



# Il Sindaco del Comune di Messina

Commissario Delegato ex O.P.C.M. n. 3721 del 19 Dicembre 2008

## ENTE APPALTANTE

Commissario Delegato per l'Emergenza Traffico a Messina ex OPCM 3633/07 e successive, con sede presso il Comune di Messina, Piazza Unione Europea, 98100 Messina

## A.T.I. IMPRESE



Nuova CO.ED.MAR Srl  
Via Banchina F - Val da Rio  
30015 Chioggia (VE)



CONSORZIO COOPERATIVE COSTRUZIONI

Consorzio Cooperative Costruzioni  
CCC Società Cooperativa  
Via Marco Emilio Lepido, 182/2  
40132 Bologna

## PROGETTAZIONE



favero&milan ingegneria

30035 Mirano (VE) Tel. +39 041 5785 711  
Viale Belvedere 8/10 Fax +39 041 4355 933  
www.favero-milan.com fm@favero-milan.com



20143 Milano Tel. +39 02 8942 2685  
Viale Cassala, 11 Fax +39 02 8942 5133  
mail@idrotec-ingegneria.it

Ing. Vincenzo Iacopino

Viale Regina Elena, 125 - Messina

Studio Tecnico Falzea

Via 1° Settembre, 37 - Messina

Arch. Claudio Lucchesi

Via Roma, 117 - Pace del Mela (ME)

Ing. Manlio Marino

Via Placida, 6 - Messina

Dott. Geol. Sergio Dolfin

Via Marina, 4 - Torre Faro (ME)

## PROGETTO

**COMUNE DI MESSINA  
LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA  
LOGISTICA INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO  
SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE**

## EMISSIONE

# PROGETTO DEFINITIVO

## TITOLO

**PARTE GENERALE  
RELAZIONE GEOMORFOLOGICA E SEDIMENTOLOGICA**

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
a	-	-	-	-	-
b					
c					
d					
e					

ELABORATO N.

# G797FMAR010

DATA: 20/05/2010	SCALA: -	FILE: G797FMAR010.doc
J.N. G797/10	DISEGNATO F.F.	APPROVATO T.T.

## Indice Generale

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE E CONTENUTI DELLA RELAZIONE .....</b>	<b>2</b>
1.1	IMPOSTAZIONE DELLE RELAZIONI RELATIVE AGLI ASPETTI IDRAULICO MARITTIMI .....	3
1.2	CONTENUTI DEL PRESENTE ELABORATO .....	3
<b>2</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>ASSETTO GEOMORFOLOGICO .....</b>	<b>7</b>
3.1	GENERALITÀ .....	7
3.2	CONSIDERAZIONI GENERALI SULLA MORFOLOGIA DEL FONDALE DEL PARAGGIO DI TREMESTIERI .....	7
<b>4</b>	<b>EVOLUZIONE STORICA DELLA LINEA DI RIVA .....</b>	<b>9</b>
4.1	GENERALITÀ .....	9
4.2	EVOLUZIONE RECENTE DEL LITORALE .....	9
<b>5</b>	<b>CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE .....</b>	<b>13</b>
5.1	GENERALITÀ .....	13
5.2	CARATTERISTICHE DEI SEDIMENTI .....	13
<b>6</b>	<b>COMPATIBILITÀ DEI SEDIMENTI .....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>DINAMICA DEL LITORALE .....</b>	<b>15</b>
7.1	APPROCCIO ANALOGICO .....	15
7.2	APPLICAZIONE DEL MODELLO NUMERICO UNIBEST .....	16
7.3	STUDIO CON MODELLO MATEMATICO DELL'EVOLUZIONE RECENTE .....	16
7.3.1	Calibrazione del modello .....	17
7.3.2	Trasporto solido longitudinale .....	17
7.3.3	Bilancio dei sedimenti.....	17
7.3.4	Tendenze evolutive in assenza di interventi.....	22
<b>8</b>	<b>EVOLUZIONE FUTURA DEL LITORALE.....</b>	<b>24</b>

## **Indice delle Figure**

Figura 1.1 – Schema dell’articolazione delle relazioni relative agli aspetti idraulico-marittimi del presente Progetto Definitivo .....	5
Figura 4.1 – Confronto linee di riva 1976-1985 e 1985-1998 .....	11
Fig. 4.2 – Confronto linee di riva 1998-2002 e 2002-2007 .....	12
Fig. 7.1 – Tremestieri: ubicazione del profilo trasversale utilizzato per il calcolo del trasporto longitudinale (batimetria indicativa precedente alla costruzione degli approdi esistenti) .....	18
Fig. 7.2 – Tremestieri: sezione utilizzata per il calcolo del trasporto longitudinale .....	19
Fig. 7.3 – Tremestieri: trasporto litoraneo calcolato dal modello lungo il profilo di input .....	19
Fig. 7.4 – Finestra di dialogo del codice di calcolo UNIBEST- LT in cui viene rappresentata la cumulata del trasporto long-shore .....	20
Figura 7.5 – Distribuzione del trasporto lungo il profilo tipo .....	20
Fig. 7.6 – Tremestieri: bilancio dei sedimenti .....	21

## **Allegati**

### **Allegato 1**

- Capitoli 3, 4, 5, 6, 7, 9 della Relazione Geomorfologico-Sedimentologica del Progetto Preliminare controfirmati per accettazione
- Capitoli 13, 14 e 15 dello Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare

## **1 INTRODUZIONE E CONTENUTI DELLA RELAZIONE**

### **1.1 IMPOSTAZIONE DELLE RELAZIONI RELATIVE AGLI ASPETTI IDRAULICO MARITTIMI**

Il Progetto Definitivo delle opere marittime ha richiesto analisi in molteplici settori di studio ed indagine. Alcuni aspetti sono già stati oggetto di analisi approfondite in sede del progetto preliminare a base di gara, analisi che si considerano esaustive ed i cui risultati vengono quindi conformati ed assunti a base della progettazione definitiva.

Per altri aspetti progettuali, che si ritengono particolarmente qualificanti per il progetto definitivo proposto, si sono invece effettuate attività integrative od originali.

Per maggiore chiarezza e facilità di consultazione degli elaborati di progetto si ritiene opportuno premettere uno schema che individua:

- le relazioni attinenti gli aspetti idraulico-marittimi che compongono il Progetto Definitivo
- i contenuti delle singole relazioni
- le parti delle relazioni del Progetto Preliminare che vengono confermate ed allegate in copia controfirmate
- le attività integrative ed originali sviluppate.

Lo schema è presentato nella Fig. 1.1.

