COMMITTENTE:

RODRIQUEZ
CANTIERI NAVALI S.P.A.
VIA S. RAINERI 22
95122 MESSINA
Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento di IMMSI S.p.A.

PROGETTO URBANISTICO
E ARCHITETTONICO:

ING. MICHELE MINISTERI
ARCH. VITTORIO GRATTAROLA
ARCH. PAOLO BANDINI

PROGETTO IDRAULICO
MARITTIMO:

ACQUA
TECNO
ING. PAOLO TURBOLENTE

Dott. Ing. PAOLO TURBOLENTE
ORDINE INGEGNERI ROMA N° 16715

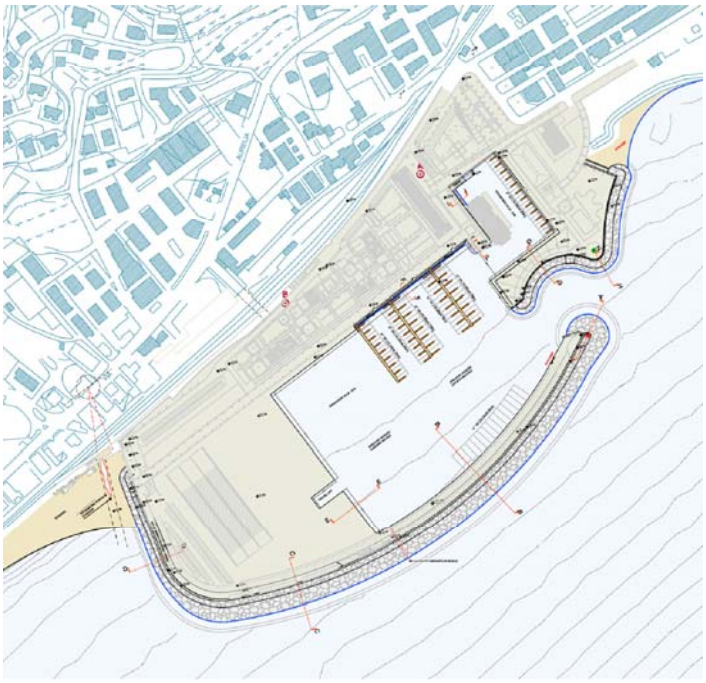
Rodriquez Cantieri Navali SpA
Amministratore Delegato
Livio Corghi

Regione Liguria
Provincia di Savona
Comune di Pietra Ligure

S.U.A. Strumento urbanistico attuativo di approvazione regionale L. 24 / 87

D.P.R. 509/97
Decr. Min. Trasporti e Navigazione 14.04.98
Conf. Servizi L. 241/90 e s.m.i.

PROGETTO PER LA TRASFORMAZIONE URBANISTICA DEI CANTIERI NAVALI RODRIQUEZ IN UN PORTO TURISTICO CON ANNESSE STRUTTURE PUBBLICHE, RICETTIVE, RESIDENZIALI E PRODUTTIVE



PROGETTO DEFINITIVO OO.MM.

Relazione di studio con modello morfodinamico spiaggia limitrofa

COMMESSA	OPERA	FASE	SETTORE	TAVOLA N°	REV	FILE
A21650 9	OA	PD	OM	DB2	0	

	GIUGNO 2012	0		1:2.000
Rif. Dis.	Data	Rev.	DESCRIZIONE	SCALA

REGIONE LIGURIA

PROVINCIA DI SAVONA

COMUNE DI PIETRA LIGURE

RODRIGUEZ CANTIERI NAVALI S.p.A.

PROGETTO PER LA TRASFORMAZIONE URBANISTICA DEI CANTIERI NAVALI RODRIQUEZ IN UN PORTO TURISTICO CON ANNESSE STRUTTURE PUBBLICHE, RICETTIVE, RESIDENZIALI E PRODUTTIVE

Progetto Definitivo

SPIAGGIA DEL COMUNE DI PIETRA LIGURE COMPRESA TRA LE FOCI DEL RIO CIAPPE E DEL RIO RANZI STUDIO MORFOLOGICO E STUDIO DELL'INFLUENZA DEL PORTO TURISTICO SULLA SPIAGGIA

COMMITTENTE: Rodriguez Cantieri Navali S.p.A.

Progettista idraulico marittimo

Acquatecno S.r.l.

Collaboratore allo studio specialistico

Modiferr S.r.l.

Roma, dicembre 2011

INDICE

1. PREMESSE ____ *3*

1.1 Oggetto del presente rapporto ____ **3**

1.2 Conclusioni ____ **4**

2. CARATTERISTICHE DELLA FASCIA COSTIERA OGGETTO DELLO STUDIO ____ *7*

3. APPORTI SOLIDI DEI CORSI D'ACQUA ____ *19*

4. ASPETTI MORFOLOGICI TRASVERSALI ____ *21*

5. STUDIO DELL'EVOLUZIONE STORICA DELLA SPIAGGIA ____ *23*

6. BILANCIO SOLIDO DEI SEDIMENTI E CALCOLO DELLE PORTATE SOLIDE NETTE LONGITUDINALI ____ *30*

7. APPLICAZIONE DEL MACROMODELLO MORFODINAMICO ____ *37*

7.1 Il macromodello nella foma cubica di Mita ____ **37**

7.2 Determinazione della foma planimetrica di equilibrio della spiaggia in esame ____ **41**

7.3 Verifica dell'influenza del Porto Turistico sulla spiaggia in esame ____ **43**

7.4 Verifica degli effetti di mitigazione con un ripascimento ____ **49**

7.5 Bibliografia ____ **55**

1. PREMESSE

Rodriguez Cantieri Navali S.p.A. ha affidato alla società Acquatecno S.r.l. l'incarico di eseguire il progetto idraulico marittimo per la "*Trasformazione urbanistica dei cantieri navali Rodriguez in un porto turistico con annesse strutture pubbliche ricettive, residenziali e produttive"*. Il porto ricade nel territorio comunale di Pietra Ligure in provincia di Savona nella Regione Liguria.

A seguito della conferenza di servizi del Comune di Pietra Ligure per l'ammissibilità del progetto preliminare nella seduta del giorno 2*.8.2011* è stato richiesto dal Comitato Tecnico Regionale per il Territorio tra l'altro:

- di modellare la configurazione finale della spiaggia adiacente il porto valutando anche eventuali necessità di ripascimento artificiale al fine di ottenere un assetto di equilibrio compatibile con la configurazione delle opere foranee e senza alterazione del deflusso dei corsi d'acqua;

Per la redazione dello studio della spiaggia adiacente il porto compresa tra le foci del Rio Ciappe e del Rio Ranzi nel territorio del Comune di Pietra Ligure il progettista si è avvalso della collaborazione della Modiferr s.r.l.

1.1 Oggetto del presente rapporto

Oggetto del presente rapporto è lo studio della spiaggia ricadente nel Comune di Pietra Ligure compresa tra la foce del Rio Ciappe (al confine con il Comune di Loano) e la foce del Rio Ranzi.(in prossimità dei cantieri Navali Rodriguez) atto a comprenderne la natura dal punto di vista morfologico e marittimo idraulico, nonché quello di modellare la configurazione finale della spiaggia al fine di ottenere un assetto di equilibrio compatibile con la configurazione delle opere foranee.

Per la comprensione della morfologia della spiaggia è stato effettuato innanzitutto il suo inquadramento territoriale su base cartografica.

Al fine di stimare gli apporti solidi provenienti dall'entroterra che attualmente alimentano la spiaggia è stato individuato il bacino idrografico che sottende i due corpi idrici che sfociano alle due estremità della spiaggia, rappresentati dal Rio Ciappe e dal Rio Ranzi.

Per comprendere la natura morfologica trasversale della spiaggia è stato ricostruito, sulla

base delle informazioni batimetriche in possesso, il profilo trasversale di spiaggia e confrontato con quello teorico basato sulle dimensioni medie del sedimento. Inoltre è stato effettuato lo studio dell'evoluzione storica del litorale a partire dal 1988.

In base all'analisi diacronica della posizione della linea di riva è stato effettuato il bilancio solido sedimentario e determinato il trasporto solido netto longitudinale medio annuale occorso lungo la spiaggia a partire dal 1988.

Attraverso l'applicazione del macromodello morfologico di Mita (2010), è stata determinata la forma geometrica planimetrica teorica di equilibrio assunta nelle attuali condizioni dalla spiaggia compresa tra la foce del Rio Ciappe ed i Cantieri Navali Rodriguez, constatando che è prossima a quella assunta effettivamente dalla spiaggia.

Attraverso l'applicazione dello stesso macromodello morfologico è stata valutata la configurazione planimetrica finale della spiaggia compatibile con la configurazione delle opere foranee. Infine sempre attraverso l'applicazione del macromodello morfologico è stata modellata la configurazione finale della spiaggia compatibile con la configurazione delle opere foranee del porto in progetto e di un ripascimento di sabbia grossolana di circa 14.000 m^3.

1.2 Conclusioni

L'insieme degli studi di settore condotti nell'ambito del presente rapporto hanno evidenziato alcune importanti caratteristiche della spiaggia compresa tra la foce del Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe:

- la spiaggia di matrice sabbiosa è caratterizzata da un sedimento più grossolano nella parte emersa ed in quella sommersa fino a circa 2,5 m di profondità, mentre per profondità maggiori il sedimento ha dimensioni minori al limite tra le sabbie grossolane e le sabbie fini;
- tra il 1988 ed il 1994 a seguito della realizzazione del Porto di Loano si è verificata la modifica morfodinamica del litorale con migrazione del sedimento verso il porto di Loano e perdite verso gli alti fondali; la spiaggia di conseguenza ha subito una rotazione in senso antiorario intorno alla foce del Rio Ciappe;
- tra il 1994 ed il 2000 la realizzazione del pennello in riva destra del Rio Ciappe ha comportato una leggera migrazione del sedimento verso il nuovo pennello;

- tra il 2000 ed il 2006 i lavori di prolungamento del pennello in riva destra del Rio Ciappe e quelli di ripascimento a nord-est del porto di Loano hanno determinato la formazione di una spiaggia di circa 70 m di larghezza tra il pennello ed il porto e la migrazione verso nord-est di una parte dei volumi di sabbia versati, con benefici lungo l'intera spiaggia;
- la forma della spiaggia assunta nel 2006 nella parte nord-orientale risulta prossima a quella di equilibrio, invece nella parte sud-occidentale la spiaggia nel suo tratto più settentrionale risulta leggermente avanzata (mediamente di 2 m) rispetto a quella di equilibrio, mentre nel suo tratto meridionale prossimo al pennello della foce del Rio Ciappe risulta leggermente arretrata (5 m);
- in definitiva si può affermare che la spiaggia ha raggiunto nel 2006 una conformazione prossima a quella di equilibrio statico, che verrebbe pienamente raggiunta con una leggera migrazione del sedimento della parte sud-occidentale verso la foce del Rio Ciappe.

L'applicazione del macromodello morfodinamico nella formula cubica ha messo in evidenza che rispetto alla conformazione assunta dalla spiaggia nel 2006 per il raggiunto una conformazione di equilibrio statico:

- nelle condizioni attuali:
  a) il tratto di spiaggia settentrionale di circa 375 m di lunghezza deve subire uno spostamento di materiale sedimentario di circa 1.000 m^3 verso nord-est;
  b) il tratto di spiaggia meridionale di circa 375 m deve subire uno spostamento di materiale sedimentario verso sud-ovest con valori massimi di circa 6.000 m^3 circa 150 m a nord-est dalla foce del Rio Ciappe;
- in presenza delle opere esterne del porto turistico:
  a) il tratto di spiaggia settentrionale di circa 550 m di lunghezza deve subire uno spostamento di materiale sedimentario verso nord-est con valori massimi di circa 25.000 m^3 circa 125 m a sud-ovest dalla foce del Rio Ranzi;
  b) il tratto di spiaggia meridionale di circa 200 m di lunghezza deve subire uno spostamento di materiale sedimentario verso sud-ovest con valori massimi di circa 2.000 m^3 circa 125 m a nord-est dalla foce del Rio Ciappe;
  c) per evitare la migrazione del sedimento della spiaggia verso nord-est, richiamato dalla presenza delle opere esterne del porto turistico, è sufficiente un intervento di ripascimento artificiale di sabbia grossolana di 14.000 m^3, localizzato nel tratto di circa 125 m di

lunghezza a sud-ovest della foce del Rio Ranzi.

A valle dello studio compiuto si può quindi concludere che la presenza delle opere del Porto Turistico determinerebbero una leggera rotazione della spiaggia in senso orario con migrazione del sedimento verso la sua parte orientale in prossimità del molo occidentale del porto turistico. L'arretramento della spiaggia rispetto alla posizione della linea di riva di equilibrio attuale è stato valutato nell'ordine dei 3 m. L'avanzamento medio nel tratto di circa 125 m a ovest del molo occidentale del porto turistico è stato valutato nell'ordine dei 19 m, con valori massimi di circa 45 m a ridosso del porto.

E' stato valutato che per evitare la migrazione del sedimento verso il porto turistico dei Cantieri Navali Rodriguez ed il conseguente arretramento della spiaggia è sufficiente un versamento di circa 14.000 m^3 di sabbia grossolana nel tratto di circa 125 m ad ovest del molo occidentale dello stesso porto.

2. CARATTERISTICHE DELLA FASCIA COSTIERA OGGETTO DELLO STUDIO

La spiaggia di Pietra Ligure in esame, compresa tra la foce del Rio Ciappe (a sud ovest) e la foce del Rio Ranzi (a nord est), si affaccia sulla Riviera di Ponente del Mar Ligure a sud ovest dell'abitato di Pietra Ligure (vedi Figura 2.1). Essa fa parte di un unità fisiografica, che dopo la realizzazione ed ampliamento del Porto di Loano, può essere confinata a sud ovest dalle opere foranee del Porto di Loano e a nord est dagli scali di alaggio dei Cantieri Navali Rodriguez. Tale unità fisiografica è lunga circa 0,95 km (vedi Figura 2.2).

L'entroterra dell'unità fisiografica è caratterizzato dalla presenza dei primi corrugamenti delle Alpi Marittime rappresentati dal Monte Ciazze Secche (421 m s.l.m.) e del Monte Pianosa (406 m s.l.m.) che distano circa 2,2 km dal mare (vedi Figura 2.3). Il flusso solido proveniente delle spiagge poste a sud ovest del Porto di Loano è fortemente limitato dalle opere foranee del porto, mentre è impedito dalla conformazione della piattaforma continentale il flusso del sedimento dalle spiagge poste e nord-et dei cantieri navali Rodriguez, L'unità fisiografica in esame risulta pertanto attualmente alimentata dai sedimenti grossolani trasportati dal Rio Ciappe e dal Rio Ranzi che sfociano all'estremità della spiaggia. Le opere portuali del Porto turistico dei Cantieri Navali Rodriguez sono previste a nord-est della foce del Rio Ranzi, limite nord-orientale della spiaggia (vedi Figura 2.4).

Alcune caratteristiche morfologiche del litorale di pietrose sono sintetizzate nella Figura 2.5 tratta dalla Tavola 9c "Da capo S. Circe a Caprazzoppa" del PTC delle coste liguri, dalla quale si possono trarre i seguenti elementi :

- la presenza di una spiaggia in erosione a matrice sabbiosa;
- l'assenza di un trasporto solido marino;
- l'assenza di apporti solidi significativi di corsi d'acqua;
- la presenza di opere marittime del Porto di Loano;
- la presenza di un pennello trasversale nella parte nord orientale della spiaggia.

La migrazione del sedimento dalla spiaggia in esame verso le spiagge poste a sud-ovest del porto di Loano è impedita dalle opere foranee dello stesso porto, mentre quella verso le spiagge poste a nord-est dei Cantieri Navali Rodriguez è impedita dalla presenza del pennello traversale

posto nella parte nord orientale della spiaggia ed dagli scali di alaggio dei Cantieri Navali posti ancora più a nord-est. La conformazione attuale della spiaggia e le opere marittime presenti lungo il litorale sono ben rappresentate in Figura 2.6 tratta dall'aerofoto del 2006 dell'Atlante Cartografico Italiano del Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare.

In Figura 2.7 è riportato il rilievo batimentrico eseguito ai fini del presente progetto riportato sulla Carta Tecnica del Comune di Pietra Ligure. La figura mostra una elevata ripidità dei fondali in acqua bassa, con valori di circa 8,0 m di profondità a circa 450 m dalla riva (mediamente 1,8%), e ripidità ancora maggiori in acqua più alta dell'ordine del 2,5%. Dalla stessa figura si evince che il pennello trasversale di circa 60 m di lunghezza posto a nord-est della foce del Rio Ranzi raggiunge profondità di circa 2,5 m.

Alcune caratteristiche morfologiche del litorale compresa tra i Cantieri Navali Rodriguez ed il Porto di Loano sono evidenti anche nelle fotografie di Figura 2.8÷Figura 2.11.

Nella Figura 2.8 sono raffigurati i cantieri Navali Rodriguez. Nella figura sono ben evidenti gli scali di alaggio e la scogliera radente di protezione posta a sud ovest dei cantieri. La scogliera radente di protezione del litorale compreso tra la foce del Rio Ranzi ed i Cantieri navali Rodriguez è ben rappresentata in Figura 2.9. Dalla figura è evidente anche la presenza al centro della scogliera del pennello trasversale di 60 m di lunghezza.

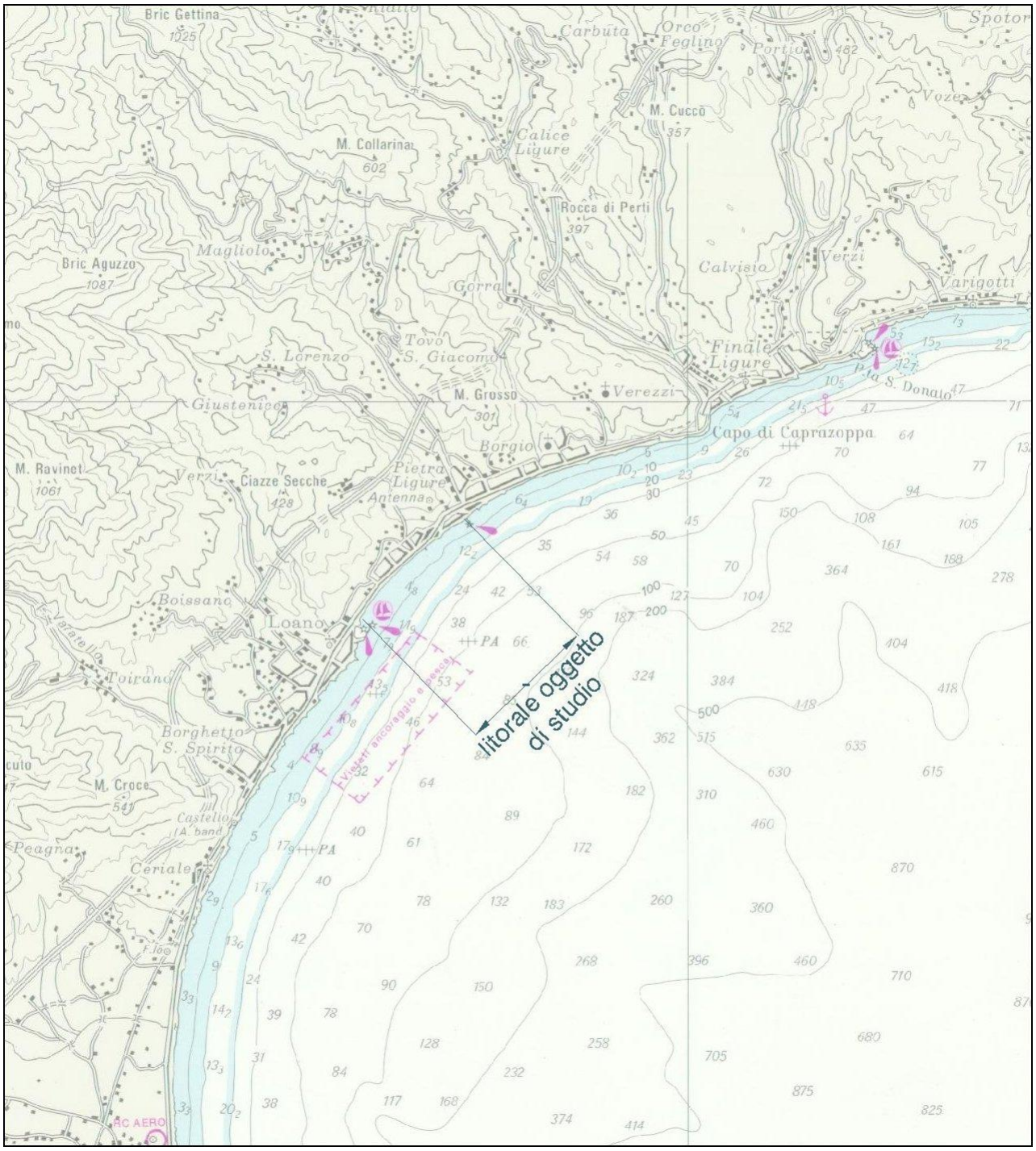
La spiaggia tra la foce del Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe è rappresentata in Figura 2.10, mentre in Figura 2.11 è rappresentato il Porto di Loano.

