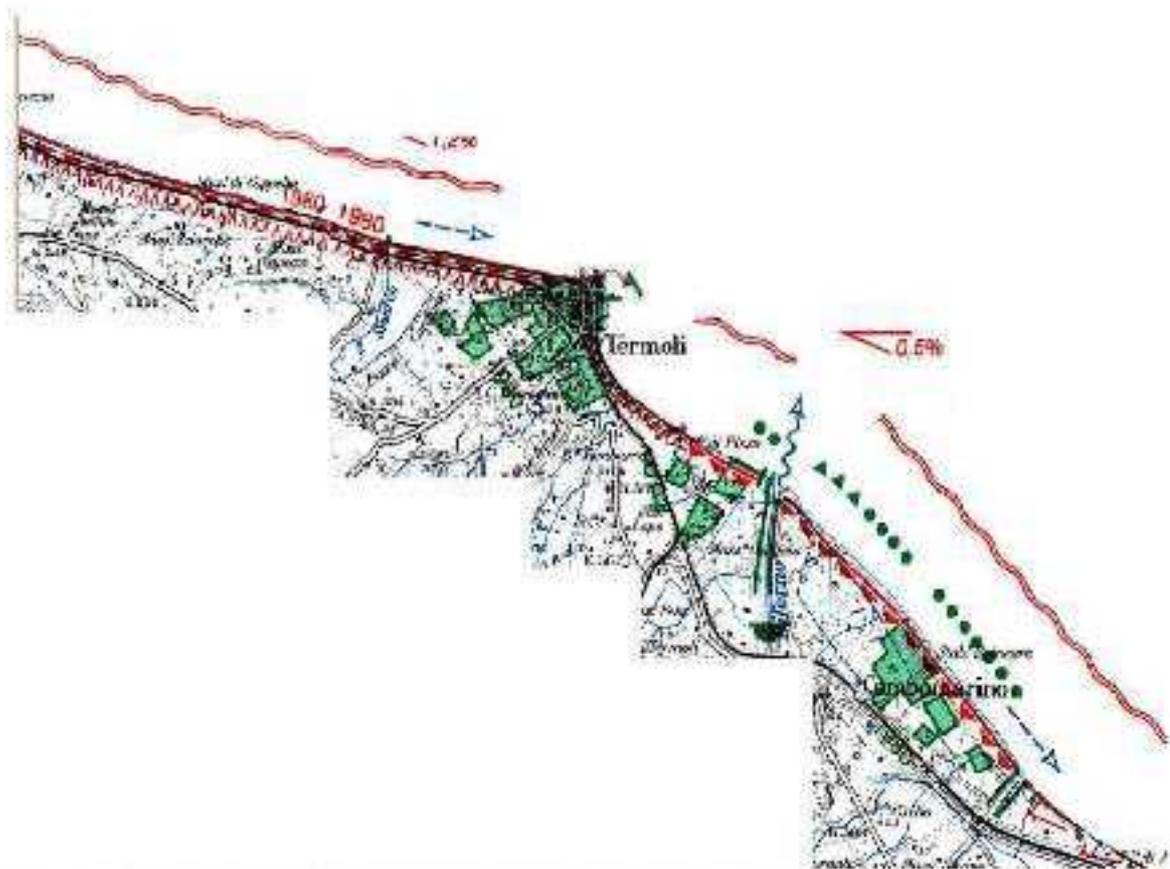
La calibrazione finale del modello di trasporto sedimentario è stata ottenuta facendo variare il valore di scabrezza del fondo e ruotando il clima ondoso. I valori di trasporto netto ottenuti sono i seguenti:

- Profilo Nord: 10'000 m<sup>3</sup>/y;
- Profilo Sud: 12'680 m<sup>3</sup>/y;
- Profilo Sud 1: 8'480 m<sup>3</sup>/y;

Per quanto riguarda il profilo nord, la calibrazione ha necessitato la rotazione del clima ondoso di 6° in senso orario, con un valore di scabrezza del fondale pari a 0.03 m (Fig. 7.7). Per i profili a Sud (Figg. 7.8 e 7.9) è stato necessario agire più incisivamente sui parametri in modo da poter riprodurre l'effetto che hanno le opere costiere presenti sul trasporto longitudinale.

Per questo motivo il clima è stato ruotato di 24° in senso orario nel caso del profilo Sud e di 25° per il profilo S1. La scabrezza è stata in vece posta rispettivamente a 0.12 m e 0.15 m.

Dall'applicazione del modello LITLINE si è ottenuta la previsione dell'evoluzione della linea di costa al 2025.



**Fig. 7.1** Stralcio dell'Atlante delle Spiagge Italiane che riproduce il tratto di costa oggetto di studio

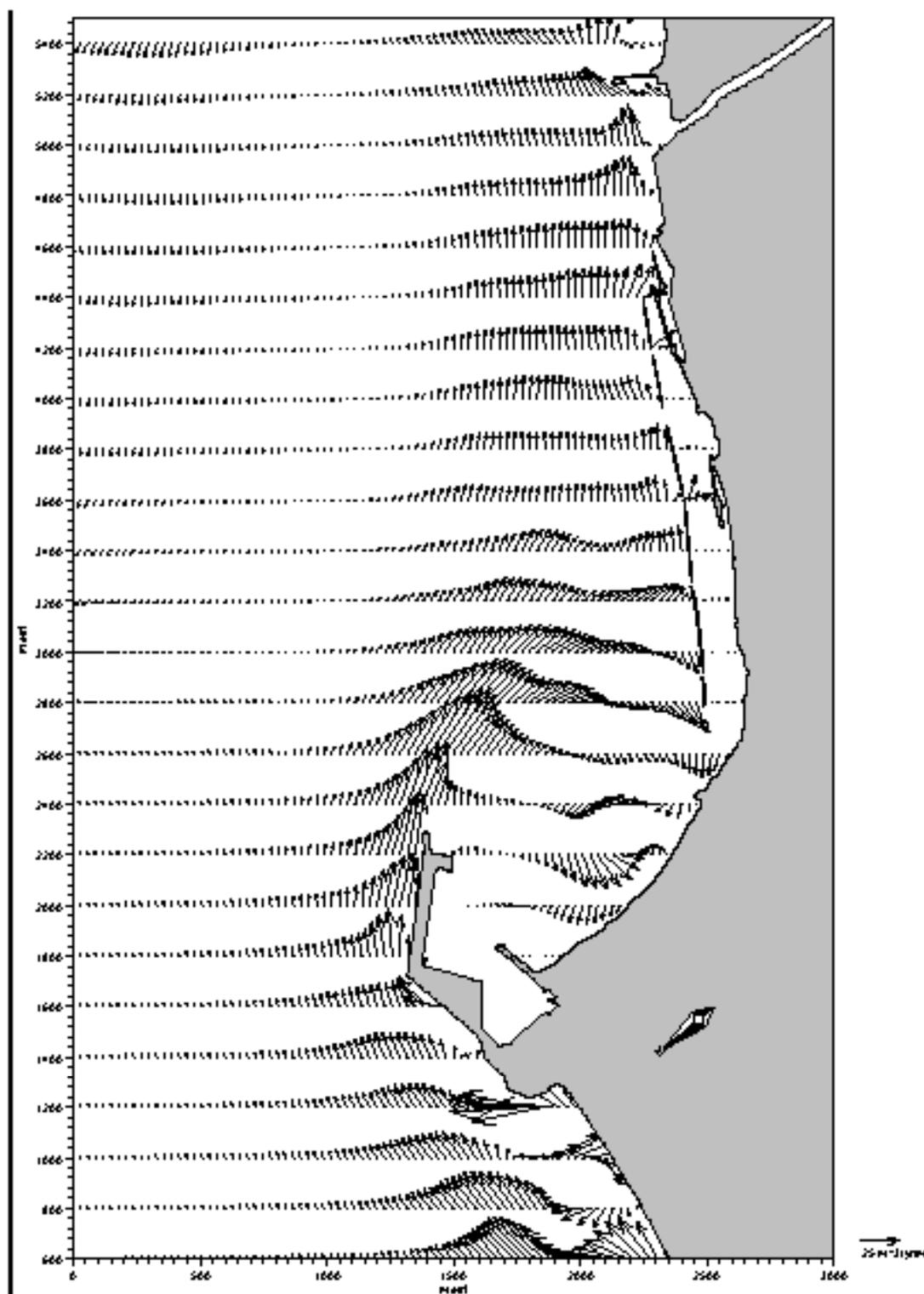
Per quanto riguarda il tratto meridionale si osserva in tutti i casi un avanzamento della spiaggia nel tratto compreso tra il molo e le barriere poste a difesa della spiaggia di Rio Vivo. Questo avanzamento, che assume un orientamento diverso nel caso dell'ampliamento del porto a causa dello spostamento del molo meridionale, è dovuto in parte al passaggio di sedimenti da Nord a Sud e in parte all'intercettazione da parte del molo del trasporto proveniente da Sud.

Come osservato sia dall'analisi idrodinamica, sia dalle simulazioni bidimensionali della capacità di trasporto, in questo tratto si origina un vortice che intrappola i sedimenti e

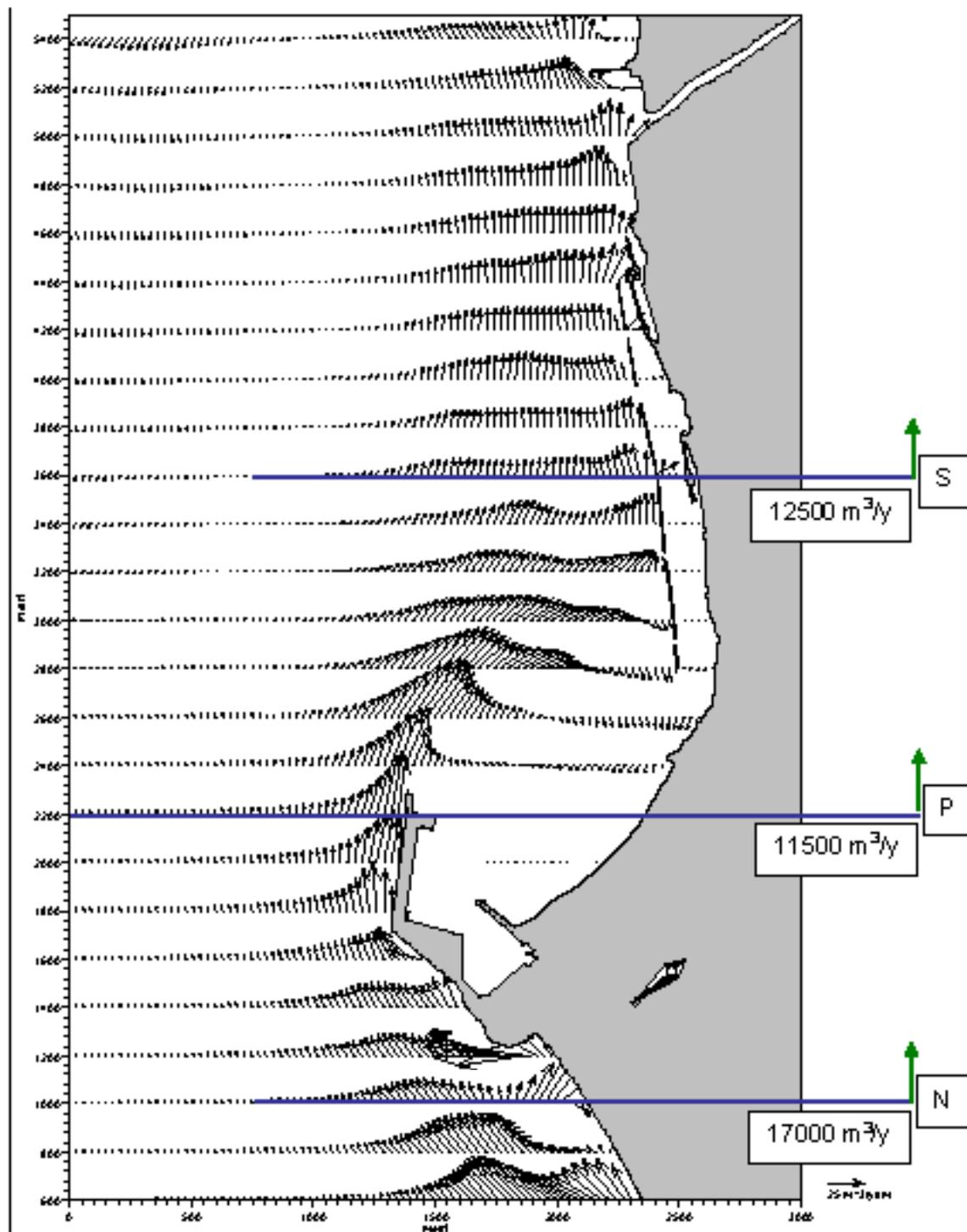
che riporta verso il molo anche la parte proveniente da Nord che riesce ad aggirare il porto.



