



# COMUNE DI PESCARA

## REGIONE ABRUZZO

# PORTO DI PESCARA

## PIANO REGOLATORE PORTUALE 2008

Titolo elaborato :

STUDIO MORFOLOGICO

--	--	--

0	8
---	---

--	--	--

R
---

-	-	-
---	---	---

0
---

Coordinamento generale:	Dott. Ing. Chiara BARILE
Responsabile Unico del Procedimento:	Dott. Ing. Luciano DE BIASE
Coordinatore gruppo di progettazione:	Prof. Ing. Alberto NOLI
Aspetti marittimi e modellistica idraulica:	Prof. Ing. Paolo DE GIROLAMO
Aspetti urbanistici e architettonici:	Prof. Arch. Rosario PAVIA Prof. Arch. Giuseppe BARBIERI Dott. Arch. Raffaella MASSACESI
Aspetti trasportistici - Connessioni terrestri:	T.P.S. - Dott. Ing. Guido Francesco MARINO
Aspetti ambientali:	MED Ingegneria s.r.l. - Dott. Ing. Paolo ATZENI
Aspetti geologici:	Dott. Geol. Francesco IEZZI
Aspetti geotecnici:	Prof. Ing. Giuseppe SCARPELLI
Aspetti socio - economici:	ECOSFERA - Dott. Ing. Domenico NEVOSO

	Nov. 2008			P. De Girolamo		
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	Redatto:	Verificato:	Approvato:

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSE .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>OBIETTIVI, METODOLOGIA DI LAVORO E SINTESI DEI RISULTATI .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>TRASPORTO SOLIDO POTENZIALE LONGITUDINALE LITORANEO .....</b>	<b>6</b>
3.1	GENEALITÀ.....	6
3.2	TRASPORTO SOLIDO LONGITUDINALE POTENZIALE .....	8
3.3	RISULTANTE DEL FLUSSO ENERGETICO DEL MOTO ONDOSO IN PROSSIMITÀ DELLA COSTA .....	9
3.4	DIREZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO LONGITUDINALE POTENZIALE LUNGO LA COSTA.....	16
<b>4</b>	<b>ANALISI DELLA SITUAZIONE ATTUALE .....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>IMPATTO DELLE OPERE PREVISTE DAL P.R.P. SULLE COSTE ADIACENTI E STIMA DEI FENOMENI DI INSABBIAMENTO DEI NUOVI BACINI PORTUALI .....</b>	<b>27</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>30</b>

## **1 Premesse**

Con riferimento alla redazione del Piano Regolatore del Porto (P.R.P.) di Pescara, il Comune di Pescara ha incaricato lo scrivente Prof. Ing. Paolo De Girolamo (Prot. N. 502/AT – generale n. 21394) dei servizi tecnici relativi agli aspetti marittimi. Nell'ambito di tale incarico è stato redatto lo Studio Morfologico, di cui il presente documento costituisce il rapporto finale.

Per la redazione del presente studio, il Prof. De Girolamo si è avvalso della collaborazione dell'Ing. Andrea Sanzone.

## **2 Obiettivi, metodologia di lavoro e sintesi dei risultati**

Gli obiettivi principali del presente lavoro possono essere sintetizzati come segue:

- valutare l'impatto sulla costa che verrà esercitato dalle opere previste dal P.R.P.;
- valutare eventuali problemi di sedimentazione dei nuovi bacini portuali.

Per conseguire tali obiettivi è stata condotta in primo luogo una analisi sulla dinamica evolutiva a lungo termine del tratto di costa su cui sorge il porto di Pescara, sia in relazione alla situazione attuale, sia in relazione alla situazione futura che si verrà a creare in seguito alla realizzazione delle opere previste dal nuovo P.R.P.. In particolare si è posta l'attenzione al flusso di energia longitudinale delle onde frangenti che costituisce il "motore" del trasporto solido costiero.

Inoltre si è valutato l'attuale trend di sedimentazione del bacino commerciale mediante confronto tra due successivi rilievi batimetrici.

I risultati di queste analisi hanno consentito di interpretare i fenomeni evolutivi in atto e di prevedere quelli che si verificheranno a seguito della realizzazione delle opere.

I principali risultati ottenuti sono di seguito sintetizzati.

In relazione alla situazione attuale, nell'area oggetto di studio il trasporto solido longitudinale potenziale è di tipo bimodale potendo verificarsi sia trasporto longitudinale diretto verso sud-est (in presenza di attacchi di moto ondoso provenienti da tramontana e grecale) sia verso nord-ovest (in presenza di attacchi di moto ondoso provenienti da levante). Mediamente durante l'anno, la componente diretta verso sud-est tende a prevalere rispetto a quella diretta verso nord-ovest lungo gran parte del litorale in esame.

In prossimità del porto di Pescara, l' "effetto schermo" operato dello stesso porto sul moto ondoso incidente, determina ad est del porto e per un breve tratto, l'inversione della direzione del trasporto solido longitudinale netto, causano la convergenza del

trasporto verso l'area portuale. Ciò giustifica l'attuale tendenza all'insabbiamento che si osserva nei tratti di costa posti subito ad est ed a ovest del porto esistente.

In relazione alla situazione di progetto, e per quanto riguarda l'impatto esercitato dal porto sulle coste adiacenti, si è verificato che le nuove opere non modificando sostanzialmente l' "effetto schermo" attualmente esercitato dalle opere esistenti e pertanto si ritiene nulla tale tipologia di impatto. Peraltro si osserva che le coste poste sia ad est, sia a ovest del porto sono protette per lunghi tratti da opere di difesa costiere le quali recentemente sono state oggetto di interventi di riqualificazione ad opera della Regione Abruzzo.

Per quanto riguarda la situazione attuale in relazione alle problematiche di insabbiamento del porto commerciale, si è stimato che esso risulta pari a circa 40.000 m<sup>3</sup>/anno. Le cause di questo insabbiamento sono dovute prevalentemente al trasporto solido litoraneo proveniente da ovest, anche se non si esclude che in occasione di eventi di piena fluviali ad esso contribuisca in parte anche del materiale trasportato dal Pescara. Per quanto riguarda il trasporto solido proveniente da est, di entità modesta, esso viene bloccato dal porto turistico prima che raggiunga il porto commerciale. Attualmente inoltre il problema dell'insabbiamento riguarda anche il tratto terminale dell'asta fluviale, dove è localizzata la zona di espansione dell'alveo fluviale che venne realizzata nel passato per consentire l'evoluzione delle navi nel porto canale. In tale zona, il rallentamento della corrente fluviale causato dalla stessa espansione, favorisce la sedimentazione del materiale solido trasportato dal fiume. Comunque si può affermare che il vero problema attuale non sia tanto costituito dall'entità complessiva dei fenomeni di insabbiamento, con i quali comunque un porto canale posto su un litorale sabbioso è destinato a confrontarsi, quanto al fatto che il materiale che sedimenta contiene sostanze inquinanti dovute alle acque inquinate del Pescara. La causa principale dei problemi attuali quindi è costituita dall'inquinamento dei materiali da dragare.

Nella configurazione di P.R.P. gran parte dei problemi di insabbiamento sopra esposti vengono eliminati. In primo luogo perché eliminando la portualità dall'asta fluviale viene rimossa una delle ragioni che attualmente richiede l'esecuzione di frequenti e difficoltosi dragaggi della stessa asta fluviale. In secondo luogo, separando

fisicamente i due nuovi bacini portuali dalle acque fluviali, si rimuove la causa di inquinamento dei sedimenti. In terzo luogo si ritiene che la forma attribuita al molo di sopraflutto del porto pescherecci contribuisca a ridurre considerevolmente l'entità dell'insabbiamento oggi osservato nel porto commerciale e che tale insabbiamento venga limitato alla zona di radicamento a terra del sopraflutto del porto pescherecci ed al suo avamposto, dove si prevede al più una sedimentazione dovuta al trasporto solido in sospensione. Il materiale sedimentato in queste zone potrà essere facilmente dragato ed utilizzato per ripascimento delle spiagge. Per quanto riguarda il nuovo porto commerciale si ritiene che il rateo futuro di insabbiamento sarà modesto e causato anche in questo caso esclusivamente dal trasporto solido in sospensione perché il materiale di fondo proveniente da est verrà bloccato, come avviene attualmente, dall'imboccatura del porto turistico.

Si evidenzia infine che l'eliminazione della portualità dall'asta fluviale potrà consentire di risagomare le sponde fluviali al fine di eliminare la zona di espansione di cui si è accennato in precedenza, dove oggi si riscontra la maggior parte della sedimentazione. Come evidenziato nello studio specialistico eseguito sull'idraulica del fiume Pescara allegato al presente P.R.P., la sedimentazione presente nella zona di espansione, che determina la formazione di un profilo longitudinale di fondo in contropendenza rispetto alla direzione della corrente fluviale, costituisce un pericolo per il centro di Pescara in quanto facilita l'esondazione del fiume in occasione degli eventi di piena. Si ritiene che la rimozione completa del problema dell'insabbiamento dell'asta fluviale possa essere conseguita mediante l'eliminazione della suddetta zona di espansione dell'asta fluviale.