Figura 2.1 - Corografia generale del Mar ligure - scala 1:1 000 000



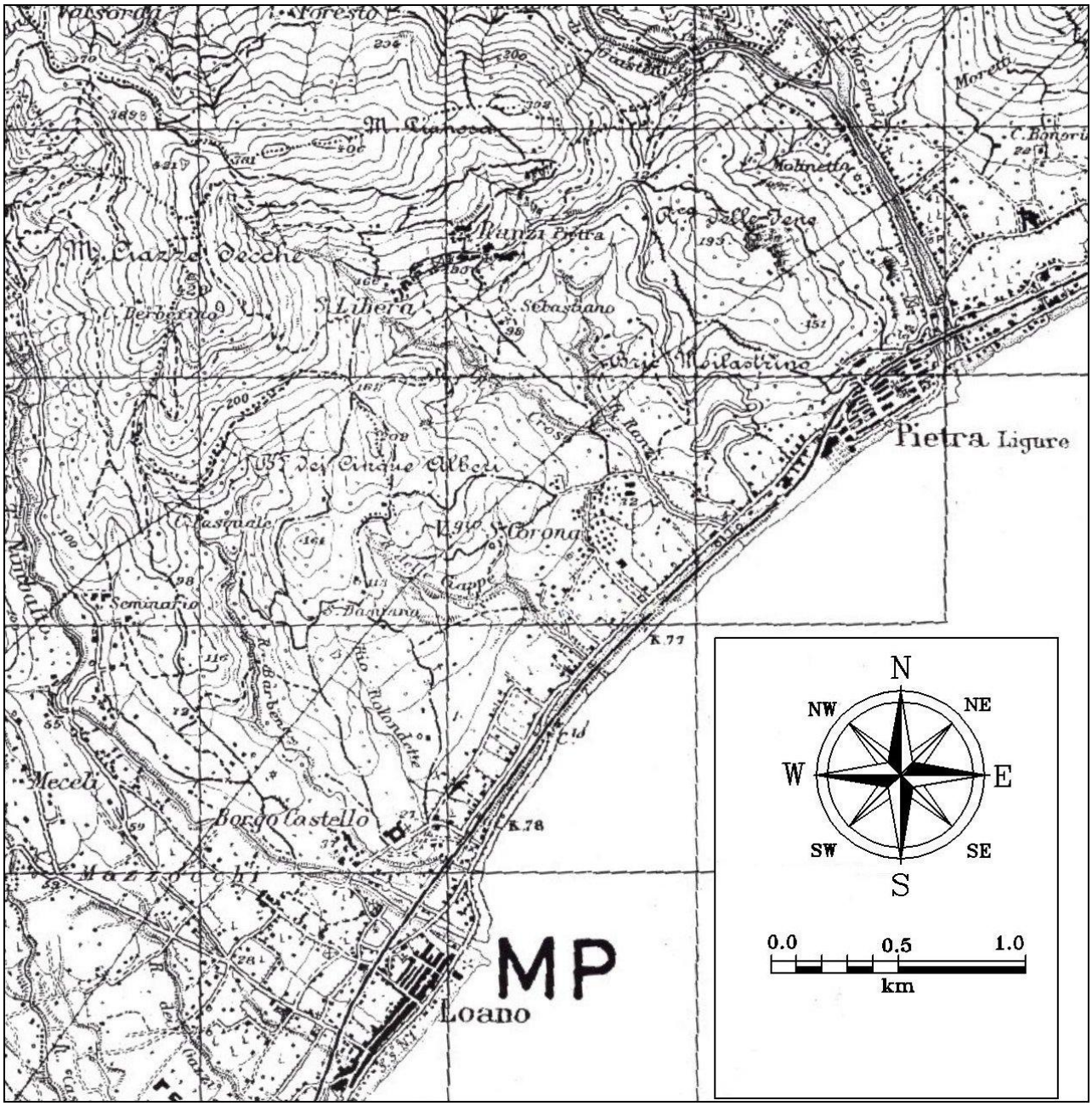
Fonte Atlante Marco Polo

Figura 2.2 – Carta nautica e posizione dell'unità fisiografica oggetto di studio



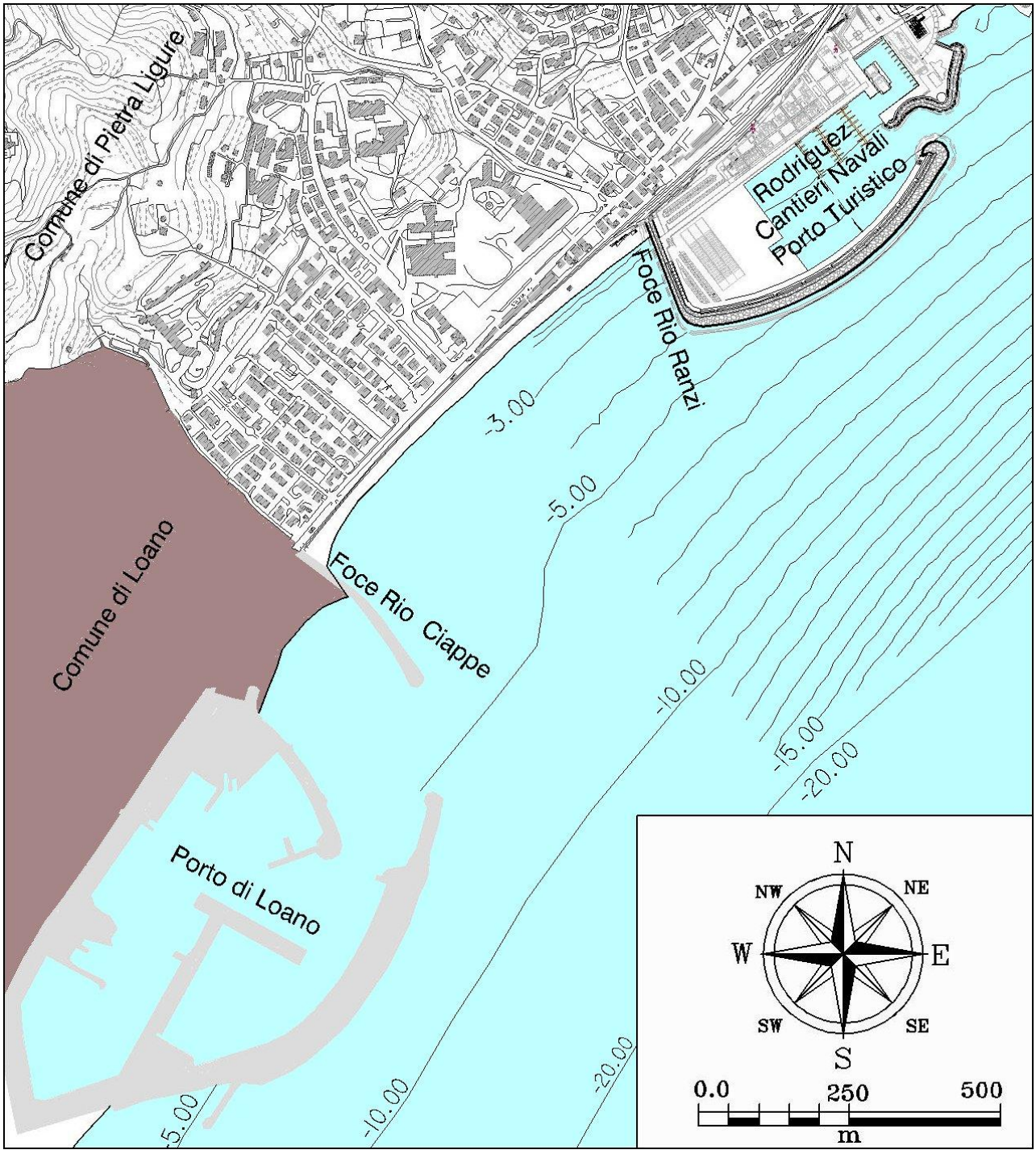
Fonte: Carta IIM da Imperia a Portofino, scala 1:100.000

Figura 2.3 – Litorale tra Loano e Pietra Ligure - Tavoletta IGM serie 25V 92-II NO



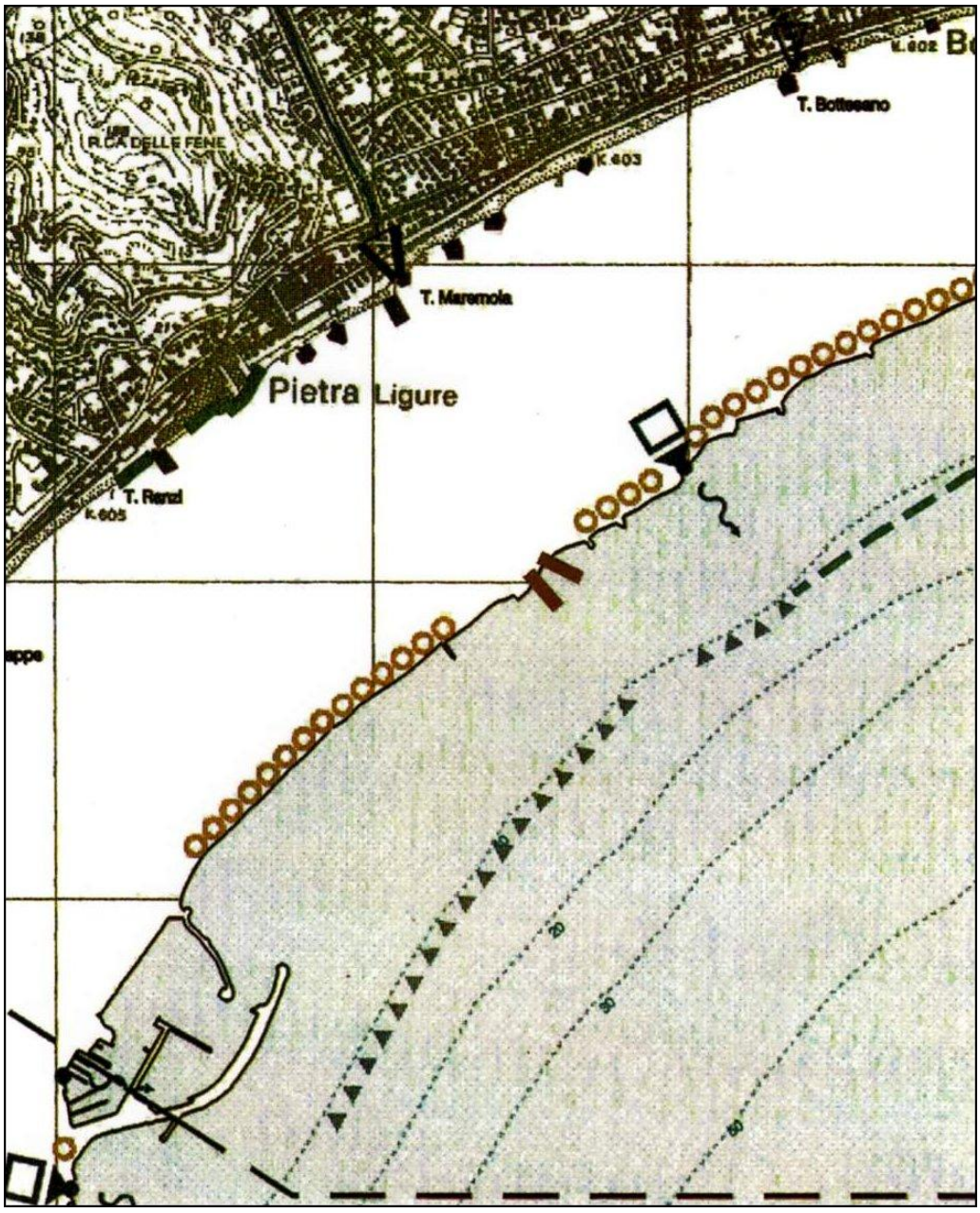
Fonte "IGM" anno 1933, scala 1:25 000

Figura 2.4 – Litorale di Pietra Ligure tra la foce dei Rio Ciappe e i Cantieri Navali Rodriguez e posizione del porto turistico in progetto



Fonte "Carta Tecnica Comune di Pietra Ligure" scala 1:10 000

Figura 2.5 – Stralcio della costa pietrose del P.T.C. della coste liguri

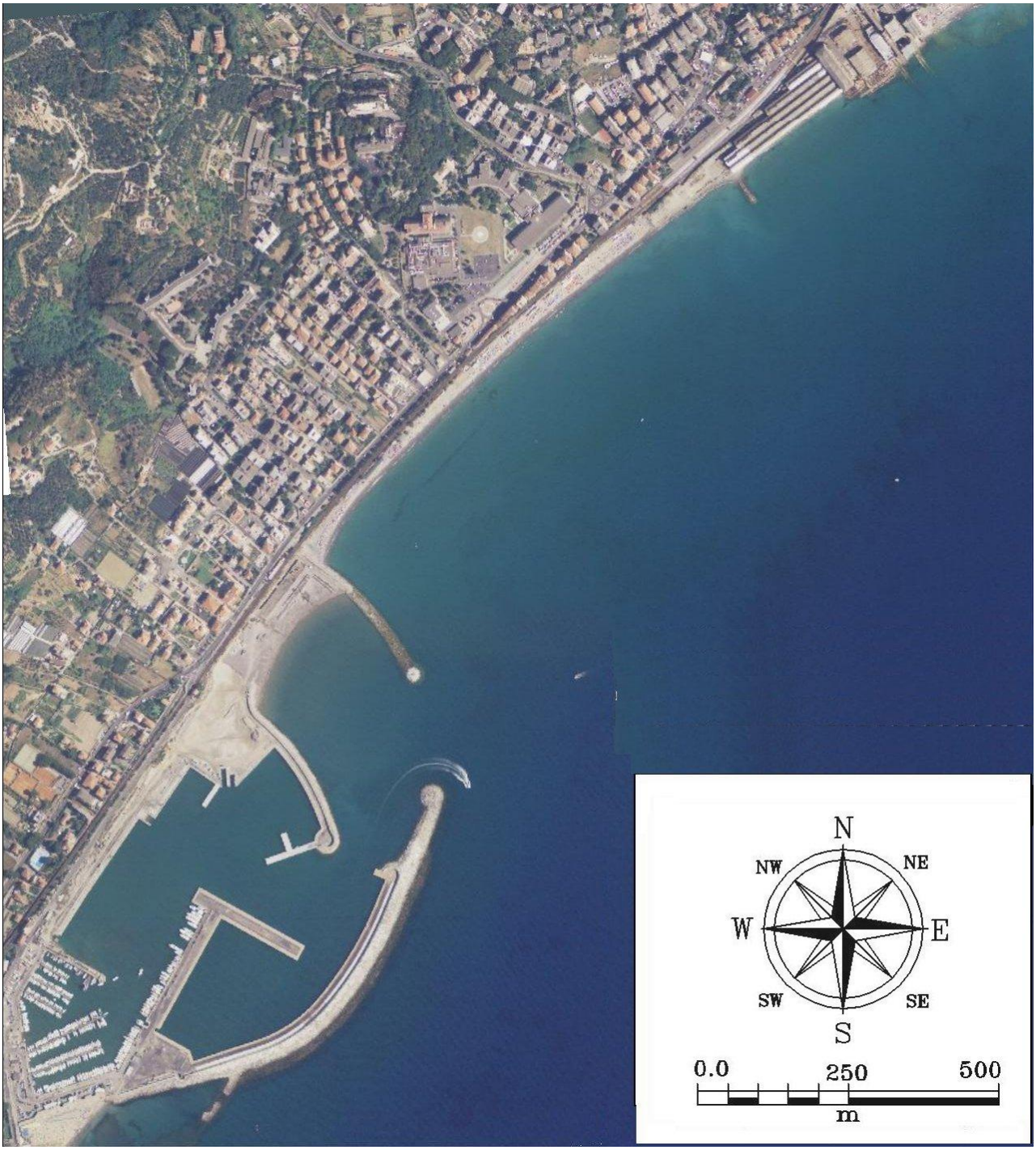


Fonte: PTC delle coste liguri - Tavola 9c "Da capo S. Circe a Caprazzoppa"

Legenda del PTC delle coste liguri

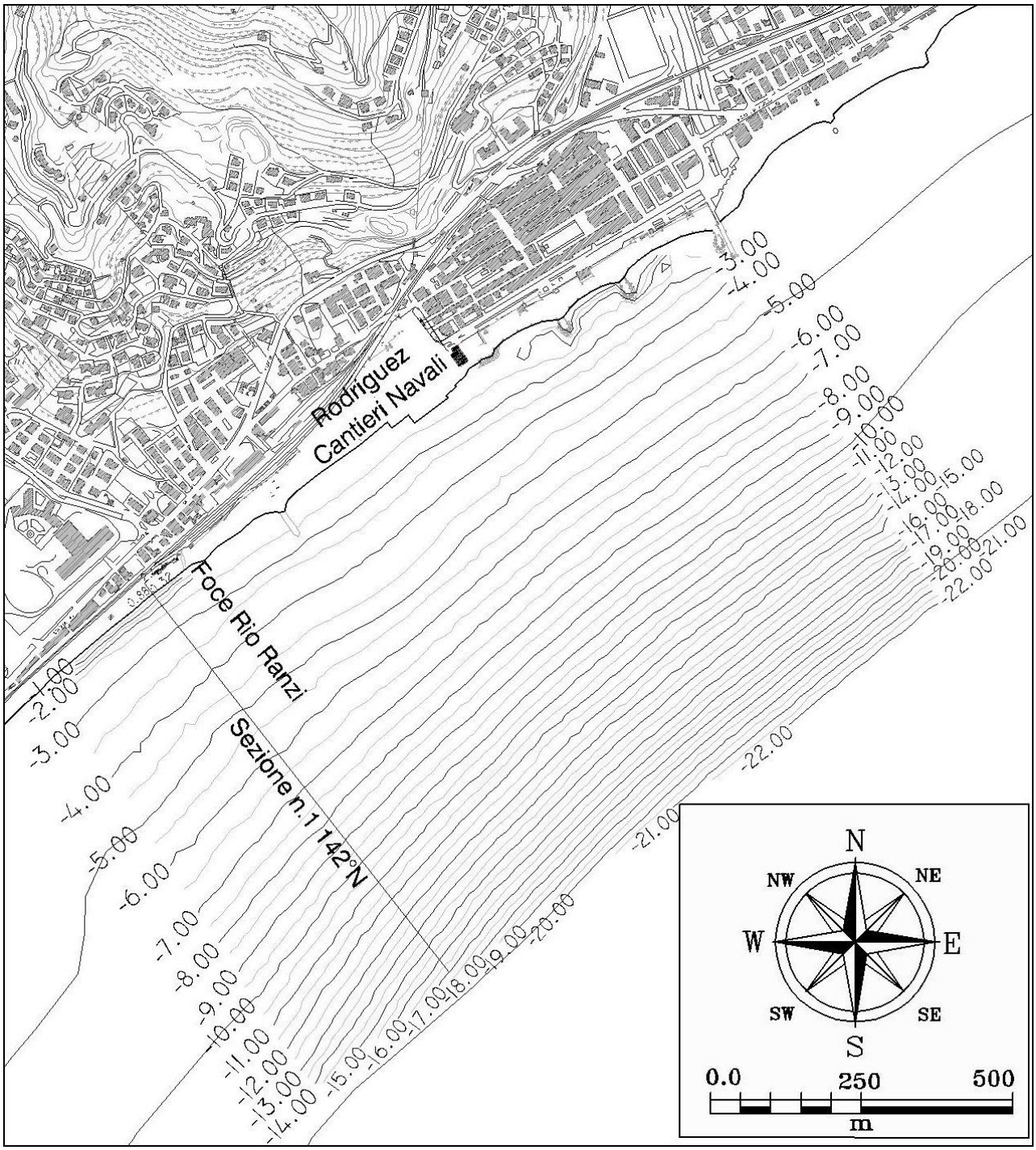


Figura 2.6 – Aerofoto 2006 – Litorale tra il Porto di Loano e i Cantieri Navali Rodriguez – Scala 1:10.000



Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare

Figura 2.7 – Rilievo batimetrico del fondale e sezione trasversale di riferimento