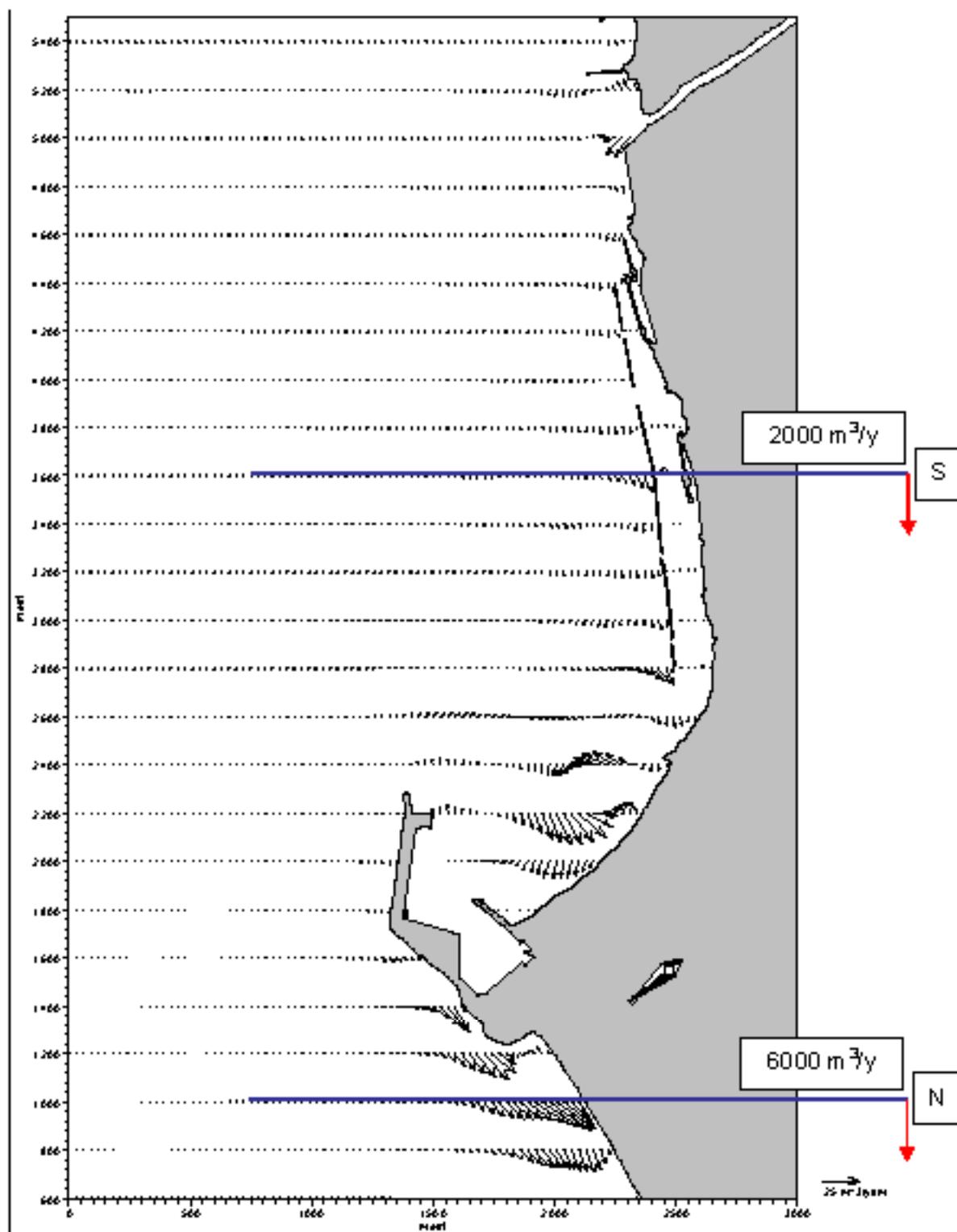
**Fig. 7.2 Evoluzione del litorale sud da 2000 al 2006**



**Fig. 7.3 Campo della capacità di trasporto solido con il clima annuo nella configurazione attuale**

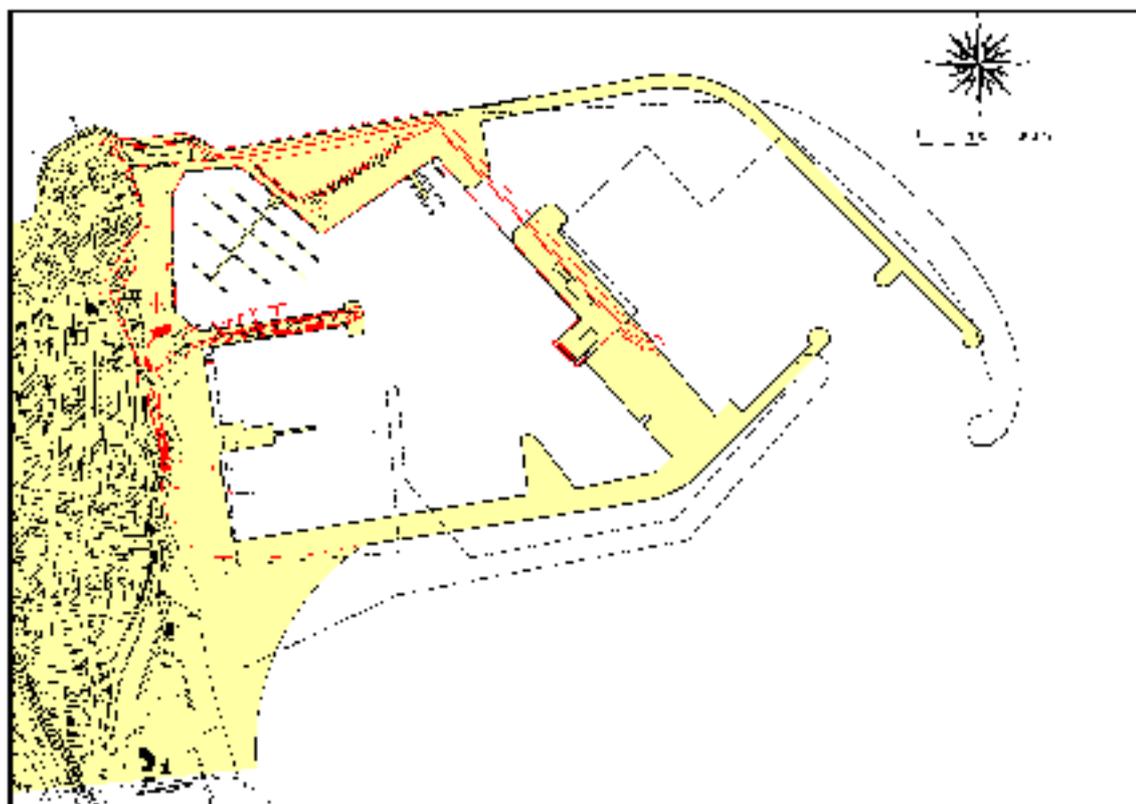


**Fig. 7.4 Campo della capacità di trasporto solido generato dalle onde provenienti dal IV e I Quadrante con il layout del porto nella configurazione attuale**



**Fig. 7.5 Campo di trasporto solido generato dalle onde provenienti dal I Quadrante con il layout del porto nella configurazione attuale**

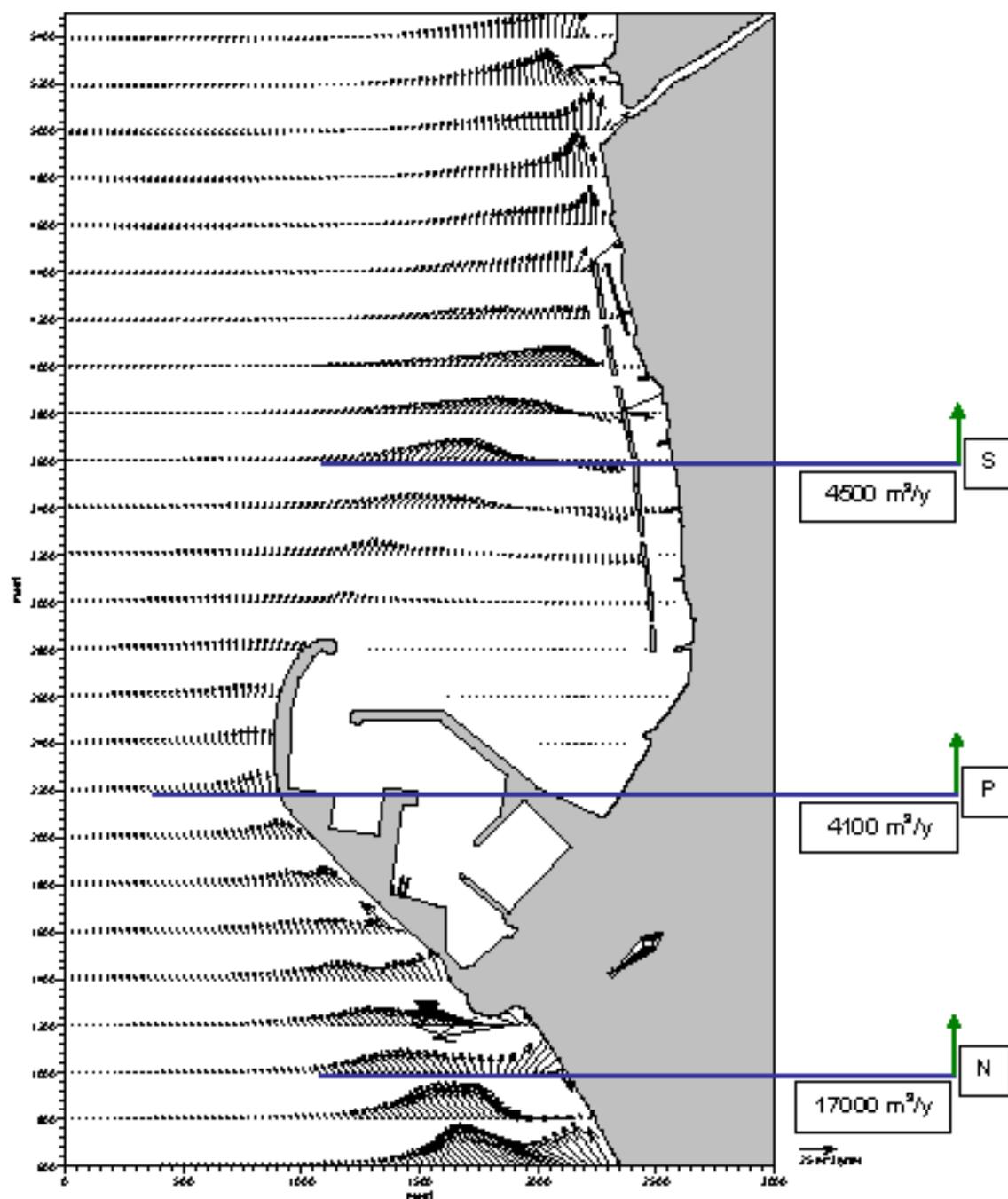
Il layout sviluppato e studiato [1] risulta praticamente identico dal punto di vista degli oggetti e degli ingombri che interagiscono con il trasporto solido come si nota dalla seguente figura.