### **3 Trasporto solido potenziale longitudinale litoraneo**

#### **3.1 Genealogia**

Lungo le coste basse a carattere microtidale, come quelle dell'Adriatico, la dinamica dei sedimenti costieri è dominata dal moto ondoso frangente che determina sia la messa in sospensione che il movimento del materiale di fondo. Tale movimento avviene prevalentemente all'interno della zona dei frangenti e presenta due componenti principali:

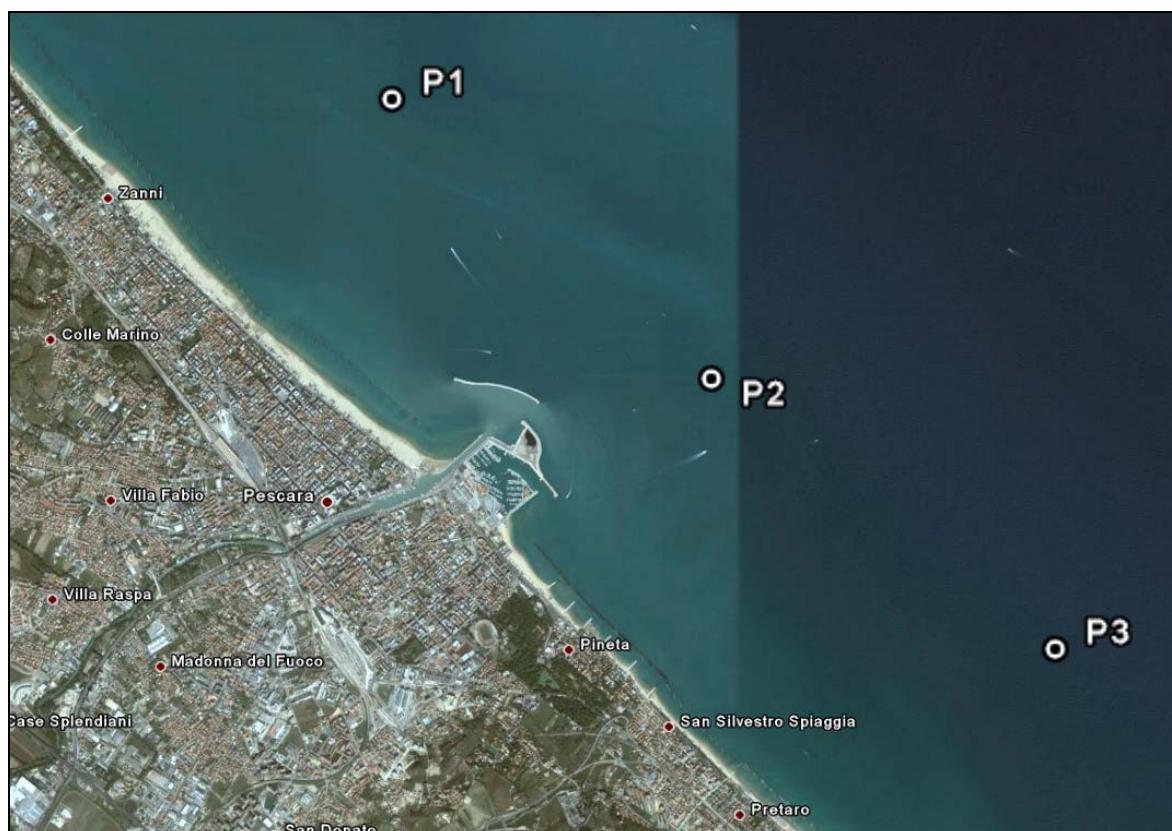
- trasporto longitudinale, cioè parallelo alla linea di riva;
- trasporto trasversale, cioè ortogonale alla linea di riva.

La prima componente del moto è responsabile dell'evoluzione a lungo termine del litorale (mesi, anni) mentre la seconda dei fenomeni evolutivi a breve termine (singola mareggiata).

Con il presente studio ci si è posti l'obiettivo di comprendere le potenziali interferenze sulla morfodinamica dei litorali adiacenti al porto di Pescara, a lungo termine, con riferimento sia alla situazione attuale, sia alla nuova configurazione di P.R.P.

Lo studio è stato condotto analizzando e valutando, grazie anche ai risultati ottenuti dallo studio meteomarinario redatto sempre nell'ambito del presente progetto di P.R.P. e a cui si rimanda per maggiori dettagli, il flusso di energia associato al moto ondoso per diversi punti opportunamente scelti come rappresentativi per l'intero paraggio oggetto di analisi.

In particolare, a partire dalla serie storica ricostruita sottocosta in corrispondenza di tre punti (Figura 3.1) posizionati su fondali di circa -9.0 m s.l.m., sono state condotte una serie di considerazioni ed analisi necessarie a fornire gli elementi di valutazione oggettiva sulle potenziali interferenze causate dalle nuove opere sulla morfodinamica costiera, assumendo quale elemento di valutazione il flusso di energia associato al moto ondoso.



**Figura 3.1 – Ubicazione dei punti scelti per la ricostruzione del moto ondoso sottocosta**

Questo criterio si basa sull'analisi del campo di variabilità della "forzante" responsabile della mobilitazione dei sedimenti lungo il litorale associata sostanzialmente al flusso di energia del moto ondoso incidente sotto costa. Oltre all'analisi della risultante del trasporto netto si possono esaminare separatamente le due componenti del trasporto longitudinale calcolate sulla base dell'orientamento medio della linea di riva.

Si precisa che, da un punto di vista quantitativo, questa metodologia non fornisce una stima effettiva dell'entità del trasporto solido litoraneo lungo la fascia attiva ma semplicemente l'ordine di grandezza delle condizioni di interferenza, su vasta scala ed imputabili alla realizzazione delle nuove opere previste dal presente P.R.P. di Pescara, sull'attuale dinamica costiera del tratto di costa in esame.

Per le finalità dello studio questo metodo di analisi è ampiamente cautelativo in quanto consente un'oggettiva comparazione parametrica tra le due configurazioni portuali esaminate (quella attuale e quella di P.R.P.).



### 3.2 Trasporto solido longitudinale potenziale

Al fine di poter determinare, nel tratto di costa su cui sorge l'attuale porto di Pescara, l'influenza delle nuove opere previste dal presente progetto di P.R.P. sulla dinamica costiera è necessario definire e valutare l'entità del trasporto solido litoraneo longitudinale indotto dal moto ondoso frangente.

Infatti, la componente longitudinale (parallela alla linea di riva) del trasporto solido è per le coste a carattere microtidale, come quelle dell'Adriatico, la principale responsabile dell'evoluzione morfologica a lungo termine (anni) dei litorali.

Prendendo in esame una generica "sezione di controllo", sezione cioè trasversale alla fascia litoranea in esame, con riferimento alla Figura 3.2, la componente longitudinale  $F_L$  del trasporto solido medio annuo (valore di riferimento per lo studio dell'evoluzione a lungo termine) che transita attraverso la sezione di controllo è essenzialmente caratterizzata dai seguenti parametri:

- **Verso**, correlato alla direzione di incidenza del moto ondoso rispetto alla sezione di controllo (nel caso riportato in figura diretto da nord verso sud per gli stati di mare provenienti dal I° quadrante, e da sud verso nord per gli stati di mare provenienti dal II° quadrante);
- **Intensità**, normalmente espressa in  $m^3/anno$  sull'unità (m) di sviluppo longitudinale della linea di riva, correlata al flusso di energia associato al moto ondoso, all'angolo di incidenza tra la direzione del moto ondoso e l'ortogonale alla linea di riva ( $\alpha$ ), alla frequenza/durata dell'evento ondoso e alla natura dei sedimenti.

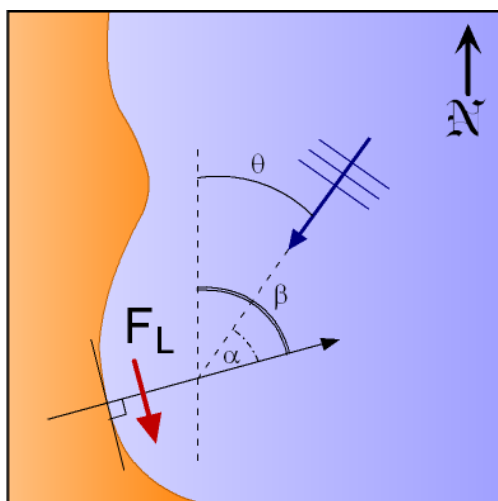


Figura 3.2 – Indicazione dei *parametri che caratterizzano la componente longitudinale del flusso*

Prescindendo dalla natura dei sedimenti e facendo riferimento esclusivamente al vettore flusso di energia delle onde, è possibile stimare il trasporto solido “potenziale”. Nel dettaglio, la conoscenza della componente longitudinale del flusso di energia del moto ondoso frangente implica la conoscenza del “motore” dei sedimenti (trasporto potenziale); l’effettivo trasporto solido ovviamente dipende sia dalla disponibilità dei sedimenti sia dalle relative caratteristiche che ne determinano la mobilità.

Pertanto la conoscenza di una adeguata serie storica relativa alla componente longitudinale del flusso di energia delle onde al frangimento (trasporto potenziale) consente di determinare in modo accurato il verso del trasporto solido medio annuo, ovvero fornisce solo una stima della sua effettiva quantità. Tuttavia tale stima risulta di fondamentale importanza in quanto consente di eseguire numerose considerazioni di interesse applicativo e gestionale.

In conclusione quindi con il presente lavoro ci si è posti l’obiettivo di valutare per il tratto di litorale su cui sorge il porto di Pescara la direzione del trasporto solido longitudinale potenziale medio annuo netto, nonché di stimare anche le sue componenti parziali, cioè nel caso di Pescara quelle dirette verso est e verso ovest.

Per conseguire tale obiettivo ci si è avvalsi dei risultati della propagazione di moto ondoso ottenuti dallo studio meteomarinico condotto nell’ambito del presente progetto di P.R.P.

In particolare, a partire dai dati registrati alla boa accelerometrica direzionale della Rete Ondametrica Nazionale (RON) posta al largo di Ortona (dati analizzati dal 01/07/1989 al 30/06/2007,) è stata dapprima ricostruita la serie storica in tre punti distinti sottocosta (P1, P2, P3), opportunamente disposti su fondali di circa -10,0 m s.l.m. lungo il litorale in esame, e successivamente, sempre per i tre punti scelti, è stato calcolato il flusso di energia connesso ad ogni singolo stato di mare per unità di fronte d’onda ed è stata stimata la direzione del trasporto solido longitudinale netto e delle sue componenti. Ciò ha consentito di valutare il trasporto solido longitudinale parziale e netto in prossimità della costa.