Sfondo Fonte: "Carta Tecnica Comune di Pietra Ligure" scala 1:10 000

Figura 2.8 – Fotografia aerea dei Cantieri Navali Rodriguez

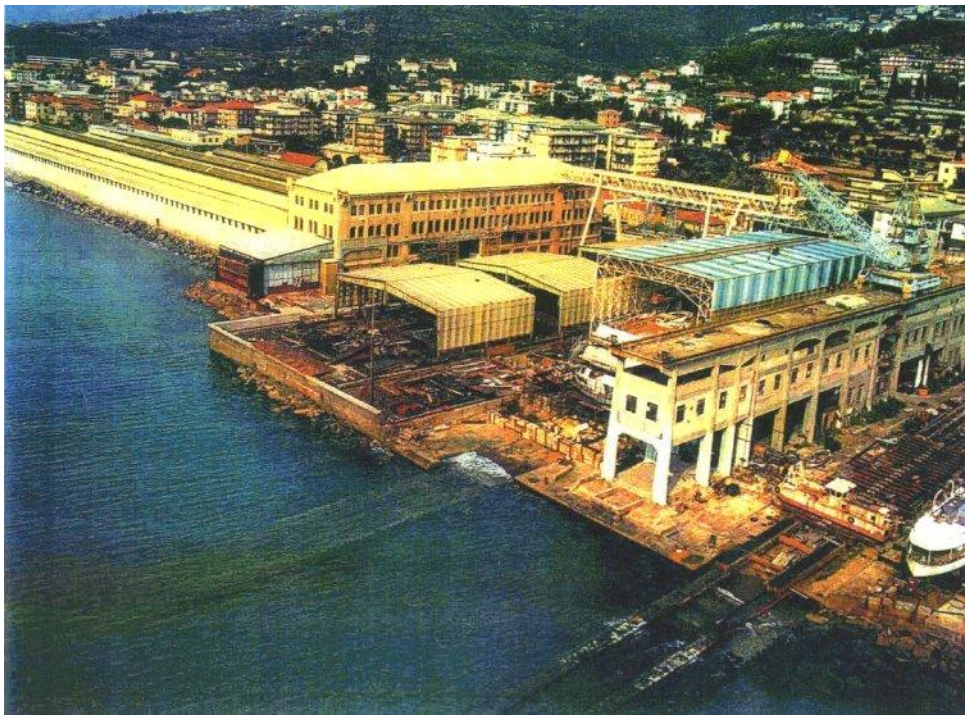


Figura 2.9 – Foto aerea della scogliera radente in prossimità dei Cantieri Navali Rodriguez



Figura 2.10 – Fotografia aerea della spiaggia tra la foce del Rio Ciappe e la foce del Rio Ranzi



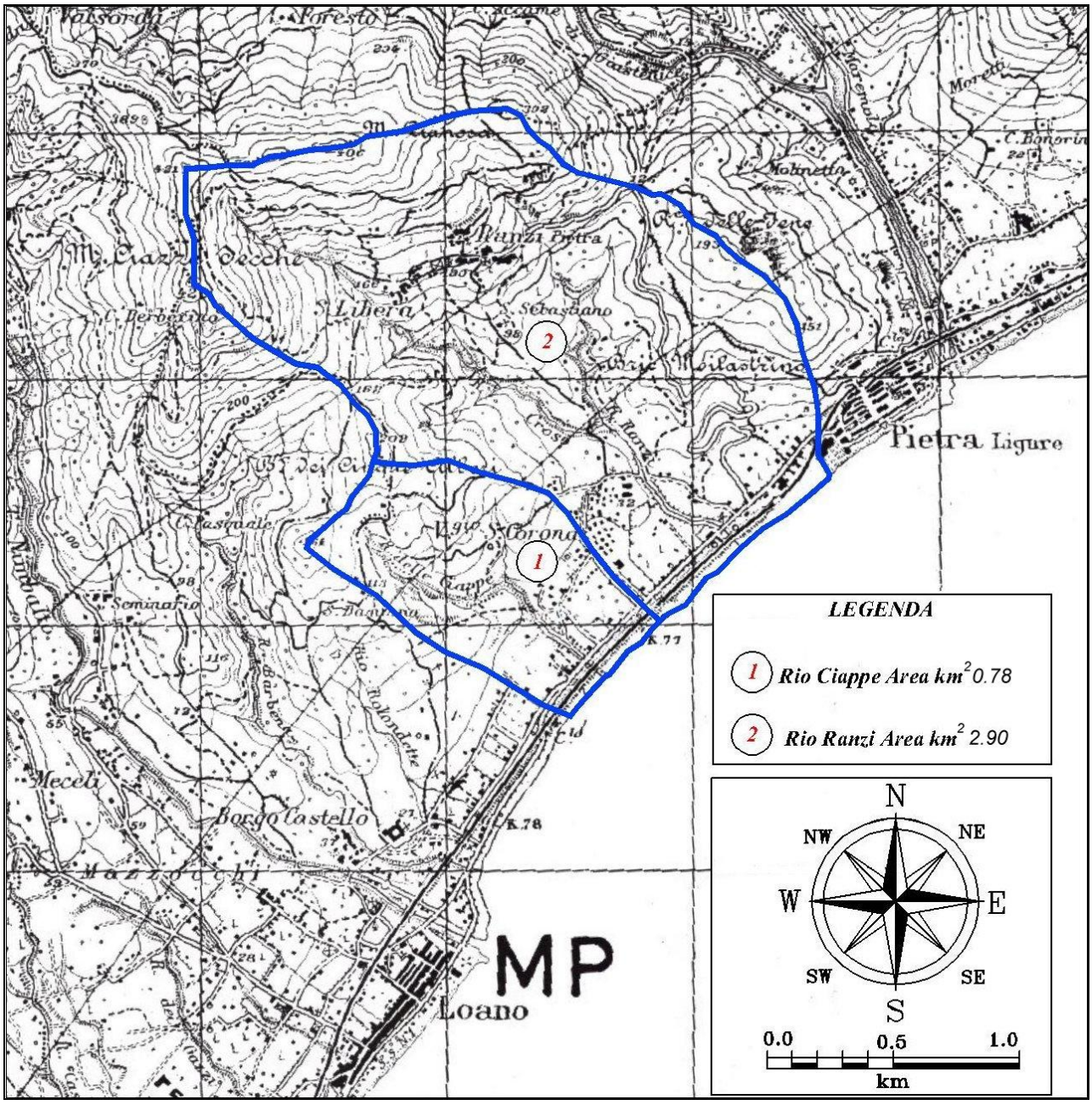
Figura 2.11 – Fotografia aerea del Porto di Loano



3. APPORTI SOLIDI DEI CORSI D'ACQUA

Dal punto di vista sedimentologico la spiaggia compresa tra la foce del Rio Ciappe e la foce del Rio Ranzi risulta attualmente alimentata solo dai sedimenti grossolani apportati dai due corsi d'acqua posti alle due estremità della spiaggia. Come detto in precedenza, il tratto di spiaggia in esame non risulta più alimentato dagli apporti solidi provenienti dal torrente Nimbato posto a sud ovest del Porto di Loano. Infatti le opere foranee del porto, che raggiungono la profondità di chiusura della spiaggia attiva, intercettano il sedimento. In Figura 3.1 è riportato il bacino sotteso dalla foce del Rio Ciappe e quello sotteso dalla foce del Rio Ranzi. Tali bacini risultano avere rispettivamente un'estensione di circa 0,76 km^2 e 2,90 km^2. Sulla base del valore dell'apporto solido medio annuale di corsi d'acqua Liguri di diversa estensione si può affermare che l'estensione di tali bacini è tale che il valore dell'apporto solido medio annuale, a meno di enti alluvionali eccezionali, è dell'ordine di qualche centinaio di m^3 anno. L'apporto solido dei due corsi d'acqua può quindi essere considerato trascurabile ai fini di un bilancio solido sedimentario marino, come confermato anche dal PTC delle coste liguri.

Figura 3.1 – Bacini idrografici del Rio Ciappe (1) e del Rio Ranzi (2)



Fonte "IGM", scala 1:25 000

4. ASPETTI MORFOLOGICI TRASVERSALI

Il rilievo batimetro effettuato ai fini del presente progetto, riportato in Figura 2.7, ha consentito il tracciamento del profilo trasversale di spiaggia, ortogonale alla linea di riva ed alle linee batimetriche. Il profilo trasversale è stato tracciato in prossimità della foce del Rio Ranzi. (vedi sezione n. 1 di Figura 2.7). Il profilo trasversale della spiaggia ricostruito è riportato nella Figura 4.1 insieme al profilo teorico di equilibrio determinato in base ai valori del D_{50} del sedimento.

La spiaggia emersa raggiunge un'altezza di circa 2,5 m. Il profilo trasversale della spiaggia emersa è caratterizzato da una pendenza dell'ordine del 10%.

Il profilo trasversale della spiaggia sommersa meno profonda, fino a circa 2,5 m di profondità, è caratterizzato da una pendenza dell'ordine del 7,0%. Per profondità maggiori, fino alla profondità di circa 8,0 m, il profilo trasversale è caratterizzato da una pendenze minore, con valori dell'ordine del 1,2%. Per profondità superiori a 8,0 m la pendenza del profilo trasversale aumenta a valori dell'ordine di 2,5%. Il profilo trasversale di Figura 4.1 non mostra la presenza di barre sottomarine.

L'adattamento del profilo di spiaggia all'equazione teorica proposta da Dean:

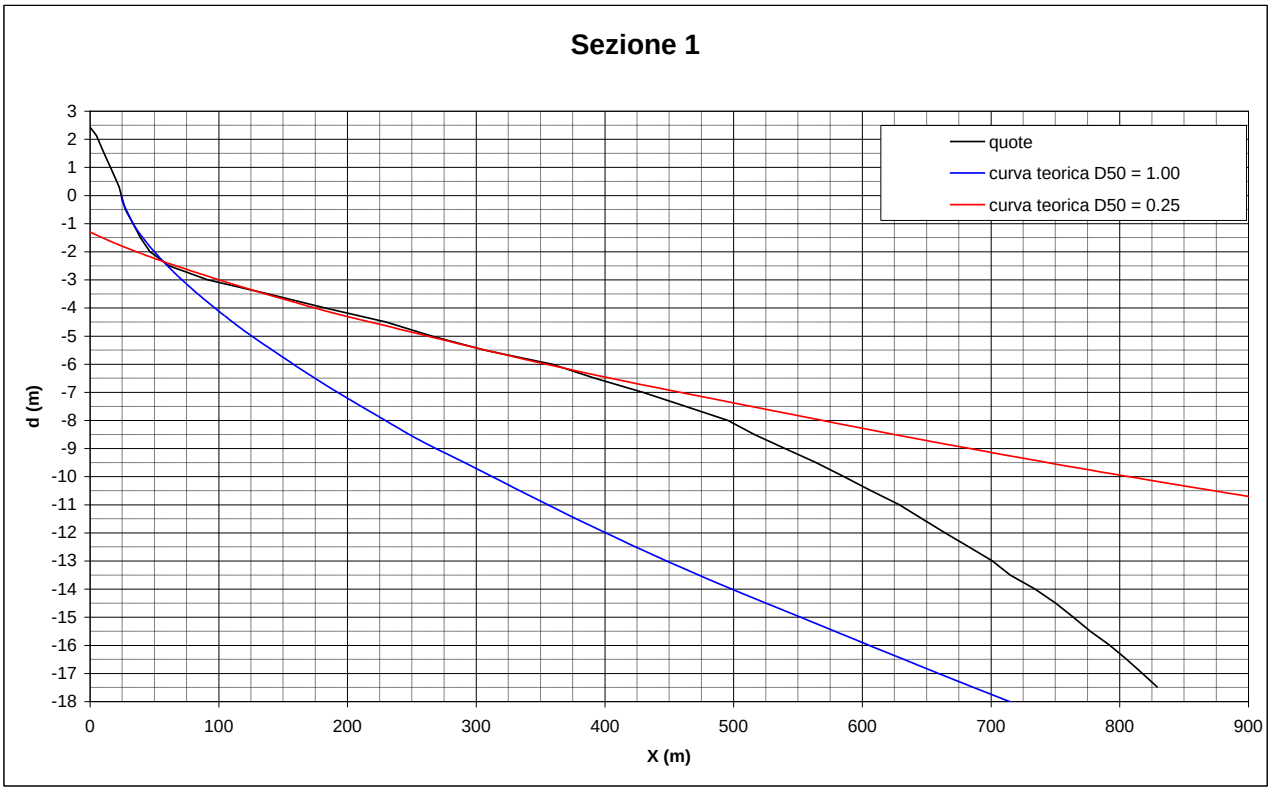
$h=Ay^{2/3}$ essendo:

- A un coefficiente funzione del valore del D_{50};
- y la distanza della linea di riva;
- h la profondità

mostra la presenza di sabbia grossolana (D_{50}=1.0 mm) nella spiaggia sommersa meno profonda fino alla profondità di circa 2,5 m

Alla spiaggia sommersa compresa tra la profondità di 2,5 m e quella di 8,0 m si adatta invece bene la curva teorica relativa a sabbie con un valore del D_{50}=0,25 mm, classificabili al limite inferiore delle sabbie medie. Oltre la profondità di 8,0 m i profili teorici si discostano dal profilo trasversale ricostruito. Tale circostanza indica che tale profondità potrebbe essere assunta come profondità di chiusura della spiaggia attiva, in quanto la disposizione del sedimento per profondità maggiori non sembra condizionata dal moto ondoso.

Figura 4.1 - Profilo trasversale



5. STUDIO DELL'EVOLUZIONE STORICA DELLA SPIAGGIA

L'obiettivo principale della ricostruzione storica dell'evoluzione della linea di riva risiede nella acquisizione dei dati oggettivi di base necessari per la comprensione dell'evoluzione morfologica passata del litorale e di quella in atto. Sulla base di tali tendenze e poi possibile effettuare valutazioni circa l'evoluzione futura del litorale in esame anche in presenza di nuove opere.

Lo studio dell'evoluzione del litorale è stato condotto sull'intera unità fisiografica lunga circa 1,4 km, facendo riferimento alle seguenti fonti di dati:

- linea di riva del 1988 derivata da aerofoto in scala 1:10.000 dall'Atlante Cartografico Italiano a cura del "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (vedi Figura 5.1);
- linea di riva del 1994 derivata da aerofoto in scala 1:10.000 dall'Atlante Cartografico Italiano a cura del "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (vedi Figura 5.2);
- linea di riva del 2000 derivata da aerofoto in scala 1:10.000 dall'Atlante Cartografico Italiano a cura del "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (vedi Figura 5.3);
- linea di riva del 2006 derivata da aerofoto in scala 1:10.000 dall'Atlante Cartografico Italiano a cura del "Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare" (vedi Figura 2.6).

L'analisi delle variazioni della posizione della linea di riva richiede una preliminare georeferenziazione e sovrapposizione dei dati disponibili. Tale sovrapposizione per i dati a disposizione è stata effettuata direttamente dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Il risultato della sovrapposizione delle linee di riva è riportato Figura 5.4 in cui è stata sovrapposta la C.T.del Comune di Pietra Ligure.

Nella Figura 5.4 sono riportate anche le fasi di ampliamento del Porto di Loano e le opere marittime presenti lungo la spiaggia in esame.

Dalla figura si evince che alla fine degli anni '80:

- le opere esterne del Porto di Loano erano rappresentate unicamente da un molo meridionale, che si protendeva verso il mare di soli 50 m;
- era già presente una scogliera radente di circa 400 m di lunghezza, disposta tra la foce del Rio Ranzi e i Cantieri Navali Rodriguez;
- lungo la scogliera sopra detta era già presente un pennello trasversale di circa 50 m di lunghezza, disposto circa 180 m a nord-est della foce del Rio Ranzi;

Dalla Figura 5.4 si evince inoltre che l'ampliamento delle opere esterne del porto di Loano è avvenuto essenzialmente nei primi anni '90, mentre la configurazione attuale delle banchine dello stesso porto risale al 2006.

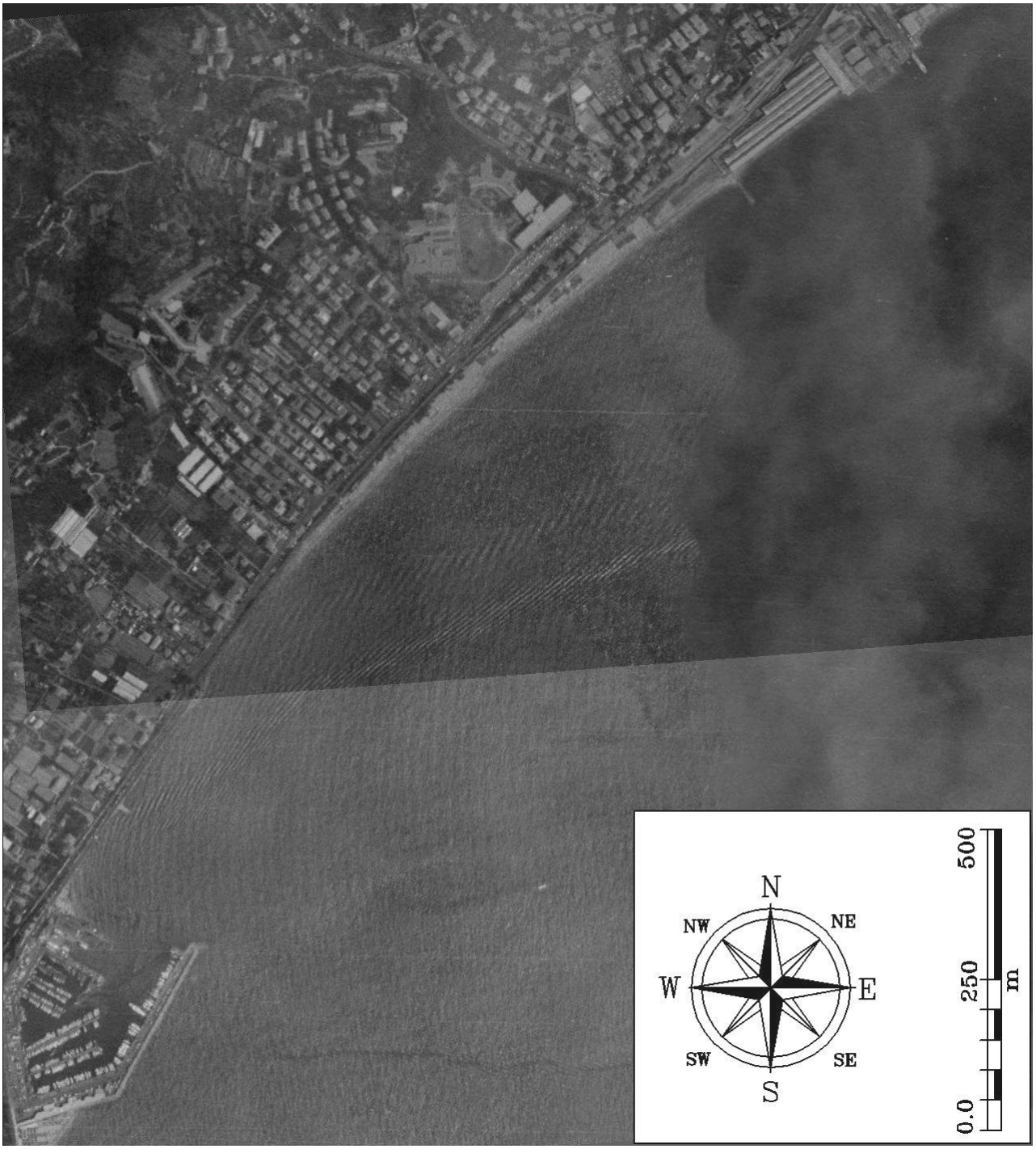
Nella Figura 5.5 è riportata in scala distorta la posizione delle linee di riva tra il 1988 ed il 2006 lungo l'asse di riferimento, avente direzione di 229°N. In Figura 5.6 sono riportati gli spostamenti della linea di riva avvenuti nei periodi 1988÷1994, 1994÷2000 e 2000÷2006 l'ungo lasse di riferimento.

Dall'esame della Figura 5.5 e Figura 5.6 si evince che a seguito della realizzazione delle opere esterne del Porto di Loano si sono manifestati dei fenomeni morfodinamici lungo tutta la spiaggia in esame, con rotazione della linea di riva in senso antiorario intorno ad un punto posto in corrispondenza della foce del Rio Ciappe, circa 250 m a nord-est del porto di Loano. Tale rotazione ha indotto arretramenti della linea di riva con valori compresi tra 10 m e 20 m lungo gran parte della spiaggia ed accumulo di sedimenti nella restante parte di spiaggia più a ridosso del porto, con avanzamenti fino a 50 m.

Al fine di impedire l'ulteriore migrazione del sedimento della spiaggia verso il Porto di Loano, già nel 2000 fu realizzato in riva destra della foce del Rio Ciappe un pennello trasversale di circa 100 m di lunghezza (vedi Figura 5.4). Tra il 2000 ed il 2006 il pennello sopra detto è stato allungato di circa 250 m (vedi Figura 5.4).. Nello stesso periodo è stato realizzato un intervento di ripascimento per la formazione di una spiaggia di circa 70 m di profondità tra il proto di Loano ed il pennello in prossimità della foce del Rio Ciappe (vedi Figura 5.4).