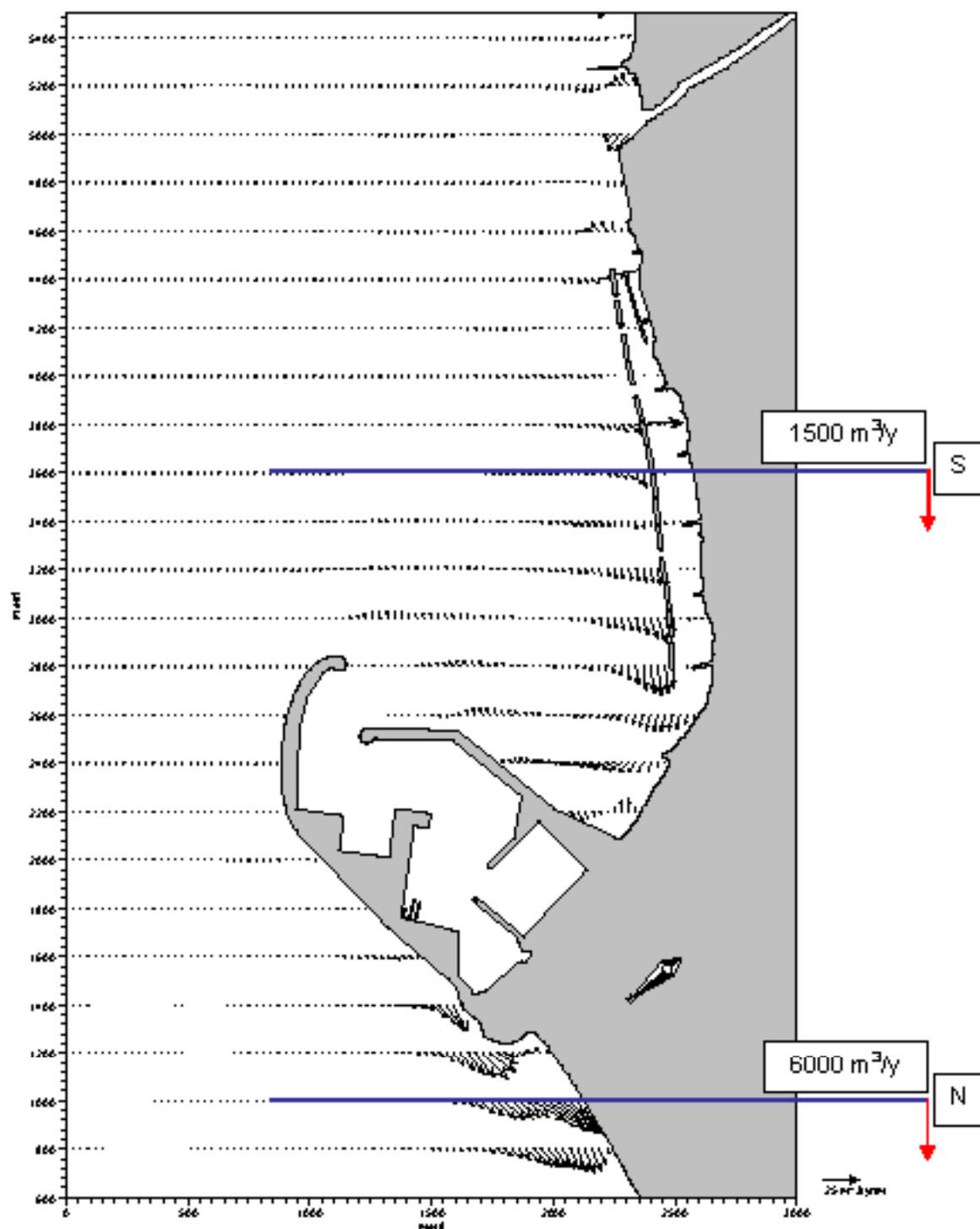
Pertanto si ritengono valide anche per il layout proposto in questa fase le simulazioni eseguite in precedenza [1].



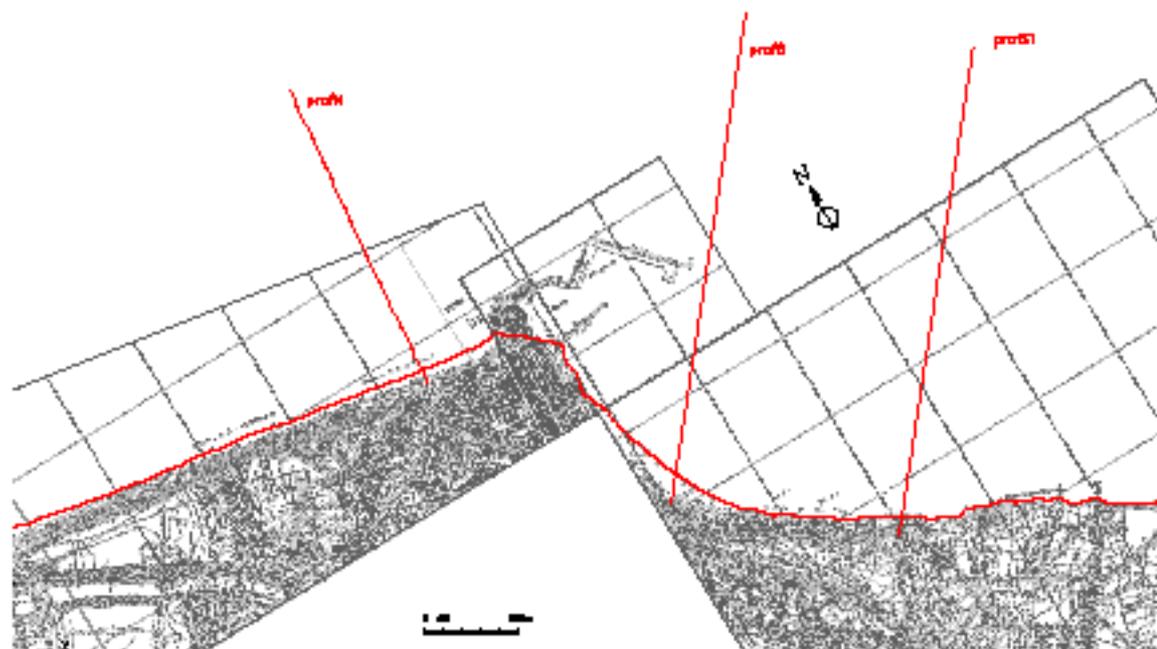
**Fig. 7.6** Campo della capacità di trasporto solido con il clima medio annuo nella configurazione di progetto



**Fig. 7.7 Campo della capacità di trasporto solido generato dalle onde provenienti dal IV e I Quadrante con il layout del porto nella configurazione di progetto**



**Fig. 7.8 Campo della capacità di trasporto solido generato dalle onde provenienti dal II Quadrante con il layout del porto nella configurazione di progetto**



**Fig. 7.9 Ubicazione dei profili su cui è stato applicato il modello LITDRIFT**

Le figure seguenti riportano per ciascun profilo l'andamento della batimetria, le componenti del trasporto annuale di sedimenti nelle direzioni Nord-Ovest e Sud-Est, la curva del trasporto complessivo, dato dalla somma del valore assoluto delle due componenti, e del trasporto netto, pari alla loro somma algebrica.

Come si può osservare dai risultati ottenuti la direzione generale del trasporto è lungo tutto il tratto di litorale considerato, verso Sud-Est, e ciò è probabilmente legato alla vicinanza del promontorio del Gargano che determina un effetto di schermatura su gran parte delle onde provenienti dal II Quadrante.

Lungo il profilo la maggior parte del trasporto si esplica fino ad una distanza di 600-700m dalla costa, dove si ha una profondità compresa tra gli 8m e i 9m, confermando quanto delineato in precedenti studi.

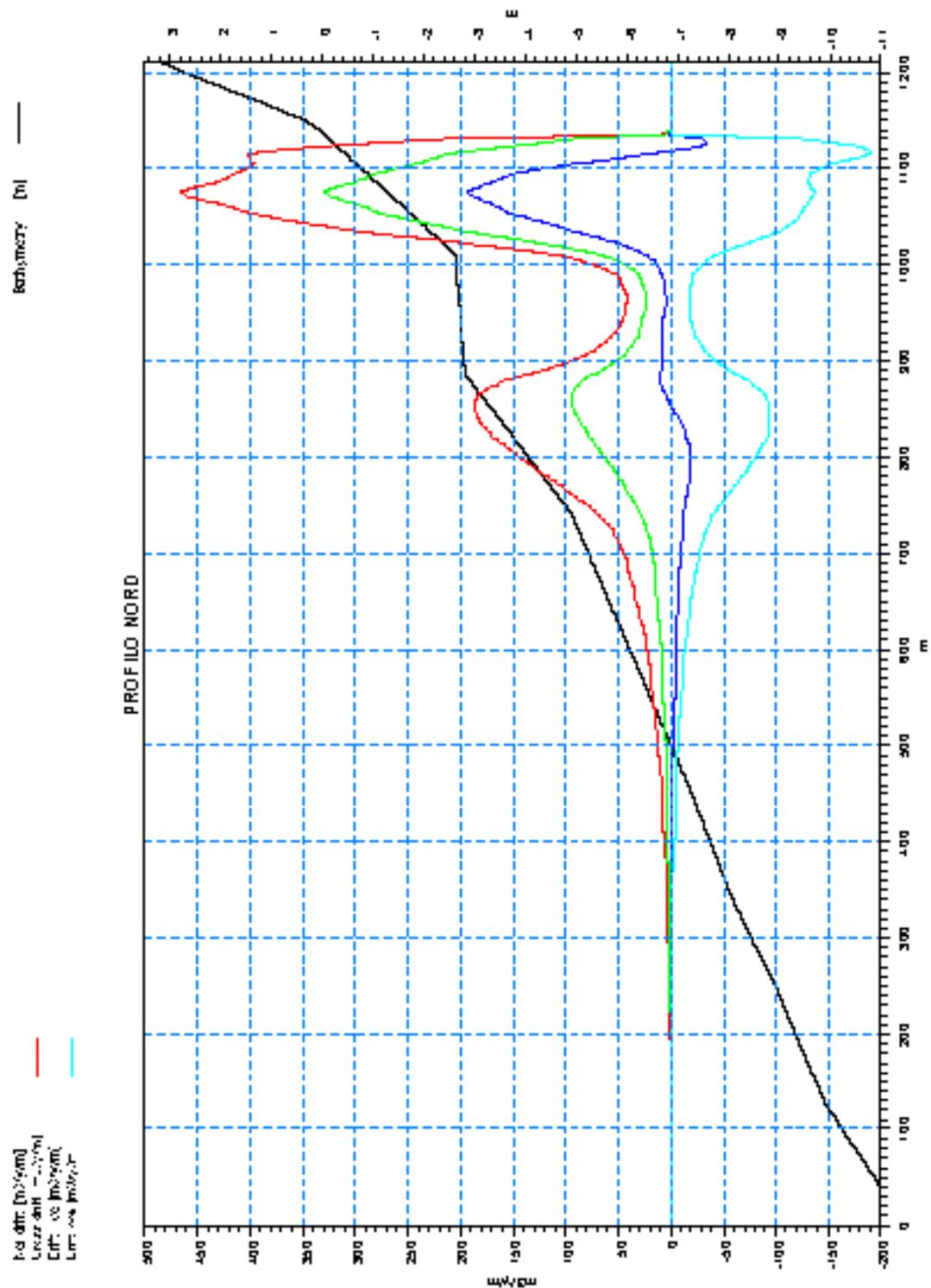
	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Come già spiegato la calibrazione finale del modello di trasporto sedimentario è stata ottenuta aggiustando il valore di scabrezza del fondo e ruotando il clima ondoso.