### **1.2 CONTENUTI DEL PRESENTE ELABORATO**

Per quanto riguarda la presente Relazione Morfologica e Sedimentologica si confermano le analisi contenute nell' analogo documento del Progetto Preliminare relativamente a:

- Assetto geomorfologico
- Evoluzione storica della linea di riva
- Caratteristiche sedimentologiche
- Compatibilità dei sedimenti
- Dinamica del litorale
- Evoluzione futura del litorale

Vengono quindi acclusi in All. 1 controfirmati i seguenti Capitoli della Relazione Geomorfologico-Sedimentologica del Progetto Preliminare:

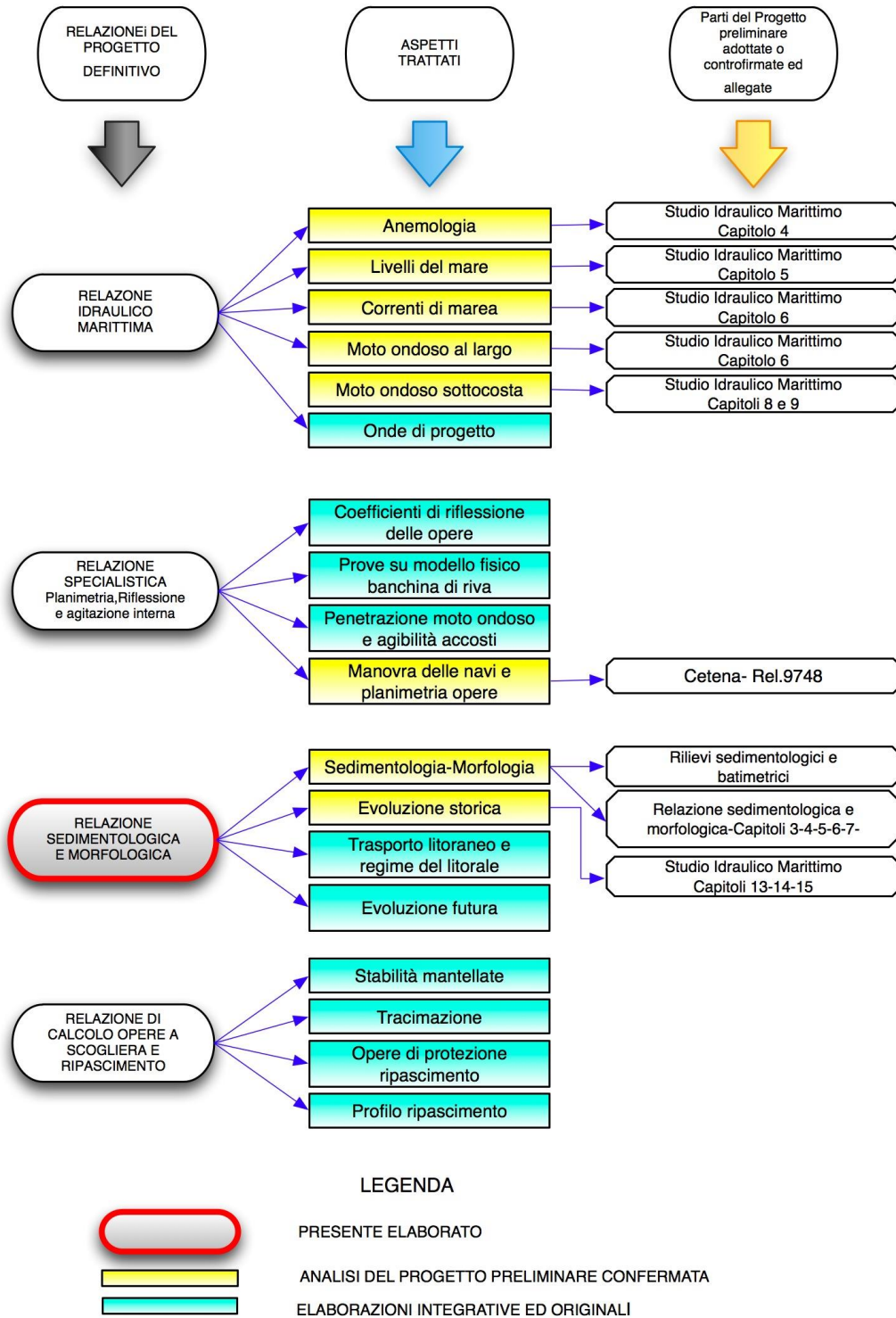
- Cap. 3
- Cap. 4
- Cap. 5
- Cap. 6
- Cap. 7
- Cap. 9

ed i seguenti Capitoli dello Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare:

- Cap. 13
- Cap. 14
- Cap. 15

I risultati principali delle analisi di cui sopra vengono riassunti nei capitoli pertinenti della presente relazione, tenendo anche conto di contenuti delle risposte ai quesiti posti in sede di gara.

Vengono invece svolte elaborazioni integrative riguardo la dinamica del litorale, oltreché valutazioni sull'evoluzione futura del litorale e presentate indicazioni sulla gestione dei sedimenti.



**Figura 1.1 – Schema dell’articolazione delle relazioni relative agli aspetti idraulico-marittimi del presente Progetto Definitivo**

## **2 PREMESSA**

Nell'ambito del progetto Definitivo di Appalto del nuovo scalo portuale di Tremestieri (ME) è stato previsto un importante intervento che interessa la linea di riva e parte dei fondali antistanti il paraggio in oggetto. La realizzazione dello scalo prevede infatti, tra le varie tipologie di opera che ne caratterizzano la multidisciplinarietà, degli importanti interventi di movimentazione del materiale di fondo, ovvero scavi e dragaggi da una parte, versamenti e ripascimenti dall'altra.

L'ottimizzazione di tali attività rende quindi necessario un approfondito studio morfologico del fondale esistente e delle caratteristiche del materiale presente in sito non solamente per quanto riguarda l'area relativa la nuovo scalo ma anche i siti, che potranno godere dell'effetto del ripascimento.

Per quanto riguarda il materiale del sito oggetto dell'intervento, ovvero di prelievo, è stata fatta una campagna di sondaggi e campionamenti che oltre a restituire le caratteristiche geotecniche del terreno ha permesso di effettuare la caratterizzazione dei sedimenti dal punto di vista chimico e microbiologico al fine di definire le destinazioni del loro riutilizzo.

In sintesi, dal punto di vista della movimentazione dei sedimenti, il progetto prevede un dragaggio di circa 720.000 m<sup>3</sup> dei quali solamente una quota parte – inferiore al 10% - dovrà essere trattata o riutilizzata per riempimenti a terra mentre la maggior parte risulta essere di buona qualità potrà essere utilizzata per ripascimento.

Il ripascimento verrà fatto con tre differenti modalità: nel tratto a Nord dell'attuale scalo, per circa 1.400 m, protetto con un sistema di scogliere emerse/sommerse; ancora più a Nord per altri 1.500 m circa non protetto (o morbido) ed, in una serie di possibili siti del Comune di Messina che si ritiene possano necessitare di un incremento dei volumi di spiaggia o comunque di protezione del litorale, verranno effettuati ulteriori interventi di ripascimento morbido o di formazione di barra di sedimenti posta ad una certa distanza dalla riva.

La presente relazione morfologica e sedimentologica descrive le caratteristiche del fondale, con particolare attenzione alla evoluzione della linea di riva sia per effetto della naturale dinamica litoranea che per effetto della recente realizzazione dello scalo attualmente presente.

Lo studio della dinamica del litorale è stato in parte ripreso dagli studi effettuati nell'ambito del Progetto Preliminare, in parte è stato integrato con ulteriori considerazioni sulla base dei più recenti rilievi morfologici.

Infine sono state fatte ulteriori considerazioni riguardo l'evoluzione del litorale con l'introduzione della nuova opera oggetto dell'intervento che tiene conto non solamente della presenza del nuovo scalo ma anche di un layout di ripascimento parzialmente differente da quello ipotizzato in fase preliminare.

### **3 ASSETTO GEOMORFOLOGICO**

#### **3.1 GENERALITÀ**

Si condivide quanto riportato nel Capitolo 3 della Relazione Geomorfologico-Sedimentologica del Progetto Preliminare, che viene allegato in copia controfirmati per accettazione.