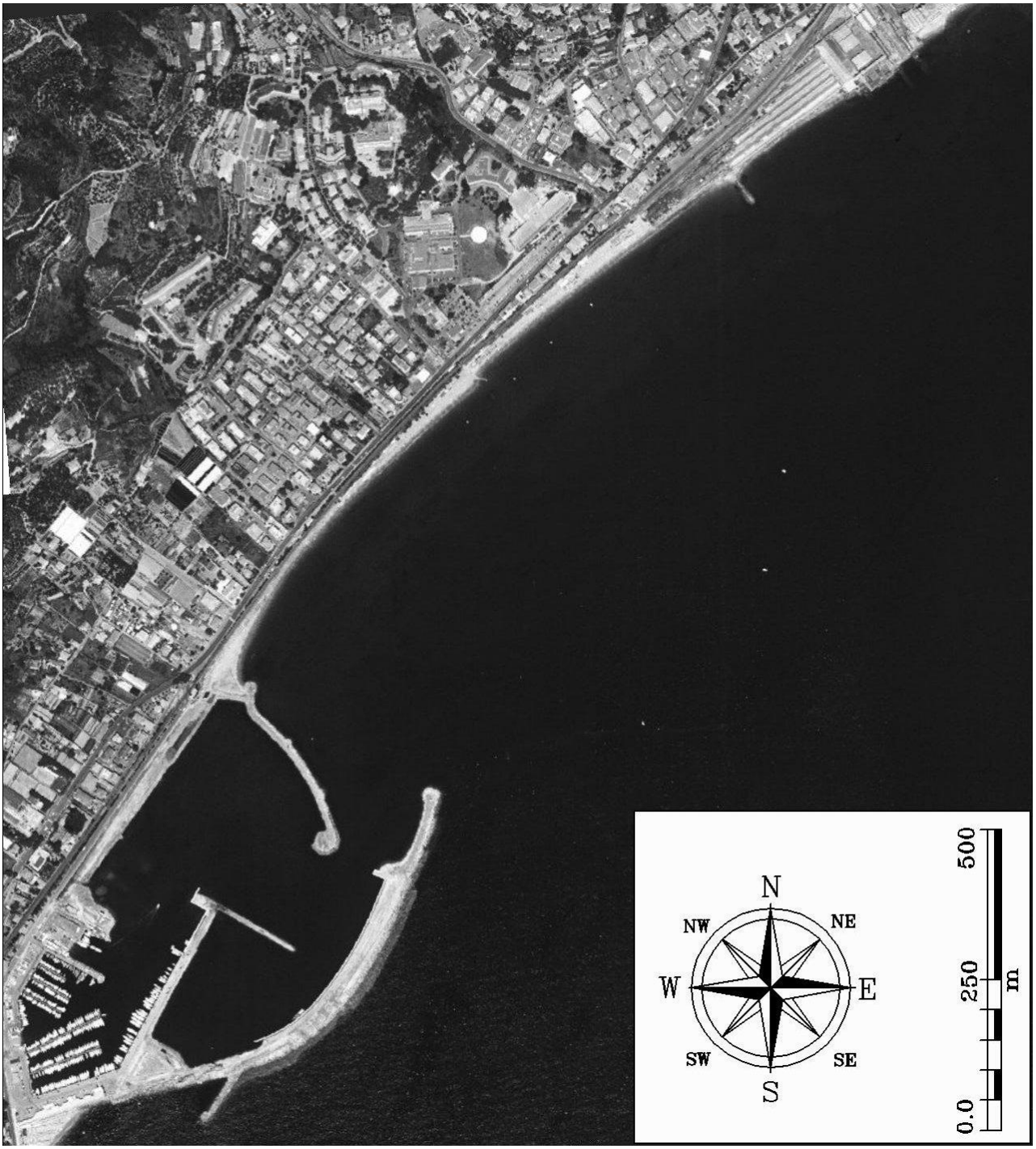
A seguito dei lavori su detti, tra il 2000 ed il 2006, il tratto di circa 250 m di lunghezza a nord est della foce del Rio Ciappe ha subito avanzamenti che hanno raggiunto valori massimi in corrispondenza della foce su detta di circa 20 m, vedi Figura 5.6. La stessa figura mostra come a partire dalla seconda metà degli anni '90 gli spostamenti della linea di riva nella restante parte di spiaggia sono stati modesti, inferiori a 5 m e prossimi ai valori di indeterminazione del modello di analisi utilizzato. In proposito si segnala che le fotografie aeree di riferimento per la determinazione delle linee di riva hanno una scala di 1:10.000 e che in tale scala una linea di spessore di 0,3 mm ha una dimensione di 3 m.

Figura 5.1 – Aerofoto 1988 –Litorale tra il Porto di Loano e i Cantieri Navali Rodriguez – Scala 1:10.000



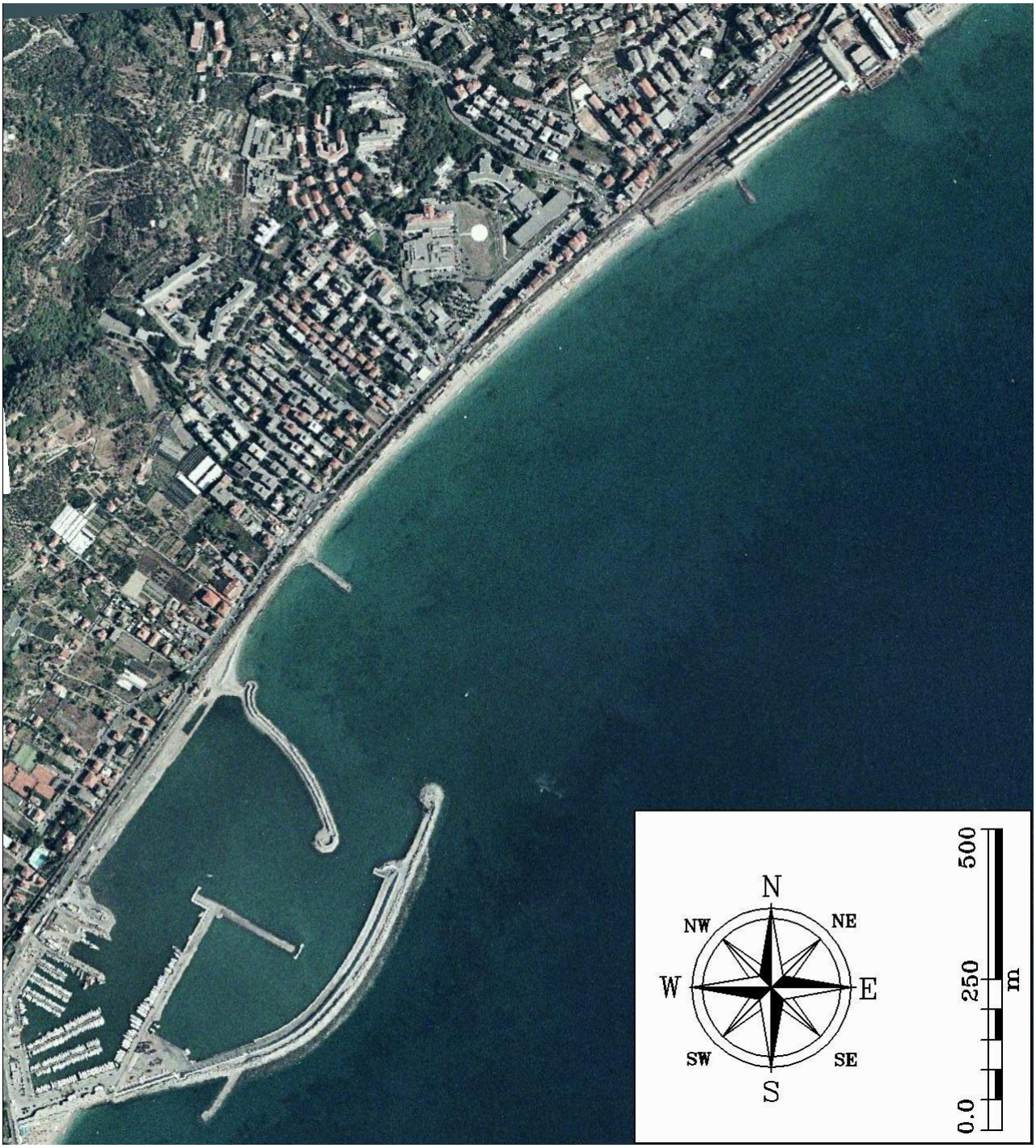
Fonte: Atlante Cartografco Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare

Figura 5.2 – Aerofoto 1994 –Litorale tra il Porto di Loano e i Cantieri Navali Rodriguez – Scala 1:10.000



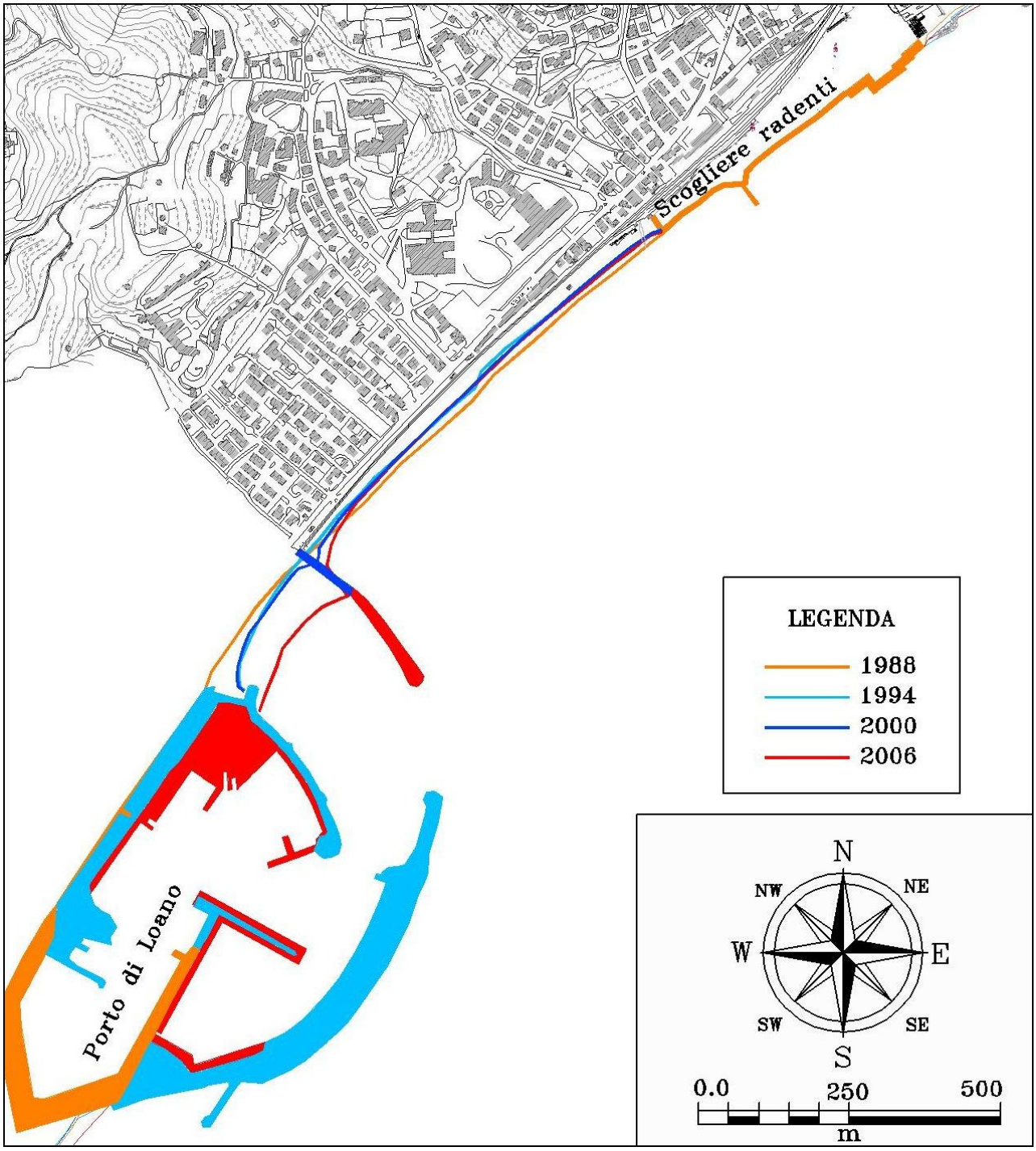
Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare

Figura 5.3 – Aerofoto 2000 –Litorale tra il Porto di Loano e i Cantieri Navali Rodriguez – Scala 1:10.000



Fonte: Atlante Cartografico Italiano - Ministero dell'Ambiente e Tutela del territorio e del Mare

Figura 5.4 – Linee di riva 1988, 1994, 2000 e 2006 tra il Porto di Loano e i Cantieri Navali Rodriguez e fasi di ampliamento del Porto di Loano



Fonte sfondo "Carta Tecnica Comune di Pietra Ligure - scala 1:10.000

Figura 5.5 – Linee di riva 1988, 1994, 2000 e 2006 tra i Cantieri Navali Rodriguez e il Porto di Loano lungo l'asse di riferimento

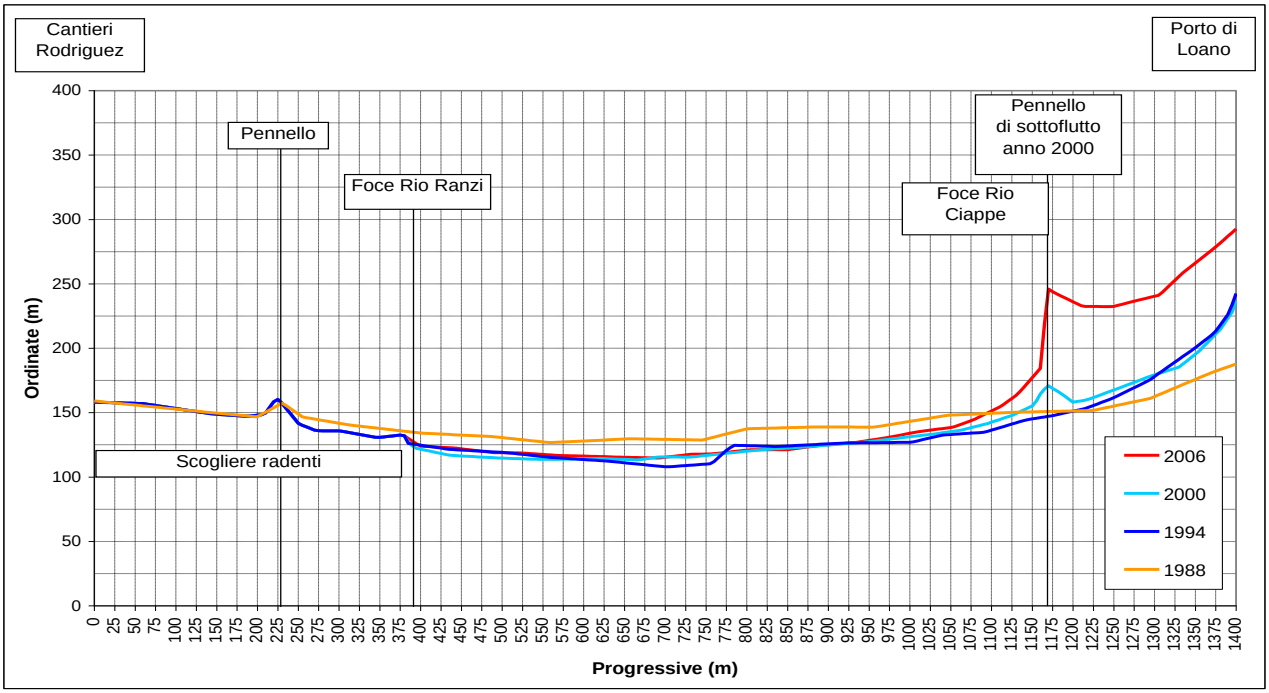
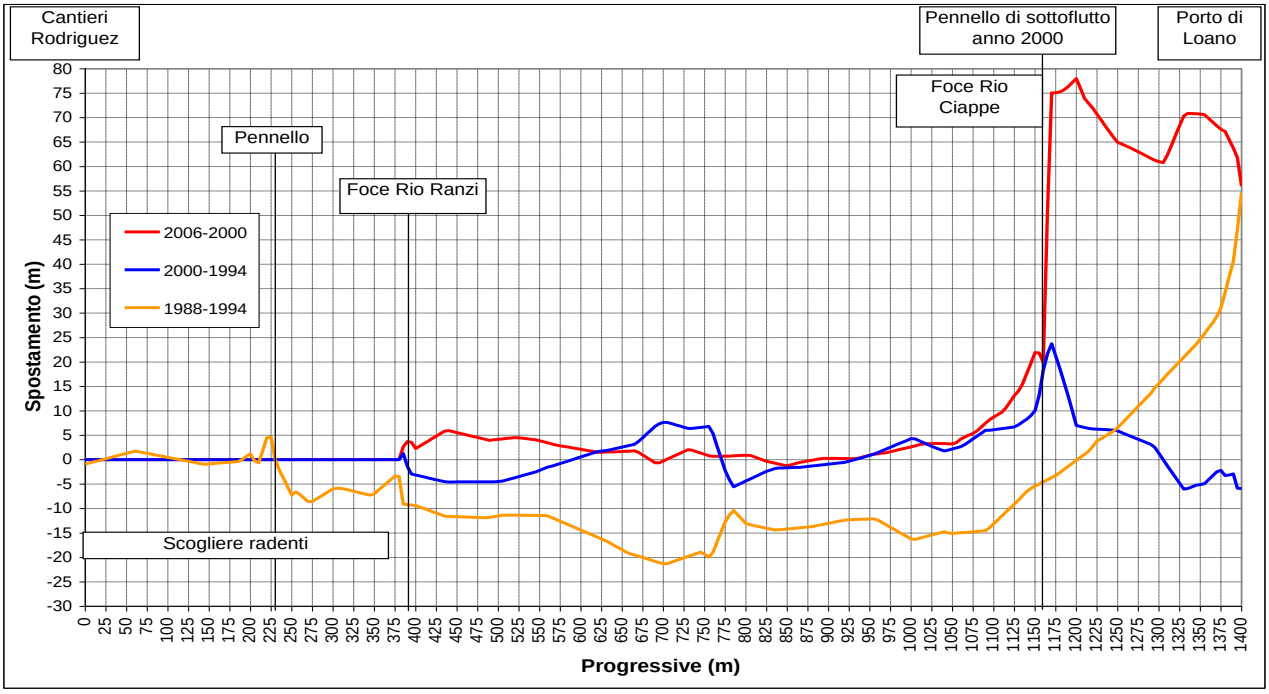


Figura 5.6 – Spostamenti della Linea di riva nel periodo 1988÷2006 tra i Cantieri Navali Rodriguez e il Porto di Loano lungo l'asse di riferimento



6. BILANCIO SOLIDO DEI SEDIMENTI E CALCOLO DELLE PORTATE SOLIDE NETTE LONGITUDINALI

L'analisi volumetrica relativa ai cambiamenti morfologici del fondale consente di valutare quantitativamente il volume di sedimento accumulato od eroso lungo la spiaggia in oggetto e di determinare lungo la stessa l'andamento delle portate solide nette medie nell'intervallo di tempo intercorso tra i rilievi. Nel caso in cui risulti nota anche la portata solida netta in un punto, l'analisi volumetrica consente di definire anche quantitativamente tali portate solide. Nel caso in esame possono essere considerati trascurabili gli scambi solidi tra le spiagge separate dal Porto di Loano, le cui opere foranee attualmente raggiungono quasi la profondità di chiusura della spiaggia attiva. Per una corretta applicazione del metodo è necessario conoscere anche le portate solide apportate dai corsi d'acqua che sfociano lungo la spiaggia. Nel caso in esame gli apporti solidi dei corpi idrici che sfocino lungo la spiaggia, rappresentati dal Rio Ciappe e dal Rio Ranzi, possono essere considerati trascurabili ai fini di un bilancio solido dei sedimenti, come si è detto in precedenza.

In generale considerate due sezioni trasversali poste ad interasse "ds" lungo la linea di riva, in assenza di apporti o perdite di materiale solido trasversali *q*, la variazione di volume ΔV nell'intervallo di tempo *dt* tra le due sezioni è pari, per il principio di conservazione della massa, alla variazione della portata *Q* lungo la linea di riva ovvero:

$$\Delta V/dt = -\partial Q/\partial s \, ds \qquad \textbf{6.1a)}$$

Nell'equazione precedente si sono considerando positivi i flussi solidi diretti nel verso positivo del sistema di riferimento assunto lungo la linea di riva e positivi gli aumenti di volume.
Nel caso in cui tra le sezioni considerate è presente un flusso trasversale *q* l'equazione precedente si trasforma nella:

$$\Delta V/dt = -\partial Q/\partial s \, ds + q \qquad \textbf{6.1b)}$$

essendo *q* il flusso trasversale, considerato positivo nel caso di apporto solido e negativo in caso di perdita di materiale solido.

L'analisi volumetrica richiede la disponibilità di rilievi storici della batimetria e topografia della fascia litoranea, molto spesso difficilmente reperibili per l'intero tratto di spiaggia da investigare, come nel caso in esame. Per effettuare l'analisi volumetrica in assenza di rilievi storici batimetrici si ricorre a modelli morfodinamici che fanno riferimento ai soli dati storici delle linee di riva, oggi facilmente reperibili.

Tali modelli si basano sull'osservazione che le spiagge, pur modificandosi, tendono a conservare la forma del profilo trasversale nel suo insieme (a meno del sistema di barre e truogoli). Diversi autori (es. Dean) hanno infatti osservato che la forma del profilo trasversale della spiaggia sommersa fino alla profondità entro la quale si muove il materiale sotto l'azione del moto ondoso ("profondità di chiusura della spiaggia attiva") può essere espresso, a meno del sistema di barre e truogoli, attraverso leggi del tipo:

$$d_s = -A\, y^{\gamma} \qquad \textbf{6.2a)}$$

essendo :

- y la distanza dalla linea di riva;
- d_s la profondità del fondale alla distanza y dalla linea di riva, considerando positive le ascisse verticali dirette verso l'alto;
- A un coefficiente funzione del diametro del sedimento;
- γ un coefficiente esponenziale compreso tra 0 ed 1, pari secondo Dean a 2/3;

Per esprimere analiticamente il profilo della porzione di spiaggia emersa che partecipa attivamente ai fenomeni di dinamica costiera in genere si osserva che esso ha un'altezza limitata e può essere schematizzato in un tratto orizzontale ed una zona soggetta ai fenomeni di set-up e run-up esprimibile con una legge simile alla 6.1a del tipo:

$$d_e = B\, y^{\beta} \qquad \textbf{6.3b)}$$

essendo :

- d_e l'altezza della spiaggia emersa alla distanza y dalla linea di riva;
- B un coefficiente funzione del diametro del sedimento;
- β un coefficiente esponenziale >0, assunto nel modello pari ad 1.