### **3.3 Risultante del flusso energetico del moto ondoso in prossimità della costa**

La direzione risultante del flusso energetico del moto ondoso lungo il tratto di litorale su cui sorge il porto di Pescara, utile per le considerazioni sul regime della dinamica

litoranea, è stata determinata alla profondità di circa -9,0 m s.l.m. in 3 punti opportunamente scelti e rappresentativi dell'intero tratto di costa in esame.

Nel dettaglio, la distanza reciproca tra i punti  $P_1$  e  $P_2$  è di circa 3,7 km mentre quella tra i punti  $P_2$  e  $P_3$  è di circa 3.9 km (vedi Figura 3.1).

Il clima ondoso, nei punti  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , è stato ricostruito con il metodo dell'inversa spettrale a partire dai dati storici della stazione ondometrica di Ortona (per maggiori dettagli si rimanda allo studio meteomarinò allegato al presente progetto).

Per ogni stato di mare ricostruito è stato calcolato il valore del vettore flusso di energia del moto ondoso espresso dalla relazione valida per onde progressive lineari:

$$\vec{F} = \frac{1}{8} \rho g H_s^2 n \vec{C}$$

in cui  $\rho$  è la densità dell'acqua,  $g$  il modulo dell'accelerazione di gravità,  $H_s$  l'altezza d'onda significativa,  $C$  la celerità di fase ed  $n$  è il rapporto tra la celerità di gruppo e la celerità di fase ed è definito dalla relazione:

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$$

dove  $k$  è il numero d'onda e  $d$  è la profondità.

Per ogni classe di altezza  $i$ -esima (passo di discretizzazione pari a 0,5 m) e direzione  $j$ -esima (passo di discretizzazione di  $10^\circ$ ) è stato determinato il valore del lavoro medio annuo compiuto dal moto ondoso, per unità di fronte d'onda:

$$Lm_{ij} = \frac{1}{N} \sum_N F_{ij} \Delta t$$

Nella relazione precedente  $F_{ij}$  è il flusso di energia del singolo evento di classe  $(i,j)$ ,  $\Delta t$  la durata del singolo evento di classe  $(i,j)$  ed  $N$  il numero degli anni della registrazione.

Si precisa che nel calcolo sono stati esclusi gli eventi caratterizzati da altezze d'onda significative inferiore ai 0.5 m, in quanto dal punto di vista energetico e quindi della capacità di messa in sospensione e trasporto dei sedimenti si possono ritenere trascurabili.

Per ogni direzione di provenienza  $j$ -esima è stato determinato il valore del lavoro medio annuo compiuto dal moto ondoso, per unità di fronte d'onda:

$$Lm_j = \sum_i Lm_{ij}$$

ed il flusso energetico medio annuo del moto ondoso:

$$Fm_j = \frac{Lm_{ij}}{\frac{1}{N} \sum \Delta t}$$

dove  $\sum \Delta t / N$  è la durata media annua degli eventi di moto ondoso che ricadono nel settore  $j$ -esimo di ampiezza  $10^\circ$ .

I risultati del calcolo del flusso medio annuo dell'energia del moto ondoso, nei punti P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> presi come riferimento, sono riportati nella Figura 3.3 in forma di diagrammi polari unitamente alla risultante del vettore flusso di energia associata al moto ondoso, ed in forma numerica dalla Tabella 3.1 alla Tabella 3.3.



Figura 3.3 - Diagramma polare e risultante del flusso di energia valutato nei tre punti in esame.

**Tabella 3.1 - Valori dei flussi totali e longitudinali ottenuti per il punto P1.**

Onda di modellazione sotto costa del sito in esame (punto P1) - RISULTANTE ANNUALE

**TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA**

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										Fm <sub>j</sub>
	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	> 5.0	
10	1549.70	2385.20	2235.70	1714.10	1443.90	806.30	251.30	203.90	124.00		10714.10
20	1307.90	2459.60	1944.80	2282.90	1874.20	1193.70	1165.60	614.70			12843.40
30	1179.70	2459.00	2547.60	2970.40	2394.50	2862.10	1391.50	1277.40	162.90		17245.10
40	671.70	1379.70	1666.70	1504.20	790.70	794.20	1005.90	115.20			7928.30
50	638.90	716.00	437.80	599.30	156.90	192.80	160.40				2902.10
60	817.20	674.20	435.20	227.00	280.60	217.60		128.90			2780.70
70	2021.70	1434.80	737.90	460.00	109.50						4763.90
80	2783.90	2611.70	1074.60	665.50	531.10	177.10					7843.90
90	1619.20	1325.50	326.80	59.50	166.80						3497.80
100	937.10	681.90	179.10	113.20							1911.30
110	453.90	252.20									706.10
120	87.40	16.30									103.70
130	10.50										10.50
140											
150											
160											
170											
180											
190											
200											
210											
220											
230											
240											
250											
260											
270											
280											
290											
300											
310											
320	151.10	13.00									164.10
330	370.70	231.60	35.80								638.10
340	1694.30	1746.20	712.60	252.80							4405.90
350	3292.70	4257.20	3281.60	1432.20	446.60	180.60					12890.90
360	2297.60	3185.00	2934.90	1554.00	852.30	316.30	164.40	105.40			11409.90
TOT.	21885.20	25829.10	18551.10	13835.10	9047.10	6740.70	4139.10	2445.50	286.90		102759.80

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	87256.3	71124.0	50377.8
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	26	25	24
Numero eventi sopra soglia:	17101	6278	2207
H equivalente (m):	1.09	1.51	1.99
Durata (mesi):	5.00	1.84	0.65

**Tabella 3.2 - Valori dei flussi totali e longitudinali ottenuti per il punto P2.**

Onda di modellazione sotto costa del sito in esame (punto P2) - RISULTANTE ANNUALE

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										Fm <sub>j</sub>
	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	> 5.0	
10	1580.50	2470.60	2286.70	1721.50	1466.80	763.60	260.70	244.70	122.60		10917.70
20	1336.20	2414.30	1954.00	2341.20	1858.20	1285.00	1163.50	595.30			12947.70
30	1149.40	2456.10	2632.80	2909.70	2556.00	2832.10	1470.30	1160.00	163.00		17329.40
40	727.60	1352.30	1599.30	1436.50	527.80	800.50	928.40	115.40			7487.80
50	596.50	686.00	370.00	574.00	196.40	186.60	159.90				2769.40
60	847.50	665.70	434.30	291.70	240.20	158.00		128.70			2766.10
70	2007.60	1444.60	734.10	394.60	100.40						4681.30
80	2653.10	2586.50	1091.50	666.30	499.20	177.90					7674.50
90	1532.90	1259.00	334.20	77.10	123.30						3326.50
100	860.60	740.90	266.60	111.70	68.60						2048.40
110	471.90	345.30	91.70								908.90
120	215.30	100.80	7.50								323.60
130	30.00										30.00
140											
150											
160											
170											
180											
190											
200											
210											
220											
230											
240											
250											
260											
270											
280											
290											
300											
310											
320	92.90	13.90									106.80
330	449.00	270.10	35.00								754.10
340	1639.00	1741.30	734.70	209.80							4324.80
350	3285.40	4406.80	3327.40	1298.80	428.50	59.30					12806.20
360	2259.70	3189.20	2860.00	1455.40	823.60	346.60	85.20	202.90			11222.60
TOT.	21735.10	26143.40	18759.80	13488.30	8889.00	6609.60	4068.00	2447.00	285.60		102425.80

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	86633.4	70643.4	49795.4
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	26	25	24
Numero eventi sopra soglia:	17111	6342	2217
H equivalente (m):	1.09	1.50	1.98
Durata (mesi):	5.00	1.85	0.65

**Tabella 3.3 - Valori dei flussi totali e longitudinali ottenuti per il punto P3.**

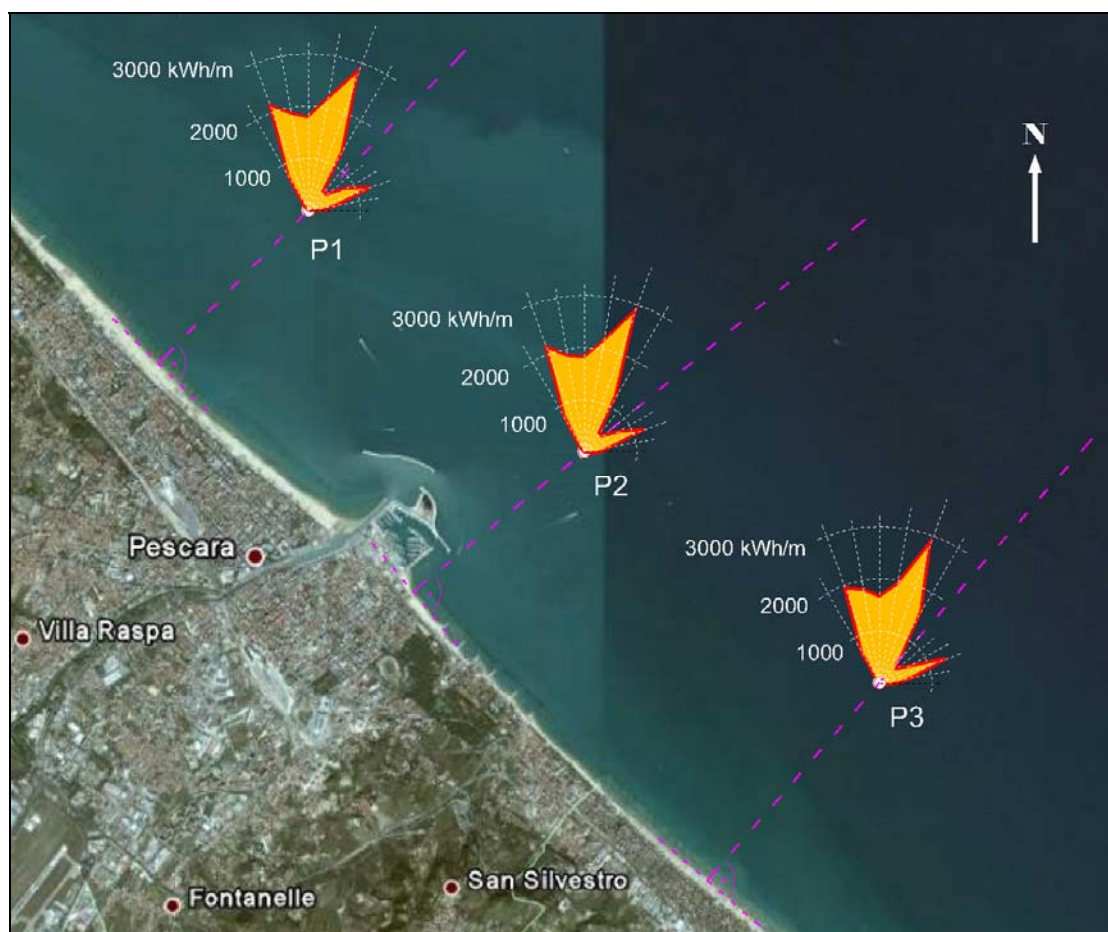
Onda di modellazione sotto costa del sito in esame (punto P3) - RISULTANTE ANNUALE