Nel seguito si riportano ulteriori considerazioni utili a definire meglio l'assetto complessivo del sito oggetto di intervento.

#### **3.2 CONSIDERAZIONI GENERALI SULLA MORFOLOGIA DEL FONDALE DEL PARAGGIO DI TREMESTIERI**

La costa nei paraggi del sito oggetto di studio ha un andamento planimetrico quasi rettilineo con una normale orientata per circa 110-113°N. Dall'osservazione della batimetria si nota che le isobate sono circa sub parallele alla linea di riva. Nel tratto compreso tra l'attuale scalo di Tremestieri e circa 700 m più a Sud tale andamento è leggermente curvilineo a formare una sorta di falcatura con grado di insenatura molto basso (inteso questo come il rapporto tra la distanza del punto più interno dalla corda che delimita lo specchio di mare e la corda stessa).

Tale insenatura non aveva luogo prima della realizzazione del molo foraneo dell'attuale scalo, come si evince dall'andamento della linea di riva degli anni precedenti a tale realizzazione. È evidente quindi come il versante sopraflutto del molo foraneo attuale abbia funzionato da trappola sedimentaria facendo invertire la tendenza del trend erosivo, come si vedrà in seguito dall'analisi storica delle linee di battigia.

Dall'analisi della batimetria si nota un evidente infittimento delle isobate oltre i 7 m di profondità ad indicare una maggiore ripidità del fondale. Tale morfologia si evince in maniera più evidente osservando i profili trasversali alla costa riportati nelle tavole D002E, D003E, C001E. In particolare, andando da Sud verso Nord si evince che:

- nel primo tratto di litorale, il più a sud (sezioni da 1 a 3), i fondali hanno un andamento abbastanza regolare con una pendenza media che va da circa il 15% nel tratto più prossimo alla battigia fino al 45-50% nel tratto oltre la -7 m s.l.m.m. La larghezza della spiaggia è via via crescente da Sud verso Nord con una dimensione variabile da 60 a 80 m;
- nel successivo tratto a nord (sezioni da 4 a 10) i fondali assumono un andamento più complesso con un doppio gradino, anche qui le pendenze sono caratterizzate da valori nell'intorno del 10-15% nella parte più vicina alla battigia e del 40% nella parte più profonda sui 10 m; la spiaggia emersa mantiene una larghezza significativa con valori dell'ordine dei 100 m;
- nel tratto di litorale rappresentato nelle sezioni da 10 a 12 il molo dell'attuale scalo è l'elemento dominante della morfologia costiera e, per quanto sia molto inclinato rispetto all'allineamento della costa è caratterizzato da un aggetto di circa 75m, tale aggetto ha permesso l'accumulo di una notevole quantità di sabbia pertanto si osserva una fascia abbastanza larga di spiaggia emersa che parte da circa 100 m di larghezza per rastremarsi verso la testata del molo in parola; la pendenza del fondale va via via aumentando dalla sezione 10 alla sezione 12 dove raggiunge il valore del 55%;



- nel tratto di costa a Nord del porto esistente (sezioni da 13 a 24) la pendenza del fondale è dolce (circa 8-10%) sino alla isobata dei 12 m; oltre, la pendenza diviene accentuata (circa 40%) ed i fondali raggiungono rapidamente la profondità di 40 m. In questo tratto la spiaggia emersa è praticamente inesistente e la costa è protetta dalle mareggiate da alcune barriere rigide (scogliere) realizzate negli anni '70-'80;

## 4 EVOLUZIONE STORICA DELLA LINEA DI RIVA

### 4.1 GENERALITÀ

Si condivide quanto riportato nel capitolo 4 della relazione “Geomorfologico-Sedimentologica” e il Capitolo 13 dello “Studio Idraulico Marittimo “del Progetto Preliminare, che vengono allegati in copia controfirmati per accettazione.

Di seguito si riporta inoltre l’analisi dell’evoluzione che più recentemente ha caratterizzato il litorale di Tremestieri.

### 4.2 EVOLUZIONE RECENTE DEL LITORALE

Il litorale in oggetto, compreso tra la località di Mili Marina a Sud e la località Lardereria a Nord, è stato suddiviso in tre tratti (A, B e C procedendo da Sud verso Nord) a comportamento omogeneo, per rendere il confronto tra le linee di riva maggiormente efficace.

Nel seguito sono illustrate le principali considerazioni emerse dalla lettura delle Figg. 4.1 e 4.2.

#### **Fig. 4.1 - Confronto linee di riva 1976 – 1985.**

In generale tra il 1976 ed il 1985 si è verificato un diffuso fenomeno di accumulo di materiale, maggiormente significativo nella zona nord del litorale in oggetto; nello specifico:

- il tratto A presenta discreti fenomeni di avanzamento della linea di costa che raggiungono i 25 m nel punto di maggiore accumulo. Complessivamente il fenomeno interessa una superficie pari a circa 4.700 m<sup>2</sup>;
- il tratto B presenta fenomeni di accumulo significativi, localizzati particolarmente nella zona appena a Sud del vallone Guidari. L’avanzamento della linea di riva raggiunge i 35 m e la superficie di spiaggia aumenta di circa 7.300 m<sup>3</sup>;
- nel tratto C l’avanzamento del litorale è dello stesso ordine di grandezza dei tratti precedenti (20-30 m) ma ha un carattere più continuo ed interessa quindi superfici maggiori, pari circa a 15.200 m<sup>2</sup>;

#### **Fig. 4.1 – Confronto linee di costa 1985 – 1998**

Tra il 1985 ed il 1998 si registra una inversione di tendenza nel tratto più a Nord che passa da una decisa tendenza all’avanzamento ad una tendenza all’erosione. L’accumulo diventa invece maggiormente significativo nel tratto centrale mentre nel tratto più a Sud si ha una sostanziale situazione di equilibrio; nello specifico:

- nel tratto A non si possono osservare significative variazioni della posizione della linea di costa;
- nel tratto B, sempre in prossimità del vallone Guidari l’accumulo diviene di una certa importanza interessando una superficie di circa 21.700 m<sup>2</sup>. L’avanzamento raggiunge il valore di 75 m, cioè in media di ben 25 m all’anno;
- il tratto C presenta una generale tendenza erosiva con un arretramento medio pari a circa 15 m ed una superficie interessata dai fenomeni pari a circa 8.200 m<sup>2</sup>;

#### **Figura 4.2 – Confronto linee di costa 1998 – 2002**

In questa finestra temporale (di soli 4 anni) la costa non manifesta particolari tendenze di accumulo o erosione del materiale. Prevale una certa tendenza all'arretramento della linea di riva con valori però sempre mediamente inferiori ai 10 metri.