In generale la forma del profilo trasversale di spiaggia è funzione della risultante energetica del moto ondoso incidente e della granulometria del sedimento. La risultante energetica del moto

ondoso lungo il profilo è funzione della sua esposizione al moto ondoso e del clima meteomarino incidente. Il clima meteomarino per intervalli di tempo annuali come quelli considerati negli studi morfodinamici a lungo e medio termine, può essere considerato in prima approssimazione costante e pari al suo valore medio annuale. La composizione granulometrica del fondale, a meno di eventi particolari che ne modificano repentinamente la composizione, può essere considerata costante nel tempo.

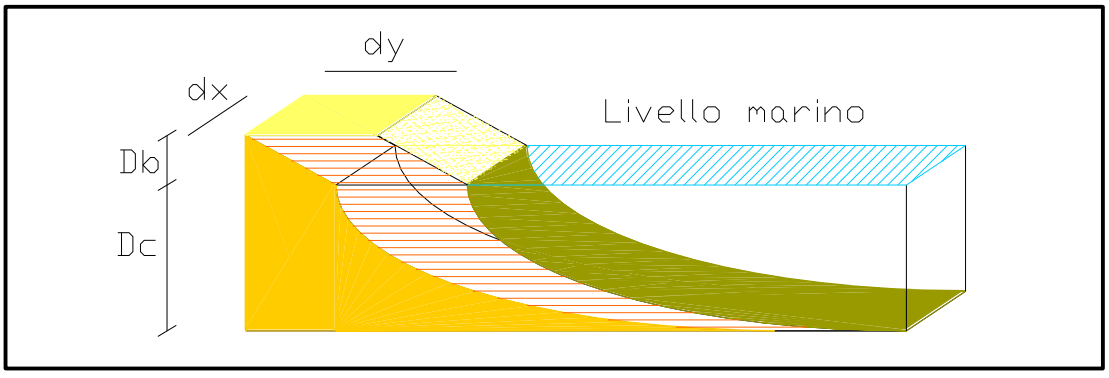
Le osservazioni fatte in precedenza consentono di poter affrontare il problema dell'analisi volumetrica a medio e lungo termine in base alla sola variazione della linea di riva nell'ipotesi di conservazione della forma del profilo trasversale. Infatti sotto tale ipotesi per spiagge con forma planimetrica abbastanza rettilinea, detto x l'asse parallelo alla linea di riva, l'equazione 6.1a diventa per qualsiasi forma del profilo trasversale (vedi Figura 6.1):

$$\Delta V = (D_c + D_b)\, dy\, dx \qquad \textbf{6.3)}$$

essendo:

- dx la distanza tra le due sezioni;
- dy lo spostamento della linea di riva;
- D_c la profondità di chiusura oltre la quale non avviene sostanziale movimento del materiale;
- D_b la altezza della spiaggia emersa che partecipa ai fenomeni di dinamica costiera per effetto dei fenomeni di wave set-up e run-up.

Figura 6.1 - Variazioni di volume per spiagge rettilinee



Nel presente studio si è ricorso all'uso del programma Polyfemus sviluppato dalla Modiferr di Roma. Posto D_c=8,0 m e D_b =2,5 m, con l'uso della relazione 6.2, si ottengono le variazioni di volume tra le sezioni ad interasse di 5 metri riportate in Figura 6.2. Nella figura si intendono positivi i volumi di sabbia accumulati e negativi quelli persi.

Le variazioni volumetriche determinate in base alle linee di riva degli anni 1988, 1994, 2000 e 2006 dei tratti di spiaggia compresi tra i Cantieri Rodriguez e la foce del Rio Ciappe (progr. 1165), tra la foce del Rio Ciappe e il Porto di Loano (progr. 1400), nonché quelle dell'intera spiaggia esaminata, sono riportati in Tabella 6.1. In Tabella 6.2 sono riportate le variazioni volumetriche medie annue per gli stessi tratti di costa e per gli stessi periodi.

Dall'analisi della Tabella 6.1 e Tabella 6.2 e dalla Figura 6.1 si evince che a seguito della realizzazione del porto di Loano (confronto tra la linea di riva dell'aerofoto del 1988 e quello dell'aerofoto del 1994) si è verificato:

- una perdita di circa 120.000 metri cubi di spiaggia nel tratto compreso tra i Cantieri Rodriguez e la foce del Rio Ciappe (per un valore medio di circa 20.300 m^3/anno);
- una accumulo di circa 34.000 metri cubi di spiaggia nel tratto compreso tra la foce del Rio Ciappe ed il porto di Loano (per un valore medio di circa 5.600 m^3/anno);
- una perdita complessiva di circa 88.000 metri cubi di spiaggia (per un valore medio di circa 14.700 m^3/anno).

Il confronto tra l'aerofoto del 1994 e quella del 2000 mostra:

- un aumento del volume di spiaggia di circa 9.500 metri cubi nel tratto compreso tra i Cantieri Rodriguez e la foce del Rio Ciappe (per un valore medio di circa 1.600 m^3/anno);
- un aumento del volume di spiaggia di circa 7.300 metri cubi nel tratto compreso tra la foce del Rio Ciappe ed il porto di Loano (per un valore medio di circa 1.200 m^3/anno);
- un aumento complessivo del volume di spiaggia di circa 16.800 metri cubi (per un valore medio di circa 2.800 m^3/anno).

Il confronto tra l'aerofoto del 2000 e quella del 2006 mostra che a seguito dell'intervento di ripascimento eseguito ad est del Porto di Loano si è verificato:

- un aumento del volume di spiaggia di circa 15.000 metri cubi nel tratto compreso tra i Cantieri Rodriguez e la foce del Rio Ciappe (per un valore medio di circa 2.600 m^3/anno);
- un aumento del volume di spiaggia di circa 85.000 metri cubi nel tratto compreso tra la foce

del Rio Ciappe ed il porto di Loano (per un valore medio di circa 14.400 m^3/anno);

- un aumento complessivo del volume di spiaggia di circa 100.000 metri cubi (per un valore medio di circa 17.000 m^3/anno).

La perdita complessiva di materiale solido del periodo tra il 1988 ed il 1994 indica che le modifiche morfologiche indotte dalla realizzazione del porto di Loano hanno implicato insieme ad uno spostamento longitudinale del sedimento anche uno spostamento trasversale del sedimento verso gli alti fondali.

L'aumento complessivo del volume di spiaggia evidenziato dal modello del periodo tra il 1994 ed il 2000 è dello stesso ordine di grandezza delle variazioni di volume imputabili all'indeterminazione del modello basato su aerofoto in scala 1:10.000.

Tabella 6.1 - Variazioni volumetriche (in m^3) tra i Cantieri Navali Rodriguez e il Porto di Loano (anni 1988– 2006)

	Progressive (m)		
	0-1165	**1165-1400**	**0-1400**
Periodo	**Volume (m^3)**	**Volume (m^3)**	**Volume (m^3)**
1988-1994	-121 819	33 747	-88 073
2000-1994	9 540	7 303	16 843
2006-2000	15 514	86 377	101 891

Tabella 6.2 - Variazioni volumetriche medie annue (in m^3) tra i Cantieri Navali Rodriguez e il Porto di Loano (anni 1988– 2006)

	Progressive (m)		
	0-1165	**1165-1400**	**0-1400**
Periodo	**(m^3/anno)**	**(m^3/anno)**	**portata (m^3/anno)**
1988-1994	-20 303	5 624	-14 679
2000-1994	1 590	1 217	2 807
2006-2000	2 586	14 396	16 982

Il modello Polyfemus consente di integrare lungo l'asse di riferimento l'equazione 6.1 note le condizioni di portata solida all'estremità. Nel caso in esame è stata posta come condizione al contorno il valore nullo della portata solida in corrispondenza del porto di Loano.

Il valore della portata solida netta lungo la spiaggia compresa tra i Cantieri Rodriguez ed il Porto di Loano ottenuta con l'utilizzo del modello Polyfemus è rappresentata in Figura 6.3. La portata solida

netta è da intendersi media nei periodi di tempo 1988÷1994, 1994÷2000 e 2000÷2006. Dall'analisi della Figura 6.3 si evince che:

- nel periodo 1988÷1994 si è verificata una migrazione del sedimento lungo tutta la spiaggia verso il porto di Loano con valori massimi dell'ordine dei 20.000 m^3/anno in corrispondenza della foce del Rio Ciappe;
- nel periodo 1994÷2000 si è verificata una migrazione del sedimento verso il pennello realizzato alla foce del Rio Ciappe, con una portata solida longitudinale di circa 2.000 m^3/anno diretta da nord-est verso sud-ovest nel tratto compreso tra la foce del Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe e una portata solida longitudinale con valori massimi di circa 1.000 m^3/anno diretta da sud-ovest verso nord-est nel tratto compreso tra la foce del Rio Ciappe e il Porto di Loano; in corrispondenza del Rio Ciappe in questo periodo si è verificata l'inversione dei flussi solidi longitudinali;
- nel periodo 2000÷2006 l'intera spiaggia ha beneficiato dell'intervento di ripascimento effettuato a nord-est del Porto di Loano, con migrazione del sedimento dalla zona del ripascimento fino alla foce del Rio Ranzi (da sud-ovest verso nord-est) con valori del trasporto solido longitudinale netto di circa 20.000m^3/anno.

In conclusione si può affermare che a seguito della realizzazione del Porto di Loano avvenuta tra il 1988 ed il 1994 si è verificata la modifica morfodinamica del litorale compreso tra i Cantieri Navali Rodriguez ed il Porto di Loano, con migrazione del sedimento verso il porto di Loano e perdite verso gli alti fondali. La spiaggia di conseguenza ha subito una rotazione in senso antiorario intorno alla foce del Rio Ciappe.

La realizzazione del pennello in riva destra del Rio Ciappe nel periodo tra il 1994 ed il 2000 ha comportato una leggera migrazione del sedimento verso il pennello.

I lavori di prolungamento del pennello in riva destra del Rio Ciappe e quelli di ripascimento a nord-est del porto di Loano effettuati tra il 2000 ed il 2006 hanno determinato la formazione di una spiaggia di circa 70 m di larghezza tra il pennello ed il porto e la migrazione verso nord-est di una parte dei volumi di sabbia versati con benefici lungo tutta la spiaggia.

Alla luce di quanto detto sopra in assenza di ulteriori interventi si può prevedere un trasporto solido netto longitudinale scarso.

Figura 6.2 - Andamento della variazione di volume lungo l'asse di riferimento

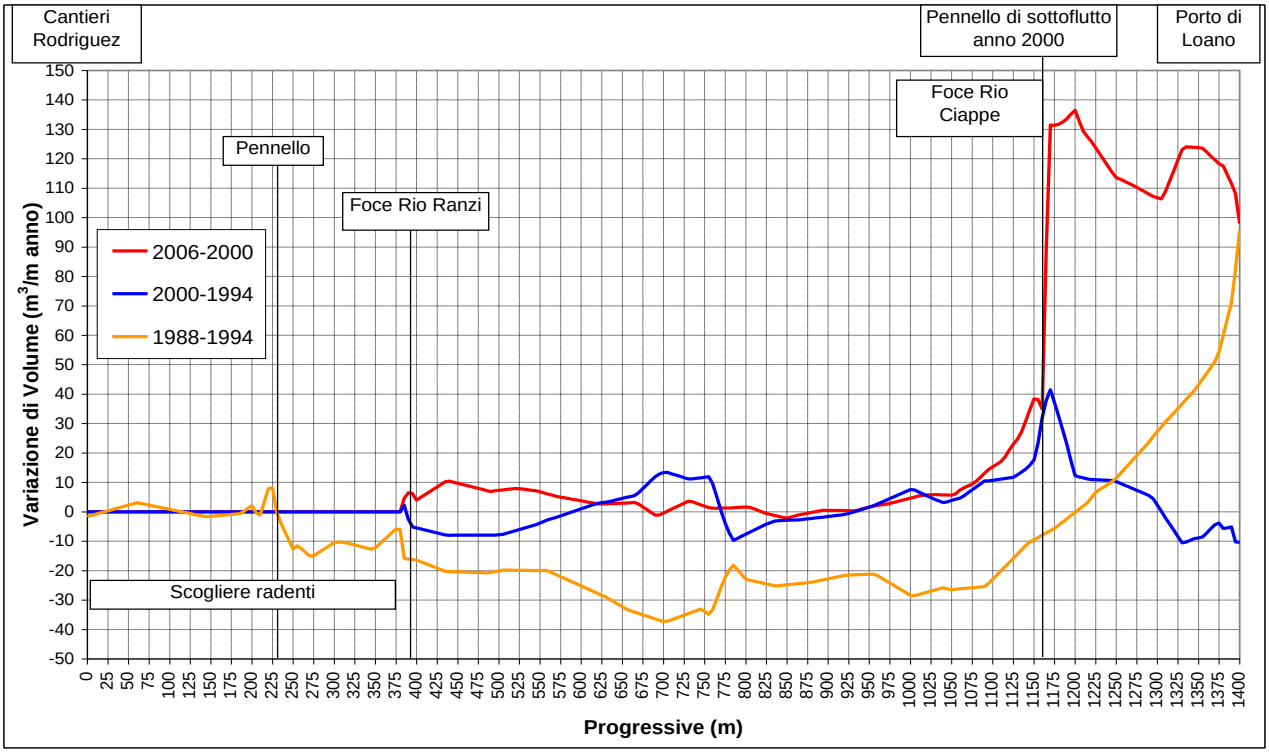
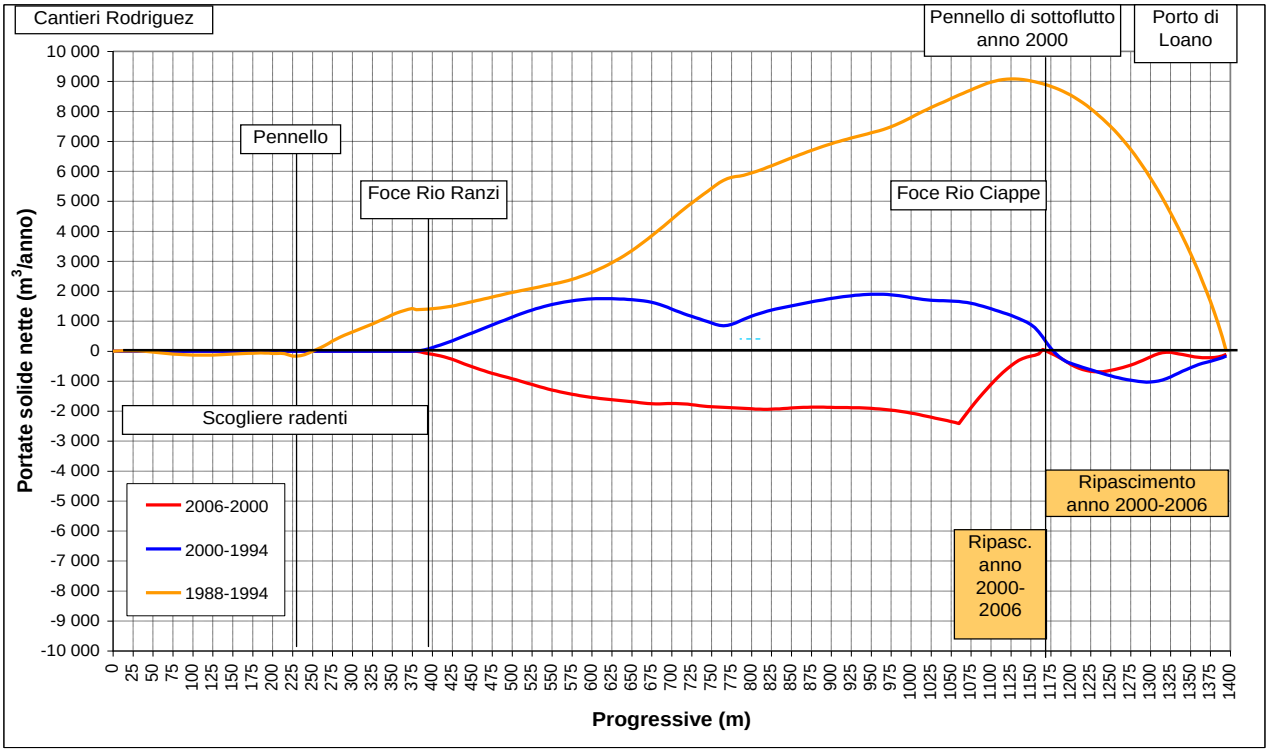


Figura 6.3 - Andamento del trasporto solido netto medio annuo lungo l'asse di riferimento



7. APPLICAZIONE DEL MACROMODELLO MORFODINAMICO

7.1 Il macromodello nella foma cubica di Mita

A partire dalle osservazioni di Krumbein (1947) che le baie in equilibrio statico (senza trasporto solido longitudinale) assumono una forma planimetrica caratteristica per cui le onde incidenti predominanti propagandosi sul fondale, per effetto della diffrazione, rifrazione e shoaling, raggiungono le condizioni di frangimento nello stesso tempo lungo l'intera linea di riva, molti autori negli ultimi 40 anni hanno tentato di esprimere con semplici formule la forma planimetrica di queste baie.

Silvester (1970) sulla base dell'osservazione di molte spiagge australiane ha trovato che le baie in equilibrio statico assumono una forma planimetrica che dipende solo dalla direzione delle onde incidenti predominanti, dalla posizione dell'estremità della baia (fuoco di diffrazione F) e dalla posizione del punto P_o (punto di controllo) definito come il punto in cui la linea di spiaggia è parallela alle linea delle creste d'onda (vedi Figura 7.1).

L'influenza dell'altezza e del periodo d'onda, delle mare e delle caratteristiche del sedimento sembrano essere secondari, come hanno confermato diversi autori.

Silvester (1970) notò inoltre che anche l'intaccatura "a" della spiaggia, cioè la distanza tra la linea di controllo (retta congiungente il fuoco ed il punto di controllo) e la tangente alla baia ed essa parallela, dipende dagli stessi parametri da cui dipende la forma planimetrica (vedi Figura 7.1).

In coordinate polari, con il centro coincidente con il fuoco di diffrazione F e origine degli angoli nella direzione delle creste d'onda incidente predominante, la posizione di ogni punto P lungo la baia è definito da:

1. la distanza R tra il fuoco di diffrazione F ed il punto P;
2. l'angolo θ tra la direzione delle creste delle onde incidenti predominanti e la linea che congiunge il fuoco di diffrazione F ed il punto P.

Il punto di controllo P_o è individuato dalla distanza R_o e dall'angolo β (vedi Figura 7.1).

Silvester ha proposto di esprimere la funzione in coordinate polari:

$$R/R_o = f(\beta, \theta)$$

con una spirale logaritmica, successivamente Hsu and Evans (1989) hanno proposto un'espressione

polinomiale del secondo ordine nella variabile β/θ e coefficienti funzione di β.

Infine Mita (2010) ha proposto un'espressione polinomiale del terzo ordine nella variabile β/θ, e coefficienti funzione di β, più corretta dal punto di vista matematico e più facilmente applicabile dal punto di vista ingegneristico rispetto alle precedenti:

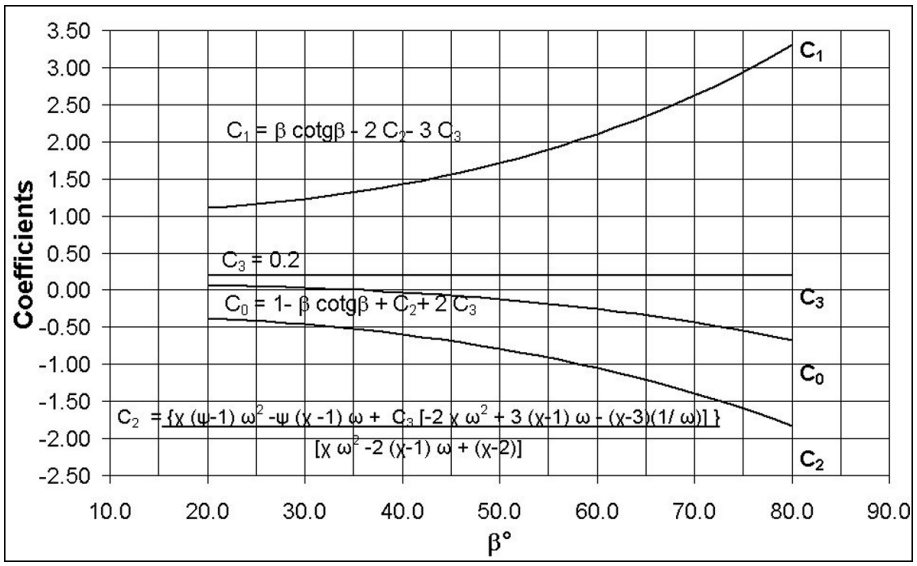
$$R/R_o = f(\beta/\theta) = C_0 + C_1(\beta/\theta) + C_2(\beta/\theta)^2 + C_3(\beta/\theta)^3$$

L'espressione dei 4 coefficienti proposti da Mita è riporta nella tabella seguente.