TABELLA DIREZIONALE ALTEZZA D'ONDA

DIR (°N)	CLASSI DI ALTEZZA D'ONDA SIGNIFICATIVA Hs (m)										Fm <sub>j</sub>
	0.5÷1.0	1.0÷1.5	1.5÷2.0	2.0÷2.5	2.5÷3.0	3.0÷3.5	3.5÷4.0	4.0÷4.5	4.5÷5.0	> 5.0	
10	1640.80	2358.10	2131.50	1653.00	1181.20	558.50	259.50	96.40			9879.00
20	1346.90	2406.00	1914.40	2215.80	1672.10	902.30	574.90	460.50			11492.90
30	1199.70	2472.20	2640.40	2747.60	2608.60	2793.70	1789.80	1051.10			17303.10
40	737.60	1618.50	1842.00	1995.10	1055.00	873.80	1117.90	356.20			9596.10
50	639.80	768.90	553.50	730.90	156.10	400.20	435.60				3685.00
60	734.80	593.20	372.80	218.50	280.30	216.30		128.10			2544.00
70	1774.70	1226.70	573.30	370.40	109.80						4054.90
80	2797.60	2746.70	1354.10	716.10	422.50	178.70					8215.70
90	1699.90	1486.80	378.30	124.80	197.30	53.50					3940.60
100	924.40	784.20	244.40	49.70	152.50						2155.20
110	502.60	418.00	198.20	40.50							1159.30
120	234.00	158.90	12.40								405.30
130	40.60										40.60
140											
150											
160											
170											
180											
190											
200											
210											
220											
230											
240											
250											
260											
270											
280											
290											
300											
310											
320	181.90	31.50	6.40								219.80
330	372.70	307.10	42.30								722.10
340	1427.50	1407.00	550.60	182.70							3567.80
350	3154.00	4189.00	3072.80	915.30	215.30						11546.40
360	2383.60	3198.80	2930.70	1390.70	665.60	163.70	67.70				10800.80
TOT.	21793.10	26171.60	18818.10	13351.10	8716.30	6140.70	4245.40	2092.30			101328.60

	Hs >		
	0.5	1.0	1.5
Flusso di energia risultante (kW/m):	85253.9	69227.0	48499.3
Direzione del vettore flusso di energia (°N):	29	27	27
Numero eventi sopra soglia:	17175	6348	2195
H equivalente (m):	1.08	1.48	1.97
Durata (mesi):	5.02	1.86	0.64

Nella Figura 3.4 vengono riportati i diagrammi polari del lavoro medio annuale compiuto dal moto ondoso negli stessi punti.



**Figura 3.4 – Diagrammi polari del lavoro medio annuale del moto ondoso (kWh/m) nei punti P1, P2 e P3**

L'analisi dei risultati mostra come per i tre punti scelti in prossimità della costa, il flusso ed il lavoro medio annuo dell'energia di moto ondoso, caratterizzato da una certa bimodalità, risulta essere prevalente nel settore di grecale.

Pertanto la maggior frequenza degli eventi ondosi provenienti dal settore di tramontana e levante rispetto a quelli provenienti da grecale determina un lavoro medio annuale del moto ondoso rilevante anche per questi due settori.

La risultante del flusso medio annuale del moto ondoso in prossimità della costa (circa -10 m s.l.m.) risulta avere:

- nel punto P1 un'intensità media annuale pari a circa 87200 kW/m con una direzione risultante pari a 26°N e quindi con un angolo di circa di 19° rispetto alla normale alla costa;



- nel punto P2 un'intensità media annuale pari a circa 86600 kW/m con una direzione pari a 26°N e quindi con un angolo di circa di 24° rispetto alla normale alla costa;
- nel punto P3 un'intensità medi annuale pari a circa 85200 kW/m con una direzione pari a 29°N e quindi con un angolo di circa di 12° rispetto alla normale alla costa.

### 3.4 Direzione del trasporto solido longitudinale potenziale lungo la costa

Come accennato in precedenza, in generale la componente longitudinale del trasporto solido potenziale  $Q_L$  (il pedice L sta per “Longshore” ossia lungo costa) è esprimibile attraverso il prodotto tra un termine “sedimentario”, funzione delle caratteristiche del sedimento che costituisce la spiaggia, e un termine “motore”, funzione della componente longitudinale per metro di spiaggia del lavoro compiuto dal moto ondoso (forzante). Quindi per il calcolo della componente longitudinale del trasporto solido è necessario conoscere oltre alle caratteristiche del moto ondoso anche le caratteristiche della matrice detritica che compone la fascia litoranea attiva e che viene trasportato dal vettore fluido.

Prescindendo dal termine “sedimentario”, facendo riferimento alla onde provenienti dal generico settore  $j$ -esimo, il trasporto solido potenziale longitudinale  $Q_{Lj}$  è proporzionale al termine “motore”  $L_{mjL}$  espresso dalla:

$$L_{mjL} = \frac{1}{2} L_{mj} \sin(2\alpha_j) \quad \text{in Wh/m}$$

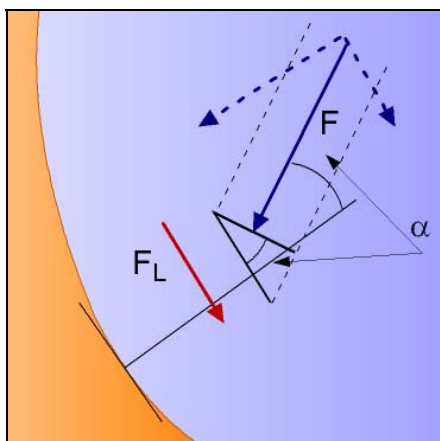
Infatti, come mostrato in Figura 3.5 il flusso di energia per unità di lunghezza di spiaggia  $F_s$  è pari a:

$$F_s = E n C \cos(\alpha_j) \quad \text{in W/m}$$

mentre la componente longitudinale del vettore flusso di energia per unità di lunghezza di spiaggia  $F_{Ls}$  risulta pari a :

$$F_{Ls} = \frac{1}{2} E n C \sin(2\alpha_j) = \frac{1}{2} F \sin(2\alpha_j) \quad \text{in W/m}$$

essendo  $\alpha_j$  l'angolo formato dalla normale alla linea di costa e la direzione di provenienza  $j$ -esima dell'onda.



**Figura 3.5 - Elementi geometrici per la definizione del flusso longitudinale.**

Nella Figura 3.6 sono riportati in forma grafica e tabellare i valori delle componenti longitudinali dei flussi di energia associati al moto ondoso riferiti a ciascuno dei punti in prossimità della costa presi come riferimento. Nella figura sono riportate separatamente per ogni punto la componente diretta verso est, la componente diretta verso ovest e la risultante.

I risultati mostrano chiaramente che il trasporto solido longitudinale potenziale in prossimità della costa è di tipo bimodale con prevalenza media del trasporto diretto da ovest verso est.

Sulla base dei risultati ottenuti per i punti P1, P2 e P3, si è calcolato, per la situazione attuale, il flusso di energia longitudinale netto nella zona dei frangenti. I risultati sono riportati nella Figura 3.7. La figura mostra chiaramente che:

- attualmente le opere portuali a causa del loro “effetto schermo” influenzano in modo diretto un tratto di costa che si estende per poco meno di un chilometro ad ovest del porto e per circa due chilometri ad est del porto;
- il trasporto solido longitudinale netto è mediamente diretto da ovest verso est;
- ad est del porto turistico, per un tratto di circa 200 m, si verifica l’ inversione della direzione del trasporto longitudinale che favorisce l’accumulo dei sedimenti in prossimità dell’imboccatura dello stesso porto turistico.