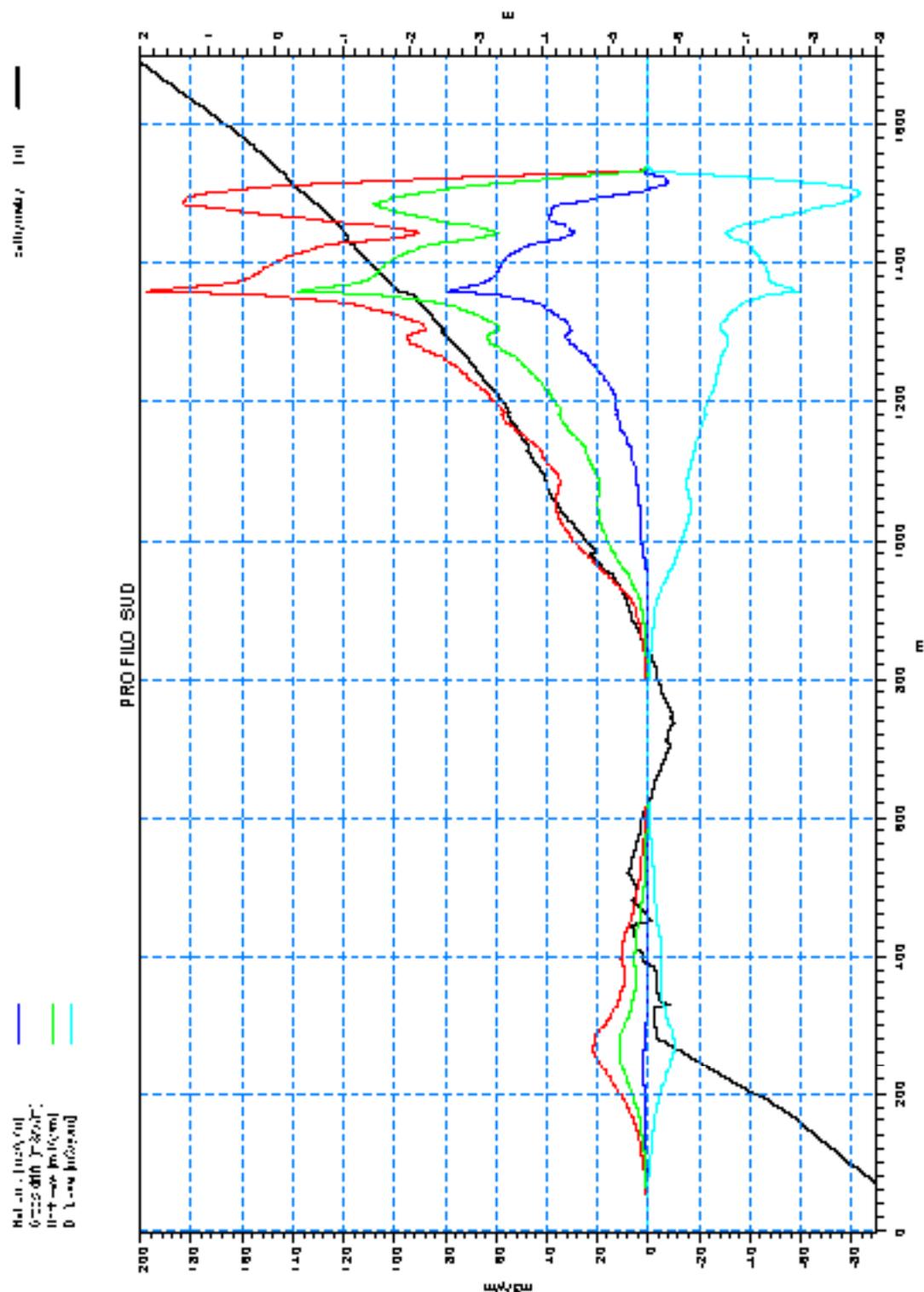
I valori di trasporto netto ottenuti sono i seguenti:

- profilo Nord: 10'000 m<sup>3</sup>/y,
- profilo Sud: 12'680 m<sup>3</sup>/y,
- profilo Sud1: 8'480 m<sup>3</sup>/y.

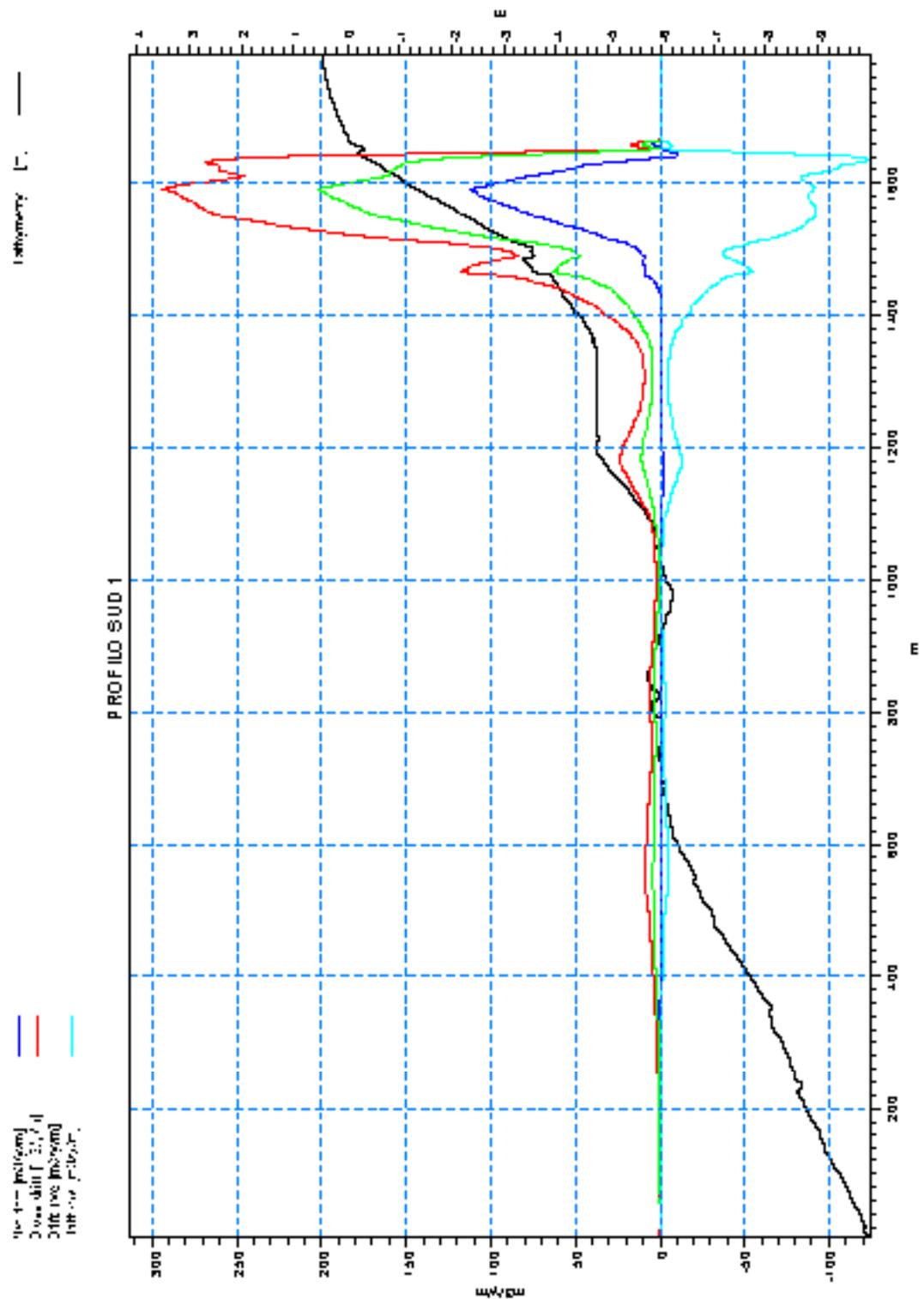
G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPOR TO D.2_ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Re U. DD	Pag. 115 di 140



**Fig. 7.10 Trasporto solido calcolato sul profilo nord**



**Fig. 7.11 Trasporto solido calcolato sul profilo sud**



**Fig. 7.12 Trasporto solido calcolato sul profilo sud1**

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Con i parametri ottenuti dalla calibrazione del trasporto lungo i tre profili è stata fatta la calibrazione del LITLINE che permette di calcolare l'evoluzione della linea di battigia nel tempo in funzione di un certo clima ondoso.

L'area considerata nell'applicazione del modello LITLINE si estende dal Torrente Sinarca, a Nord, fino al Fiume Biferno a Sud, per un'estensione longitudinale di 6'280m.

Per poter calibrare il modello di evoluzione della linea di costa si sono prese come riferimento la linea di costa ricavata dalla Carta Tecnica Regionale del 1990 e quella relativa al rilievo topo-batimetrico realizzato per conto della regione nel 2000.

Come osservato da studi precedenti il litorale molisano ricade in due unità fisiografiche distinte separate dal promontorio di Termoli.

Dal confronto dei dati cartografici disponibili si può osservare come il litorale sia stabile lungo il tratto a Nord del porto, rientrando nell'unità fisiografica del Golfo di Vasto, che si estende fino alla foce del Fiume Trigno.

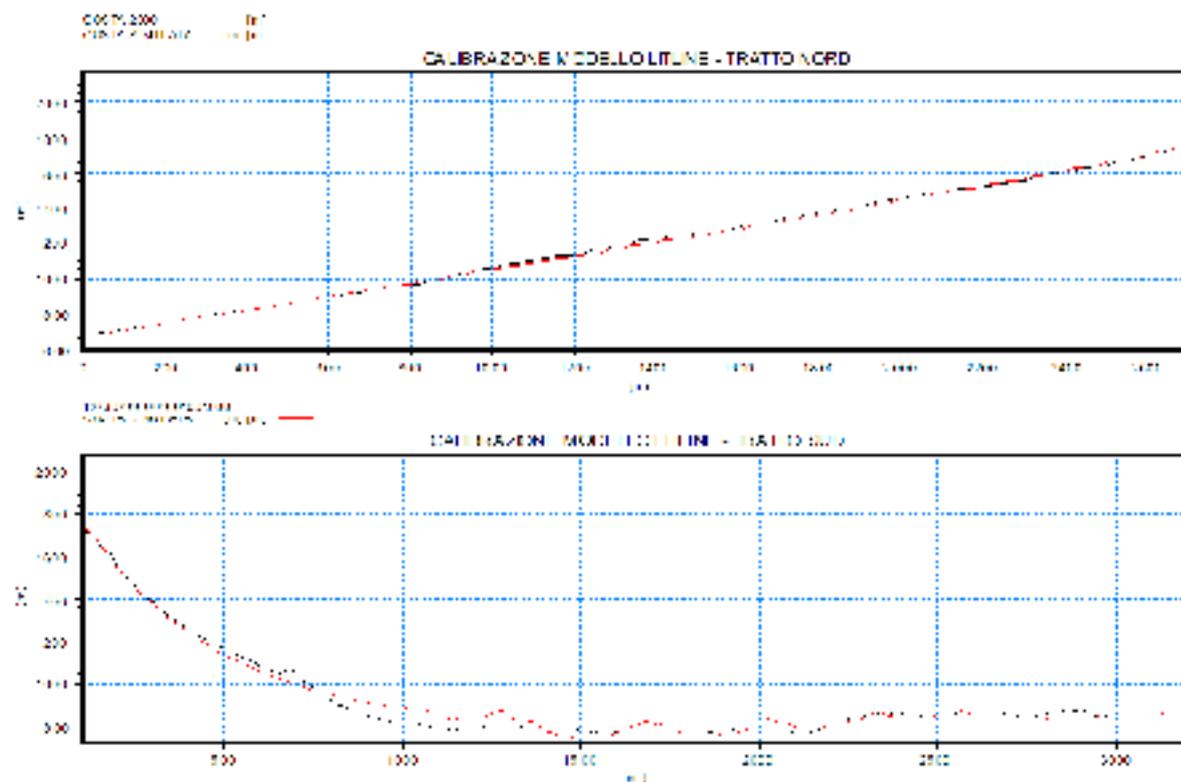
La situazione a Sud invece risulta più complessa, anche per la presenza di opere di difesa costiera, oggetto del progetto in studio.

La presenza del porto e delle barriere ha determinato un accrescimento della spiaggia nel tratto compreso tra il molo meridionale e le barriere.

Il clima di riferimento è lo stesso considerato nell'applicazione del modello LITDRIFT e dei modelli bidimensionali.