Nel caso di spiagge delimitate da due capi rocciosi (o opere marittime) in funzione della distanza tra i due capi rocciosi si possono individuare alternativamente:

- due tratti di spiaggia di estremità controllati ognuno da un capo roccioso e un tratto centrale in cui la spiaggia è parallela alle linea delle creste d'onda incidenti;
- due tratti di spiaggia controllati ognuno da un capo roccioso, divisi da un unico punti di controllo, detto punto di transizione P_t (vedi Figura 7.1), in cui la spiaggia è parallela alle linea delle creste d'onda incidenti.

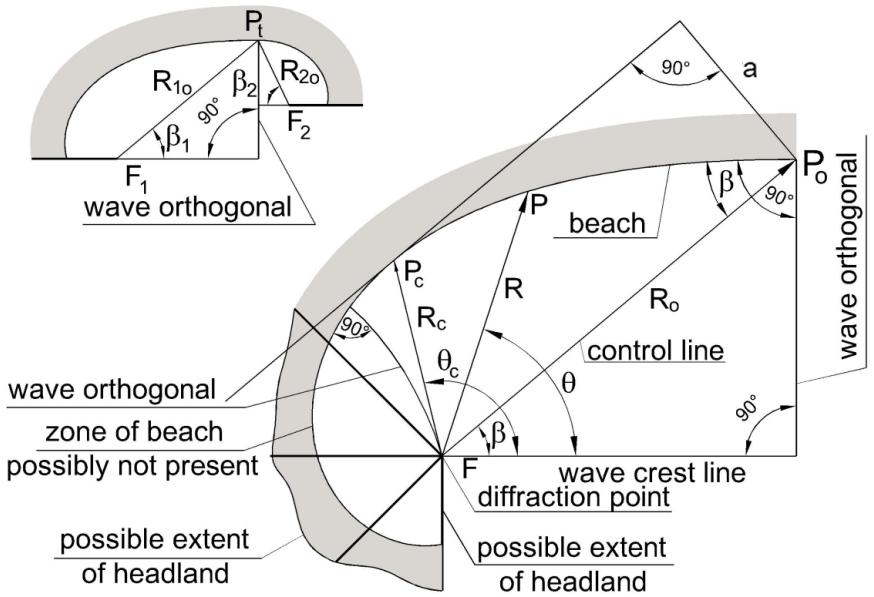
Tabella 7.1 – Espressione dei coefficienti C_0, C_1, C_2, C_3 Mita (2010)



β°	C_0	C_1	C_2	C_3	R/R_0 for θ=β	α° for θ=β	θ_c°
20	0.06616	1.10864	−0.37479	0.20000	1.000	20.0	83.00
22	0.06166	1.12632	−0.38798	0.20000	1.000	22.0	85.00
24	0.05602	1.14714	−0.40316	0.20000	1.000	24.0	87.00
26	0.04928	1.17105	−0.42033	0.20000	1.000	26.0	89.00
28	0.04144	1.19803	−0.43946	0.20000	1.000	28.0	91.00
30	0.03251	1.22807	−0.46059	0.20000	1.000	30.0	93.00
32	0.02249	1.26123	−0.48372	0.20000	1.000	32.0	95.00
34	0.01134	1.29755	−0.50889	0.20000	1.000	34.0	97.00
36	−0.00095	1.33710	−0.53615	0.20000	1.000	36.0	99.00
38	−0.01442	1.37996	−0.56553	0.20000	1.000	38.0	101.00
40	−0.02911	1.42622	−0.59711	0.20000	1.000	40.0	103.00
42	−0.04506	1.47601	−0.63094	0.20000	1.000	42.0	105.00
44	−0.06233	1.52942	−0.66710	0.20000	1.000	44.0	107.00
46	−0.08095	1.58659	−0.70564	0.20000	1.000	46.0	109.00
48	−0.10099	1.64766	−0.74667	0.20000	1.000	48.0	111.00
50	−0.12251	1.71276	−0.79025	0.20000	1.000	50.0	113.00
52	−0.14557	1.78206	−0.83649	0.20000	1.000	52.0	115.00
54	−0.17023	1.85571	−0.88548	0.20000	1.000	54.0	117.00
56	−0.19657	1.93389	−0.93732	0.20000	1.000	56.0	119.00
58	−0.22467	2.01679	−0.99212	0.20000	1.000	58.0	121.00
60	−0.25459	2.10459	−1.04999	0.20000	1.000	60.0	123.00
62	−0.28643	2.19749	−1.11106	0.20000	1.000	62.0	125.00
64	−0.32027	2.29573	−1.17546	0.20000	1.000	64.0	127.00
66	−0.35619	2.39952	−1.24333	0.20000	1.000	66.0	129.00
68	−0.39431	2.50911	−1.31480	0.20000	1.000	68.0	131.00
70	−0.43471	2.62476	−1.39004	0.20000	1.000	70.0	133.00
72	−0.47752	2.74673	−1.46921	0.20000	1.000	72.0	135.00
74	−0.52284	2.87533	−1.55249	0.20000	1.000	74.0	137.00
76	−0.57079	3.01087	−1.64007	0.20000	1.000	76.0	139.00
78	−0.62151	3.15366	−1.73215	0.20000	1.000	78.0	141.00
80	−0.67514	3.30408	−1.82894	0.20000	1.000	80.0	143.00

Fonte M. Mita 2010

Figura 7.1 – Definizione delle variabili per baie in equilibrio in coordinate polari



- F is the diffraction point, the center of the spiral;
- P_o is the control point at the downcoast beach line where the tangent to the beach is parallel to the incident wave crests;
- β is the angle between the incident wave crests and the straight line which joins the diffraction point F to the point P_o (control line);
- R_o is the distance between the diffraction point F and point P_o;
- P is a generic point on the shoreline;
- θ is the angle formed by the wave crest line with the segment FP;
- R is the distance between the diffraction point F and the generic point P;
- P_c is the critical point at which the tangent parallel to the control line is asymptotic to the beach;
- "a" is the distance between the straight line between F and P_o and the straight line passing through P_c parallel to the segment FP_o;
- θ_c is the angle formed by the wave crest line with the segment FP_c;
- R_c is the distance between point P_c and the diffraction point F;
- $(\theta_c-\beta)$ is the critical angle;
- a/R_o is the indentation ratio of a beach in equilibrium;
- P_t is the transition point.

Fonte M. Mita 2010

7.2 Determinazione della foma planimetrica di equilibrio della spiaggia in esame

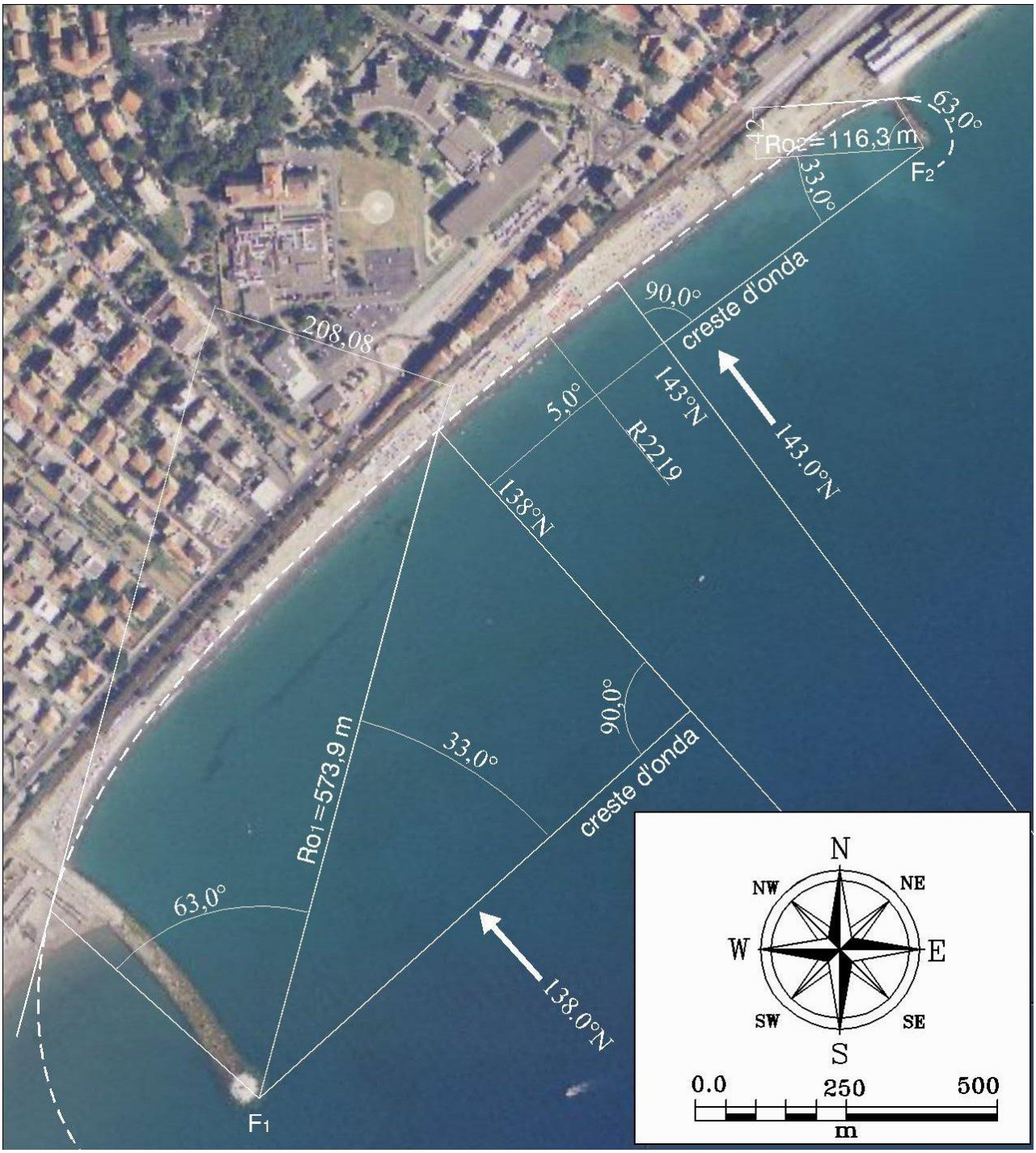
Il modello morfodinamico di Mita (2010) è stato applicato per individuare la forma di equilibrio che nelle condizioni attuali assumerebbe la spiaggia compresa tra il pennello trasversale in riva destra della foce del Rio Ciappe ed il pennello della scogliera radente dei Cantieri Rodriguez.

La conformazione della piattaforma continentale nella parte centrale della spiaggia è tale che la direzione normale alle linee batimetriche e alla linea di riva varia spostandosi verso nord-est tra i 138°N ed i 143°N. Il tratto centrale della spiaggia è approssimabile ad un arco di cerchio di raggio pari a 2.219 m ed ampiezza pari a 5°. Considerando la direzione delle onde incidenti di 138°N ed applicando alla parte sud-occidentale della spiaggia il macro modello morfodinamico nella formula cubica si ottiene la curva di Figura 7.2 relativa ad un angolo β di 33° ed una distanza R_o pari a 573,9 m. L'intaccatura della spiaggia nella conformazione di equilibrio risulta di circa 208 m, pari a quella della spiaggia nella configurazione attuale. La forma attuale della spiaggia sud-occidentale controllata dalle opere foranee del Porto di Loano risulta leggermente avanzata (circa 2 m) rispetto a quella di equilibrio nella tratto settentrionale, mentre in quello meridionale prossimo al pennello della foce del Rio Ciappe risulta leggermente arretrata. Questo mette in luce che nel tempo si dovrebbe verificare ancora una leggera migrazione del sedimento verso la zona riparata dal pennello.

Considerando la direzione delle onde incidenti di 143°N ed applicando il su detto macro modello alla parte nord-orientale della spiaggia controllata dal pennello della scogliera radente si ottiene la curva di Figura 7.2, relativa ad un angolo β di 33° ed una distanza R_o pari a 116,3 m. L'intaccatura della spiaggia nella conformazione di equilibrio risulta di circa 42 m, pari a quella della spiaggia nella configurazione attuale. La forma attuale della spiaggia nord-orientale risulta prossima a quella di equilibrio.

In definitiva si può affermare che attualmente la spiaggia compresa tra la foce del Rio Ciappe e la foce del Rio Ranzi ha quasi raggiunto una conformazione di equilibrio statico.

Figura 7.2 – Forma geometrica di equilibrio della spiaggia tra la foce del Rio Ciappe e i Cantieri Navali Rrodriguez nelle condizioni attuali



7.3 Verifica dell'influenza del Porto Turistico sulla spiaggia in esame

Per verificare l'influenza del Porto Turistico dei Cantieri Navali Rodriguez sulla spiaggia in esame è stato applicato nuovamente il modello morfodinamico di Mita (2010).

Introducendo nel modello la posizione del nuovo fuoco di diffrazione F_3 relativo alle opere esterne in progetto e mantenendo il valore dell'angolo β individuato in precedenza per le attuali condizioni di equilibrio e la direzione delle onde incidenti dominanti di 138°N risulta che la nuova conformazione di equilibrio presenta un punto di transizione. La posizione del punto di transizione è. funzione oltre che della posizione dei due fuochi di diffrazione anche della quantità di sedimento presente lungo la spiaggia.

Spostando il punto di transizione lungo l'ortogonale alle creste d'onda passante per la congiungente delle linee di controllo individuate dell'angolo β di 33° relative alla condizione di assenza di influenza reciproca dei due fuochi ed applicando le equazione del bilancio solido dei sedimenti si ottiene la configurazione di equilibrio di Figura 7.3. Nel caso in esame le elaborazioni sono state condotte con il programma di calcolo Nautilus sviluppato dalla Modiferr di Roma che utilizza l'espressione della forma della spiaggia di equilibrio in forma cubica.

Per la porzione di spiaggia controllata dal Porto di Loano è risultato che la nuova conformazione di equilibrio è relativa ad un angolo β di 34° ed una distanza R_o pari a 565,5 m. L'intaccatura della spiaggia nella conformazione di equilibrio risulta di circa 198 m.

Per la porzione di spiaggia controllata dal Porto Turistico dei Cantieri Navali Rodriguez è risultato che la conformazione di equilibrio è relativa ad un angolo β di 34,5° ed una distanza R_o pari a 301,2 m. L'intaccatura della spiaggia nella conformazione di equilibrio risulta di circa 112 m.

In Figura 7.4 sono riportate le linee di riva del 2006 (linea nera), la linea di riva di equilibrio nella condizione attuale (linea blu) e la linea di riva di equilibrio con il porto turistico in progetto.

In Figura 7.5 sono riportati gli spostamenti della linea di riva necessari al raggiungimento della configurazione di equilibrio nella condizione attuale ed in presenza del porto turistico in progetto rispetto alla linea di riva del 2006.

In Figura 5.6 sono riportati gli scostamenti dalla condizione di equilibrio attuale e quelli dalla condizione di equilibrio in presenza del proto turistico in progetto. Dalla figura si evince che

rispetto alla condizione di equilibrio attuale in presenza delle nuove opere portuali la spiaggia tra la foce del Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe subisce:

- un avanzamento della linea di riva nel tratto di circa 125 m di lunghezza prossimo alla foce del Rio Ranzi, con avanzamenti medi di 19 m e avanzamenti massimi di 45 m a ridosso del proto turistico;
- un arretramento lungo la restante parte di spiaggia di circa 3 m.

In Figura 7.7 sono riportate le variazioni di volume lungo l'asse di riferimento necessarie al raggiungimento della configurazione planimetrica di equilibrio nelle condizioni attuali ed in quelle con il porto in progetto.

In Figura 7.8 è riportato l'andamento del flusso solido netto tra la foce di Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe lungo l'asse di riferimento per il raggiungimento della configurazione di equilibrio.

Dalla figura si evince che nelle condizioni attuali:

- il tratto di spiaggia settentrionale di circa 375 m di lunghezza deve subire uno spostamento di materiale sedimentario di circa 1.000 m3 verso nord-est;
- il tratto di spiaggia meridionale di circa 375 m deve subire uno spostamento di materiale sedimentario verso sud-ovest, con valori massimi di circa 6.000 m^3 circa 150 m a nord-est dalla foce del Rio Ciappe;

mentre in presenza del porto turistico in progetto:

- il tratto di spiaggia settentrionale di circa 550 m di lunghezza deve subire uno spostamento di materiale sedimentario verso nord-est, con valori massimi di circa 25.000 m^3 circa 125 m a sud-ovest dalla foce del Rio Ranzi;
- il tratto di spiaggia meridionale di circa 200 m di lunghezza deve subire uno spostamento di materiale sedimentario verso sud-ovest, con valori massimi di circa 2.000 m3 circa 125 m a nord-est dalla foce del Rio Ciappe.

Figura 7.3 – Forma geometrica di equilibrio della spiaggia tra la foce del Rio Ciappe e la foce del Rio Ranzi in presenza del Porto Turistico in progetto

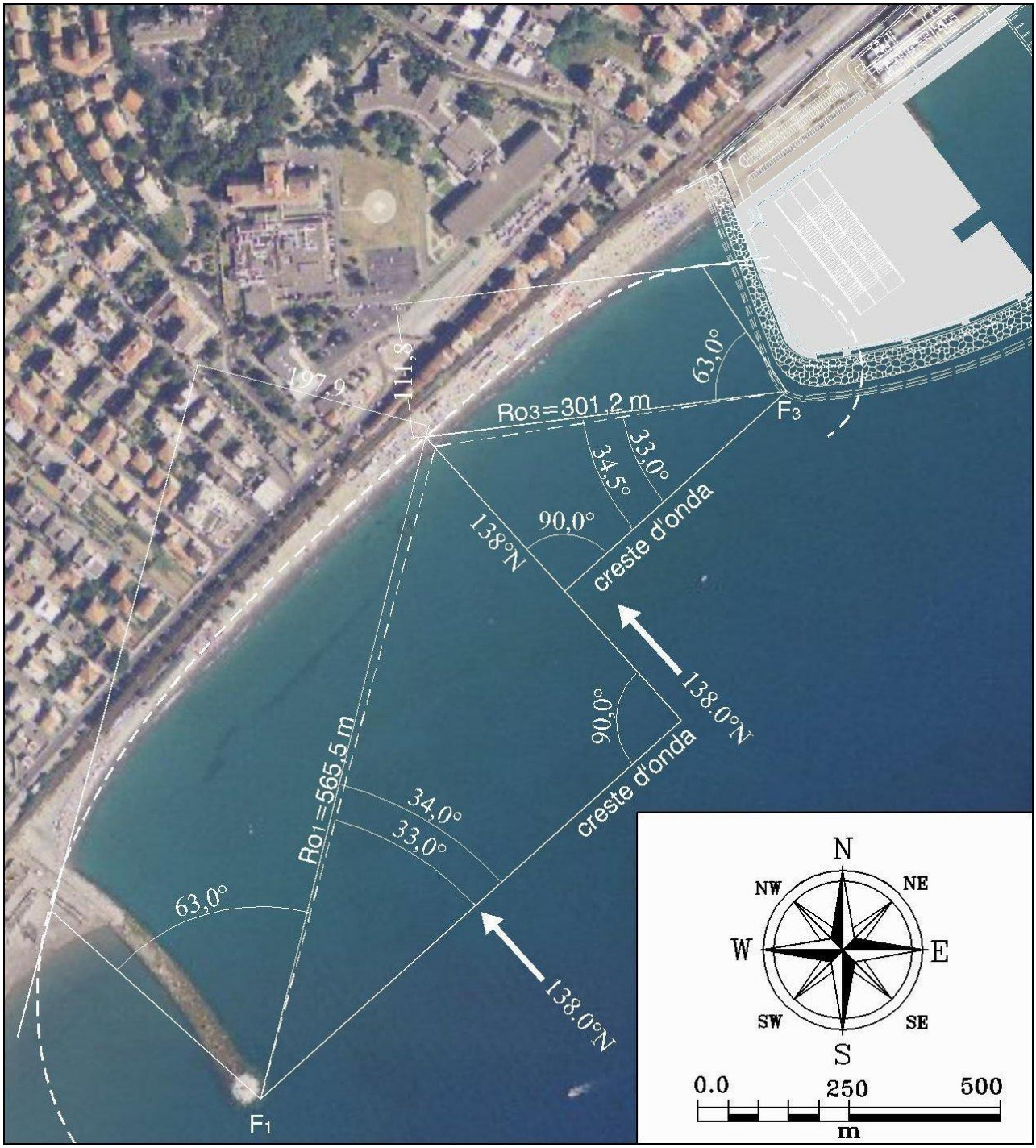


Figura 7.4 – Linee di riva 2006 e curve di equilibrio tra la foce di Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe lungo l'asse di riferimento