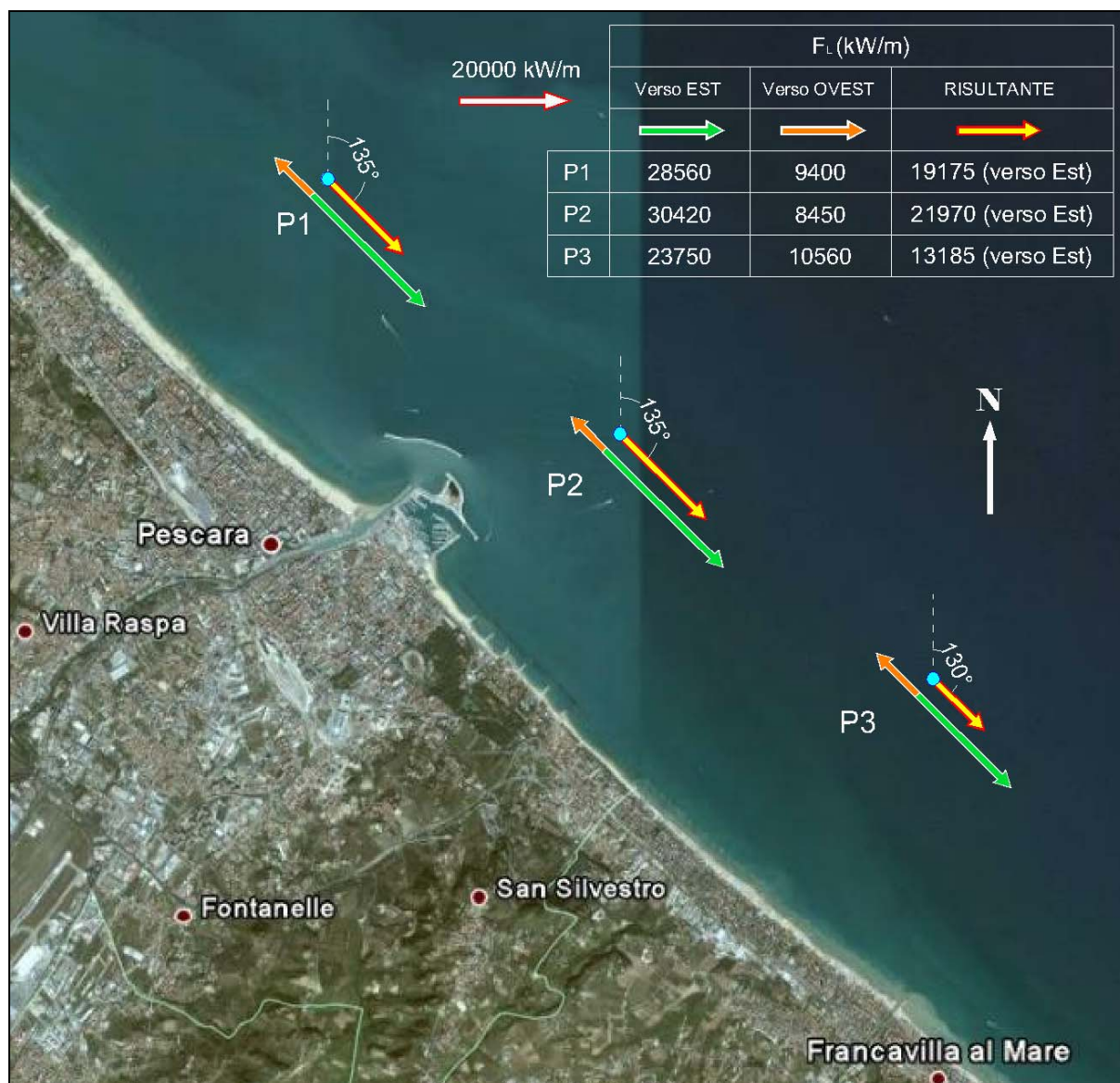


Figura 3.6 – Componenti longitudinali  $F_{Ls}$  dei vettori flussi di energia per unità di lunghezza di spiaggia ottenuti per i tre punti P1, P2 e P3 posti in prossimità della costa.



Figura 3.7 - Situazione attuale: andamento delle componenti longitudinali dei vettori del flusso di energia lungo la costa.

## **4 Analisi della situazione attuale**

Nelle Figura 4.1 è riportata la situazione attuale del Porto di Pescara.

L'area delimitata dalla diga foranea (avamporto) è soggetta a sedimentazione prevalentemente a causa del trasporto solido costiero. Con riferimento alle analisi riportate nei precedenti paragrafi, il trasporto solido longitudinale potenziale è di tipo bimodale con risultante complessiva (trasporto netto) diretta da ovest verso est. Ovviamente la bimodalità dell'esposizione ondametria e di conseguenza del trasporto solido longitudinale, implica l'alternanza di eventi che singolarmente danno luogo ad un trasporto solido costiero diretto sia verso est sia verso ovest.

La diga foranea, assimilabile ad un'opera di difesa parallela, insieme ai pennelli di armatura della foce fluviale ed al porto turistico, costituiscono una discontinuità per il trasporto solido longitudinale costiero. Come evidenziato in Figura 3.6 dove è riportato l'andamento del flusso di energia longitudinale in costa, l'effetto schermo costituito dalle suddette opere è tale da dar luogo lungo i litorali adiacenti al porto alla convergenza del trasporto solido verso l'area portuale. Peraltro questo risultato è provato in modo chiaro dalla tendenza all'insabbiamento che si osserva sia ad est sia ad ovest dell'area portuale, ovvero sia in corrispondenza dell'imboccatura del porto turistico sia nella località "La Madonnina" posta in prossimità della radice di riva del molo ovest di armatura della foce fluviale.

L'avamporto, delimitato verso il largo dalla diga foranea e verso est dal molo di levante e dal porto turistico, subisce un fenomeno di interrimento causato principalmente dal trasporto solido proveniente da ovest poiché quello proveniente da est viene intercettato quasi completamente dal porto turistico prima di arrivare nella zona protetta dalla diga. Ovviamente l'interrimento dell'avamporto in parte è anche dovuto al materiale trasportato dal Pescara in occasione di eventi di piena, anche se si ritiene che il trasporto solido del Pescara sia contenuto a causa dei numerosi sbarramenti presenti lungo l'asta fluviale.

Nella Figura 4.2 e nella Figura 4.3 sono riportate rispettivamente le batimetrie relative all'anno 1987 (prima della costruzione della diga foranea avvenuta nel 1996) e all'anno 2000 (circa quattro anni dopo la realizzazione della diga e prima che venisse costruito il molo di levante). Come si evince da esse è sempre presente un canale sommerso che parte dalla foce fluviale e si dirige verso nord-est. Tale canale è mantenuto naturalmente dalla corrente di efflusso del Pescara che in concomitanza agli eventi di piena trova il suo naturale corso verso nord-est "dragando" il canale. Per quanto riguarda il trasporto solido del Pescara non risulta che siano stati mai effettuati studi e/o misure rivolte alla sua quantificazione e caratterizzazione in termini granulometrici. Tuttavia le caratteristiche geologiche dei terreni ricadenti nel suo bacino sono tali da poter affermare che in assenza di ostacoli artificiali (dighe, traverse, ecc.) il fiume sarebbe in grado di trasportare materiale di caratteristiche granulometriche di interesse per i litorali adiacenti alla foce fluviale (sabbie). Ciò in parte è comprovato dai fenomeni di interrimento che hanno interessato gli sbarramenti posti a monte della foce e la zona di espansione dell'alveo fluviale posta in prossimità dell'attuale foce. Per quanto riguarda gli sbarramenti, si cita ad esempio la traversa di Alanno che sembra sia stata soggetta ad interrimenti, caratterizzati da una elevata presenza di sabbia, prossimi ad un milione di metri cubi.

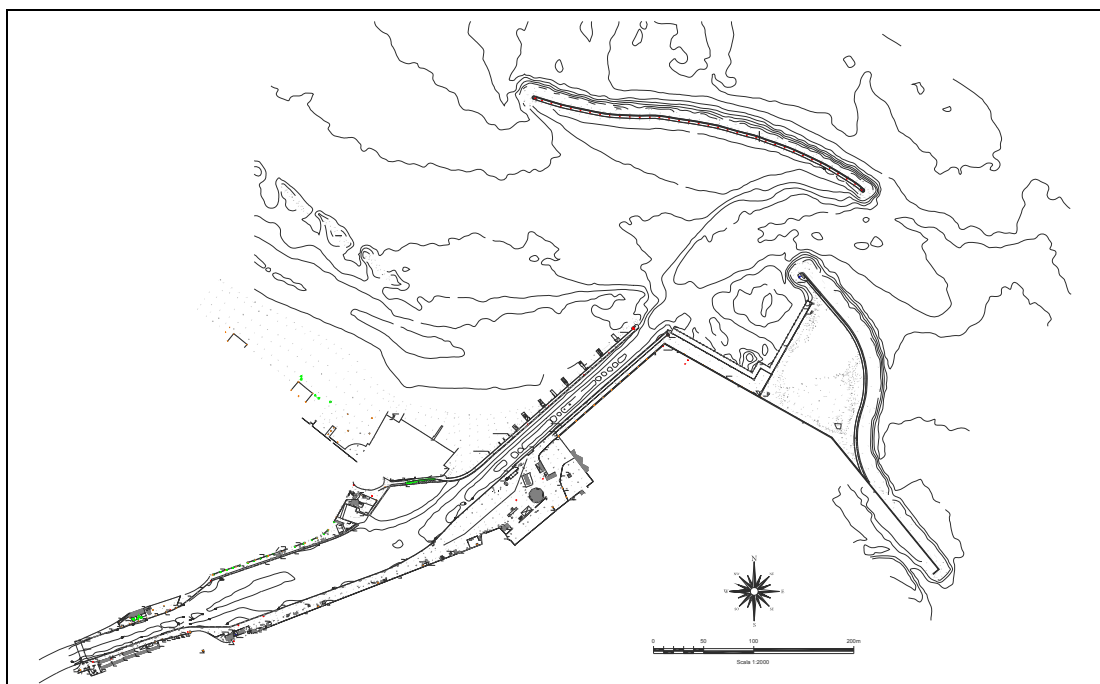
Una stima del rateo medio annuo di sedimentazione dell'avamporto è stata eseguita confrontando le batimetrie riportate nella Figura 4.2 e nella Figura 4.3. Nella Figura 4.4 sono riportati i volumi di sedimentazione ottenuti sottraendo le profondità relative all'anno 2000 a quelle relative al 1987. Nella figura sono state campite le aree caratterizzate da una sedimentazione superiore a 2,0 m. Esse mostrano chiaramente che le zone maggiormente soggette a sedimentazione sono quella posta subito a ridosso della diga foranea e quelle adiacenti alla foce fluviale, al radicamento a terra del pennello ovest di armatura della foce e a ridosso dell'opera foranea del porto turistico. In termini quantitativi il confronto delle batimetrie fornisce una stima di circa 40.000 m<sup>3</sup>/anno di materiale sedimentato. Ovviamente tale valore va considerato con cautela a causa delle scarse ed approssimate informazioni disponibili.