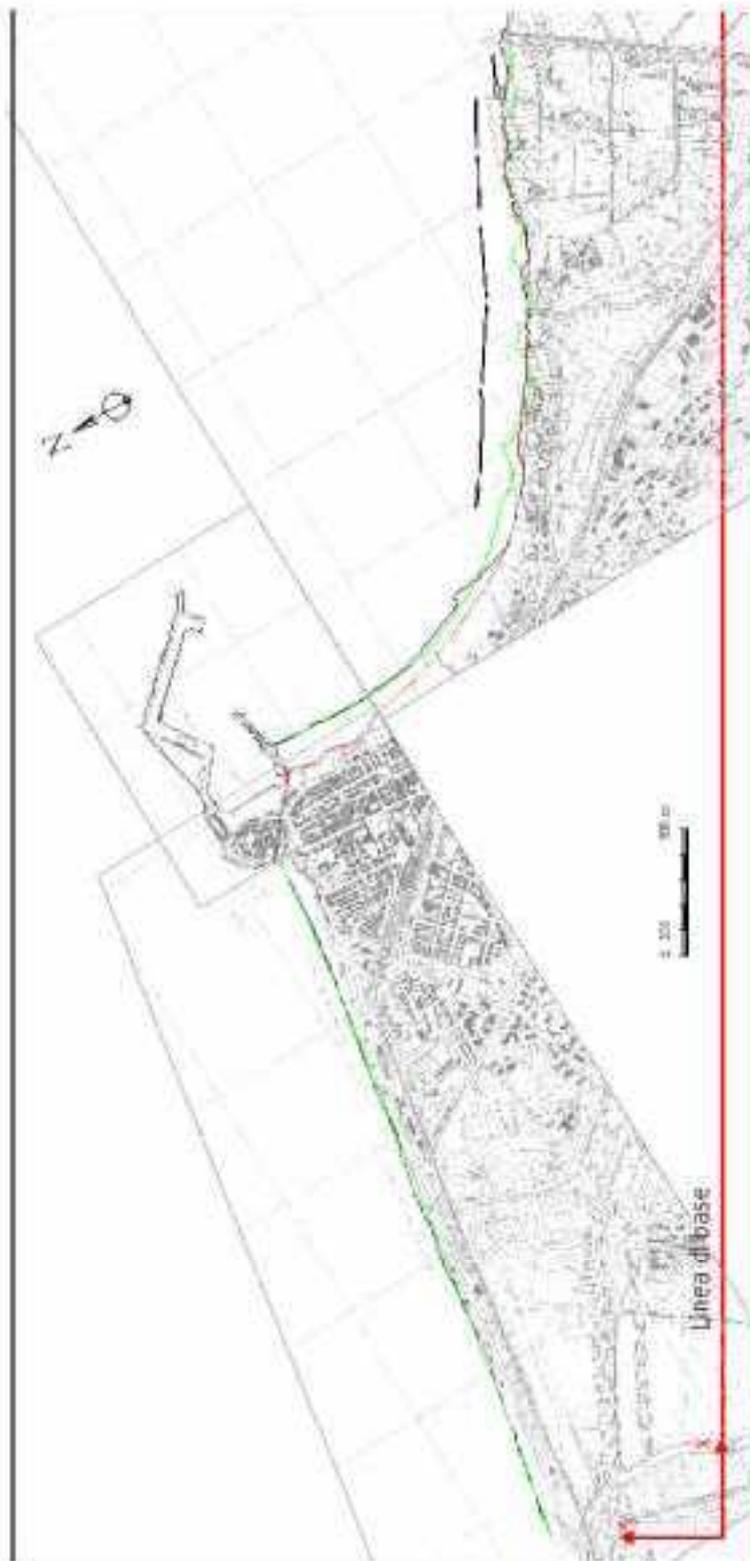
Data la complessità della morfologia costiera attorno al porto di Termoli, sono state trattate separatamente la parte settentrionale e meridionale del litorale, per altro appartenenti a due unità fisiografiche distinte.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI\U05.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 119 di 140

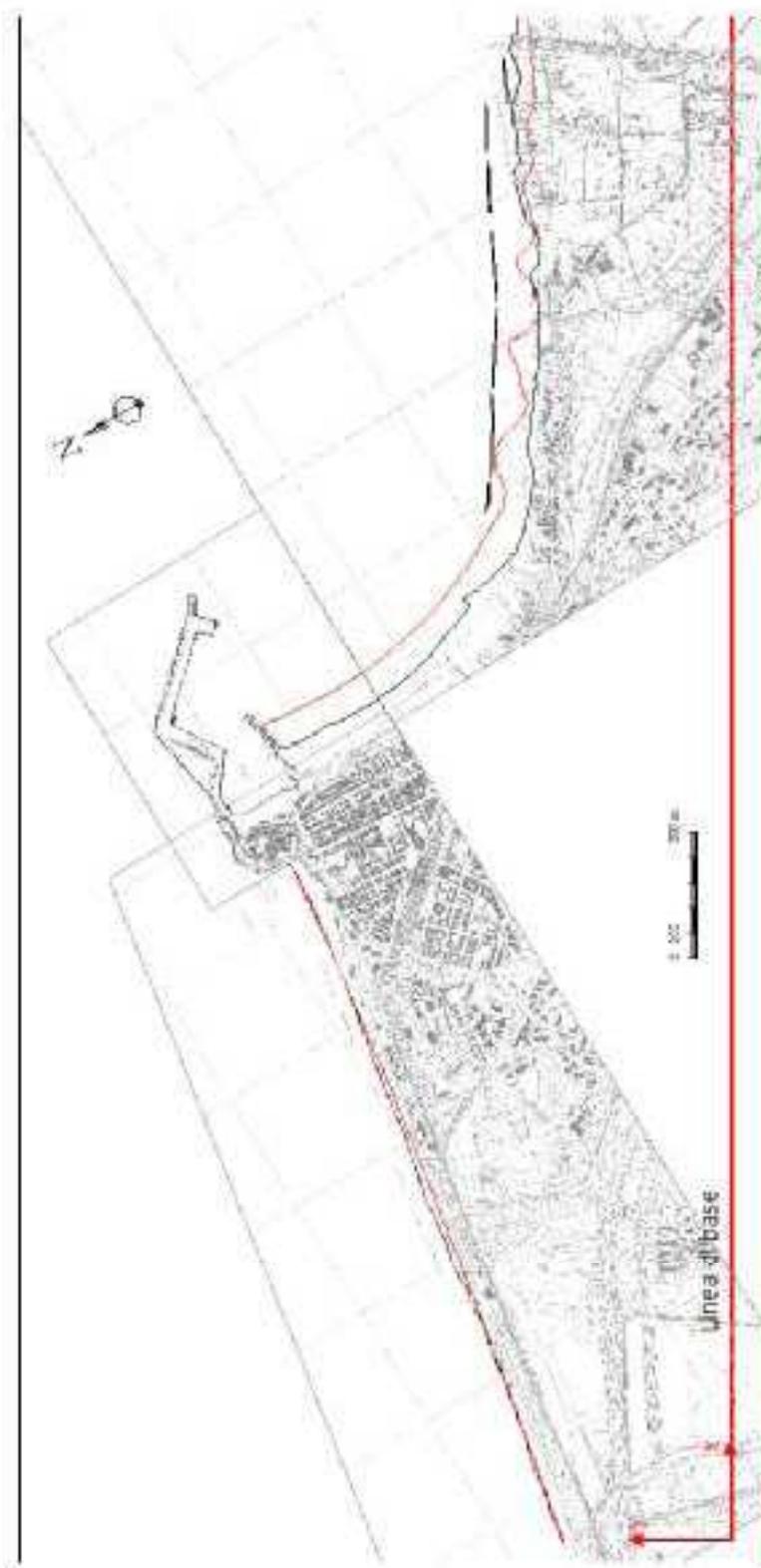


**Fig. 7.13 Calibrazione del modello LITLINE nei tratti nord e sud**

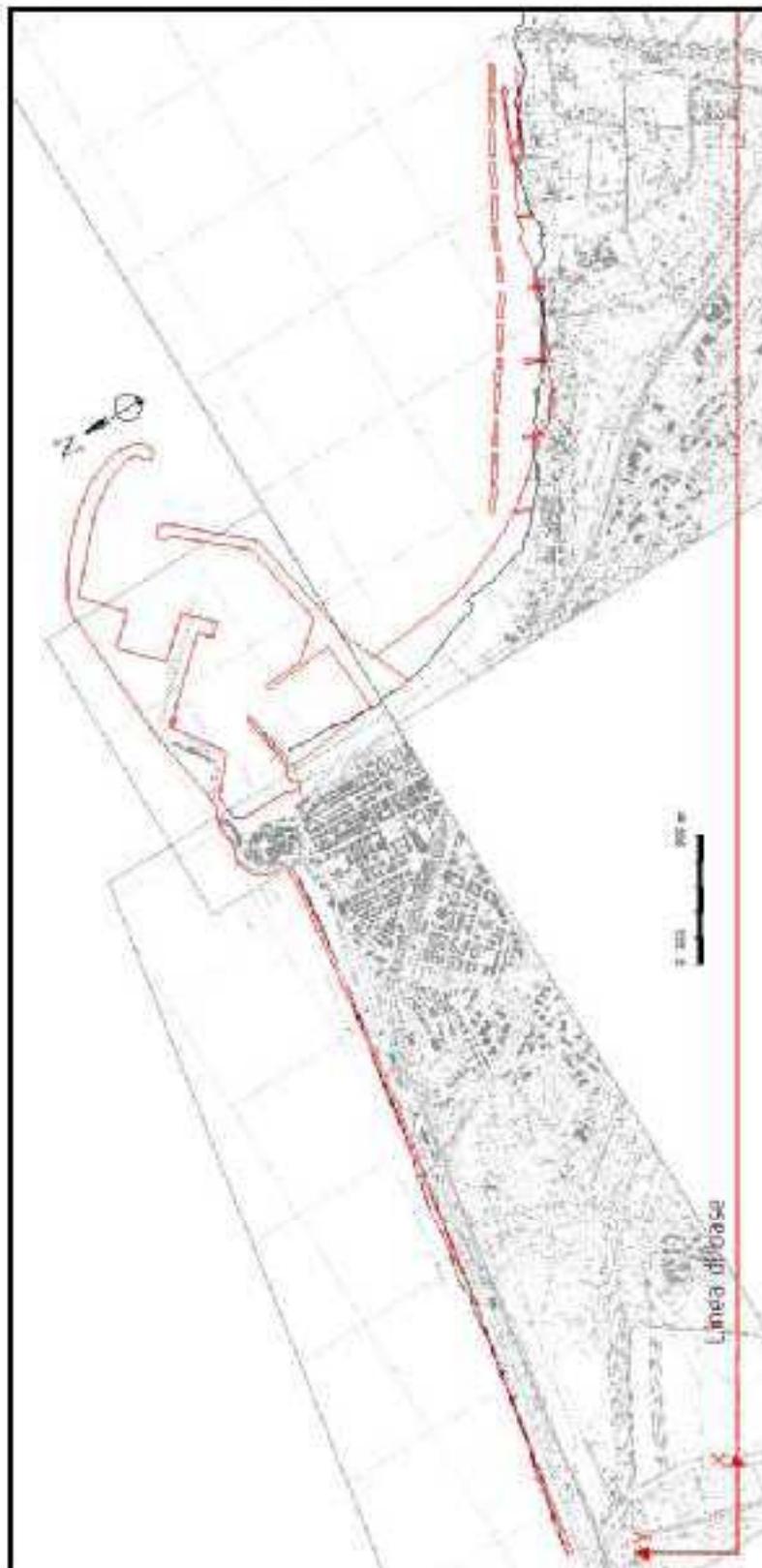
Una volta calibrato il modello di evoluzione della linea di costa, è stato possibile valutare l'effetto dei diversi progetti proposti su un periodo di tempo di 25 anni.



**Fig. 7.14 Risultato globale della calibrazione del modello LITLINE**



**Fig. 7.15 Evoluzione della linea di riva al 2025 nella configurazione attuale**



**Fig. 7.16** Evoluzione della linea di riva al 2025 nella configurazione di progetto

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Il tratto settentrionale del litorale appare abbastanza stabile. Per quanto riguarda il tratto meridionale si osserva invece un avanzamento della spiaggia nel tratto compreso tra il molo e le barriere poste a difesa della spiaggia di Rio Vivo. Questo avanzamento assume un orientamento diverso nel caso dell'ampliamento del porto a causa dello spostamento verso Sud del molo meridionale.