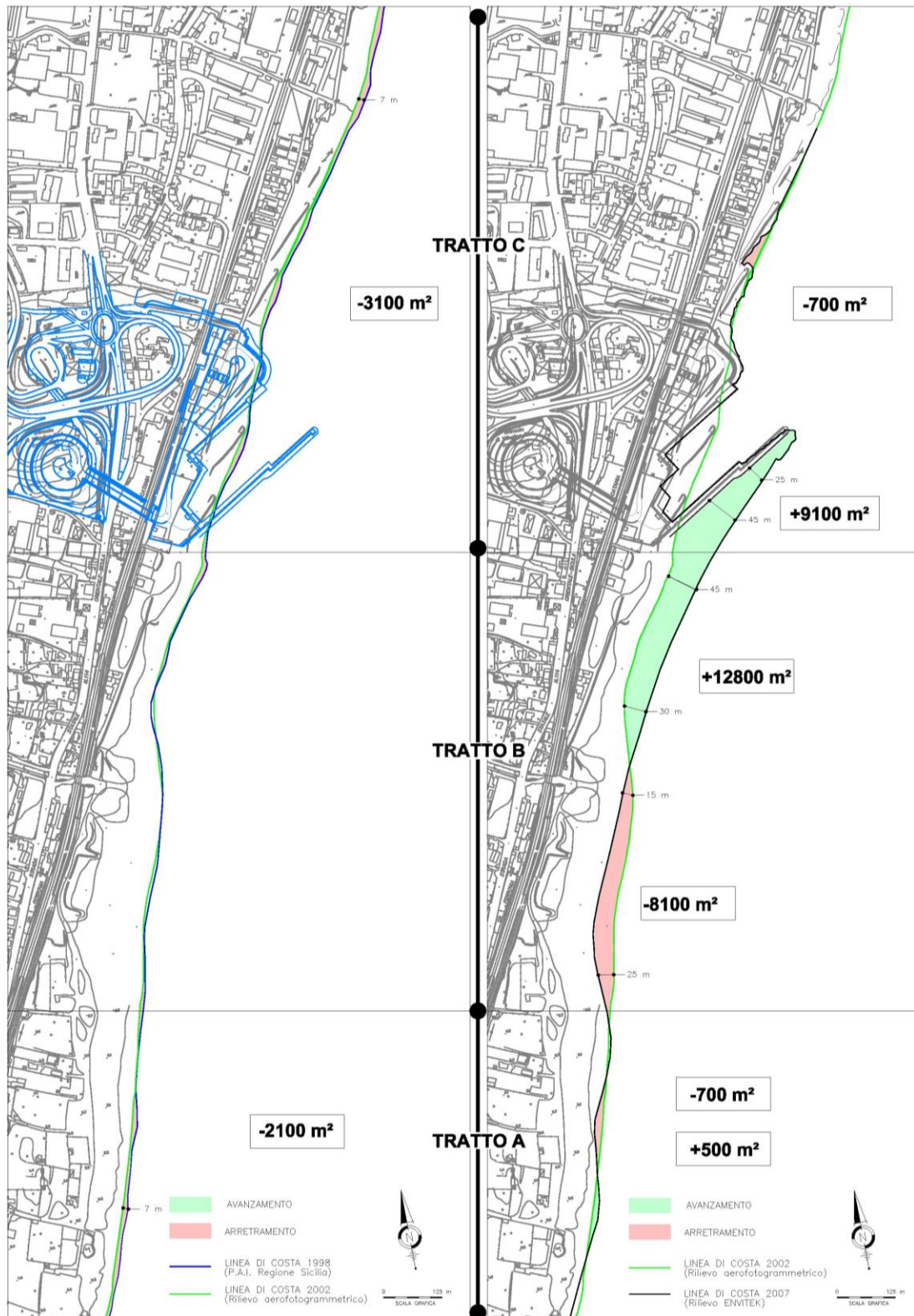
**Figura 4.2 – Confronto linee di costa 2002 – 2007**

Pur essendo anche questa finestra temporale di soli 5 anni, sono evidenti gli effetti della costruzione del nuovo porto di Tremestieri soprattutto nei tratti di costa B (immediatamente a Sud del sopraflutto del porto) e C (immediatamente a Nord del porto). In particolare:

- nel tratto A non si osservano significative variazioni della posizione della linea di costa;
- nel tratto B si possono osservare due zone a comportamento opposto: nella prima, a Sud del vallone Guidari, si ha una tendenza all'erosione del litorale con arretramento medio della linea di battigia pari a circa 20 m su una superficie di 8.100 m<sup>2</sup>; nella seconda si ha una marcata tendenza all'accumulo di materiale a ridosso del molo di sopraflutto del nuovo porto. L'ordine di grandezza di questo avanzamento è di 40 m ed è esteso ad una superficie di circa 12.800 m<sup>2</sup>;
- nel tratto C a nord del nuovo porto le opere rigide (scogliere) poste a protezione dei centri abitati impediscono che i fenomeni erosivi possano svilupparsi ulteriormente.



**Figura 4.1 – Confronto linee di riva 1976-1985 e 1985-1998**



**Fig. 4.2 – Confronto linee di riva 1998-2002 e 2002-2007**

## 5 CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE

### 5.1 GENERALITÀ

Si condivide quanto riportato nei Capitoli 5, 6 e 7 della Relazione Geomorfologico-Sedimentologica del Progetto Preliminare, che vengono allegati in copia controfirmati per accettazione.

Nel seguito vengono riassunte le caratteristiche granulometriche dei sedimenti dei campioni.

### 5.2 CARATTERISTICHE DEI SEDIMENTI

#### **Spiaggia emersa a Sud del molo di Tremestieri**

La spiaggia emersa è composta principalmente da sabbie grossolane ( $500 \mu \div 1 \text{ mm}$ ) e molto grossolane ( $1 \div 2 \text{ mm}$ ).

Si segnala la presenza di due berme, definite rispettivamente ordinaria e di tempesta per la loro posizione rispetto al mare

I sedimenti presenti lungo le due berme sono generalmente più grossolani di quelli presenti lungo la spiaggia, che vanno da sabbie molto grossolane a ciottoli medio – fini.

#### **Spiaggia emersa compresa tra il molo di Tremestieri e Punta San Ranieri**

Lo studio sedimentologico del tratto costiero compreso tra il molo di Tremestieri e Punta San Ranieri ha evidenziato che i sedimenti di battigia sono rappresentati prevalentemente da ciottoli fini ( $4 \div 8 \text{ mm}$ ) e subordinatamente da ghiaia ( $2 \div 4 \text{ mm}$ ). In minor misura sono presenti ciottoli medio fini ( $8 \div 16 \text{ mm}$ ) e sabbia molto grossolana ( $1 \div 2 \text{ mm}$ ).

#### **Spiaggia sommersa**

Per i campioni di spiaggia sommersa non si riscontrano evidenti variazioni granulometriche, sono stati infatti rinvenuti sedimenti grossolani anche a maggiori profondità, anche se la granulometria decresce verso il largo.

I campioni prelevati nella spiaggia sommersa evidenziano che all'isobata di -1 rientrano nelle classi granulometriche comprese tra i ciottoli medi ( $16 \div 32 \text{ mm}$ ) e le ghiaie ( $2 \div 4 \text{ mm}$ )

Dall'isobata -3 si riscontrano ciottoli da medi a fini ( $8 \div 16 \text{ mm}$ ) e ciottoli di grosse dimensioni ( $32 \div 64 \text{ mm}$ ); tra l'isobata -5 m e la -10 m si riscontrano da ciottoli medio fini ( $8 \div 16 \text{ mm}$ ) a sabbie medie ( $250 \div 500 \mu$ ) con una prevalenza di sedimenti ciottolosi.

Dall'isobata -15 m all'isobata -50 m si riscontrano sedimenti che rientrano prevalentemente nella classe granulometrica delle ghiaie e dei ciottoli da medio fini a fini e delle sabbie molto grossolane.