Una ulteriore considerazione riguarda le indicazioni fornite dalla Carta delle Spiagge Italiane che è stata pubblicata dal CNR negli anni '90 sulla base di rilievi e dati aggiornati al 1981.

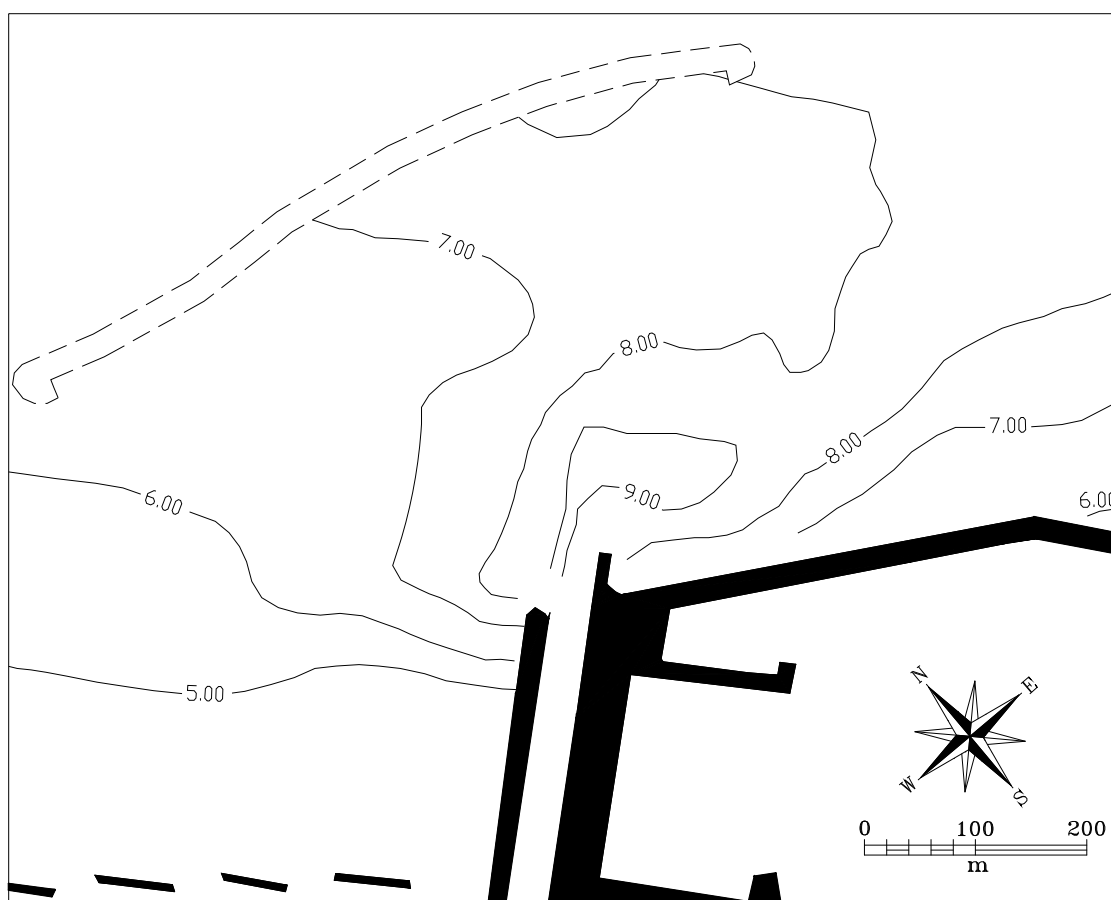
Nella Figura 4.5 si riporta lo stralcio della carta relativo alla zona in cui ricade il porto di Pescara. Come risulta dalla figura, la carta riporta per il trasporto solido longitudinale potenziale netto in prossimità della costa la direzione est-ovest che risulta opposta a quella ottenuta nell'ambito del presente lavoro. A tal riguardo si evidenzia che per la redazione della carta non vennero utilizzate informazioni sul moto ondoso incidente dedotte da misure di campo, poiché allora non era ancora operativa la Rete Ondametrica Nazionale e di conseguenza non si disponeva delle misure relative alla boa ondametrica di Ortona.

Probabilmente l'errore compiuto nella stima della direzione del trasporto solido longitudinale potenziale netto origina da una non corretta interpretazione della lettura dei fenomeni evolutivi che hanno interessato la foce del Pescara in seguito alla realizzazione delle opere di armatura della stessa foce. In Figura 4.6 è riportata la planimetria del porto canale alla fine della seconda guerra mondiale, dove risulta evidente che la costa posta ad est della foce si trovava in una posizione decisamente avanzata rispetto alla costa posta ad ovest. In assenza di apporti solidi dall'esterno, questo tipo di evoluzione denuncia chiaramente una direzione del trasporto solido longitudinale netto diretto da est verso ovest. Ovviamente l'analisi cambia totalmente se si mette in conto che allora il Fiume Pescara, privo di gran parte degli sbarramenti oggi esistenti, era in grado di fornire una sensibile alimentazione solida alla costa. Infatti alla luce dei risultati ottenuti nel presente lavoro, l'origine della discontinuità della linea di costa che si osserva nella planimetria tra la costa posta ad est ed a ovest della foce fluviale sia da imputare al fatto che il materiale solido trasportato dal Pescara veniva, e viene tuttora, "forzato" dalle onde provenienti dal I quadrante, ad alimentare prevalentemente il litorale posto ad est della foce.

Un comportamento simile a quello sopra descritto si osserva anche in corrispondenza della foce del Tronto posta più a nord, al confine tra le Marche e l'Abruzzo.