L'accumulo che si è verificato lungo il molo sud fino alla costruzione del "nuovo" molo sud del Porto turistico, causa di interrimento dell'attuale imboccatura, è stimabile in circa 3000-5000 m<sup>3</sup>/anno. Dai risultati del modello ST del MIKE21 si riscontra che le onde provenienti dal IV e I Quadrante determinano una capacità di trasporto solido oltre il sopraflutto di circa 11'500 m<sup>3</sup>/anno verso Sud che diventano circa 12'500 m<sup>3</sup>/anno, sempre verso Sud, in un transetto più meridionale in corrispondenza delle scogliere parallele a riva.

La differenza si traduce in un ammanco di sedimento proprio in corrispondenza delle scogliere e molto probabilmente nel versante esterno (lato mare). Nel transetto più vicino al molo sud si ha invece una capacità trasporto di circa 1'500 m<sup>3</sup>/anno diretto verso Nord a causa del già citato fenomeno di circolazione anticiclonica indotta dalla diffrazione delle onde attorno alla testata del molo di sopraflutto (vedi Figure 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4).

Con le onde provenienti dal settore di Levante si ha, in corrispondenza del transetto in cui sono presenti le scogliere, una capacità di trasporto di circa 2'000m<sup>3</sup>/anno che diventano circa 3'000 nel transetto più a Nord poco prima del molo sud. E' deducibile pertanto che circa 4'500 m<sup>3</sup>/anno si potevano accumulare a ridosso del molo sud, salvo poi disperdersi anche verso l'imboccatura.

Tale risultato, ottenuto nel 2002 [1] è attualmente confermato dall'avanzamento che la linea di riva ha avuto negli anni precedenti alla realizzazione del porto turistico. Risulta infatti, dal confronto delle foto satellitari, che dal 2000 al 2006 si sono avute le seguenti variazioni di aree di spiaggia emersa:

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*\RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI\05.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 124 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINICO, REGIME DEL LITORALE

anno	accumulo spiaggia (m <sup>2</sup> )	D V (m <sup>3</sup> )
2000	0 <sup>IA</sup>	0
2001	6'000	6'000
2002	12'000 <sup>IB</sup>	6'000
2003	18'000	6'000
2004	19'333 <sup>IB</sup>	1'333
2005	20'666 <sup>IB</sup>	1'333
2006	22'000	1'333

<sup>IA</sup>Valore base; <sup>IB</sup>Valori interpolati

**Tab. 7.1 Tassi di accumulo della spiaggia a Sud del molo sud**

Considerando le pendenze molto ridotte della spiaggia, si è stimato il volume dei sedimenti accumulati a partire dalla superficie rilevata in avanzamento considerando uno spessore medio di circa 1.00 m. In sintesi si ha un accumulo medio di circa 3'600 m<sup>3</sup>/anno con un minimo di 6'000 ed un massimo di 1'300 m<sup>3</sup>/anno.

La variabilità del volume accumulato annualmente è dovuto al fatto che oltre un certo punto di avanzamento vi è una perdita di materiale oltre la testata del molo sud ed un ri-orientamento della linea di riva fino ad una configurazione di equilibrio per la quale il trasporto netto risulterà quasi nullo con il conseguente arresto dell'avanzamento della battigia. In realtà tale condizione è puramente teorica in quanto l'opera non è sufficientemente lunga e pertanto, oltre ad un certo punto, si avrà perdita di materiale al di là della testata.

Per un'ulteriore analisi del comportamento del regime sedimentologico si è considerato il nuovo molo sud, che fa parte della Marina di S.Pietro, attualmente (maggio 2010) in fase di completamento. Il "nuovo" molo sud, è parallelo al "vecchio" e distante circa 140 m. Si è notato, nei primi anni e durante la fase di cantiere, un ulteriore ri-orientamento della linea di riva come ci si poteva aspettare dallo studio [1]. Tale ri-orientamento è dovuto al fatto che il vortice che si formava in assenza del "nuovo" molo sud attualmente è interrotto dalla presenza delle "nuove" opere, pertanto le mareggiate che raggiungono il paraggio dopo essere state difratte dalla testata del molo di sopraflutto sono in grado di innescare un trasporto lungo riva anche verso Sud permettendo di

G:\PGD22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_*.R\APPOR TO D.2_ASPETTI bid_U#5.doc	
PGD22	
USTD2 - Re U. 00	Pag. 125 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

ridistribuire i sedimenti lungo il litorale di Rio Vivo. Questo implica che la previsione di accumulo a ridosso del "nuovo" molo sud (del porto turistico) è notevolmente ridotta.

Secondo quanto appena detto, anche la realizzazione del molo sud previsto dal PRP porterà un vantaggio dal punto di vista del trasporto del sedimento permettendo una ridistribuzione degli accumuli lungo il litorale di Rio Vivo e soprattutto riducendo il rischio di interrimento dell'imboccatura. Rischio ancor più mitigato dal fatto che il molo sud previsto dal PRP è notevolmente più lungo. Il comportamento che si prevede è riportato nella figura 7.16.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPV\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_1\RAPPORTO D.2_ASPETTI FISICI\04.doc	
PGD22	
USTD2 - Rel. DD	Pag. 126 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

## 8. GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, GEOTECNICA

### 8.1. Inquadramento geologico

L'area esaminata è compresa nel Foglio 155 (S. Severo) della Carta Geologica D'Italia. Le formazioni affioranti appartengono all'unità stratigrafico-strutturale dell'Avanfossa adriatica Plio-Pleistocenica riferibile al dominio paleogeografico del bacino molisano (Crescenti, 1971). In concomitanza dell'orogenesi appenninica avviene la formazione, a fronte dell'orogene, di un bacino fortemente subsidente (Avanfossa adriatica) con asse di allungamento NO-SE e il cui margine interno coincide con quello esterno della catena appenninica (Boni *et alii*, 1969).

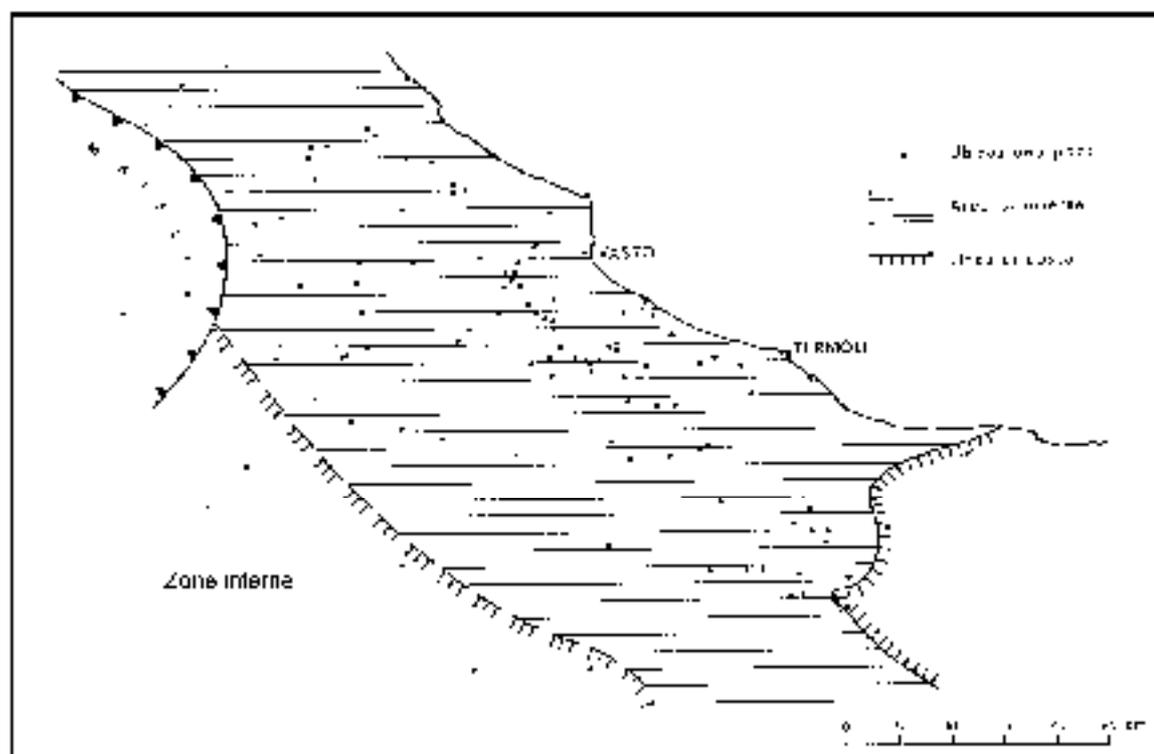
La deposizione dei sedimenti Plio-Pleistocenici dell'avanfossa adriatica meridionale inizia con un'ingressione marina nel Pliocene inferiore (fig. 8.1) e comprende tre fasi principali: pre-torbiditica, torbiditica e post-torbiditica intimamente legate all'evoluzione tettonica e alla migrazione della catena appenninica. La fase pre-torbiditica vede lo sviluppo di conoidi torbiditiche costantemente preceduto da un intervallo argilloso-mamoso di base. Durante la fase torbiditica, fase di massima subsidenza (parte alta del Pliocene inferiore), avviene il riempimento del bacino con torbiditi s.s.; queste ultime sono costituite da corpi sabbiosi che si sviluppano in direzione NW-SE. Nel bacino molisano il massimo sviluppo delle torbiditi si ha partire dal Pliocene medio. La fase post-torbiditica è caratterizzata dal colmamento generale delle depressioni e da fenomeni regressivi diffusi. La morfologia del fondo marino tende ad appiattirsi e si instaurano condizioni di mare poco profondo con facies di piattaforma terrigena (Casnedi *et alii*, 1982). A ciò si accompagna, per il periodo compreso tra il Pliocene inferiore e l'attuale, il ritiro della linea di costa, con fluttuazioni variabili, che ha determinato la formazione di una tipica associazione regressiva, shallowing upward caratterizzata da facies sempre più grossolane verso l'alto della successione sedimentaria (Casnedi *et alii*, *ibidem*).

Dalla fine del Calabriano in poi si è avuto il fagliamento dei sedimenti emersi Plio-Calabriani dell'Avanfossa adriatica in blocchi che sono stati basculati, tra il fiume Sangro e il fiume Fortore, sia verso il mare sia ad ESE e E. Tale situazione è la conseguenza dell'adattamento della copertura plio-pleistocenica ai piegamenti ed agli accavallamenti delle formazioni del substrato. In questa fase si è avuto un sollevamento

G:\PGD22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPOR TO D.2_ASPETTI bid_U#5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 127 di 140

la cui entità, dedotta dalle quote sul livello del mare alle quali affiora il conglomerato di chiusura del ciclo Plio-Calabriano, è massima nelle zone interne dove raggiunge i 550 m circa e diminuisce a 150-30 m in prossimità della linea di costa fino ai 20 m del centro storico di Termoli.

La successione Plio-Pleistocenica che caratterizza il bacino molisano è costituita alla base da terreni trasgressivi in facies argilloso-marnose (Pliocene Inferiore), cui segue l'intervallo delle torbiditi medio plioceniche, i sedimenti argilloso – sabbiosi supra-pliocenici e la successione – argilloso sabbiosa pleistocenica (Casnedi *et alii*, 1982). Al di sopra di tali materiali, in discordanza, giacciono i sedimenti di ambiente emerso. Alle formazioni quaternarie di ambiente continentale appartengono le alluvioni antiche, recenti ed attuali che accompagnano il corso dei principali fiumi molisani e dei loro affluenti e che ne colmano i fondovalle, i materiali di tipo lacustre, fluvio - lacustre e fluvio – palustre.



**Fig. 8.1** Avanfossa adriatica nel Pliocene Inferiore

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

## 8.2. Lineamenti geomorfologici

I caratteri geomorfologici dell'area costiera dipendono dalle caratteristiche litologiche dei terreni ivi affioranti e sono direttamente correlabili agli eventi neotettonici a componente prevalentemente verticale di cui si è fatto cenno in precedenza.