## **6 COMPATIBILITÀ DEI SEDIMENTI**

Per quanto riguarda la compatibilità dei sedimenti della cava di prestito con i sedimenti del sito di ripascimento si condivide quanto riportato nel Capitolo 9 della Relazione Geomorfologico-Sedimentologica del Progetto Preliminare, che viene allegato in copia controfirmato per accettazione.

## **7 DINAMICA DEL LITORALE**

La dinamica del litorale è stata analizzata a partire da un approccio di tipo analogico confortato dall'applicazione di un codice di calcolo numerico che ha permesso, oltretutto di confermare le ipotesi di partenza, di quantificare i fenomeni riscontrati.

### **7.1 APPROCCIO ANALOGICO**

Dall'osservazione delle caratteristiche morfologiche del litorale, tenendo conto del tipo di esposizione del paraggio al moto ondoso e ai venti, è stato possibile dedurre un certo tipo di dinamica litoranea. Tali considerazioni sono riscontrabili anche dai capitoli 13, 14 e 15 della Relazione sullo Studio Idraulico Marittimo del Progetto Preliminare che si allega controfirmata per accettazione.

Il paraggio si presenta esposto al settore di traversia principale del settore S – SE per il quale vi sono importanti lunghezze del fetch, e presenta un settore secondario orientato per ENE-NE con lunghezze del fetch molto ridotte che si chiudono lungo la costa Calabrese. E' quindi facile intuire come il sito sia soggetto a una quantità di energia del moto ondoso di tipo unimodale, ovvero proveniente principalmente da una direzione. Di conseguenza anche i fenomeni legati ai trasferimenti di energia dal moto ondoso al sistema litoraneo risultano principalmente orientati lungo una direzione che nella fattispecie è da Sud verso Nord. Questo comporta che anche il trasporto dei sedimenti abbia lo stesso orientamento. Il fenomeno è visibile, anche se non in maniera eclatante, in alcuni punti singolari del tratto di costa in oggetto. Il fatto che non vi siano accumuli sopraflutto alle opere (versante Sud) è dovuto principalmente a due fattori che caratterizzano il sito. Il primo è che le opere o i promontori (ad eccezione del molo foraneo dell'attuale approdo di Tremestieri) non sono particolarmente aggettanti e pertanto non si evincono eccessivi gradienti della linea di riva tra il lato sopraflutto e il lato sottoflutto. Il secondo è legato al fatto che il fondale raggiunge rapidamente profondità elevate e pertanto, una volta che l'accumulo arriva alla testata delle opere in aggetto, facilmente viene deviato verso largo e le alte profondità.

Come anticipato precedentemente nelle considerazioni fatte per quanto riguarda la morfologia del fondale, il molo attualmente presente rappresenta un forte ostacolo al trasporto dei sedimenti. Nel lato sopraflutto si è infatti verificato un forte accumulo di materiale che ha creato un avanzamento della linea di riva fino a 85 m come riportato anche nel capitolo 13 della relazione sopraccitata. Dall'osservazione del tipo di accumulo lungo il sopraflutto del molo risulta probabile che vi sia anche una componente di trasporto eolico che va ad aggiungersi a quella indotta dal moto ondoso.

Attualmente la testata del molo presenta dissesti dovuti ad un probabile scalzamento al piede dell'opera, il che significa che è in atto un dinamismo dei sedimenti molto importante; inoltre non è da escludere la possibilità del passaggio dei sedimenti oltre la testata, data la presenza di accumuli anche nel versante sottoflutto del molo.

Tali considerazioni possono riassumersi come segue:

- il trasporto è di tipo unimodale ed è diretto da Sud verso Nord;
- la pendenza del fondale, molto ripida, fa sì che la maggior parte del trasporto solido sia concentrato molto vicino alla battigia; pertanto al fine di bloccare il sedimento è sufficiente un



aggetto molto ridotto (si noti come il ridotto aggetto del molo foraneo (circa 80 m) abbia permesso un notevole accumulo;

- data la morfologia del fondale sono possibili notevoli perdite di sedimento verso largo.

Tali considerazioni verranno nel capitolo seguente comprovate mediante l'applicazione di un modello numerico allo stato dell'arte per quanto riguarda la valutazione del trasporto solido long-shore.

## 7.2 APPLICAZIONE DEL MODELLO NUMERICO UNIBEST

I modelli numerici utilizzati per lo studio della dinamica del litorale sono quelli che compongono il codice denominato UNIBEST, sviluppato dal Laboratorio Idraulico di Delft.

Il codice integra quattro diversi moduli:

- il modello di propagazione ENDEC, che calcola le trasformazioni che le diverse componenti del moto ondoso subiscono nella propagazione lungo il profilo effettivo del fondale. I fenomeni di cui il programma tiene conto sono la rifrazione, lo *shoaling*, le perdite di energia per effetto dell'attrito sul fondo e dei fenomeni di frangimento. I risultati comprendono i parametri caratteristici del moto ondoso irregolare, il *wave set up* e le correnti lungo il profilo del fondale.
- Il modulo denominato UNIBEST LT (*littoral transport*) consente di analizzare l'entità e la distribuzione con la profondità del trasporto longitudinale. Possono essere utilizzate diverse formule di trasporto in relazione alle caratteristiche locali di configurazione dei fondali e granulometria (fondale di Bijker, Van Rijn, formule per il trasporto di ghiaie).
- Il modulo denominato UNIBEST CL (*coastline*) integra i risultati dei moduli precedenti e permette di simulare l'evoluzione della linea di costa introducendo anche gli effetti di opere e di apporti o asportazioni locali di materiali dovuti a fiumi o interventi antropici.
- Il modulo UNIBEST TC (*crossshore transport*) permette di valutare l'evoluzione del profilo trasversale della spiaggia in risposta ad eventi combinati di moto ondoso e marea. Vengono calcolati l'evoluzione della forma del profilo ed il trasporto trasversale.

## 7.3 STUDIO CON MODELLO MATEMATICO DELL'EVOLUZIONE RECENTE

Lo studio con il modello matematico UNIBEST è stato eseguito per il tratto di costa compreso tra la località Mili Marina a sud ed il litorale della località Larderìa a Nord.

Il modello è stato applicato per valutare la capacità di trasporto litoraneo longitudinale associabile a questo tratto di costa.

Osservando l'evoluzione della costa 2002-2007 dedotta dai confronti dei rilievi a disposizione (Fig. 4.2) si può notare come il volume di materiale che si è accumulato (stimato moltiplicando le superfici interessate dai fenomeni di accrescimento/erosione per una profondità "di chiusura" di 10 m) nei 5 anni di osservazione a Sud del molo di sopraflutto del porto di Tremestieri, risulti nettamente maggiore rispetto al volume eroso nella zona immediatamente più a Sud.

Mediante il confronto tra i rilievi del 2002 e del 2007 delle medesime zone di accumulo ed erosione si è valutato il bilancio di sedimenti (tenendo conto degli apporti fluviali e delle inevitabili perdite dei sedimenti verso il largo) che ha permesso di verificare il valore di trasporto solido potenziale calcolato mediante il modello matematico.