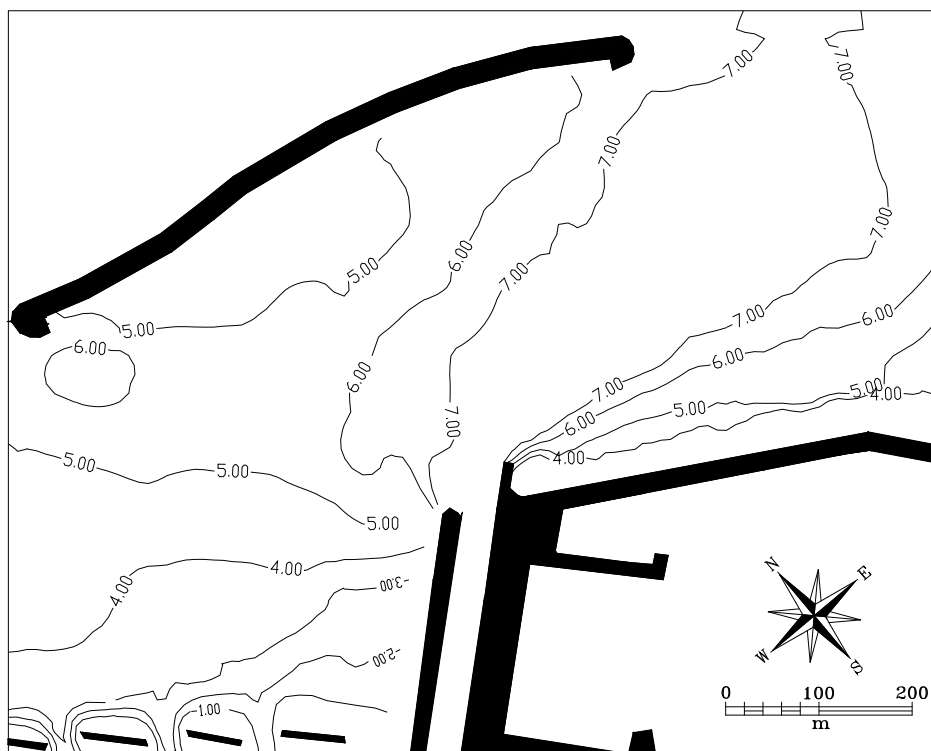


**Figura 4.1 - Porto di Pescara - Situazione attuale.**

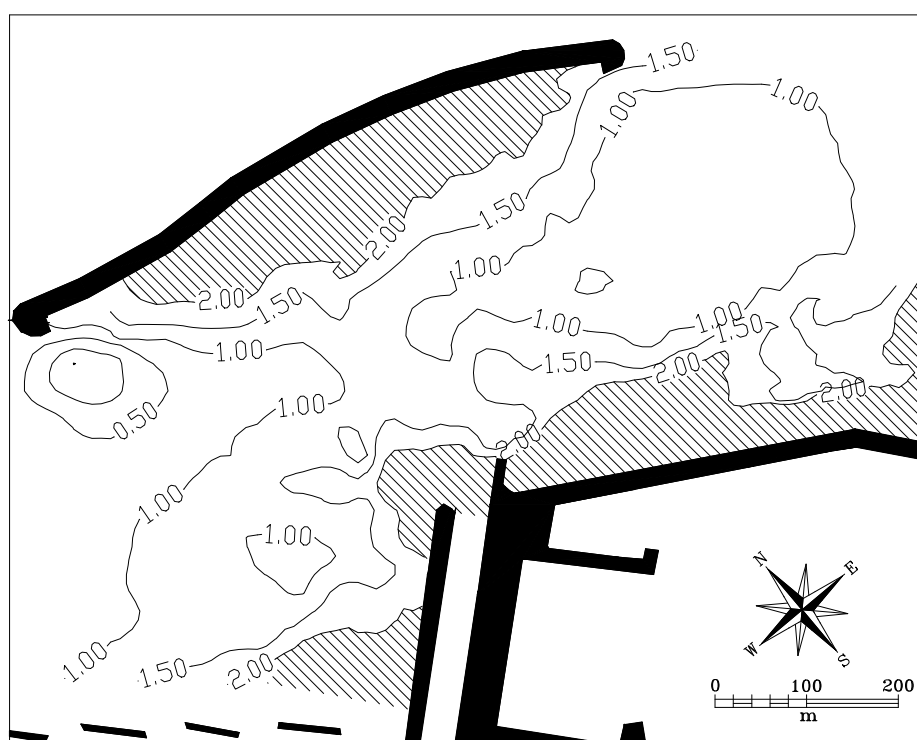


**Figura 4.2 - Batimetria dell'avamposto rilevata nel 1987.**



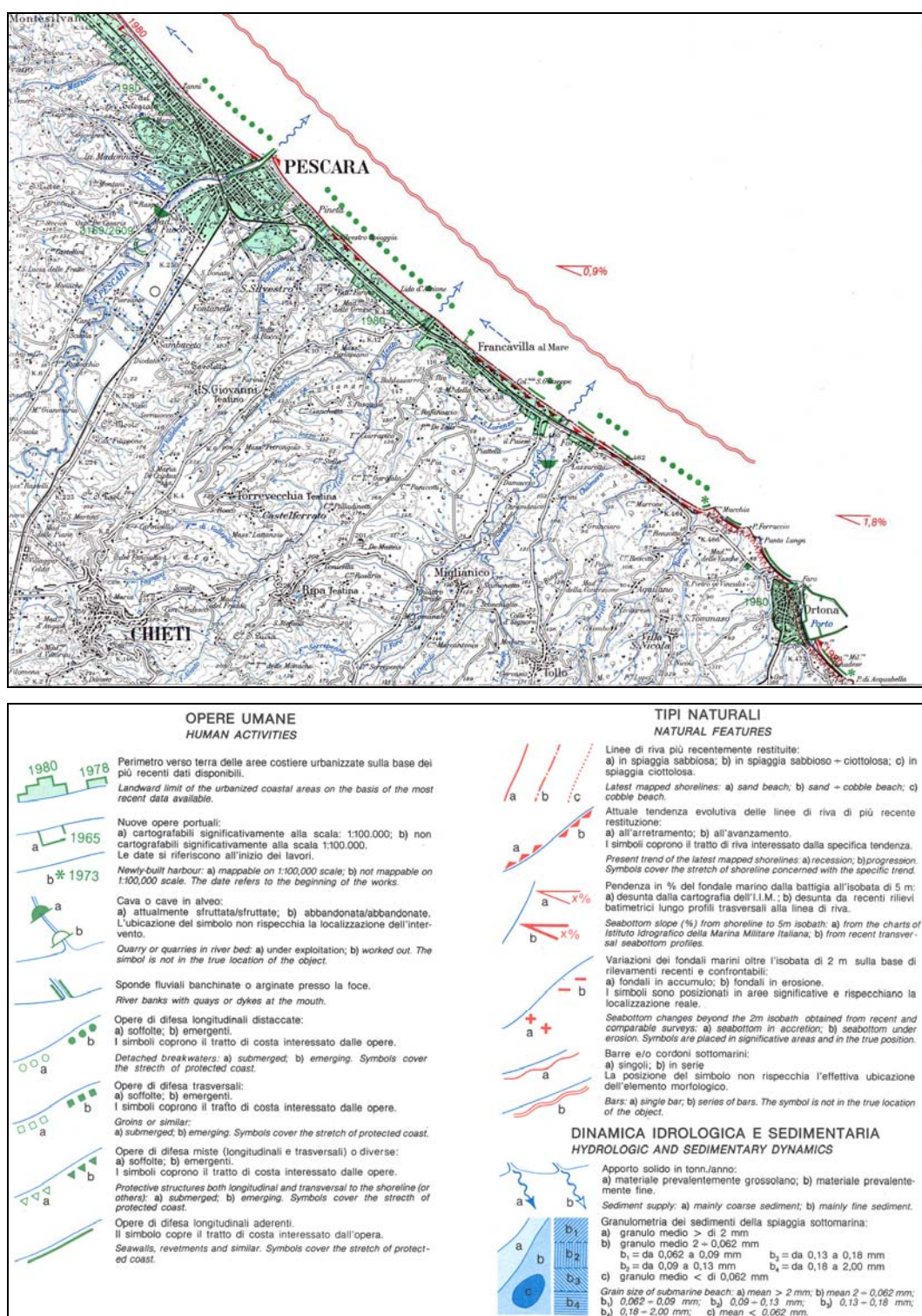


**Figura 4.3 - Batimetria dell'avamposto rilevata nel 2000 dall'Università di L'Aquila nell'ambito del progetto RICAMA.**



**Figura 4.4 – Sedimentazione dell'avamposto ottenuta per differenza tra le batimetrie 2000 e 1987.**

# Piano Regolatore Portuale del Porto di Pescara Studio Morfologico



**Figura 4.5 – Atlante delle spiagge italiane – CNR 1997; rilievi e dati fino al 1981.**

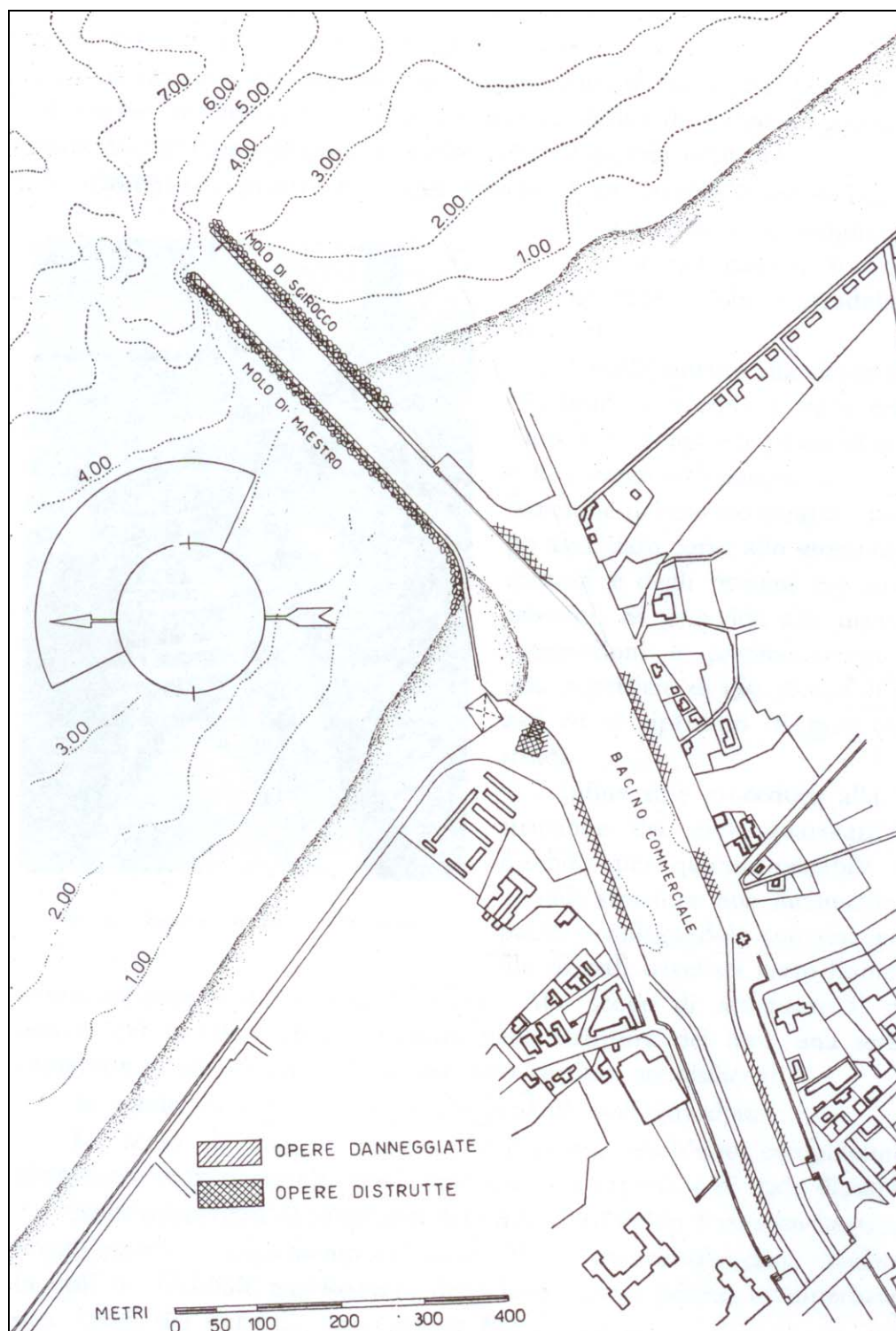


Figura 4.6 - Situazione del porto canale di Pescara alla fine della seconda guerra mondiale

## **5 Impatto delle opere previste dal P.R.P. sulle coste adiacenti e stima dei fenomeni di insabbiamento dei nuovi bacini portuali**

Nella Figura 5.1 è riportata la planimetria delle opere previste dal nuovo P.R.P..

La nuova configurazione prevede il salpamento di parte della diga foranea antistante l'attuale foce e il prolungamento delle opere di armatura fluviale fino a raggiungere la profondità di circa  $-8,0 \div -9,0$  m sul l.m.m.. Sulla destra e sulla sinistra del nuovo corso fluviale vengono realizzati i due nuovi bacini portuali: quello commerciale e quello pescherecci.

Per analizzare l'impatto delle nuove opere portuali sulla dinamica delle coste adiacenti, in analogia a quanto fatto per la configurazione attuale, si è valutato l'andamento della componente longitudinale del vettore flusso di energia delle onde frangenti, che costituisce il "motore" dei sedimenti. I risultati ottenuti sono riportati in Figura 5.2.