L'area è occupata da terreni prevalentemente argillosi con una copertura sabbioso-ghiaiosa. Tra i terreni argillosi (Argille di Montesecco) e la copertura grossolana, rappresentata dalle Sabbie di Serracapriola e dai Conglomerati di Campomarino, esiste una marcata differenza di erodibilità responsabile della presenza di un gradino subverticale, abbastanza pronunciato, corrispondente alla testata degli affioramenti sabbioso-ghiaiosi, al di sotto del quale, in corrispondenza delle argille sottostanti, la scarpata è meno acclive e localmente interessata da fenomeni erosivi. La copertura sabbioso-ghiaiosa diventa più estesa e potente in prossimità della zona costiera. La zona risulta quindi caratterizzata da una spianata, degradante dolcemente verso l'Adriatico, incisa dagli affluenti del Fiume Biferno e dai torrenti Sinarca e Rio Vivo.

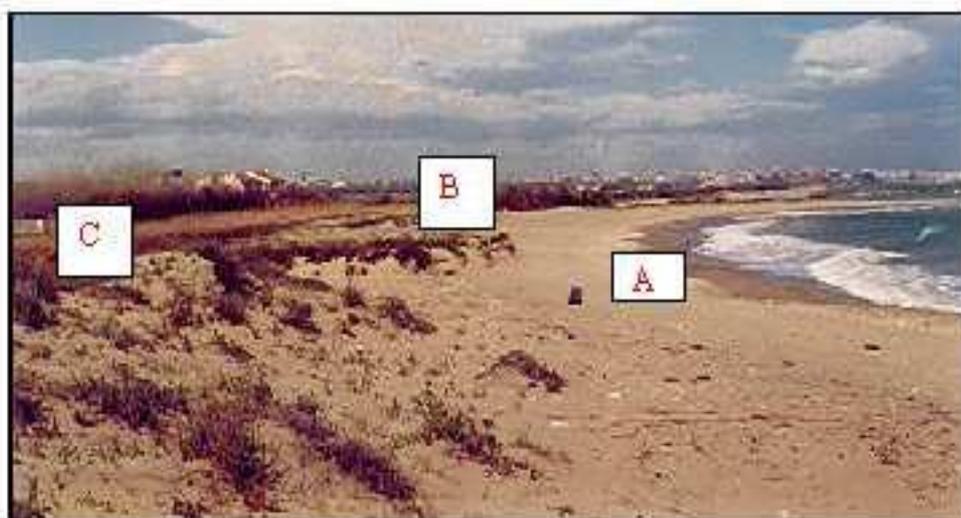
In prossimità della linea di costa la regolare continuità di questa monoclinale risulta interrotta da una falesia ben visibile lungo il tratto compreso tra Termoli e Campomarino; in particolare nel tratto di costa compreso tra la Spiaggia di Foce dell'Angelo e quella di Rio Vivo la falesia, nell'insieme molto alta e ripida, sovrasta una spiaggia sabbiosa di larghezza compresa tra 10 m e 150 m circa. La fascia costiera con la sua falesia rappresenta il limite tra la zona interna (terre emerse) interessata prima da subsidenza e poi da sollevamento in età post Calabrianiana e la zona esterna (mare attuale) interessata da subsidenza.

Il reticolo idrografico appartiene ai bacini del Fiume Biferno e dei torrenti Sinarca e Rio Vivo. Lo sviluppo e l'organizzazione del reticolo è stata in larga misura condizionata da eventi neotettonici a componente prevalentemente verticale attiva dal Calabrianiano in avanti; questi eventi hanno prodotto la scomposizione in blocchi delimitati da faglie con direzione WNW-ESE sul lato esterno, confinante col Mare Adriatico, e direzioni NW-SE e NE-SW sul lato interno, confinante con i terreni appenninici. I rimanenti lati dei blocchi coincidono con faglie ad andamento variabile tra le direzioni N-S e NNE-SSW. Ognuno di questi blocchi ha subito basculamenti intorno ad assi aventi direzione NW-SE e direzione compresa tra N-S e NNE-SSW i cui effetti si notano sia a livello di giacitura

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_PRP\PORTO D 2_ASPETTI bid_U#5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 129 di 140

degli strati sia a livello di distribuzione e organizzazione del reticolo idrografico. Lungo il corso del Fiume Biferno sono presenti terrazzi ben pronunciati, distribuiti in almeno tre ordini principali, la cui posizione è nettamente asimmetrica rispetto all'asse della valle. La rotazione verso E e ESE intorno agli assi di basculamento ha infatti avuto come conseguenza la migrazione dell'alveo verso E con erosione della successione Pio-Pleistocenica in prossimità di Campomarino e depositi alluvionali terrazzati in sinistra idrografica.

Per quanto riguarda l'esame delle stratigrafie dei sondaggi si può constatare che gli spessori delle Sabbie di Serracapriola risultano pari a circa 30 m come del resto è possibile determinare anche da misure in campagna. I sondaggi effettuati in prossimità di Rio Vivo sono stati spinti fino alla profondità massima di 16-18 m dal p.c. per cui le profondità maggiori riportate nella sezione geologica allegata sono puramente interpretate; infatti è stato ipotizzato che a profondità di 30-40 m dal p.c. si rinviene il substrato costituito dalle Argille di Montesecco.



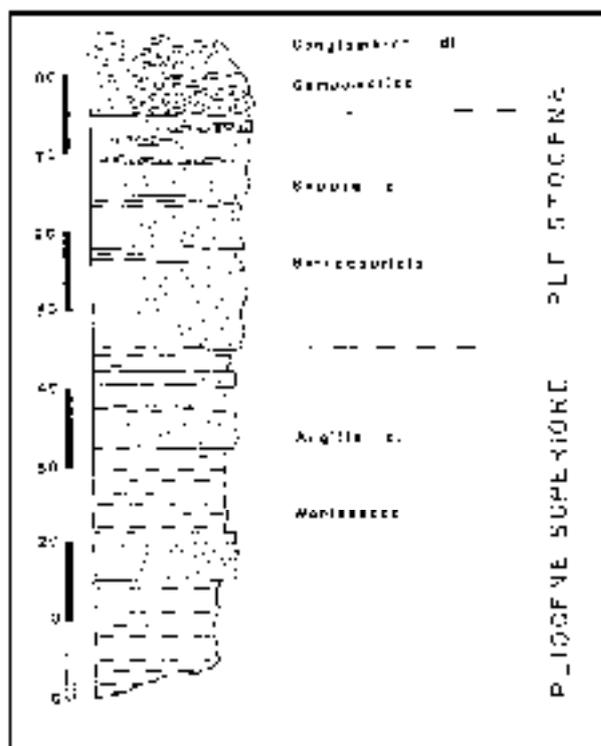
**Fig. 8.2 Spiaggia e ambiente di retrospiaggia in prossimità della foce del F. Biferno**

La restante parte di costa invece è condizionata dalle foci del Biferno e del Sinarca che danno origine a una costa bassa con tratti di spiaggia sabbiosa e ambienti di retro spiaggia (back shore). Nella foto seguente, ripresa in prossimità della foce del Biferno, si osservano i depositi di spiaggia attuali (A), le antiche dune di retrospiaggia (C) attualmente erose e il gradino della berma di tempesta (B).

### 8.3. Stratigrafia

I terreni rilevati appartengono al ciclo regressivo di riempimento dell'Avanfossa Adriatica la cui successione (fig. 8.3), dal basso verso l'alto, è la seguente:

- Argille di Montesecco (Pliocene medio-superiore)
- Sabbie di Serracapriola (Calabriano)
- Conglomerati di Campomarino (Calabriano terminale –PostCalabriano)
- Sabbie e argille sabbiose (Tirreniano)
- Alluvioni terrazzate (Olocene)
- Alluvioni attuali
- Sabbie di spiaggia rim aneggiate dal vento
- Sabbie e ghiaie delle spiagge attuali.



**Fig. 8.2** Colonna stratigrafica della successione Plio-Pleistocenica

### 8.3.1. Argille di Monteseco

La formazione così denominata rappresenta una potente sedimentazione torbiditica ben differenziata in livelli a prevalente frazione argillosa o sabbiosa. La frazione sabbiosa aumenta nella parte sommitale della formazione fino a passare alle superiori Sabbie di Serracapriola. Il colore delle argille risulta grigio-azzurro e grigio-avana in superficie per alterazione.

Queste argille affiorano abbondantemente in zone interne rispetto all'area costiera (zona di Guglionesi), mentre nella fascia costiera le troviamo lungo il tratto medio-alto del vallone Rio Vivo che con la sua azione erosiva prevalentemente verticale ha generato delle scarpate in cui si osservano nella parte alta le sabbie e i conglomerati e in quella inferiore le argille stesse. Nelle zone più interne, le scarpate di erosione fluviale del Fiume Biferno hanno consentito l'esposizione della parte medio alta della successione plio-pleistocenica; dalle suddette scarpate è inoltre possibile osservare il carattere torbiditico delle argille di Monteseco (fig. 8.5).



**Fig. 8.4 - Fig. 8.5 Zona Guglionesi e Strato torbiditico**

In profondità le ritroviamo in alcuni sondaggi geognostici effettuati in zona parco comunale a Termoli; qui alla profondità di circa 14 m dal piano campagna e a circa 16 m sul l.m.m. si rinvenivano argille limose e limoso-sabbiosa di colore grigio a consistenza durissima.

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOROLOGICO, RESUME DEL LITORALE

### **8.3.2. Sabbie di Serracapriola**

I depositi grossolani del ciclo regressivo Pio-Pleistocenico cominciano con depositi sabbiosi indicati nella letteratura geologica col nome di Sabbie di Serracapriola (fig. 8.6).

Lo spessore è variabile e, mediamente, è compreso entro i 30 metri. Le strutture e tessiture rilevabili in questi terreni sono tipiche di depositi di spiaggia sottomarina con lenti e livelli di ciottoli segnanti il passaggio a facies di battigia.

Il limite inferiore con le sottostanti Argille di Montesecco è in genere graduale e sfumato ed è, convenzionalmente, posto ove i banconi sabbiosi sono più frequenti e spessi.



**Fig. 8.6 Affioramento delle Sabbie di Serracapriola in una cava nei pressi di Campomarino.**

Litologicamente tali terreni sono costituiti da sabbie a granulometria grossolana e medio-fine a diverso grado di cementazione. Il colore dell'ammasso è giallastro con passaggi e sfumature, nella parte alta, a colori rossastri. Affiorano estesamente nell'area rilevata e costituiscono buona parte della falesia che si estende dal T. Sinarca al F. Biferno.

### **8.3.3. Conglomerati di Campomarino**

Rappresentano i terreni di chiusura del ciclo di riempimento dell'Avanfossa Adriatica e affiorano in banchi di limitato spessore sovrapposti alle sabbie di Serracapriola. Il passaggio tra queste due formazioni risulta a luoghi graduale e talvolta netto con base erosiva.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*\RAPPOR TO D 2 ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Re U. 00	Pag. 133 di 140

Litologicamente trattasi di conglomerati poligenici eterometrici con buon grado d'arrotondamento in abbondante matrice sabbiosa. L'aspetto delle facies è variabile e potrebbe rappresentare di volta in volta la deposizione in ambiente di avanspiaggia o di retrospiaggia: depositi ciottolosi, in parte sabbiosi, in livelli da centimetrici a decimetrici a geometria mal definita o leggermente inclinata e depositi prettamente ciottolosi con sabbia isolata in orizzonti distinti. Nelle foto seguenti sono ben evidenti le facies conglomeratiche e il passaggio sia graduale che netto alle sottostanti sabbie di Serracapriola.



**Fig 8.7 Facies ciottolosa nella formazione conglomeratica nei pressi dell'ex Mulino Pallante**



**Fig. 8.8 Passaggio netto tra i Conglomerati di Campomarino e le Sabbie di Serracapriola nei pressi di Campomarino**

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

#### **8.3.4. Sabbie e argille sabbiose con lenti di ciottoli**

Limitati affioramenti di argille sabbiose con lenti di ciottoli, di natura mista continentale – marina e di età Tirreniano, affiorano a W di Termoli ai piedi della scarpata di abrasione marina.

#### **8.3.5. Alluvioni antiche**

Nell'area rilevata affiorano in un pianalto, in sinistra idrografica del F. Biferno, a SE di Termoli e rappresentano, morfologicamente, il primo ordine dei terrazzi.