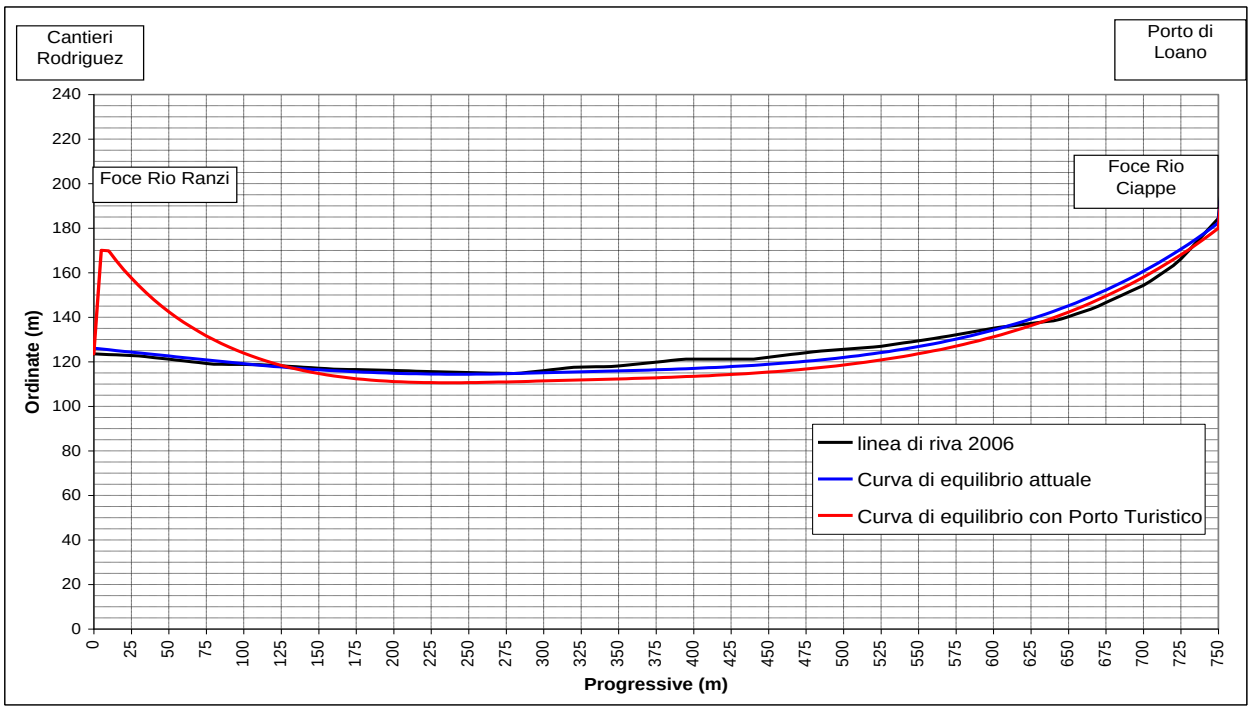


Figura 7.5 – Spostamenti della Linea di riva per il raggiungimento della configurazione di equilibrio tra la foce di Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe lungo l'asse di riferimento

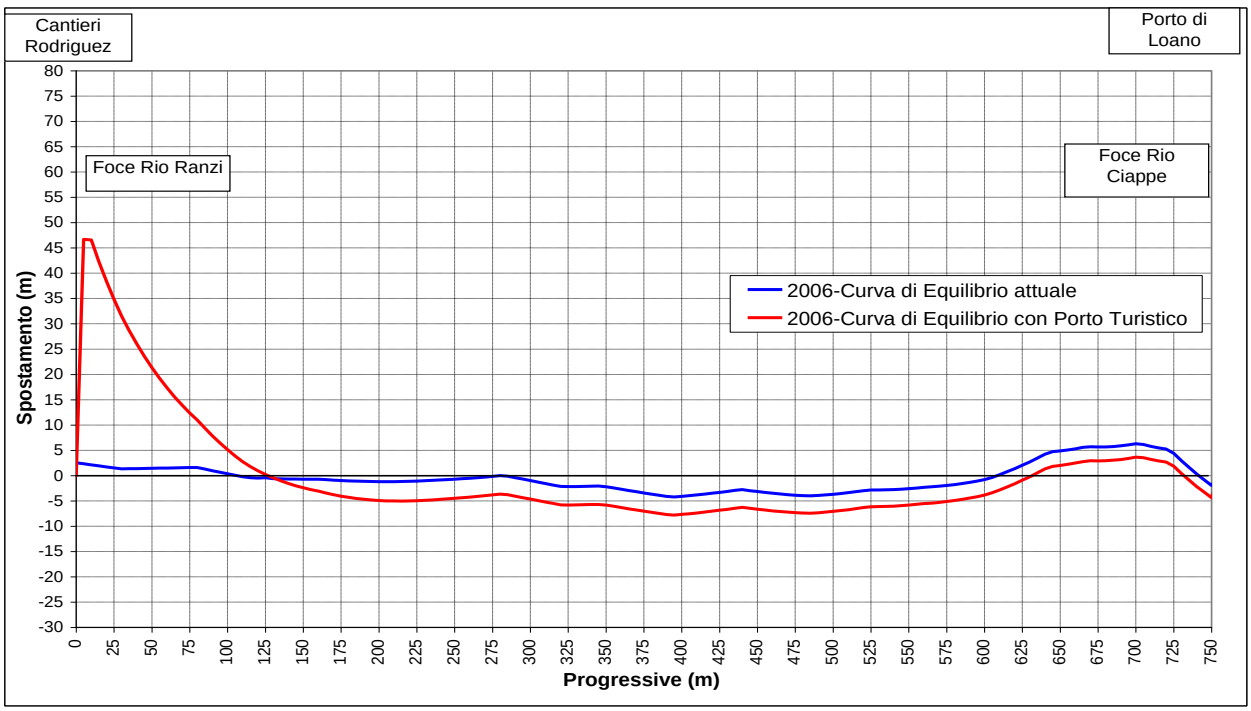


Figura 7.6 – Scostamento tra la linea di riva di equilibrio attuale e quella con il Porto Turistico dei Cantieri Navali Rodriguez lungo l'asse di riferimento

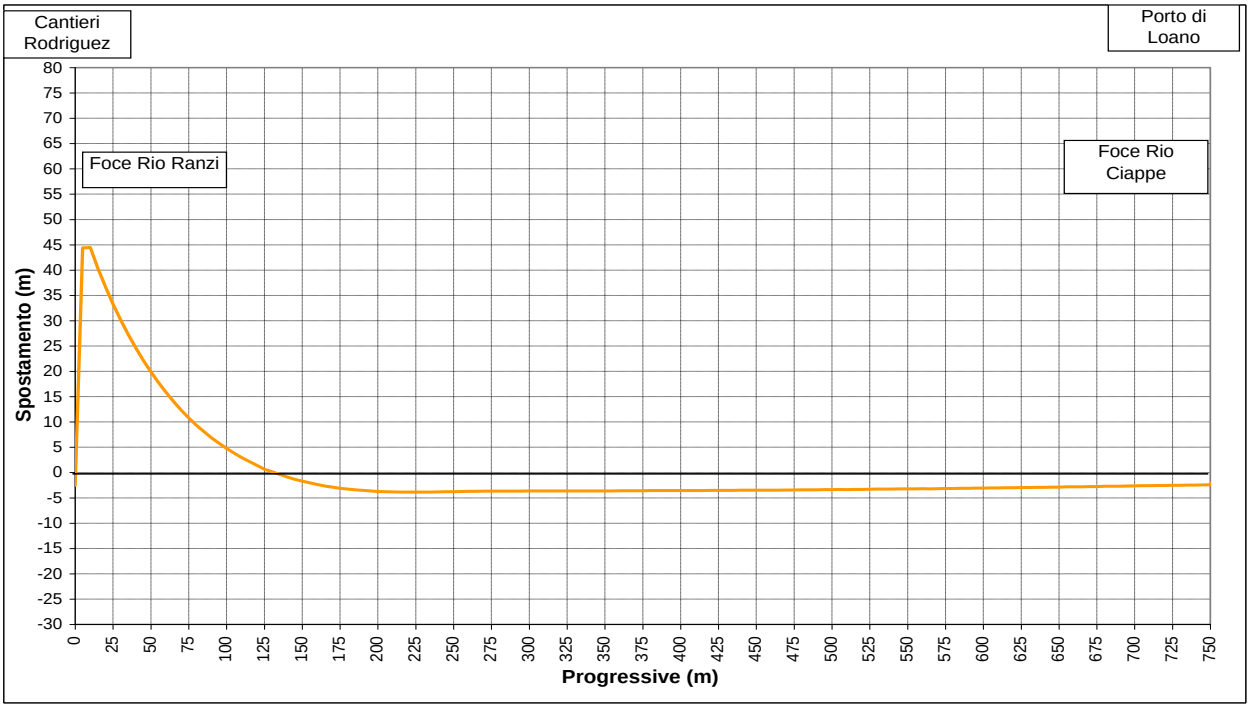


Figura 7.7 - Andamento della variazione di volume per il raggiungimento della configurazione di equilibrio tra la foce di Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe lungo l'asse di riferimento

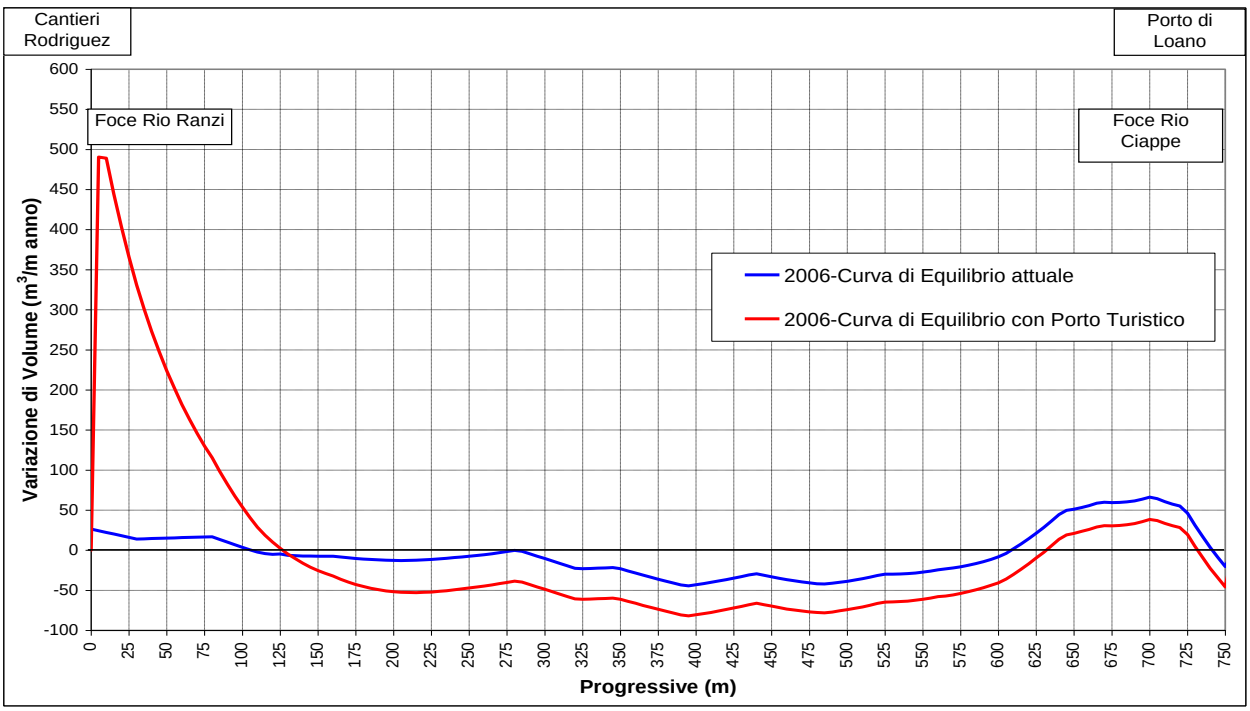
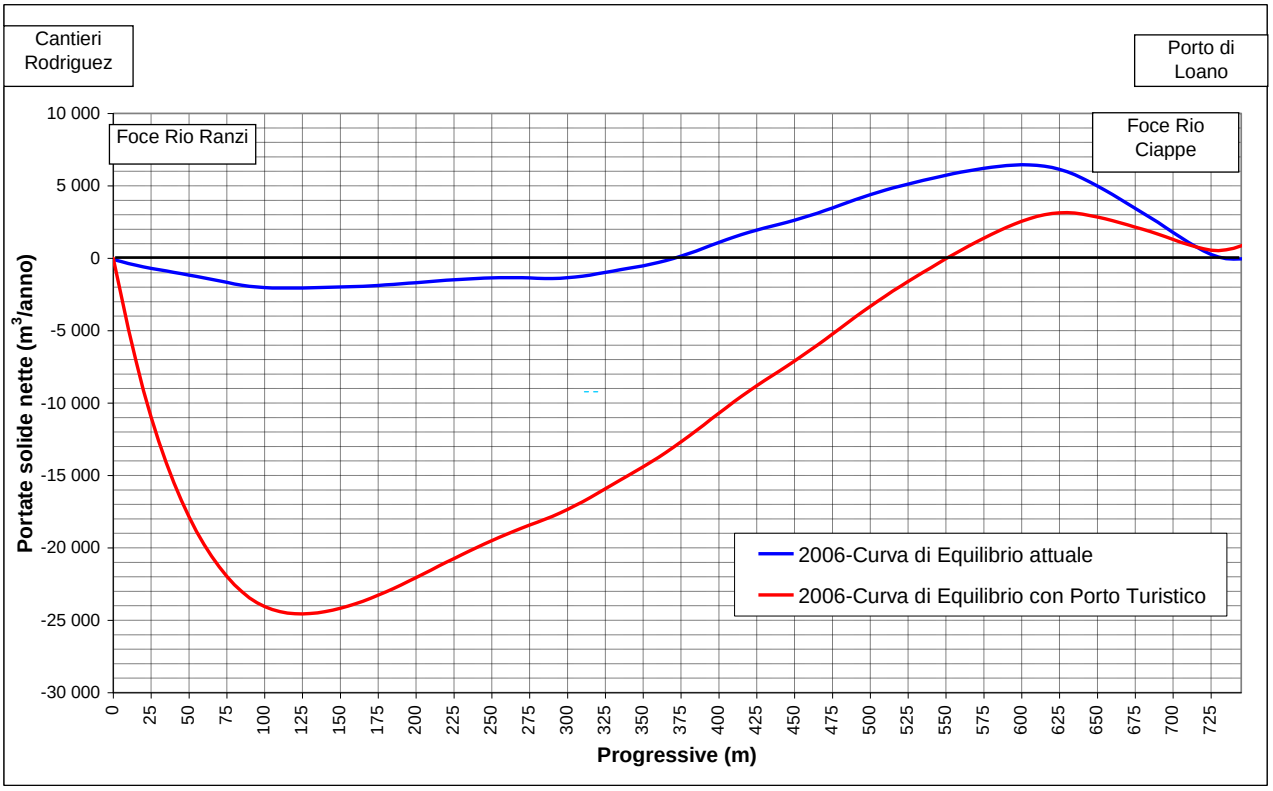


Figura 7.8 - Andamento del flusso solido netto per il raggiungimento della configurazione di equilibrio tra la foce di Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe lungo l'asse di riferimento



7.4 Verifica degli effetti di mitigazione con un ripascimento

Per evitare la migrazione del sedimento della spiaggia verso nord-est, richiamato dalla presenza delle opere esterne del porto turistico, si è investigato l'effetto mitigatorio di un intervento di ripascimento artificiale. Si è infatti riconosciuto nei paragrafi precedenti che per il raggiungimento di una nuova configurazione di equilibrio è necessario un avanzamento medio della linea di riva di circa 19 m nel tratto di circa 125 m di lunghezza a sud-ovest della foce del Rio Ranzi.

E' stato inoltre osservato che la spiaggia emersa e quella sommersa fino alla profondità di circa 2,5 m è costituita da sabbia grossolana avente un D_{50} di circa 1,0 mm. In Figura 7.9 è riportato il profilo teorico di equilibrio che si avrebbe dopo un ripascimento di sabbia caratterizzato da un D_{50} di 1,0 mm e la modellazione operata dal moto ondoso con un avanzamento della linea di riva di 19 m. In Figura 7.10 è invece riportato il profilo teorico di equilibrio che si avrebbe in corrispondenza della sezione più vicina al molo occidentale del porto turistico in progetto, in cui si prevede dopo il versamento artificiale e la modellazione operata dal moto ondoso un avanzamento della linea di riva di circa 45 m..

Nelle due figure il profilo della spiaggia emersa attuale è stato traslato rispettivamente di 19 m e 45 m, mentre il profilo sommerso è quello teorico di Dean relativo al D_{50} di 1,0 mm.

Il volume di sabbia necessario alla reazione del cono di sabbia mancante a ridosso del molo occidentale del porto turistico è valutabile in base alla Figura 7.9 in 14.000 m^3.

E' stato pertanto applicato nuovamente il modello morfodinamico per determinare la forma planimetrica di equilibrio della spiaggia con un aumento di volume di circa di circa 14.000 m^3

Utilizzando la costruzione geometrica del paragrafo precedente ed applicando la nuova condizione di bilancio solido dei sedimenti si ottiene la configurazione di equilibrio di Figura 7.11.

Per la porzione di spiaggia controllata dal Porto di Loano è risultato che la nuova conformazione di equilibrio è relativa ad un angolo β di 33,7° ed una distanza R_o pari a 564,0 m. L'intaccatura della spiaggia nella conformazione di equilibrio risulta di circa 206 m.

Per la porzione di spiaggia controllata dal Porto Turistico dei Cantieri Navali Rodriguez è risultato che la conformazione di equilibrio con il ripascimento è relativa ad un angolo β di 34,2° ed una distanza R_o pari a 298,6 m. L'intaccatura della spiaggia nella conformazione di equilibrio risulta di circa 110 m.

In Figura 7.12 sono riportate le linee di riva del 2006 (linea nera) e la linea di riva di equilibrio con il porto turistico in progetto ed il ripascimento di 14.000 m^3 di sabbia.

In Figura 7.13 sono riportati gli spostamenti della linea di riva rispetto alla posizione assunta nel 2006 necessari al raggiungimento della configurazione di equilibrio in presenza del porto turistico in progetto ed del ripascimento di 14.000 m^3 di sabbia.

Dal confronto della Figura 7.13 con la Figura 7.5 appare evidente che nella parte sud-occidentale della spiaggia gli scostamenti della linea di riva per il raggiungimento della condizione di equilibrio con il porto turistico sono analoghi a quelli per il raggiungimento della condizione di equilibrio attuale.

Nella parte nord-orientale di circa 350 m di lunghezza invece, ad eccezione del tratto di circa 125 m di lunghezza in cui è stato ipotizzato un ripascimento, gli scostamenti della linea di riva del 2006 per il raggiungimento delle condizioni di equilibrio con il porto in progetto sono praticamente nulli.

In Figura 7.14 sono riportate le variazioni di volume lungo l'asse di riferimento necessarie al raggiungimento della configurazione planimetrica di equilibrio con il porto in progetto e del ripascimento di 14.000 m^3 di sabbia.

In Figura 7.15 è riportato l'andamento del flusso solido netto tra la foce di Rio Ranzi e la foce del Rio Ciappe lungo l'asse di riferimento per il raggiungimento della configurazione di equilibrio in presenza del porto turistico in progetto ed del ripascimento di 14.000 m^3 di sabbia.

Dal confronto della Figura 7.15 con la Figura 7.8 appare evidente che nella parte sud-occidentale della spiaggia il flusso solido necessario al raggiungimento della configurazione di equilibrio è analogo a quello per il raggiungimento della linea di riva di equilibrio nelle condizioni attuali.

Nella parte nord-orientale di circa 350 m di lunghezza invece, ad eccezione del tratto di circa 125 m di lunghezza in cui è stato ipotizzato un ripascimento uniformemente distribuito di 14.000 m^3 di sabbia, il flusso solido necessario al raggiungimento della configurazione di equilibrio è praticamente nullo.