Il confronto tra la Figura 3.7 e la Figura 5.2 permette di valutare le variazioni, rispetto alla situazione attuale, dell'influenza esercitata dalle nuove opere sui litorali adiacenti. Tale variazione risulta nulla ad ovest del porto ed estremamente contenuta ad est di esso dove l'area di influenza delle opere portuali passa da 1,9 km a 2,3 km. Si evidenzia che la costa ad ovest del porto risulta completamente protetta dalle opere di difesa costiera che recentemente sono state riqualificate dalla Regione Abruzzo mediante un ripascimento artificiale protetto da un sistema di difesa a celle costituito da pennelli e da una barriera debolmente sommersa. Pertanto si ritiene del tutto trascurabile l'influenza che le nuove opere portuali eserciteranno sui litorali adiacenti. Di fatto non viene modificato sostanzialmente l'effetto "schermo" esercitato attualmente dalle opere foranee sulla costa.

Per quanto riguarda i fenomeni di insabbiamento dei due nuovi bacini portuali si ritiene che saranno sensibilmente inferiori al rateo oggi osservato stimato in circa 40.000 m<sup>3</sup>/anno. Tale convinzione scaturisce dalle seguenti ragioni:

- la separazione idraulica dei due bacini dall'asta fluviale del Pescara elimina completamente la possibilità che l'eventuale trasporto solido fluviale interessi gli specchi d'acqua portuali;
- per quanto riguarda il bacino pescherecci, il lungo molo di sottoflutto bloccherà il trasporto solido proveniente da ovest ed inoltre la forma curvilinea e ben raccordata dell'imboccatura faciliterà il transito dell'eventuale trasporto solido in sospensione di fronte alla stessa imboccatura contenendone la sedimentazione. L'eventuale sedimentazione, che si presuppone estremamente modesta, interesserà esclusivamente l'avamporto. A differenza della situazione attuale, il materiale che sedimenterà nell'imboccatura potrà essere dragato ed utilizzato a scopo di ripascimento delle spiagge in quanto non entrando in contatto con le acque fluviali non verrà contaminato dagli agenti inquinanti, di natura prevalentemente organica, oggi trasportati dal fiume Pescara;
- anche per quanto riguarda il porto commerciale, si prevede un rateo di sedimentazione estremamente modesto, sia perché l'imboccatura ricade su fondali elevati sia perché il trasporto solido proveniente da est viene bloccato dal porto turistico.

In conclusione si prevede un rateo di sedimentazione complessivo per i due nuovi bacini decisamente inferiore rispetto a quello attuale (stimato in circa 40.000 m<sup>3</sup>). Inoltre si ritiene che la nuova configurazione di P.R.P. elimini completamente il problema attuale dei dragaggi, dovuto principalmente al fatto che il materiale da dragare risulta inquinato a causa del contatto tra lo stesso materiale e l'acqua inquinata fluviale.



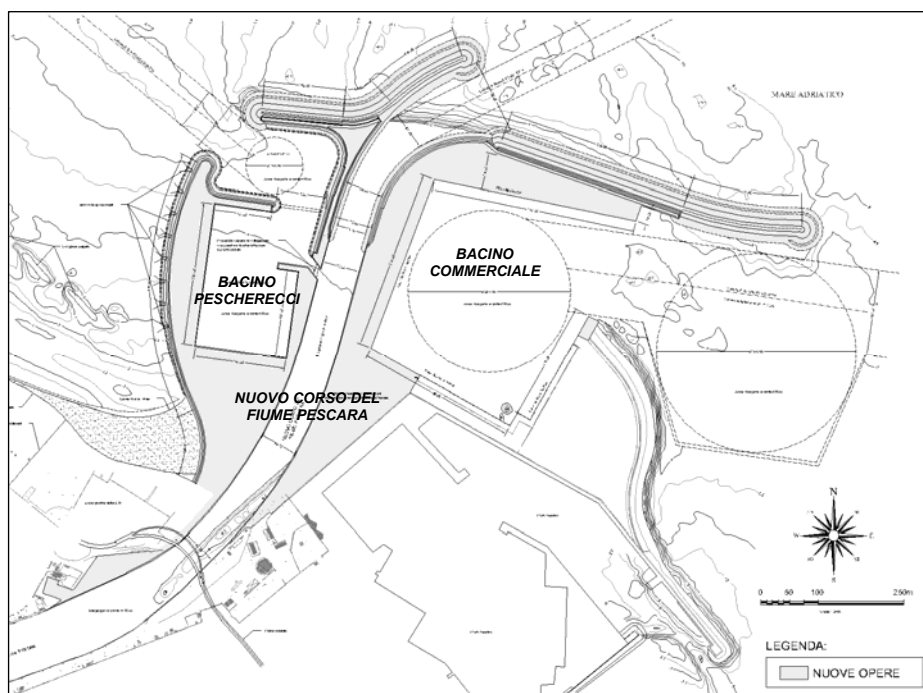


Figura 5.1 – Planimetria delle opere previste dal nuovo P.R.P. del porto di Pescara



Figura 5.2 – Andamento delle componenti longitudinali dei vettori del flusso di energia in prossimità delle opere del porto di Pescara.

## 6 Conclusioni

Le analisi eseguite nel presente studio morfologico hanno consentito di valutare in maniera oggettiva la dinamica evolutiva a lungo termine, dovuta al trasporto solido longitudinale indotto dal moto ondoso frangente, del tratto di costa su cui sorge il porto di Pescara, sia in relazione alla situazione attuale, sia in relazione alla situazione futura che si verrà a creare in seguito alla realizzazione delle opere previste dal nuovo P.R.P..

In relazione alla situazione attuale, nell'area oggetto di studio il trasporto solido longitudinale è di tipo bimodale potendo verificarsi sia trasporto longitudinale diretto verso sud-est (in presenza di attacchi di moto ondoso provenienti da tramontana e grecale) sia verso nord-ovest (in presenza di attacchi di moto ondoso provenienti da levante). Mediamente durante l'anno, la componente diretta verso sud-est tende a prevalere rispetto a quella diretta verso nord-ovest lungo gran parte del litorale in esame.

In prossimità del porto di Pescara, l' "effetto schermo" operato dello stesso porto sul moto ondoso incidente, determina ad est del porto e per un breve tratto, l'inversione della direzione del trasporto solido longitudinale netto, causano la convergenza del trasporto verso l'area portuale. Ciò giustifica l'attuale tendenza all'insabbiamento che si osserva nei tratti di costa posti subito ad est ed a ovest del porto esistente.

In relazione alla situazione di progetto, e per quanto riguarda l'impatto esercitato dal porto sulle coste adiacenti, si è verificato che le nuove opere non modificando sostanzialmente l' "effetto schermo" attualmente esercitato dalle opere esistenti e pertanto si ritiene nulla tale tipologia di impatto. Peraltro si osserva che le coste poste ad est ed a ovest del porto sono protette da opere di difesa che recentemente sono state oggetto di interventi di riqualificazione ad opera della Regione Abruzzo.

Per quanto riguarda la situazione attuale in relazione alle problematiche di insabbiamento del porto commerciale, si è stimato che esso risulta pari a circa 40.000

m<sup>3</sup>/anno. Le cause di questo insabbiamento sono dovute prevalentemente al trasporto solido litoraneo proveniente da ovest, anche se non si esclude che in occasione di eventi di piena fluviali ad esso contribuisca anche del materiale trasportato dal Pescara. Per quanto riguarda il trasporto solido proveniente da est, di entità modesta, esso viene bloccato dal porto turistico prima che raggiunga il porto commerciale. Attualmente inoltre il problema dell'insabbiamento riguarda anche il tratto terminale dell'asta fluviale, dove è localizzata la zona di espansione che venne realizzata nel passato per consentire l'evoluzione delle navi nel porto canale. In tale zona, il rallentamento della corrente fluviale causato dalla stessa espansione, favorisce la sedimentazione del materiale. Comunque si può affermare che il vero problema attuale non sia tanto costituito dall'entità complessiva dei fenomeni di insabbiamento con i quali comunque un porto canale posto su un litorale sabbioso è destinato a confrontarsi, quanto al fatto che il materiale che sedimenta contiene sostanze inquinanti dovute alle acque inquinate del Pescara. La causa principale dei problemi attuali quindi è costituita dall'inquinamento dei materiali da dragare.

Nella configurazione di P.R.P. gran parte dei problemi di insabbiamento sopra esposti vengono eliminati. In primo luogo perché eliminando la portualità dall'asta fluviale viene rimossa una delle ragioni che attualmente richiede l'esecuzione di frequenti e difficoltosi dragaggi della stessa asta fluviale. In secondo luogo, separando fisicamente i due nuovi bacini portuali dalle acque fluviali, si rimuove la causa di inquinamento dei sedimenti. In terzo luogo si ritiene che la forma attribuita al molo di sopraflutto del porto pescherecci contribuisca a ridurre considerevolmente l'entità dell'insabbiamento oggi osservato nel porto commerciale e che tale insabbiamento venga limitato alla zona di radicamento a terra del sopraflutto del porto pescherecci ed al suo avamporto, dove si prevede al più una sedimentazione dovuta al trasporto solido in sospensione. Il materiale sedimentato in queste zone potrà essere facilmente dragato ed utilizzato per ripascimento delle spiagge. Per quanto riguarda il nuovo porto commerciale si ritiene che il rateo futuro di insabbiamento sarà modesto e causato anche in questo caso esclusivamente dal trasporto in sospensione perché il materiale di fondo proveniente da est verrà bloccato, come avviene attualmente, dall'imboccatura del porto turistico.



Si evidenzia infine che l'eliminazione della portualità dall'asta fluviale potrà consentire di risagomare le sponde fluviali al fine di eliminare la zona di espansione oggi esistente, dove si riscontra la maggior parte della sedimentazione. Come evidenziato nello studio specialistico allegato al P.R.P. eseguito sull'idraulica del fiume Pescara, la sedimentazione presente nella zona di espansione che determina la formazione di un profilo longitudinale di fondo in contropendenza rispetto alla direzione della corrente fluviale, costituisce un pericolo per il centro di Pescara in quanto facilita l'esondazione del fiume in occasione degli eventi di piena. Si ritiene che la rimozione completa del problema dell'insabbiamento dell'asta fluviale possa essere conseguita mediante l'eliminazione della zona di espansione dell'asta fluviale.