### **7.3.1 Calibrazione del modello**

Il modello per il calcolo della capacità di trasporto longitudinale di sedimenti è stato impostato con i seguenti dati di ingresso:

- clima locale di moto ondoso al confine del modello (batimetria -20);
- profili batimetrici caratteristici; nel modello sono state introdotte le forme caratteristiche del profilo del fondale nelle varie zone, utilizzando i risultati di rilievi realizzati nel 2002;
- caratteristiche granulometriche dei sedimenti: basandosi sulle indagini realizzate nel 2002 si è adottato un diametro  $D_{50} = 1,5$  mm come valore rappresentativo dell'area in esame;
- formulazione del trasporto: è stata utilizzata la formula di Bijker

### **7.3.2 Trasporto solido longitudinale**

Il modulo LT del modello matematico utilizzato stima il trasporto solido longitudinale sulla base del clima ondoso locale, dei profili tipici della spiaggia sommersa, e dei parametri caratteristici dei sedimenti.

Nella Fig. 7.1 è visualizzata la posizione del profilo tipico utilizzato per il calcolo. In Fig. 7.2 sono riportate le schermate del modello relative alle caratteristiche geometriche del profilo utilizzato per il calcolo del trasporto longitudinale.

La Figg. 7.3 e 7.4 mostra i risultati (output) del modello matematico. Come è possibile osservare nella figura il trasporto litoraneo netto è caratterizzato da un valore piuttosto contenuto (circa 20.000 m<sup>3</sup>/anno) ed ha una direzione ben definita da Sud verso Nord, in accordo con quanto effettivamente verificatosi nello spazio temporale analizzato (2002-2007).

In Fig. 7.5 è illustrata la distribuzione del trasporto long-shore lungo il profilo tipico utilizzato per i calcoli.

Si osserva che:

- il trasporto è contenuto in una fascia di circa 35 m;
- il fenomeno di trasporto cessa quasi totalmente oltre i 5 m di profondità;
- la maggior parte del trasporto (circa l'80%) avviene entro i 20 m dalla linea di riva, fino a profondità di circa 3 m.

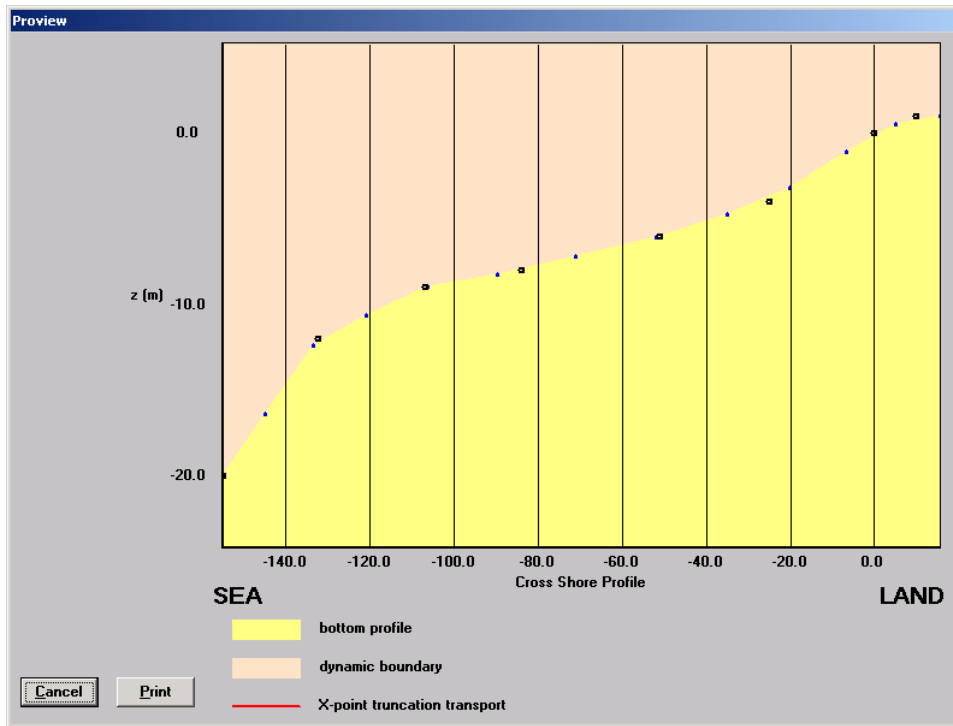
Sovrastimato (rispetto al reale comportamento riscontrato) appare l'angolo di equilibrio della normale alla costa ricavato dai calcoli del modello, probabilmente a causa delle difficoltà del modello stesso a simulare il comportamento dei materiali effettivamente costituenti la spiaggia, caratterizzati da una elevata frazione ghiaiosa.

### **7.3.3 Bilancio dei sedimenti**

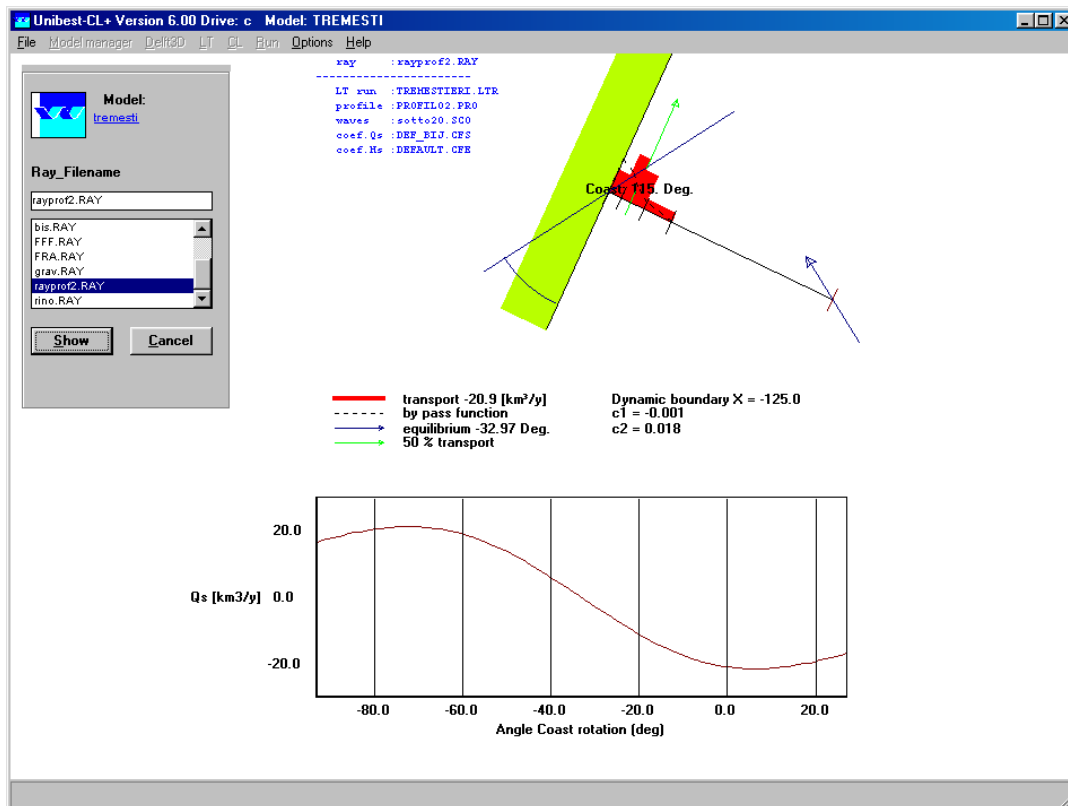
La Fig. 7.6 illustra i risultati del bilancio dei sedimenti per l'area in esame riferito al periodo analizzato (2002-2007). I quantitativi dei volumi riportati, dedotti in base alle trasformazioni subite dai profili longitudinali nel corso del quinquennio di osservazione, risultano congruenti con i volumi di trasporto potenziale calcolati dal modello.