Litologicamente sono costituiti in prevalenza da limi argillosi, talora sabbiosi, di colore marrone rossastro con evidenti relitti di ciottoli o ghiaie del tutto decementate e decalcificate sino ad assumere un aspetto biancastro pulverulento. Lo spessore di tali depositi può essere stimato pari a 5-6 m circa.

Dove la facies ciottolosa diventa predominante l'ammasso presenta caratteri litologici e sedimentologici simili ai depositi di spiaggia del ciclo sedimentario plio-pliostocenico, perciò diventa difficile la distinzione da questi ultimi.

#### **8.3.6. Alluvioni recenti e attuali**

Le alluvioni recenti affiorano in ripiani elevati di qualche metro rispetto ai corsi del F. Biferno e del torrente Sinarca. Interessante è la loro distribuzione rispetto ai corsi d'acqua che risulta, prevalentemente, in sinistra idrografica del F. Biferno e in destra idrografica del T. Sinarca a causa dei basculamenti di cui si è detto nei paragrafi precedenti.

Litologicamente trattasi, anche in questo caso, di limi, argille e, in subordine, di livelli sabbiosi o conglomeratici di spessore limitato. Dal punto di vista sedimentologico tale ambiente è caratterizzato da forte eterogeneità sia litologica che deposizionale; infatti le indagini rilevano la giustapposizione disordinata di termini litologici di varia granulometria, aggregati in lenti, con passaggi laterali per eteropia di facies.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_1*RAPPORTO D.2_ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 135 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Le alluvioni attuali invece sono quelle che occupano i fondovalle del F. Biferno e dei Torrenti Sinarca e Rio Vivo. Sono costituite, in prevalenza, da ciottoli arrotondati immersi in abbondante matrice sabbiosa.

### **8.3.7. Sabbie e ghiaie delle spiagge attuali e Sabbie di spiaggia rimaneggiate dal vento**

I depositi costieri possono essere distinti in due formazioni, una corrispondente alla spiaggia attuale l'altra, anch'essa sabbiosa, caratterizzata dal rimaneggiamento eolico.

Tali depositi hanno estensione nettamente superiore nel tratto costiero a SE di Termoli rispetto alla rimanente parte dell'area rilevata e sono, per la gran parte, di natura sabbiosa a granulometria da media-grossolana a medio-fine con diametro medio dell'inerte pari a 0.3 mm circa. In un limitato tratto costiero a W della foce del T. Sinarca la spiaggia è, invece, di natura ciottolosa e riflette la natura litologica del substrato.

## **8.4. Caratterizzazione geotecnica**

### **8.4.1. Indagini**

La caratterizzazione geotecnica dei terreni affioranti nell'area in esame è stata eseguita analizzando i risultati emersi nel corso di numerose campagne di indagini geognostiche eseguite nel territorio di Termoli e di Campomarino per la realizzazione di opere sia pubbliche sia private.

Tali campagne di indagini consistono essenzialmente in terebrazioni, spinte fino a profondità di 20 m-35 m dal piano di campagna, con prelievi di campioni indisturbati e prove geotecniche in sito.

L'estrapolazione in aree vaste di dati puntuali, quali quelli forniti dai sondaggi geognostici, è stata effettuata tramite considerazioni di carattere geologico e tramite la consultazione della seppur non numerosa bibliografia geologico-tecnica dell'area in questione.

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_*.RAPPOR TO D.2_ASPETTI bid_U#5.doc	
PGD22	
USTD2 - Re U. 00	Pag. 136 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Lo studio geotecnico ha lo scopo di fornire i dati di base per l'impostazione dei problemi di fondazione e di stabilità mediante due tipi di informazioni:

- a) in forma cartografica ove è stata effettuata una zonizzazione tra le varie località di eguali caratteristiche litologiche e geotecniche;
- b) in forma di raccomandazioni da osservare in fase di esecuzione delle opere.

#### **8.4.2. Carta dei caratteri geotecnici**

Tenendo conto dei parametri fisico-meccanici sopra menzionati si è proceduto alla suddivisione dei terreni dell'area in cinque gruppi o unità geotecniche quali:

- I. terreni antichi a comportamento coesivo (Unità A)
- II. terreni antichi incoerenti (Unità B)
- III. terreni recenti a comportamento coesivo (Unità C)
- IV. terreni recenti incoerenti (Unità D)
- V. terreni alluvionali attuali

I terreni interessati dalle infrastrutture portuali esistenti sono principalmente quelli delle Unità geotecniche D e C.

I terreni dell'unità D sono stati caratterizzati tramite i sondaggi geognostici eseguiti per la costruenda strada di collegamento del porto di Termoli alla viabilità esterna e le prove penetrometriche dinamiche continue eseguite dalla società *Aquater* nell'ambito del Piano interregionale di difesa della costa adriatica.

Litologicamente risultano costituiti da sabbie di granulometria media con ghiaia centimetrica e livelletti di sabbia media e grossolana cementata e passaggi limosi che diventano più frequenti al disotto di 6-8 m dal piano di campagna.

Fino a tale profondità questi terreni risultano in genere poco addensati; infatti i risultati delle prove S.P.T. forniscono un numero di colpi variabile entro un intervallo relativamente ampio con valori medi tipici di sabbie sciolte o moderatamente addensate.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_PRR\PORTO D 2 ASPETTI bid_U#5.doc	
PGD22	
USTD2 - R2 U.00	Pag. 137 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOROLOGICO, REGIME DEL LITORALE

I valori delle principali caratteristiche meccaniche possono essere riassunte come segue. L'angolo di resistenza al taglio di picco è variabile nell'intervallo  $f=30^{\circ}-37^{\circ}$ , il peso di volume  $\gamma$  può assumersi pari a circa  $1.80 \text{ g/cm}^3$ . Nei problemi che coinvolgono grandi deformazioni del terreno, quali quelli relativi alla stabilità delle fondazioni, il comportamento della sabbia risulta caratterizzato dall'assenza di variazioni di volume a lungo termine e la resistenza disponibile è quella corrispondente allo stato critico individuato dall'angolo di attrito a volume costante  $f_{cv}$ . Per i terreni in esame il valore di  $f_{cv}$  è variabile nell'intervallo  $26^{\circ}-32^{\circ}$ .

A profondità superiori si rileva invece un netto aumento del grado di addensamento con contestuale aumento dei valori delle proprietà fisico-meccaniche. Queste ultime risultano le seguenti: l'angolo di resistenza al taglio di picco  $f$  è compreso in genere nell'intervallo  $40^{\circ}-45^{\circ}$ , mentre i corrispondenti valori a volume costante variano nell'intervallo  $31^{\circ}-33^{\circ}$  con peso di volume che può assumersi pari a  $1.90 \text{ g/cm}^3$ .

All'unità geotecnica C invece appartengono i terreni alluvionali recenti e quelli del primo ordine dei terrazzi. I sondaggi e le prove eseguite in questi terreni mostrano che questi si comportano come terre coesive da normal consolidate a debolmente sovraconsolidate.

Litologicamente risultano costituiti da limi e argille con subordinati livelli grossolani di sabbie o ghiaie tipici di un contesto alluvionale.

L'indice di plasticità e la coesione non drenata  $C_u$  determinate su campioni indisturbati sono rispettivamente variabili tra  $54-69\%$  e  $0.55-0.86 \text{ Kg/cm}^2$ . I parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate di campioni indisturbati  $C'$  e  $f$  sono invece compresi rispettivamente tra  $0.28-0.45 \text{ Kg/cm}^2$  e  $17^{\circ}-22^{\circ}$ . Il peso di volume  $\gamma$  può assumersi pari a  $1.90 \text{ g/cm}^3$ . Questi parametri sono tipici di terreni fini a consistenza dura. Il grado di sovraconsolidazione OCR può essere stimato con la relazione di Ladd et. Al., 1977:

$$C_u/s'v_o=0.22^*OCR^{0.8}$$

Si ottengono valori di OCR all'incirca pari a 8 a piccola profondità (3 m) e circa pari a 4 a 12 m dal piano campagna; con determinati valori i terreni si possono ritenere certamente sovraconsolidati.

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRPVCONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*_*_*.VIA\PRODOTTO D.2 ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 138 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOMARINO, REGIME DEL LITORALE

Le risultanze emerse da prove penetrometriche dinamiche continue effettuate in altri siti mostrano la presenza, in un contesto generale di terreni OC, di livelli limoso-argillosi plastici con minimi valori di coesione non drenata pari a  $0.30 \text{ Kg/cm}^2$ .

I parametri idraulici di tali terreni ottenuti da prove di dissipazione delle pressioni neutrali in sito risultano oltremodo variabili con coefficiente di permeabilità orizzontale compreso tra  $2\text{-}5 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$  per i terreni più argillosi e  $3\text{-}7 \times 10^{-6}$  per quelli più sabbiosi.

L'unità geotecnica B comprende fundamentalmente i terreni granulari appartenenti alle formazioni delle Sabbie di Serracapriola e dei Conglomerati di Campomarino.

Trattasi di sabbie a granulometria medio fine e conglomerati poligenici eterometrici dalle caratteristiche meccaniche mediamente buone.

L'angolo di resistenza al taglio di picco presenta valori compresi negli intervalli  $35^\circ\text{-}45^\circ$  e superiori a  $45^\circ$  con valori dell'angolo di attrito a volume costante in genere tra  $31^\circ\text{-}34^\circ$ . Il peso di volume è pari a  $1.90 \text{ g/cm}^3$ .

L'unità geotecnica A comprende, infine, i terreni appartenenti alla Formazione delle Argille di Montesecco. Trattasi in questo caso di terreni in prevalenza argillosi certamente sovraconsolidati a consistenza da dura a molto dura e indice di plasticità pari, in genere, al 30%. Il parametro di resistenza al taglio in termini di tensioni totali  $C_u$  può assumersi, cautelativamente, pari a  $0.89 \text{ Kg/cm}^2$ . In termini di tensioni effettive invece i parametri  $C'$  e  $f'$  sono pari rispettivamente a  $0.22 \text{ Kg/cm}^2$  e  $22^\circ$ . Il peso di volume può assumersi pari a circa  $2.0 \text{ g/cm}^3$ .

G:\PG22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_3*_*4_*_RAPPORTO D.2_ASPETTI bid_U*5.doc	
PGD22	
USTD2 - R.U. 00	Pag. 139 di 140

	REGIONE MOLISE
	Piano Regolatore Portuale di Termoli e V.A.S.
	D.2 - ASPETTI FISICI, STUDIO METEOROLOGICO, REGIME DEI LITORALI

## 9. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Boni, A., Casnedi, R., Centamore, E., Colantoni, P., Cremonini, G., Elmi, C., Monesi, A., Valletta, M. (1969): *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio N. 155, San Severo*. Servizio Geologico d'Italia.

Boni, A., Casnedi, R., Centamore, E., Colantoni, P., Cremonini, G., Elmi, C., Monesi, A., Valletta, M. (1969): *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio N. 155, San Severo*. Servizio Geologico d'Italia, 1969, 1-56. Editrice Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (NA).

Casnedi R., Crescenti U., D'Amato C., Mostardini F. e Rossi U., (1981): *Il Plio-Pleistocene del sottosuolo molisano*. Geologica Romana, 20, 1-42.

Casnedi R, Crescenti U. e Tonna M., 1984 - *Evoluzione della Avanfossa Adriatica meridionale nel plio-pleistocene, sulla base di dati del sottosuolo*. Memorie Società Geologica Italiana, 24 (1982), pp. 243-260, Roma.

Crescenti U. (1981): *Sul limite Miocene-Pliocene in Italia*. Geologica Romana, 10, 1-22.

**“Studio idraulico marittimo”** a supporto della proposta di PRP 2002 del porto di Termoli a cura di MED Ingegneria

**“Contributo alla stesura del Quadro di Riferimento Ambientale relativo allo studio VIA riguardante l'ampliamento del Porto di Termoli”** Università degli Studi del Molise

**“Atlante delle Coste”** (edito da APAT, 2005)

G:\PG\22 - PRP DI TERMOLI\PROPOSTA_PRP\CONSEGNA_PROPOSTA_PRP_21_04_11\RAPPORTO D.2 ASPETTI FISICI\05.doc	
PGD22	
USTD2 - Rev. 00	Pag. 140 di 140