Figura 7.9 - Profilo trasversale con avanzamento di 19 m per effetto di un ripascimento di sabbia grossolana

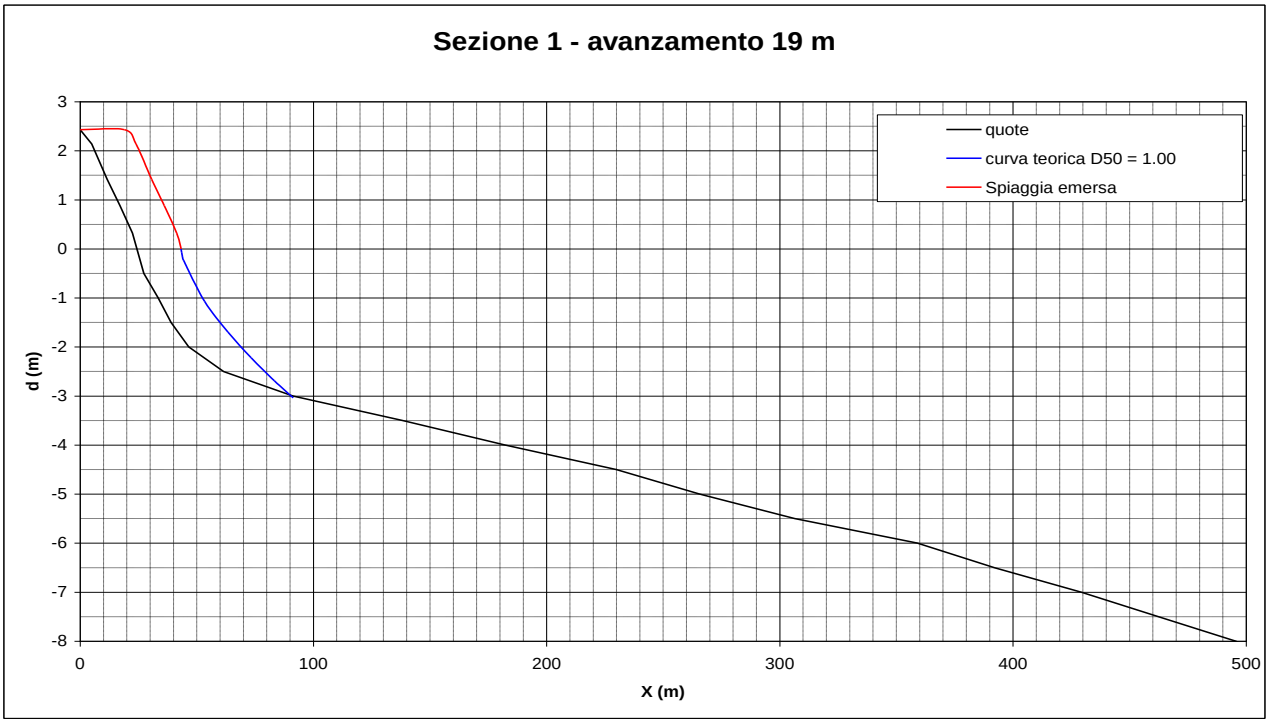


Figura 7.10 Profilo trasversale con avanzamento di 47 m per effetto di un ripascimento di sabbia grossolana

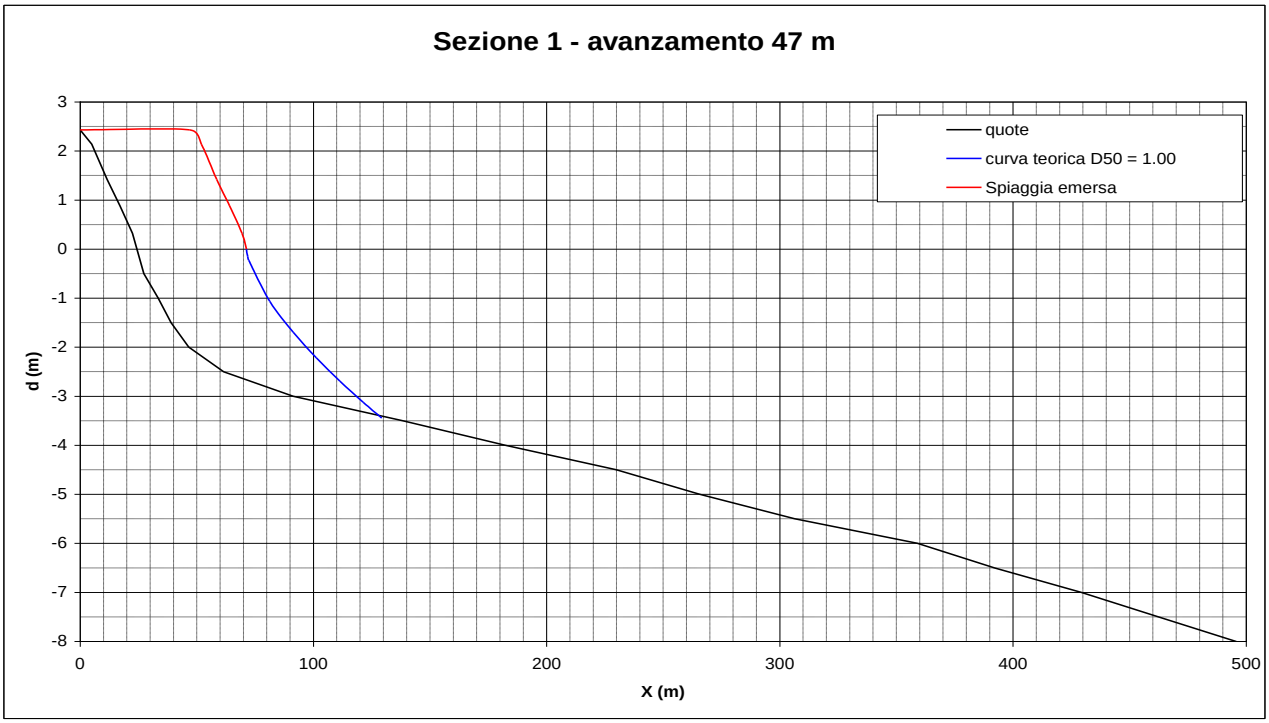


Figura 7.11 – Forma geometrica di equilibrio della spiaggia tra la foce del Rio Ciappe e la foce del Rio Ranzi in presenza del Porto Turistico in progetto e di un ripascimento di sabbia grossolana di 14.000 m^3

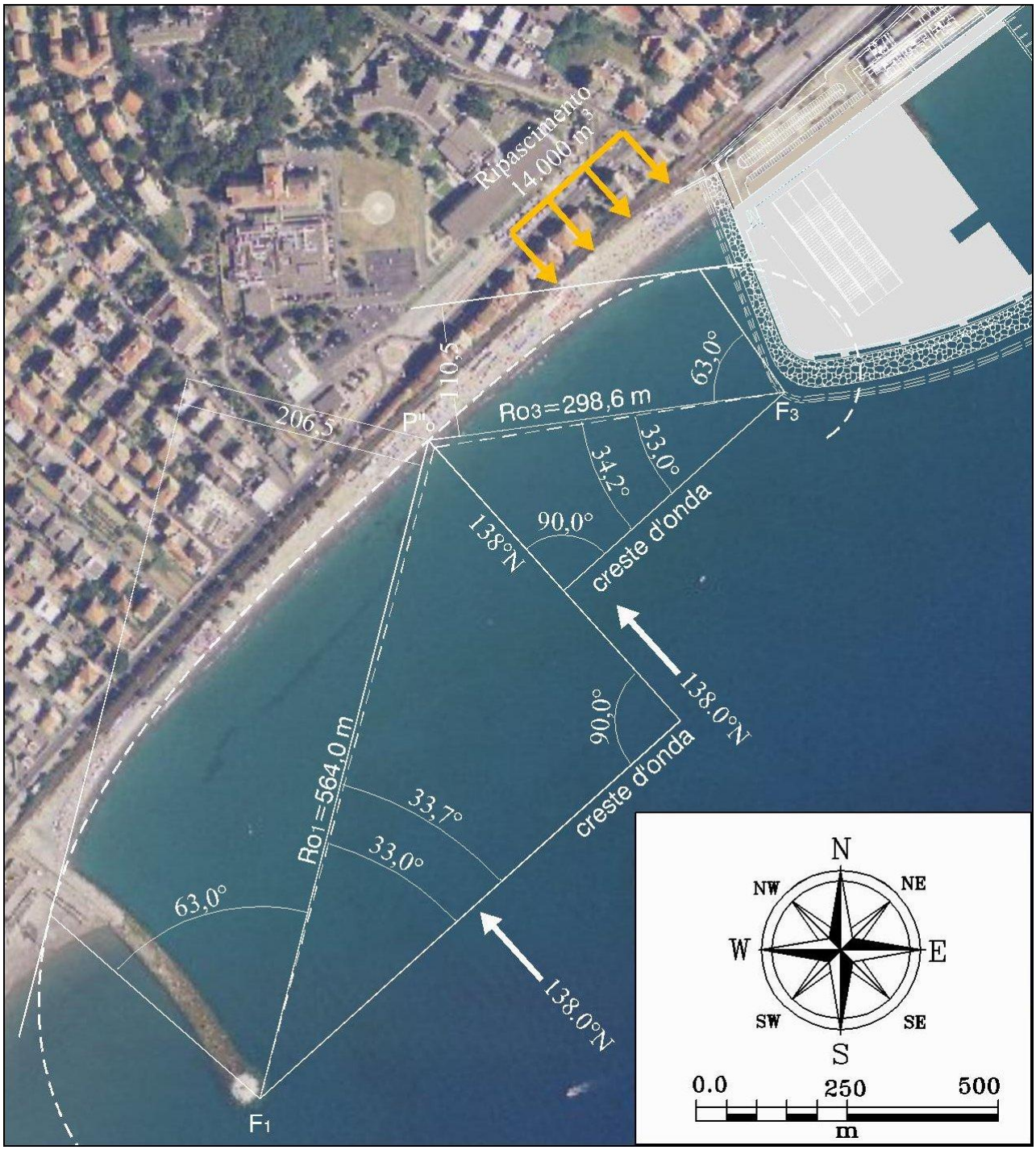


Figura 7.12 – Linee di riva 2006 e curva di equilibrio in presenza del Porto Turistico in progetto e di un ripascimento di sabbia grossolana di 14.000 m^3 lungo l'asse di riferimento

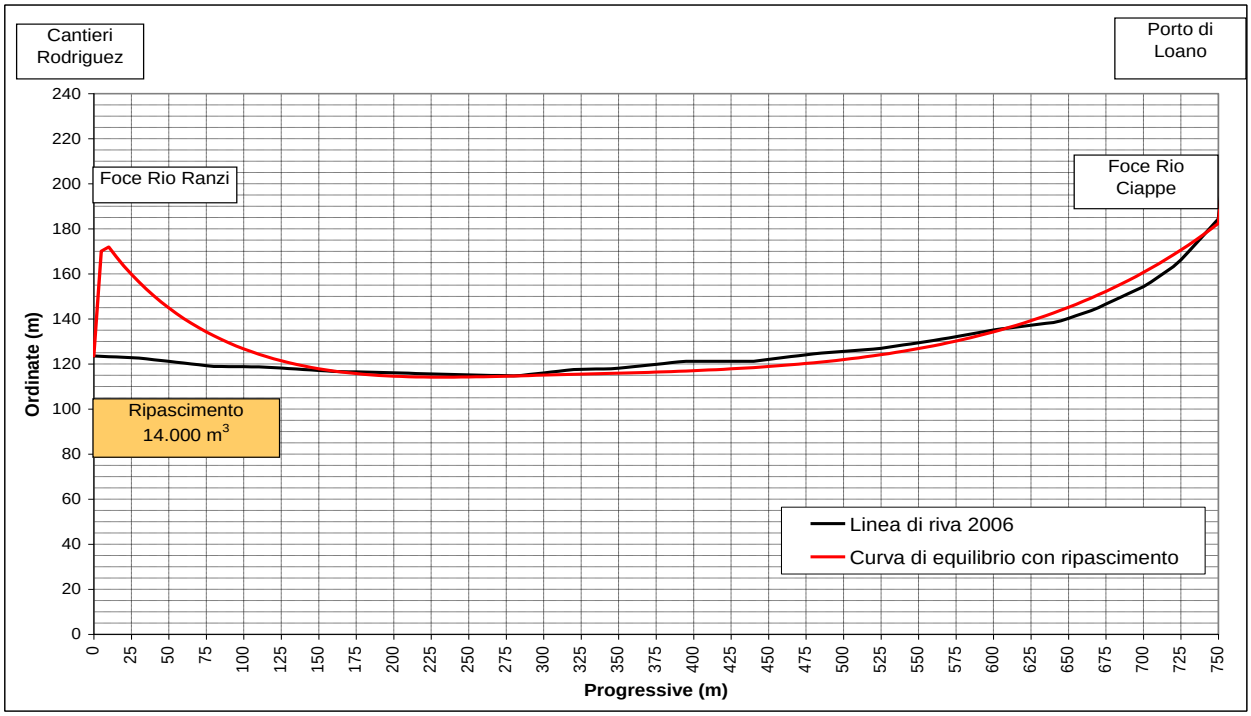


Figura 7.13 – Spostamenti della Linea di riva per il raggiungimento della configurazione di equilibrio in presenza del Porto Turistico in progetto e di un ripascimento di sabbia grossolana di 14.000 m^3 lungo l'asse di riferimento

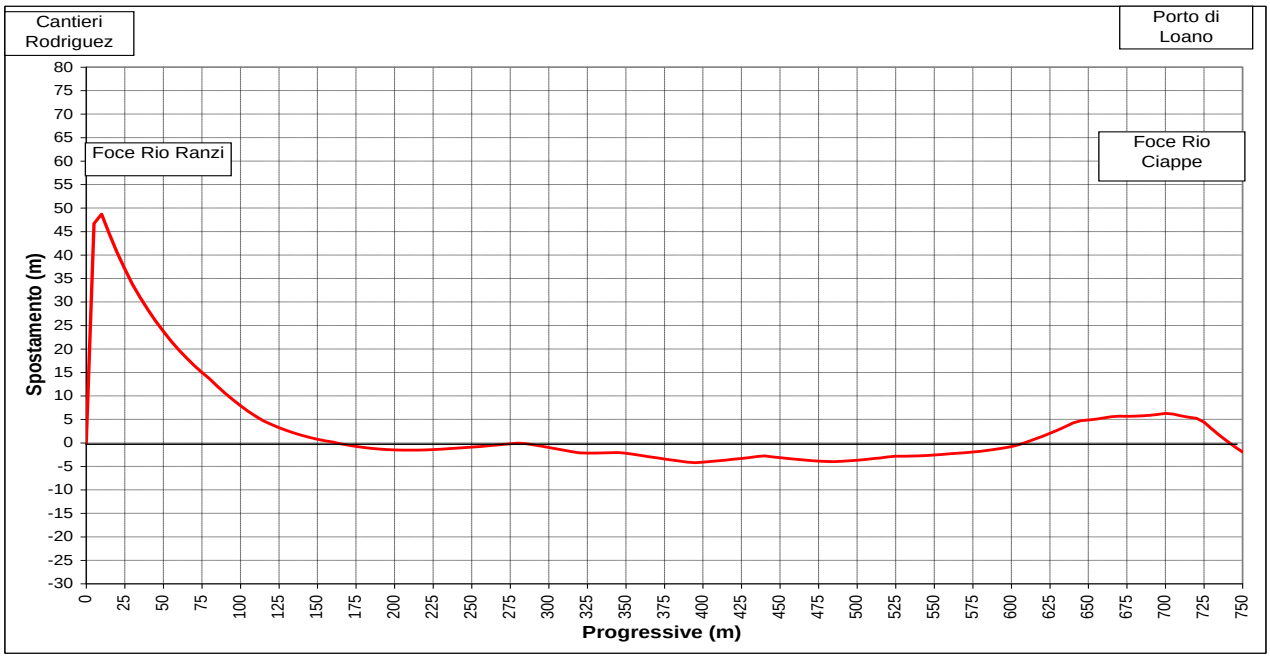


Figura 7.14 - Andamento della variazione di volume per il raggiungimento della configurazione di equilibrio in presenza del Porto turistico in progetto e di un ripascimento di sabbia grossolana di 14.000 m³ lungo l'asse di riferimento

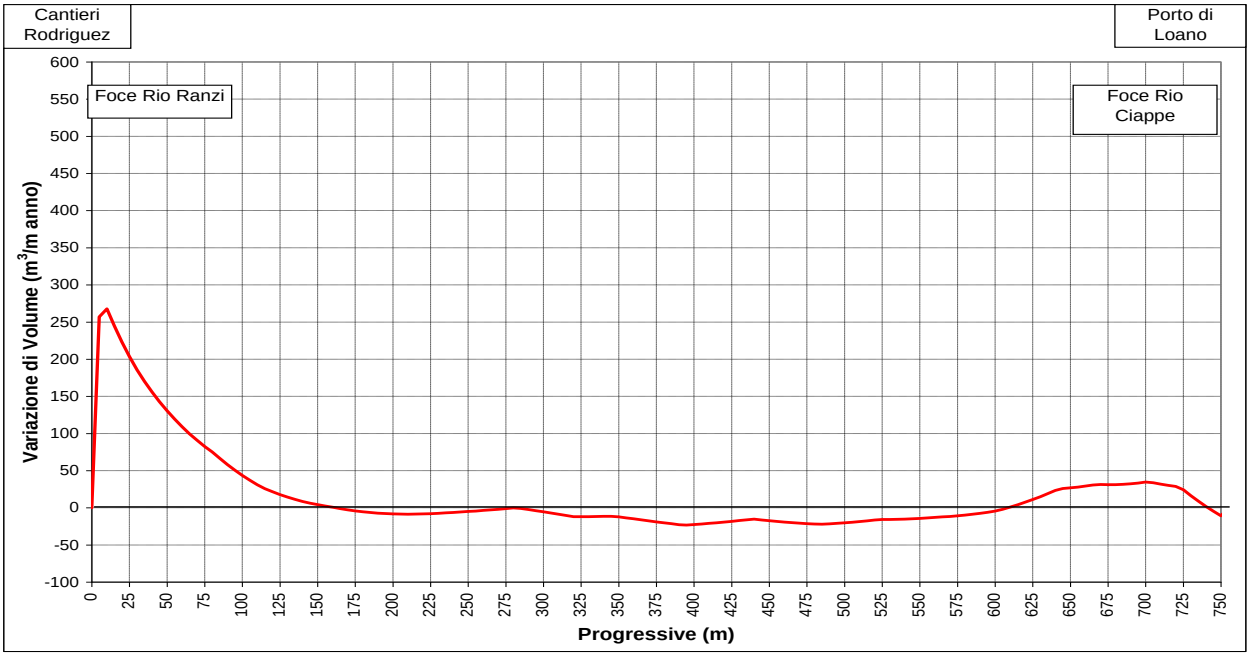
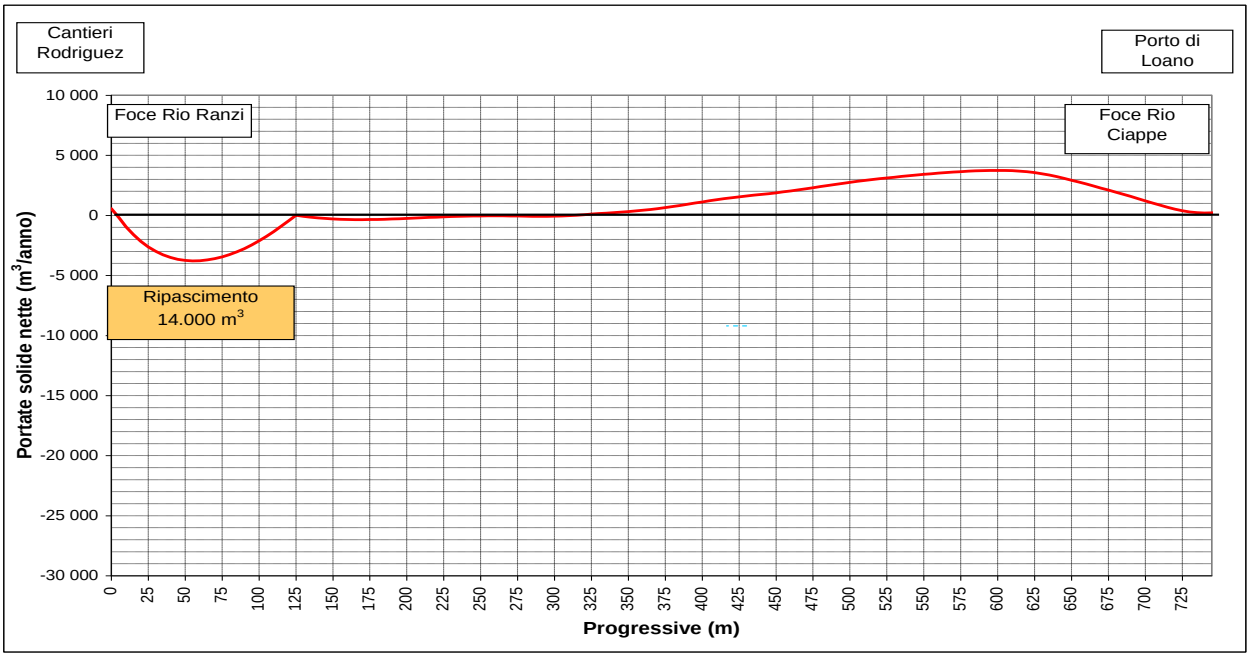


Figura 7.15 - Andamento del flusso solido netto per il raggiungimento della configurazione di equilibrio in presenza del Porto turistico in progetto e di un ripascimento di sabbia grossolana di 14.000 m³ lungo l'asse di riferimento



7.5 Bibliografia

Krumbein W. C. (1947). 'Shore processes and beach characteristics', Tech Memo 3, U.S. Army Beach Erosion Board, Washington, D.C.

Hsu, J. R., and Evans, C. (1989). 'Parabolic bay shapes and applications', Proc., Institution of Civil Engineers, London, England, Vol. 87 (part 2): 557-570.

Mita, M. (2010). ASCE 'New Relationships for Equilibrium Shaped Bays', J. Wtrwy., Port, Coast., and Oc. Engrg., ASCE, 1136(4): 238-245

Silvester (1970). 'Development of cranulate shaped bays to equilibrium', J. Wtrwy. and Hrbrs Divn., ASCE 96(WW2): 275-287.