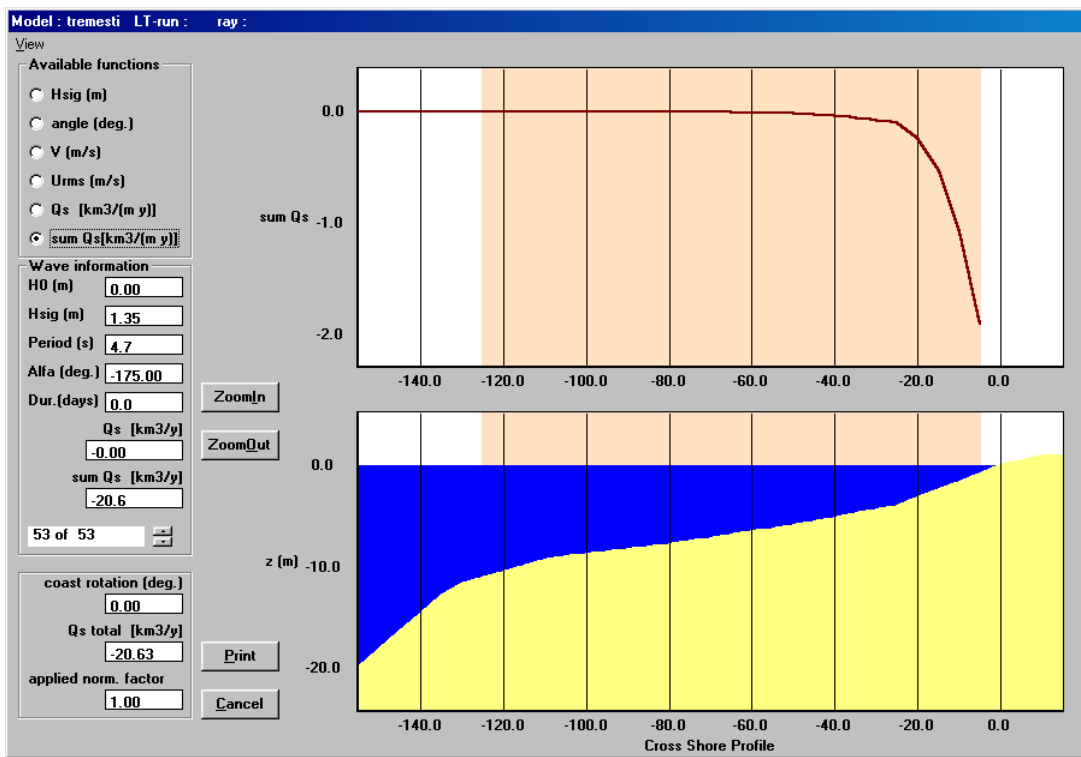
**Fig. 7.1 – Tremestieri: ubicazione del profilo trasversale utilizzato per il calcolo del trasporto longitudinale (batimetria indicativa precedente alla costruzione degli approdi esistenti)**



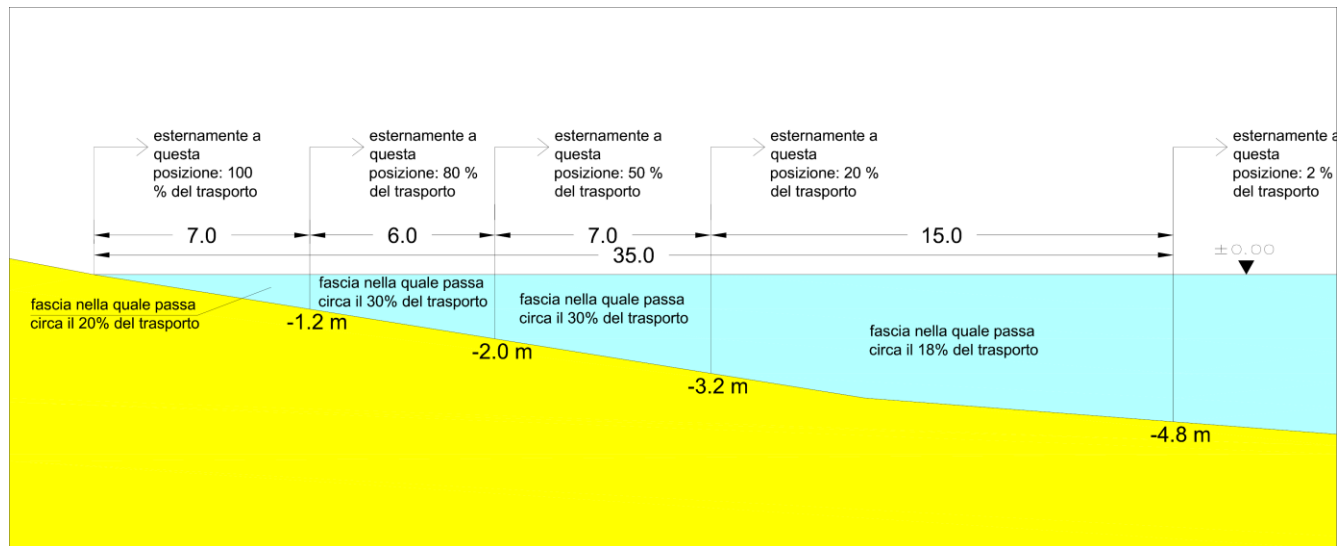
**Fig. 7.2 – Tremestieri: sezione utilizzata per il calcolo del trasporto longitudinale**



**Fig. 7.3 – Tremestieri: trasporto litoraneo calcolato dal modello lungo il profilo di input**



**Fig. 7.4 – Finestra di dialogo del codice di calcolo UNIBEST- LT in cui viene rappresentata la cumulata del trasporto long-shore**



**Figura 7.5 – Distribuzione del trasporto lungo il profilo tipo**



**Fig. 7.6 – Tremestieri: bilancio dei sedimenti**

#### 7.3.4 Tendenze evolutive in assenza di interventi

Nei precedenti paragrafi l'evoluzione del litorale è stata studiata sia attraverso l'analisi delle linee di riva disponibili, che coprono un arco temporale che si estende dal 1976 al 2007, che attraverso l'utilizzo di un modello matematico in grado di fornire indicazioni quantitative sui flussi di materiale trasportati longitudinalmente alla costa per effetto del moto ondoso.

Ne è emerso un quadro piuttosto complesso da interpretare sia per le caratteristiche naturali (quali la tessitura del materiale trasportato e la particolare conformazione della costa e del fondale nel tratto in oggetto), che per la presenza di interventi antropici (quali il posizionamento lungo la costa di alcuni elementi atti a contenerne l'erosione o, più recentemente, la costruzione del nuovo approdo di Tremestieri) ma del quale si possono comunque mettere in evidenza alcuni elementi, nel seguito riassunti, utili per inquadrare la prevedibile evoluzione del litorale in oggetto in assenza di ulteriori interventi:

- esaminando il periodo antecedente alla costruzione dell'approdo di Tremestieri (cfr. Fig. 4.1), è possibile osservare che, se dal 1976 al 1998 si era assistito ad una dinamica del litorale piuttosto significativa con una decisa tendenza ad un avanzamento della linea di costa nella zona a sud della fiumara Palummara ed una tendenza incerta (probabilmente per motivazioni di origine antropica) a nord della fiumara stessa. Il quadriennio successivo 1998-2002 (cfr. Fig. 4.2) mostrava una condizione di sostanziale equilibrio, con variazioni della linea di costa irrilevanti nell'area in oggetto che, alla luce di quanto emerso dalle indagini eseguite, in assenza di ulteriori interventi sarebbero presumibilmente rimaste tali anche negli anni a seguire;
- questa condizione di sostanziale equilibrio è stata ovviamente modificata dalla realizzazione del nuovo approdo di Tremestieri che, con il suo sopraflutto, ha determinato un blocco totale del trasporto solido litoraneo e quindi una condizione favorevole all'accumulo di questo materiale a sud dell'opera di difesa stessa (la direzione prevalente del trasporto è infatti diretta da sud verso nord) e, per converso, a causa del mancato apporto di materiali, una condizione di criticità nelle aree poste immediatamente a nord del nuovo approdo. Nel dettaglio, l'accumulo di materiale è stato complessivamente dell'ordine dei 110.000 m<sup>3</sup>, di cui una buona parte derivante probabilmente da una semplice redistribuzione di materiali "locali" (cioè del materiale proveniente dall'erosione verificatasi a sud del vallone Guidari), e la restante parte frutto appunto del blocco del flusso longitudinale generato dal sopraflutto del nuovo approdo. L'erosione della costa a nord del porto è stata complessivamente significativa non tanto in termini quantitativi ma in quanto tale da raggiungere e "mettere a nudo" le scogliere realizzate a protezione dei centri abitati negli anni '70-'80, confermando così il totale blocco di trasporto longitudinale esercitato dal sopraflutto;
- in merito all'effetto generato dalle opere di difesa dell'approdo di Tremestieri sul trasporto solido longitudinale, sono significativi sia gli esiti delle modellazioni matematiche eseguite nell'ambito dei presenti studi, che hanno mostrato come l'estensione massima del profilo attivo non raggiunga la batimetrica -10 m ed anzi difficilmente superi la -5 m, che i fenomeni di interrimento dell'imboccatura portuale che hanno reso necessaria la realizzazione del prolungamento del sopraflutto dell'approdo di Tremestieri mediante il quale la testata del sopraflutto è stata portata dalla batimetrica -7/8 m, alla batimetrica -10/12 m. Questo prolungamento ha in effetti eliminato i predetti problemi, garantendo la dispersione del trasporto solido longitudinale su fondali inattivi, come confermato dalla cessazione del fenomeno di accumulo di materiale a nord del sopraflutto;

- infine, il bilancio dei sedimenti valutato per il tratto di costa a sud del nuovo approdo di Tremestieri per il quinquennio 2002-2007 mediante il confronto dei profili rilevati, risulta congruente con quanto ricavato dal modello matematico di calcolo del trasporto solido longitudinale, ovvero ne conferma la entità in circa 18.000-20.000 m<sup>3</sup>/anno.

Tutto ciò premesso, in merito alla evoluzione del litorale in assenza di ulteriori interventi di natura antropica (ovverosia non solo in assenza di nuove realizzazioni di infrastrutture portuali ma anche in assenza di interventi che riducano l'apporto di materiale solido da parte dei costituenti il reticolo idrografico di riferimento e/o della realizzazione di interventi di difesa costiera nel tratto di costa posto a Sud della zona in oggetto) è possibile affermare che:

- il tratto a nord del sopraflutto del nuovo approdo di Tremestieri, avendo questo una estensione tale da costituire una barriera invalicabile al flusso verso nord del materiale trasportato longitudinalmente alla costa, costituisce ormai una unità fisiografica del tutto autonoma, che non potrà più essere influenzata da possibili mutamenti delle condizioni al contorno che avvengano nelle unità fisiografiche poste a sud e che potrà quindi essere alimentata solo con apporti artificiali, "una tantum" o sistematici, con impiego di sistemi di bypass artificiale dei sedimenti e/o comunque tramite interventi di costante manutenzione.
- Il mancato apporto ha già prodotto in questa unità fisiografica alcuni effetti visibili nel tratto di costa posto immediatamente a nord del sopraflutto degli approdi esistenti, contenuti solo grazie alla presenza delle opere di difesa già presenti (scogliere);
- a sud del sopraflutto degli approdi esistenti, i fenomeni di maggiore entità sembra debbano ritenersi esauriti essendosi colmata la parte di spiaggia compresa tra il sopraflutto stesso e la fiumara Giglio ed avendo la costa assunto un orientamento sostanzialmente congruente con quello di equilibrio risultante dalle modellazioni matematiche. In quest'area è possibile ipotizzare per il futuro solo contenute modifiche delle linee di costa, legate a particolari episodi meteomarinari, essendo però da segnalare, come eventuale elemento di criticità, la possibile instabilità del materiale accumulatosi rapidamente su fondali aventi una elevata ripidità, specie in corrispondenza del tratto terminale e della testata dell'esistente molo di sopraflutto.



## **8 EVOLUZIONE FUTURA DEL LITORALE**

Per quanto finora detto è evidente che il trasporto lungo il tratto litoraneo interessato al progetto ha una connotazione fortemente caratterizzata, con direzione da sud verso nord.

Nell'ambito del Progetto Preliminare (Capitolo 14 dello Studio Idraulico-Marittimo, allegato) è stato applicato un modello ad una linea per simulare l'evoluzione della costa in presenza di opere previste. Si sottoscrive quanto riportato al riguardo nel Progetto Preliminare.

Tuttavia è da sottolineare la differenza di lay-out del presente progetto rispetto al Progetto Preliminare. Infatti lo sfocio del torrente Canneto Farota, che nel Progetto Preliminare era previsto attraversare la scogliera sud, nel presente progetto è stato deviato all'estremo meridionale dell'opera di difesa. Lo spostamento della foce, opportunamente risistemata e protetta mediante un pennello in massi naturali, tenderà ad ottimizzare le prestazioni della scogliera di difesa in termini di coefficiente di riflessione, evitando di "spezzare" con la propria portata, che raggiunge picchi stagionali considerevoli, la continuità della struttura.

Inoltre uno sbocco ben regimato permetterà di evitare la dispersione verso il largo dell'apporto solido dei sedimenti, benché limitato in termini quantitativi, mantenendolo nella zona dello sfocio nella fascia del fondale interessata ai fenomeni del trasporto longitudinale entro circa 35 m dalla riva.

Il pennello trasversale posto a lato dello sfocio ha un aggetto tale da intercettare i sedimenti provenienti da sud che prendono parte ai fenomeni di trasporto.

Il piede dell'opera infatti ricade su profondità di circa -6.0 m. Come riportato nel paragrafo 7 e illustrato nella Fig. 7.5 i risultati del modello UNIBEST individuano la fascia attiva del trasporto entro i fondali -5.0 m.

È quindi possibile affermare che l'opera trasversale costituirà un punto di blocco per la totalità dei sedimenti provenienti da Sud. L'interruzione del trasporto, che nel giro di alcuni anni porterà all'interrimento dell'opera, eviterà un eccessivo passaggio di sedimenti verso lo scalo portuale.

In seguito all'interrimento verrà a ristabilirsi in parte il trasporto verso nord: è auspicabile che questi sedimenti si dispongano lungo la scogliera in progetto, aumentandone il potere riflettente, migliorandone le caratteristiche di stabilità e riducendo la tracimazione.

Il materiale che si accumulerà a Sud del pennello nel tempo potrà inoltre essere impiegati per ripascere il tratto di litorale a Nord delle opere di difesa.